

доц. дтн Станимир Вичев

ЦИФРОВИ РЕЛЕЙНИ ЗАЩИТИ

Записки

2008 г.

Цифрови релейни защиты

Курс за магистри – 2008 г.

К о н с п е к т

1	Етапи и характеристики на цифровите защиты
2	xxx -
3А	Цифрови защиты и токови трансформатори в преходен режим
3В	Капацитивни напреженови трансформатори
4	Нулеви индикатори и прагови елементи
5	xxx -
6	Принципи за преобразуване на входните величини
7	Нискочестотни филтри
8	АЦП
9	Време-елементи
10	Цифрово измерване на фазова разлика
11	Цифрови филтри
12	Въвеждане на входни величини в ЦЗ
13	Защити за изводи
14	Дистанционни защиты
15	АПВ на електропровди
16	xxx - УРОП
17	Измерване на разстоянието до мястото на късото съединение
18	Адаптивни релейни защиты
19	Цифрови защиты за трансформатори
20	Цифрови защиты за синхронни генератори
21	Цифрови защиты на двигатели
22	Източници на смущения и пренапрежения в релейните защиты
23	Мерки против смущенията и пренапреженията в цифровите релейни защиты
24	Методи за изпитване на цифровите релейни защиты на смущения и пренапрежения
25	Надеждност, резервиране, самопроверка
26	Устройства за мониторинг
27	xxx - Цена на модернизацията на РЗ
28	xxx -
29	xxx - Вентилни отводи за ниско напрежение (маг. инж. Мила Николова)
30	xxx - Микроконтролери в ЦРЗ (доц. д-р А. Цолов)

София, 24.09.2008 г.

Съставил:
(доц. д-р Станимир Вичев)

01. Етапи на развитие и характеристики на цифровите защиты

Етапи на развитие на цифровите защиты

Цифровите релейни защиты (ЦРЗ) са свързани с развитието на изчислителната техника. Етапите на това развитие се подреждат в следния ред.

Първи етап (от 1969 г. до около 1974 г.)

За начало на създаването на ЦРЗ се счита публикацията от 1969 г. на Г. Д. Рокфелер “Релейна защита с компютър”.

За този етап са типични:

- Внедряване в подстанциите на големи или средно големи компютри, които да изпълняват задачите на управлението и защитата на всички съоръжения.
- Използване на най-прости алгоритми за реализиране на класическите критерии за релейна защита.

За най-голямо постижение се счита внедряването през 1972 г. в САЩ на комплексно цифрово устройство на един електропровод 230kV, което изпълнява функциите дистанционна защита, защита при претоварване, АПВ, регистратор на величините при повреда и управление. Още тук проличава, че бъдещият път трябва да бъде насочен към разпределение на задачите между повече компютри, насочени към задачите на защитата.

Втори етап (от 1972 г. до около 1981 г.)

Има стремеж за различните случаи да се търсят конкретни решения, изгодни по цена (чрез допълване и реконструкция на съществуващите уредби, чрез пробно внедряване с цел да се доказват търсени ефекти), да може да се влияе диференцирано върху сигурността, да се натоварват оптимално процесорите. Тези стремежи водят до концепцията за раздробяване на задачите и тяхното самостоятелно решаване от компютри с по-малък обем на паметта.

За този етап са характерни:

- Внедряване на малки и много малки компютри и специализирани решения предимно за дистанционни защиты, както и за диференциални защиты на генератори и трансформатори.
- Изследване по принцип на възможностите за натоварване на компютрите и изчисляване на несиметрични входни величини на защитите (наличие на висши хармоници и апериодични съставки). Налага се значително теоретично преработване на алгоритмите чрез използване на съвременна математика, теория на сигналите и теория на веригите (пресмятане на коефициентите от уравненията на веригите, използване на тригонометрични съотношения, корелационен анализ).

Трети етап (след 1975 г.)

С развитието на микропроцесорната техника се разполага със схеми, които със своите характеристики (малък обем, висока скорост на обработване на информацията, изгодна цена) водят до децентрализиране на устройствата за управление и защитата и натрупване и преработване на богата информация за изследване на ЕЕС. С това втори етап преминава непосредствено в трети етап, за който е характерно:

- Всеобщото въвеждане на микропроцесори, микроконтролери и микропроцесорни системи, както и по-нататъшно задълбочаване на работата по алгоритмите. Има тясно взаимодействие с развитието на микропроцесорната техника по отношение на обема на паметта и скоростта на обработване на данни.
- Внедряване на световоди за пренасяне на данни.
- Повторно прилагане на основната идея от първи етап за използване на един компютър в цялата подстанция, но сега като система от микропроцесори, работещи съвмес-

тно и свързани с шини за данни. Вътре в тази система релейната защита е самостоятелна част, която се развива функционално спрямо конвенционалната защита.

- В България ЦРЗ се разработват от 1987 г. от колектив на ИТКР-София, съвместно с Енергопроект и ТУ-София – сега фирма РОКОН.

Характеристики на цифровите защиты

Статичните защиты, базирани на транзистори, операционни усилватели и интегрални схеми имат по-добри качества от електромеханичните, но не се развива с темпо, което да ги наложи масово.

Характерните черти на цифровите защиты, които ги налагат масово са следните:

1. Аналоговите променливи величини се преобразуват в цифрови във входните блокове на релетата и се изчисляват с процесор.

2. В защитите има въведени програми за всяка от функциите им. Зададените настройки се използват като входни данни в тези програми. Настройките на защитите се въвеждат:

- от клавиатура, непосредствено на защитата;
- от портативен компютър по сериен канал;
- дистанционно от по-високо информационно ниво.

3. Няколко функции на защитата могат да се комбинират и изпълняват от един самостоятелен блок. Всички нови цифрови защиты са мултифункционални.

В едно и също устройство се съчетават функциите на:

- релейна защита,
- управление,
- противоаварийна автоматика,
- регулиране (например регулиране на напрежението с трансформаторите),
- регистрация на събития,
- измерване на разстоянието до мястото на повредата и др.

Отказ на една от функциите не води до отказ на защитата като цяло.

Терминът "РЕЛЕЙНА ЗАЩИТА" остава само поради традицията.

4. Всеки блок на цифровите защиты има вградени постоянно действащи програми за самонаблюдение и диагностика на хардуера и софтуера.

Релетата, базирани на микропроцесори могат да бъдат програмирани да контролират непрекъснато няколко от своите хардуерни и софтуерни подсистеми, откривайки по този начин евентуални погрешни зареждания. Със свойството за самопроверка отказите на релейната част могат да бъдат открити скоро след като те са станали и биха могли да бъдат поправени преди да са имали възможността да попречат на експлоатацията.

Този процес минимизира ремонта и необходимостта от следене на защитите по време на експлоатация.

Самонаблюдението и диагностиката намаляват общото ниво на вероятността от неправилна работа на защитата. Всички спонтанно възникнали откази в хардуера и софтуера се откриват автоматично и своевременно, съответната част от защитата се блокира и се изпраща адекватно съобщение. Времето за дежурство на защитата при нормална работа на защитавания обект е безкрайно по-голямо от времето за действие при късо съединение или друга авария, така че ефектът от самопроверката е изключително голям и тази функция се притежава от всички сега произведени цифрови защиты.

5. Защитата може да се управлява от РС чрез програми с менюта на различни езици.

Те притежават системен интерфейс за връзка с РС, по които да комуникират чрез специален софтуер, който се включва обикновено в обема на доставката. Цифровите защиты имат съг-

ласувана скорост за обмен на данни и формати за записване с централната информационна система на съответната подстанция.

6. Цифровите входове притежават връзки с външни сигнали чрез **оптични кабели**. Връзката по **сериен канал** прави лесно интегрирането със системи за управление и измерване.

7. **Записите за събития и смущения** могат да се анализират подробно след време на базата на натрупаните данни.

Цифровото реле регистрира всички откази на системата във вътрешна памет за записване на откази, включително условията, предшестващи отказа (записване на смущения). Тази информация се предава на работното място на дежурния оператор и се анализирана чрез компютърни средства и гореспоменатия софтуер. Освен това, устройството, записващо честотата на събитията осигурява статистика за отчитане на историята, тенденциите и т.н.

8. Може да се създаде **базов хардуер** и на него да се залагат различни функции и по този начин да се реализират лесно различни по свойства релейни защиты (ROCHESTER).

9. Всяко цифрово реле е снабдено с **“интелигентен” преден панел** за управление, който осигурява посочените по-долу възможности за комуникация без да е необходимо използването на допълнително оборудване (напр. лаптопи и др.):

- Фиксиране (нагласяване) и четене на параметрите на релето;
- Показване на измерените стойности като ток, напрежение и т.н.;
- Показване на събития, свързани с откази.

9. Настройването и проверката в експлоатационни условия може да се извършва с **компютризирана изпитателна апаратура**. Ефектът, който се получава е многопосочен:

- подобряване на точността;
- частично или пълно автоматизиране на изпитанията, което намалява рязко продължителността им;
- оценява се състоянието на обективна, а протоколът и други документи се съставят в хода на изпитанието;
- могат да се проведат изпитания в преходен режим, при наличие на висши хармоници и субхармоници, при люлеене, при подаване на сигнали от реално регистрирани токове и напрежения на късо съединение (изпитване “playback”) и др.

10. Цифровите защиты натоварват по-малко от електромеханичните измервателните трансформатори за ток и напрежение. Дават възможност за използване на линейни преобразователи като оптичните токови трансформатори, пояси на Роговски и делители на напрежение. Токовите трансформатори например поради малкия си товар започват да работят в режим, близък до идеалния токов трансформатор (подстанция „Казанлък”, 16.12.2006 г.)

11. **Имат малка консумация на оперативните вериги** и благодарение на собствените си преобразователи и стабилизатори имат минимални изисквания към качеството на оперативното хранване на централата или подстанцията. Оперативните вериги могат да се хранват равномерно с постоянно или променливо напрежение с изменение в широк диапазон.

Фирмите създават версии на максималнотокови защиты с оперативно хранване от измервателните трансформатори.

12. Където е подходящо, **релетата се снабдяват с свето-диодни индикатори** или фасадки (флагови индикатори). Флаговите индикатори се нулират ръчно без отваряне на кутията. Многофазните елементи, поместени в една кутия, са осигурени с отделни индикатори за всеки елемент. Алтернативни индикатори за експлоатационното състояние като свето-диоли или течни кристали запомнят информация за състоянието на релето, даже в случай на отпадане на постоянното оперативно напрежение.

13. Още със създаването на първите електронни защиты (Англия, началото на 60-те години) **се обръща специално внимание на вредните от околна среда**, където релетата трябва да функционират. Вземат се предвид както високите температура, влажност и замърсявания, така и електромагнитните влияния.

Външните смущения се отстраняват чрез разделяне на веригите с индуктивни и оптически връзки, както и чрез подходящо филтриране и кодиране на сигналите.

14. Всички базирани на микропроцесори релета отговарят на **изискванията на ИЕС** за:

- Електрически тестове: Тестове за изолацията;
 - Тест за електромагнитна съвместимост за предпазване от смущения;
 - Електромагнитна съвместимост при емисии от смущения
- Тестове при механично напрежение (по време на работа; по време на съхраняване; по време на транспорт):
 - Вибрации,
 - Ударно напрежение и
 - Сеизмични вибрации;
- Тест при климатично натоварване:
 - Температура;
 - Влажност.

15. Необходимостта от **висока квалификация на персонала** се прехвърля към производителя. Експлоатацията е организирана лесно и нагледно.

16. Цена. По експертна оценка още преди 10 години при еднакви технически характеристики цената на по-интелигентните цифрови релейни защиты (включително и с цената на софтуера) е приблизително същата, каквато е на конвенционалните аналогови релейни системи. Цената на микропроцесорната техника непрекъснато намалява и техническите ѝ възможности нарастват. В световен мащаб, включително и в България се произвеждат основно микропроцесорни защиты. Да се правят индивидуални поръчки с цел да се поддържа електромеханична или дори аналогова техника за релейна защита би било особено скъпо.

Подразбира се, че някои електромеханични релета - например максималнотоковите са толкова евтини, че смяната им поотделно със скъпи цифрови защиты изглежда невероятно в днешно време.

Последните модели на микропроцесорните защиты на водещите фирми са обогатени с толкова функции (самопроверка и диагностика, измерване, регистрация на събития, комуникация с локални компютри, съчетаване с автоматиката и управлението на обекта), че няма база за сравняването им по цена с конвенционалните защиты.

Оценка на развитието на РЗ от гледна точка на цифровата техника

Конвенционалната релейна защита се изгражда чрез съгласуване на познанията за ЕЕС и качествата на РЗА във физико-технически смисъл. Развитие получават електрически апарати със специфични свойства, специално за приложение в РЗА на ЕЕС (електромагнити с малки хистерезисни характеристики, индукционни системи само за една входна величина, междинни трансформатори, работещи в областта на насищане, електронни схеми с нелинейни характеристики и т.н.). **Философията на класическата защитна техника е ориентирана към апаратите, от които е изградена.**

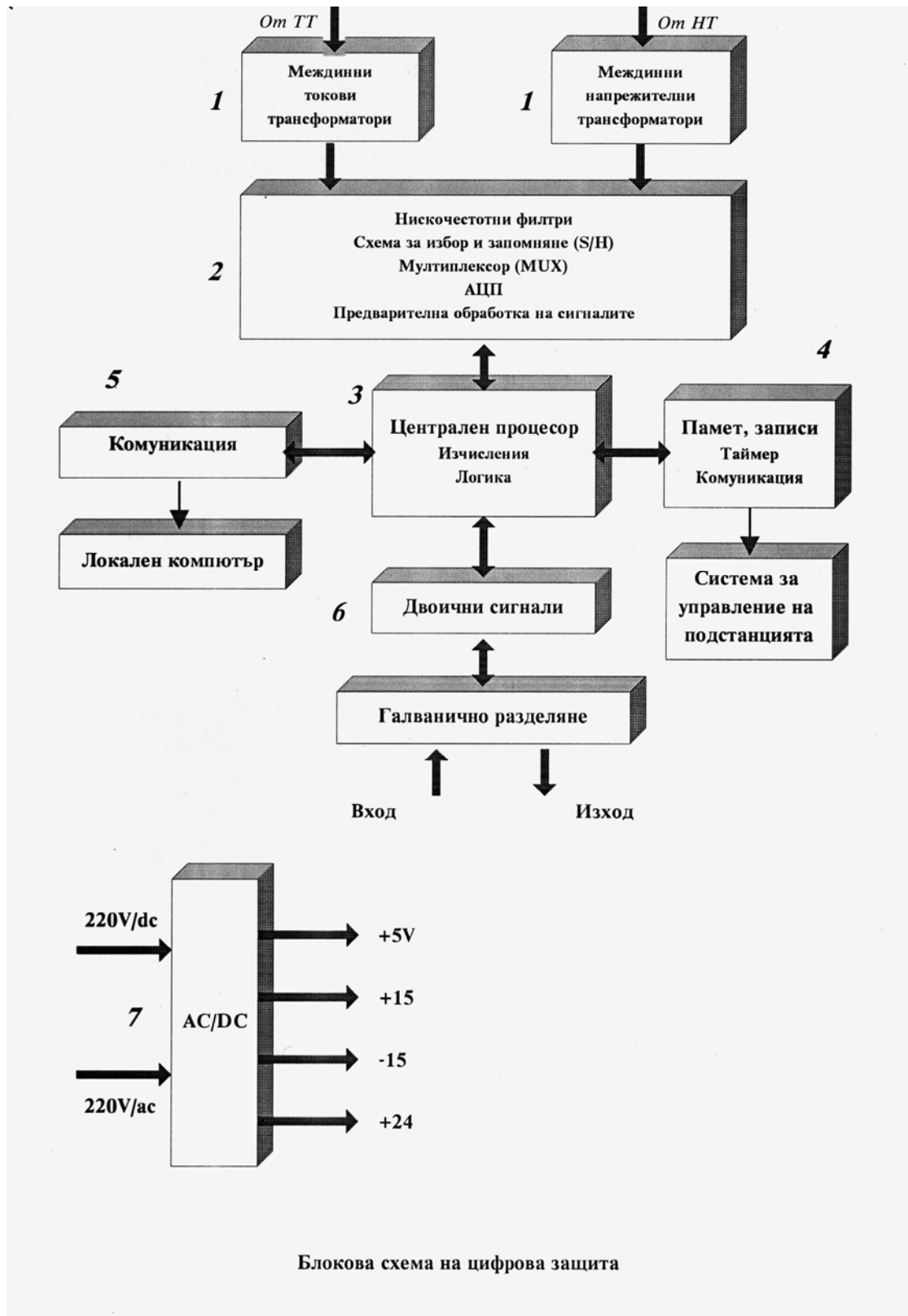
Особеността на цифровата техника е в непрекъснатото (почти мигновено) наблюдаване на входните величини, преобразуване на моментните стойности в цифрови величини и предоставяне на отчетените стойности. **Философията на цифровите защиты е ориентирана към принципите на обработване на сигналите.**

Според броя на входните величини критериите за защита биват:

- защитни критерии, базирани на една входна величина (или ток, или напрежение)
- защитни критерии, базирани на повече от една величина (импеданс, фазова разлика)

- Критериите биват оценявани от гледна точка на:
 - тяхната точност на измерване в зависимост от честотата на сканиране, съдържание на висши хармоници и наличие на апериодична съставяща;
 - техните преходни характеристики при преминаване от установен режим в преходен аварийен режим
 - необходим изчислителен ресурс, който предопределя и най-добрата конфигурация на хардуера.

Структура на цифрова защита



Означения в блоковата схема на цифрова релейна защита

(1) Входен блок за аналоговите величини; (2) Блок на входния микропроцесор; (3) Блок на централния микропроцесор; (4) Блок за комуникация и памет; (5) Дънна платка; (6) Двоични входове и изходи; (7) Блок за оперативни напрежения

Примерен списък на тестове за цифрови защиты (от технически изисквания към оферта)

12	Електрически тестове	
12.1	Спецификация	
12.1.1	Стандарти	IEC 60255 ANSI C37.90, C37.90.1, C37.90.2
12.2	Тестове за изолацията	
12.2.1	Стандарти	IEC 60255-5; ANSI/IEEE C37.90.0
12.2.2	Напреженови тестове (100%) на всички вериги с изключение на помощното напрежение и RS485/RS232 и синхронизацията на времето	2.5 kV (ефективна стойност), 50 Hz
12.2.3	Оперативно напрежение	3.5 kV DC
12.2.4	Комуникационни входове и синхронизация на времето	500VAC
12.2.5	Тест с импулсно напрежение (типов тест) на всички вериги с изключение на комуникационните входове и синхронизацията на времето, клас III	5 kV(макс. стойност); 1.2/50µs; 0.5J - 3 положителни и 3 отрицателни импулса в интервал от 5 s
12.3	Тест за електромагнитна съвместимост за предпазване от смущения: типов тест	
12.3.1	Стандарти	IEC 60255-6; IEC 60255-22 (стандарт за изделие) EN 50082-2 (обща спецификация) DIN 57435 Част 303
12.3.2	Високофреkwотен тест IEC 60255-22-1, клас III и VDE 0435 Част 303, клас III	2.5kV(макс. стойност); 1MHz; τ=15 ms; 400 пренапрежения за s; продължителност на теста 2 s
12.3.3	Електростатичен разряд IEC 60255-22-2 клас IV и EN 61000-4-2, клас IV	8 kV разряд през контакт; 15 kV разряд през въздушна междина; двете полярности; 150 pF; Ri = 330 Ω
12.3.4	Облъчване с поле на немодулирани радио честоти IEC 60255-22-3 (Доклад) клас III	10 V/m; 27 to 500 MHz
12.3.5	Облъчване с поле на амплитудно модулирани радио честоти IEC 61000-4-3; клас III	10 V/m, 80 to 1000 MHz; AM 80 %; 1 kHz
12.3.6	Облъчване с поле на импулсно модулирани радио честоти IEC 61000-4-3/ENV 50204; клас III	10 V/m, 900 MHz; повтаряемост 200 Hz, при продължителност 50%
12.3.7	Бързи преходни процеси (разряд) IEC 60255-22-4 и IEC 61000-4-4, клас IV	4 kV; 5/50 ns; 5 kHz; продължителност на разряда = 15 ms; повтаряемост 300 ms; двете полярности; Ri =50 Ω; продължителност на теста 1 min
12.3.8	Пренапрежение с висока енергия (разряд) IEC 61000-4-5; клас III	
12.3.8.1	Помощно напрежение	Между вериги: 2 kV; 12 Ω;9µF През контакти: 1 kV; 2 Ω; 18 µF
12.3.8.2	Бинарни входове / изходи	Между вериги: 2 kV; 42 Ω;0.5 µF През контакти: 1 kV; 42Ω;0.5 µF
12.3.9	Линейно свързана висока честота, амплитудно модулирана IEC 61000-4-6, клас III	10 V; 150 kHz to 80 MHz; AM 80 %; 1 kHz
12.3.10	Магнитно поле с промишлена честота IEC 61000-4-8, клас IV IEC 60255-6	30 A/m; 50 Hz, трайно 300 A/m; 50 Hz, 3 s 0.5 mT, 50 Hz
12.3.11	Способност да издържа осцилиращи пренапрежения ANSI/IEEE C37.90.1	2.5 to 3 kV (макс. стойност), 1 до 1.5 MHz затихваща вълна; 50 пренапрежения за s; продължителност 2 s, Ri = 150 до 200 Ω
12.3.12	Способност да издържа бързи преходни пренапрежения ANSI/IEEE C37.90.1	4 to 5 kV; 10/150 ns; 50 пренапрежения за s, два поляритета; продължителност 2 s, Ri =80 Ω
12.3.13	Смущения от електромагнитна радиация ANSI/IEEE C37.90.2	35 V/m1); 25 до 1000 MHz; амплитудно и импулсно модулирани
12.3.14	Затихваща вълна IEC 60694 / IEC 61000-4-12	2.5kV(макс. стойност, алтернативна полярност) 100 kHz, 1 MHz, 10 и 50 MHz, Ri = 200 Ω
12.4	Електромагнитна съвместимост при емисии от смущения: типов тест	

12.4.1	Стандарти	EN 50081 (обща спецификация)
12.4.2	Протичащи смущения, само за помощното напрежение IEC/CISPR 22	150 kHz до 30 MHz Граничен клас В
12.4.3	Съпротивление на полето на радио смущения	30 до 1000 MHz Граничен клас В
13	Тестове при механично напрежение	
13.1	Вибрации, ударно напрежение и сеизмични вибрации	
13.1.1	По време на работа	
13.1.1.1	Стандарти	IEC 60255-21 и IEC 60068-2
13.1.1.2	Вибрации IEC 60255-21-1, клас 2, IEC 60068-2-6	Синусоидални 10 до 60 Hz; амплитуда ± 0.075 mm; 60 до 150 Hz; ускорение 1 g с честота на разгъване 1 octave/min 20 цикъла по 3-те перпендикулярни оси
13.1.1.3	Удар IEC 60255-21-2, клас 1 IEC 60068-2-27	Полу-синусоидален Ускорение 5 g, продължителност 11 ms; 3 удара в двете посоки по 3-те оси
13.1.1.4	Сеизмични вибрации IEC 60255-21-3, клас 1 IEC 60068-3-3	Синусоидални 1 до 8 Hz: амплитуда ± 3.5 mm (хоризонтална ос) 1 до 8 Hz: амплитуда ± 1.5 mm (вертикална ос) 8 до 35 Hz: 1 g ускорение (хоризонтална ос) 8 до 35 Hz: 0.5 g ускорение (вертикална ос) Честота на разгъване 1 octave/min 1 цикъл по 3-те перпендикулярни оси
13.1.2	По време на транспортиране	
13.1.2.1	Стандарти	IEC 60255-21 и IEC 60068-2
13.1.2.2	Вибрации IEC 60255-21-1, Клас 2, IEC 60068-2-6	Синусоидални 5 до 8 Hz: амплитуда ± 7.5 mm; 8 до 150 Hz; ускорение 2g, честота на разгъване 1 octave/min 20 цикъла по 3-те перпендикулярни оси
13.1.2.3	Удар IEC 60255-21-2, Клас 1, IEC 60068-2-27	Полу-синусоидален Ускорение 15 g, продължителност 11 ms 3 удара в двете посоки по 3-те оси
13.1.2.4	Продължителни удари IEC 60255-21-2, Клас 1, IEC 60068-2-29	Полу-синусоидални Ускорение 10 g, продължителност 16 ms, 1000 удара в двете посоки по 3-те оси

14	Тест при климатично натоварване	
14.1	Температура	
14.1.1	Типов тест според IEC 60068-2-1 и -2, тест Bd, за 16 h	-25 °C до +85 °C
14.1.2	Временно разрешена работна температура, проверка за 96 h	-20 °C до +70 °C
14.1.3	Препоръчвана трайна работна температура според IEC 60255-6 (Четенето на дисплея може да се влоши над +55 °C) – Гранична температура по време на непрекъснато съхраняване – Гранична температура по време на транспорт	-5 °C до +55 °C -25 °C до +55 °C -25 °C до +70 °C
14.2	Влажност	
14.2.1	Гранична влажност Препоръчва се блокът да се разположи по такъв начин, че да не е подложен на директни слънчеви лъчи или на очевидни температурни промени, които да причинят кондензиране на влага	Средно годишна относителна влажност от 75 % до 95 % за 56 дни в годината; кондензиране на влага не се допуска

03А. Цифрови защиты и токови трансформатори в преходен режим

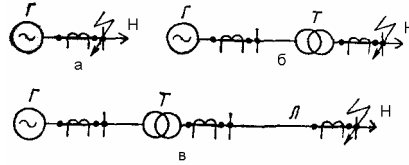
1. Особености на първичните токове на ТТ в преходен режим

1.1. Големина на т.к.с. в ЕЕС на България

1995 г. Токове на трифазно късо съединение, [A]		
110 kV	220 kV	400 kV
Бургас		
19'100	***	9'750
АЕЦ		
18'300	31'500	28'700
Казичене		
39'700	23'970	***
Горна Оряховица		
17'800	14'980	***
Марица Изток		
32'700	25'680	***
ТЕЦ Варна		
35'060	20'790	***
Столник		
26'170	24'630	17'560
Мизия		
23'970	24'420	23'760
София Запад		
21'610	***	21'230
Добруджа		
33'150	24'400	16'690

1.2. Преходен първичен ток при авария в проста електрическа верига

Приемат се като възможни три случая на проста електрическа верига, включваща синхронен генератор (фиг. а.1). Точното аналитично описание на процесите при внезапно к.с. е сложно и трудоемко. Правят се редица опростявания.



Фиг. а.1

1.2.1. Уравнения за преходния първичен ток на т.к.с. с отчитане на преходния процес на синхронен генератор

По-общо решение на уравнението на синхронната машина се получава при предположение, че роторът е явнополусен и има надлъжна и напречна депферни намотки. В този случай и при предположение, че генераторът има автоматично регулиране на напрежението, предварително зададено натоварване и к.с., отговарящо на схемата от фиг. а.1а пълният израз за тока в първичната намотка на токовият трансформатор може да се представи с израза:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad i_1 = & i_{dm} \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\
 & + (i_{dm\Pi} - i_{dm}) \cdot F(t) \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\
 & + (i_{dm \text{ нач.}}'' - i_{dm \text{ нач.}}') \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_d''}\right) \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\
 & + (i_{dm \text{ нач.}}' - i_{dm \text{ нач.}}'') \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_d'}\right) \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) - \\
 & - i_{qm \text{ нач.}}'' \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_q''}\right) \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_u) - \\
 & - (i_{da} + i_{qa}) \exp\left(\frac{-t}{T_a}\right) - \\
 & - i_{dm(2) \text{ нач.}} \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_a}\right) \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t + \psi_u) + \\
 & + i_{qm(2) \text{ нач.}} \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_a}\right) \cdot \sin(2 \cdot \omega \cdot t + \psi_u).
 \end{aligned}$$

където:

$i''_{dm, нач}$, $i'_{dm, нач}$ и $i''_{qm, нач}$ са началните стойности (в момента $t=0$) на амплитудите съответно на надлъжния свръхпреходен, преходния и напречния свръхпреходен токове на к.с. със синхронна честота,

$$i''_{dm, нач} = \frac{e''_{qm, нач}}{x_d''}; \quad i'_{dm, нач} = \frac{e'_{qm, нач}}{x_d}; \quad i''_{qm, нач} = \frac{e''_{dm, нач}}{x_q''};$$

$i_{dm\Pi}$ – амплитуда на установения т.к.с. при пределно възбуждане на генератор с АРВ;

i_{dm} – амплитуда на установения надлъжен т.к.с. със синхронна честота,

$$i_{dm} = \frac{e_{qm}}{x_d};$$

$F(t)$ – функция, която определя закона за нарастване във времето на синхронния ток в резултат на форсирането на възбуждането;

i_{da} , i_{qa} – начални стойности на надлъжната и напречната съставки на аperiодичния свободен т.к.с.,

$$i_{da} = \frac{u_{qm, пред}(x_q'' + x_d'')}{2 \cdot x_d'' \cdot x_q''} \cos \Psi_u; \quad i_{qa} = \frac{u_{dm, пред}(x_q'' + x_d'')}{2 \cdot x_d'' \cdot x_q''} \cos \Psi_u;$$

$i_{dm(2), нач}$, $i_{qm(2), нач}$ – начална стойност на надлъжната и напречната съставки на периодичния свободен ток с двойна честота,

$$i_{dm(2), нач} = \frac{u_{qm, пред}(x_q'' - x_d'')}{2 \cdot x_d'' \cdot x_q''}; \quad i_{qm(2), нач} = \frac{u_{dm, пред}(x_q'' - x_d'')}{2 \cdot x_d'' \cdot x_q''};$$

$u_{md, пред}$, $u_{mq, пред}$, $i_{md, пред}$, $i_{mq, пред}$ – съответно надлъжните и напречните напрежения и токове до момента на нарушаване на режима;

e_{qm} – амплитуда на установеното напречно синхронно е.д.н.

Останалите величини в горните уравнения са параметри на генераторите и са описани в табл. а.1, където са показани и примерни стойности за руски генератори.

Горните формули могат да се приложат и за схемите б) и в) от фиг. а.1. Необходимо е към реактивното съпротивление на машината да се добавят и външните съпротивления x до съответното място на к.с. Под напреженията $u_{md, пред}$ и $u_{mq, пред}$ ще се разбират съответните предшестващи напрежения в мястото на повредата.

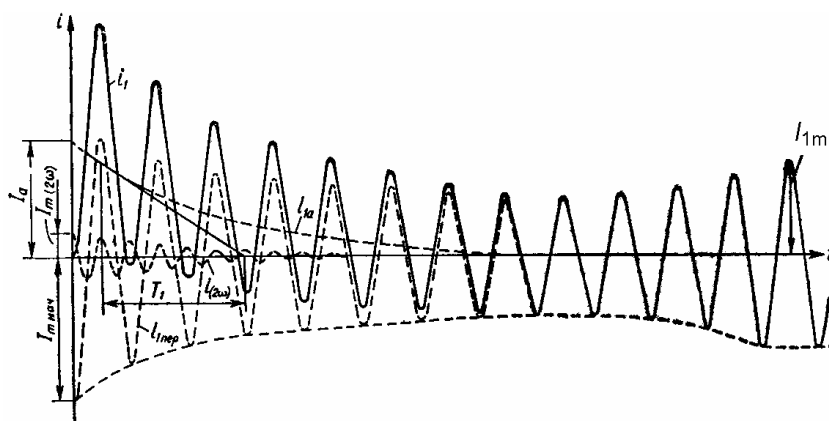
Наименование параметров	Турбогенератор	Гидрогенератор	
		с демпферными обмотками	без демпферных обмоток
Сверхпереходное продольное реактивное сопротивление, x_d'' , отн. ед.	0,125	0,20	0,27
Сверхпереходное поперечное реактивное сопротивление, x_q'' , отн. ед.	0,175	0,30	0,65
Переходное продольное реактивное сопротивление, x_d' , отн. ед.	0,21	0,30	0,30
Переходное поперечное реактивное сопротивление, x_q' , отн. ед.	1,72	0,65	0,65
Синхронное продольное реактивное сопротивление, x_d , отн. ед.	1,72	1,00	1,00
Синхронное поперечное реактивное сопротивление, x_q , отн. ед.	1,72	0,65	0,65
Постоянная времени затухания свободных сверхпереходных токов, $T_d'' \approx T_q''$, сек	0,11	0,05	0,05
Постоянная времени затухания свободных переходных токов, T_d' , сек	0,85	1,50	1,50
Постоянная времени затухания свободных аperiodических токов генераторов мощностью 10 Мва и более, T_a , сек	0,10	0,16	0,30
Постоянная времени возрастания тока возбуждения машины от форсировки возбуждения, T_e , сек:	для генераторов с АРН	0,57	0,57
	для генераторов без АРН	∞	∞
Постоянная времени обмотки возбуждения при разомкнутом статоре, T_0 , сек	7,00	5,00	5,00
Ток возбуждения при номинальной нагрузке, $i_{*в}$, отн. ед.	2,26	1,80	1,80
Предельный ток возбуждения, $i_{*в}$ в пред. отн. ед.	3,96	3,15	3,15

1.2.2. Опростиране на уравнението за преходния т.к.с.

Различието в големината на началните стойности на свръхпреходните токове пресметнати със и без отчитане на най-голямото практически възможно различие на свръхпреходните реактивни съпротивления по надлъжната и напречната оси не превишава $\pm 5\%$. Различието на началните стойности на преходните и установените токове по тази причина е още по-малко. Затова при оценка на работата на ТТ периодичната съставка на тока с промишлена честота, аperiodичната и свободната периодична съставка с двойна честота няма да бъдат разделяни на съставки по надлъжната и напречната оси.

При тези условия изразът (1) ще добие вида:

$$\begin{aligned}
 (2) \quad i_1 = & i_{1m} \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\
 & + (i_{dm\Pi} - i_{1m}) \cdot F(t) \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\
 & + (i_{1m \text{ нач.}}'' - i_{1m \text{ нач.}}') \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_1''}\right) \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\
 & + (i_{1m \text{ нач.}}' - i_{1m \text{ нач.}}) \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_1'}\right) \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) - \\
 & - i_{1a} \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_1}\right) - \\
 & - i_{1m(2)\text{нач.}} \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_1}\right) \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t + \psi_u).
 \end{aligned}$$



Фиг. а.2

На фиг. а.2 е представена кривата на първичния ток, изменящ се по израза (2) при внезапно к.с. на машина с демпферни намотки.

Съставката с двойна честота се дължат също на разликите в свръхпреходните реактивни съпротивления. Обаче началната стойност на нейната амплитуда може да достигне при к.с. на клемите на турбогенератор 15%, на хидрогенератор с демпферни намотки – 20% и без демпферни намотки – 30% от амплитудната стойност на периодичната съставка с промишлена честота. Затова, когато ТТ захранва защита, реагираща на висши хармоници в първичния ток, е необходимо те да се отчитат. Ефективната стойност на периодичния ток нараства при наслагване на хармониците, съставляващи 30%, не повече от 5%. Затова в болшинството практически случаи, когато защитата реагира на пълната стойност на тока съставката с двойна честота може да не се отчита. Също така увеличаването на отдалечеността на к.с. води до намаляване на относителната големина на втория хармоник и неговата начална стойност може да стане по-малка от 5% от началната стойност на периодичната съставка с основна честота.

Може да се преоцени и участието на АРВ. Електромеханичните регулатори се намесват 0.2 до 0.3s след к.с. Ако ТТ работи съвместно с бързодействащи защиты, влиянието на форсировката на възбуждането също може да се пренебрегне и изразът за първичния ток на ТТ да се запише в следния вид:

$$(3) \quad i_1 = i_{1m} \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\ + (i_{1m.нач}'' - i_{1m.нач}') \cdot e^{-\frac{t}{T_1''}} \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\ + (i_{1m.нач}'' - i_{1m.нач}') \cdot e^{-\frac{t}{T_1''}} \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\ + i_{1a} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}}.$$

Друго приемливо опростяване е пренебрегването на свръхпреходните и преходните съставки и на времеконстантите, свързани с тях:

$$(4) \quad i_1 = i_{1m} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_u + \varphi_k) - i_{1a} \cdot \sin(\psi_u + \varphi_k) \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_a}\right).$$

Ако се приеме като най-тежък вариант съотношението

$$i_{1m} = i_{1a}; \quad \psi_u + \varphi_k = 90^\circ,$$

то изразът става

$$(5) \quad i_1 = i_{1m} \cdot \left(\cos(\omega \cdot t) - \exp\left(\frac{-t}{T_a}\right) \right).$$

Този израз се използва за оценка на работата на ядрата за защита на ТТ в преходен режим. По сложните изрази не намират практическо приложение даже и при наличие на добра изчислителна техника.

1.3. Времеконстанти на затихване, T_a [s]

Турбогенератори		
ТВ	37.5÷176.5 MVA	0.200÷0.420 s
ТВВ-200-2	235 MVA	0.300 s
ТВВ-500-2	588 MVA	0.360 s
ТГВ-800	940 MVA	0.560 s

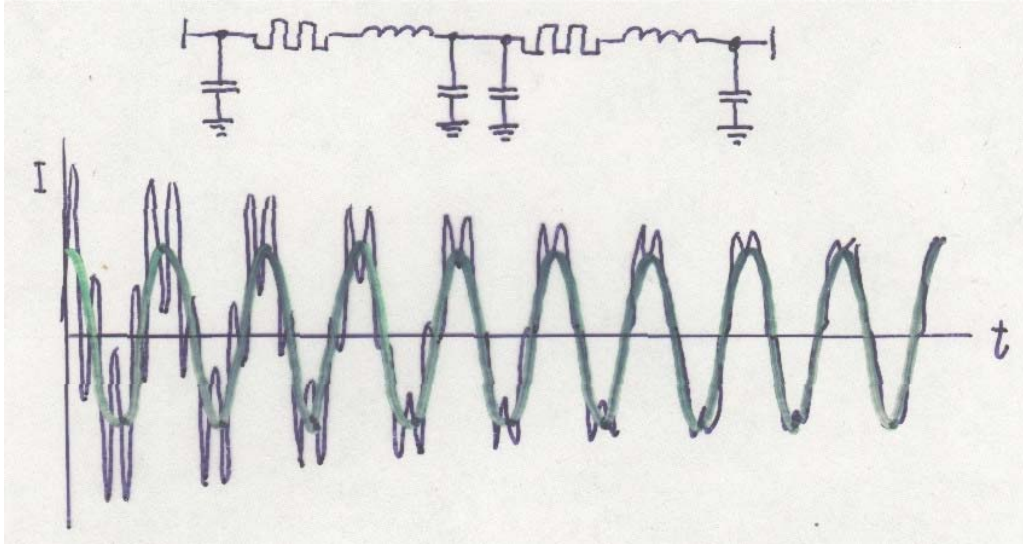
Трансформатори		
35 kV	3.2÷40.5 MVA	0.013÷0.050 s
110 kV	5.6÷240 MVA	0.028÷0.114 s
220 kV	90÷240 MVA	0.087÷0.176 s
330 kV	200÷630 MVA	0.094÷0.440 s
500 kV	200÷630 MVA	0.115÷0.825 s

Шини	
10 kV	0.050÷0.300 s
35 kV	0.010÷0.050 s
110 kV	0.050÷0.200 s
220 kV	0.100÷0.250 s
330 kV	0.200÷0.300 s
550 kV	0.200÷0.600 s

Електропроводи	
35 kV	0.002÷0.010 s
110 kV	0.003÷0.010 s
220 kV	0.012÷0.016 s
АСО-400	0.035 s
АСО-500	0.043 s

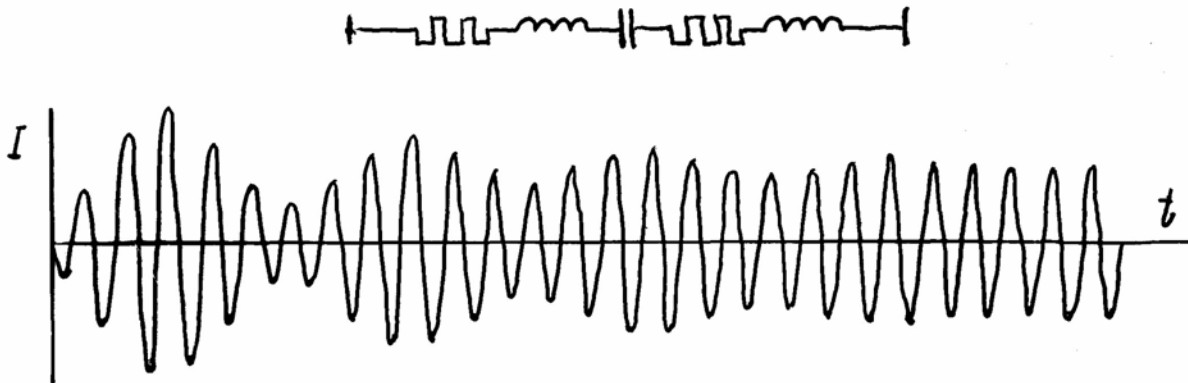
1.4. Форма на т.к.с.

Високочестотни преходни компоненти в тока при дълги линии със значителна напречна капацитивна проводимост

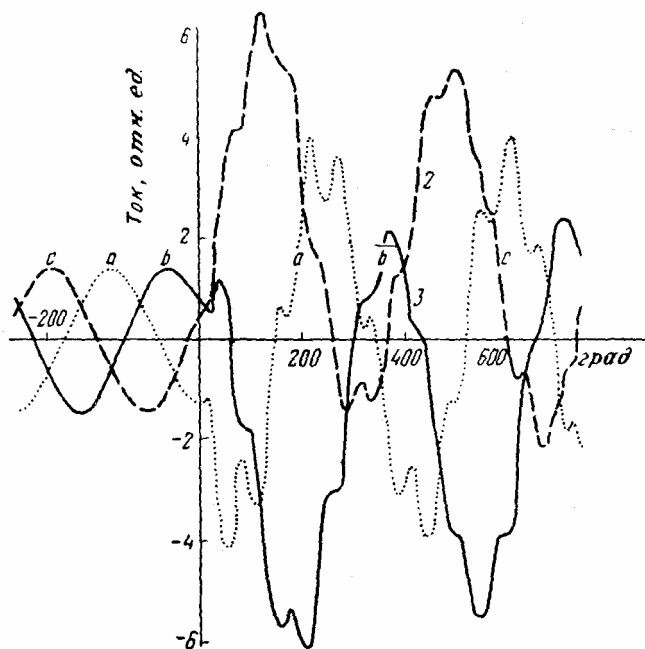


Фиг. 1

Нискочестотни преходни компоненти в тока при електропроводи с надлъжно компенсирание



Фиг. 2

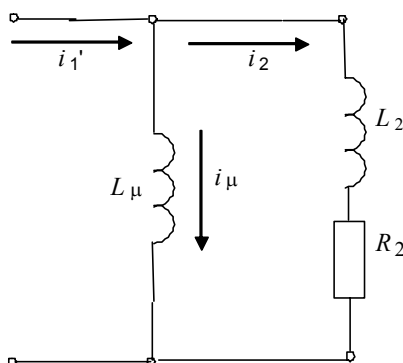


Фиг. 3. Три фазни тока при к.с. [СИГРЕ-68]. Особености на пресичане на нулата и значението му за релета, които формират импулси при това пресичане.

2. Линеен ТТ в преходен режим

Кога ТТ могат да се разглеждат като линейни ?

- Товарът на ТТ е значително под допустимия при 10%-на грешка.
- Кратността на първичния ток е малка.
- Приложени са линейни преобразователи на ток: пояс на Роговски, оптико-електронни датчици на ток и др.
- Много бързи защиты, които заработват преди магнитопроводът да достигне насищане от първата полувърлна на т.к.с.



Фиг. 4. Максимално опростена еквивалентна схема на ТТ

Привеждане на схемата на ТТ:

$$w_1 \cdot i_1 - w_1 \cdot i_\mu = w_2 \cdot i_2,$$

$$i_1 - i_\mu = i_2',$$

$$i_1' - i_\mu' = i_2.$$

Примери:

a. Първичен ток: единичен сигнал $i_1(1)$

$$i_2(t) = i_1(1) \cdot \frac{w_1}{w_2} \cdot \exp\left(-\frac{t}{T'}\right),$$

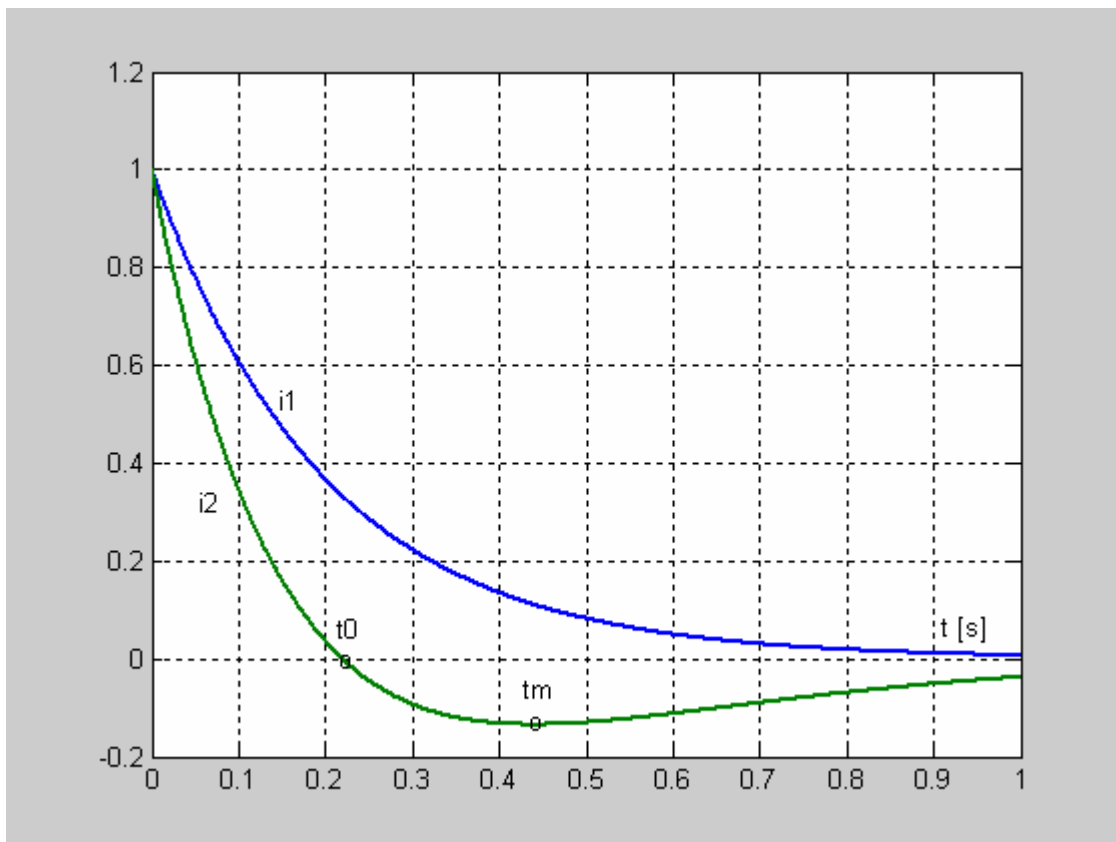
$$T' = \frac{L_\mu + L_2}{R_2}.$$

b. Първичният ток е една експонента:

$$i_1(t) = i_{1m} \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_a}\right),$$

$$i_2(t) = i_{1m} \cdot \frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T'}} \left(\frac{\exp\left(-\frac{t}{T_a}\right)}{T_a} - \frac{\exp\left(-\frac{t}{T'}\right)}{T'} \right),$$

$$t_m = 2t_0 = \frac{2 \cdot \ln \frac{T'}{T_a}}{\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T'}}.$$



Фиг. 5. ТТ при експоненциален първичен ток

$w_1=w_2$; $i_{1m}=1$; $T_a=0.2$ s; $T'=0.242$ s; $R_2=0.96$ Ω ; $L_2=0.0022929$ H; $L_\mu=0.23$ H; $t_0=0.22$ s; $t_m=0.44$ s.

с. Първичният ток е синусоидален.

$$i_1(t) = i_{1m} \cdot \sin(\omega \cdot t),$$

$$i_2(t) = \frac{w_1}{w_2} \cdot \omega \cdot i_{1m} \left(\frac{\sin(\omega \cdot t + \theta)}{\sqrt{\frac{1}{T'^2} + \omega^2}} - \frac{\exp(-\frac{t}{T'})}{T' \left(\frac{1}{T'^2} + \omega^2 \right)} \right),$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \text{arctg}(\omega \cdot T').$$

d. Първичният ток е сума на косинусоида и експонента.

$$i_1(t) = i_{1m} \cdot \cos(\omega \cdot t) - i_{1a} \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_a}\right),$$

$$i_2(t) = i_{1m} \cdot \cos(\omega \cdot t) - i_{1m} \cdot \sqrt{\frac{1 + \omega^2 \cdot T_2^2}{1 + \omega^2 \cdot T'^2}} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) +$$

$$+ i_{1m} \cdot \sqrt{\frac{1 + \omega^2 \cdot T_2^2}{1 + \omega^2 \cdot T'^2}} \cdot \sin \varphi \cdot \exp\left(\frac{-t}{T'}\right) -$$

$$- i_{1a} \cdot \frac{T' - T_2}{T' - T_a} \exp\left(\frac{-t}{T_a}\right) +$$

$$+ i_{1a} \cdot \frac{T' - T_2}{T' - T_a} \exp\left(\frac{-t}{T'}\right),$$

$$\varphi = \text{arctg} \frac{1 + \omega^2 \cdot T_2 \cdot T'}{\omega(T' - T_2)}; \quad T' = \frac{L_\mu + L_2}{R_2}, \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2}.$$

Резултатът за i_2 е решение на системата:

$$i_1 = i_\mu + i_2,$$

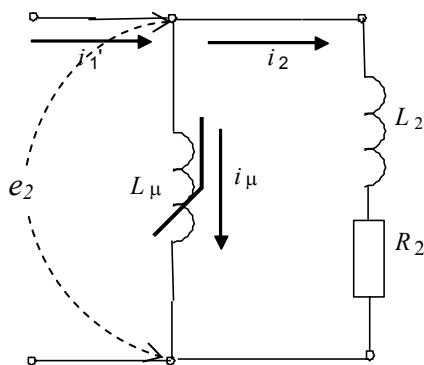
$$L_\mu \cdot \frac{di_\mu}{dt} = R_2 \cdot i_2 + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt}.$$

Анализ на случай d:

1. Началните условия са нулеви и съответстват на максимално значение на аperiodичната компонента. Това е най-малко вероятният случай, тъй като $\psi_u = 0$ и $u \cong 0$, а пробив на изолацията в такъв случай е рядкост [Федосеев, стр. 92].
2. Резултатът е сума на периодични и аperiodични компоненти. Значими са първата и четвъртата компоненти.
3. Наличието на аналитичен израз за крайния резултат прави възможен пълен теоретичен анализ.

4. Нелинеен ТТ в преходен режим

4.1. Еквивалентна схема



Фиг. 6

4.2. Основни уравнения

Нелинейността е в материала на магнитопровода на ТТ. Нелинейност на товара (релетата) не се отчита.

$$\begin{cases} i_1' = i_\mu' + i_2, \\ \frac{d\Psi_2}{dt} = e_2 = R_2 \cdot i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt}, \\ \Psi_2(i_\mu) \end{cases}$$

$$H \cdot l_m = w_1 \cdot i_\mu; \quad i_\mu' = \frac{H \cdot l_m}{w_1} \cdot \frac{w_1}{w_2} = \frac{H \cdot l_m}{w_2},$$

$$\Psi_2 = B \cdot s_m \cdot w_2; \quad \frac{d\Psi_2}{dt} = \frac{dB}{dt} \cdot s_m \cdot w_2.$$

4.3. Апроксимиране на нелинейността

- Апроксимиране с линейна по части функция
- Апроксимиране с функция $H = \sinh(B)$.
- Опростено апроксимиране с прави линии

Пример за електротехническата стомана TERNI-ARMCO M4 T28 (H_{eff} [A/m]; B_{max} [T])

Според означенията на фиг. 7:

A – намагнитваща характеристика

H_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10.9	12	13.5	15
B_{max}	0.021	0.056	0.094	0.14	0.18	0.25	0.31	0.40	0.46	0.54	0.6	0.7	0.82	0.92

H_{eff}	20	23.5	30	40	50	100	200	300	1000	2000
B_{max}	1.26	1.35	1.56	1.63	1.665	1.74	1.785	1.81	1.91	2.0

C – права, която апроксимира областта на насищане

$$H_{\text{eff}} = [0; 2000];$$

$$B_{\text{max}} = [1.776; 2.000].$$

E – права, която апроксимира линейната област преди насищането

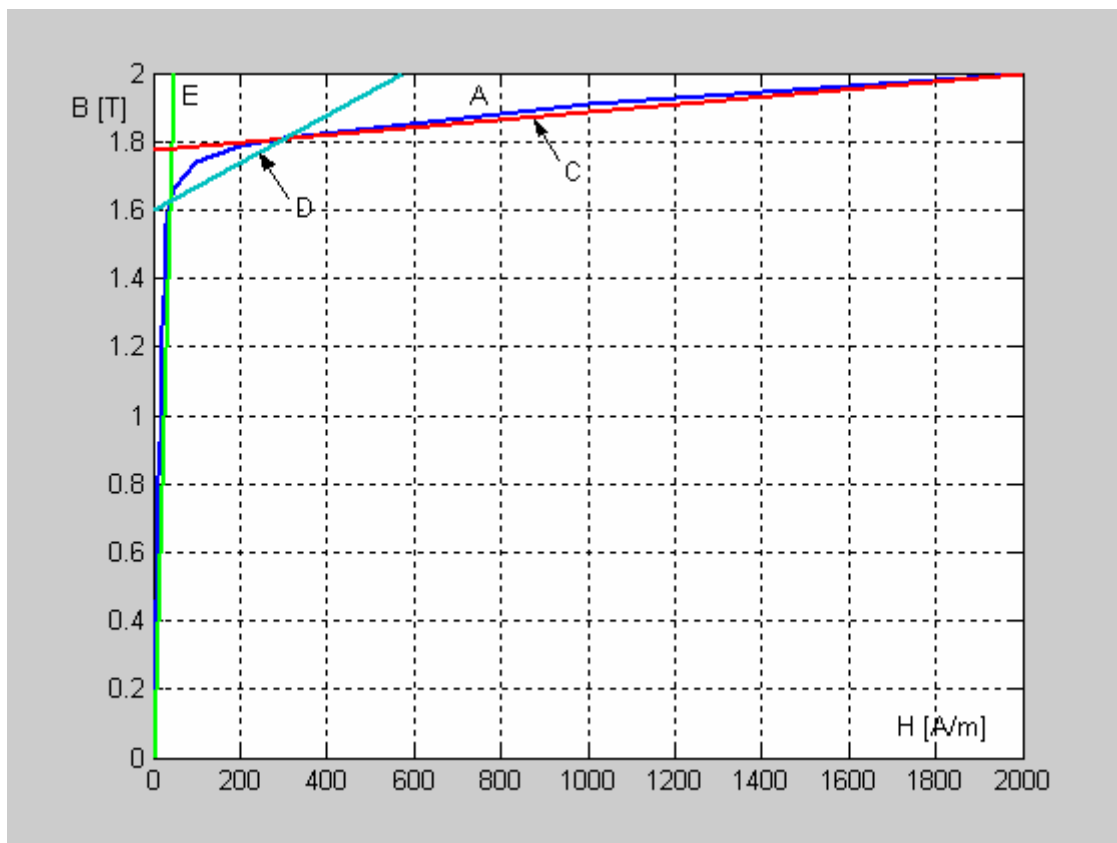
$$H_{\text{eff}} = [0; 49.08];$$

$$B_{\text{max}} = [0; 2.00].$$

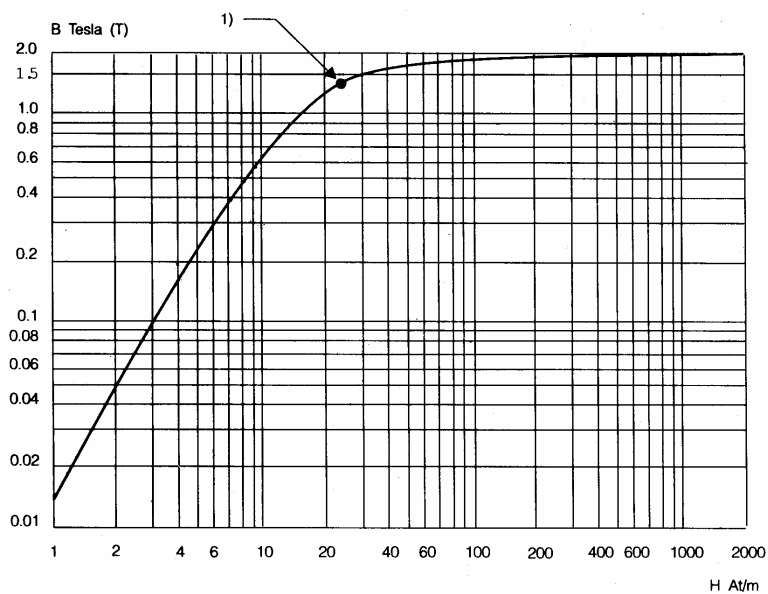
D – права, която апроксимира коляното преди насищането

$$H_{\text{eff}} = [0; 574.4];$$

$$B_{\text{max}} = [1.602; 2.000].$$



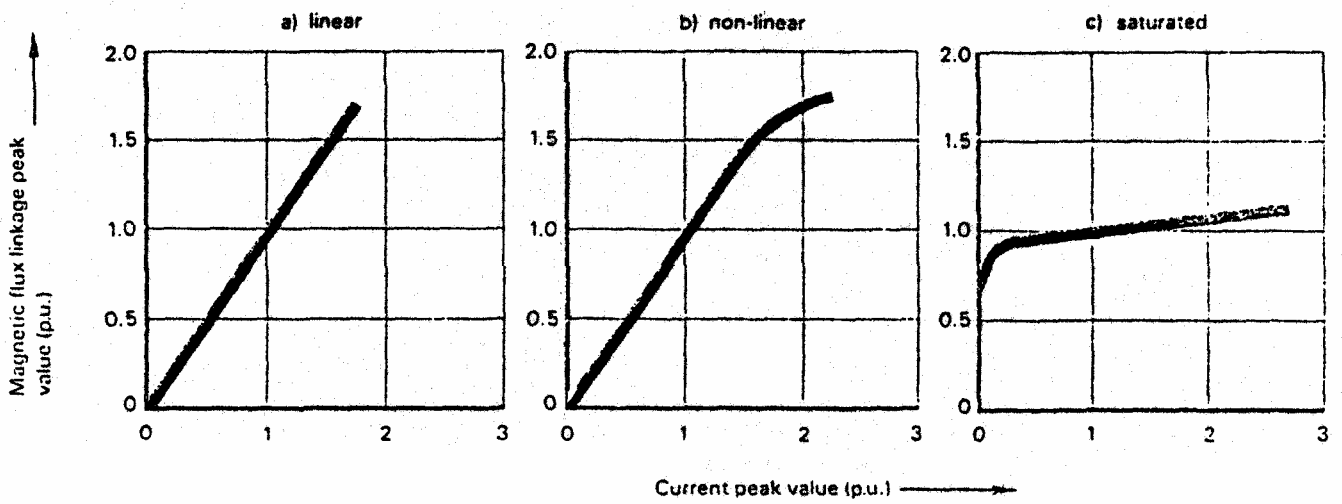
Фиг. 7. TERNI-ARMCO M4T28



1) "Коляно" на характеристиката на намагнитване според BS 3938-1973

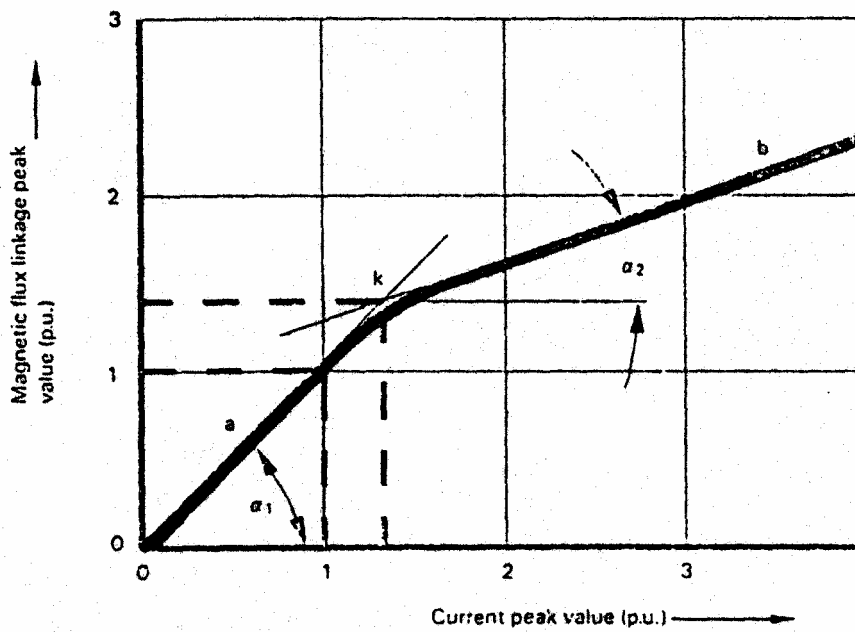
Фиг. 8. Стандартна характеристика на намагнитване на ядрото за защита

289 (2) © IEC Reactors



Types of magnetic characteristic for shunt reactors (examples).

IEC Publication 289: 1988. Reactors



- α_1 = slope angle of the characteristic in the non-saturated part
- α_2 = slope angle of the characteristic in the saturated part
- k = saturation knee point, intersection of the two straight lines a and b

Parameters for non-linear magnetic characteristic (example).

Фиг. 9. Характеристики на намагнитване според публикацията 289 на IEC, 1988 г.

Knee point according to IEC 60044-1 class PX

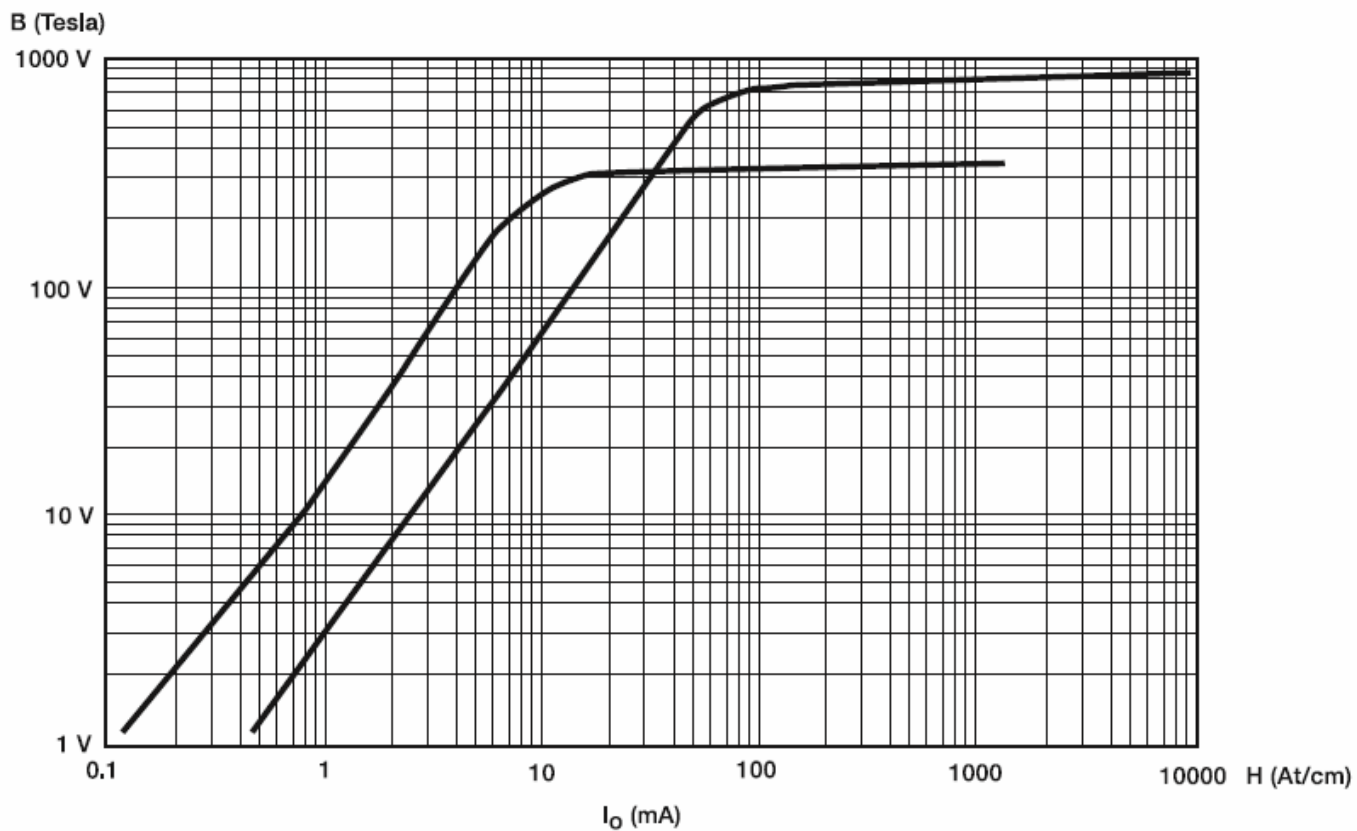


Figure 2.2

Typical magnetizing curve for protective and metering cores

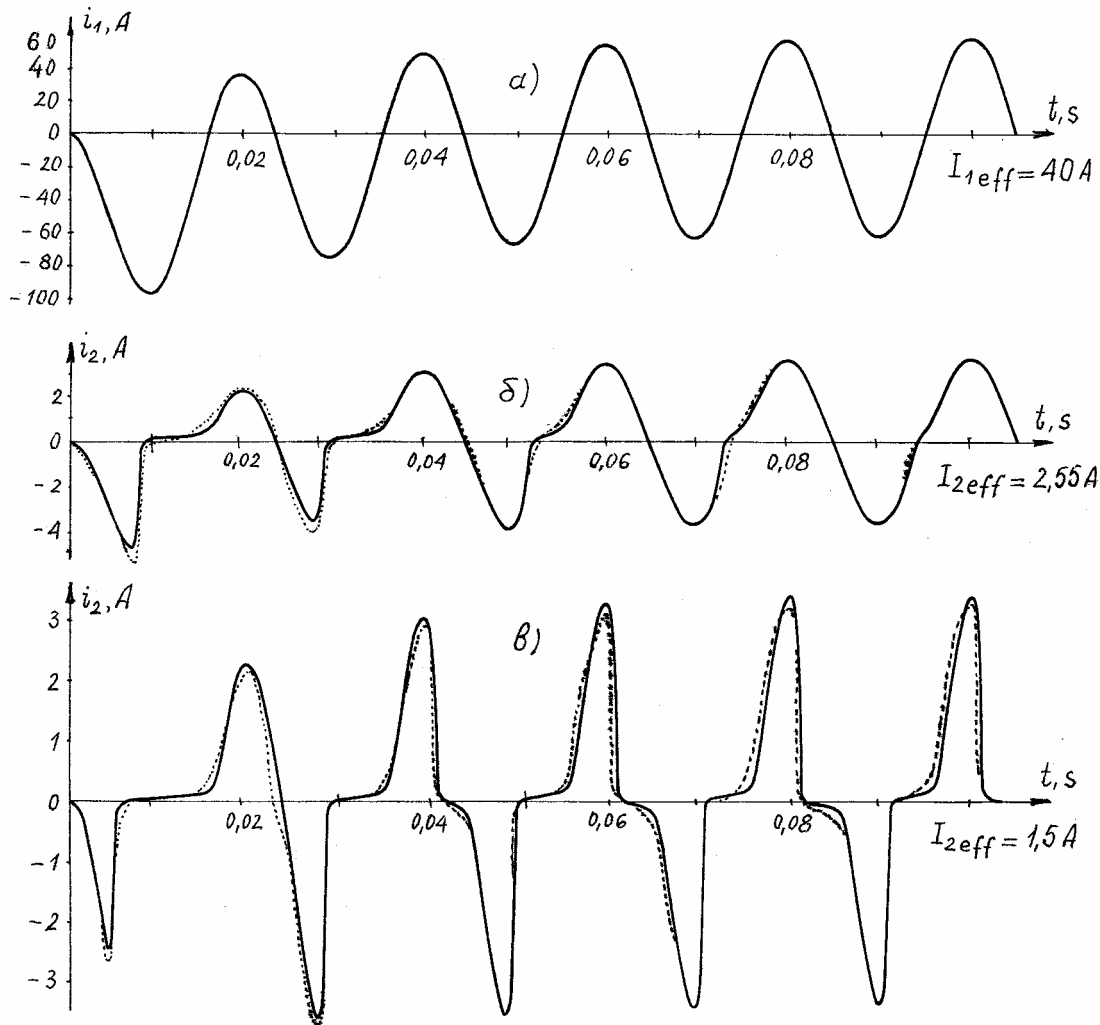
Фиг. 10. Характеристики В(Н) на двата вида ядра на ТТ: за измерване и за защита

4.4. Примери за работа на ТТ в областта на насищането:

Пример ТТ-01. Първичният ток има периодична и аperiодична компонента

Данни за ТТ: първични навивки $w_1=4$; вторични навивки $w_2=60$; съпротивление $R_2=0,0962\Omega$. Формата на магнитопровода е тороидална, навивките са разположени равномерно, така че може да се пренебрегнат потоците на разсейване и $L_{p2}\approx 0$.

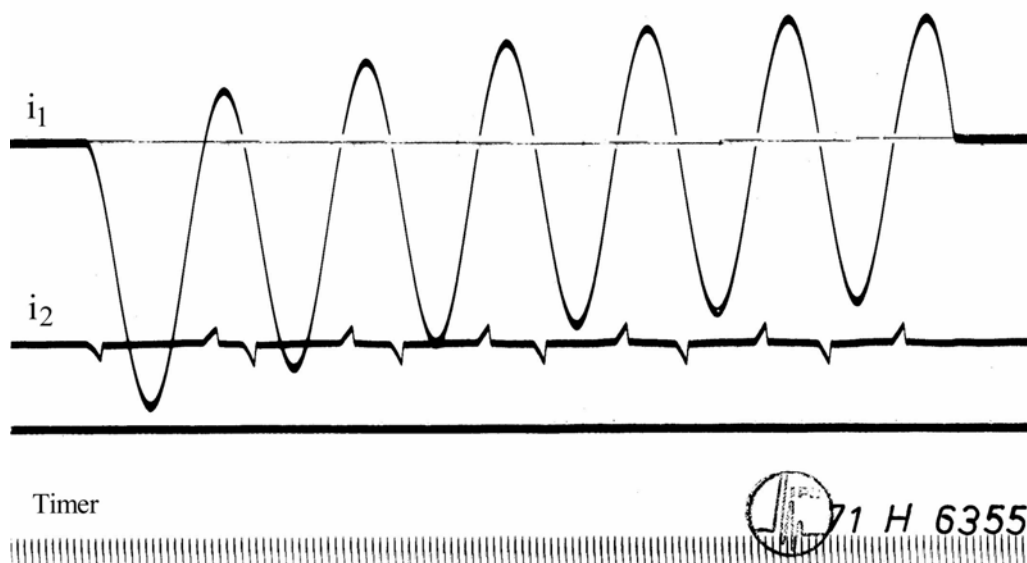
Непрекъснатата линия – експеримент; пунктирна – изчисления.



Фиг. 11

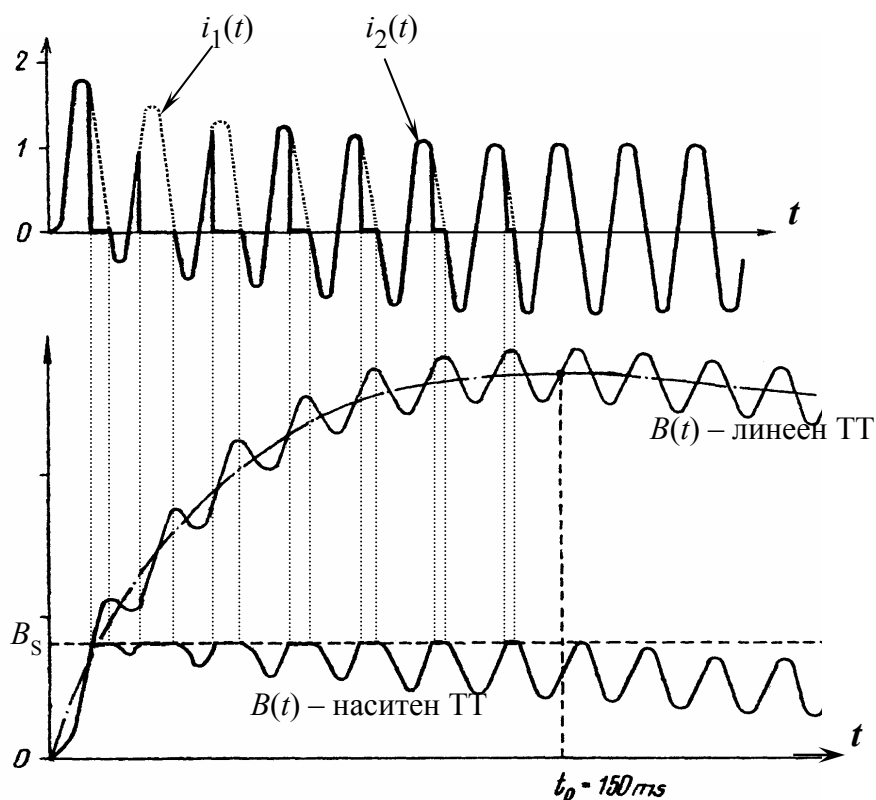
- а) Първичен ток $I_{1eff} = 40 A$.
- б) Вторичен ток при $R_2 = 7.5 \Omega$ и $\psi_u = 0^\circ$.
- в) Вторичен ток при $R_2 = 30 \Omega$ и $\psi_u = 0^\circ$.

Пример ТТ-02. Първичният ток е за проверка на динамичната устойчивост на ТТ.



Фиг. 12. Ток с аperiodична компонента и дълбоко насищане

4.5. Проследяване на процеса на намагнитване при насищане и правоъгълен хистерезисен цикъл



Работа на токов трансформатор в преходен режим

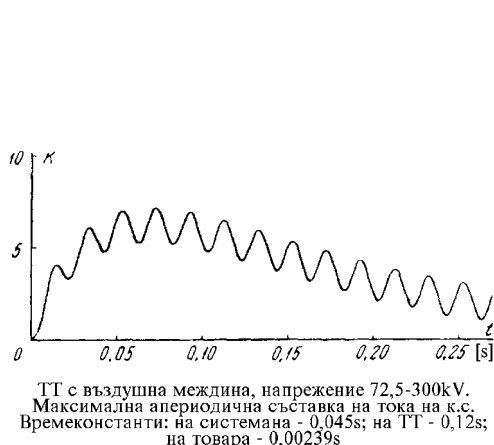
Фиг. 13

5. Избор на ТТ по условията на преходния режим

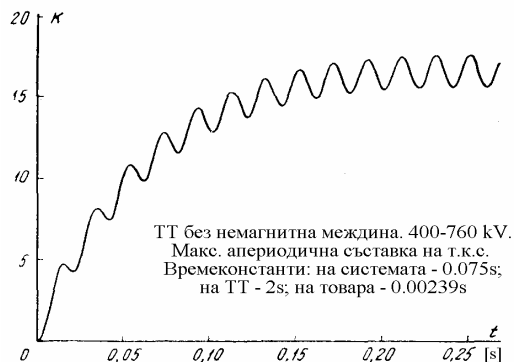
$$m_{10t} = \frac{m_{10}}{k \cdot k_r \cdot k_{\text{товар}}}$$

k – от графики;

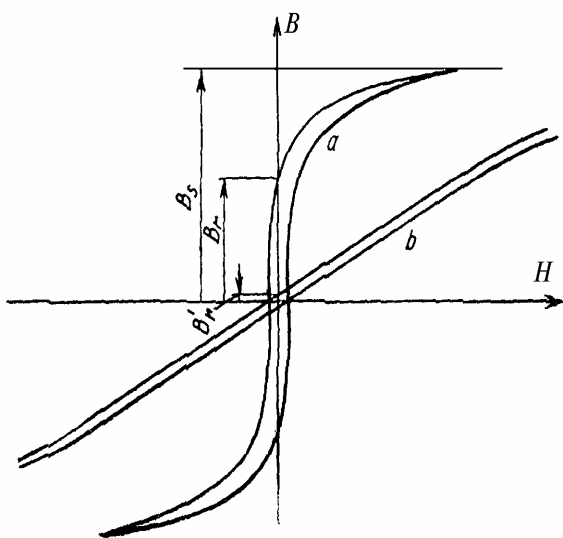
$$k = \frac{\text{Теоретична стойност на } B \text{ в преходния режим}}{\text{Максимална стойност на } B \text{ в установения режим}}$$



Фиг. 14



Фиг. 15



$$k_r = \frac{B_s}{B_s - B_r};$$

$k_r=1$ – за магнитопровод с въздушна междина;
 $k_r= 2\div 3$ – за магнитопровод без въздушна междина;

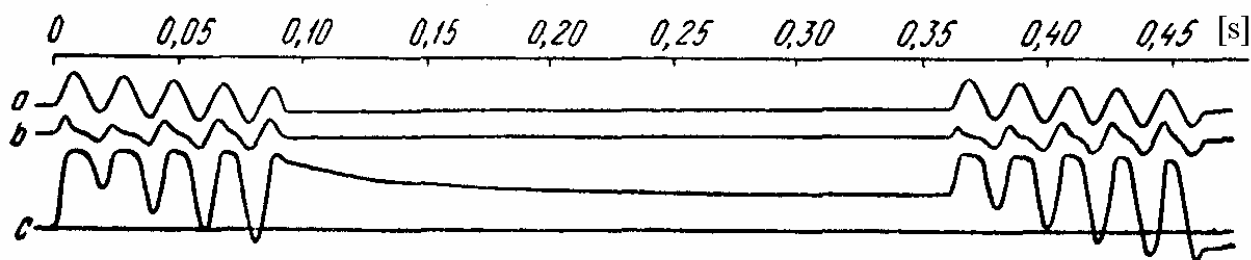
Хистерезисни цикли на магнитопровод на ТТ
 а) Магнитопровод без въздушна междина;
 б) Магнитопровод с въздушна междина

Фиг. 16

Влияние на характера на товара

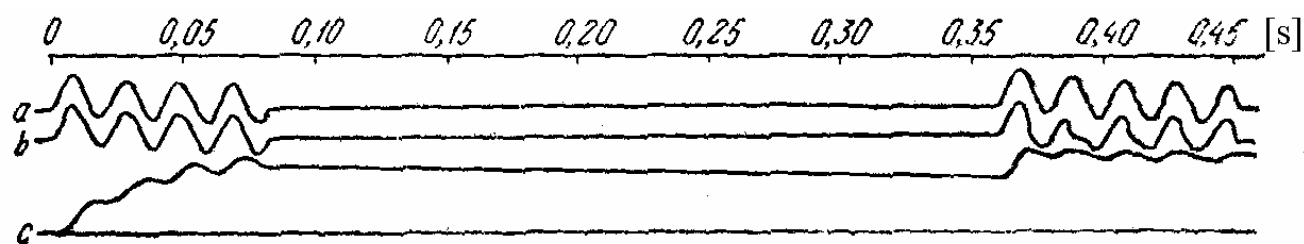
- $k_{\text{товар}} = 2$ индуктивен товар на ТТ
- $k_{\text{товар}} = 1 + \omega T_a$ активен товар на ТТ
- $k_{\text{товар}} = 1 + \omega T_a \cos\phi_2 + \sin\phi_2$ активно-индуктивен товар на ТТ

Влияние на АПВ



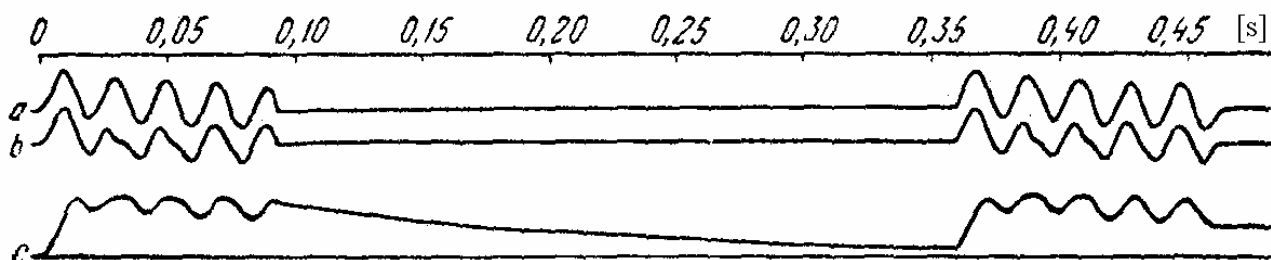
ТТ без немагнитна междина, товар (45VA+5.8VA), БАПВ

Фиг. 17



ТТ без немагнитна междина, малко натоварване (5.8VA), БАПВ

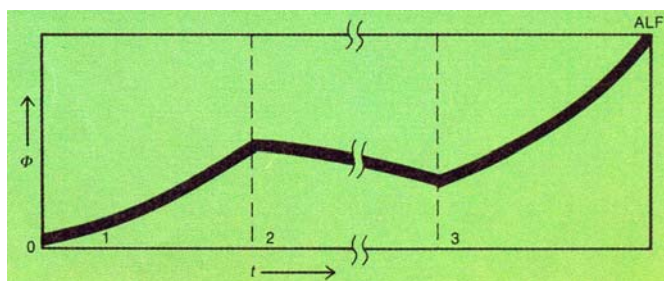
Фиг. 18



ТТ с немагнитна междина, товар (45VA+9.3VA), БАПВ

Фиг. 19

а) Приведен първичен ток; б) вторичен ток; в) индукция в магнитопровода

Фиг. 20. Магнитно състояние Φ на ТТ при АПВ

1 – първа проява на к.с., 2 – АПВ, 3 – повторна поява на к.с. (неуспешно АПВ), ALF – фактор на допустимата грешка (m_{10})

6. Пример за избор на ТТ.

Препоръки при избор на ТТ за защитата на АВВ REL 521

6.1. Избор на ТТ

ТТ трябва да са от типа ТРХ или ТРУ и клас на точност 5Р или по-добър. Характеристиките на линеаризираните ТТ тип ТРZ не са добре дефинирани, а ъгловата грешка буди притеснение и следователно е под въпрос препоръчването му за релетата на АВВ.

Преводното отношение на ТТ трябва да се избере така, че токът към защитата да бъде по-голям от минималния ток на заработване на защита за повредата, която трябва да бъде открита. Минималният ток на заработване на дистанционната защита е 20% от номиналния, а за земната МТЗ е 5%.

6.2. Обосноваване на изискванията към ТТ

Изискванията за това защитно устройство са резултат от изследванията, проведени на мрежовия симулатор на АВВ. Проверките са проведени с аналогови модели на ТТ с настройващи се сечения на сърцевината, въздушни междини, дължина на магнитопровода и брой на навивките на първичните и вторичните намотки. Настройките са представителни за ТТ тип ТРХ и ТРУ. Резултатите не са валидни за ТТ тип ТРZ.

Работата на защитата се проверява при две условия: симетричен и напълно несиметричен ток на повредата. **Времеконстантата при проверките е около 120 ms.** Посочените по-долу изисквания са приложими за такива симетрични и напълно несиметрични токове на повредата.

Проверките са при 1 ф.к.с, междуфазни к.с. и 3 ф.к.с. за повреди в началото, по протежение и в края на обхвата на I-ва зона. Защитата се проверява по отношение на посочност, сигурност и чувствителност.

Всички проверки се провеждат без остатъчна индукция в магнитопровода на ТТ. За този случай са валидни изискванията, посочени по-долу. Много е трудно да се дават препоръки за допълнителното намагнитване от остатъчната индукция. Те зависят от изискванията за надеждност и цена.

Когато ТТ е от типа ТРУ, остатъчната индукция не се отчита поради наличието на немагнитна междина.

За ТТ тип ТРХ има малко вероятност от проблеми в случай, че се сумира максимален остатъчен магнитен поток с поток от т.к.с. в същата посока. Максимално влияние на аперiodичната съставка на т.к.с. се получава, когато к.с. стане в момент, когато напрежението преминава през нулата (0°). Изследванията показват, че 95% от повредите в електрическите мрежи стават, когато началната фаза на напрежението е между 40° и 90°.

6.3. Ток на повредата

Изискванията към ТТ се основават на максималните т.к.с. в различни места. Токовете на 1 ф.к.с. надвишават токовете на 3 ф.к.с. в случаите, когато импедансът на нулева последователност в контура на повредата е по-малък от този на права последователност.

6.4. Импеданс на съединителните проводници и товара

Пресмятането и измерването на тези импеданси е разгледано в тема 12А “Токови трансформатори за релейни защиты в условия на установен режим”.

6.5. Изисквания към ТТ, работещи съвместно със защитата REL 521

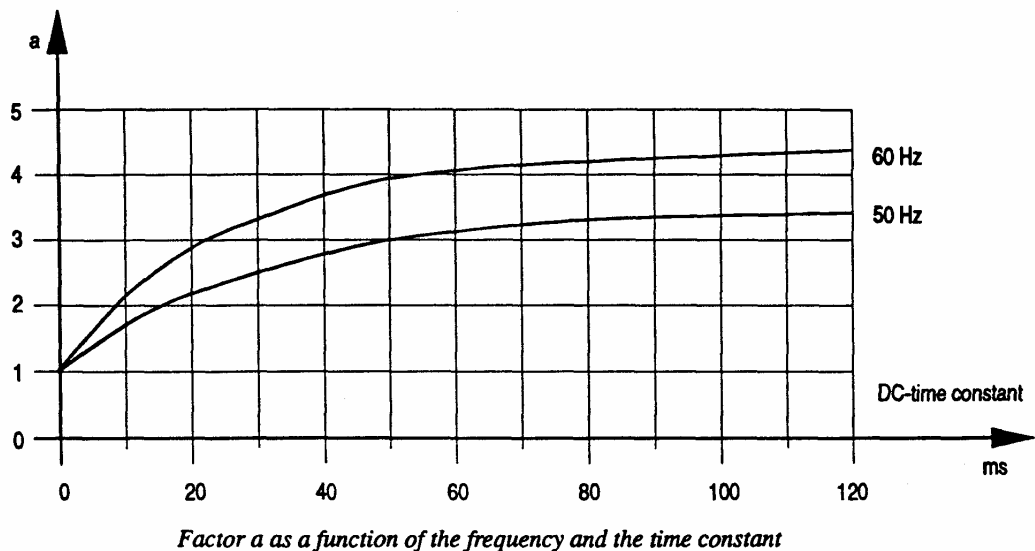
Вторичното е.д.н. от еквивалентната схема на ТТ трябва да се подчинява на двете условия, посочени по-долу.

Първо условие:

$$E_{2\max} > \frac{I_{k\max} \cdot I_{sn}}{I_{pn}} \cdot a \cdot \left(R_{CT} + R_L + \frac{0.5}{I_R^2} \right),$$

където:

- $I_{k\max}$ максимален първичен ток с основна честота за повреда в права и обратна посока спрямо защитата
- I_{pn} номинален първичен ток на ТТ
- I_{sn} номинален вторичен ток на ТТ
- I_R номинален ток на защитното устройство
- R_{CT} активно съпротивление на вторичната намотка на ТТ
- R_L активно съпротивление на вторичните проводници и товара на ТТ
- a Този фактор е функция на основната честота на системата и на времеконстантата на затихване на апериодичната съставка на тока на к.с. в права и обратна посока спрямо защитата. Отчита се от фиг. 22.



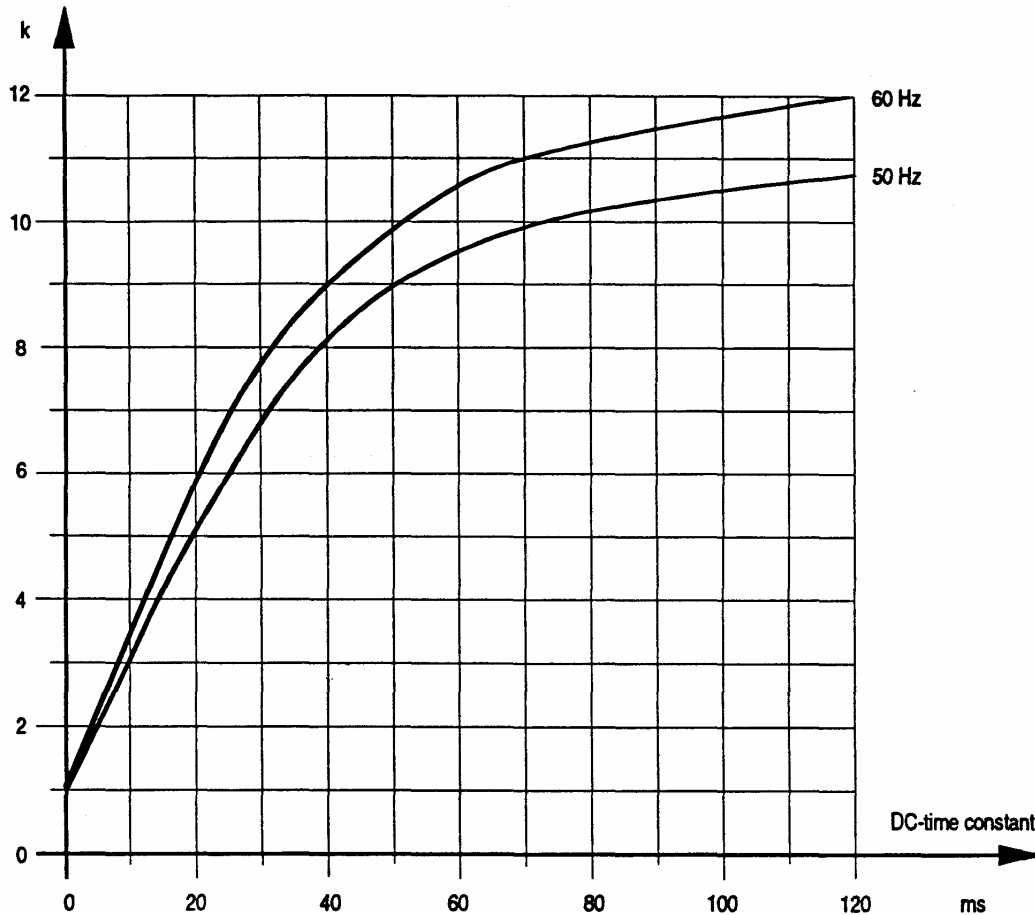
Фиг. 21. Коефициентът a като функция на честотата и времеконстантата

Второ условие:

$$E_{2\max} > \frac{I_{k\text{ zone } 1} \cdot I_{sn}}{I_{pn}} \cdot k \cdot \left(R_{CT} + R_L + \frac{0.5}{I_R^2} \right),$$

където:

- $I_{k\text{ zone } 1}$ максимален първичен ток с основна честота при 3 ф.к.с. в края на първата зона на защитата
- k Този фактор е функция на основната честота на системата и на времеконстантата на затихване на апериодичната съставка на тока при 3 ф.к.с. в края на първа зона. Отчита се от фиг. 23. Времеконстантата на затихване на апериодичната съставка на тока е по-малка от 50 ms.



Factor k as a function of the frequency and the time constant

Фиг. 22. Коэффициентът k като функция на честотата и времеконстантата

ABB. Outdoor Instrument Transformers. Application Guide

Catalogue publication 1HSM 9543 40-00en, Outdoor Instrument Transformers, Application Guide, Edition 1, 2004-11

1.2.4. Отчитане на насищането в токови трансформатори (Saturation factor)

С I_{ps} се означава гарантираният измервателен ток (instrument security current) за измервателните ядра на ТТ и токът на граничната точност (accuracy limit current) за защитните ядра на ТТ. Отношението на тока I_{ps} към номиналния (обявения) първичен ток (rated primary current) I_{pn} се нарича

- фактор на гарантираното измерване (**Instrument Security Factor**) FS за измервателните ядра и
- фактор на граничната точност (**Accuracy Limit Factor**) ALF за защитните ядра на ТТ.

Практически тези два фактора за насищането са еднакви независимо, че се дефинират с различни граници на грешките. Ако първичните токове се изменят от номиналния I_{pn} до токът на насищане I_{ps} , то индуктираното напрежение и магнитната индукция се изменят приблизително в същите пропорции.

$$(FS) ALF = \frac{I_{ps}}{I_{pn}} \approx \frac{B_s}{B_n}$$

Поради хоризонталния характер на кривата на намагнитване в областта на насищане, то индукцията на насищане B_s ще изглежда приблизително като константа, независимо от големината на товара. Следователно индукцията при товар B_n ще бъде директно пропорционална на импеданса на товара и горната формула ще бъде записана като:

$$(FS) ALF \approx \frac{1}{B_n} \approx \frac{1}{Z}$$

Формулата показва, факторът на насищането зависи от големината на товара. Този фактор винаги може да се приведе към определен товар. Ако е зададен номиналният фактор на насищането (rated saturation factor) (факторът на насищането при номинален товар), то факторът на насищането при друг товар може да се представи грубо чрез формулата:

където

ALF_n = номинален фактор на насищането,

$$ALF \approx ALF_n \cdot \frac{Z_n}{Z},$$

Z_n = номинален товар, включващ активното съпротивление на вторичната намотка,

Z = действителен товар, включващ активното съпротивление на вторичната намотка.

Бележка

Вътрешното активно съпротивление при 75°C [Ω] **Rct** (internal resistance at 75°C in ohm) тук не е включено. За по-точни изчисления вижте глава 2.6.3.

03с. Класове на ядрата на ТТ за защита (P, TPS, TPX, TPY, TPZ)

IEC 44-6. Instrument transformers. Part 6: Requirements for protective current transformers for transient performance. IEC 1992

МЕК 44-6. Измервателни трансформатори. Част 6: Изисквания към ядрата на токовите трансформатори за защита при работа в преходен режим. МЕК 1992

3.5. Класове на ядрата на ТТ за защита: Ядрата на токовите трансформатори за защита се класифицират според характеристиките на функциониране (експлоатационните качества) както следва:

Клас P:	<p>Допустимата грешка се дефинира чрез пълната (общата) грешка ($\hat{\varepsilon}_c$) при установен симетричен първичен ток. Няма ограничаване на остатъчния магнитен поток.</p> <p>Предназначен е да предава информационен сигнал за защитни и управляващи устройства.</p>
Клас TPS:	<p>Токов трансформатор с малък магнитен поток на разсейване, за който експлоатационните качества се дефинират чрез вторичната характеристика на намагнитване и допустимата грешка на преводното отношение от броя на навивките. Няма ограничаване на остатъчния магнитен поток.</p>
Клас TPX:	<p>Допустимата грешка се дефинира чрез амплитудната моментна грешка $\hat{\varepsilon}$ по време на специфициран цикъл от преходен процес. Няма ограничаване на остатъчния магнитен поток.</p> <p>3.3. Амплитудната моментна (обща) грешка ($\hat{\varepsilon}$): Максимум на моментната токова грешка, за специфициран цикъл от преходен процес, изразена като процент спрямо амплитудната моментна стойност на номиналния първичен ток на к.с.:</p> $\hat{\varepsilon} = \frac{100 \cdot i_{\varepsilon}}{\sqrt{2} \cdot I_{psc}} (\%)$ <p>[Токов трансформатор без немагнитна междина]</p>
Клас TPY:	<p>Допустимата грешка се дефинира чрез амплитудната моментна грешка $\hat{\varepsilon}$ по време на специфициран цикъл от преходен процес. Остатъчният магнитен поток не надвишава 10% от магнитният поток на насищане.</p> <p>[Токов трансформатор с неголяма немагнитна междина]</p>

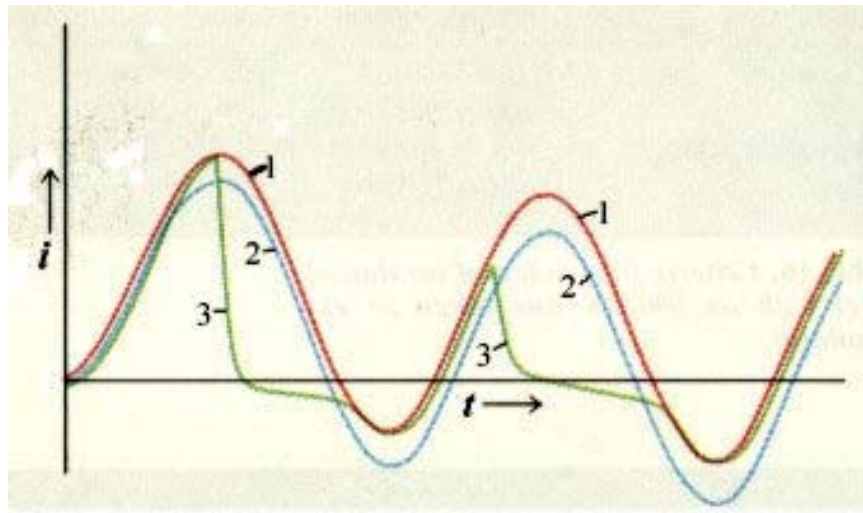
Клас TPZ:

Допустимата грешка се дефинира чрез амплитудната моментна променливотокова грешка ($\hat{\varepsilon}_{ac}$) по време на единично възбуждане (намагнитване) с максимална постояннотокова съставка, като вторичният контур има специфицирана времеконстанта. Не се поставят условия за допустимата грешка от постояннотоковата съставка. Остатъчният магнитен поток е пренебрежим.

3.4. Амплитудна моментна променливотокова грешка ($\hat{\varepsilon}_{ac}$): Максималната моментна грешка от променливотоковата съставка се изразява като процент спрямо амплитудната моментна стойност на номиналния първичен ток на к.с.:

$$\hat{\varepsilon}_{ac} = \frac{100 \cdot i_{\varepsilon ac}}{\sqrt{2} \cdot I_{psc}} (\%)$$

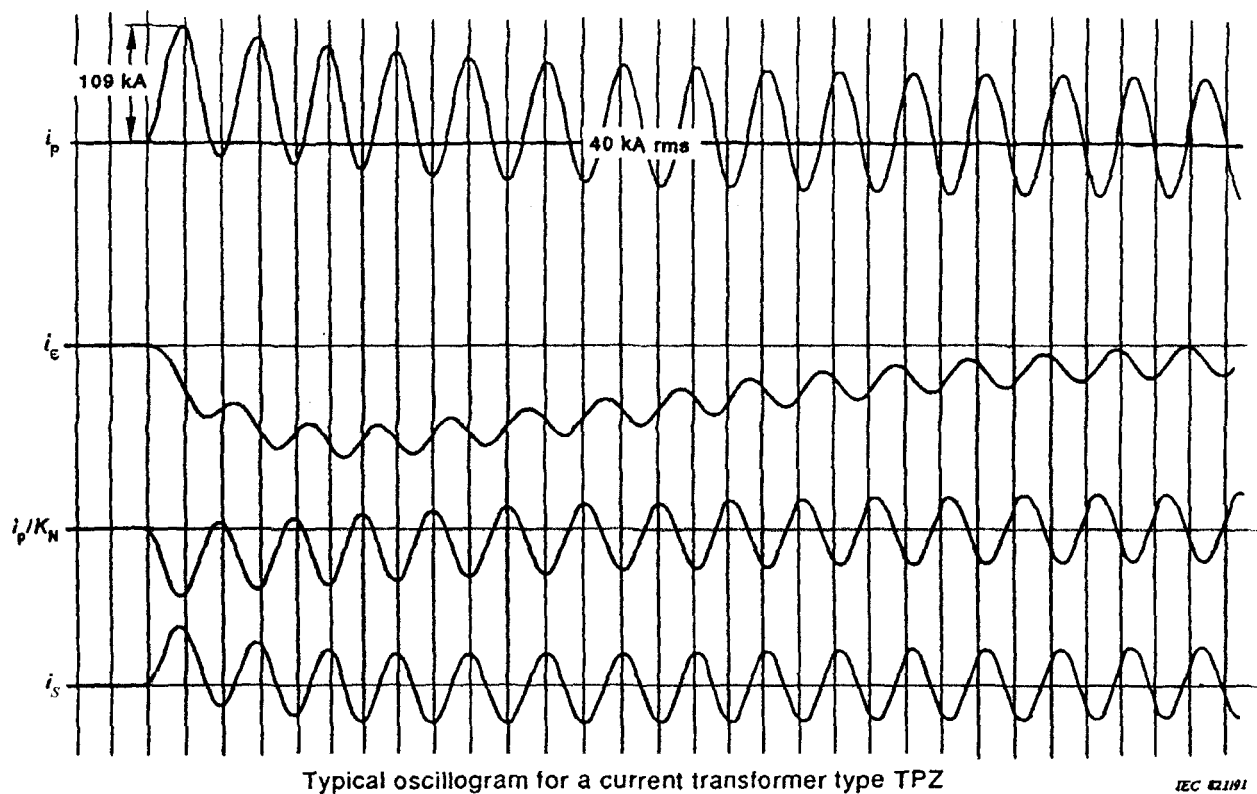
[Токов трансформатор с голяма немагнитна междина]



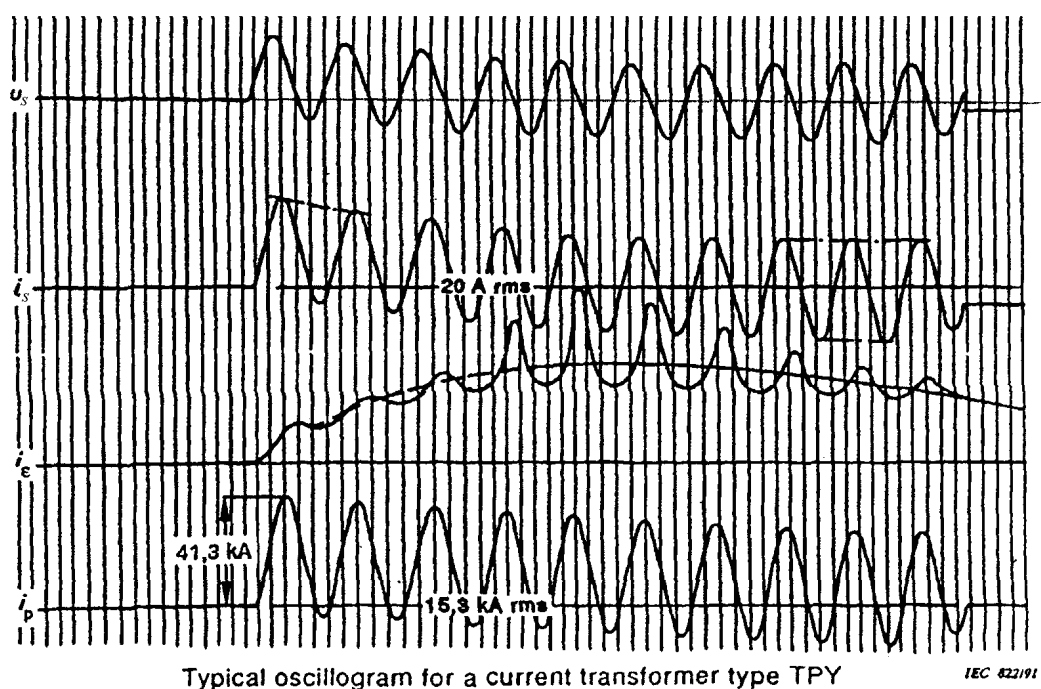
Преходен вторичен ток на ТТ

- 1 - Приведен първичен ток (червен);
 - 2 - ТТ тип TPZ (син), даващ определена ъглова грешка;
 - 3 - Конвенционален ТТ - тип TPX (зелен) в режим на насищане.
- Времеконстанта на затихване 40 ms.
15-кратен първичен ток.

Фиг. 23. Деформиране на вторичния ток при ТТ тип TPX и TPZ



Фиг. 24. Типична осцилограма за ТТ тип TPZ (с голяма въздушна междина)



Фиг. 25. Типична осцилограма за ТТ тип TPY (с малка въздушна междина)

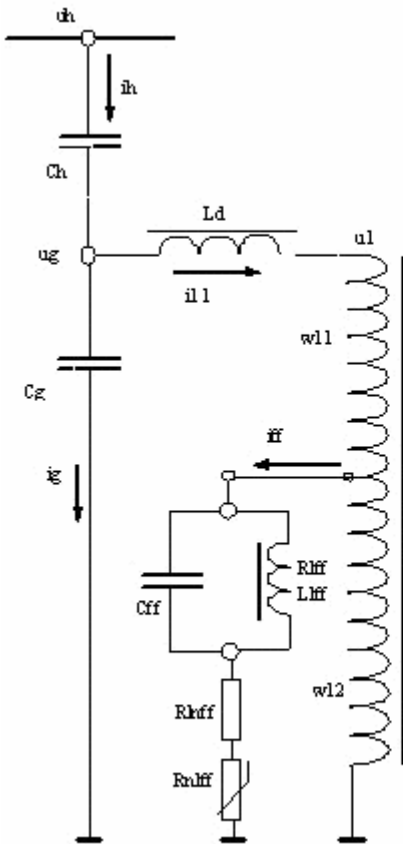
Фигурите 24 и 25 показват резултати от осцилографиране при изпитване в преходен режим на ТТ тип TPZ и TPY по диференциална схема с еталонен ТТ. Индексите на означенията показват следното:

- i_ϵ – ток на грешката (намагнитващ ток),
- i_p – първичен ток,
- i_s – вторичен ток.

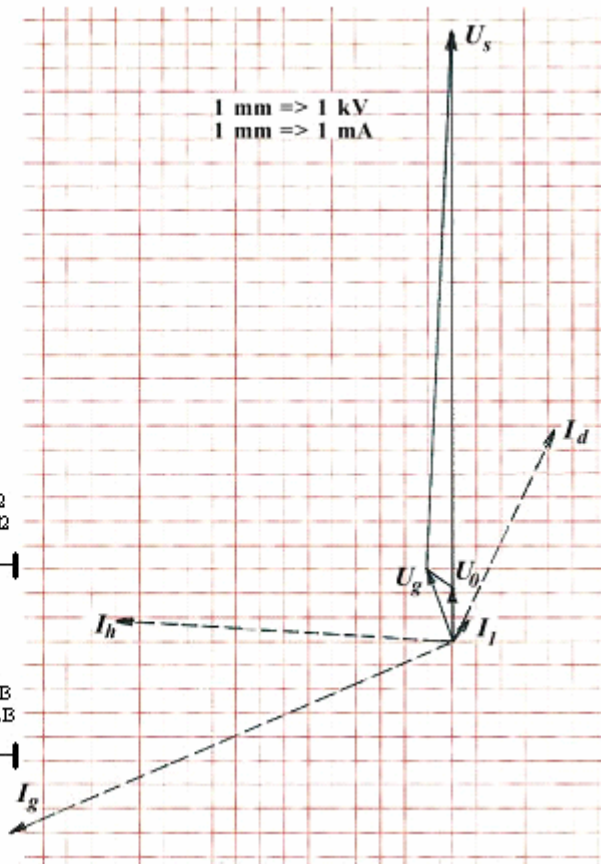
03В. Капацитивни напрежени трансформатори

1. Устройство, принцип на действие, векторна диаграма

Типичен представител на полуконвенционалните напрежителни преобразователи е капацитивният напрежен трансформатор КНТ (фиг. 1 и фиг. 2).

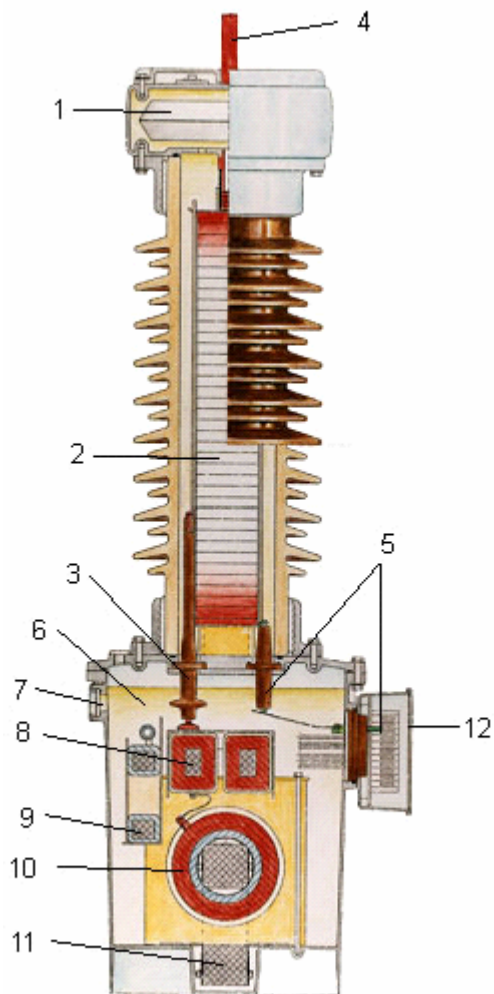


Фиг. 1. Схема на свързване



Фиг. 2. Векторна диаграма

Кондензаторите C_h и C_g реализират капацитивен делител и в междинната точка напрежението става $20/\sqrt{3}$ kV. Кондензаторът C_g има един и същи капацитет за всички първични напрежения (110, 220, 400 и 750 kV), а кондензаторът C_h се прави на степени за всички номинални напрежения. Енергийната система се представя с импеданса Z_s . В междинната точка на делителя с напрежение $20/\sqrt{3}$ kV се включва един електромагнитен напрежителен трансформатор ЕМНТ с първична намотка w_1 и няколко вторични намотки - за измерване w_2 , за защита w_3 и за схема “отворен триъгълник”. Дроселът R_d, L_d е линеен и се използва за компенсиране на ъгловата разлика между захранващото напрежение U_s (uh) и вторичните напрежения. Филтърът L_f, C_f (ферорезонансен филтър) е настроен в резонанс за 50 Hz и в установен режим няма никакво влияние върху схемата. В преходния режим на к.с. този филтър предпазва от появата на субхармонични колебания във вторичния сигнал. Освен ферорезонансният филтър, показан на фиг. 1 като решение на фирмата Passoni & Villa, се прилагат и други варианти, например увеличен активен товар на една от намотките (Русия) или филтър, включен към допълнителна или към някоя от съществуващите вторични намотки (АББ).



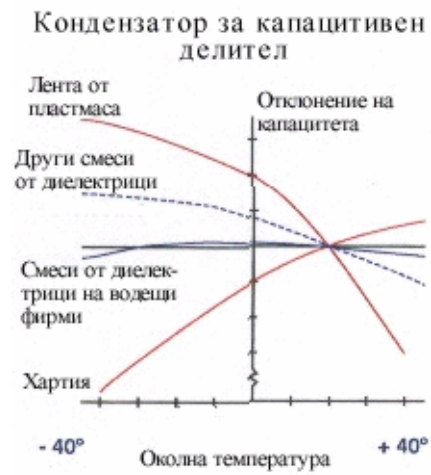
Фиг. 3. Конструкция на кондензаторен напрежен трансформатор КНТ

За КНТ означенията са:

- 1 – разширителна система;
- 2 – елементи на кондензаторите;
- 3 – междинна точка на кондензаторния делител;
- 4 – клемма за първичното напрежение;
- 5 – извод за ниския потенциал на кондензаторния делител, който се използва и за връзка с високата честота;
- 6 – газова възглавница;
- 7 – прозорче за нивото на маслото;
- 8 – компенсиращ дросел;
- 9 – верига за потискане на ферорезонанса;
- 10 – първична и вторична намотки на ЕМНТ;
- 11 – магнетопровод на ЕМНТ;
- 12 – табло с изводи.

2. Технологични особености при КНТ

А. Отклонение на капацитета на кондензаторите при промяна на околната температура

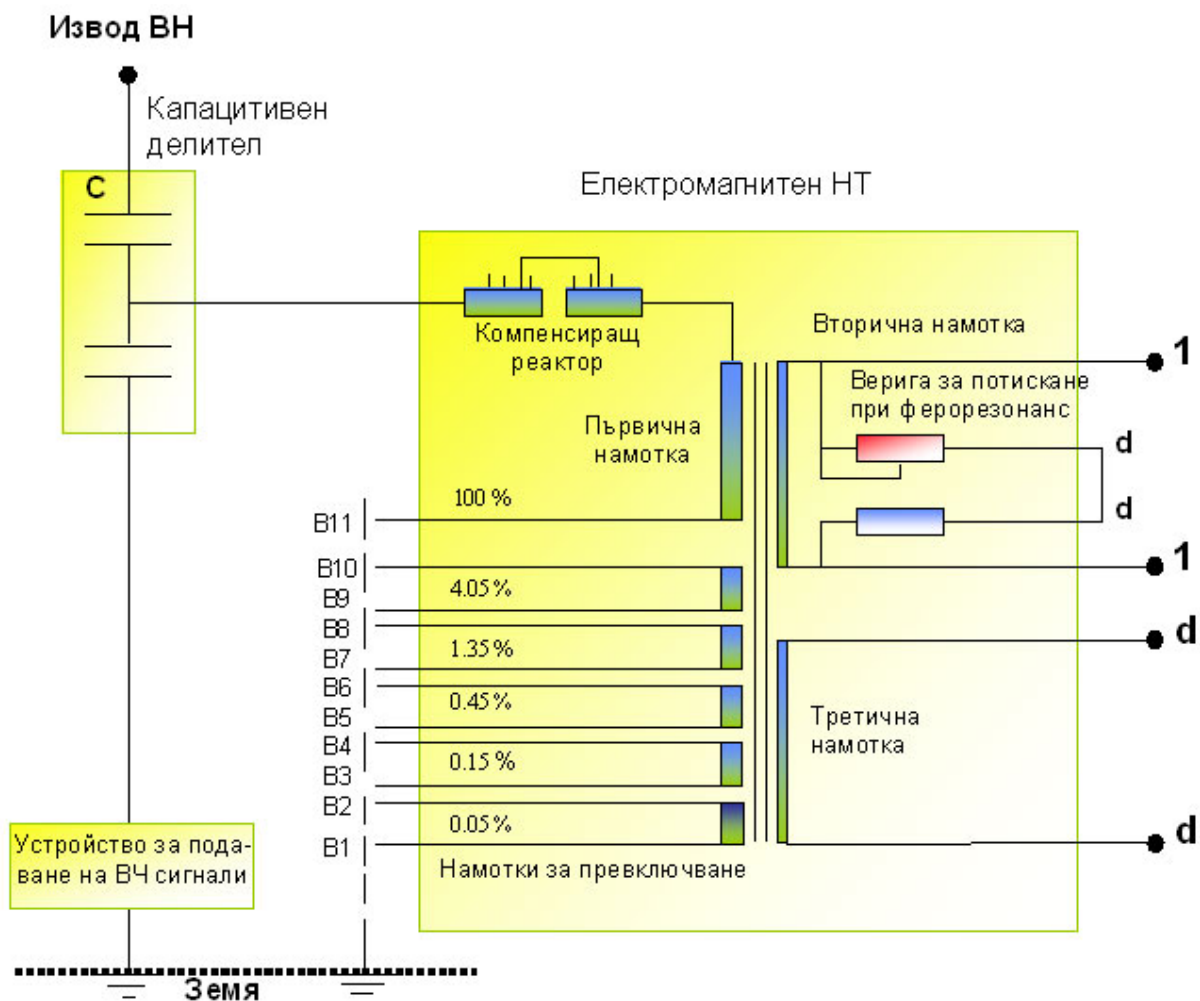


Фиг. 4

Реално влиянието е незначително, защото фирмите-производителки на високоволтови кондензатори за измервателни цели полагат сериозни усилия и имат значителни постижения в правенето на устойчиви елементи. На фиг. 4 е показано качествено влиянието на температурата върху промяната на капацитета. Използват се изолационни материали с различен по знак температурен коефициент на съпротивлението.

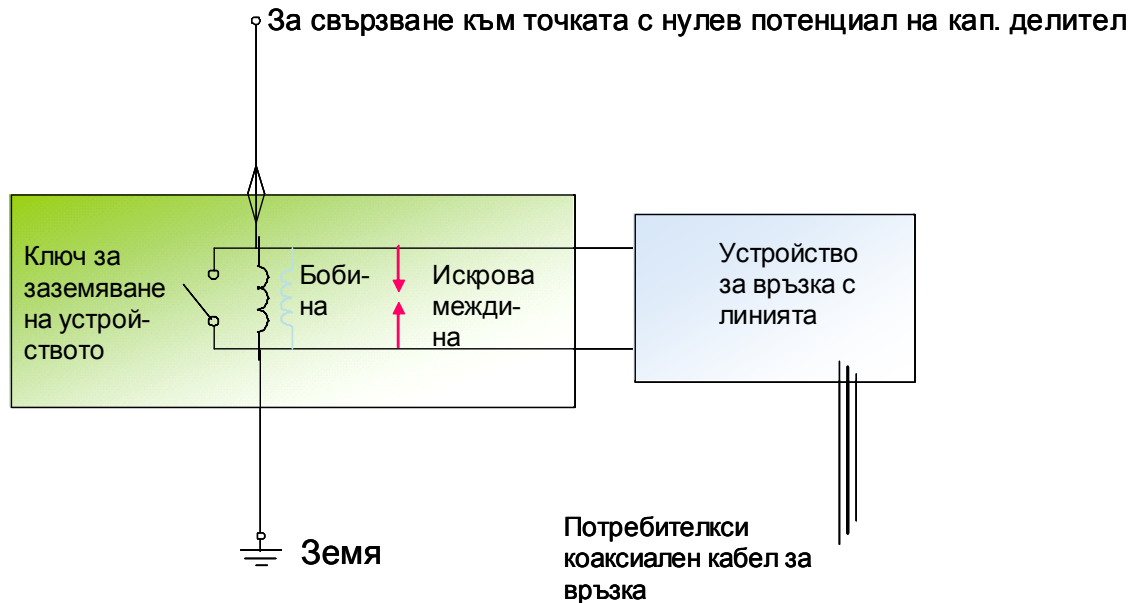
В. Производствен толеранс в големината на капацитета на кондензаторите

Преодолява се като трансформаторът и компенсиращият реактор се изпълняват с множество изводи на намотките, така че реалната схема добива вида от фиг.5



Фиг. 5. Електрическа схема с отклонение на намотките на АББ КНТ

С. Възможност за използване на КНТ като кондензатор за връзка при високочестотна обработка на електропровода (фиг. 6)



Фиг. 6. Устройство за ВЧ връзка с проводника високо напрежение (PLC equipment - Power Line Carrier equipment)

3. Оценка на точността и коректност на договарянето "производител-потребител"

Както при делителя с резистори, при капацитивните делители е проблем зависимостта на изходното напрежение от товара. При капацитивните делители има възможност за компенсиране с индуктивност, свързана последователно между делителя и товара. Ако кондензаторите и реакторите са идеални, възелът на деление може да бъде на произволно ниво на напрежението. В реалните условия е по-добре възелът на деление да стои по-близо до измерваното напрежение, като в познатите случаи той има напрежение спрямо земя $20/\sqrt{3} = 11.55 \text{ kV}$, независимо от реда на напрежение. Проблем е и диапазонът на изменение на товара, даже и неговата линейност.

Особеностите в работата на КНТ са дали отражение и във формулировките, направени в стандартите за тях [1, 2, 3]. Типични са за преходните и ферорезонансни явления, както и за нелинейните товари:

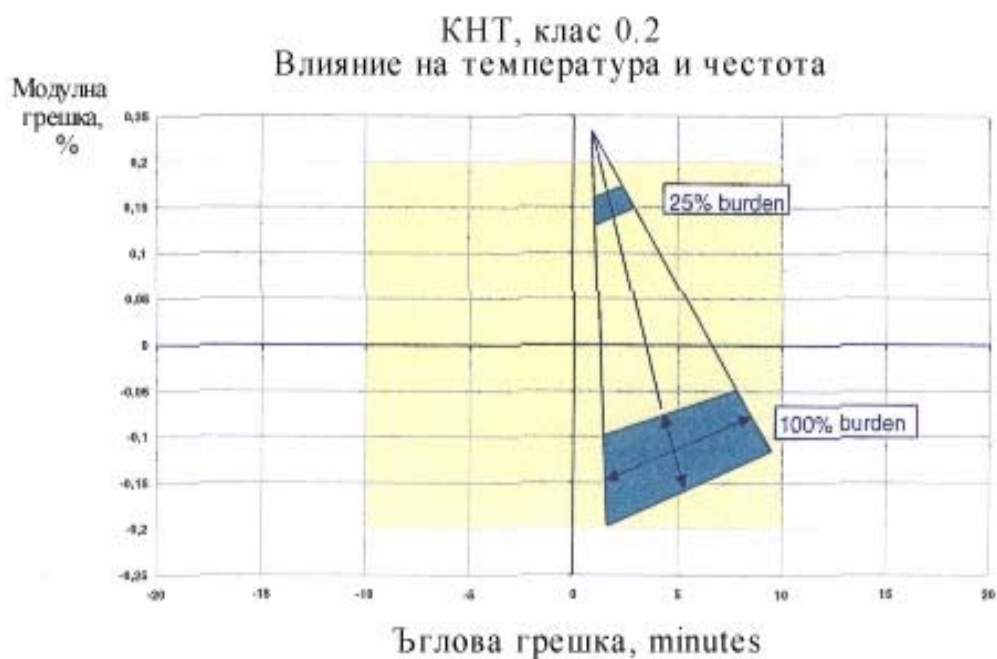
Чл. 51. Изпитване при ферорезонанс

"Ако е предвидено да се използва товар, който има нелинейност (насищане), желателно е да се постигне споразумение между потребителя и конструктора за изпитанията, които трябва да се извършат с товар, равен на споменатия или близък до него."

Чл. 53. Изпитания, отнасящи се до точността

"За съжаление, не е възможно в момента да се препоръчат изпитания, които биха дали задоволителни резултати за степента на въздействие на внезапните температурни промени, на особените атмосферни явления, на паразитните капацитети и токовете на утечка върху модулните и ъгловите грешки. Тази степен би могла само да се изчисли на базата на теоретични съображения."

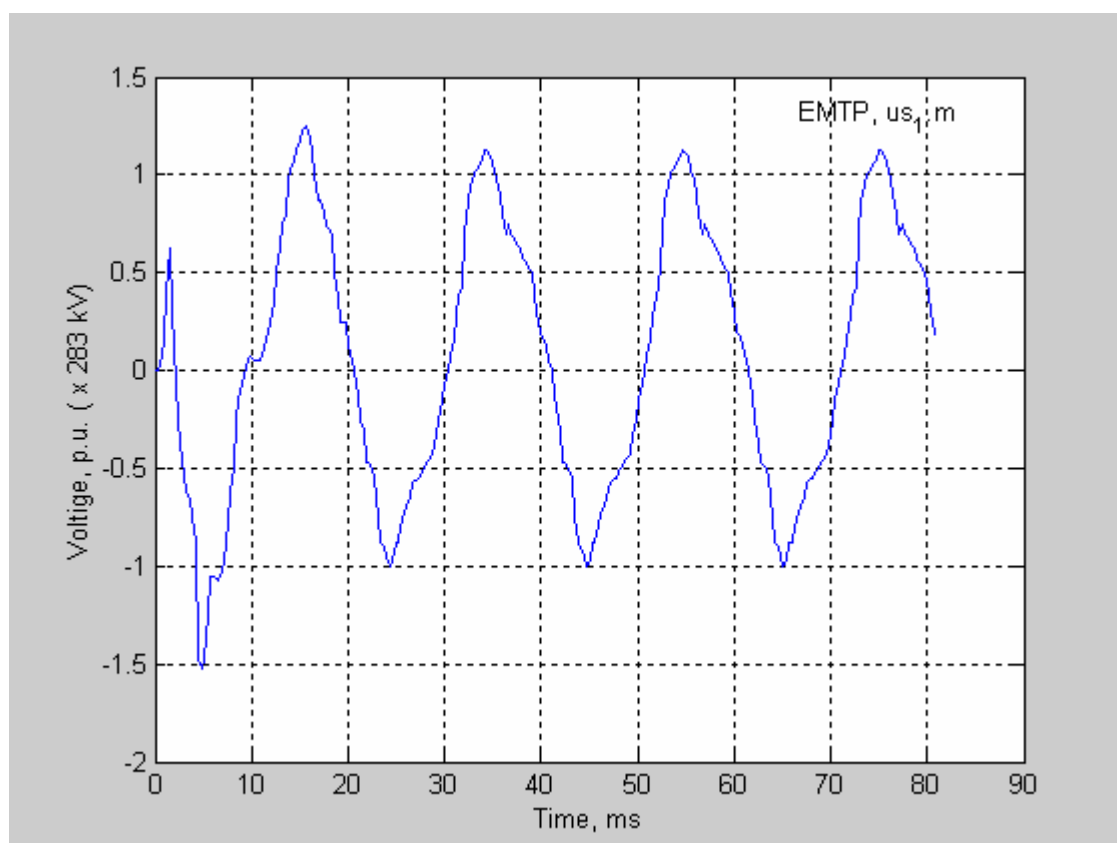
Проблем е влиянието на промените на честотата върху модулната и ъгловата грешка (фиг. 7). Същевременно трябва да са известни и честотните характеристики на КНТ с оглед на работа на съоръженията при честоти, значително под номиналната и при висши хармоници.



Фиг. 7. Пълно представяне на зависимостта на грешките от температурата, честотата (диапазоните не са обозначени) и товара

4. Работа на КНТ при сложна форма на входното напрежение

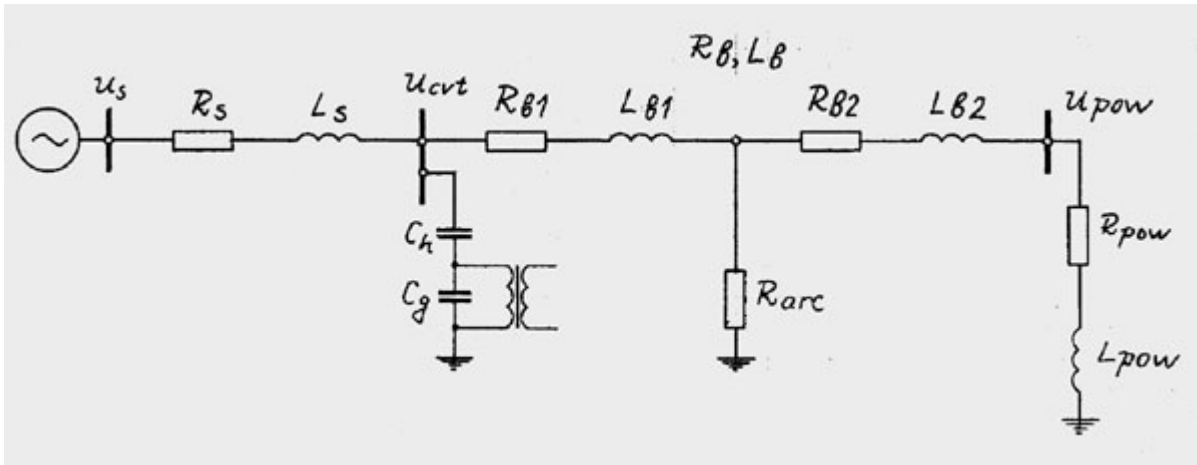
Проблем е работата на КНТ при сложна форма на входното въздействие. Пример: реална форма на напрежението в преходен режим (фиг. 8).



Фиг. 8. Реална форма на първичното напрежение (File: us₁.m)

5. Поведение на КНТ в зависимост от мястото на монтиране в ЕЕС

КНТ се държат в преходен режим по различен начин в зависимост от мястото на монтиране в ЕЕС.

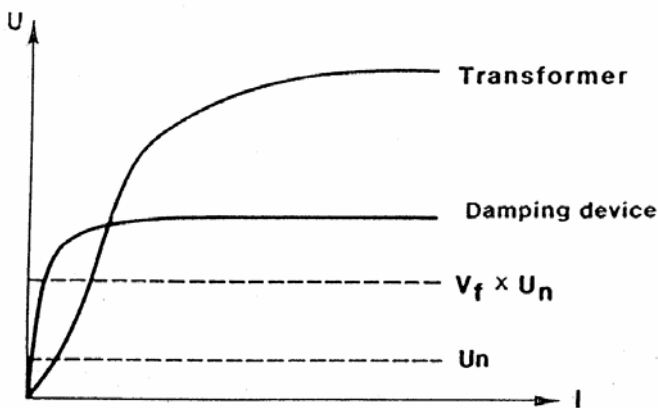


Фиг. 9. Елементи на схемата при участие на КНТ

6. Ферорезонансни явления в КНТ

Възможна е за поява на ферорезонанс. Това налага да се отчита, че феромагнитните индуктивни връзки са нелинейни (фиг. 10) и да се отчита началната фаза и остатъчната индукция.

Magnetising curve for CVT



Фиг. 10. Нелинейност на магнитните характеристики на магнитопровода на трансформатора $20/\sqrt{3} / 0.1$ kV и на компенсация дросел

Индуктивностите на електромагнитния напрежителен трансформатор (ЕМНТ) в КНТ, заедно с capacitивния делител (C_h и C_g) образуват резонансен контур, който обикновено осцилира на честота под нормалната. Причината е в нелинейния характер на импеданса. Проявява се субхармоник с честота, равна на една трета от номиналната, а ефективната стойност на резултантното изходно напрежение превишава с 25÷50% номиналното (GEC Alsthom). Вземаните мерки против ферорезонанса трябва да се отчитат при избор на нов КНТ. ЕМНТ работи нормално при ниска индукция – 0.4 Т. Против ферорезонанса, като демпфиращ контур, във вторичната страна се включват R-L (ABB), R-L-C (Passoni & Villa) контури или само резистори (Русия)

Стандартите (International Standard: IEC 186; British Standard: BS 3941/BS 7625; Swedish Stan-

andard: SEN 270821/23) предвиждат два вида изпитване на ферорезонанс:

- a. 120% от номиналното напрежение; трайно к.с. на вторичната страна (практически нулев товар); бързо отстраняване на к.с. След десетия период на промишлената честота максималната стойност на вторичното напрежение трябва да се е върнала на не повече от 10% от стойността му преди установяване на к.с.
Изпитването трябва да се извърши най-малко 30 пъти при първично напрежение, равно на 120 % от номиналното първично напрежение.
- b. Напрежение, съответстващо на номиналния напрежителен коефициент; к.с. на вторичните изводи (практически нулев товар); бързо отстраняване на к.с. Ферорезонансът не трябва да продължава повече от 2 s.
Изпитването трябва да се проведе 10 пъти при напрежение, съответстващо на напрежителния коефициент.

IEC 186:Чл. 51. Изпитване при ферорезонанс

- c. Изпитването на КНТ трябва да се извърши при свързване на късо на вторичните изводи най-малко за 0.1 s, като к.с. се изключи от защитно устройство (прекъсвач или др. по споразумение между потребителя и конструктора. При липса на споразумение изборът се пада на конструктора). Товар, включен към КНТ след отстраняване на к.с., трябва да бъде само регистриращата апаратура, но не повече от 5 VA. По време на изпитването трябва да се регистрират захранващото напрежение (на страна ВН), вторичното напрежение и токът на к.с.
- d. По време на изпитването напрежението на източника не трябва да се различава с повече от 10 % от напрежението преди к.с. и трябва да остане подчертано синусоидално. Остатъчното напрежение след к.с. на вторичната страна, измерено директно на вторичните изводи на КНТ, трябва да бъде по-ниско от 10 % от напрежението, съществувало между тези изводи преди к.с.

Съществуващото разнообразие на средствата за избягване на ферорезонанса се свежда до различни схеми на реализиране на демпферирането при ферорезонанс и до начина на свързването им. Познати са следните възможности:

- паралелен LC-контур и последователно свързани линеен (Rlnff) и нелинеен (Rnlff) резистори (фиг. 1, фирма Passoni & Villa), прикачени автотрансформаторно към първичната намотка;
- резистор и индуктивност, свързани последователно и прикачени към една от вторичните намотки (фиг. 6, АВВ);
- резистор, свързан като допълнителен товар към една от вторичните намотки (по-стари образци от Русия).

7. Преходни явления в КНТ

Индуктивните напрежителни трансформатори също трябва да бъдат оценявани при преходни напрежения на входа им. Те имат ударен ток при рязко нарастване на напрежението, подобно на силовите. При к.с. в непосредствена близост до тях енергията не изчезва мигновено и изходното напрежение не съвпада с входното.

Стандартът IEC 1861, чл. 46 изисква, ако се появи к.с. на първичната страна на КНТ при преминаване на напрежението му през нулата, на вторичната страна на КНТ след 20 ms остатъчното напрежение да не превишава 10% от максималната стойност преди к.с. *IEC 186: Чл. 51. Изпитване на преходни характеристики*

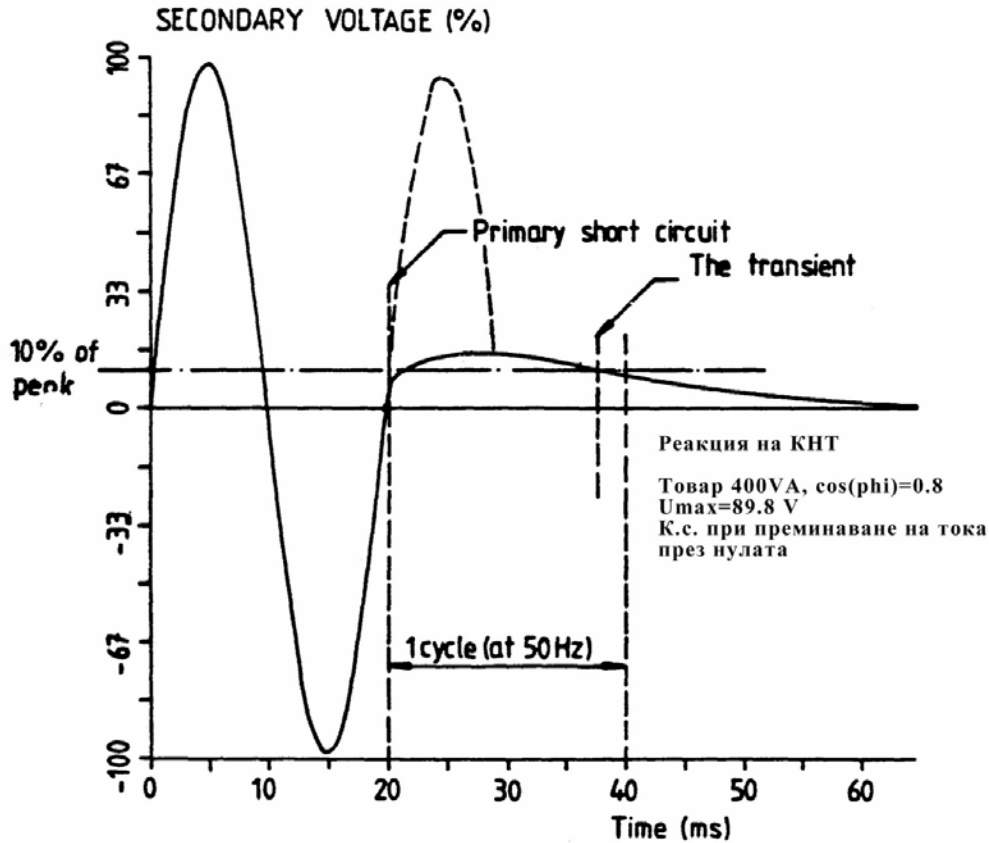
Изпитването за доказване на изискванията по чл. 46 трябва да се извършва при номинално първично напрежение и товар, равен първоначално на 25 % от номиналния, а след това – на 100 % от номиналния.

Използва се:

- сериен товар, представляващ последователна верига от резистор R_s и индуктивност L_s ;
- смесен товар, представляващ последователна верига от резистор R_s и индуктивност L_s и паралелно на тях – резистор R_p .

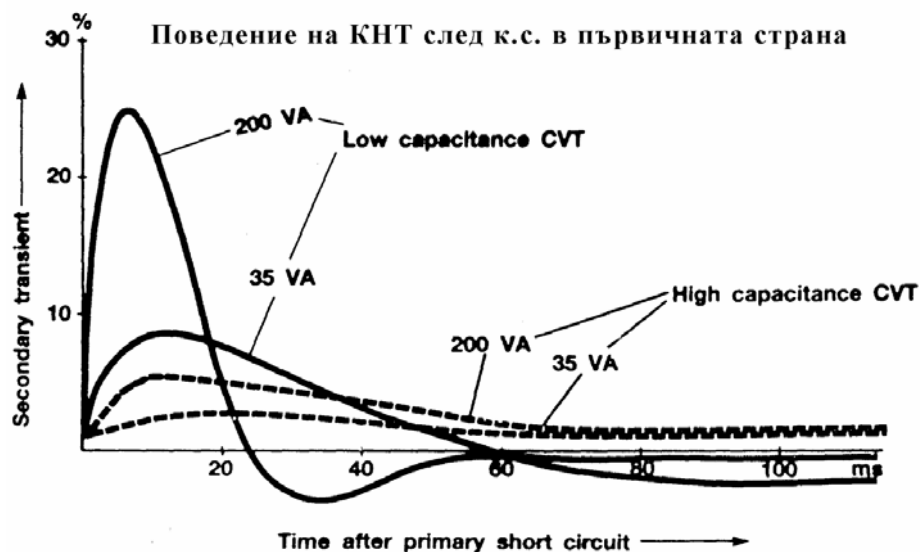
Изпитването трябва да се извърши или 10 пъти при случайно избрана фаза или два пъти при максималната стойност на първичното напрежение и два пъти при преминаване на напрежението през нулата. В последния случай се допуска отклонение $\pm 20^\circ$ (± 1.1 ms при честота 50 Hz).

Графика на изискването на стандарта



Фиг. 11. Изисквания на стандарта за затихване след к.с.

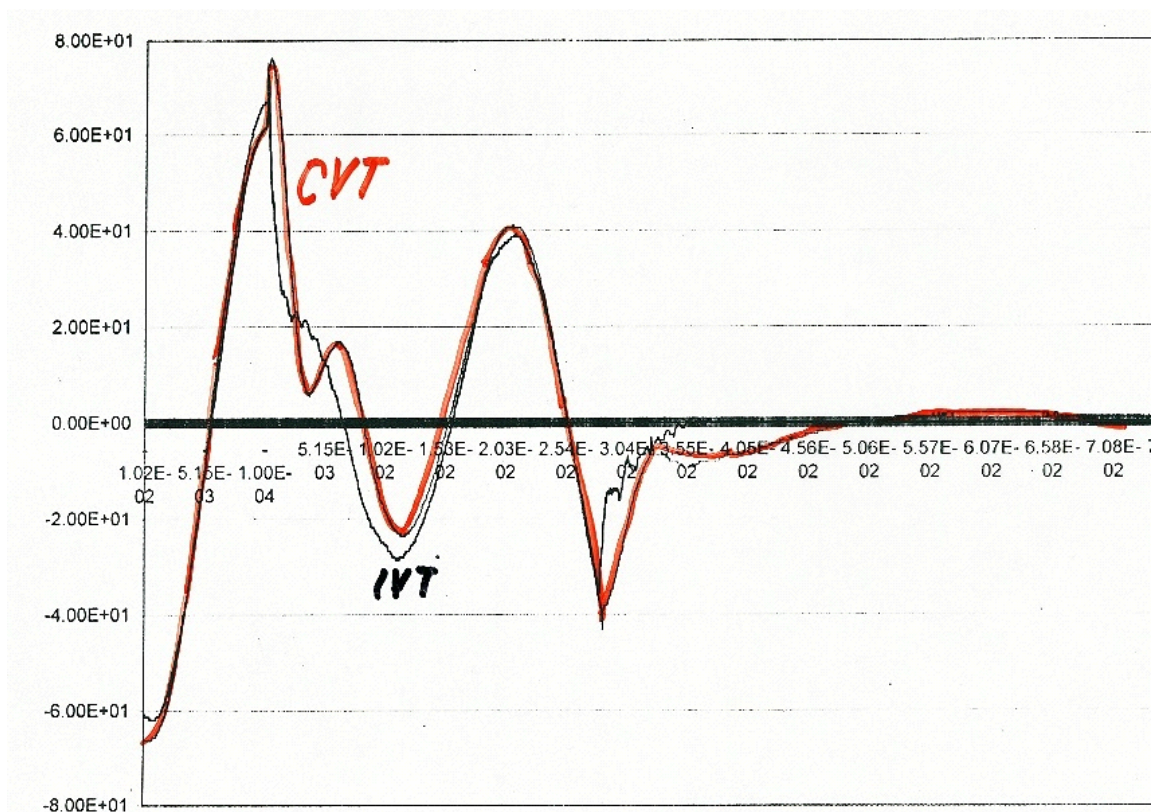
Влияние на товара на КНТ и параметрите на капацитивния делител върху преходния процес



Фиг. 12. Влияние на товара на КНТ и параметрите на капацитивния делител (КНТ с малък капацитет на кондензаторите от делителя и КНТ с голям капацитет на кондензаторите от делителя)

8. Експериментални резултати. Лаборатория ТВН “Хюндай” – София

8.1. Метално к.с. на клемите за високо напрежение на КНТ

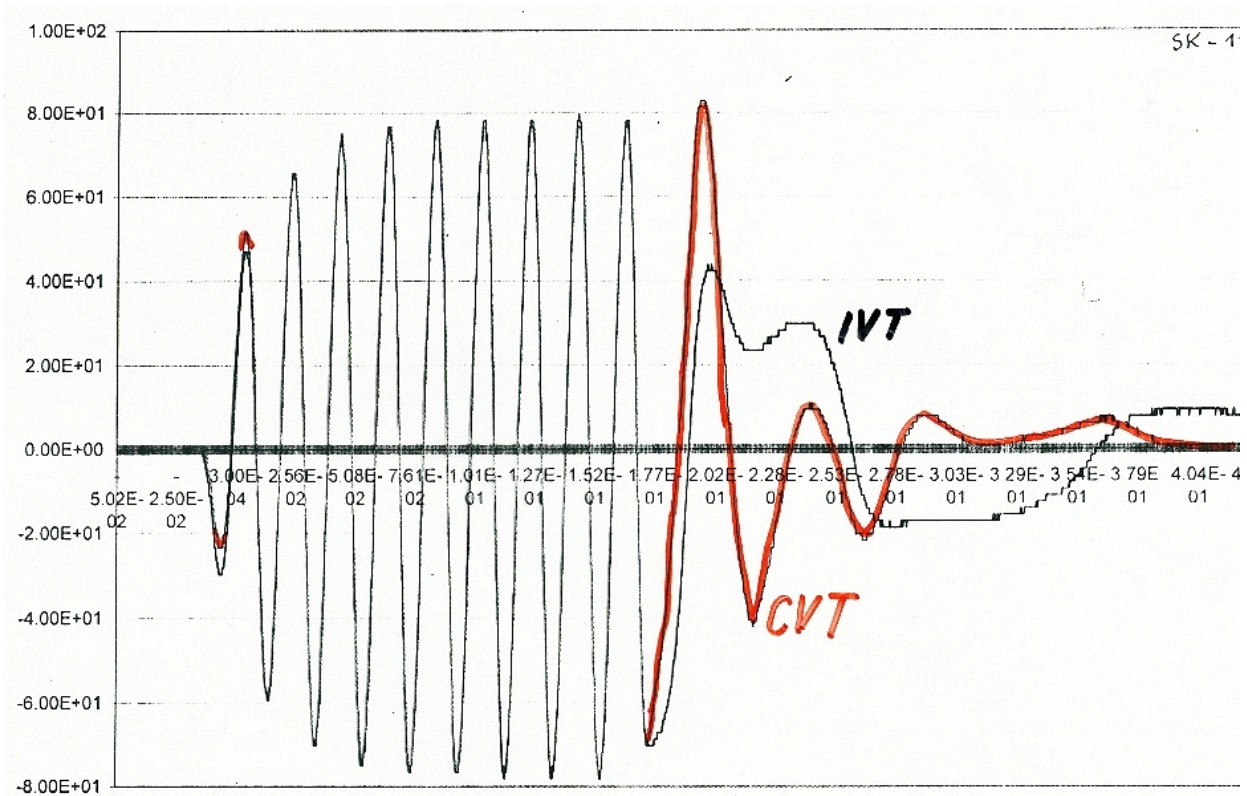


Фиг. 13. Експеримент с първично к.с. на КНТ на фирма Passoni & Villa

CVT – КНТ капацитивен напрежен трансформатор

IVT – ЕМНТ електромагнитен (индуктивен) напрежен трансформатор

8.2. Включване и изключване на номинално напрежение на първичната страна на КНТ



Фиг. 14. Експеримент с включване и изключване на КНТ на фирма Passoni & Villa

CVT – КНТ капацитивен напреженов трансформатор

IVT – ЕМНТ електромагнитен (индуктивен) напреженов трансформатор

Литература:

1. International standard: IEC 186
2. British Standard: BS 9341 / BS 7625
3. Swedish Standard: SEN 270821/23

04. Цифрови нулеви индикатори и прагови елементи

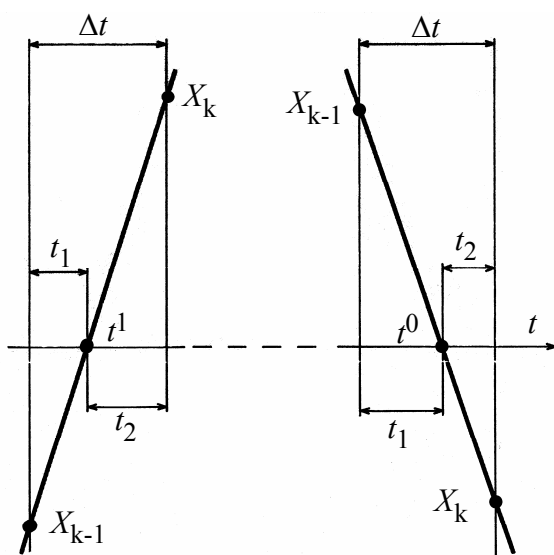
По материали на ст.н.с. I ст. Александър Витанов

Увод

Характеристики на електромеханични прагови елементи и нулеви индикатори

Цифрови нулеви индикатори

Алгоритъмът за нулев индикатор определя момента t_H на преминаване на входната величина $x(t)$ през нулата. Приема се, че около нулата величината е линейна (фиг. 1). Необходимо е определяне на момента на пресичане на оста на времето и когато $x(t)$ се изменя от отрицателна в положително стойност (t^1) и в обратния случай (t^0). Ако интервалът на сканиране е Δt може в съответствие с означенията на фиг. 1 да се запише



Фиг. 1. Линеаризиране на функцията $x(t)$

$$(1) \quad \begin{aligned} t_2 &= \Delta t \left| \frac{x_k}{x_k - x_{k-1}} \right|, \\ \Delta t &= t_1 + t_2, \\ t_1 &= \Delta t - t_2. \end{aligned}$$

Величините x_k и x_{k-1} имат собствени знаци и уравнението (1) е валидно за двата случая – нарастване и спадане на функцията.

$$(2) \quad \Delta t = \frac{T}{N} = \frac{0.02}{12} [s] = 1 [p.u.]$$

Ако не се провежда тази линейна интерполация, а се приемат най-близките до пресичането на нулата стойности x_k или x_{k-1} се правят недопустимо големи грешки. Например при определяне на фазовата разлика φ на две си-

нусоидални величини и честота на сканиране 600 Hz броят на точките в един период $N=12$. Тогава грешката $\Delta\varphi=360/12=30^\circ$, а допустимата грешка на релетата по ъгъл е много по-малка: $\Delta\varphi_{\text{доп}}=3^\circ=0,052 \text{ rad}$.

Блок-схема на алгоритъм за нулев индикатор е показан на фиг. 2. Времето се измерва за всеки период в относителни единици $t/\Delta t$. Дванадесетата точка ($N=12$) отговаря на края на периода. Времето се следи от програма “таймер” (фиг. 2а). Тя се пуска с включването на микропроцесорната система. Когато не е изпълнено условието на блок 1 (t не е по-голямо от N) блок 3 увеличава съдържанието си с единица всеки квант, а се нулира в края на всеки период (блок 2). Параметърът t получава последователно стойностите на целите числа от 1 до N . В края на всеки период се нулират също флаговете C^1 и C^0 .

Стойностите на t_H се определят от програмата НИИ (фиг. 2б), която се изпълнява всеки квант толкова пъти, колкото е броят на входните величини.

Забележка:

Според алгоритъма от фиг. 2, на базата на фиг. 1 може да се заключи:

- а) при $x_k=0$ моментът на пресичане през нулата t_H съвпада с текущия момент на времето t , т.е. $t_H=t$.

б) ако $x_{k-1}=0$, то тази стойност на x в предния квант е била $x_k=0$ и t_H е вече определена.

Когато x_k и x_{k-1} имат еднакви знаци (блокове 7, 8, 9) или двете са нули (блокове 4, 5), *НИ* не търси t_H и излиза в т. **f**. Същото става и при $x_{k-1}=0$, независимо от знака на x_k , тъй като в този случай моментът t_H е бил определен в предишния квант.

Когато x_k и x_{k-1} имат различни знаци (блокове 7, 8, 9), алгоритъмът прави линейна интерполация, за да намери стойността на t_H (блокове 10, 11). При $x_k=0$ очевидно $t_H = t$ (блок 6). Стойността на t_H е винаги в интервала $(0 - t_H - N)$.

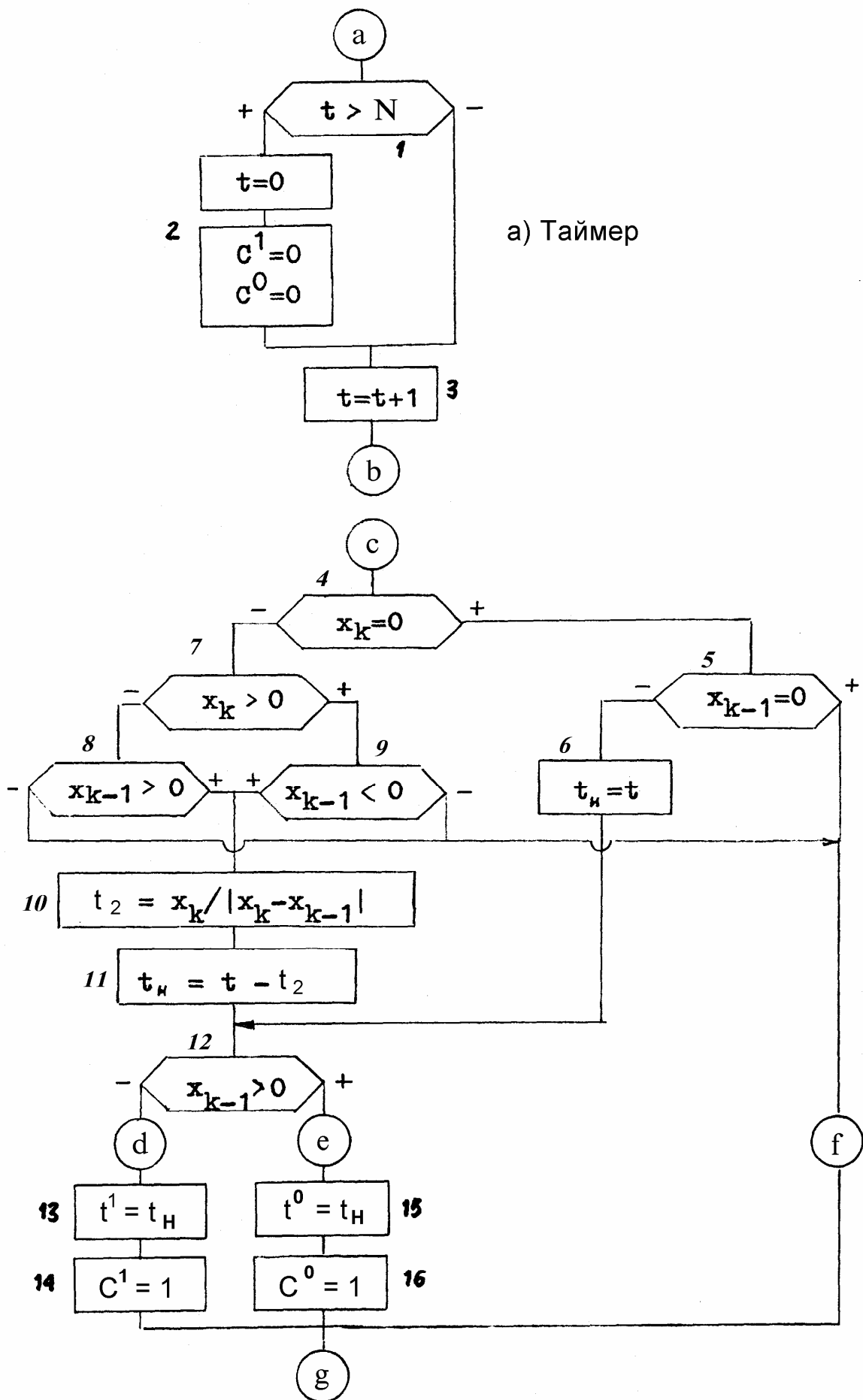
Ако $x_{k-1} < 0$ (блок 12), преходът през нула е положителен:

- програмата излиза в т. **d**;
- дава на t^1 стойност t_H (блок 13);
- маркира появата на нова стойност t_H с флага $C^1=1$ (блок 14).

Ако $x_{k-1} > 0$, преходът през нула е отрицателен:

- програмата излиза в т. **e**;
- дава на t^0 стойност t_H (блок 15);
- маркира появата на нова стойност на t_H с флага $C^0=1$ (блок 16).

Флаговете C^1 и C^0 са необходими при фазово сравняване на величини и при формиране на правоъгълни импулси с продължителност, равна на съответната полувълна на входната величина.



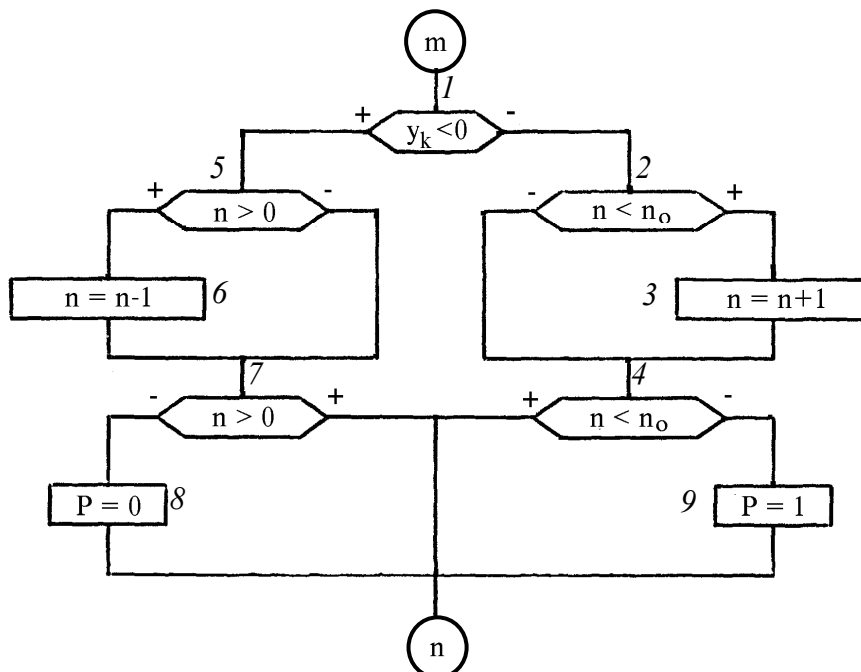
a) Таймер

b) Получаване на моментите за нулиране

Фиг. 2.

Цифрови прагови елементи

Алгоритъмът се състои от алгоритъм на мажоритарен брояч (МБ), използван и в много други алгоритми на ЦРЗ и логика на самия прагов елемент (ПЕ).



Фиг. 3. Мажоритарен брояч

Мажоритарният брояч (фиг. 3) проверява на всеки квант изпълнението на някакво условие например (да няма $y_k < 0$, Блок 1) и заработва ($P=1$, Блок 9), ако броят на квантите, в които условието е изпълнено е по-голям с n_0 от броя на квантите, в които то не е изпълнено. С това се гарантира, че неправилна работа на защитата няма да настъпи при изпълнение на условието (да няма $y_k < 0$), причинено от единично смущение. Числото n_0 се избира предварително (обикновено $n_0 = 3 \div 5$) и се записва в постоянната памет. Броячът брои от 0 до n_0 и при всеки квант, за който не е изпълнено условието от 1 и $y_k \geq 0$ съдържанието на брояча n се увеличава с 1 (Блок 3), а при квантовете, за които $y_k < 0$ се намалява с 1 (Блок 6). Мажоритарният брояч МБ заработва и ($P=1$), когато броенето n достигне до n_0 и възвръща ($P=0$), когато n стане 0.

Забележка: Описаната логика се отнася за случая, когато желаното събитие е да няма $y_k < 0$, което означава, че е достигнато нивото на заработване от алгоритъма на фиг. 4 (прагов елемент).

Пример 1 за алгоритъма от фиг. 3.

Започва се от $n=0$ за $n_0=3$;

$m=1$; условието е изпълнено; n нараства и става $n=1$ (блок 2 и 3);

$m=2$; условието пак е изпълнено; n нараства и става $n=2$ (блок 2 и 3);

$m=3$; условието пак е изпълнено; n нараства и става $n=3$ (блок 2 и 3);

Вече $n=3$, не е $n < n_0=3$ (блок 4) и $P = 1$ и релето заработва при $m = 3$.

Пример 2 за алгоритъма от фиг. 3.

Започва се от $n=0$ за $n_0=3$;

$m=1$; условието е изпълнено; n нараства и става $n=1$ (блок 2 и 3);

$m=2$; условието пак е изпълнено; n нараства и става $n=2$ (блок 2 и 3);

$m=3$; условието не е изпълнено; n намалява и става $n=1$ (блок 5 и 6);

$m=4$; условието пак е изпълнено; n нараства и става $n=2$ (блок 2 и 3);

$m=5$; условието пак е изпълнено; n нараства и става $n=3$ (блок 2 и 3);

Вече $n=3$, не е $n < n_0 = 3$ (блок 4) и $P = 1$ и релето заработва, но при $m = 5$.

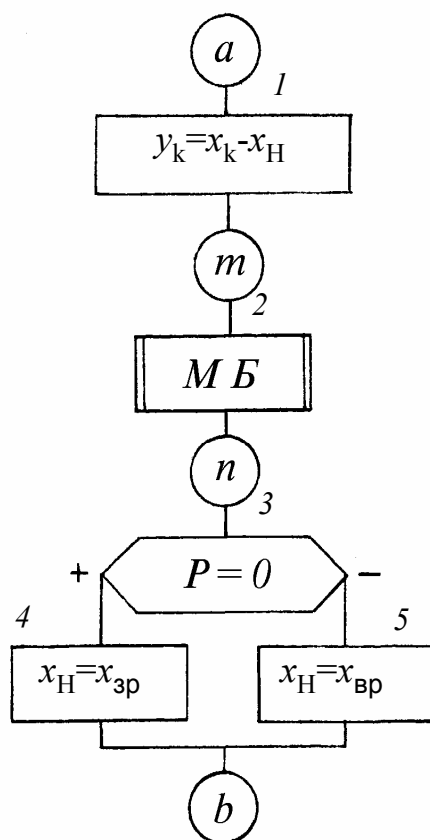
Пример 3 за алгоритъма от фиг. 3.

Започва се от $n=2$ за $n_0=3$;

$m=1$; условието не е изпълнено; n намалява и става $n=1$ (блок 5 и 6);

$m=2$; условието пак не е изпълнено; n намалява и става $n=0$ (блок 5 и 6);

Вече $n=0$, не е $n > 0$ (блок 7) и $P = 0$ и релето няма да заработи.



Фиг. 4. Прагов елемент

Алгоритъм на прагов елемент е показан като блок-схема на фиг. 4. В постоянната памет се записват величината на заработване $x_{зр}$ и величината на връщане $x_{вр}$ на праговия елемент ПЕ. В блок 1 се сравнява входната величина x_k с настройката x_H . При пускане на ПЕ става автоматично настройване $x_H = x_{зр}$, а когато ПЕ работи x_H се променя:

- $x_H = x_{вр}$ – когато ПЕ заработи и в мажоритарният брояч МБ ($P=1$);
- $x_H = x_{зр}$ – когато ПЕ се върне и в мажоритарният брояч МБ ($P=0$).

6. Принципи за преобразуване на входните величини

1. Критерии за откриване на обекта с повреда [1]

Особеността на цифровата техника е в непрекъснатото (почти мигновено) наблюдаване на входните величини, преобразуване на моментните стойности в цифрови величини и предоставяне на отчетените стойности. **Философията на цифровите защити е ориентирана към принципите на обработване на сигналите.**

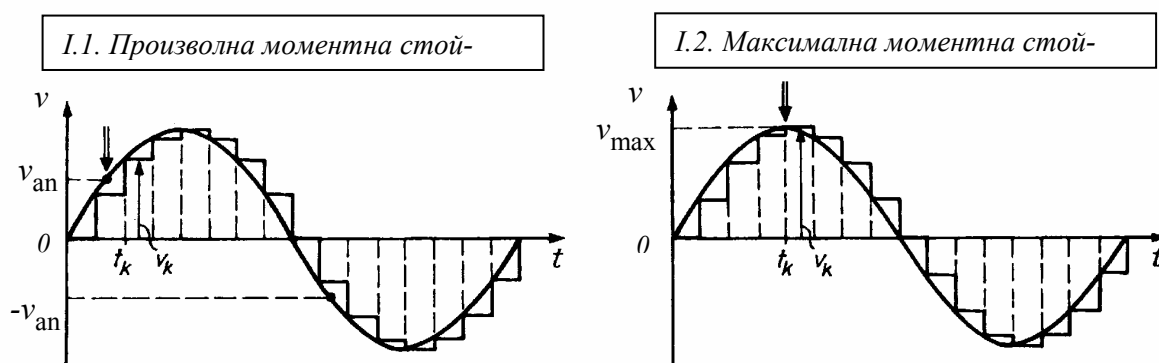
Според броя на входните величини критериите за защита биват:

- защитни критерии, базирани на една входна величина (или ток, или напрежение)
- защитни критерии, базирани на повече от една величина (импеданс, фазова разлика)
- Критериите биват оценявани от гледна точка на:
 - тяхната точност на измерване в зависимост от честотата на сканиране, съдържание на висши хармоници и наличие на апериодична съставяща;
 - техните преходни характеристики при преминаване от установен режим в преходен аварийен режим
 - необходим изчислителен ресурс, който предопределя и най-добрата конфигурация на хардуера.

2. Принципи на преобразуване на една входна величина [1]

За изучаване на основните принципи, по които се определят характеристиките на една входна величина се използва като базов един синусоиден сигнал.

Група I: Наблюдаване на моментните стойности $v(t)$



Фиг. 06.02.01. Наблюдаване на моментни стойности

Принцип:

Сравняване на текуща моментна стойност v_k в момента t_k с една зададена стойност v_{an} , както е показано на фиг. 06.02.01.

I.1. Текуща моментна стойност

$$(06.02.01) \quad |v_k| \geq v_{an}$$

I.2. Максимална моментна стойност

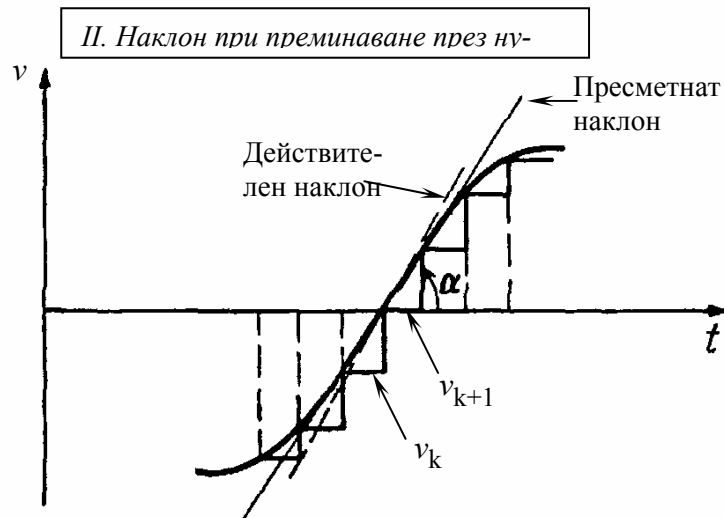
$$(06.02.02) \quad \max\{|v_k|\} \geq v_{an}, \text{ респективно } \max\{|v_k|\} \leq v_{an},$$

(последното е за контролиране на входна величина при намаляване на нейната стойност под зададената стойност v_{an}).

Група II: Наблюдаване на наклона α при преминаване през нулата

Принцип:

От две последователни стойности v_k и v_{k+1} на величината, в съответствие с фиг. 06.02.02, може да се пресметне α както при разполагане на точките над, така и под оста на времето:



Фиг. 06.02.02. Наклон при преминаване през нулата

$$(06.02.03) \quad \tan \alpha = \frac{|v_{k+1}| + |v_k|}{\Delta t} \begin{matrix} \geq \\ < \end{matrix} \alpha_{an} \text{ при условие, че } \text{sign}\{v_{k+1}\} \neq \text{sign}\{v_k\}$$

Бележки:

Делението на Δt може да стане и когато Δt е константа. В този случай самият брой на точките е мярка за пропорционалността на нарастването.

За да се постигне по-бързо установяване на повредата, наклонът α може да бъде пресметнат на произволно място при използване на следващи една след друга стойности с еднакви знаци.

$$(06.02.04) \quad \tan \alpha = \frac{|v_{k+1}| - |v_k|}{\Delta t} \begin{matrix} \geq \\ < \end{matrix} \alpha_{an} \text{ при условие, че } \text{sign}\{v_{k+1}\} = \text{sign}\{v_k\}$$

Група III: Непрекъснато изчисляване на максимална стойност v_{max} , средна изправена стойност $|v_{cp}|$ и ефективна стойност V

Принцип:

При прилагане на различните методи на изчисление за определени интервали време се определят числено характерни стойности на периодичната величина

$$(06.02.05) \quad v(t) = v_{max} \sin(\omega_N t + \varphi_0)$$

с честота f_N и честота на сканиране f_A , като

$$(06.02.06) \quad f_A = c f_N.$$

c е винаги цяло число, за да могат да се сравняват максималната, средната изправена и ефективната стойности.

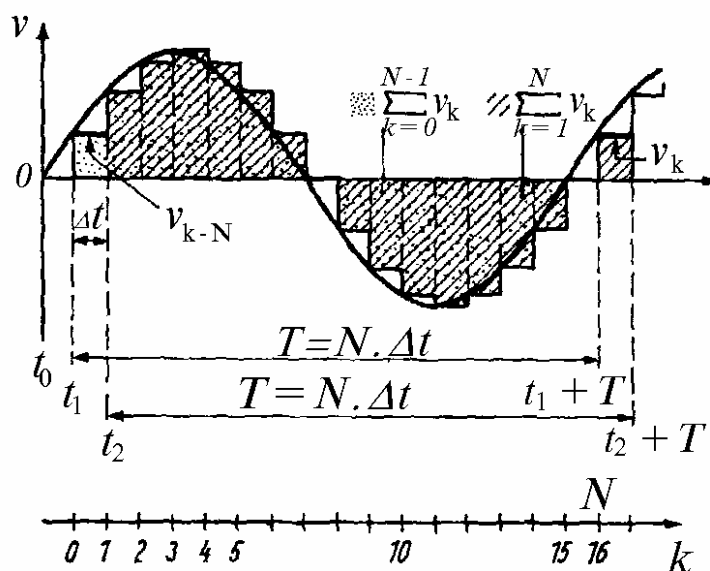
Методите за изчисления са следните.

III.1. Пресмятане на средната изправена стойност $|v_{cp}|$

При непрекъснатата функция се провежда интегриране

$$(06.02.07) \quad |v_{cp}| = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} |v(t)| dt.$$

III.1. Средна изправена стойност: $ v_{cp} $
III.2. Ефективна стойност: v



Фиг. 06.02.03. Непрекъснато пресмятане чрез интегриране

При провеждане на рекурсивно пресмятане на интеграла, например при използване на правоъгълници и означенията от фиг. 06.02.02.03 се записва преобразованието

$$(06.02.08) \quad \sum_{k=1}^N |v_k| = \sum_{k=0}^{N-1} |v_k| + |v_k| - |v_{k-N}|,$$

при което

$$(06.02.09) \quad \sum_{k=1}^N |v_k| \approx \int_{t_2}^{t_2+T} |v(t)| dt$$

актуалната сума при последната точка на отчитане (t_1+T , № 16)

$$(06.02.10) \quad \sum_{k=0}^{N-1} |v_k| \approx \int_{t_1}^{t_1+T} |v(t)| dt$$

Старата сума при предходната точка на отчитане ($t_1+T-\Delta t$, № 15)

v_k – актуална отчетена стойност при последната точка на отчитане (t_1+T , № 16)

v_{k-N} – по-стара отчетена стойност при точка на отчитане, която е с N по-назад (t_1 , № 0)

Бележки:

1. *Рекурсивен* – 1. оборотен, способен за повторно използване; 2. рекурсивно изчисление, което използва обозначената изчислителна функция едновременно в лявата и в дясната част на уравнението; 3. рекурсивна програма, която може да извика себе си в качество на подпрограма без загуба на управлението или резултатите, получавани от всяко последващо извикване; 4. рекурсивен филтър – използва стойности както от входния, така и от изходния масив данни
2. За изчисление на дискретизирани във времето величини посредством интегриране сега се използват други методи, като метода на трапеците или метода на Симсон. Те изискват по-големи изчислителни възможности (недостатък), но позволяват частично да се постигне по-голяма точност (предимство), като това е и най-подчертано при метода на Симсон.

III.2. Пресмятане на ефективната стойност V (V_{eff})

Точно преобразуване

$$(06.02.11) \quad V^2 = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v^2(t) dt \quad \text{или} \quad V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} v^2(t) dt}.$$

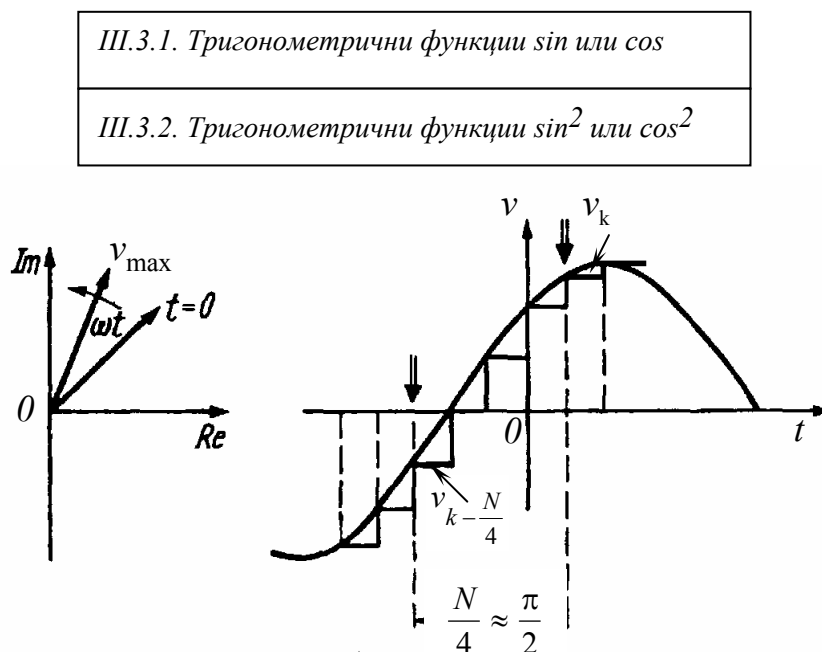
При провеждане на рекурсивно пресмятане на интеграла, аналогично на метода III.1, фиг. 06.02.03, се получава

$$(06.02.12) \quad \sum_{k=1}^N v_k^2 = \sum_{k=0}^{N-1} v_k^2 + v_k^2 - v_{k-N}^2$$

(за обясненията на отделните термини вижте аналогичните изрази в III.1. Забележката 2 към III.1 е валидна и тук).

III.3. Използване на тригонометрични зависимости

Ако честотата на сканиране е 2^n се използва граничното условие, че броят на отчетените стойности за един период, разделен на 4 дава, цяло число. За изчисление на амплитудната стойност чрез тригонометричните функции се използват изместените на 90° моментни стойности (Вижте фиг.06.02.04).



Фиг. 06.02.04. Непрекъснато изчисление чрез прилагане на тригонометрични функции

III.3.1. Пресмятане чрез \sin или \cos

Точно пресмятане

$$(06.02.13) \quad v_{max} = v_{max} \left[|\sin \omega t| + |\cos \omega t| + 0,5 \left| |\sin \omega t| - |\cos \omega t| \right| \right]$$

Пресмятане с дискретни стойности

$$(06.02.14) \quad v_{max} \approx v_{k\Sigma} = \left| v_k \right| + \left| v_{k-\frac{N}{4}} \right| + 0,5 \left| \left| v_k \right| - \left| v_{k-\frac{N}{4}} \right| \right|$$

III.3.2. Пресмятане чрез \sin^2 или \cos^2

Точно пресмятане

$$(06.02.15) \quad v_{max}^2 = v_{max}^2 (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t)$$

При използване на дискретни стойности

$$(06.02.16) \quad v_{max}^2 = v_{k\Sigma}^2 = v_k^2 + v_{k-\frac{N}{4}}^2$$

III.4. Прилагане на преобразуващи функции

Възможното преобразуване на синусоидалната величина $v(t)$ с ортогонални функции с цел изчисление на реалната и имагинерната част от където следва

$$(06.02.17) \quad V^2 = V_r^2 + V_x^2,$$

могат да бъдат представени по следните два начина – т. 4.1 и т. 4.2:

III.4.1. Преобразуване с тригонометрични функции (фиг. 01.08.02.05)

Точно пресмятане

$$(06.02.18) \quad V_r = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} v(t) \cdot \cos \omega t \cdot dt$$

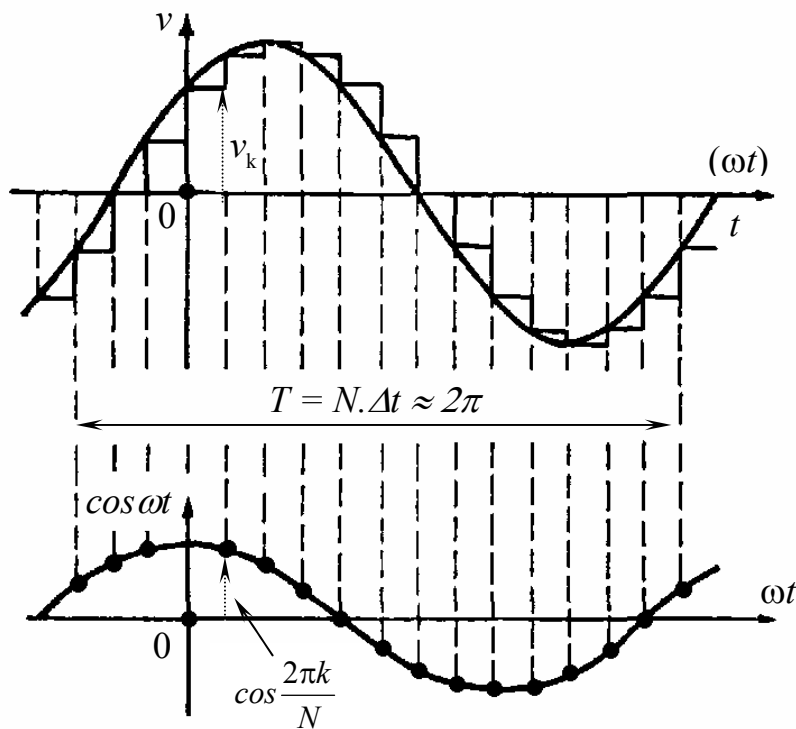
$$(06.02.19) \quad V_x = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} v(t) \cdot \sin \omega t \cdot dt$$

Пресмятане с използване на дискретни стойности

$$(06.02.20) \quad V_r = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N \left(v_k \cdot \cos \frac{2\pi k}{N} \right)$$

$$(06.02.21) \quad V_x = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N \left(v_k \cdot \sin \frac{2\pi k}{N} \right)$$

III.4.1. Съгласуване с тригонометрична функция



Фиг. 06.02.05. Непрекъснато пресмятане при преобразуване с $\cos \rightarrow V_r$

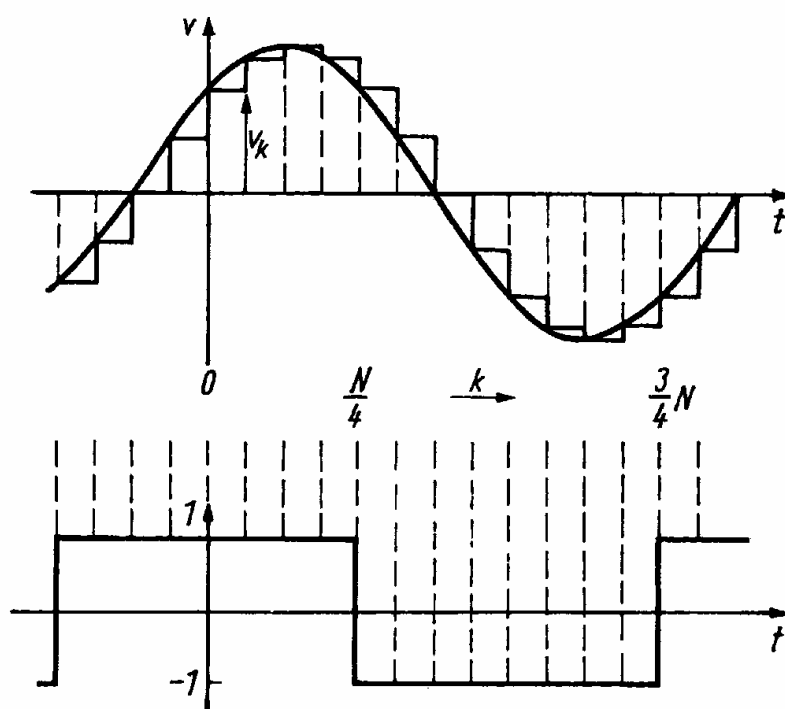
III.4.2. Съгласуване с правоъгълни функции (фиг. 06.02.06)

Пресмятане с използване на дискретни стойности

$$(06.02.22) \quad V_r \approx \frac{1}{N} \left[\sum_{k=1}^{\frac{N}{4}} v_k - \sum_{k=\frac{N}{4}+1}^{\frac{3}{4}N} v_k + \sum_{k=\frac{3}{4}N+1}^N v_k \right]$$

$$(06.02.23) \quad V_x \approx \frac{1}{N} \left[\sum_{k=1}^{\frac{N}{2}} v_k - \sum_{k=\frac{N}{2}+1}^N v_k \right]$$

III.4.2. Съгласуване с правоъгълни функции



Фиг. 06.02.06. Непрекъснато пресмятане чрез преобразуване с линейна правоъгълна функция $\rightarrow V_r$

Табл. 06.02.01 (по-долу) показва обобщена оценка на различните алгоритми съгласно формулираните критерии. Очевидно е, че не съществува общ универсален алгоритъм, който от гледна точка на точност на измерване, поведение в преходен режим (представен в областта след преминаване от работен режим в режим на повреда), реакция при висши хармоници и апериодична съставка, както и от гледна точка на необходимия изчислителен ресурс да обединява в себе си всички предимства. Един оптимален алгоритъм на защита в избраните методи при познаване на реално наличните величини на процеса, включително изменението на моментните стойности, от изпълнение на задачата на защитата, време на заработване, както и на разполагаемата техника (изчислителният ресурс влияе върху избора на честотата на сканиране и разрядност на АЦП и с това обратно на точността).

Оценката на долните таблици води до следните твърдения:

1. По отношение на точност на измерване на основния хармоник

Алгоритмите от вида I и II, които преработват дискретните стойности на отчитане в тяхната последователна форма обхващат приблизително определящите величини (моментна, максимална стойност и наклон). Моментът на отчитане tk влияе върху грешката на измерване. От гледна точка на точността на измервани най-добри са III.2, III.3.2 и III.4.

2. Преходни характеристики

Всички методи с интегриране (III.1, III.2 и III.4) трябва да се използват, с оглед на овладяване на смущаващите влияния. Измежду тях превъзхожда III.3 и онези, които имат в основата си забавяне (I, II).

3. По отношение на влиянието на висшите хармоници Чувствителни към висшите хармоници са I, II, и III.3. Висшите хармоници влияят непосредствено и влошават резултата.

Висшите хармоници влияят непосредствено върху ефективната стойност (III.2) и пречат, ако представлява интерес ефективна стойност на основното колебание, тъй като алгоритмите не притежават филтриращо действие. За специални задачи на защитата (защита при претоварване, земна защита за кабели средно напрежение при прекъсваща дъга) това е предимство, защото ефективната стойност на реалната величина е критерии на защитата.

При оценка от гледна точка на влиянието на висшите хармоници печелят алгоритмите, почиващи на корелационни методи, при които висшите хармоници се филтрират – частично (III.4.2) или напълно (III.4.1).

4. По отношение на затихващите апериодични съставки Апериодичните съставки фалшифицират резултата при всички алгоритми.

5. По отношение на изчислителния ресурс

Алгоритмите III.2, III.3.2 и III.4 използват по-сложни математически операции (умножение).

Те изискват време на изчисление, което трябва да бъде по-малко от $\Delta t = \frac{f_N}{f_A} T$, за да се из-

пълни изискването за работа в реално време.

Табл. 06.02.01. Сравнение на алгоритмите за една входна величина

Алгоритъм	I.1. Произволна моментна ст.	I.2. Максим. моментна ст.	II. Наклон около нулата	III. v_{\max} чрез интегриране
Критерий за оценка				$\int_0^T \frac{I}{2} dt$
Възможност за измерване при основна честота 50Hz $v(t) = v_m \sin(\omega t + \varphi_0)$	 И $\varepsilon = f(t_k)$	 И $\varepsilon = f(t_k)$	 И $\varepsilon = f(t_k)$	 И $\varepsilon = f(t_k)$
Поведение при преходен процес				
Влияние на висшите хармоници $v(t) = v_m \sin(\omega t + \varphi_0) + v_{m,n} \sin(n\omega t + \varphi_{0,n})$ n - цяло число	Причина Непосредствено влияние Директно нефилтрирано въздействие върху определящата величина	Причина Непосредствено влияние Директно нефилтрирано въздействие върху определящата величина	Причина Непосредствено влияние Директно нефилтрирано въздействие върху определящата величина	Различно Четните хармоници са погасени (при малка $v_{m,n}$ почти напълно филтрирано) Нечетните хармоници имат голямо влияние
Влияние на апериодичната съставка $v(t) = v_m [\sin(\omega t + \varphi_0) - e^{-\frac{t}{\tau}} \sin \varphi_0]$	Причина: Непосредствено влияние Директно нефилтрирано въздействие върху определящата величина	Причина: Непосредствено влияние Директно нефилтрирано въздействие върху определящата величина	Причина: Непосредствено влияние Директно нефилтрирано въздействие върху определящата величина	
Нагледни примери				
Нагледен пример				
Изчислит. ресурс	Сравнение $v_k \approx v_{k+1}$	●	●	●
Формиране на стойности	●	●	●	●
Събиране			●	●
Изваждане				●
Умножение				

Означения: f_A - честота на сканиране ε - относителна грешка спрямо
 f_N - честота на мрежата t_k - момент на отчитане
 $f_{0,n}$ - честота на хармоника t_k - не зависи от момента t_k

Табл. 06.02.01_ продължение

III.2 Ефективна стойност	III.3. Тригонометрични функции III.3.1 III.3.2		III.4. Функции за преобразуване III.4.1. III.4.2.	
✘	und $\epsilon = f(t_k)$	✘	✘	✘
Непосредствено влияние върху ефективната стойност на основната вълна, няма филтриращо действие	Непосредствено влияние Причина: директно нефилтрирано въздействие върху отчетени стойности (Вижте примерите под I/II) Забележка: Възможно е филтриране чрез образуване на средна стойност на резултата от изчисление		Без влияние поради филтриращо действие на преобразуването Условие: $f_A \cong 4 f_H$	Различно четните хармоници са филтрирани нечетните хармоници влияят

нарастваща сила на влиянието

С тенденции:

1. $\epsilon_{III.1} \dots \epsilon_{III.3.2}$ нарастващо
2. $\epsilon = f(\tau)$ със $\tau \uparrow \curvearrowright \epsilon \uparrow$
3. $\epsilon = f(\varphi_0)$ със $\varphi_0 \uparrow \curvearrowright \epsilon \uparrow$

Различно

поради зависимото от честотата затихване

Тенденция: $\tau \uparrow \curvearrowright \epsilon \uparrow$

	●			
●	●	●	● ● ●	● ● ● ... 7
●	●		● ●	● ● ● ... 7
●		●	● ● ● ●	● ●

x характеристична величина ($v_k, v_m, V \dots$)

Бележка:
Функциите за преобразуване вече са в паметта

Един друг начин на представяне на входните величини на релейната защита

3. Средна стойност на двупътно изправена величина с аperiодична съставка [2]

Величина, която се изправя съдържа основен хармоник и аperiодична съставка:

$$(06.03.1) \quad x(t) = x_{\max} \left[\sin(\omega \cdot t) + \frac{x_{an}}{x_{\max}} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \right],$$

$$\text{където } 0 \leq \frac{x_{an}}{x_{\max}} \leq 1, \quad d = \frac{x_{an}}{x_{\max}}.$$

Средната стойност за един полупериод $\frac{T}{2}$ ще се означава с X_{1cp} :

$$(06.03.2) \quad X_{1cp} = \frac{1}{\frac{T}{2}} \cdot \int_{t_1}^{t_1 + \frac{T}{2}} x(t) \cdot dt$$

а средната стойност за един период T – с X_{2cp}

$$(06.03.3) \quad X_{2cp} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1 + T} x(t) \cdot dt$$

При липса на аperiодична съставка средната стойност е постоянна и не зависи от интервала на осредняване:

$$(06.03.4) \quad X_{cp} = X_{1cp} = X_{2cp} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} x_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot dt = \frac{2}{\pi} x_{\max} \approx 0.6369 x_{\max}.$$

При наличие на а.с. положението коренно се изменя: средните стойности $X_{1cp} = X_{2cp}$ се превръщат в две различни функции на времето, които със затихването на аperiодичната съставка се стремят към стойността, определена по (06.03.4).

В граничния случай $T_a \rightarrow \infty$, затихване липсва и цялата синусоида лежи над абсцисната ос

$$(06.03.5-7) \quad \begin{aligned} x(t) &= x_{\max} (1 + \sin \omega t) \\ X_{1cp} &= x_{\max} \cdot \frac{2}{T} \left(\frac{T}{2} + \frac{2}{\omega} \cos(\omega \cdot t_1) \right) = x_{\max} \left(1 + \frac{2}{\pi} \cos(\omega \cdot t_1) \right) \\ X_{2cp} &= x_{\max} \cdot \frac{1}{T} \cdot T = x_{\max} \end{aligned}$$

Опростено решение, което има достатъчна за РЗ точност [2]

Затихването на аperiодичната съставка за времето $\frac{T}{2}$ се пренебрегва. В този случай а.с. се приема постоянна и равна на стойността й в средата на осреднявания полупериод и (06.03.1) придобива вида

$$(06.03.8) \quad x = x_{\max} |\sin \omega t + d|,$$

$$\text{където за интервала } t_1 \leq t \leq t_1 + \frac{T}{2}$$

$$(06.03.9) \quad d(t) = d \cdot \exp\left(-\frac{t_1 + \frac{T}{4}}{T_a}\right)$$

Функцията (06.03.1) се анулира в точките $\frac{T}{2} + t_n$ и $T - t_n$, където

$$(06.03.10) \quad t_n = \frac{1}{\omega} \arcsin(d) \approx d \cdot \frac{1}{\omega} = d \cdot \frac{T}{2}.$$

Литература:

1. Clemens Hans, Klaus Rothe. Schutztechnik in Elektroenergiesystemen. - 3., stark bearb. Aufl. – Berlin; Offenbach; vde-Verl., 1991
2. Витанов А. Б. Дистанционни релета. Хабил. труд за ст. н. с. I ст., НИТИ Енергопроект, София, 1990

06а. Диференциране и интегриране [1]

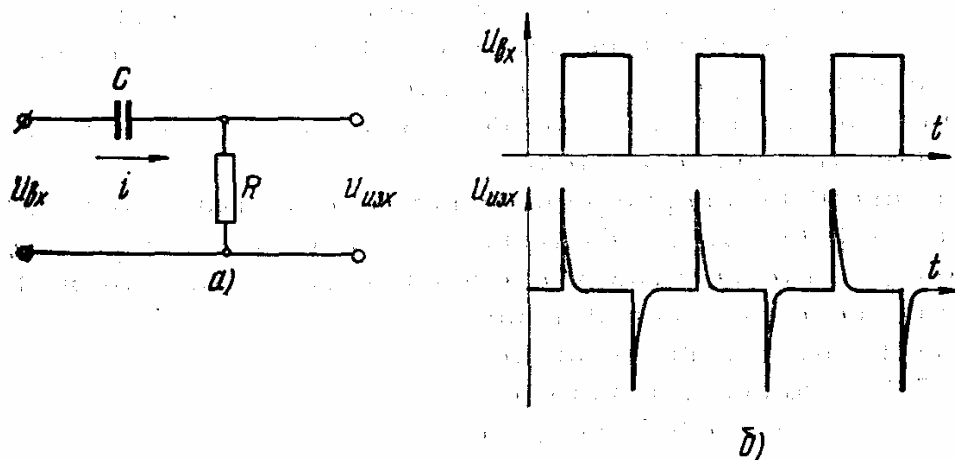
1. Аналогово диференциране и интегриране

$$i \approx C \frac{du_{\text{вх}}}{dt}, \quad (2.25)$$

а изходното напрежение

$$u_{\text{изх}} = iR \approx RC \frac{du_{\text{вх}}}{dt}, \quad (2.26)$$

т. е. изходното напрежение е пропорционално на диференциала на входното. Диференцирането е толкова по-точно, колкото из-



Фиг. 2.8. Диференцираща верига

а — схема; б — диаграма на входните ($u_{\text{вх}}$) и изходните ($u_{\text{изх}}$) импулси

ходното напрежение е по-малко от входното. За да се изпълни това условие, трябва времеконстантата $\tau = RC$ да бъде малка.

Ако на входа се подават правоъгълни импулси, на изхода на схемата се получават краткотрайни островърхи импулси. Амплитудата на изхода в случая е приблизително колкото амплитудата на входа.

Диференциращите елементи се използват най-често като формиратели на краткотрайни импулси, които съвпадат по време с промяната на знака или максималната стръмност на входния сигнал.

За да се получи изходен сигнал, пропорционален на интеграла на входния, може да се използва схема, аналогична на тази от фиг. 2.8а, но с променени места на съпротивлението и капацитета (фиг. 2.9). В този случай при режим на празен ход ще бъде валидно също уравн. (2.10). Ако е изпълнено условието

$$iR \gg u_c, \quad (2.27)$$

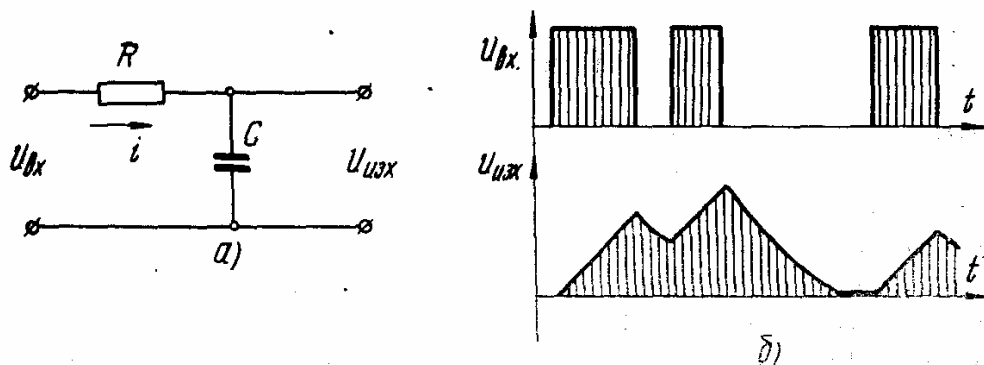
токът във веригата ще бъде

$$i = \frac{u_{вх}}{R} \quad (2.28)$$

Изходното напрежение ще бъде

$$u_{изх} = \frac{1}{C} \int i dt \approx \frac{1}{RC} \int u_{вх} dt \quad (2.29)$$

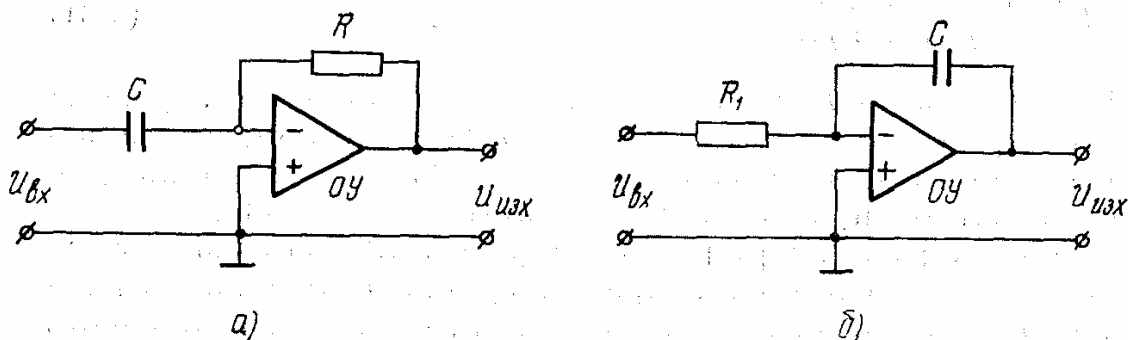
Веригата притежава свойството да интегрира, и то толкова по-точно, колкото е по-голяма времеконстантата $\tau = RC$.



Фиг. 2.9. Интегрираща верига

а — схема; б — диаграма на входните ($u_{вх}$) и изходните ($u_{изх}$) импулси

При правоъгълна форма на входния сигнал и при голяма времеконстанта τ на изхода на схемата се получава тригонообразно напрежение (фиг. 2.9б). Показан е произволен случай, когато



Фиг. 2.10. Диференциращи (а) и интегриращи (б) звена, изпълнени с интегрални схеми

сигналите и паузите са с различна продължителност. По време на първия заряд кондензаторът C се зарежда на някакво напрежение. При паузата той се разрежда през съпротивлението R

и източника, но понеже тя е кратка, не стига до нула. Вторият сигнал още повече покачва напрежението на кондензатора, но следващата пауза е дълга и той се разрежда напълно. При третия сигнал зареждането започва отново и нивото му е пропорционално на дължината на сигнала.

Интегралните схеми дават възможност лесно да се получат качествени диференциращи (фиг. 2.10а) и интегриращи (фиг. 2.10б) звена [27, 47, 162]. Това се постига, като на ОУ се постави съответно активна или капацитивна ООВ. Тук също са в сила равенствата (2.26) и (2.29).

2. Числено диференциране и интегриране [2]

За цифровите защиты се избират на-простите методи, които осигуряват необходимата точност (примерно 5% по големина и 3° по ъгъл) при квантуване с честота 600 Hz ($N \geq 12$).

Диференцирането става по първата централна разлика

$$(2.1) \quad x'_k = \frac{1}{2\pi} (x_{k+1} - x_{k-1})$$

а интегрирането – по квадратурната формула на Нютон от I ред, позната като правило на трапеците

$$(2.2) \quad \int_0^{k \cdot \Delta t} x_i \cdot dt = \frac{\Delta t}{2} \left(x_0 + x_k + 2 \sum_{i=1}^{k-1} x_i \right)$$

За определяне на точността на формула за числено диференциране (2.1) при периодична функция ще се диференцира функцията $x_k = x(t) = e^{j\omega t}$:

$$x'(t) = j\omega \cdot x(t); \quad x'_k = \frac{j}{\Delta t} x(t) \cdot \sin \omega \cdot \Delta t$$

Ъгловата грешка е нула, а относителната грешка по големина е

$$(2.3) \quad \Delta x'_k = 1 - \frac{x'_k(t)}{x'(t)} = 1 - \frac{\sin(\omega \cdot \Delta t)}{\omega \cdot \Delta t}$$

Грешката (2.3) е показана в табл. 2.1 за няколко стойности на Δt .

Табл. 2.1

N	8	10	12	16	20	24
Δt [ms]	2.5	2	1.67	1.25	1	0.83
$\Delta x'_k$ [%]	10	6.5	4.5	2.6	1.6	1.1
$\Delta \int x_k$ [%]	5.2	3.3	2.3	1.3	0.8	0.6

За определяне на точността на формулата за **числено интегриране** (2.2) при периодична функция ще се интегрира функцията за два кванта:

$$\int_{t-\Delta t}^{t+\Delta t} x(t) = \frac{2}{\omega} \sin(\omega \cdot \Delta t) \cdot x(t),$$

$$\int_{k-1}^{k+1} x_i = \Delta t \cdot [1 + \cos(\omega \cdot \Delta t)] \cdot x(t).$$

Ъгловата грешка е нула, а относителната грешка по големина е

$$(2.4) \quad \Delta \int x_k = 1 - \frac{\omega \cdot \Delta t}{\sin(\omega \cdot \Delta t)} \cdot \frac{1 + \cos(\omega \cdot \Delta t)}{2}$$

Литература:

1. Витанов А., Н. Златоустов, З. Попов, С. Вичев. Полупроводникови релейни защиты. Техника, София, 1975
2. А. Б. Витанов. Дистанционни релета.

06b. Непрекъснато изчисляване на средни и ефективни стойности

Група III: Непрекъснато изчисляване на средна, средна изправена стойност $|v_{cp}|$ и ефективна стойност V

Принцип:

При прилагане на различните методи на изчисление за определени интервали време се определят числено характерни стойности на периодичната величина

$$(06.02.05) \quad v(t) = v_{\max} \sin(\omega_N t + \varphi_0)$$

с честота f_N и честота на сканиране f_s ($f_s = 800 \text{ Hz}$), като

$$(06.02.06) \quad f_s = c f_N.$$

c ($c = 16$) е винаги цяло число, за да могат да се сравняват максималната, средната изправена и ефективната стойности.

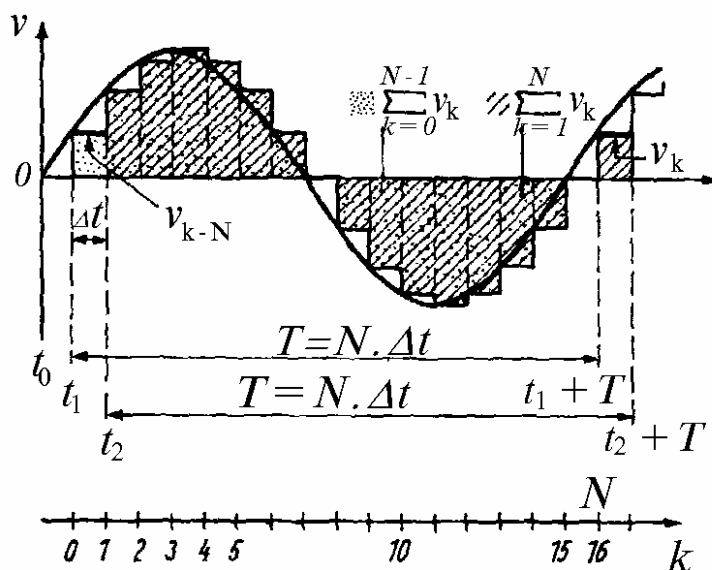
Методите за изчисления са следните.

III.1. Пресмятане на средната изправена стойност $|v_{cp}|$

При непрекъснатата функция се провежда интегриране

$$(06.02.07) \quad |v_{cp}| = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} |v(t)| dt.$$

III.1. Средна изправена стойност: $ v_{cp} $
III.2. Ефективна стойност: v



Фиг. 06.02.03. Непрекъснато пресмятане чрез интегриране

При провеждане на рекурсивно пресмятане на интеграла, например при използване на правоъгълници и означенията от фиг. 06.02.03 се записва преобразованието

$$(06.02.08) \quad \sum_{k=1}^N |v_k| = \sum_{k=0}^{N-1} |v_k| + |v_N| - |v_{k-N}|,$$

при което

$$(06.02.09) \quad \sum_{k=1}^N |v_k| \approx \int_{t_2}^{t_2+T} |v(t)| dt,$$

актуалната сума при последната точка на отчитане (t_1+T , № 16)

$$(06.02.10) \quad \sum_{k=0}^{N-1} |v_k| \approx \int_{t_1}^{t_1+T} |v(t)| dt.$$

Старата сума при предходната точка на отчитане ($t_1+T-\Delta t$, № 15)

v_k – актуална отчетена стойност при последната точка на отчитане (t_1+T , № 16)

v_{k-N} – по-стара отчетена стойност при точка на отчитане, която е с N по назад (t_1 , № 0)

III.2. Пресмятане на ефективната стойност V (V_{eff})

Точно преобразуване

$$(06.02.11) \quad V^2 = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v^2(t) dt \quad \text{или} \quad V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} v^2(t) dt}.$$

При провеждане на рекурсивно пресмятане на интеграла, аналогично на метода III.1, фиг. 06.02.03, се получава

$$(06.02.12) \quad \sum_{k=1}^N v_k^2 = \sum_{k=0}^{N-1} v_k^2 + v_k^2 - v_{k-N}^2.$$

06.04. Средна стойност на двупътно изправена величина с аperiодична съставка

Двупътно изправена величина, която съдържа основен хармония и аperiодична съставка:

$$(06.04.1) \quad x(t) = x_{\max} \left[\sin(\omega \cdot t) + d \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \right],$$

където $0 \leq d \leq 1$.

Средната стойност за един полупериод $\frac{T}{2}$ ще се означава с $X_{1\text{cp}}$:

$$(06.04.2) \quad X_{1\text{cp}} = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1 + \frac{T}{2}} x(t) \cdot dt$$

а средната стойност за един период T – с $X_{2\text{cp}}$

$$(06.04.3) \quad X_{2\text{cp}} = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} x(t) \cdot dt$$

При липса на аperiодична съставка ($d=0$) средната стойност е постоянна и не зависи от интервала на осредняване:

$$(06.04.4) \quad X_{\text{cp}} = X_{1\text{cp}} = X_{2\text{cp}} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} x_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot dt = \frac{2}{\pi} x_{\max} \approx 0.6369 x_{\max}.$$

При наличие на а.с. положението коренно се изменя: средните стойности $X_{1\text{cp}} = X_{2\text{cp}}$ се превръщат в две различни функции на времето, които със затихването на аperiодичната съставка се стремят към стойността, определена по (06.04.4).

В граничния случай $T_a \rightarrow \infty$, *затихването* $d=1$ и цялата синусоида е над абсцисната ос

$$(06.04.5-7) \quad \begin{aligned} x(t) &= x_{\max} (1 + \sin \omega t) \\ X_{1\text{cp}} &= x_{\max} \cdot \frac{2}{T} \left(\frac{T}{2} + \frac{2}{\omega} \cos(\omega \cdot t_1) \right) = x_{\max} \left(1 + \frac{2}{\pi} \cos(\omega \cdot t_1) \right) \\ X_{2\text{cp}} &= x_{\max} \cdot \frac{1}{T} \cdot T = x_{\max} \end{aligned}$$

Опростено решение, което има достатъчна за РЗ точност

Затихването на апериодичната съставка за времето $\frac{T}{2}$ се пренебрегва. В този случай а.с. се приема постоянна и равна на стойността ѝ в средата на осреднявания полупериод и (06.04.1) придобива вида (06.04.8)

$$x = x_{\max} |\sin \omega t + d|,$$

където за интервала $t_1 \leq t \leq t_1 + \frac{T}{2}$

$$(06.04.9) \quad d(t) = d \cdot \exp\left(-\frac{t_1 + \frac{T}{4}}{T_a}\right)$$

Функцията (06.04.1) се анулира в точките $\frac{T}{2} + t_n$ и $T - t_n$, където

$$(06.04.10) \quad t_n = \frac{1}{\omega} \arcsin(d) \approx \frac{d}{\omega} = d \cdot \frac{T}{2}.$$

Практически подход при непрекъснатото изчисляване

Честотата на сканиране е $f_s = 600$ Hz. Аналоговите филтри преди АЦП подтискат напълно в.х. с честота $f_s/2 = 300$ Hz, поради което за цифрово филтриране остават само втори и трети хармоник. Избират се следните прости нерекурсивни цифрови филтри:

а) Изчисляване на средна стойност на токовете

Някои ЦРЗ определят големината на токовете, като изчисляват средната стойност $I_{\text{ср}}$ на междуфазните токове и на тока с нулева последователност НП посредством интегриране на абсолютните моментни стойности на токовете за половин период. Извършва се числено интегриране по метода с правоъгълниците. Сумират се стойностите за последните $N/2$ кванта посредством рекурсивната формула:

$$SI(k) = SI(k-1) - \text{Abs}[i(k-N/2)] + \text{Abs}[i(k)] = SI(k-1) - \text{Abs}[i(k-6)] + \text{Abs}[i(k)], \quad (\text{c}_01)$$

където:

$i(k)$ – моментна стойност на текущия квант на тока,

$SI(k)$ – сумата за половин период.

Получената стойност за междуфазните токове е:

$$SI_{\text{мф}} = I_{\text{ср}} \cdot N/2 = I \cdot 12/\pi = I_{\text{ef}} \cdot \sqrt{2} \cdot 12/\pi = 5.4 \cdot I_{\text{ef}} \quad (\text{c}_02)$$

където:

I , $I_{\text{ср}}$ и I_{ef} са съответно максималната, средната и ефективната стойност на тока.

Аналогично за тока с нулева последователност НП се получава

$$SI_0 = 5.4 \cdot I_{\text{0ef}}. \quad (\text{c}_03)$$

б) Изчисляване на амплитуди на напреженията

Напрежението е необходимо за реализиране на функцията “посочно реле”. Големината на напрежението се определя като се изчисляват квадратите на амплитудите на междуфазните напрежения $Sq(U)$ по формулата:

$$SqU(k) = Sq[u(k)] + Sq[u(k-N/4)] = Sq[u(k)] + Sq[u(k-3)], \quad (\text{c}_04)$$

където:

$u(k)$ – моментна стойност на текущия квант на напрежението,

$SqU(k)$ – квадрат на моментната стойност на текущия квант на напрежението,

$Sq()$ – квадрат на напрежението в скобите.

За напрежението се изчисляват максималните стойности, а не средните, за да се осигури време за заработване на напреженовите органи, равно на времето за заработване на посочните органи, в които те участват, а именно $\frac{1}{4}$ период (5 ms). Получената величина по формулата (с_04) е

$$SqU = Sq(2) \cdot U_{ef} \quad (с_05)$$

с) Изчисляване на междуфазни мощности

Оценява се мощността от гледна точка на функционирането на посочно реле. Определя се посоката на междуфазните токове спрямо напреженията като се изчислява мощността

$$S = U_{mf} \cdot I_{mf} \cdot \cos(F - \pi/4) \quad (с_06)$$

и се следи нейният знак. F е ъгълът между векторите на тока и напрежението.

Посоката на к.с. се счита за положителна, ако $S > 0$. По този начин се реализира посочно реле с ъгъл на максималната чувствителност 45° . Завъртането на 45° идва от филтрирането на тока.

Мощността се изчислява по формулата

$$S(k) = u(k) \cdot i(k) + u(k-N/4) \cdot i(k-N/4) = u(k) \cdot i(k) + u(k-3) \cdot i(k-3), \quad (с_07)$$

където $u(k)$ и $i(k)$ са моментните стойности на текущия квант на напрежението и тока.

Получената величина е

$$S = U \cdot I \cdot \cos(F - \pi/4) = 2 \cdot U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos(F - \pi/4) = KS \cdot S(F), \quad (с_08)$$

където $S(F) = U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos(F - \pi/4)$.

При близки к.с. стойността на напрежението във формула (с_07) може да бъде много малка и АЦП да го преобразува с голяма грешка. За това при напрежение, по-малко от 5% от номиналното ($U < U_R = 0.05 \cdot U_{VN}$) алгоритъмът работи с напрежението *преди к.с.*, което означава, че се използва функцията “памет” в ЦРЗ. Така се премахва “мъртвата зона” в цифровите посочни органи. Новото във формула (с_07) е използването на напрежението от кванта k_p , който е цяло число кранти преди кванта k .

$$S(k) = u(k_p) \cdot i(k) + u(k_p - N/4) \cdot i(k - N/4) = u(k_p) \cdot i(k) + u(k_p - 3) \cdot i(k - 3). \quad (с_07-a)$$

д) Изчисляване на мощност на нулева последователност

При изолирана неутрала или компенсирани мрежи се използва съответно реактивната мощност на нулева последователност $Q_0 = 3U_0 \cdot 3I_0 \cdot \sin(F)$ или активната мощност на нулева последователност $P_0 = 3U_0 \cdot 3I_0 \cdot \cos(F)$. Изчислената мощност S_0 (Q_0 или P_0) се сравнява със зададената стойност $S_{0н}$, което условие, заедно с условието за посочност е критерий за заработване на мощностното реле.

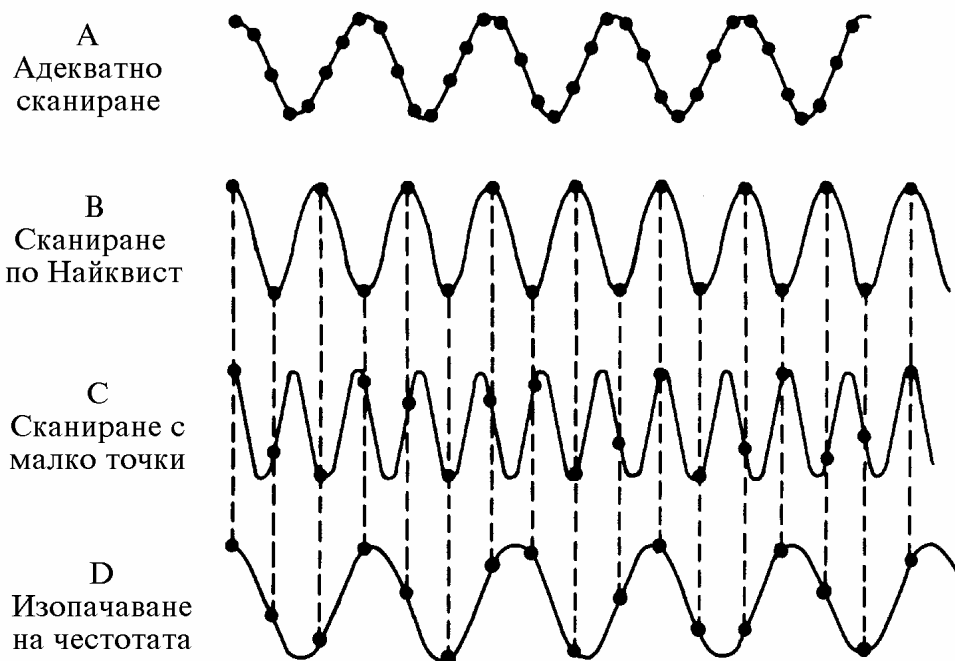
7. Нискочестотни филтри

1. Изходни понятия

Условия за грешна оценка на честотата на сигнала (изопачаване на честотата) [1, 4]

Когато един периодичен сигнал се сканира синхронно, съществува сериозна възможност за грешно определяне на неговата честота. Тази трудност е наречена изопачаване (aliasing) и показва, че дадена честота може да бъде определена изопачено (лъжливо).

Пример за изопачена оценка на честотата (aliasing) е лъжливата визуална представа за посоката и скоростта на въртене на колело, осветено с импулсен източник на светлина (стробоскопичен ефект). Когато например импулсите на светлината съвпадат с едно и също положение на спиците, се схваща, че колелото стои неподвижно. По аналогичен начин със стробоскоп се измерва по белег скоростта на въртене на двигатели и настройване на ъгъла на запалване на двигатели с вътрешно горене.



Фиг. 1.1

Означенията на фиг. 1.1 са следните:

- A. Синусоидален сигнал с честота f_A , дискретизиран с достатъчно голяма честота.
- B. Синусоидален сигнал с честота f_B , дискретизиран с честотата на Найквист $f_s = f_N = 2f_B$, като **точките съвпадат с максимумите**.
- C. Синусоидален сигнал с честота f_C , дискретизиран с малка честота $f_s < f_N = 2f_C$.
- D. Грешно възстановен синусоидален сигнал, ако се използват точките от случая C.

На фиг. 1.1 се показва една синусоидална вълна при различна честота на сканиране. В случая A честотата на сканиране на синусоидата е достатъчно висока и кривата се описва адекватно.

Ако честотата на сканиране е такава, че се записва една точка на период (няма такъв случай на фиг. 1.1) синусоидата се възприема като постояннотокова съставка и ако точката съвпада с пресичането на нулата ще се покаже, че сигналът липсва. При честота на сканиране, която е два пъти по-голяма от основната (честота на Найквист – Nyquist frequency) за синусоидата се получава точна информация, ако точките съвпадат с максимумите (фиг. 1.1. B) – този случай е “на ръба на пропастта на възстановяване на информацията” (“ragged edge”). В други запи-

сани случай стойностите са функция на фазата на сканиране и могат да бъдат от максимумите до нула, т.е. да не дадат вярна информация за синусоидата.

Фигурите C и D са за сравнение с B . Броят на точките на сканиране е еднакъв и дори са на едно и също място. Вижда се, че през точките могат да преминат синусоиди с по-висока честота (случай C) и синусоиди с по-малка честота (D), като последното е проява на "изопачаването" на честотата (aliasing) [alias = >'eili; s].

Практическите проблеми с възможността за грешна оценка на честотния спектър на аналоговите сигнали се решават с въвеждани на нискочестотни филтри, които в литературата на английски език са наречени "anti-aliasing filters" или преведено описателно и насочено към цифровите релейни защиты - "филтри против заблуждаване за стойността на честотата" или "филтри против лъжливо определяне на честотата".

Филтрите против грешна оценка на честотата са винаги нискочестотни филтри с честотна лента, определена от следващите елементи и алгоритъма на цифровата релейна защита.

Обикновено след НЧФ следват АЦП и пресмятане чрез бързото преобразование на Фурие.

Филтърът срещу изопачаване на честотата е просто един нискочестотен филтър (НЧФ), който се използва, за да ограничи честотната лента на сигнала, който ще се дискретизира в желаната област.

2. ***

3. Описание в честотната област (спектрално представяне)

Всеки периодичен сигнал $s(t)$ (аналогов или дискретен) с период $T = 2\pi/\omega$ ($\omega = 2\pi f$) може да се представи в тригонометричен ред на Фурие:

$$(3.1) \quad s(t) = C_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega_1 t + b_k \sin k\omega_1 t),$$

$$(3.2) \quad a_k = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \cos k\omega_1 t dt,$$

$$(3.3) \quad b_k = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \sin k\omega_1 t dt,$$

$$(3.4) \quad C_0 = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) dt.$$

Вместо (1) може да се използва записът

$$(3.5) \quad s(t) = C_0 + \sum_{k=1}^{\infty} C_k \cos(k\omega_1 t - \varphi_k),$$

където

$$C_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2};$$

$$\varphi_k = \arctg \frac{b_k}{a_k}.$$

C_k представляват амплитудите, а φ_k - началните фази на отделните хармоници на сигнала.

При спектрално представяне на сигналите редът на Фурие може да се запише и в комплексна форма:

$$(3.6) \quad s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k e^{jk\omega_1 t}.$$

Комплексните амплитуди C_k се определят по формулата

$$(3.7) \quad C_k = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) e^{-jk\omega_1 t} dt.$$

При неперидичните сигнали вместо чрез сума, както по-горе сигналът се представя чрез интеграл

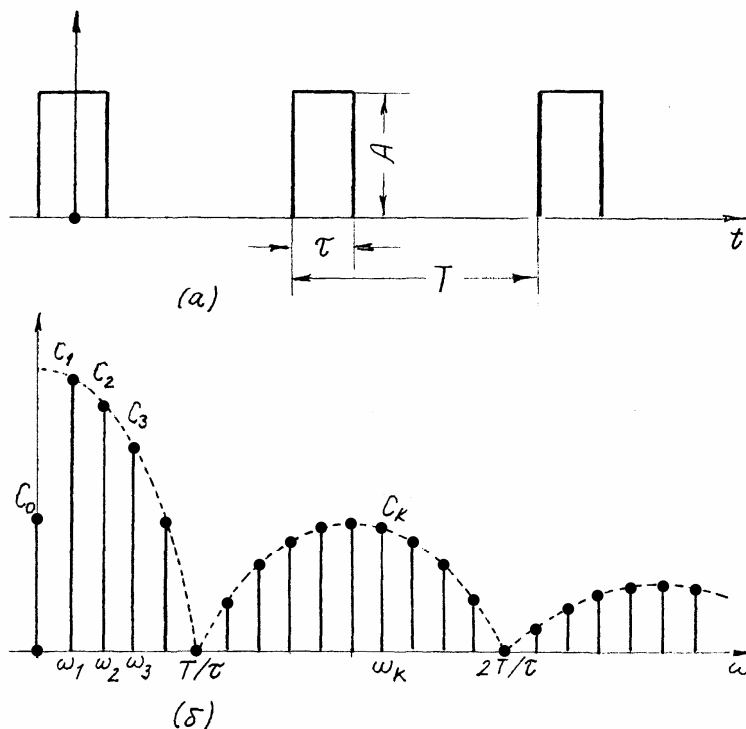
$$(3.8) \quad s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(\omega) e^{j\omega t} d\omega = F^{-1}[\dot{S}(\omega)],$$

където

$$(3.9) \quad \dot{S}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j\omega t} dt = F[s(t)]$$

представява *спектралната плътност*, а (3.8) и (3.9) са съответно обратното и правото преобразование на Фурие (ОПФ и ППФ).

Докато амплитудният спектър на периодичния сигнал (3.5) и (3.7) има дискретен характер, спектралната плътност е непрекъсната функция на честотата.



Фиг. 3.3. Периодични правоъгълни импулси (а) и техния честотен спектър (б)

Един типичен пример е честотният спектър на безкрайна последователност от правоъгълни импулси (Фиг. 3.3) с амплитуда A , период T и дължина на импулса τ . След разлагане на тази функция в ред на Фурие (3.5) се получава

$$C_0 = A \frac{\tau}{T},$$

$$C_k = \left| \frac{2A}{k\pi} \sin\left(k\pi \frac{\tau}{T}\right) \right|.$$

Зависимостта на абсолютната стойност на хармониците от съответната им честота обикновено се представят графично, както на фиг. 3.3б. За кръговата честота ω_1 по ординатата се нанася големината на $C_k = C_1$ за основния хармоник, за $\omega_2 = 2 \cdot \omega_1$ се нанася големината $C_k = C_2$ за втория хармоник и т.н. Тъй като всеки хармоник има определена честота и графиката няма стойности за междинни честоти, то полученият спектър е прекъснат. От фигурата се вижда, че някои от хармониците са с амплитуди, равни на нула. Честотите на тези хармоници се получават, като изразът за C_k се приравни на нула, откъдето се получава

лена честота и графиката няма стойности за междинни честоти, то полученият спектър е прекъснат. От фигурата се вижда, че някои от хармониците са с амплитуди, равни на нула. Честотите на тези хармоници се получават, като изразът за C_k се приравни на нула, откъдето се получава

$$\sin\left(k\pi\frac{\tau}{T}\right) = 0 \text{ или}$$

$$k\pi\frac{\tau}{T} = n\pi \quad (n = 1, 2, 3, \dots, \infty) \text{ и}$$

$$k = n\frac{T}{\tau}.$$

С увеличаването на периода T на следване на импулсите се намалява разстоянието между отделните линии на прекъснатия спектър. При период $T \rightarrow \infty$ (т.е. когато функцията е непериодична) разстоянието между отделните линии $d\omega$ е безкрайно малко и спектърът от прекъснат се превръща в непрекъсната крива, наречена по-горе *спектрална функция* (3.8). В този случай непериодичната функция $s(t)$ се представя чрез спектралната функция $S(\omega)$ с помощта на интеграла на Фурие (3.8), където (3.9) е спектралната плътност на функцията $s(t)$.

За илюстрация на хармоничния анализ на опитни данни се използва програмата COR55RE към цифровия осцилоскоп тип COR5501U на фирмата KIKUSUI:

- влияние на формата;
- влияние на мястото на нулевата линия;
- четни и нечетни хармоници;
- влияние на избора на периода T ;
- влияние на промените в честотата на мрежата;
- влияние на честотата на сканиране (анализ при малък брой заснети точки) - нулиране на спектъра, влияние на големината на отношението T/τ

4. Дискретизация на непрекъснати сигнали

Аналоговите сигнали с ограничена ширина на спектъра $F_c = F_m$ (каквито са почти всички сигнали в релейната защита) могат да бъдат възстановени напълно чрез отделни дискретни стойности, взети през интервали от време $\Delta t = T$, които удовлетворяват условието

$$(4.1) \quad T \leq \frac{1}{2F_{\max}} \text{ или } f_s = \frac{1}{T} \geq 2F_{\max},$$

където f_s е *честотата на дискретизация (на сканиране)*.

Условието (4.1) се дефинира от *теоремата на Котелников* и дава най-малката възможна честота на сканиране $f_{s,\min}$, която ще възстанови реалния аналогов сигнал до участието в него на хармоници с най-голяма честота F_{\max} .

$$(4.2) \quad f_{s,\min} = 2F_{\max}.$$

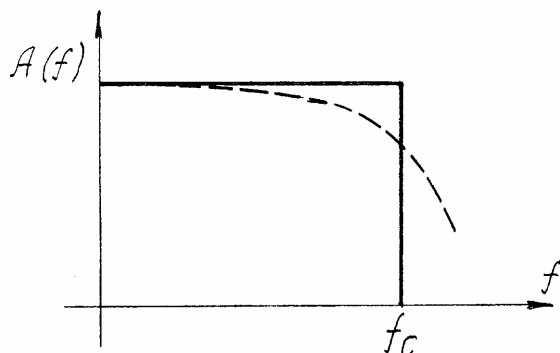
П а р а м е т р и н а ф и л т р и т е

- a) Честота на срязване (гранична честота) f_c
- b) Честота на сканиране (на дискретизация) f_s
- c) Честота на Найквист f_N
- d) Лента на пропускане $ЛП$
- e) Лента на задържане $ЛЗ$
- f) Преходна област между $ЛП$ и $ЛЗ$ - $ПО$

5. Нискочестотни филтри

Разглеждат се нискочестотни филтри (НЧФ) с честота на срязване, равна на половината от честотата на дискретизация на използвания АЦП. Един идеален НЧФ с честота на срязване f_c е показан на фиг. 5.1. Реалните филтри могат само да доближават тази характеристика с форма на правоъгълник и да имат вида на характеристиката от фиг. 5.1, показана с прекъснатата линия. По-долу ще бъдат обсъдени **проектантските аспекти** на практическите НЧФ [1].

НЧФ може да бъде *пасивен* и да се състои най-вече от резистори и кондензатори или *активен*



Фиг. 5.1. Характеристики на идеален и реален (пунктирна линия) НЧФ

и да използва операционни усилватели. Тъй като е необходимо съгласуване между филтъра и АЦП, операционен усилвател се налага във всички случаи, а устройствата с активен филтър водят и до по-малки размери. Прилагането на активни филтри с по-висока степен на интеграция също прави конструкцията по-компактна. НЧФ се изучават и изследват с помощта на техните предавателни функции.

Най-общо, ако филтърът има много стръмно срязване, той ще има голямо забавяне при подаване на единичен стъпаловиден сигнал. В повечето реализирани цифрови защити се използва двузвенов RC-

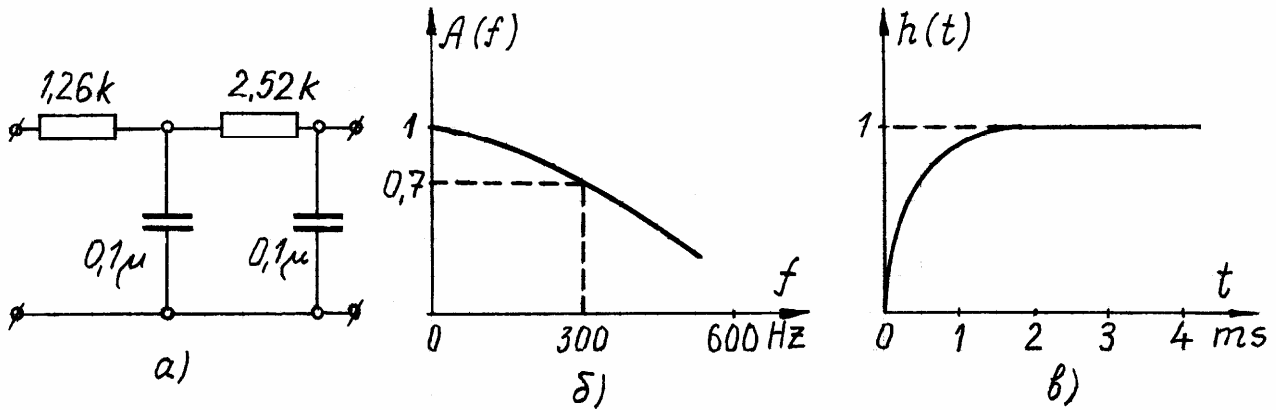
филтър, с което е намерен приемлив компромис между стръмността на характеристиката в преходната област и забавянето при единичен импулс. На второ място изискванията на цифровите релейни защити се задоволяват от филтрите на Бътруърт, Чебишев и Бесел. Обаче тези филтри имат значително отскачане при тяхната реакция на единични импулси. Като пример ще бъде обсъден двузвенов RC-филтър, подходящ за процес на сканиране с честота 600 Hz (12 пъти номиналната честота на системата 50 Hz). Филтърът трябва да има честота на срязване от 300 Hz. Допълнително трябва да се зададе и постояннотоков коефициент на усилване, което прави възможно избиране на пасивно или активно реализиране. Един активен филтър може разбира се да се проектира по условията на някои други приемливи коефициенти на усилване.

Двузвеновите RC-филтри са много популярни поради тяхната простота, пасивни компоненти и работа при умерени честоти. Те понасят работа при смущения, защото имат закръглена характеристика в началото на лентата на задържане. Двузвеновите RC-филтри достигат норма на затихване 12 dB на октава, което е добре за лентата на задържане. Действително това е свойство на всички филтри от втори ред [3]. АФХ на един двузвенов RC-филтър е

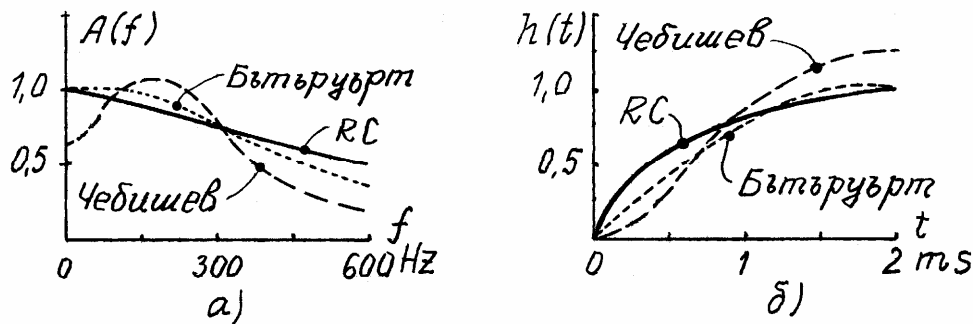
$$(5.1) \quad W(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega(R_1 C_1 R_2 C_2 + R_1 C_2) - \omega^2(R_1 C_1 R_2 C_2)},$$

където R_1 , C_1 , R_2 и C_2 са компонентите на двете стъпала.

Тези компоненти могат да се настроят да осигурят необходимото затихване на проектираната честота на срязване f_c . Фиг. 5.2а показва двузвенна RC-верига с такава преходна функция и честота на срязване $f_c = 300$ Hz. АЧХ и преходната функция на този филтър са показани на фиг. 5.2б и 5.2в. Както се вижда преходната функция е приемлива, защото дава коректен изходен сигнал за около 0.8 ms след подаване на единичен стъпаловиден сигнал. Фазовото изоставане на промишлената честота (50 Hz) е около 11 градуса, което отговаря на закъснение от 0.611 ms. Отчитайки, че този филтър е проектиран за честота на сканиране 600 Hz, фа-

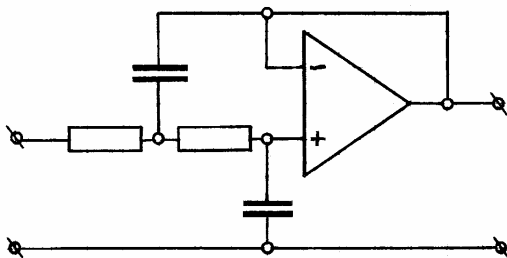


Фиг. 5.2. Двузвнен RC-филтър с честота на срязване $f_c=300$ Hz. (а) RC-реализация; (б) амплитудно-честотна характеристика $A(f)$; (в) преходна функция $h(t)$



Фиг. 5.3. Сравнение между RC-Бътъруърд и Чебишев филтри с честота на срязване $f_c=300$ Hz. (а) Амплитудно-честотна характеристика; (б) Преходна функция

зовото закъснение, което той ще създаде е повече от половин период на честотата на сканиране. (За честота на сканиране 600 Hz периодът е 1.667 ms.)



Фиг. 5.4. Схема на активен RC-филтър с честота на срязване $f_c=300$ Hz

Филтърът на Чебишев от втори ред има малко по-стръмно начално срязване в неговата лента на задържане. Обаче това е за сметка на един отскок в лентата на пропускане. Преходната функция на филтрите на Бътъруърт и Чебишев е малко по-ниска, но пък има значителен отскок. Сравняване на АЧХ и преходните функции на тези три двузвенни филтъра с честота на срязване 300 Hz е показана на фиг. 5.2.

Фиг. 5.4 показва една реализация като активен филтър на двузвнен RC-филтър.

Друго съображение в избора на филтриращо устройство е стабилността на неговата АЧХ при наличие на отклонение в стойностите на компонентите, причинени от стареене и температурни вариации. За анализ се избира пасивният двузвенен RC-филтър от фиг. 5.2. Неговото усилване и фазово изместване са определени чрез намиране на модула и аргумента на АФХ $W(j\omega)$:

$$(5.2) \quad A(\omega) \equiv \text{mod}[W(j\omega)] = \left[\frac{1}{\left(1 - \omega^2 R_1 C_1 R_2 C_2\right)^2 + \omega^2 (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_1 C_2)^2} \right]^{0,5},$$

$$\varphi(\omega) \equiv \text{arg}[W(j\omega)] = \left[\frac{\omega(R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_1 C_2)}{1 - \omega^2 (R_1 C_1 R_2 C_2)} \right].$$

Ако се приеме, че четирите елемента, използвани в пасивната верига имат много малки отклонения на стойностите, отклонението в усилването и фазовото изместване се дава с изразите:

$$(5.3) \quad \Delta A(\omega) = \frac{\partial A}{\partial R_1} \Delta R_1 + \frac{\partial A}{\partial C_1} \Delta C_1 + \frac{\partial A}{\partial R_2} \Delta R_2 + \frac{\partial A}{\partial C_2} \Delta C_2,$$

$$\Delta \varphi(\omega) = \frac{\partial \varphi}{\partial R_1} \Delta R_1 + \frac{\partial \varphi}{\partial C_1} \Delta C_1 + \frac{\partial \varphi}{\partial R_2} \Delta R_2 + \frac{\partial \varphi}{\partial C_2} \Delta C_2.$$

Като се използват парциалните отклонения за избраните номинални стойности на R_1 , C_1 , R_2 и C_2 от фиг. 5.2 се получава

$$(5.4) \quad \frac{\Delta A}{U} = -0,013 \frac{\Delta R_1}{R_1} - 0,004 \frac{\Delta C_1}{C_1} - 0,013 \frac{\Delta R_2}{R_2} - 0,022 \frac{\Delta C_2}{C_2},$$

$$\frac{\Delta \varphi}{\varphi} = +0,493 \frac{\Delta R_1}{R_1} + 0,242 \frac{\Delta C_1}{C_1} + 0,493 \frac{\Delta R_2}{R_2} + 0,734 \frac{\Delta C_2}{C_2}.$$

Често относителното отклонение във фазовия ъгъл $\Delta\varphi/\varphi$ при 50 Hz (причинено от промените в стойностите на резисторите и кондензаторите) е по-голямо, отколкото относителното отклонение в коефициента на усилване $\Delta A/A$. Известно е, че усилването на амплитудата и фазовият ъгъл при активните филтри са по чувствителни на вариациите на стойностите на елементите, отколкото при пасивните филтри. Отклоненията на елементите могат да се намалят чрез много прецизна селекция на резистори с метален слой и полистиролови или поликарбонатни кондензатори.

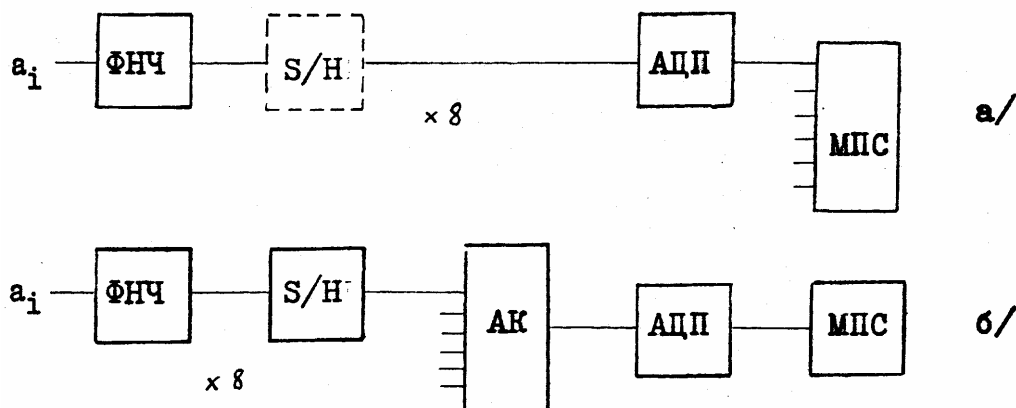
Литература:

1. Phadke A.G., J.S.Thorp. Computer relaying for power systems. Research Studies Press Ltd, England, 1988
2. Стоянов Г.К. Теоретични основи на съобщителната техника. Техника, София, 1993
3. Wai-Kai Chen. Passive and active filters. John Wiley & Sons, 1986
4. Наплатанов Н.Д. Теория на автоматичното регулиране. Том I. Линејни системи. Техника, София, 1976
5. Фирмени материали: LeCroy. Fundamentals of aliasing. Technical note No.CSD-003, 1990

8. Избор на честотата на дискретизация и разрядност на АЦП

1. Начини за въвеждане в цифрови защити на аналогова информация [1]

На фиг. 08.1 са показани двете възможни схеми за въвеждане на аналоговата информация в микропроцесорната система (МПС): с отделни АЦП за всяка входна величина (фиг. 08.1а) и общ АЦП за



Фиг. 08.1. Схеми за въвеждане на аналогова информация в ЦЗ

всички входни величини (фиг. 08.1б).

Схемите съдържат следните блокове:

- ФНЧ - аналогов филтър за ниска честота
- S/H – схема за квантоване и запомняне. Схемата работи докато към нея се подава управляващ сигнал. За да се осигури определена точност на запомнената величини, управляващият сигнал трябва да има определена продължителност t_s (примерно 20-50 μs)
- АЦП - аналогово-цифров преобразувател. АЦП започва преобразуването, когато получи кратък пусков импулс n на определен свой вход. Когато преобразуването завърши, АЦП подава сигнал за готовност z на определен свой изход (фиг. 08.2).
- АК - аналогов комутатор. АК отваря даден канал, когато на управляваните му входове се подаде номера на тези канал в двоичен код.
- МПС: микропроцесорна система, включваща микропроцесор, памет, входно-изходни чипове, таймер и др.

Блоковете S/H не са необходими в следните случаи:

- Когато времето за преобразуване на АЦП е по-малко от 100 μs и няма опасност от голяма динамична грешка.
- Когато алгоритъмът на защита не изисква съпоставяне на моментните стойности на различни величини, напр. при измерване на средни стойности.

Входните величини a_i са напреженията от входните преобразователи (ВП) на защитата:

$$\begin{aligned} a_1 &= k_U \cdot u_A & a_3 &= k_U \cdot u_B & a_5 &= k_U \cdot u_C & a_7 &= k_U \cdot u_0 \\ a_2 &= k_I \cdot i_A & a_4 &= k_I \cdot i_B & a_6 &= k_I \cdot i_C & a_8 &= k_I \cdot i_0 \end{aligned}$$

Броят на входните величини нормално е $n = 8$: фазните токове и напредения и нулевият ток и нап-

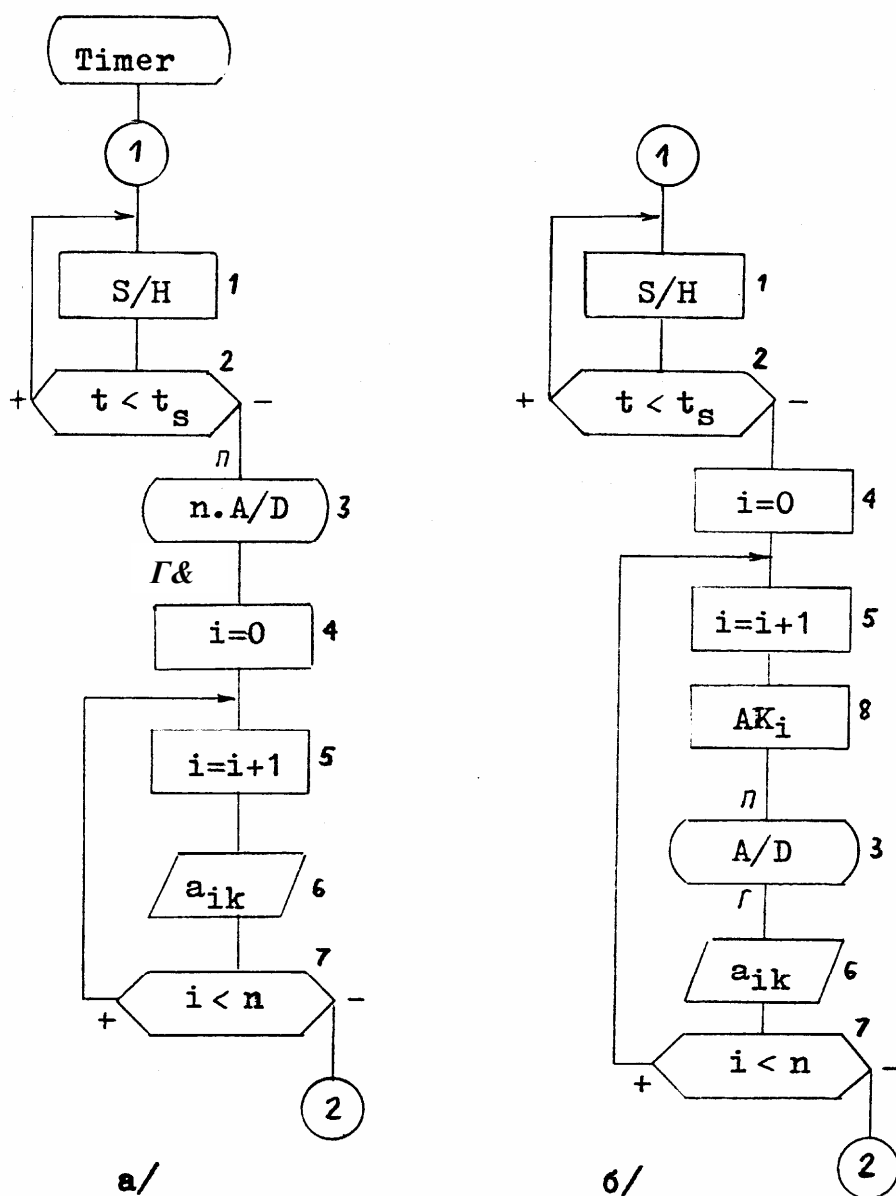
режение. Последните могат да бъдат пресметнати от първите, но са полезни за проверка на въвежданата информация по равенствата

$$(1.1) \quad i_f = 3i_0 \quad u_f = 3u_0$$

Бележка: Пресметнатите и измерените величини с нулева последователност трябва да са количествено и качествено еднакви. Истинските резултати могат да се получат обаче само от първичните величини. Вторичните величини отчитат грешките на измервателните трансформатори и влиянието на смущения във вторичните проводници и дават т.нар. небалансирана величини. Измерването на тока с нулева последователност от отделен ФТНП, например ТТ тип Феранти е за предпочитане в мрежите с неефективно заземена неутрала пред получения с пресмятане. Такова измерване ще бъде благоприятно за стъпалата на земните защиты. За напреженията може да се прави сравнение на напреженията с нулева последователност, получени чрез пресмятане от трите фазни напрежения и измерените от намотките „отворен триъгълник“.

Измерването на нулевите съставки, вместо изчисляването им, изисква още 4 входни клеми за защитата, което увеличава размера ѝ и в известна степен я оскъпява.

Всяка от входните величини се филтрира от ФНЧ. Моментните им стойности a_i ($i=1 \dots n$) се сканират с честота f_s и се фиксират от схеми за квантоване и запомняне S/H. Стойността на a_i за k -тия квант се означава с a_{ik} . Стойностите a_{ik} се превръщат в двоични числа от АЦП и се запомнят от МПС. **В паметта обикновено се пазят стойностите за последните два периода, т.е. 8 масива по $2N$ стойности**, които се попълват като стекове. При въвеждане на нова стойността a_{ik} в началото на масива, запаметените до момента стойности се изместват с една клетка назад, а последната стойност $a_{i,k-2N}$ отпада. Тези масиви ще се наричат входни. За алгоритмите на ЦРЗ нормално не са необходими повече от N стойности на токовете и напреженията, но останалите са нужни за други алгоритми на ЦРЗ: пускане, премахване на мъртвата зона при определяне на посоката, блокировка от люления и др., които представляват специален интерес за цифровите дистанционни защиты.



Фиг. 08.2. Въвеждане на аналогова входна информация в ЦЗ. а) При отделен АЦП за всяка входна величина; б) При общ АЦП за всички величини

Схемата от фиг. 08.1а изисква n броя АЦП, но въвеждането на информацията отнема минимално време, тъй като всички входни величини се преобразуват едновременно. В схемата от фиг. 08.1б има само един АЦП; величините към него се подават една след друга от аналоговия комутатор АК и се преобразуват последователно. Очевидно, че в този случай въвеждането на информацията ще изисква n пъти повече време отколкото първия случай и за нейната преработка ще остане по-малка част от кванта. Поради това схемата от фиг. 08.1б е приложима само при по-прости защити и то ако АЦП е достатъчно бързодействащ.

Блок-схеми на алгоритмите за въвеждане на входната информация са показани на фиг. 08.2 а и б, съответно за конфигурациите от фиг. 08.1а и б. Те работят по следния начин.

В началото на всеки квант таймерът на системата подава импулс и пуска МПС. Тя изпълнява програмата си и спира, очаквайки нов импулс от таймера. МПС отначало подава към схемите за S/H пусков сигнал (блок 1) с продължителност t_s (блок 2). Ако няма схеми S/H, алгоритъмът естествено не съдържа блокове 1 и 2.

В алгоритъм (а) МПС подава към всички АЦП общ пусков импулс и спира. Когато всички АЦП дадат сигнали за готовност Γ , МПС се пуска отново (блок 3). Въвеждането на данните в паметта се извършва от цикъл, повтарящ се n пъти (блокове 4, 5, 7). Във всеки цикъл се прочита числото на изхода на i -тия АЦП и се вкарва в i -тия масив от паметта (блок б). Приети са сладните номера i на входните величини:

$$\begin{array}{cccc} 1 - u_A, & 3 - u_B, & 5 - u_C, & 7 - u_0, \\ 2 - i_A, & 4 - i_B, & 6 - i_C, & 8 - i_0, \end{array}$$

В алгоритъм (б) преобразуването и въвеждането на данните се извършва n цикъла (блокове 4, 5, 7). Във всеки цикъл i първо към АК се подава входът на i -тия канал (блок 8), а след това се подава пусков импулс n към АЦП. МПС спира до получаването на сигнал за готовност z от АЦП (блок 3). Накрая се прочита и запамятава числото на изхода на АЦП (блок б).

2. Избор на честотата на дискретизация на АЦП [1]

Честотата на дискретизация, респективно N и Δt се избира, изхождайки от следните съображения:

- А. Процесорът в ЦРЗ работи в реално време, т.е. изпълнява цялата програма на защитата всеки квант. Поради това **увеличаването на Δt дава възможност да се използват по-сложни алгоритми** на ЦРЗ при по-проста (и евтина) конфигурация на хардуера. Тук следва да се отбележи също, че увеличаването на Δt води до необходимост от използване на АЦП с по-голяма разрядност.
- В. Алгоритмите на ЦРЗ почиват на различни числени методи за решаване на определени задачи, а **точността на тези методи е толкова по-висока, колкото по-малък е квантът Δt** . За конкретизиране на това изискване в долната таблица са дадени като пример относителните грешки при цифрово диференциране и интегриране на синусоидална величина по три точки с линейна интерполация.

Табл. 2.1

N , кванта за период	8	12	16	20	24
Грешка при диференциране, %	10	4,5	2,6	1,6	1,1
Грешка при интегриране, %	5,2	2,3	1,3	0,8	0,6

От тези данни личи, че за да се осигури точност по-висока от 5% е необходимо $N \geq 12$, а ако алгоритъмът не съдържа диференциране - $N \geq 8$.

- С. При формиране на входните величини на компараторите е необходимо входните величини на релето да бъдат измествани по фаза. Най-простият от методите за изместване използва стойностите от n кванта преди текущия, при което векторът на величината се завърта с $\frac{n}{N} \cdot 360^\circ$. За да се осигури завъртане поне през 30° , е необходимо $N \geq 12$. Редица алгоритми за обработка на информацията като определяне на амплитуда по 2 точки, анализ на Фурие по 4 точки и др., изискват да се разполага с моментните стойности на величините през 90° . Поради това **е задължително N да бъде кратно на 4**.

В заключение може да се препоръча в ЦЗ да се избира $N = 12$, а при свободна изчислителна мощност и по-големи стойности: 16, 20, 24 и т.н. В литературата се дават най-разнообразни стойности: $N = 8 \div 40$.

3. Избор на разрядност на АЦП [1]

Грешките на АЦП се делят на статични и динамични. Статичната грешка се състои от грешката от квантоване, равна на 0.5 LSB (LSB - най младшият бит) и грешката от нелинейност, която е $(0.1 \div 0.5) \text{ LSB}$. Статичната грешка следователно може да се приеме равна на $(0.6 \div 1) \text{ LSB}$. Динамичната грешка се обуславя от изменението на входната величина за времето на преобразуване или за времето на запомняне при използване на схеми S/H. Тъй като тези времена за съвременните прибори са под $50 \mu\text{s}$, а за ЦЗР е от значение основната честота, то динамичната относителна грешка ще бъде по-малка от $\omega \cdot 50 \mu\text{s} = 0,016$ и може да се пренебрегне.

АЦП трябва да преобразува със зададена точност моментните стойности на входните величини в диапазона им на точна работа. Ако се означи с k отношението на горната и долната граница на този диапазон, то АЦП е необходимо да преобразува точно стойности от $\sin(\omega \cdot \Delta t) \approx \omega \cdot \Delta t$ до k . Ако на най-малката стойност се изисква точност 5%, това означава, че

$\text{LSB} = 0.05 \omega \cdot \Delta t = 0.1 \frac{\pi}{N}$. При разрядност n на АЦП максималната стойност на преобразуване е

$\text{LSB} \cdot 2^n$ и тя трябва да бъде не по-малка от k . Необходимата разрядност на АЦП следователно се определя от условието

$$(3.1) \quad \begin{aligned} \frac{0.1\pi}{N \cdot 2^n} &\geq k \\ 2^n &\geq \frac{Nk}{0.1\pi} = 3.18 \cdot N \cdot k \\ n &\geq 3.32 \cdot \lg(N \cdot k) + 1.67 \end{aligned}$$

При $k = 100$, $N = 12$ се получава $n = 12$.

Практически за ЦЗР се използват 32-битов АЦП (7SJ62 – 32 разрядно АЦП).

Литература:

1. Витанов А. Б. Дистанционни релета. Хабил. труд за ст. н. с. I ст., НИТИ Енергопроект, София, 1990
2. Костов Ж. Цифрови измервателни преобразователи и уреди. ТУ-София, 1994
3. Адърски И., Ж. Костов, А. Лазаров. Аналогово-цифрови измервателни преобразователи. София, Техника, 1983
4. Златаров В. К. и др. Приложение на аналогови интегрални схеми. Наръчник. София, Техника, 1985
5. Phadke A. G., J. S. Thorp. Computer relaying for power systems. Research Studies Press Ltd, England, 1988
6. Начев Н. и др. Промишлена електроника. Техника, София, 1988
7. Фирмени материали:
 - LeCroy. Fundamentals of digital oscilloscopes and waveform digitizers. Technical note No.CSD-001
 - LeCroy. Fundamentals of analog to digital conversion. Technical note No.CSD-002, 1990

Приложение 1

Пример за АЦП на селективна земна защита, използваща знаците на първите импулси

1. Особенности на входния ток

Входният ток с нулева последователност се оценява по два показателя.

- А. **Първа полувърлна на преходния ток.** Причинява се от разреждането на капацитета на повредения проводник към земя. Има първична стойност няколко килоампера и честота $5 \div 10$ kHz. Преходният процес продължава с дозареждане от фазно на линейно напрежение на капацитетите на неповредените фази. Големината на тока и честотата му са няколко пъти по-малки и затихват още през първия период на основната честота. Като критерий се използва знакът на преходния ток и затова схемата се подбира така, че входният операционен усилвател да влезе в режим на насищане. Дори и при значително преходно съпротивление в мястото на повредата ($10-30\Omega$), преходният ток е значително по-голям от установения. Приема се $3I_{0min} = 10A$ и $3I_{0max} = 4000A$.
- В. **Големина на висшите хармоници в тока.** При метално з.с. и установен режим те зависят от хармониците в напрежението, а те имат минимална стойност $(0,004 \div 0.009)U_H$, допустима по стандарт сумарна стойност $0.08U_H$, и максимална - $(0.20 \div 0.30)U_H$. Преходното съпротивление също влияе. Трайният първичен ток на з.с. има минимална стойност няколко ампера първично и максимална - няколко десетки ампера (или по изключение - $100 \div 200A$). За конкретна цифрова защита овладяването на такъв широк диапазон от токове се прави с голям динамичен диапазон на АЦП и с различни обхвати на токовия диапазон. За конкретната защита, съобразено с възможните технически решения за АЦП, товарът на ТТФ от 2Ω и преводно отношение на ТТФ равно на 1:50 се приема минимална стойност $3I_{0min} = 1.25A$ и максимална $3I_{0max} = 62.5A$. За отсейване на споменатите висши хармоници се разчита на цифрово филтриране от едночипов микроконтролер.

2. Честота на дискретизация на входните сигнали

Определя се от спектъра на висшите хармоници, които са характерни за з.с. в разглежданите мрежи. Висшият хармоник с най-малък номер е пети, а с най-голям - четиридесети. Предвиждат се за използване хармониците с номера 5, 7, 11 и 13, тъй като се изключват четните и кратните на три, а по-високите номера имат незначителна амплитуда. За изпълняване на условията по теоремата на Котелников трябва при основна честота 50 Hz честотата на сканиране да бъде поне 1300 Hz. Приема се честотата 1600 Hz и се създава запас от $1600/1300 = 1.23$.

3. Разрядност на АЦП

Вариантите за комбинация от микропроцесор и АЦП са много и не подлежат на описване. Експертно и на базата на опита на катедра "Електроенергетика" от ТУ – София (1995 г.) по внедряване на микропроцесорни устройства в енергетиката се предвижда използване на 8 битов едночипов микроконтролер с вграден 10 разряден АЦП. Входните сигнали се контролират по големина и по фаза и се налага отчитане на двете полувърлни без възможност за изправяне. Входният сигнал се сумира с опорно напрежение, равно на половината от допустимото входно напрежение (5V) и по този начин максимуми от 2.5V ще се измерват с относителна грешка до 0.1%, а за да бъде грешката по-малка от 5%, трябва сигналът да бъде с амплитуда над 0.05V. Динамичният диапазон на измерването при точност 5% става 50. Като се отчита големият брой случайни фактори, които при з.с. влияят върху амплитудата и спектъра на тока и напрежението с нулева последователност, може да се приеме, че такава точност и динамичен диапазон са удовлетворителни.

При 8 разряден АЦП нивото 2.5V се измерва с точност 0.2%, а за точност поне 5% сигналът трябва да бъде над 0.1V. Динамичният диапазон на измерване спада на 25.

4. Връзка на разрядността на АЦП и хармоничния анализ

Хармоничният анализ по Фурие води до пресмятания, които най-общо могат да се опишат с формулата

$$(1) \quad X = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N a_i x_i,$$

където X е резултатът от изчисленията,

N - броят на сканиранията за един период на основния хармоник,

a_i – sin и cos на съответните ъгли,

x_i – моментните стойности на явлениято, измерени от АЦП.

Най-голямата числена стойност на резултата X няма да надвишава стойността

$$(2) \quad A = \sum_{i=1}^N a_{\max} \cdot x_{\max} = N \cdot x_{\max},$$

като се отчита, че коефициентите a_i са максимум равни на единица.

Разрядността на дискретните стойности x_i се определя от приетия 10 разряден АЦП. При това условие разрядността на A може да бъде например 2^{16} (двубайтово число) и за броя на дискретите остават $2^6 = 64$ бита. Те са много повече от приетите по условието за най-голям изискван номер на хармоника 32 стойности и следователно работата с приетия микроконтролер няма да доведе до усложняване на алгоритъма на земната защита и до увеличаване на времето за изчисление.

При 8 разряден АЦП за дискретите остават – $2^8 = 256$ бита.

Приложение 2

Пример за АЦП на защита при загуба на възбуждане

Обработването на входните сигнали, постъпващи към микропроцесорната част на устройство за установяване на асинхронния режим (УУАР), изисква решаването на следните проблеми:

1. Нормализация на входния сигнал

Токът и напрежението, постъпващи от ТТ и НТ, имат номинални значения, съответно 5 А и $100/\sqrt{3}$ V. За да могат тези величини да бъдат подадени към измервателната част на устройството за установяване на асинхронен режим (УУАР), е необходимо да имат големина, съответно от 0 до 20 mA и от 0 до 5 V. За целта е необходимо да се разработят междинни токови и напрежителни трансформатори, удовлетворяващи изискванията на измервателната част на УУАР.

2. Предварителна филтрация

В изследвания случай специална входна филтрация на входния сигнал не се налага, тъй като се разглежда режим, при който токовете и напреженията не са силно деформирани.

3. Определяне на честотата на сканиране на входния сигнал.

Честотата на сканиране на входния сигнал се определя от използваните алгоритми за намиране на ходографа на импеданса (R и X), с цел подобряване на точността на изчисление. Честотата до голяма степен зависи от бързодействието на използваната микропроцесорна система. Една приемлива както от софтуерна, така и от хардуерна гледна точка честота е 800Hz, т.е. 16 дискрети за един период на основната честота.

4. Определяне на разрядността на АЦП

Разрядността на АЦП се определя в съответствие със следните два критерия:

а) Големина на грешката при квантоване по ниво

Разрядността на АЦП се определя от зависимостта

$$(1) \quad MB = \frac{DU}{2^n}; \quad DU = G_{\Gamma} - G_{\Delta},$$

където MB е величината, съответстваща на най-младшия бит от разрядността на АЦП, DU - диапазон на изменение на входния сигнал, а G_{Γ} и G_{Δ} са съответно горна и долна граница на измерваната величина.

Ако долната граница на моментната стойност на изследваната величина е нула, а горната граница - амплитудната стойност, то:

$$(2) \quad \begin{aligned} DU &= A_m - 0 = A_m; \\ n &= \frac{Lg \frac{A_m}{MB}}{Lg 2}. \end{aligned}$$

б) Големина на грешката по фаза

Разликата между големината на величината при измерване и стартиране е

$$(3) \quad \Delta A = A_m \sin \varphi_1 - A_m \sin \varphi_0,$$

където:

φ_1 - ъгъл, при който става фактическото измерване;

φ_0 - ъгъл, при който се стартира измерването.

Фазовата грешка е $\Delta \varphi = \varphi_1 - \varphi_0$. Максималната грешка при измерване на синусоидална величина се получава в точките на пресичане с нулевото ниво, където скоростта на изменение е максимална, т.е.

$$(4) \quad \Delta A = A_m \sin \varphi_1 - A_m \sin \varphi_0 = A_m \sin \Delta \varphi.$$

Ако приемем, че $MB = A_m \sin \Delta \varphi$, то разрядността на АЦП се получава :

$$(5) \quad n = \frac{Lg \frac{1}{\sin \Delta \varphi}}{Lg 2}.$$

При $MB = 0.01 A_m$ разрядността става

$$(6) \quad n = \frac{Lg 100}{Lg 2}.$$

Ако тежестта на най-младшия бит е 1 % от амплитудата на сигнала, то размерността на АЦП трябва да бъде по-голяма от 7 бита. Ако времето за преобразуване е $30 \mu s$ ($\Delta \varphi = 0.5^\circ$), то разрядността на АЦП трябва също да бъде по-голяма от 7 бита. Ако за всяка величина се предвиди схема за избор на запомняне (S/H), чието време за установяване е от порядъка на $4 \div 5 \mu s$, то грешката се намалява значително.

4.2.3. Време-елементи

В схемите на статичните релейни защиты намират широко приложение елементи, чийто изходен сигнал е функция освен на входния сигнал x и на времето. Към този вид елементи се отнасят релетата за време на защитите и функционалните време-елементи в състава на измервателните релета.

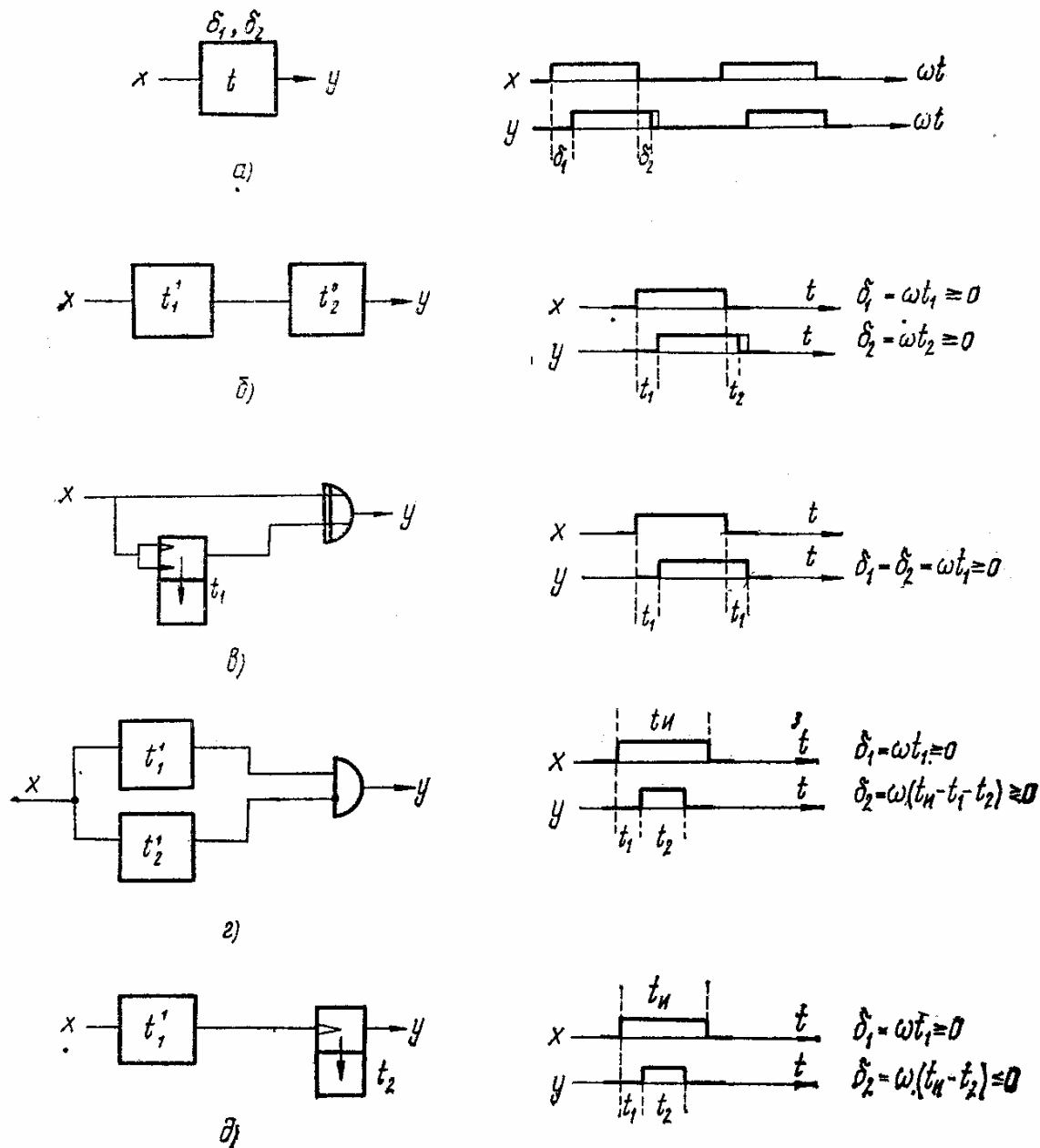
Съществуват две основни групи време-елементи: за закъснение и за краткотрайно запамяване. Към първата група се отнасят елементите, забавящи сигнала 1 (t^1) или сигнала 0 (t^0), а към втората — моновибраторите и елементът «временна памет» (T).

В табл. 4.5 са показани символичните означения на време-елементите и време-диаграми, илюстриращи действието им.

Изходният сигнал y на елемента t^1 става 1 след изтичането на определен интервал от време след подаването на входния сигнал $x=1$ и се анулира едновременно с него. Елементът t^0 действа обратно: на изхода му се получава сигнал 1 едновременно с подаването на входен сигнал 1 , но изходният сигнал става 0 известно време след анулирането на входния сигнал. Изходният сигнал на елемента временна памет става 1 в момента, в който входният сигнал x стане 0 , и запазва значението си $Y=1$ до изти-

Временной элемент		Задержка на сигнал 1	Задержка на сигнал 0	Временная память	Моновибратор
Символьное обозначение и временная диаграмма					
Основной элемент	t^1				
	t^0				
	T				

чането на определено време t или до повторна поява на входен сигнал $x=1$. Изходният сигнал на моновибратора добива значение 1 едновременно с входния сигнал и се анулира след известно



Фиг. 4.16. Фазоизместващи елементи

а — общо означение, б — схема за $\delta_1, \delta_2 \geq 0$, в — схема за $\delta_1 = \delta_2$, г — схема за $\delta_1 \geq 0, \delta_2 \leq 0$, д — схема за $\delta_1 \geq 0$ и произволен δ_2

време t независимо от значението на x през това време. Този елемент се използва главно за формиране на импулси с определена продължителност.

Към време-елементите могат да бъдат отнесени и прилаганите в импулсната техника фазоизместващи схеми τ (фиг. 4.16).

Посредством тях периодично повтарящите се правоъгълни импулси x (фиг. 4.16а) се преобразуват в импулсите y , изместени по фаза и евентуално с изменена продължителност. Действието на фазоизместващите елементи се дефинира чрез ъглите δ_1 и δ_2 , определящи фазовото изместване съответно на предния и задния фронт на входните импулси. Следва да се отбележи, че докато δ_1 е винаги положителен, δ_2 може да бъде както положителен, така и отрицателен. Няколко от възможните начини за реализиране на фазоизместващи елементи и време-диаграмите им са показани на фиг. 4.16б, в, г и д. Елементите t^1 , t^0 и T са основни. В табл. 4.5 и фиг. 4.16 са показани простите логически преобразувания, с помощта на които от основните елементи могат да се получат всички останали [43, 101]. Моновибраторът не може да се използва като основен елемент, защото изходният му сигнал след появяването си престава да зависи от входния сигнал.

а. Аналогови и дискретни време-елементи

Време-елементите могат да бъдат дискретни или аналогови в зависимост от това, дали времето се получава чрез изброяване на периоди от еталонна честота или благодарение на инерционните свойства на RC -верига.

Фиг. 4.17а представлява опростена принципна схема на аналогов елемент t^1 . Схемата се управлява с отрицателен сигнал. Оперативното напрежение U и напрежението на зареждане U_z на праговия елемент ПЕ са също отрицателни. При входен сигнал $x=0$ кондензаторът C е разреден през диода D_1 . Напрежението на входа на праговия елемент е значително по-ниско от прага на зареждане U_z . Изходният сигнал y е равен на 0. Когато входният сигнал x премине от 0 към 1, диодът D_1 получава обратно напрежение. Започва преходен процес зареждане на кондензатора. Когато напрежението U_c достигне прага на зареждане U_z на праговия елемент, на изхода на последния, съответно на изхода на елемента, се получава сигнал $y=1$.

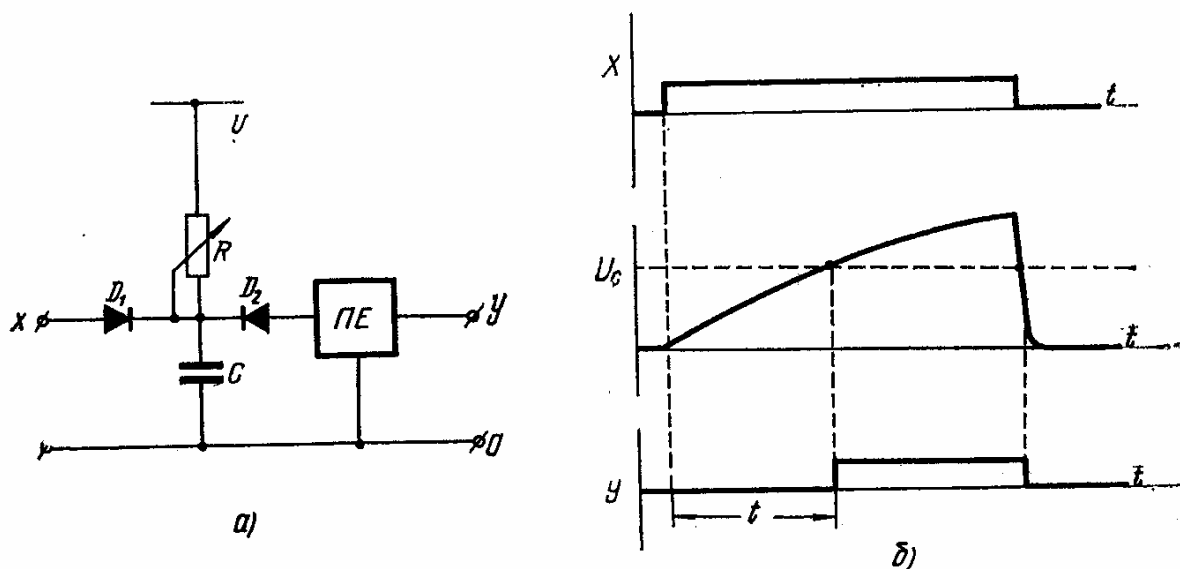
Времето на закъснение е

$$t = RC \ln \frac{U}{U - U_z}, \quad (4.14)$$

където U е оперативното напрежение, U_z — напрежението на за-

работване на праговия елемент, а R и C са стойностите на елементите от зарядната верига.

В израза (4.14) е пренебрегнато влиянието на правите и обратните съпротивления на диодите, както и на тока през праговия елемент.



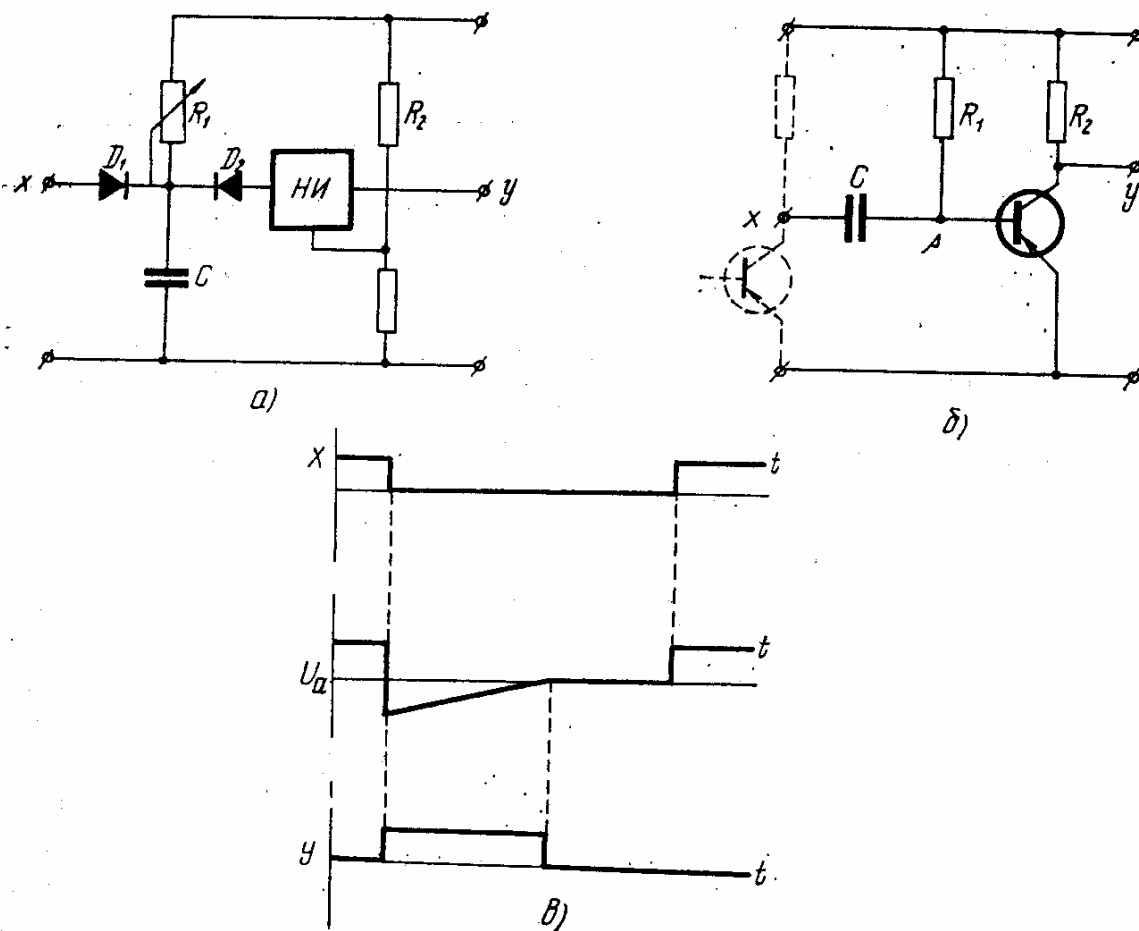
Фиг. 4.17. Време-елемент със забавяне на сигнал I
 а — схема; б — време-диаграма

Времето може да се настройва чрез изменение на стойностите на елементите от зарядната верига или чрез изменение на прага U_3 . Първият начин се използва по-често, защото осигурява линейност на скалата и постоянна относителна грешка в целия диапазон на настройка.

Максималното време, което може да се получи от схемата, е ограничено от следните съображения. Увеличението на капацитета е свързано с увеличение на размерите и на тока на утечка на кондензатора. Този ток не е еднакъв както за различните типове кондензатори, така и за отделните екземпляри от даден тип и зависи силно от температурата. Наличието на ток на утечка намалява зарядния ток на кондензатора и увеличава времето. За да се намали това влияние, трябва да се избере заряден ток, около един порядък по-голям от тока на утечката. Това се налага и за да се избегне влиянието на обратните токове на диодите и на входното съпротивление на праговия елемент. При дадено оперативно напрежение зарядният ток се определя от съпротивлението R , чиято стойност очевидно не бива да надвиши определена граница.

Третата величина, от която се определя времето (4.14), е напрежението на заработване на праговия елемент. Поради изменящата се стръмност на кривата $U_0 = f(t)$ увеличението на U_3 води до намаляване на точността на релето. Препоръчва се [80] да се избира $U_3 \leq \frac{2}{3} U$.

Както се вижда от (4.14), времето на заработване се влияе от колебанията на оперативното напрежение. Очевидно е, че ко-



Фиг. 4.18. Време-елементи

a — време-елемент със закъснение на сигнала *1*; *б* — елемент «временна памет»; *в* — действие на елемента «временна памет»

гато към релето са поставени високи изисквания за точност, трябва да се прибегне до стабилизиране на това напрежение. Съществуват схеми, при които колебанията на U не оказват влияние върху точността. На фиг. 4.18 са показани две такива схеми.

Време-елементът от фиг. 4.18а е със забавяне на сигнала *1*. Той се различава от показания на фиг. 4.17а по това, че праговият

елемент е заменен с нулиндикатор и делител на оперативното напрежение. По този начин е постигната пропорционалност между оперативното напрежение U и прага на заработване U_3 :

$$U_3 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} U, \quad (4.15)$$

и изразът (4.14) придобива вида

$$t_3 = RC \ln \frac{R_2 + R_3}{R_2}. \quad (4.16)$$

Времето на заработване в случая зависи само от стойностите на схемните елементи.

На фиг. 4.18б е показан елемент T [80, 60], който действа по следния начин (4.18в). Когато входният сигнал x е 1, кондензаторът е зареден през R_1 и прехода емитер—база на транзистора. Транзисторът е наситен вследствие на протичащия през $p-n$ прехода емитер—база ток. Изходният сигнал $y=0$.

В момента, в който входният сигнал се измени от 1 на 0, потенциалът на базата на транзистора става $+U$, тъй като кондензаторът е зареден, а свързаният с входа електрод има потенциал 0. Транзисторът преминава в състояние отсечка и на изхода се получава сигнал $y=1$. Започва разреждане на кондензатора през съпротивлението R_1 . Когато напрежението

$$U_c = 2Ue^{-\frac{t}{\tau}} - U \quad (4.17)$$

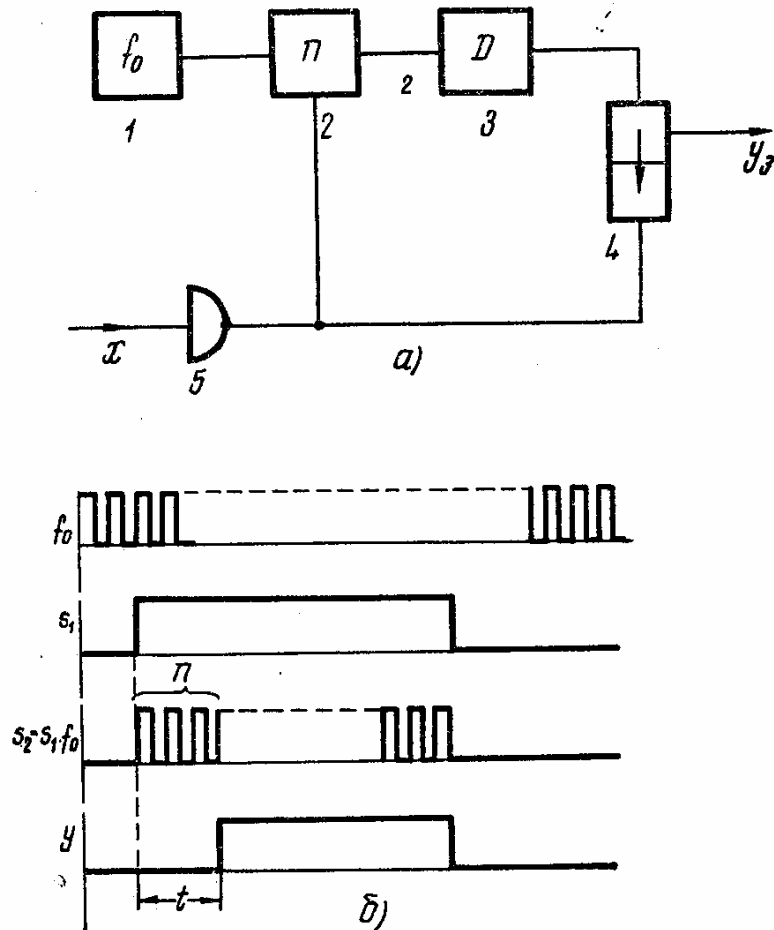
превиши потенциала на емитера, транзисторът се насища и изходният сигнал става отново 0. Интервалът от време, през който изходният сигнал е 1, е

$$t = RC \ln 2. \quad (4.18)$$

Описаните две независими от колебанията на оперативното напрежение схеми могат да послужат като основа при разработката на останалите видове време-елементи (табл. 4.5).

Както беше споменато, дискретните време-елементи изброяват определен брой периоди от еталонна честота f_0 . Това предполага наличието на броячна схема и на източник на еталонна честота f_0 . На фиг. 4.19а е показана блоковата схема на дискретен елемент със забавяне на сигнала 1. Време-диаграмата на фиг. 4.19б пояснява действието му. Генераторът 1 работи непрекъснато и произвежда импулси с еталонна честота f_0 . Закъснението t_3 се

настройва посредством дешифратора 3. При входен сигнал $x=0$ броячът 2 и изходният тригер 4 са нулирани и сигналът на изхода $x=0$. Когато x се измени от 0 на 1, елементите 2 и 4 се деблокират. Броячът 4 започва да работи и когато достигне числото, настроено



Фиг. 4.19. Дискретен време-елемент със закъснение на сигнала 1

с помощта на дешифратора 3, на изхода на последния се появява импулс, който преобръща изходния тригер 4. По този начин изходящият сигнал се получава със закъснение

$$t_3 = nT_0,$$

където

n е настроеният в дешифратора 3 брой на импулсите;
 T_0 — периодът на еталонната честота.

Въз основа на описаната схема и на преобразуванията, по-

казани в табл. 4.5, могат да се синтезират всички останали време-елементи.

В някои схеми на дискретни време-елементи [89] като еталонна се използва мрежовата честота. Когато елементът трябва да работи независимо от напрежението на мрежата (например в безтоковите паузи на АПВ), се използват самостоятелни генератори, които, в случай че са поставени по-високи изисквания за точност, могат да бъдат с кварцова стабилизация. Настройката на дискретните време-елементи се извършва обикновено стъпално чрез броя на периодите. Възможна е и плавна настройка чрез изменение на еталонната честота f_0 . Поради необходимостта от специален генератор с регулируема честота и затрудненията, свързани с постигането на необходимата стабилност, този начин за настройка не намира приложение.

Броячните схеми на дискретните време-елементи могат да бъдат изпълнени с транзисторни тригери [89] и с магнитни елементи с правоъгълни характеристики [80, 101]. Най-перспективни обаче от икономична, конструктивна и технологична гледна точка в настоящия момент са броячите с транзисторни тригери в монолитно интегрално изпълнение.

Към основната броячна схема на дискретния време-елемент могат да се свържат няколко дешифратора и изходни тригери. По този начин се получава реле с няколко изхода, имащи независима настройка по време [89], което може да намери приложение в многостъпалните защиты.

Дискретните време-елементи са значително по-сложни и скъпи от аналоговите. Въпреки това те имат определени предимства: точност, възможност за постигане на големи времена, възможност за получаване на релета с много стъпала и възможност за цифрова индикация на времето. Благодарение на изтъкнатите предимства дискретните време-елементи могат да намерят широко приложение като време-релета в защитите.

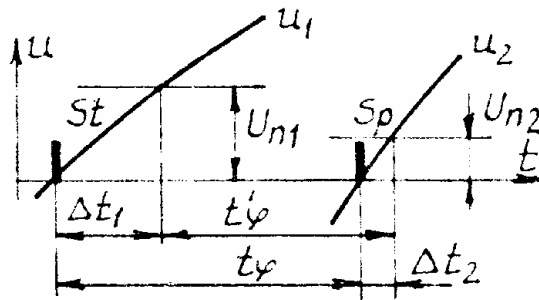
Поради простотата на схемата и сравнително ниската цена аналоговите елементи намират в настоящия момент широко приложение както като време-релета с времена до 10 s, така и като функционални време-елементи в схемите на измервателните релета.

Литература:

1. Витанов А., Н. Златоустов, З. Попов, С. Вичев. Полупроводникови релейни защиты. Техника, София, 1975

10. Цифрово измерване на фазова разлика

Определение. Параметърът фазова разлика е въведен при разглеждането на синусоидални процеси и строго погледнато, той има смисъл само за тях. При наличие на висши хармоници фазова разлика се дефинира под формата на множество фазови разлики между съответните хармоници.



Фиг. 10.1. **Формиране на импулси за измерване на фазова разлика**

За произволни сигнали фазовата разлика има условен смисъл и се въвежда като разлика във фазите, съответстващи на преминаването на сигналите през определени нива в определена посока (фиг. 10.1). Най-често се избира нулево ниво. Ако това нулево ниво се използва за определяне на фазовата разлика между основните хармоници на несинусоидално явление се допуска принципна грешка. Вторият и третият хармоник внасят грешки до около 1° на всеки процент от относителния си дял в кривата на всеки от сигналите.

Принцип на измерването. Времето t_φ от фиг. 10.1 по определение е информативен параметър за фазовата разлика между сигналите $u_1(t)$ и $u_2(t)$, имащи еднаква честота $f = \frac{1}{T}$. До момента на преминаването на $u_2(t)$ през нулевото ниво, фазата на $u_1(t)$ нараства с

$$(10.1) \quad \varphi = \frac{2\pi}{T} t_\varphi. \quad [\text{rad}]$$

Очевидно е, че измерването само на t_φ чрез хронометър не е достатъчно за определянето на φ . За да се получи независимост на резултата относно f , трябва да се търси инвариантна форма на преобразуване. Такива решения се разглеждат по-долу.

Прибягва се към непряко измерване на φ чрез t_φ и T като се използва опорен генератор с честота $f_{\text{ген}}$. Получава се:

$$(10.2) \quad \begin{aligned} &\text{Брой на импулсите за цял период } T \\ &N_T = T \cdot f_{\text{ген}}; \\ &\text{Брой на импулсите за времето } t_\varphi \\ &N_\varphi = t_\varphi \cdot f_{\text{ген}}; \\ &\text{Фазова разлика} \\ &\varphi = 2\pi \cdot \frac{N_\varphi}{N_T} \quad [\text{rad}]. \end{aligned}$$

Резултатът е инвариантен относно честотата на квантуващите импулси.

Грешки. Един от източниците на грешка е неточното изпълнение на условието за преминаване през нулата. Така ако старт и стоп-импулсът се формират не при преходите на $u_1(t)$ и $u_2(t)$ през нулевото ниво, а при преходите им през нивата U_{n1} и U_{n2} , се получава

изместване на границите на времето t_ϕ (фиг. 10.1).

За да се получи количествена оценка за грешката се предполага, че праговите нива U_{n1} и U_{n2} са много по-малки от амплитудите на сигналите и че участъците около нулата са линейни. За времената на изместване на старт-импулса Δt_1 и на стоп-импулса Δt_2 се получава

$$\Delta t_1 = \frac{U_{n1}}{\frac{du_1}{dt}} \text{ и } \Delta t_2 = \frac{U_{n2}}{\frac{du_2}{dt}}$$

Грешката за фазата е

$$\Delta\phi = 2\pi \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{T} = \frac{2\pi}{T} \left(\frac{U_{n2}}{\frac{du_2}{dt}} - \frac{U_{n1}}{\frac{du_1}{dt}} \right).$$

За синусоидални режими при $u_1 = u_{1m} \sin \omega t$ и $u_2 = u_{2m} \sin(\omega t - \phi)$ грешката, приведена към $\phi_n = 2\pi$ и се определя от израза

$$(10.3) \quad \gamma_n = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{U_{n1}}{u_{1m}} - \frac{U_{n2}}{u_{2m}} \right).$$

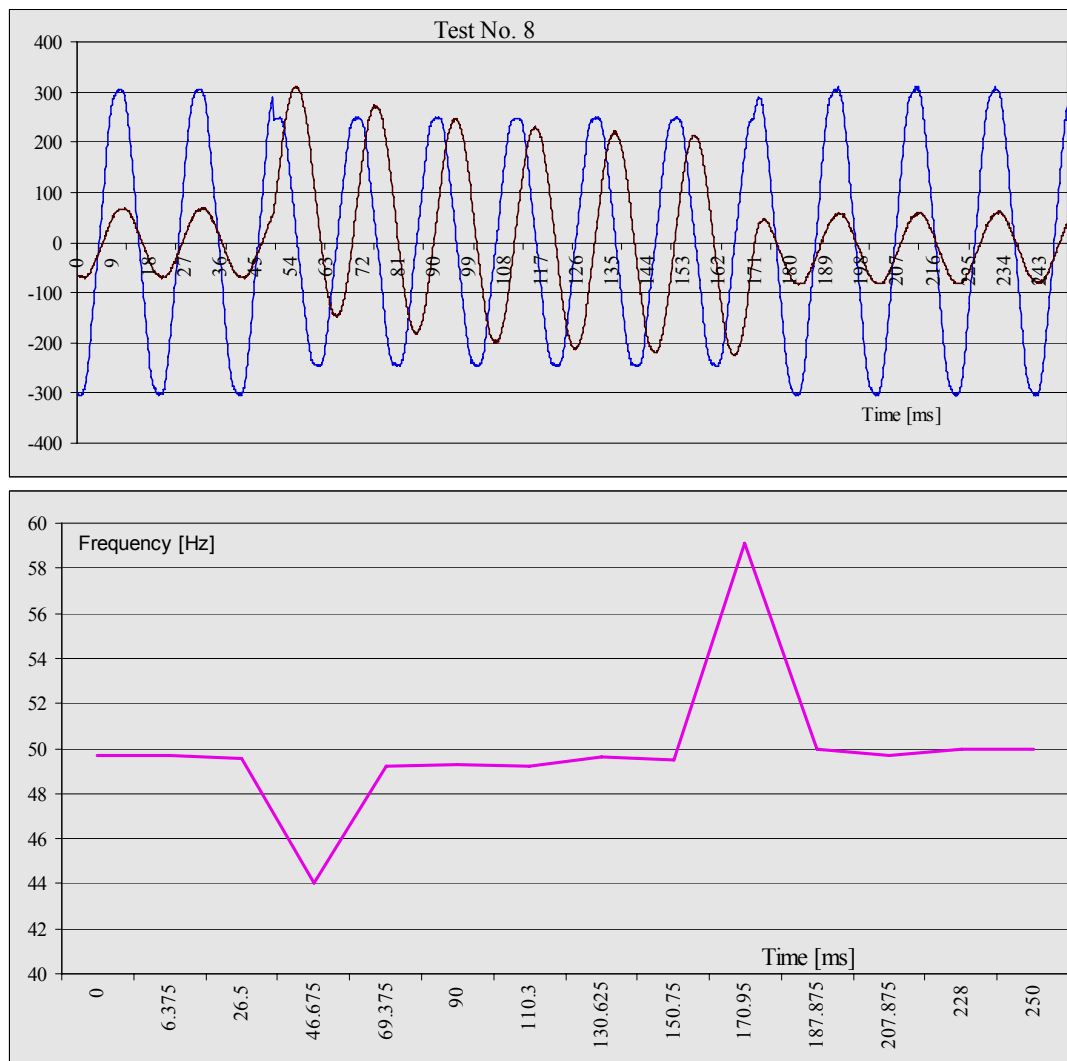
Грешката от дискретност зависи от индивидуалните особености на използваното решение. При метода с опорен генератор, разгледан по-горе, максималната грешка от дискретност на N_ϕ и на N_T е ± 1 . В най-неблагоприятния случай

$$\gamma_d = \frac{\Delta\phi_d}{\phi_n} = \left(\frac{N_\phi + 1}{N_T - 1} - \frac{N_\phi}{N_T} \right) = \frac{2}{T \cdot f_{\text{ген}}}.$$

Приложение 1

Честота на тока и честота на напрежението – проф. д-р Лазар Петканчин

Напрежение и ток: нормален режим → късо съединение → нормален режим



Изменение на честотата на тока, измервана всеки период чрез отчитане на пресичането през нулата

Честотата се отчита по пресичането на кривата на тока или напрежението през нулата. В преходния процес фазовата разлика между напрежението и тока търпи промяна. В работния режим фазовият ъгъл е $10 \div 15^\circ$, при късото съединение в мрежите високо напрежение става $70 \div 85^\circ$, в след-аварийния режим отново се връща на $10 \div 15^\circ$. И в двата прехода пресичането през нулата нарушава периодите на цикличността си и отчетената по горния начин честота ще спадне при нарастване на ъгъла и ще се увеличи при намаляването му.

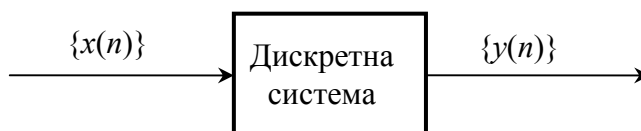
Възможност за използване: Промяната на честотата може да се използва за откриване на аварийен процес.

11а. Цифрови филтри

С понятието цифров филтър се свързва всяка линейна инвариантна система, която се описва от диференчно уравнение, чийто изходен сигнал (последователност от импулси) се отличава от входния по предварително зададена зависимост. По такъв начин цифровите филтри представляват голям клас от устройства за обработка на сигнали. В тази обработка се включва не само филтрирането на спектъра в тесния смисъл на това определение.

Цифровите филтри могат да се използват директно, когато сигналите са в цифрова форма. Ако сигналите са аналогови, то филтърът трябва да се предшества от аналого-цифров преобразувател (АЦП).

Да си припомним диференчното уравнение и съответната предавателна функция:



Фиг. 1.

$x(n)$ е входна последователност от импулси $x(nT_0)$. (Времето nT_0 заменяме с дискретната променлива n за по-общо представяне).

$$(1) \quad y(n) = \sum_{k=0}^M a_k x(n-k) - \sum_{k=0}^N b_k x(n-k) \quad \text{За } M > N$$

Диференчното уравнение (1) дава рекурсивна формула за определянето на текущата стойност на изходния сигнал. Използват се N минали стойности на този сигнал, M минали стойности на входния сигнал и текущата стойност на входния сигнал.

Z-област

За Z-преобразуването:

$$Z\{x(n-k)\} = Z^{-k} X(Z), \quad \text{където } X(Z) \Leftrightarrow x(n)$$

$$Y^*(Z) = Y(Z) = X(Z) \sum_{k=0}^M a_k Z^{-k} - Y(Z) \sum_{k=1}^N b_k Z^{-k}.$$

Предавателната функция в Z-равнината:

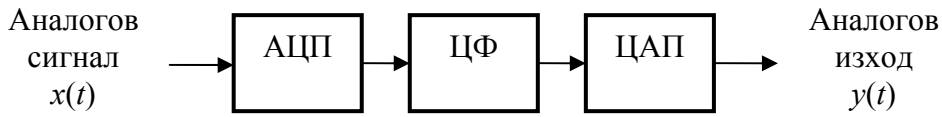
$$(2) \quad H(Z) = \frac{Y(Z)}{X(Z)} = \frac{\sum_{k=0}^M a_k Z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^N b_k Z^{-k}} = \frac{P_M(Z^{-1})}{Q_N(Z^{-1})}$$

$H(Z)$ е реална рационална функция на Z (или Z^{-1}), която свързва входния и изходния сигнал в Z-областта.

Уравнението (1) и свързаната с него предавателна функция (2) описват цифров филтър.

Математическите действия в (1) са умножение, събиране и закъснение (транслация, преместване). Те могат да съществуват в две алтернативни форми: хардуерно и софтуерно.

И в двата случая се използват символични блокове от следващата фигура:

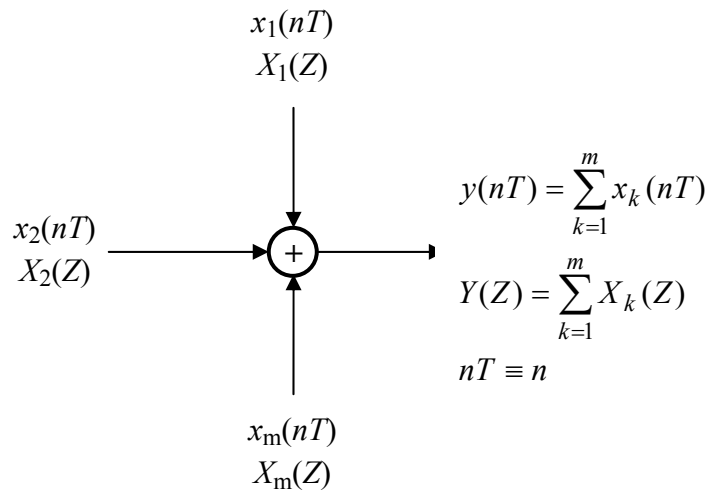


Фиг. 2. Цифров филтър в аналогова среда

Следващите блокове са суматор, умножител и закъснително устройство.

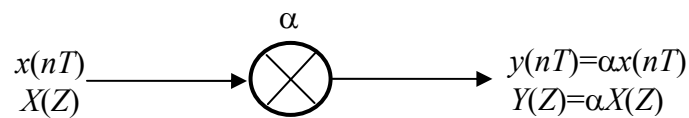
Осъществяването на уравнение (1) като хардуер или софтуер се нарича реализация на цифровата предавателна функция (Z).

Суматор



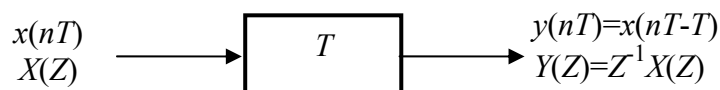
Фиг. 3.

Умножител



Фиг. 4

Закъсняваща верига



Фиг. 5

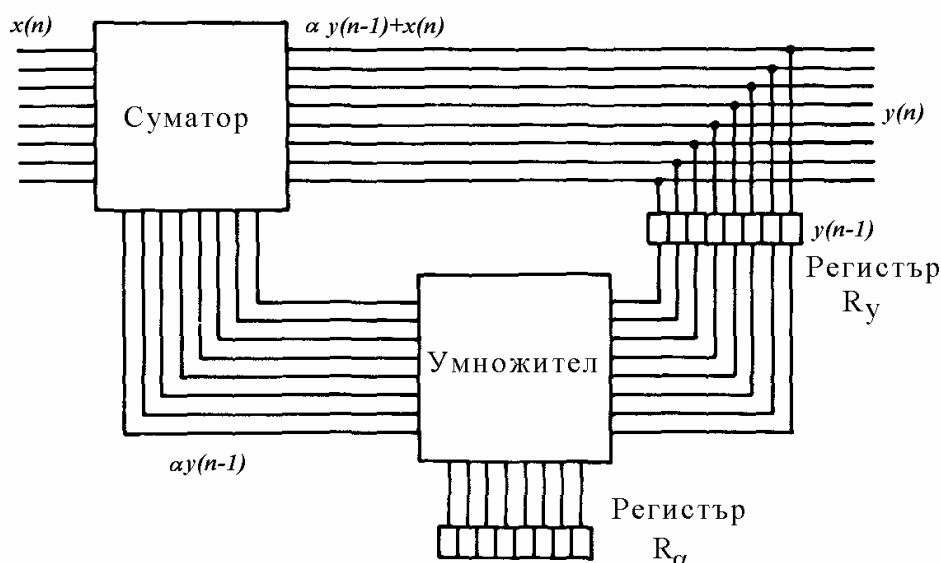
Пример за елементарен цифров филтър

Да разгледаме един опростен 8-битов процесор, който се използва за реализация на един филтър от първи ред. Филтърът се описва от диференчно уравнение:

$$(2a) \quad \begin{aligned} y(n) &= \alpha \cdot y(n-1) + x(n) \\ Y(Z) &= \alpha \cdot Z^{-1} \cdot Y(Z) + X(Z) \end{aligned}$$

На (2a) съответства предавателна функция:

$$H(Z) = \frac{1}{1 - \alpha \cdot Z^{-1}}.$$



Реализиране на уравнение (2a)

Фиг. 6. Алгоритъм за реализиране на уравнение (2a)

Двоичните числа, които съответстват на сигнала, се представят посредством думи с крайна дължина. В случая това е 8-битова дума. Същото се отнася и за коефициента α , представен в двоична форма. Регистърът R_y съхранява двоичното число, съответстващо на предишната стойност на изходната величина $y(n-1)$. В установен режим изходът на умножителя е $\alpha \cdot y(n-1)$. Когато се получи нова входна стойност $x(n)$, умножителят формира нов изходен сигнал $y(n)$, който се добавя в съдържанието на регистъра R_y към $y(n)$. Тогава умножителят формира произведението $\alpha \cdot y(n)$ и процесът се повтаря.

Класификация на цифровите филтри

Най-общо методите за реализиране на цифровата предавателна функция са два вида: рекурсивен и нерекурсивен.

При **рекурсивния** метод връзката между входната последователност $\{x(n)\}$ и съответстващата ѝ изходна последователност $\{y(n)\}$ е дава с израза:

$$y(n) \equiv \text{функция от } \{y(n-1), y(n-2), \dots, x(n), x(n-1), \dots\},$$

т.е. текущата стойност на сигнала (текущият отчет – sample) $y(n)$ е функция както на минали изходни сигнали, така и на текущите и миналите стойности на входния сигнал.

При **нерекурсивния** метод връзката е следната:

$$(2a) \quad y(n) \equiv \text{функция от } \{x(n), x(n-1), \dots\},$$

което означава, че текущата стойност на изходния сигнал зависи само от текущата стойност и миналите стойности на входния сигнал.

Ето и друг начин за класифициране на цифровите филтри.

Нека в уравнението (1) да предположим, че

$$b_k=0; k=1, 2, \dots, N,$$

така, че

$$(3) \quad y(n) = \sum_{k=0}^M a_k x(n-k)$$

При това положение за $H(Z)$ ще се получи

$$(4) \quad H(Z) = \sum_{k=0}^M a_k Z^{-k}.$$

Като се използва обратното Z -преобразуване се достига до израза

$$h(n) \equiv \{a_0, a_1, a_2, \dots, a_M\}$$

и

$$h(n) = 0 \text{ за } n > M.$$

Тук $h(n)$ е импулсната характеристика ИХ (дискретната ИХ) на филтъра и се вижда, че филтърът има ИХ с крайна продължителност. Такъв филтър се нарича *филтър с крайна продължителност на импулсната характеристика FIR* (Finite-duration impulse response) (*КИХ-филтър* – филтър с крайна импулсна характеристика). Този филтър може принципно да се реализира рекурсивно или нерекурсивно, но на практика - само нерекурсивно. Това се дължи на факта, че неговото директно описание посредством диференчното уравнение (3) удовлетворява изискванията на нерекурсивното реализиране (2a).

Важно свойство на *FIR* филтрите, описано с (4) е, че той е по принцип стабилен, тъй като всички негови полюси в $Z=0$ са вътре в единичния кръг.

Да разгледаме по-общия случай на диференчно уравнение (1) и съответстващата му предавателна функция, за която $Q(Z^{-1}) \neq 1$, т.е. нетривиален полином. Такъв филтър има импулсна предавателна характеристика

$$h(n) = Z^{-1} \left\{ \frac{P_M(Z^{-1})}{Q_N(Z^{-1})} \right\},$$

която има безкрайна продължителност.

Ето защо такъв филтър се нарича с *филтър безкрайна продължителност на импулсната характеристика (IIR-Infinite duration impulse response) (БИХ-филтър* – филтър с безкрайна импулсна характеристика). И този тип може да се реализира рекурсивно и нерекурсивно. На практика се реализира рекурсивно.

Забележка. *FIR* и *IIR* се отнасят до видовете филтри, докато рекурсивен и нерекурсивен – до метода на реализацията им.

Реализиране на структурите на IIR-филтри (БИХ-филтри)

Реализирането на даден филтър с безкрайна продължителност на импулсната му характеристика може да стане по много начини като използваме дадените по-горе блокове. Изборът на дадена структура зависи от много фактори.

Директна реализация

Предварителната функция $H(Z) = \frac{P_M(Z^{-1})}{Q_N(Z^{-1})}$ (2) съответства на диференчното уравнение (1).

Записваме $H(Z)$ така

$$(5) \quad H(Z) = \left\{ \frac{1}{Q_N(Z^{-1})} \right\} \{P_M(Z^{-1})\} = H_1(Z) \cdot H_2(Z),$$

където

$$(6) \quad H_1(Z) = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^N b_k Z^{-k}} = \frac{S(Z)}{X(Z)}$$

и

$$(7) \quad H_2(Z) = \sum_{k=0}^M a_k Z^{-k} = \frac{Y(Z)}{S(Z)}.$$

По такъв начин $H(Z)$ се реализира като верижно съединение от две секции: едната с предварителна функция $H_1(Z)$, реализираща полюсите на $H(Z)$, а втората предавателна функция $H_2(Z)$, реализираща нулите. $H_1(Z)$ съответства на диференчното уравнение

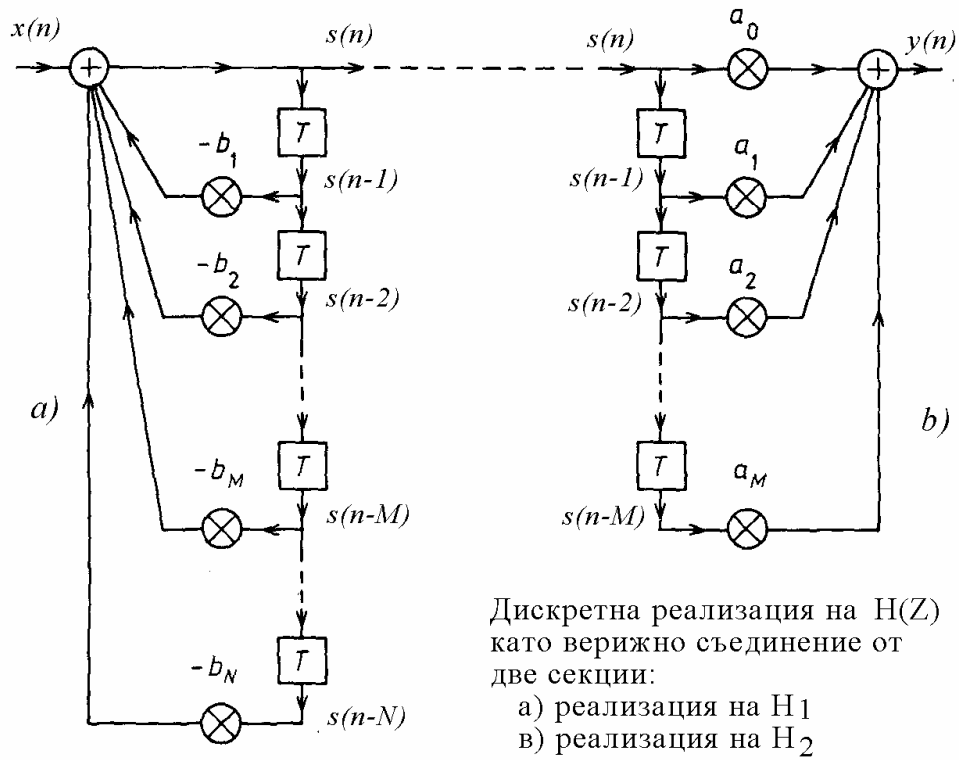
$$s(n) = x(n) - \sum_{k=1}^N b_k \cdot s(n-k),$$

а $H_2(Z)$ -

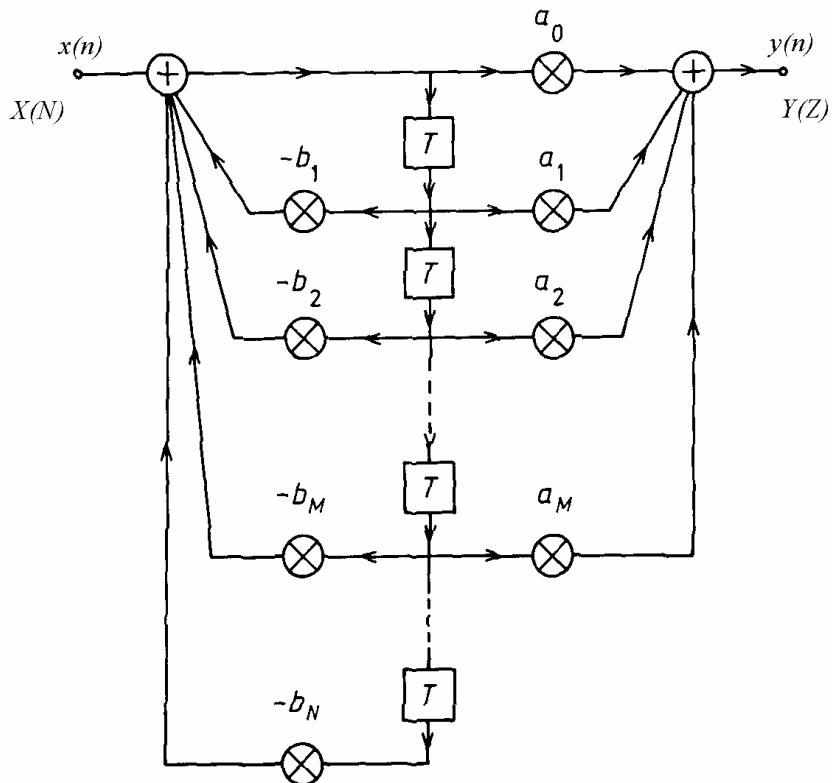
$$y(n) = \sum_{k=0}^M a_k \cdot s(n-k).$$

Горните диференчни уравнения за $s(n)$ и $y(n)$ могат да се реализират според фигурата. Структурата съдържа $(M+N+1)$ умножители, $(M+N)$ закъснителни вериги и два суматора.

Всеки закъснителен елемент, обаче, може да се използва и от $H_1(Z)$ и $H_2(Z)$. Този резултат в опростена форма е показан на фигурата. Той се нарича **каноничен**, защото съдържа минимум закъснителни вериги за степента на тази предавателна функция.



Фиг. 7



Фиг. 8

Каскадна реализация

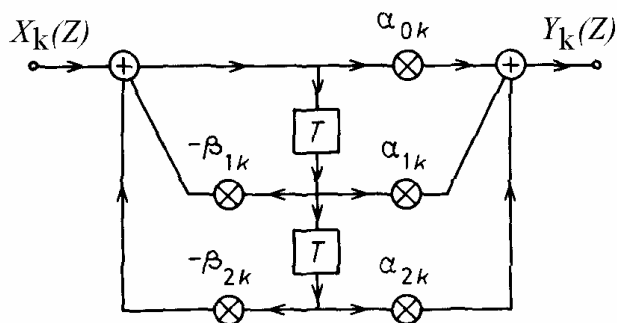
Друг метод за реализация на предварителната функция е чрез факторизацията ѝ на произведение от квадратни членове, така също и възможен член от първи ред при функции с нечетна степен. Всеки член се реализира отделно и отделните вериги се свързва каскадно (верижно) за получаване на цялата предавателна функция. И така, $H(Z)$ от (2) се изразява така

$$H(Z) = \prod_k H_k(Z),$$

в която типичната квадратична форма на членовете е

$$H_k(Z) = \frac{\alpha_{0k} + \alpha_{1k} \cdot Z^{-1} + \alpha_{2k} \cdot Z^{-2}}{1 + \beta_{1k} \cdot Z^{-1} + \beta_{2k} \cdot Z^{-2}}.$$

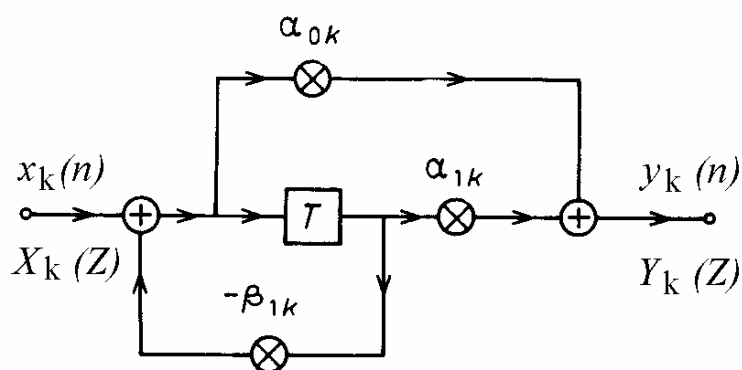
Осъществяването на квадратичната форма е показано на долната фигура.



Каскадна реализация, звено от втори ред

Фиг. 9

Ако звеното е от първи ред, реализацията е от вида на долната фигура.



Каскадна реализация, звено от първи ред

Фиг. 10

Цялата функция $H(Z)$ се получава чрез верижно свързване на отделните звена



Фиг. 11

Паралелна реализация

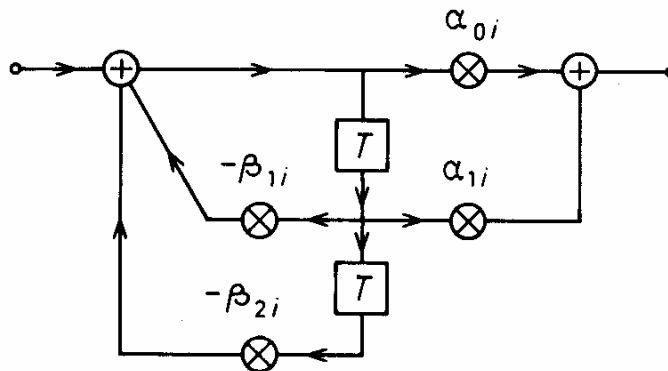
Паралелната реализация е алтернативна на верижната реализация и започва с разлагането на характеристиката $H(Z)$ във вида

$$(8) \quad H(Z) = K + \sum_{i=1}^{r-1} \frac{\alpha_{0i} + \alpha_{1i} \cdot Z^{-1}}{1 + \beta_{1i} \cdot Z^{-1} + \beta_{2i} \cdot Z^{-2}} + \frac{\alpha_r}{1 + \beta_r \cdot Z^{-1}} = K + \sum_{i=1}^r \hat{H}_i(Z),$$

където K е константа.

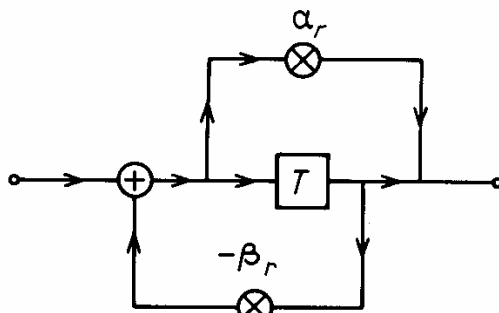
Горното разлагане се получава посредством факторизация или по други познати методи.

Всеки член от втори ред от (8) се реализира с веригата, която е дадена по-долу. Същото важи и за член от първи ред. Резултантната верига се получава в паралелен вид.



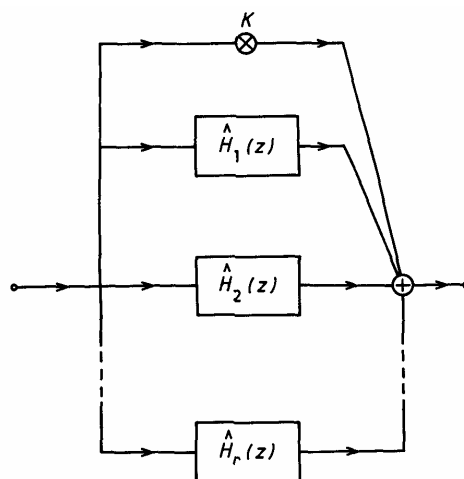
Паралелна реализация, звено от втори ред, уравнение (8)

Фиг. 12



Паралелна реализация, звено от първи ред, ур. (8)

Фиг. 13



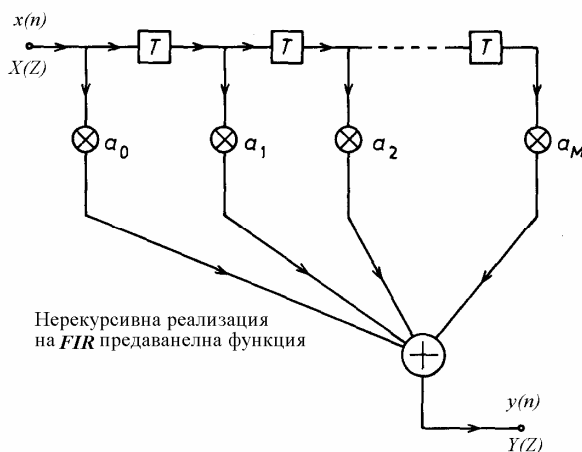
Паралелна реализация

Фиг. 14

Изборът между различните структури се определя от практически съображения.

Нерекурсивна реализация на FIR предавателни функции (КИХ-филтър)

Функцията на едни *FIR*-филтър е даден с (4). Реализирането е дадено по-долу.



Нерекурсивна реализация
на *FIR* предавателна функция

Фиг. 15

Възможно е също да се факторизира изразът (4) в първи и втори ред полиноми, които се реализират поотделно, а резултантните вериги се свързват верижно, за да се получи цялостна предавателна характеристика.

Литература: Baher H. Analog & Digital Signal Processing. John Wiley & Sons, 1992

11b. Цифрови филтри (ЦФ)

ЦФ е програма, която обработва входните масиви на релето u_f и i_f по такъв начин, че те да се превърнат в масиви от стойности, максимално близки до стойностите, получени от квантоване на синусоидалната величина с основната честота. Програмата се прилага последователно за стойностите на тока и за стойностите на напреженията и резултатите се натрупват в два стекови масива u_k и i_k . Филтрирането се извършва след изпълнение на пусковата програма на защитата (ако има такава).

В цифровите дистанционни защиты (ЦДЗ) това изискване е по-строго, защото програмите на повечето ЦФ съдържат умножения и деления, които удължават времето на изпълнението им, а критерият "време за изпълнение" често е решаващ за избора на алгоритъм на релето.

Входните величини на релето могат да съдържат освен основната честота и апериодична съставка (а.с.) също и висши хармоници (в. х.), ако главните или междинните токови трансформатори (ТТ) могат да се наситят при ток на к.с. с а.с. **Хармониците с номер $n > 3$ не могат да бъдат големи и освен това техните амплитуди силно се намаляват от аналоговите филтри преди АЦП.** Поради това ЦФ на входните величини, ако изобщо са необходими, следва да осигуряват филтриране на а.с. и на трети хармоник, а по възможност и на втори хармоник.

За разлика от аналоговите, ЦФ могат да бъдат два вида: рекурсивни и нерекурсивни.

Рекурсивните филтри обикновено са подобни на аналоговите и в техния алгоритъм се използват стойности както от входния, така и от изходния масив данни:

$$(11b.01) \quad y_k = \sum_{i=0}^n a_i \cdot x_{k-i} - \sum_{i=0}^n b_i \cdot y_{k-i}$$

където x_k и y_k са входната и изходната стойност на ЦФ за k -тия квант; a_i , b_i са реални коефициенти.

Към рекурсивните филтри се отнасят филтрите на Калман, които са реализуеми само в цифров вид.

Нерекурсивните филтри обработват само входните данни

$$(11b.02) \quad y_k = \sum_{i=0}^n a_i \cdot x_{k-i}$$

и са неизпълними в аналогов вид (освен някои прости случаи), тъй като аналоговите схеми нямат памет.

Към нерекурсивните филтри могат да бъдат отнесени и алгоритмите за отделяне на основния хармоник чрез разлагане на ортогонални функции по Фурие или по Уолш или чрез апроксимация към определена функция.

Алгоритмите на ЦФ в общ вид са: а) рекурсивни, б) нерекурсивни филтри. Стойностите на коефициентите ; a_i , b_i са уточнени по-долу.

11.01. Рекурсивни цифрови филтри

Аналоговият филтър (АФ) се преобразува в цифров чрез т.н. билинейно преобразуване

$$(11.01.01) \quad P = l \frac{z-1}{z+1}, \quad l = ctg \frac{\pi \cdot f_g}{f_s},$$

където: $P = \frac{j\omega}{\omega_g}$ е нормираната комплексна променлива на АФ;

$z = e^{j\omega\Delta t}$ – оператор, означаващ "стойността на функцията след един квант":
 $z \cdot f(t) = f(t + \Delta t)$;

f_g – честотата на срязване на АФ,

f_s – честотата на сканиране.

Предавателната функция на ЦФ $A(z)$ се получава от предавателната функция на АФ $A(P)$ като се замени P с израза (11.01.01). АФ от n -ти ред има предавателна функция

$$(11.01.02) \quad A(P) = \frac{Y(P)}{X(P)} = \frac{\sum_0^n d_i \cdot P^i}{\sum_0^n c_i \cdot P^i}$$

където $X(P)$ и $Y(P)$ са образите по Лаплас на входната и изходната функция.

След замяна на променливата съгласно (11.01.01) равенството (11.01.02) се привежда във вида

$$(11.01.03) \quad A(Z) = \frac{Y(Z)}{X(Z)} = \frac{\sum_0^n a_i \cdot z^{-i}}{\sum_0^n b_i \cdot z^{-i}}$$

където коефициентите a_i, b_i са определени функции на c_i, d_i и l , а $b_0 = 1$. Данните за $X(Z)$ и $Y(Z)$ са от масивите x_k и y_k за стойностите на входната и на изходната функция:

$$(11.01.04) \quad x_k = X(z^k), \quad y_k = Y(z^k).$$

От (11.01.03) се получава:

$$(11.01.05) \quad Y(Z) \cdot \sum_0^n b_i \cdot z^{-i} = X(Z) \cdot \sum_0^n a_i \cdot z^{-i}.$$

За кванта k , отчитайки (11.01.04) това равенство означава

$$(11.01.06) \quad \sum_{i=0}^n b_i \cdot y_{k-i} = \sum_{i=0}^n a_i \cdot x_{k-i}$$

откъдето се получава формулата (11.01).

Амплитудно-честотните, фазо-честотните и преходните характеристики на рекурсивните филтри са близки до същите характеристики на АФ.

За илюстрация се описва намирането на алгоритъма на високочестотен ЦФ от I ред. Този филтър има предавателна функция

$$(11.01.07) \quad A(P) = \frac{P}{1+P}.$$

Избира се $f_g = 50 \text{ Hz}$, $f_s = 600 \text{ Hz}$, при които от (11.01.01) се получава $l = \frac{\text{ctg}(\pi)}{12} = 3,73$. Като

се замести (11.01.01) в (11.01.07), след преработка се получава следната предавателна функция на ЦФ:

$$(11.01.08) \quad A(z) = \frac{-0.789(z^{-1} - 1)}{-0.577z^{-1} + 1}$$

Следователно формулата (11.01.01) придобива вида:

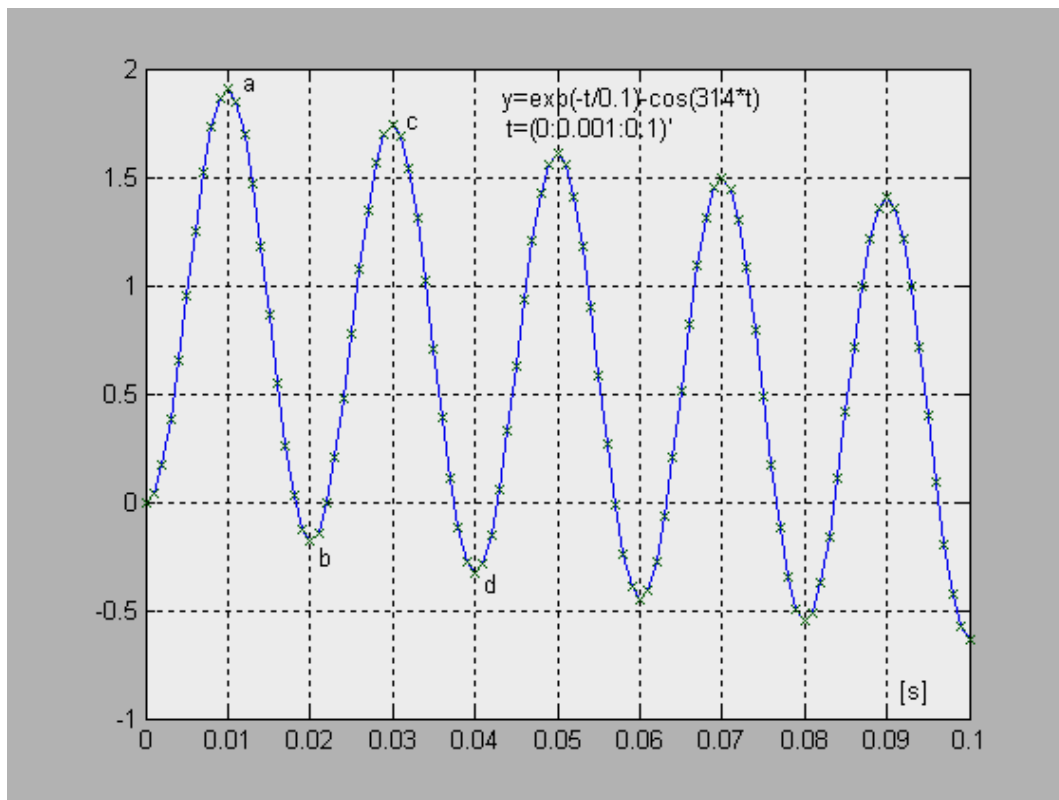
$$(11.01.09) \quad y_k = 0.789(x_k - x_{k-1}) + 0.577y_{k-1}.$$

11.02. Прости нерекурсивни филтри

ЦФ, потискащ аperiодичната съставка може да се получи по следния елементарен алгоритъм

$$(11.02.01) \quad y_k = 0.5 \cdot (x_k - x_{k-n}). \quad \{(11.02.01) \equiv (11.02.11)\}$$

където n е $N/2$.



Фиг. 11.02.01

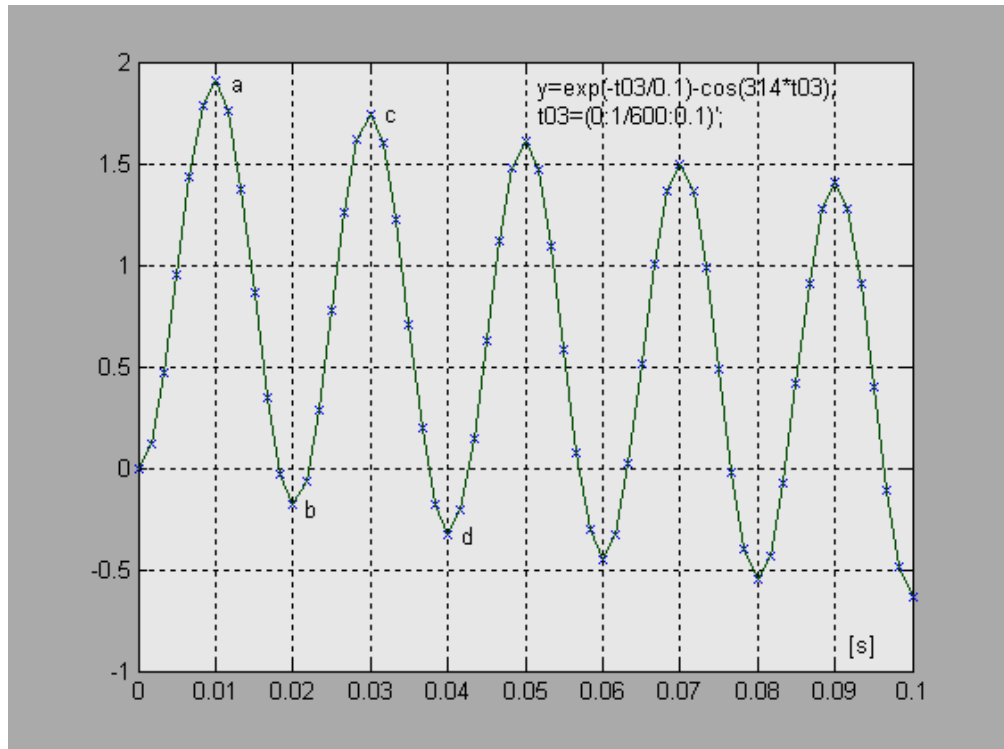
Пример 1. Ако се приеме, че функцията y съдържа периодична и аperiодична съставка

$$(11.02.02) \quad y = 1 \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} - 1 \cdot \cos(\omega \cdot t),$$

то за $T_a = 0.1 \text{ s}$ и $\omega = 314$ се получава затихващата косинусоида от фиг. 11.02.01. Честотата на сканиране е $f_s = 1000 \text{ Hz}$, за всеки период 50 Hz има по 20 точки през 0.001 s . Уравнението (11.02.01) означава, че може да се филтрира аperiодичната съставка като се извадят в съответствие със собствения знак квантуваните стойности през $n = 10$ и сумата се раздели на две. Например **първият положителен максимум** $a = +1.9048$ се събира с първия отрицателен

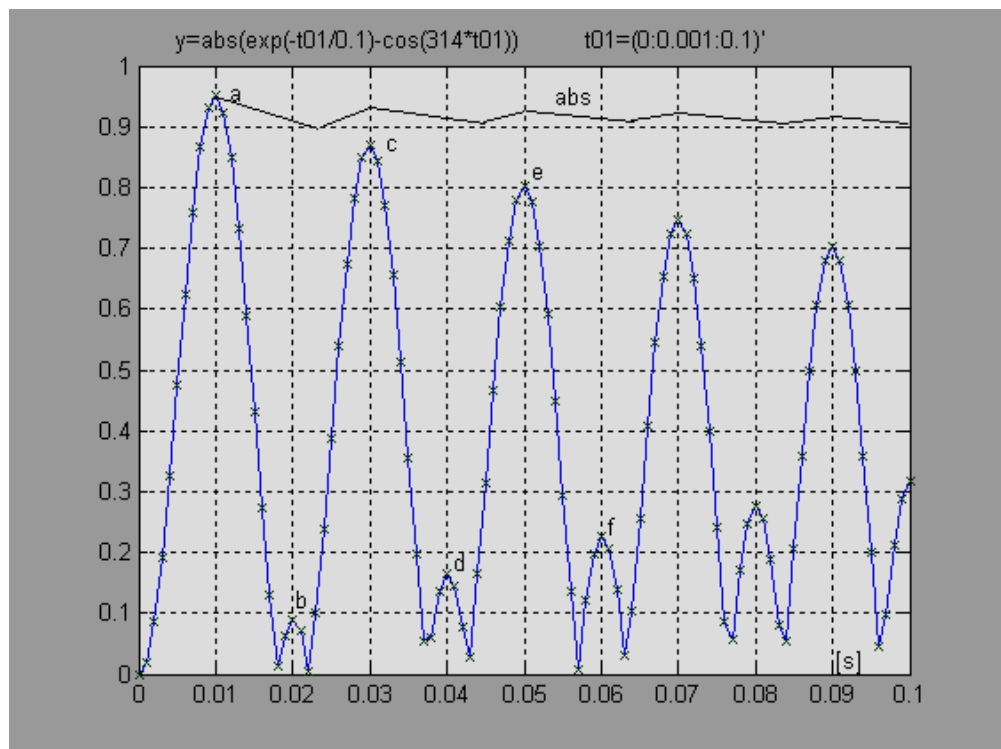
максимум $b = -0.1813$ и сумата $(1.9048 - (-0.1813))$, разделена на две дава 1.0431 или приблизително 1, колкото е максимума на косинусоидата.

Вторият положителен максимум $c = 1.7408$ и вторият отрицателен максимум $d = -0.3297$ дават за максимума на косинусоидата 1.0353, т.е. отново приблизително 1 и без влияние на



апериодичната съставка.

Фиг. 11.02.02

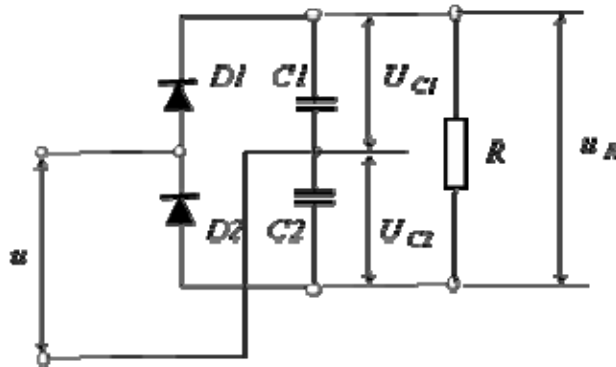


Фиг. 11.02.03

Пример 2. Функцията е като при пример 1, но сканирането е в честота $f_s = 600$ Hz и за всеки период 50 Hz има по 12 точки през 0.02/12 s. В този случай уравнението (11.02.01) означава, че може да се филтрира апериодичната съставка като се извадят в съответствие със

собствения знак квантуваните стойности през $n = N/2 = 6$ и сумата се раздели на две. Резултатите са като при пример 1, защото отново се избират точки, които съвпадат с положителните и отрицателните максимуми.

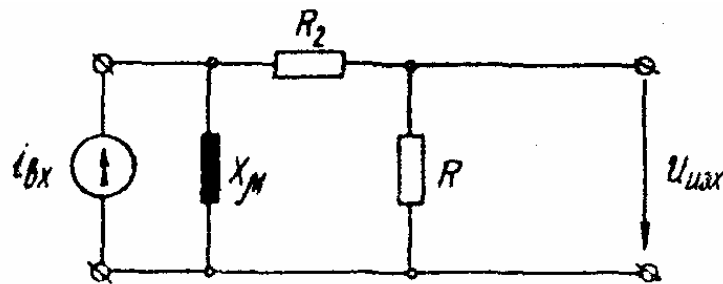
Пример 3. Филтриране на апериодичната съставка във входните величини се прави в аналоговите статични защити чрез двупътно изправяне и сумиране на полувърлните (фиг. 11.02.04) [5].



Фиг. 11.02.04

Тази схема удвоява напрежението, тъй като изходното напрежение u_R се определя от сумата на две напрежения, пропорционални на полупериоди с различна полярност. Сумата от напреженията почти не се влияе от апериодичната съставка в преходния режим на тока на късо съединение.

На фиг. 11.02.03 е показано двупътно изправеното напрежение при честота на сканиране 1000 Hz и 20 точки на период, както и сумата на напрежението (abs) на двата кондензатора C_1 и C_2 при известно малко разреждане на тези кондензатори. Коефициентът на пулсации се определя от времеконстантата на разреждане на кондензаторите, т.е. от товарното съпротивление R . От правилния избор на времеконстантата зависи и действието на схемата при наличие на апериодична съставка във входната величина.



Фиг. 11.02.05

Пример 4. Изразът (11.02.01) при $n = 1$ или 2, т.е. като се използват съседни точки $n = 1$ или през една точка $n = 2$, съвпада с най-простите формули за числено диференциране, поради което тези ЦФ могат да бъдат наречени "диференциални". Аналогичен пример на филтриране на апериодичната съставка при диференциране е трансреакторът на празен ход (фиг. 11.02.05) (пример от тема № 12 "Междинни трансформатори – аналогови преобразователи").

$$R = \infty;$$

$$u_{изх} = L_{\mu} \frac{di_{ex}}{dt}.$$

а) Влияние на аperiодичната компонента

$$i_{ex} = i_{ex,max} \cdot \cos(\omega t) - i_{ex,a} e^{-t/T_a} \Rightarrow \frac{i_{ex,a}}{i_{ex,max}}$$

$$u_{uzx} = -\omega L_{\mu} \cdot i_{ex,max} \cdot \sin(\omega t) + \frac{1}{T_a} L_{\mu} \cdot i_{ex,a} e^{-t/T_a} \Rightarrow \frac{i_{ex,b}}{i_{ex,max}} \cdot \frac{1}{\omega T_a}$$

$T_a = 0.05 \div 0.50$ s; $\omega T_a = 15.7 \div 94.2$ пъти по-малко участие на аperiодичната съставка $i_{ex,a}$ спрямо периодичната $i_{ex,max}$.

Директното използване на схемата от фиг. 11.02.03 обаче води до засилване на влиянието на висшите хармоници във входния сигнал. Ако в него има първи и трети хармоник според долната формула за i_{ex} , то след диференцирането в изходния сигнал висшият хармоник ще се прояви толкова пъти по-силно, колкото е номерът му.

$$i_{ex} = i'_{1max} \cdot \sin(\omega t) + i'''_{1max} \cdot \sin(3\omega t) \Rightarrow \frac{i'''_{1max}}{i'_{1max}}$$

$$u_{uzx} = \omega L_{\mu} \cdot i'_{1max} \cdot \cos(\omega t) + 3\omega L_{\mu} \cdot i'''_{1max} \cdot \cos(3\omega t) \Rightarrow \frac{3 \cdot i'''_{1max}}{1 \cdot i'_{1max}}$$

Когато входната величина е синусоидална с амплитуда X и честота f или ω , стойностите x_{k-l} могат да се разглеждат като имагинерната компонента на вектора $\dot{X}_{k-i} = X e^{-ji\Delta\varphi}$, където

$$(11.02.02) \quad \Delta\varphi = \omega \cdot \Delta t = \frac{2\pi \cdot f}{f_s} = \frac{2\pi}{N} \cdot \frac{f}{f_n}$$

При това полагане филтърът (11.02.01) може да бъде представен в следния комплексен вид:

$$(11.02.03) \quad \dot{Y} = 0.5 \cdot X (1 - e^{-j \cdot n \cdot \Delta\varphi}) = 0.5 \cdot X \cdot 2 \left| \sin \frac{n \cdot \Delta\varphi}{2} \right| \cdot j e^{-\frac{j \cdot n \cdot \Delta\varphi}{2}}$$

От последната формула се вижда, че усилването A_1 на диференциалния филтър е:

$$(11.02.04) \quad A_1(f) = \left| \sin \frac{n \Delta\varphi}{2} \right| = \left| \sin \frac{\pi n f}{f_s} \right|$$

а фазовото му завъртане α_1 е

$$(11.02.05) \quad \alpha_1(f) = \frac{\pi - n \Delta\varphi}{2} = \pi \left(0.5 - \frac{n \cdot f}{f_s} \right)$$

За основния хармоник $f = f_n$, $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{N}$

$$A_1(50) = \sin \frac{n \cdot \omega_n \cdot \Delta t}{2} \approx \frac{n \cdot \omega_n \cdot \Delta t}{2}$$

Когато входната величина има само аperiодична съставка,

$$x(t) = e^{\frac{-t}{T_a}}$$

Величините x_k и x_{k-n} са нейните стойности през интервал $n \cdot \Delta t$. Усилването за а. с. следователно ще бъде

$$(11.02.06) \quad A_1(T_a) = 0.5 \left(1 - e^{\frac{n \cdot \Delta t}{T_a}} \right) \approx \frac{-n \cdot \Delta t}{2T_a}$$

$$\frac{A_1(50)}{A_1(T_a)} \approx -\omega_n \cdot T_a$$

Диференциалният филтър следователно намалява а.с. около $\omega_n \cdot T_a$ пъти (както при диференциране на величината).

Както личи от (11.02.06б) диференциалният филтър намалява а. с., но не я филтрира напълно. Последното може да бъде постигнато (при зададена T_a) с алгоритъма

$$(11.02.07) \quad y_k = (1 - c_0)x_k - x_{k-n},$$

$$\text{където } c_0 = -A_1(T_a) = \frac{n \cdot \Delta t}{T_a}.$$

Той се нарича "моделиране на линията", тъй като изходната величина $y(t)$ е пропорционална на пада на напрежение от ток $x(t)$ върху импеданса на линията.

Времеконстантата T_a изобщо зависи от мястото на к. с., но не е по-малка от времеконстантата на линията. За опростяване на умножението c_0 трябва да се избира така, че в двоичен вид да има 1-2 значещи цифри. Така например в горния случаи ($N = 12, n=4$) $n \cdot \Delta t = \frac{20}{3}$; ако $T_a = 50-100$ ms, е необходимо $c_0 = 0,07 \div 0,13$ и следва да се избере $c_0 = 0.125$.

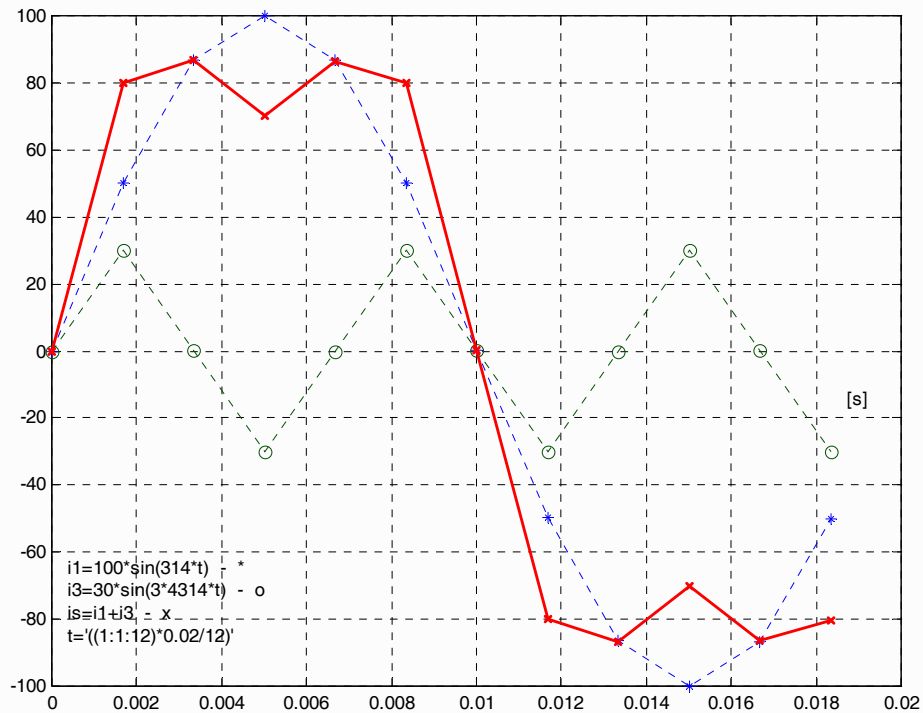
Тъй като c_0 е малка величина, изразите (11.02.04) и (11.02.05) са валидни приблизително и за алгоритъма (11.02.07).

Изразът (11.02.04) показва, че $A(f)$ се анулира освен за постоянната съставляща, също и за честотите, при които $\frac{n \cdot f}{f_s}$ е цяло число.

Това обстоятелство може да се използва за филтрирането на определен хармоник във входните величини. Ако е необходимо да се филтрира очакван m -ти хармоник, следва да се избере $n = \frac{N}{m}$. Така например при $N = 12, n = 4$ се получава

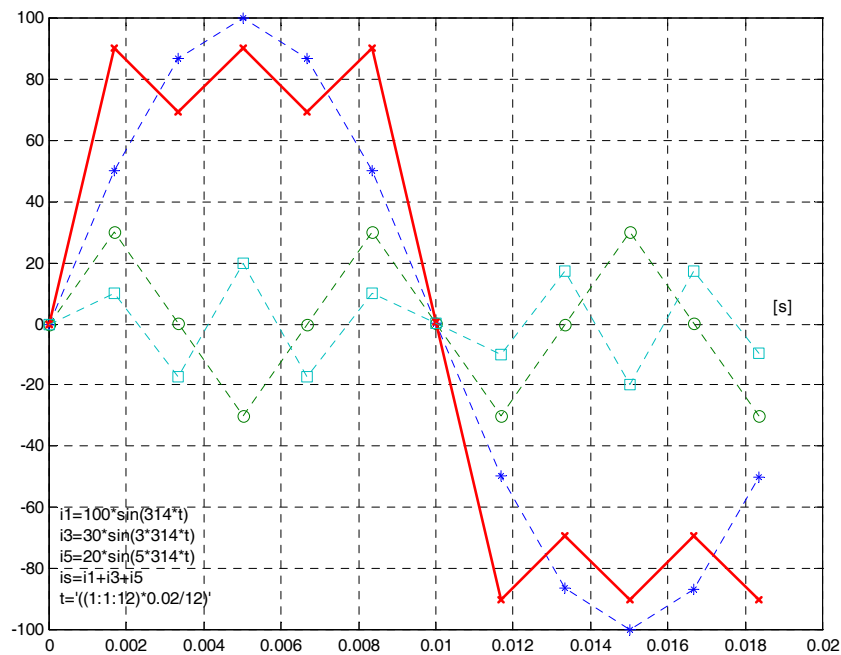
$$A_1(50) = 2 \sin \frac{\pi}{3} = \sqrt{3}, \quad A_1(150) = 0 \text{ и се премахва третият хармоник.}$$

Сигналят съдържа първи и трети хармоник – филтриране на трети хармоник



Фиг.11.02.06. Пример: първи и трети хармоник; трети хармоник се анулира в сумарния ток, ако се използват точките, в които трети хармоник минава през нулата.

Сигналят съдържа първи, трети и пети хармоник – няма пресечна точка, чрез която да се филтрира някой хармоник.



Фиг. 11.02.07. Пример: първи, трети и пети хармоник. При 12 точки за период няма възможност с избор на подходящи точки да се елиминира влиянието трети и пети хармоник.

Практически подход към цифровото филтриране на входни величини

Честотата на сканиране е $f_s = 600$ Hz. Аналоговите филтри преди АЦП подтискат напълно в.х. с честота $f_s/2 = 300$ Hz, поради което за цифрово филтриране остават само втори и трети хармоник. Избират се следните прости нерекурсивни цифрови филтри:

а) F1 – филтър на трети хармоник и на апериодична съставяща (а.с.)

$$y(k) = x(k) - x(k-N/3) = x(k) - x(k-4),$$

където:

$N=12$ е броят на квантите за период при честота на сканиране $f_s = 600$ Hz,
 $x(k)$ и $y(k)$ са моментните стойности на текущия квант k на входната и изходната величини $x(t)$ и $y(t)$ на филтъра.

Предавателната функция на филтъра за третия хармоник е

$$A1(f=150) = 0,$$

а за основния хармоник е

$$A1(f=50\text{Hz}) = \text{Sqrt}(3) * \text{Exp}(j * \pi / 6).$$

Предавателната функция на филтъра за апериодична компонента с времеконстанта T_a е

$$A1(T_a) = 1 - \exp(4 \cdot Dt / T_a) = T / T_a / 3,$$

където:

$Dt = T/N = 20\text{ms}/12 = 1.667$ ms – времетраене на един квант,

$T = 20$ ms – времетраене на периода.

б) F2 – филтър на четвърти хармоник и а.с.

$$y(k) = x(k) - x(k-N/4) = x(k) - x(k-3),$$

Предавателната функция на филтъра за четвъртия хармоник (200 Hz) е

$$A2(f=400) = 0,$$

а за основния хармоник е

$$A2(f=50\text{Hz}) = \text{Sqrt}(2) * \text{Exp}(j * \pi / 4).$$

Предавателната функция на филтъра за апериодична компонента с времеконстанта T_a е

$$A2(T_a) = 1 - \exp(3 \cdot Dt / T_a) = T / T_a / 4.$$

При $T_a = 100$ ms, $A1 = -0.069$, $A2 = -0.051$, $A1 * A2 = 0.0035$. Филтрирането на а.с. е много добро.

в) F3 – филтър на втори хармоник и а.с.

$$y(k) = x(k) + x(k-N/4) = x(k) + x(k-3),$$

Предавателната функция на филтъра за втори хармоник (100 Hz) е

$$A3(f=100) = 0,$$

а за основния хармоник е

$$A3(f=50\text{Hz}) = \text{Sqrt}(2) * \text{Exp}(-j * \pi / 4).$$

Предавателната функция на филтъра за апериодична компонента с времеконстанта T_a е

$$A3(T_a) = 1 + \exp(3 \cdot Dt / T_a).$$

Трите междуфазни тока се филтрират от филтрите F1 и F2.

Филтрите умножават моментните стойности на основния хармоник на междуфазните токове по коефициента

$$KFI = A1(f=50\text{Hz}) \cdot A2(f=50\text{Hz}) = \text{Sqrt}(6) = 2.45$$

Трите линейни напрежения се филтрират от филтъра F1.

Филтърът умножава моментните стойности на основния хармоник на междуфазните напрежения по коефициента

$$KFU = A1(f=50\text{Hz}) = \text{Sqrt}(3) = 1.73.$$

Токът на нулева последователност се филтрира от филтрите F1 и F3.

Филтрите умножават моментните стойности на основния хармоник на нулевите величини по коефициента

$$KFO = A1(f=50\text{Hz}) \cdot A3(f=50\text{Hz}) = \text{Sqrt}(6) = 2.45.$$

Редица нерекурсивни филтри на в.х. могат да бъдат получени чрез интегриране на величината в определени интервали. Тези "интегрални" филтри могат да отстраняват не само един, но и повече хармоници. За филтриране на n -тия хармоник в неговите кратни следва да се изчисли интегралът

$$Y = \int_0^{\varphi_1} x(\varphi) \cdot d\varphi,$$

където $\varphi_1 = \frac{2\pi}{n}$. За филтриране едновременно на хармониците n и m и техните кратни, следва да се изчисли сумата на следните интеграли:

$$Y = \int_0^{\varphi_1} x(\varphi) \cdot d\varphi + \int_{\varphi_2}^{\varphi_2 + \varphi_1} x(\varphi) \cdot d\varphi$$

където $\varphi_2 = \frac{\pi}{m}$, а за филтриране едновременно на хармониците n ; m , l и техните кратни – сумата

$$Y = \int_0^{\varphi_1} x(\varphi) \cdot d\varphi + \int_{\varphi_2}^{\varphi_2 + \varphi_1} x(\varphi) \cdot d\varphi + \int_{\varphi_2 + \varphi_3}^{\varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_1} x(\varphi) \cdot d\varphi$$

където $\varphi_3 = \frac{\pi}{l}$. Правилността на горните изрази може да се провери, като се интегрира функцията

$$x(\varphi) = A_n \cdot \sin(n \cdot \varphi + \varphi_n) + A_m \cdot \sin(m \cdot \varphi + \varphi_m) + A_l \cdot \sin(l \cdot \varphi + \varphi_l).$$

За целите на филтрирането численото интегриране може да се направи по най-простия метод – на правоъгълниците. Тогава от горните формули се получават следните алгоритми на интегрални филтри:

- за n -ти хармоник и кратните му

$$(11.02.08a) \quad Y_k = \sum_{i=0}^{n1} x_{k-i}$$

-за n -ти, m -ти хармоници и кратните им

$$(11.02.08б) \quad Y_k = \sum_{i=0}^{n_1} x_{k-i} + \sum_{i=n_2}^{n_1+n_2} x_{k-i}$$

-за n -ти, m -ти, l -ти хармоници и кратните им

$$(11.02.08в) \quad Y_k = \sum_{i=0}^{n_1} x_{k-i} + \sum_{i=n_2}^{n_1+n_2} x_{k-i} + \sum_{i=n_2+n_3}^{n_1+n_2+n_3} x_{k-i}$$

$$\text{където: } n_1 = \frac{N}{n} - 1, \quad n_2 = \frac{N}{2m}, \quad n_3 = \frac{N}{2l}.$$

Числата n_1, n_2, n_3 очевидно трябва да бъдат цели и това прави алгоритъма (11.02.08в) трудно приложим, защото изисква висока честота на сканиране. Така например за филтриране на втори, трети и пети хармонии по (11.02.08в) е необходимо $N = 30$. Освен това входните величини на ЦДР, поради аналоговото им филтриране преди АЦП, могат да имат само незначителни хармоници над трети. Поради това практическо значение има главно най-простия интегрален филтър (11.02.08г). Най-удобно е той да се изпълнява в рекурсивен вид

$$(11.02.08г) \quad Y_k = \sum_{i=0}^{p-1} x_{k-i} = y_{k-1} - x_{k-p} + x_k,$$

$$\text{където } p = \frac{N}{n}.$$

Използвайки даденото по-горе геометрично онагледяване на стойностите x_k , може да се представи филтър (11.02.08г) в следния векторен вид

$$\dot{Y} = X \sum_{i=0}^{p-1} e^{-j \cdot i \cdot \Delta\varphi} = X \frac{1 - e^{-j \cdot p \cdot \Delta\varphi}}{1 - e^{-j \cdot \Delta\varphi}}$$

(съгласно формулата за сума на геометрична прогресия). По геометрични съображения последният израз има стойност

$$\dot{Y} = X \frac{2 \left| \sin \frac{p \cdot \Delta\varphi}{2} \right| j e^{-\frac{j p \cdot \Delta\varphi}{2}}}{2 \left| \sin \frac{\Delta\varphi}{2} \right| j e^{-\frac{j \cdot \Delta\varphi}{2}}}$$

От горната формула следва, че усиляването A_2 и фазовото завъртане α_2 на интегралния

$$(11.02.09-10) \quad A_2(f) = \frac{\left| \sin \left(\frac{p \cdot \Delta\varphi}{2} \right) \right|}{\left| \sin \left(\frac{\Delta\varphi}{2} \right) \right|} = \frac{\left| \sin \left(\frac{p \cdot \pi \cdot f}{f_s} \right) \right|}{\left| \sin \left(\frac{\pi \cdot f}{f_s} \right) \right|},$$

$$\alpha_2(f) = -\frac{(p-1) \cdot \Delta\varphi}{2} = -\frac{\pi \cdot (p-1) \cdot f}{f_s}.$$

филтър са

Благодарение на аналоговото филтриране преди АЦП във входната величина липсват съставлящи с $f \geq \frac{f_s}{2}$, поради което функцията (11.02.09) представлява полувълни, подобни на синусоиди с намаляваща амплитуда, която се анулира в точките $f = k \cdot p \cdot f_0$, където $p = \frac{N}{n} \cdot f_0$ е основната честота, а k е цяло число по-малко от $\frac{p}{2}$. Филтърът намалява хармониците с номер $p \geq \frac{N}{n}$, като премахва напълно p -тия хармоник (подобно на диференциалния филтър).

Броят на квантите n , необходими за филтрирането на даден хармоник m , може да бъде намален два пъти спрямо филтрите (11.02.01), (11.02.08) от филтър със следния алгоритъм

$$(11.02.11) \quad y_k = 0.5 \cdot (x_k - x_{k-n}). \quad \{(11.02.01) \equiv (11.02.11)\}$$

Усилването A_3 на този филтър е

$$(11.02.12) \quad A_3(f) = \left| \cos \frac{n \cdot \Delta\varphi}{2} \right| = \left| \cos \frac{\pi \cdot n \cdot f}{f_s} \right|,$$

а фазовото завъртане е

$$(11.02.13) \quad \alpha_3 = -\frac{n \cdot \Delta\varphi}{2} = -\frac{\pi \cdot n \cdot f}{f_s}.$$

Първата точка на анулиране на A_3 , е при $\frac{n \cdot f}{f_s} = \frac{1}{2}$ и следователно за отстраняване на m -тия хармоник следва да се избере $n = \frac{N}{2m}$. Така например, при $N = 12$, $n = 3$ се получава $A_3(50) = 0,71$; $A_3(100) = 0$ и се премахва вторият хармоник.

За филтриране на а.с., втори и трети хармоник могат да се приложат последователно алгоритмите (11.02.01) при $n_1 = \frac{N}{3}$ и (11.02.10) при $n_2 = \frac{N}{4}$. Тогава се получава

$$(11.02.14) \quad y_k = \frac{x_k + x_{k-\frac{N}{4}} - x_{k-\frac{N}{3}} - x_{k-\frac{7N}{12}}}{4}$$

Този филтър има усилване

$$(11.02.15) \quad A_4(f) = A_1 \cdot A_3 = \left| \sin\left(\frac{\pi}{3} \cdot \frac{f}{f_n}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4} \cdot \frac{f}{f_n}\right) \right|$$

и завъртане

$$(11.02.16) \quad \alpha_4(f) = \alpha_1 + \alpha_3 = \frac{\pi}{12} \left(6 - \frac{f}{f_n} \right).$$

Кривата (11.02.15) се нулира при $f = 0, 100, 150$ Hz и има максимуми $A(50) = 0.612$ и $A(150) = 0.191$. Завъртането $\alpha(50) = -15^\circ$. Амплитудно-честотната характеристика на филтъра е много добра, но той е бавен: филтрираната величина се появява след около $\frac{T}{2}$.

За сравнение може да се отбележи, че подобни характеристики има лентовия филтър от II ред с $Q = 2$. Съответният рекурсивен ЦФ ще изисква 5 умножения и сумирания, което е несравнено по-сложно от алгоритъма (11.02.14). Филтрираната величина на лентовия филтър се появява само след 3 кванта, но свободната съставяща затихва едва след $\frac{T}{2}$.

11.03. Нерекурсивен филтър, основан на апроксимацията на входните величини със зададена крива

Ако е известна функцията на тока $i(t)$ по точки, да се намери аналитичен израз, който е максимално близък до известната функция.

1. Видимо функцията е синусоида с нулева начална фаза;
2. Видимо функцията е синусоида с ненулева начална фаза;
3. Видимо функцията е периодична с първи и трети хармоник;
4. Видимо функцията е синусоида плюс експонента;
5. Видимо функцията е синусоида плюс няколко експоненти;
6. др. }

Алгоритъмът цели отделянето на основния хармоник.

Приема се, че входната величина има следната апроксимационна функция:

$$(11.03.01) \quad X(t) = k_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} + \sum_1^n k_i \cdot \sin(i \cdot \omega \cdot t + \varphi_i).$$

Неизвестните параметри на тази функция са T_a , k_i и φ_i ($i = 0 \dots n$ - хармоници). Необходимо е неизвестните параметри са T_a , k_i и φ_i да бъдат отделени от функциите на времето. За целта експоненциалната функция се разлага в ред на Тейлор, а синусоидалните функции се представят с ортогоналните им съставки. В резултат функцията придобива вида:

$$(11.03.02) \quad X(t) = k \sum_0^m \frac{\left(-\frac{t}{T_a}\right)^i}{i!} + \sum_1^n k_i (\cos(\varphi_i) \cdot \sin(i \cdot \omega \cdot t) + \sin(\varphi_i) \cdot \cos(i \cdot \omega \cdot t)).$$

Неизвестните параметри на тази функция са:

$$k_0 \cdot \frac{\left(-\frac{1}{T_a}\right)^i}{i!} \text{ за } i = 0 \dots m; k_i \cdot \cos(\varphi_i); k_i \cdot \sin(\varphi_i) \text{ за } i = 1 \dots n;$$

а съставните функции са t^i , $\sin(\omega i \cdot t)$, $\cos(\omega i \cdot t)$.

Броят на неизвестните параметри е $p = 1 + m + 2n$.

За определяне на p параметри са нужни данните от $q = (1 \div 2) \cdot p$ кванти, а освен това сложността на необходимите изчисления (а от там и времето, което заемат) нараства пропорционално на p . По тези причини трябва да се търси минималното p , което осигурява необходимата точност (примерно 5%). Този проблем изисква специално изследване. Поради това могат да се дадат само някои общи съображения:

- Ако при изчислението се използват квантите от интервал, кратен на периода на i -тия хармоник, т. е. при $q = \frac{kN}{i}$ (k - цяло число), алгоритъмът филтрира този хармоник и

кратните му, без да е нужно те да фигурират в апроксимационната функция (11.03.02). Това може да се използва за филтриране на всички четни хармоници, като се приеме

$$q = \frac{N}{2}, \text{ или на всички в. х., ако } q = N.$$

- За да се осигури бързодействие на алгоритъма поне един период $q \leq N$ е необходимо $p < \frac{N}{\gamma}$, като $\gamma = 1.2 \div 1.5$.
- Алгоритъмът е достатъчно сложен и за това следва да се прилага само в ЦДЗ за мрежи ВН, където $T_a = 50 \div 100$ ms. При бързодействие под един период $t < 20$ ms и следователно $\frac{t}{T_a} < 0,3$, а при $x < 0,3$ може да се приеме, че $e^{-x} = 1 - x$ с точност 5%. Поради това в (11.03.02) може да се приеме $m = 1$.
- Както, се пояснява в предната точка, в. х. над номер три могат да се пренебрегнат. Поради това в (11.03.02) може да се приеме, че $n \leq 3$.

Горните съображения показват, че за филтриране на а. с. и всички в. х. може да се препоръча следното:

- Ако $N \geq 18$ да се приеме апроксимационната функция

$$(11.03.01a) \quad X(t) = k_0 - \frac{t \cdot k_0}{T_a} + k_1 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_1) + k_3 \cdot \sin(3\omega \cdot t + \varphi_3)$$

и да се работи с $q = \frac{N}{2}$ кванта,

- Ако $8 < N < 18$ да се приеме апроксимационната функция

$$(11.03.01b) \quad X(t) = k_0 - t \frac{k_0}{T_a} + t^2 \frac{k_0}{2T_a^2} + k_1 \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)$$

и да се работи с $q = N$ кванта.

11.04. Нерекурсивни филтри, основани на разлагане на входните величини на ортогонални съставки

Приема се, че входната величина има вида

$$(11.04.01) \quad x(t) = k_0 + \sum_1^{\infty} [s_i \cdot \sin(i \cdot \omega \cdot t) + c_i \cdot \cos(i \cdot \omega \cdot t)]$$

Коефициентите s и c се намират чрез интегриране по метода на трапеците.

При наличие на а.с. към действителните стойности на s_i и c_i се добавят величините $s(T_a)$ и $c(T_a)$.

Когато разлагането се извършва по Фурие се получава алгоритъма

$$(11.04.02) \quad y_k = \frac{1}{N} [x_k + x_{k-N} + 2 \sum_{i=1}^{N-1} x_{k-i} \cdot \cos(i \cdot \Delta \varphi)]$$

Стойностите на $\cos(i \cdot \Delta \varphi)$ се изчисляват предварително и се съхраняват в постоянната памет на микропроцесорната система.

Когато разлагането се извършва по Уолш се получава алгоритъма

$$(11.04.03)$$

$$y_k = \frac{\pi}{N} \left[\left(x_k + x_{k-m_1} + 2 \sum_{i=1}^{m_1-1} x_{k-i} \right) - \left(x_{k-n_2} + x_{k-N+n_2} + \sum_{i=n_2+1}^{N-n_2-1} x_{k-i} \right) + \left(x_{k-N+m_1} + x_{k-N} + 2 \sum_{i=N-m_1+1}^{N-1} x_{k-i} \right) \right]$$

където n_1 и n_2 са най-близките цели числа до $N/4$ като $n_1 \leq \frac{N}{4} \leq n_2$.

Алгоритъмът на филтъра по Уолш (11.04.03) е по-прост от алгоритъма на филтъра по Фурие (11.04.02), тъй като в него липсват умножения, но за него грешките от а.с. са по-големи, както и грешките на численото интегриране, ако N не е кратно на 4.

Литература:

1. Витанов А. Дистанционни релета. Хабилитационен труд. НИТИ “Енергопроект”, София, 1990
2. Титце У. и др. Полупроводниковая схемотехника. Мир, Москва, 1982
3. Hamming R. W. Digital filters. Prentice Hall, USA, 1983
4. Kalman R. E. A new approach to linear filtering and prediction problems. Trans. ASME, v. 86, D, No. 1, 1960
5. Витанов А., З. Попов, Н. Златоустов, С. Вичев. Полупроводникови релейни защиты. София, Техника, 1975

12. Междинни аналогови преобразователи

1. Междинни (входни) трансформатори

Междинните трансформатори за ток и напрежение имат задачата да съгласуват вторичните вериги на измервателните трансформатори с веригите на релейните защиты и да ги разделят галванически една от друга. Те преобразуват ток в ток, ток в напрежение или напрежение в напрежение. Изискванията към тях зависят от вида на функцията на релейната защита. При функции, които реагират на интеграла на входната величина или не провеждат „сумиране“ на токове и напрежения, е достатъчно зависимостта „вход-изход“ на междинния трансформатор да бъде линейна само до стойността на заработването. Когато фазата на преобразуваната величина има значение за работата на защитата, обръща се внимание и на големината на ъгловата грешка. Най-високи са изискванията към входните преобразователи, когато в релетата се използват величини, получени чрез сумиране, както е при посочните и дистанционни защиты. Тогава и модулните, и ъгловите грешки трябва да бъдат в допустимите граници до максималния ток на късо съединение. В цифровите защиты функциите измерване и регистриране на напрежения и токове при повреда налагат най-високите изисквания при всички видове защиты.

Може да се коментира и възможността аналоговите преобразователи да филтрират (или обратното – да пропускат без деформиране) апериодични компоненти и висши хармоници в тока и напрежението.

Използвани означения:

$I_N; U_N$	- номинални фазни стойности на тока и напрежението
$I_{max}, I_{min}; U_{max}, U_{min}$	- горна и долна граница на диапазона на точна работа на тока и напрежението
$R_T; I_T$	- съпротивление и ток на товара на входния трансформатор
R	- съпротивление на постоянния товар към междинен ТТ
U_1, I_1, U_2, I_2	- напрежение и ток в първичната и вторичната намотки
$X_{\mu 1}, I_{\mu 1}, X_{\mu 2}, I_{\mu 2}$	- намагнитващ реактанс и намагнитващ ток, приведени съответно към първичната и вторичната намотка
R_1, R_2	- активно съпротивление на първичната и вторичната намотка
$\Delta I/I_1; \Delta U/U_2$	- относителна грешка на модулите
$\Delta \varphi_1; \Delta \varphi_U$	- грешка на аргументите (ъглова грешка)
$w_1; w_2$	- брой навивки на първичната и вторичната намотки

1.1. Междинни напреженови трансформатори

Междинните напреженови трансформатори имат много малка мощност и могат да се оприличат на маломощните захранващи трансформатори. Те имат обаче важни особености. Междинните напреженови трансформатори трябва да запазват своя коефициент на трансформатори от много малките стойности на напрежението (теоретично от нула) до номиналното. При мрежите с неефекивно заземена неутрала горната граница на преобразуване трябва да бъде над $\sqrt{3}$, обикновено 1.9. Не трябва да се предизвиква неправилно заработване на защитите в преходния режим при рязко изменение на напрежението. Не трябва да възниква явлението ферорезонанс.

Преценка за точността на разглежданите трансформатори в стационарен режим се прави чрез преводното им отношение

$$K = \frac{U_1}{U_2},$$

чиято приведена грешка може да се определи по модул и фаза от израза

$$\delta = \frac{\dot{K}_\partial - \dot{K}_H}{\dot{K}_H},$$

където

\dot{K}_∂ е комплексна стойност на действителното (реалното) преводно отношение при разглеждания режим;

\dot{K}_H - комплексната стойност на номиналното преводно отношение ($\dot{U}_{1H}/\dot{U}_{2H}$).

Грешката зависи от параметрите и натоварването на трансформатора, но за да се спазят условията за линейност, не трябва при максималното напрежение да се достига областта на насищане на материала на магнитопровода.

1.2. Междинни токови трансформатори

Междинните токови трансформатори според характеристиката си „вход-изход“ биват три вида: трансформатори, преобразуващи ток в ток $\dot{I}_2 = \dot{K}_I \cdot \dot{I}_1$; трансформатори с постоянно включен неговлям резистор R , преобразуващи тока в напрежение, пропорционално и във фаза в него $\dot{U}_2 = R \cdot \dot{I}_1$ и трансреактори, преобразуващи първичния ток в напрежение, пропорционално, но завъртяно на $\pi/2$ спрямо тока $\dot{U}_2 = j\dot{K}_I \cdot \dot{I}_1$.

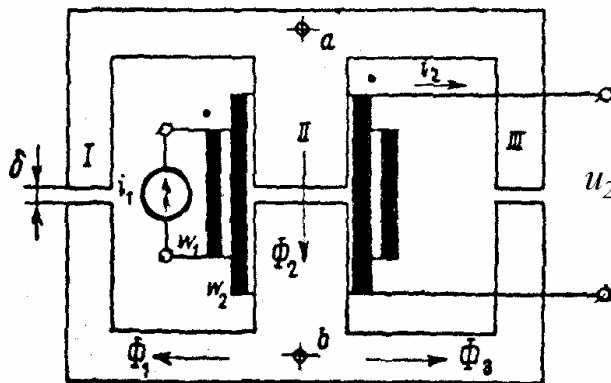
Токът на нулева последователност може да се получи от филтър за ток на нулевата последователност ($k_1 \cdot 3I_0$), което се счита за високо ниво на входния сигнал в ЦРЗ. Получаването на ток на нулева последователност от ТТ, свързани по схема Холмгрийн ($\Sigma k_1 \cdot I_\phi$) или по изчислителен път от трите фазни тока в самата ЦРЗ се счита за ниско ниво и не рядко за него се прави специален чувствителен вход в ЦРЗ. Горните граници на коефициента пред тока k_1 и на напрежителния коефициент k_U се избират така, че при горните граници на входните токове и напрежения изходните напрежения на входните трансформатори да бъдат в допустимите граници на следващите елементи, обикновено нискочестотни филтри.

При точност на релетата 5% точността на входните трансформатори е $1 \div 2\%$ по модул и $2^\circ \div 3^\circ$ по аргумент [2]. Това е валидно за диапазона на точната работа, например $50 \div 200$. Налага се за реализиране на междинни ТТ да се използват магнитопроводи без въздушна междина от пермалой или ферити.

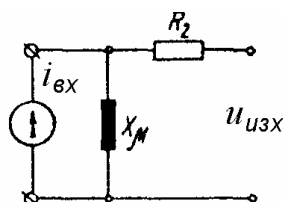
1.3. Трансреактори

Трансреакторите могат да се изпълнят като междинни токови трансформатори с индуктивен товар или като междинни трансформатори с неголяма немагнитна междина в магнитопровода.

На фиг. 1 е показан трансреактор, изпълнен с ферит с немагнитна междина. Няма товар. На фиг. 2 е показана максимално опростена еквивалентна схема.



Фиг. 1. Трансреактор с феритен цилиндричен магнитопровод от две части и немагнитна междина



Фиг. 2. Еквивалентна схема на трансреактор на празен ход с отчитане на активното съпротивление R_2 на вторичната намотка

Разглежда се работата на трансреактора от фиг. 1 фиг. 2 в двата най-обсъждани режима: входен ток с аperiодична съставка и входен ток с висши хармоници. Уравнението за изходното напрежение при празен ход е

$$R = \infty;$$

$$u_{uzx} = L_{\mu} \frac{di_{ex}}{dt}.$$

а) Влияние на аperiодичната компонента във входния ток

$$i_{ex} = i_{ex,max} \cdot \cos(\omega t) - i_{ex,a} e^{-t/T_a}$$

Съотношението на амплитудите на аperiодичната и периодичната компоненти във входния сигнал е

$$\frac{i_{ex,a}}{i_{ex,max}}.$$

Изходното напрежение има също две компоненти:

$$u_{uzx} = -\omega L_{\mu} \cdot i_{ex,max} \cdot \sin(\omega t) + \frac{1}{T_a} L_{\mu} \cdot i_{ex,a} e^{-t/T_a}$$

Неговото съотношение на амплитудите на аperiодичната и периодичната компоненти е

$$\frac{i_{ex,a}}{i_{ex,max}} \cdot \frac{1}{\omega T_a}$$

Обикновено $T_a=0.05 \div 0.50$ s; $\omega T_a = 15.7 \div 94.2$ и апериодичният сигнал в изходното напрежение е с $15.7 \div 94.2$ пъти по-малко участие, т.е. трансреакторът филтрира апериодичната съставка.

б) Влияние на висшите хармоници

$$i_{ex} = i_{1max}^i \cdot \sin(\omega t) + i_{1max}^{iii} \cdot \sin(3\omega t) .$$

Съотношението на амплитудите на третия и първия хармоник е

$$\frac{i_{1max}^{iii}}{i_{1max}^i} .$$

Изходното напрежение съдържа също първи и трети хармоник

$$u_{изх} = \omega L_{\mu} \cdot i_{1max}^i \cdot \cos(\omega t) + 3\omega L_{\mu} \cdot i_{1max}^{iii} \cdot \cos(3\omega t) .$$

Съотношението на амплитудите на третия и първия хармоник става

$$\frac{3 \cdot i_{1max}^{iii}}{1 \cdot i_{1max}^i} ,$$

т.е. третият хармоник в изходния сигнал има 3 пъти по-голямо участие спрямо входния.

Ако намаляването на влиянието на апериодичната съставка се счита за предимство на трансреакторите, то усилването на влиянието на висшите хармоници е съществен недостатък.

2. Шунтове и делители на напрежение

Съществува мнение, че в цифровите защиты могат да се използват вместо междинни токови и напреженови трансформатори активни шунтове за токовите вериги и активни делители за напреженостите. Това означава, че конструкторите на цифрови защиты разчитат в установен и преходен режим на високата точност по модул и ъгъл на шунтовете и делителите, когато нямат товар. Те смятат, че могат да се справят хардуерно с пренапреженията, а смущенията, апериодичните съставки и висшите хармоници ще се преодолеят софтуерно. Основание за тези мнения дават все по-мощните и бързи-микропроцесори, които пазарът предлага. В статичните електромери шунтовете и делителите са вече широко прилагани.

Литература:

1. Витанов А. Б., Н. М. Златоустов, З. И. Попов, С. Т. Вичев. Полупроводникови релейни защиты. Техника, София, 1975
2. Фабрикант В. Л., В. П. Глухов, Л. Б. Паперно. Элементы устройств релейной защиты и автоматики энергосистем и их проектирование. Высшая школа, Москва, 1974

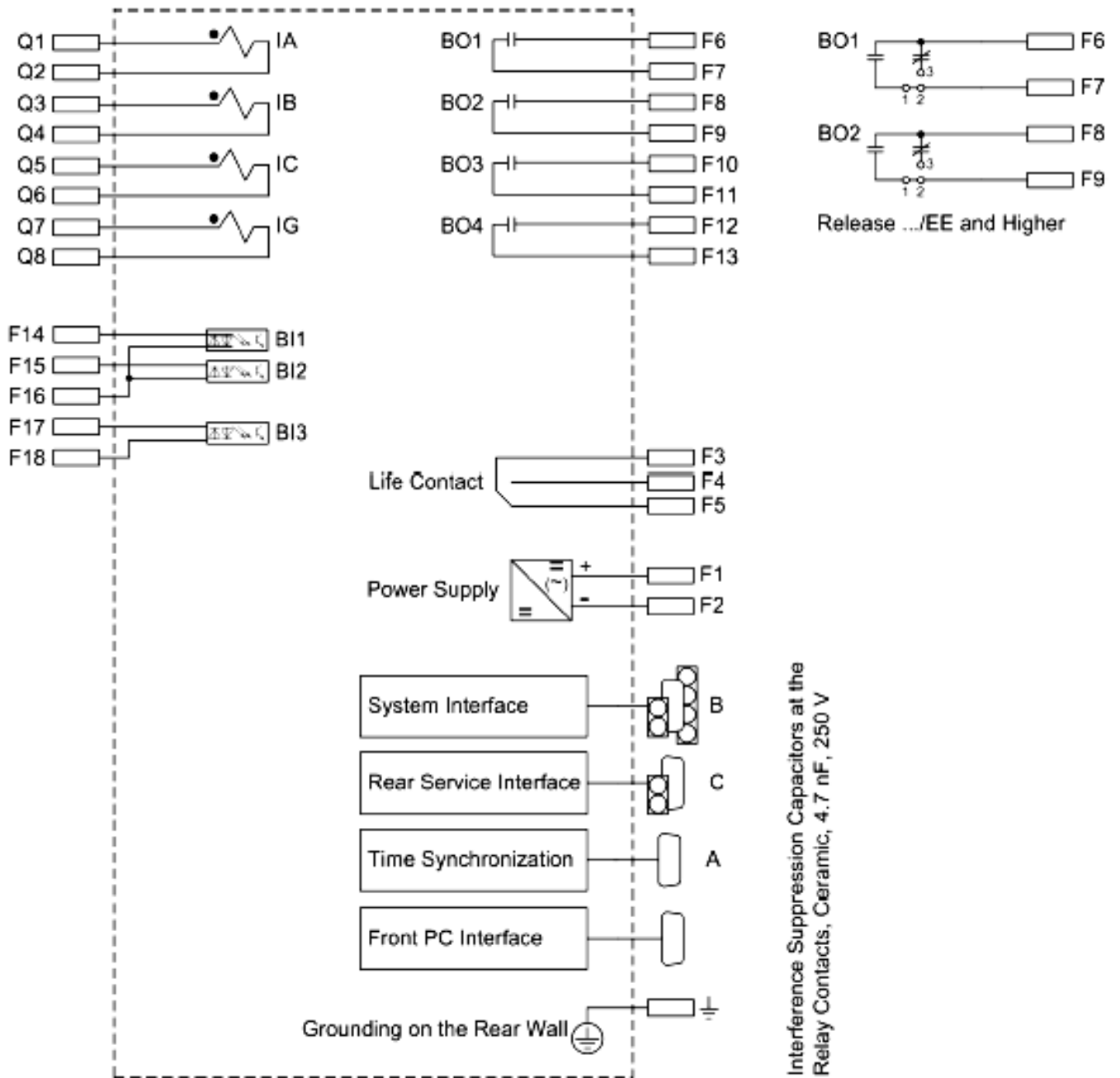
13. Защити на изводи

Съдържание		
№	Тема	Стр.
1	Защита само с токови входове	2
1.1	Пример. Мултифункционална релейна защита SIPROTEC 4 7SJ61. V4.6	2
1.2	Общи характеристики на защитата	3
1.3	Списък на функциите	3
2	Защита с входове за ток и напрежение	7
2.1	Пример. Мултифункционална релейна защита SIPROTEC 4 7SJ62/63/64. V4.6	7
2.2	Общи характеристики	8
2.3	Списък на функциите	8
2.4	Списък за сравнение на функциите на защити само с токови входове и защити с входове за токове и напрежения	10
3	Логика на функцията “токова защита” (50-1 и 50N-1)	12
3.1	Общи характеристики	12
3.2	Най-често използвани логически символи	13
3.3	Логическа схема на токовия елемент 50-1	14
3.4	Логическата схема на токов елемент 51 – зависимо от тока забавяне	16
3.5	Блокиране при ударен ток на включване на трансформатор на празен ход	17
3.6	Динамично настройване на пускане при “студен товар”	20
3.7	Обхват за настройване и настройки по подразбиране – 7SJ61	20
П1	Свързване на токовите вериги на защитата към ТТ	21
П2	Характеристика тип RI	23
П3	Статистика	23
13a	Въведение в земните защити	27
13b	Земни съединения през прекъсваща дъга	29
1	Форма на тока и напрежението при земно съединение през прекъсваща дъга	29
13c	Защита при земно съединение през прекъсваща дъга	39
1	Пример 1. Защита на Siemens 7SJ62/63/64	39
2	Пример 2. Защита на ABB REJ 527	44
3	Някои становища за защитите при земни съединения през прекъсваща дъга	46
13d	Променливо оперативно напрежение	47
13d1	Променливо оперативно напрежение при електромеханични защити. Схеми за използване на измервателните трансформатори	47
	Решения в Русия	47
	Решения в Германия (заводи EAW)	49
13d2	Променливо оперативно напрежение при цифрови защити	51
	ABB	52
	Schneider	56
	Siemens	57
13d3	Използване на предварително зареден кондензатор	58

1. Защита само с токови входове

1.1. Пример. Мултифункционална релейна защита SIPROTEC 4 7SJ61. V4.6

7SJ610*-*D/E



Фиг. 1. Схема на клемите и вътрешното устройство на мултифункционална релейна защита 7SJ612

1.2. Общи характеристики на защитата

- 32-битова микропроцесорна система.
- Пълна цифрова обработка и контрол на измерените стойности – от преобразуване на аналоговите входни величини в цифрови до създаване на изходни команди за изключване или включване на прекъсвачи или други превключващи устройства на разпределителната уредба.
- Пълно и надеждно галванично изолиране между вътрешните обработващи стъпала на устройството и външните трансформаторни, управляващи и постояннотокови хранващи схеми, благодарение на конструкцията на двоичните входове и изходи и постояннотокови преобразователи.
- Пълен набор от функции, необходими за адекватна токова защита на електропроводи, трансформатори, двигатели или шини.
- Лесно управление на устройството чрез интегриран операторски панел или чрез персонален компютър, работещ с програмата за комуникация със защитата DIGSI.
- Непрекъснато изчисляване и визуализиране на измервани и сравнявани стойности на лицеви панел на устройството.
- Регистриране на минимални и максимални измерени стойности (функция „указател на контролирани стойности“) (slave pointer function) и на дългосрочни средни стойности.
- Регистриране на събития и данни за последните 8 повреди в защитавания обект с информация в реално време, както и на моментни стойности за регистриране на неизправности в продължение на максимален период от 5 s.
- Постоянно измерване на определени стойности и постоянна самодиагностика, обхващаща хардуера и софтуера.
- Комуникация със SCADA (Supervisory control and data acquisition – придобивка за контрол, управление и данни) или със съоръжения в подстанцията чрез сериен интерфейс и избор или на кабел за данни, или на модем, или на оптичен кабел.
- Часовник, хранен от вграден акумулатор, който може да бъде синхронизиран или чрез спътник, или с двоичен входен сигнал, или с команда по системния интерфейс.
- Статистическа информация: записване на броя на сигналите за изключване; регистриране на последните изключения; акумулиране на токове от къси съединения на всеки прекъсвач.
- Брояч на работни часове: Проследяване на работните часове под товар на защитените съоръжения.
- Помощни действия при въвеждане в експлоатация, като проверка на свързванията, индикация на състоянията на всички двоични входове и изходи, лесна проверка на системния интерфейс и въздействие върху информацията на системния интерфейс по време на провеждане на тестове.

1.3. Списък на функциите:

A. Максималнотокова защита с независимо и зависимо забавяне 50, 51, 50N, 51N (Time Overcurrent Protection 50, 51, 50N, 51N)

- Два елемента на фаза за МТЗ с независимо забавяне и един елемент за МТЗ с инверсна характеристика за фазов ток и за измерен ток при земно съединение I_N или за пресметнат сумарен ток на нулева последователност $3I_0$;
- Възможна е работа като максималнотоковата защита на две фази (I_A и I_C);
- Предлагат се различни зависими характеристики по познатите стандарти за 51 и 51N или по създадени от потребителя зависими характеристики;
- Възможност за блокиране;

- Възможно е мигновено изключване на прекъсвач под въздействието на някой токов елемент при включване на обект със съществуваща повреда;
- Блокиране по втори хармоник на ударния ток при включване.

В. Защита при земни съединения 50N, 51N (Ground Fault Protection 50N, 51N)

- Два елемента за МТЗ с независимо от тока забавяне и един елемент за МТЗ със зависими характеристики при земни съединения в мрежи със заземена през неголямо съпротивление неутрала;
- Разполага се с различни зависими характеристики по познатите стандарти за 51N или по създадени от потребителя зависими характеристики;
- Възможно е мигновено изключване на прекъсвач под въздействието на някой токов елемент при включване на обект със съществуваща повреда.

С.

Д. Функция „Пускане при товар с динамично студено състояние” 50C, 50NC, 51C, 51NC, 67C, 67NC (Dynamic Cold Load Pick-up Function 50C, 50NC, 51C, 51NC, 67C, 67NC)

- Динамична промяна на настройките на МТЗ с времезакъснение, например, когато се очаква динамично студено състояние;
- Откриване на динамично студено състояние по положението на прекъсвача или по нивото на тока;
- Възможно е активиране чрез АПВ (AR);
- Възможно е пускане и през двоичен вход.

Е. Еднофазна максималнотокова защита (Single-Phase Overcurrent Protection)

- Оценка на измерения ток при чувствителен вход ($3I_0$ е получен чрез изчисление или схема Холмгрийн) или токов трансформатор тип Феранти;
- Подходяща е за диференциална защита, която включва от една страна тока на неутралата, а от друга или трансформатор, или генератор, или двигател;
- Като корпусна защита на трансформатор, която чрез токов трансформатор между казан и земя улавя недопустими токови утечки към земя.

Ф.

Г. Защита от ток на обратна последователност 46 (Negative Sequence Protection 46)

- Анализ на симетричната съставка „ток с обратна последователност”;
- Два елемента с независимо от тока забавяне 46-1 и 46-2 и един елемент със зависима характеристика тип 46-ТОС; възможно е за 46-ТОС да се приложат стандартните зависими характеристики.

Н. Защита при пускане на двигател 48 (Motor Starting Protection 48)

- Времезависима характеристика, базирана на анализ на пусковия ток на двигателя;
- Независимо от тока забавяне при блокиране на ротора.

И. Забрана за пускане на двигател 66, 86 (Motor Start Inhibit 66, 86)

- Приблизителен модел на прегряването на ротора;
- Пускане се разрешава, само ако роторът има достатъчен топлинен резерв за пълно развъртане;
- Възможно е блокиране на забраната за пускане, ако се изисква аварийно пускане.

Ж. Защита от топлинно претоварване 49 (Thermal Overload Protection 49)

- Диаграма на топлината, получена от енергийните загуби;
- Изчисление на ефективната стойност (r.m.s.);
- Възможност за настройка на нивото за сигнализиране на прегряването;
- Възможност за настройка на нивото на сигнализиране на базата на големината на тока;
- Допълнителна настройка на времеконстантата при защита на двигател, за да се приспособи към спирането на двигателя;
- Възможно е съгласуване с околната температура или с охлаждащата температура чрез външни температурни датчици и кутии с температурни датчици (RTD-Box).

K. Кутии със съпротивителни температурни датчици RTD-Boxes (Resistance Temperature Detector – Boxes)

- Измерване на околната температура или температурата на охлаждане чрез кутии със съпротивителни температурни датчици и с външни температурни датчици.

L.

M. Функции за наблюдение (Monitoring Functions)

- Възможности за самонаблюдаване на вътрешните измервателни вериги, оперативното захранване, хардуера и софтуера;
- Контрол на вторичните вериги на токови трансформатори чрез проверка на суми и симетрия.
- Наблюдаване на веригите за изключване;
- Проверка на реда на фазите.

N*. Откриване на земни съединения 50N(s), 51N(s) [Ground Fault Detection 50N(s), 51N(s)]

- Откриване на земни съединения с два елемента: 50N(s)-1 и 50N(s)-2;
- Висока чувствителност (до 1 mA); ($3I_0$ е получен чрез изчисление);
- Максималнотоков елемент с независимо или зависимо забавяне;
- За токовата функция с малка чувствителност е възможно използване на една създадена от потребителя зависима характеристика и две логаритмични обратнозависими характеристики “време-ток”;
- Приложима е като допълнителна защита от земни съединения (например за защита на резистора в неутралата).

O. Защита при земни съединения през прекъсваща дъга (Intermittent Ground Fault Protection)

- Открива и натрупва информация за земни съединения през прекъсваща дъга;
- Изключва след натрупване на сумарно време, което се настройва.

P*. Система за автоматично повторно включване (АПВ) 79 (Automatic Reclosing (AR) System 79)

- Еднократно или многократно АПВ;
- С отделно нарочно забавяне за първи цикъл (separate dead times for the first shot) и общо за другите следващи цикли (all succeeding shots);
- Избират се защитните елементи, които пускат АПВ. Изборът може да бъде различен за фазни повреди и за земни повреди;
- Различни програми за фазни повреди и за земни повреди;
- Взаимодействие с максималнотоковите елементи и със земните елементи. Те могат да бъдат блокирани или мигновено разрешени в зависимост от цикъла на АПВ.

Q.**R. Защита срещу откази на прекъсвачи (УРОП) 50 BF
(Breaker Failure Protection 50 BF)**

- Проверка на нивото на тока и / или анализ на състоянието на блок-контактите на прекъсвача (с пускане от релейна защита или при несъответствие);
- Активиране от изключването на интегрален защитен елемент, който изключва прекъсвача;
- Възможно е активиране чрез двоичен вход от външно защитно устройство;
- Възможно е активиране от интегрална управляваща функция.

S.**T.****U. Фазов ред (Phase Rotation)**

- Задаване на последователност ABC или ACB чрез настройване (статично) или чрез двоичен вход (динамично).

V*. Експлоатация на прекъсвачите (Circuit-Breaker Maintenance)

- Статистически методи в помощ на съгласуването на интервалите за ревизия на контактите на прекъсвачите в зависимост от действителното им износване;
- Вградени са няколко автономни функции (процедура ΣI , процедура ΣI^x и процедура 2P);
- Събирането и съгласуването на измерените стойности за всички процедури се извършва селективно по фази, като се използват прагове на стойностите, специфични за всяка процедура.

W. Определяни от потребителя функции (User-defined Functions) - (CFC)

- Определяни от потребителя логически функции могат да се създават чрез логическо комбиниране на вътрешни и външни сигнали;
- При програмирането могат да се използват всички обичайни Булеви операции (common Boolean operations) (И, ИЛИ, НЕ, Изключващо ИЛИ и др.) (AND, OR, NOT, Exclusive OR, etc.);
- Въвеждане на закъснения и гранични стойности;
- Обработване на измерените стойности, включително потискане на нули, добавяне на характеристики за вход на преобразуватели и контрол на значещите нули.

X. Управление на прекъсвачи (Breaker Control)

- Прекъсвачите могат да бъдат изключвани и включвани чрез специфични ключета за управление на процеси (само за модели с графичен дисплей), чрез програмируеми функционални ключета на лицеви панел, чрез системния интерфейс (например, от SICAM[®] или SCADA) или чрез интерфейса за PC на предната страна на устройството, като се използва персонален компютър с програма DIGSI[®]);
- Прекъсвачите се следят чрез техните блок-контакти;
- Контрол на достоверността на положението на прекъсвачите и проверка на условията за блокиране.

2. Защита с входове за ток и напрежение

2.1. Пример. Мултифункционална релейна защита SIPROTEC 4 7SJ62/63/64. V4.6

7SJ640*-*D/E

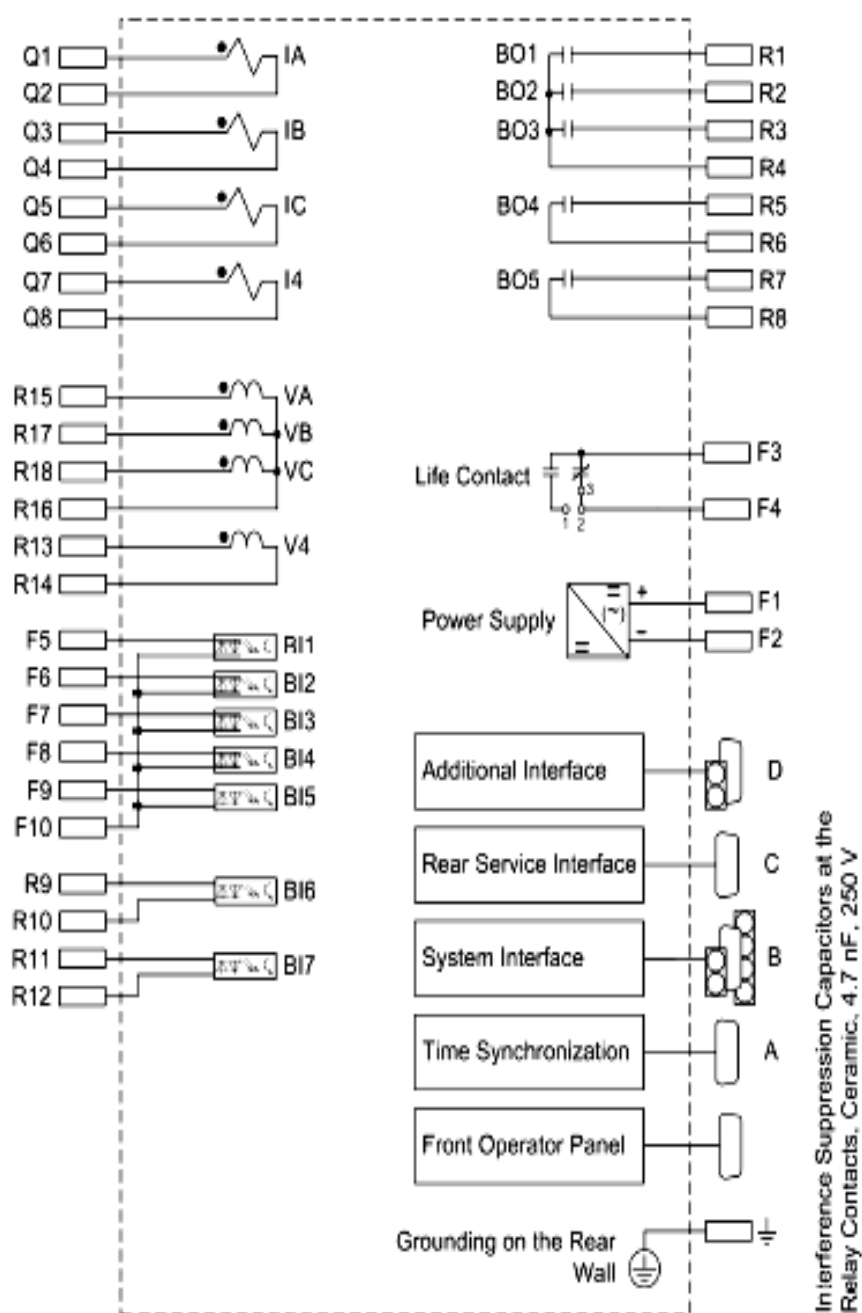


Figure A-39 General diagram for 7SJ640*-*D/E (panel flush mounting or cubicle mounting)

Фиг. 7. Схема на клемите и вътрешното устройство на мултифункционална релейна защита 7SJ62/63/64

2.2. Общи характеристики

Общите характеристики на защитите на изводи, които имат само токови входове съвпадат с тези, на защитите с входове за ток и напрежение

2.3. Списък на функциите

По долу са описани последователно всички функции, но се дават пояснения само за тези функции на защитите с входове за ток и напрежение, които имат разлики или са повече от тези на защитите само с токови входове.

A. Максималнотокова защита с независимо и зависимо от тока забавяне 50, 51, 50N, 51N (Time Overcurrent Protection 50, 51, 50N, 51N)

B. Защита при земни съединения 50N, 51N (Ground Fault Protection 50N, 51N)

C. Посочна максималнотокова защита 67, 67N (Directional Time Overcurrent Protection 67, 67N)

- Три посочни елемента за максималнотокова защита със забавяне, както за защита при фазни, така и при земни съединения. Паралелно работят посочни и непосочни елементи. Пусковите стойности за тока и закъсненията трябва да се настройват независимо за посочните и непосочните максималнотокови елементи.
- Посочното реле се свързва по 90°-на схема (например I_A и U_{BC}) (cross-polarized voltages) и се използва запомняне на напрежението (voltage memory). Няма ограничение на посочността в преходен режим (Dynamically unlimited direction sensitivity);
- Посочността се определя селективно за всяка фаза и отделно за земни съединения и директно измервани на земния ток и изчисляване на тока с нулева последователност чрез сумиране на фазните токове.

D. Функция „Пускане при товар с динамично студено състояние” 50C, 50NC, 51C, 51NC, 67C, 67NC (Dynamic Cold Load Pick-up Function 50C, 50NC, 51C, 51NC, 67C, 67NC)

E. Еднофазна максималнотокова защита (Single-Phase Overcurrent Protection)

F. Напреженова защита 27, 59 (Voltage Protection 27, 59)

- Два минимално-напреженови елемента 27-1 и 27-2 на базата на измерване на напрежение с права последователност или на най-малките приложени напрежения;
- Възможност за функциите 27-1 и 27-2 да се приложи контролиране по ток;
- Два елемента за защита от максимално напрежение 59-1 и 59-2 на базата на измерване на максималните приложени напрежения и освен това, откриване на компоненти с обратна последователност;
- При еднофазно свързване се оценява напрежението между фаза и земя или междуфазното напрежение;
- Настройва се коефициентът на връщане (dropout ratio) за всички елементи на защитата от минимално и максимално напрежение

G. Защита от ток на обратна последователност 46 (Negative Sequence Protection 46)

H. Защита при пускане на двигател 48 (Motor Starting Protection 48)

I. Забрана за пускане на двигател 66, 86 (Motor Start Inhibit 66, 86)

J. Защита от топлинно претоварване 49 (Thermal Overload Protection 49)

K. Кутии със съпротивителни температурни датчици RTD-Boxes (Resistance Temperature Detector – Boxes)

L. Защита при повишаване / понижаване на честотата 81 O/U (Frequency Protection 81 O/U)

- Четири елемента, които могат независимо да се настройват на заработване при понижаване ($f <$) и/или повишаване ($f >$) на честотата, както и на съответните независимо настройващи се времезакъснения;
- Нечувствителност към хармоници и резки изменения на фазовите ъгли;
- Регулируем праг за минимално напрежение

M. Функции за наблюдение (Monitoring Functions)

N*. Откриване на земни съединения 50N(s), 51N(s), 67N(s), 59N/64 (Ground Fault Detection 50N(s), 51N(s), 67N(s), 59N/64)

- Напрежението на изместване (Displacement voltage) (напрежението с нулева последователност) се измерва (намотки “отворен триъгълник”) или се изчислява от напреженията на трите фази;
- Определяне на повредената фаза в незаземени или компенсирани мрежи;
- Два чувствителни (s – sensitive) елемента за откриване на земни съединения: 50N(s)-1 and 50N(s)-2;
- Висока чувствителност (до 1 mA) (при изчисляване на тока $3I_0$);
- Максималнотокови елементи с независимо и зависимо от тока забавяне;
- За токовата функция с малка чувствителност е възможно използване на една създадена от потребителя зависима характеристика и две логаритмични обратнозависими характеристики “време-ток”;
- Определяне на посоката чрез величини с нулева последователност (I_0 , U_0), определяне на посоката на активната компонента на мощността на нулева последователност (за компенсирани мрежи) (wattmetric ground fault direction determination);
- Всеки елемент може да бъде настроен като посочен или като непосочен – може да действа напред или “в гръб” на защитата;
- Характеристиките на посочните елементи могат да се настройват;
- Приложима е като допълнителна защита при земни съединения (по избор).

O. Защита при земни съединения през прекъсваща дъга (Intermittent Ground Fault Protection)

P. Система за автоматично повторно включване (АПВ) 79 (Automatic Reclosing 79)

- Еднократно или многократно АПВ;
- С отделно нарочно забавяне за първи цикъл (separate dead times for the first shot) и общо за следващите цикли (all succeeding shots);
- Избират се защитните елементи, които пускат АПВ. Изборът може да бъде различен за фазни повреди и за земни повреди;
- Различни програми за фазни повреди и за земни повреди;
- Взаимодействие с максималнотоковите елементи и със земните елементи. Те могат да бъдат блокирани или моментално разрешени в зависимост от цикъла на АПВ;
- Възможно е синхронно повторно включване (само за 7SJ64) във връзка с вградената функция за синхронизация.

Q. Определяне на разстоянието до мястото на повредата (Fault Location)

- Пуска се от команда изключване, външна команда или при връщане на пусков елемент;

- Разстоянието до мястото на повредата се изчислява и представя като вторично съпротивление, разстояние в мили или разстояние в километри.

R. Защита срещу откази на прекъсвачи (УРОП) 50 BF (Breaker Failure Protection 50 BF)

S. Гъвкави защитни функции (само за 7SJ64), Flexible Protection Functions (7SJ64 only)

- До 20 защитни функции, които могат да бъдат настройвани индивидуално за работа в трифазен или еднофазен режим;
- Всяка изчислена или измерена стойност може да бъде анализирана по принцип;
- Защитна функция със стандартна логика и с независимо от тока забавяне;
- Забавянето на заработване и връщане може да се определя вътрешно и чрез конфигуриране;
- Текстовете на съобщения, които могат да се променят.

T. Проверка на синхронизма и напреженията 25 (само за 7SJ64), Synchronism and Voltage Check 25 (7SJ64 only)

- Проверка на условията за синхронност преди АПВ на трифазно изключване;
- Бързо измерване на разлика на напрежения ΔU , фазова разлика $\Delta \varphi$ (и разлика на честоти Δf);
- Проверка за отсъствие на насрещно захранване (КОН) преди повторно включване;
- Възможно е включване на система в асинхронно състояние с предвиждане на време за синхронизация;
- Настройване на минимално и максимално напрежение;
- Възможна е също проверка на условията за синхронност или на отсъствие на насрещно захранване преди ръчно включване на прекъсвача с отделни настроени стойности;
- Както при всички цифрови защиты е възможно към измервателните трансформатори да не се поставят външни съгласуващи (междинни) трансформатори;
- По избор могат да се измерват линейни или фазни напрежения.

U. Фазов ред (Phase Rotation)

V. Експлоатация на прекъсвачите (Circuit-Breaker Maintenance)

W. Определяни от потребителя функции (User-defined Functions)

X. Управление на прекъсвачи (Breaker Control)

2.4. Списък за сравнение на функциите на защиты само с токови входове и защиты с входове за токове и напрежения

	№	Защита само с токови входове	Защита с входове за ток и напрежение
	1	Списък на функциите	
A	2	Максималнотокова защита с независимо и зависимо забавяне 50, 51, 50N, 51N (Time Overcurrent Protection 50, 51, 50N, 51N)	
B	3	Защита при земни съединения 50N, 51N (Ground Fault Protection 50N, 51N)	
C	4		Посочна максималнотокова защита 67, 67N (Directional Time Overcurrent Protection 67, 67N)
D	5	Функция „Пускане при товар с динамично студено състояние” 50C, 50NC, 51C, 51NC, 67C, 67NC (Dynamic Cold Load Pick-up Function 50C, 50NC, 51C, 51NC,	

		67C, 67NC)	
E	6	Еднофазна максималнотокова защита (Single-Phase Overcurrent Protection)	
F	7		Напреженова защита 27, 59 (Voltage Protection 27, 59)
G	8	Защита от ток на обратна последователност 46 (Negative Sequence Protection 46)	
H	9	Защита при пускане на двигател 48 (Motor Starting Protection 48)	
I	10	Забрана за пускане на двигател 66, 86 (Motor Start Inhibit 66, 86)	
J	11	Защита от топлинно претоварване 49 (Thermal Overload Protection 49)	
K	12	Кутии със съпротивителни температурни датчици RTD-Boxes (Resistance Temperature Detector – Boxes)	
L	13		Защита при повишаване / понижаване на честотата 81 O/U (Frequency Protection 81 O/U)
M	14	Функции за наблюдение (Monitoring Functions)	
N	15+	13. Откриване на земни съединения 50N(s), 51N(s) [Ground Fault Detection 50N(s), 51N(s)]	13*. Откриване на земни съединения 50N(s), 51N(s), 67N(s), 59N/64 (Ground Fault Detection 50N(s), 51N(s), 67N(s), 59N/64) <i>Наличие на посочност</i>
O	16	Защита при земни съединения през прекъсваща дъга (Intermittent Ground Fault Protection)	
P	17+	17.* Система за автоматично повторно включване (АПВ) 79 (Automatic Reclosing (AR) System 79)	
Q	18		Определяне на разстоянието до мястото на повреда (Fault Location)
R	19	19*. Защита срещу откази на прекъсвачи (УРОП) 50 BF (Breaker Failure Protection 50 BF)	
S	20		Гъвкави защитни функции (само за 7SJ64), Flexible Protection Functions (7SJ64 only)
T	21		Проверка на синхронизма и напреженията 25 (само за 7SJ64), Synchronism and Voltage Check 25 (7SJ64 only)
U	22	Фазов ред (Phase Rotation)	
V	23	Експлоатация на прекъсвачите (Circuit-Breaker Maintenance)	
W	24	Определяни от потребителя функции (User-defined Functions)	
X	25	Управление на прекъсвачи (Breaker Control)	

3. Логика на функцията “токова защита” (50-1 и 50N-1)

3.1. Общи характеристики

Токът на всяка фаза и токът с нулева последователност се сравняват поотделно с настройките на релейни елементи 50-1 и 50N-1 и се генерират отделни сигнали, когато настройките бъдат превишени. Ако бъде въведена функцията “блокиране при ударен ток на включване” и се установи наличие на такъв режим, сигналите от МТЗ се блокират. След изтичане на настроеното от потребителя времезакъснения **50-1 DELAY** и **50N-1 DELAY** се генерира сигнал за изключване, ако няма някаква забрана. Ако функцията е блокирана поради ударен ток на включване, не се извършва изключване, но събитието се записва и на екрана се появява съобщение, което показва кога изтича закъснението на максималнотоковия елемент.

Стойността на коефициента на връщане е 0.95 за токове, по-големи от $0.3 \cdot I_{Nom}$.

Заработванията могат да бъдат **стабилизирани** (времето за подаване на изключвателен импулс към прекъсвача се удължава) чрез настройване на удължени времена за връщане на елемента с адреси **1215 50 T DROP-OUT** или **1315 50N T DROP-OUT**. По този начин функцията не отпада моментално, макар че токът е спаднал под пусковото ниво, а нарочното забавяне **50-1 DELAY** или **50N-1 DELAY** продължава да се набира. След изтичане на нарочното забавяне прекъсвачът се изключва, генерира се съобщение **OFF** и защитата се връща. Ако прагът **50-1 PICKUP** или **50N-1 PICKUP** на пусковите органи бъде превишен, докато закъснението на връщане все още тече, то забавеното връщане ще бъде анулирано, а закъснението за изключване **50-1 DELAY** или **50N-1 DELAY** продължава да се набира в границите на своите настройки. Ако прагът на пускане е все още превишен след изтичане на настроеното време, ще бъде проведено незабавно изключване. Ако превишаването на прага престане да съществува, няма да последва реакция. Ако прагът бъде отново нарушен, след като изтече закъснението за изключване и закъснението за връщане все още тече, ще има незабавно изключване.

Стабилизиране на пускането на максималнотоковите елементи 50-1 или 50N-1 **чрез увеличаване на времето на връщане е забранено**, ако има заработване в резултат на ударен ток на включване, тъй като токът на включване не представлява краткотрайна повреда.

Земната защита може да работи с измерени стойности на тока с нулева последователност I_N (I_G) или с величините $3I_0$, изчислени от токовете на трите фази. Устройствата с чувствителен вход за тока от земно съединение обикновено използват изчислените величини $3I_0$.

Всички максималнотокови елементи на устройството могат да бъдат блокирани индивидуално чрез функцията автоматично повторно включване (в зависимост от цикъла) или чрез външен сигнал, подаден на двоичните входове на устройството. Отстраняването на блокирането по време на заработване ще предизвика повторен старт на времезакъсненията. Ръчното подаване на сигнал за включване е изключение. Ако прекъсвачът е включен ръчно при наличие на късо съединение, той може да бъде повторно изключен веднага. За максималнотоков елемент или елемент с високо ниво закъснението може да бъде избегнато чрез импулс за ръчно включване, в резултат на което се получава мигновено изключване. Продължителността на този импулс е най-малко 300 ms.


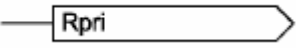



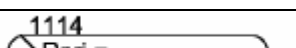
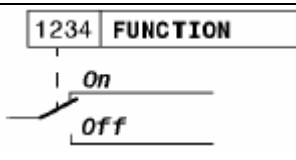
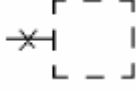
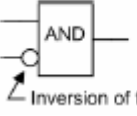
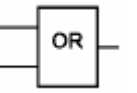
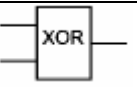
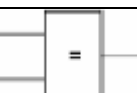
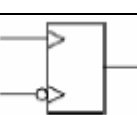
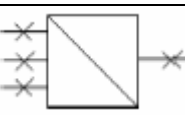
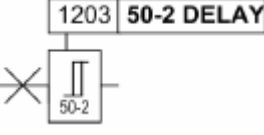
Функция 79 АПВ може също така да предизвика незабавно изключване на максималнотоковия елемент и на токовата отсечка (елемента с високо ниво) в зависимост от цикъла.

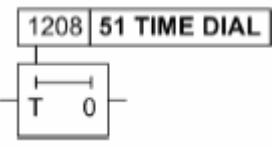
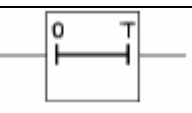
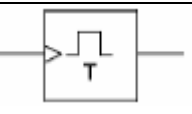
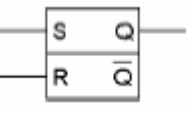
Заработването на елементите 50Ns може да бъде стабилизирано чрез настройка на времената за връщане. Тази възможност се използва в системи, в които възникват краткотрайни къси съединения. В комбинация с електромеханични релета, тя позволява да бъдат настроени различни времена на отпадане и да се въведе степенуване по време на цифровите и на електромеханичните релета.

Настройките на заработване и времезакъсненията могат лесно да бъдат адаптирани към изискванията на системата чрез т. н. **динамична смяна на настройките**.

Изключването от елементите 50-1, 51 (във фазите), 50N-1 и 51N (във веригата към земя) може да бъде блокирано вследствие на появата на ударен ток на включване.

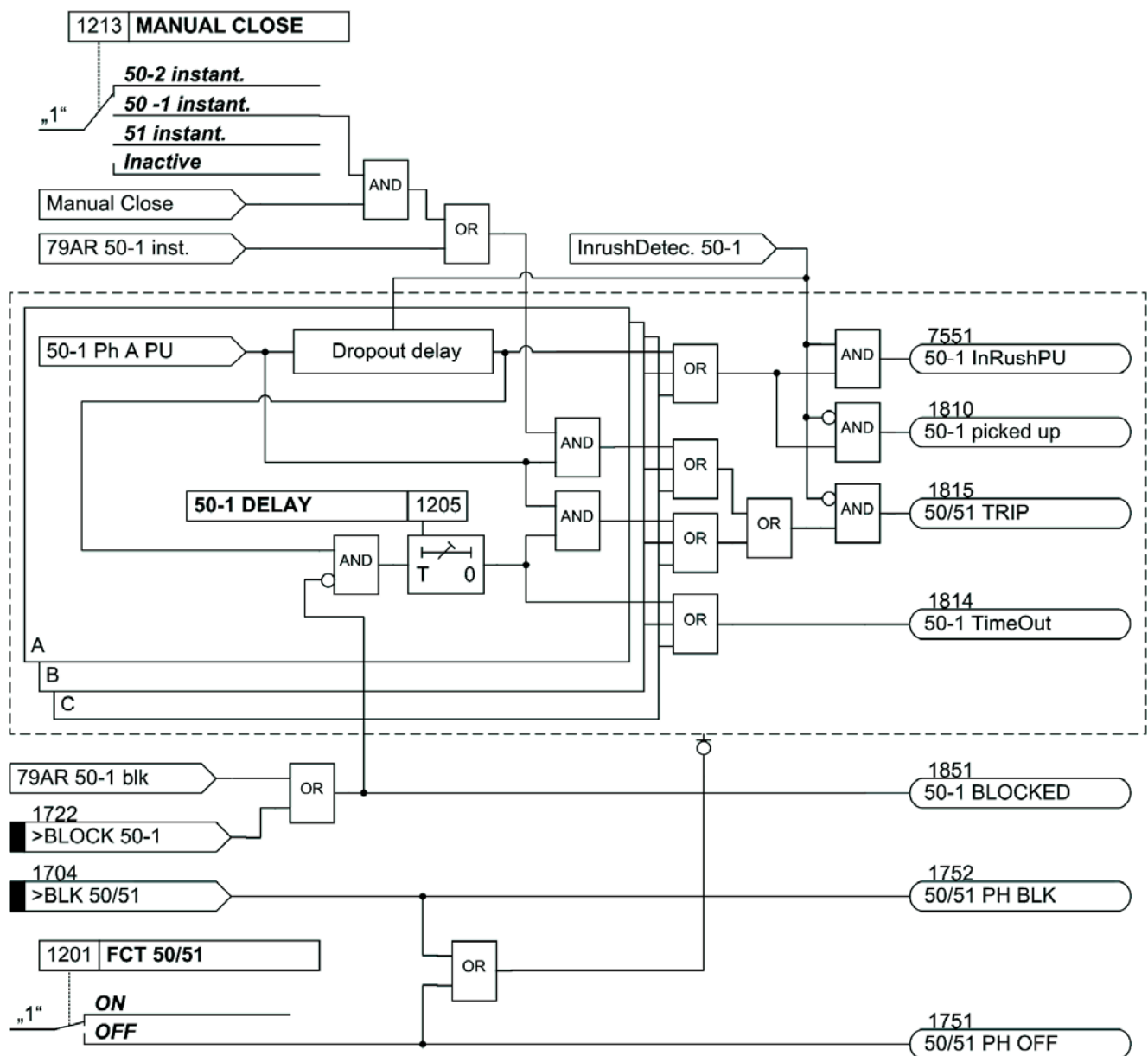
3.2. Най-често използвани логически символи

	Device-internal logical input signal	Входен сигнал, формиран от вътрешно логическо устройство
	Device-internal logical output signal	Изходен сигнал, формиран от вътрешно логическо устройство
	Internal input signal of an analog quantity	Вътрешен входен сигнал, формиран от аналогова величина
	External binary input signal with number (binary input, input indication)	Идващ отвън двоичен входен сигнал с номер (2701) (двоичен вход, съобщение за вход)
	External binary output signal with number (device indication)	Излизашо навън двоично изходящо съобщение с номер (1114) (съобщение от устройството)
	External binary output signal with number (device indication) used as input signal	Идващо отвън двоично изходящо съобщение с номер (1114) (съобщение за устройството), използван като входен сигнал.
	Example of a parameter switch designated FUNCTION with the address 1234 and the possible settings ON and OFF	Пример за параметризиращ ключ, наречен FUNCTION, с адрес 1234 и възможно настройване за състояние ON и OFF.
Besides these, graphical symbols are used according to IEC 60617-12 and IEC 60617-13 or symbols derived from these standards. Some of the most frequently used are listed below:		Други символи от стандартите IEC 60617-12 и IEC 60617-13
	Input signal of an analog quantity	Входен сигнал от една аналогова величина
	AND gate	Логическо „И“
	OR gate	Логическо „ИЛИ“
	Exclusive-OR gate (antivalence): output is active, if only one of the inputs is active	Изключващо „ИЛИ“. Изходът е „1“, дори ако само един от входовете е „1“.
	Equivalence: output is active, if both inputs are active or inactive at the same time	Еквивалентност. Изходът е „1“, ако двата входа са едновременно или „единици“, или „нули“.
	Dynamic inputs (edge-triggered) above with positive, below with negative edge	Динамични входове (пускане от фронт). горе – нарастващ фронт; долу – спускащ се фронт.
	Formation of one analog output signal from a number of analog input signals	Формиране на един изходен аналогов сигнал от няколко входни аналогови сигнала.
	Limit stage with setting address and parameter designator (name)	Стъпало на защитата с адрес (1203) и параметър за означаване (име) (50-2 DELAY)

	Timer (pickup delay T, example adjustable) with setting address and parameter designator (name)	Реле за време със забавено зареждане (примерът е с настройване) с адрес (1208) и параметър за означаване (име) (51 TIME DIAL)
	Timer (dropout delay T, example non-adjustable)	Реле за време със забавено връщане (примерът е с настройване)
	Dynamic triggered pulse timer T (monoflop)	Моновибратор с импулсно пускане
	Static memory (RS-flipflop) with setting input (S), resetting input (R), output (Q) and inverted output (\bar{Q})	RS-тригер с вход за пускане (S), вход за връщане (R), изход (Q) и инвертиран изход (\bar{Q})

3.3. Логическа схема на токовия елемент 50-1

На следващата фиг. 8 е показана логическата схема на токовия елемент 50-1.



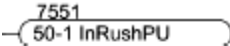


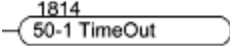

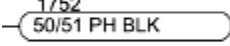
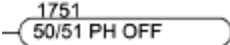
Фиг. 8. Логическа схема на елемент 50-1 за фазов ток, независимо от тока забавяне

Елементи на фигурата:

- Три паралелно действащи токови елемента (50-1 Ph A PU) със закъснение (50-1 DELAY), означени като А, В и С;

- FCT 50/51 – първи параметър за настройване: да се въведе функцията или да не се въведе;
- 79AR 50-1 blk – блокиране на АПВ;
- Dropout delay – забавено връщане;
- Manual Close – ръчно включване;
- PU – пускане;
- TRIP – изключване;
- InrushDetec. 50-1 – откриване на ударен ток при включване;
- CFC (Continuous Function Chart) – Графичен метод за създаване на функции.

Съобщения:

	Блокиране поради наличие на ударен ток на включване, който е пуснал токов елемент А, В или С.
	Пускане на защитата поради пускане на токов елемент А, В или С и липса на блокировка от ударен ток на включване
	Правилно подаден импулс за изключване поради наличие на ток, по-голям от тока на заработване, набрано време, по-голямо от настроеното закъснение и липса на блокировка от ударен ток на включване
	Токът е все още по-голям от тока на заработване след изтичане на време-закъснението за изключване като същевременно няма блокиране от вътрешен входен сигнал, формиран от АПВ или идващ отвън двоичен входен сигнал с номер 1722 за блокиране на функцията 50-1
<p>с</p> 	Блокиране на функцията 50-1 от вътрешен сигнал на АПВ или от външен двоичен сигнал
	Блокиране на функцията 50-1 от външен двоичен сигнал
	Блокът с функциите 50/51 е предварително изведен (не е въведен).

Действие при ръчно включване на прекъсвач:

Ако на параметъра **MANUAL CLOSE** е зададена стойност **50 -1 instant** и бъде приложено ръчно включване, следваща операция изключване се инициира веднага след появата на условия за заработване, дори ако елементът е блокиран чрез двоичен вход. Същото важи и за АПВ (79AR 50-1).

3.4. Логическата схема на токов елемент 51 – зависимо от тока забавяне

На следващата фиг. 9 е показана логическата схема на токов елемент 51 – зависимо от тока забавяне.

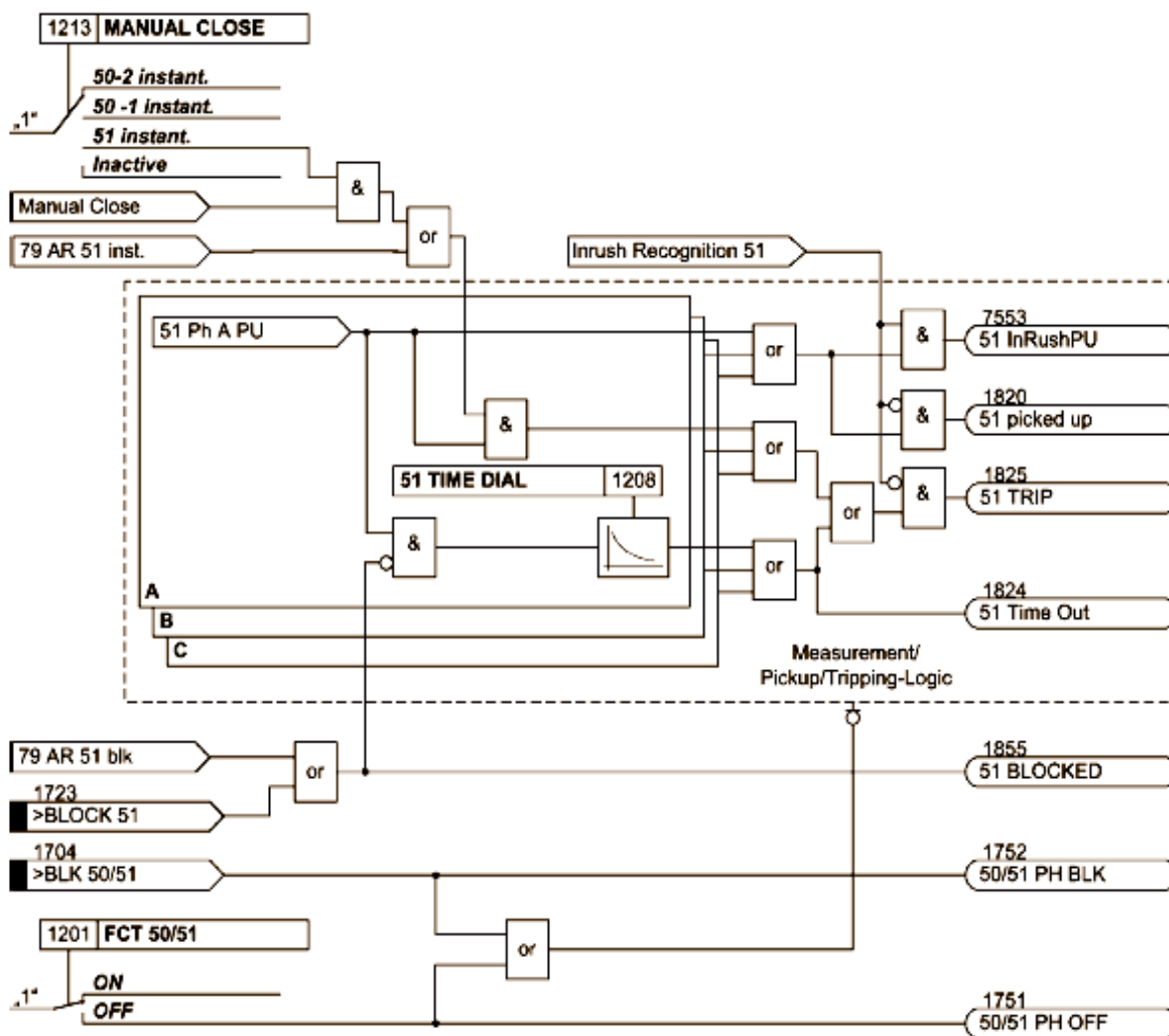


Figure 2-7 Logic diagram for the 51 relay element

Фиг. 9. Токов елемент 51 – зависимо от тока забавяне

Има три варианта на избиране на зависими характеристики: по ANSI, по IEC или като се приложат дефинирани от потребителя зависими характеристики по 20 точки.

Начин на работа при пускане на релето

Токът на всяка фаза и токът на нулева последователност се сравняват поотделно с настроените стойности на пускане на елементите със зависима характеристика 51 и 51N. Ако токът превиши 1.1 пъти настроената стойност, съответният елемент се пуска и това се сигнализира индивидуално. Ако е въведено блокиране при ударен ток на включване, то функцията го открива според продължителността, независимо дали е нормален пусков сигнал или е съответстващият ударен сигнал. Пускането на релеен елемент се базира на ефективната стойност на основния хармоник. Когато елемент 51 се пусне, изчисляването на закъснението на сигнала за изключване става чрез интегриране. Изчисленото закъснение зависи от действително протеклия ток и от избраната характеристика на изключване. След изтичане на закъснението се генерира сигнал за изключване при условие, че не бъде открит ударен ток на включване или блокировката при ударен ток на включване не е въведена. Ако блокирането при ударен ток на включване е въведено и съществува такъв ток, не се извършва изключване, но се записва и показва на екрана съобщение, което показва кога изтича закъснението на максималнотоковия елемент. Тези елементи могат да бъдат блокирани от функцията автоматично

повторно включване (79AR). Характеристиката на токовия елемент за повреди към земя 51N може да бъде избрана независимо от характеристиката 51, използвана за фазните токове .

Стойностите на ток на пускане на елементи 51 (за фазните токове) и 51N (за тока на нулева последователност) и свързаните с тях множители могат да бъдат настроени индивидуално.

Начин на работа при връщане на релето

Когато се използват криви по ANSI или IEC е необходимо да се избере дали връщането на елемента да става мигновено след достигане на прага или отпадането става след като се имитира работата на индукционно реле.

"Мигновено" означава връщане, когато бъде достигната приблизително 95% от стойността на пускането. При ново пускане отчитането на време започва от нула.

Имитацията на работата на индукционно реле предизвиква процес на връщане (съдържанието на брояча за време намалява), което започва след изключване на захранването. Този процес съответства на връщане в изходно състояние на диска на Ферарис (Ferraris-disk) от едно индукционно токово реле с диск. (Това обяснява израза "имитация на диск" - "disk emulation").

В случай на няколко последователни повреди „историята” се разглежда като инерция на диска на Ферарис и времето за реакция се адаптира.

Нулирането започва, ако бъде достигната 90% от настроената стойност, в съответствие с кривата на връщане на избраната зависима характеристика. В диапазона между стойността на връщане 95% и 90% от настроената стойност процесите на нарастване и намаляване са в състояние “празен ход”.

“Имитацията на диск” има предимства, когато максималнотоковото цифрово реле трябва да бъде съгласуван с конвенционални електромеханични максималнотокови релета, разположени близо до източника.

Вижте “Приложение П2”

3.5. Блокиране при ударен ток на включване на трансформатор на празен ход (фиг. 10)

Ударният ток се разпознава, ако са изпълнени едновременно следните условия:

- Съдържанието на втори хармоник е по-високо от една настроена стойност 2202 **2nd HARMONIC** (15 % по подразбиране);
- Токът не е по-голям от една определена максимална стойност 2205 **I Max** (7.5 A за едно-амперови ТТ и 37.5 A за пет-амперови ТТ);
- Функцията не е блокирана от външно устройство (фиг. 10: 2201 **INRUSH REST. ON**).

В защитата е интегрирана функцията „блокиране при ударен ток”. Това блокиране контролира „нормалното” пускане на максималнотоков елемент 50-1 Pickup и 51 Pickup, но не и пускането на токовата отсечка, т.е. на релеен елемент 50–2 Pickup. Същото е валидно и за пусковото ниво на алтернативната функция „динамичен студен товар”.

След като се открие, че ударният ток е над пусковото ниво се генерира специален сигнал за пускане на ударен ток „--- InRush PU”. Този сигнал също въвежда регистрация на повреда и стартира определено забавяне на изключването. Ако ударното (преходното) състояние още съществува след преминаване на забавянето на изключване, излиза съответстващо съобщение ("....TimeOut" – "...Времето изтече"), но изключването от МТЗ е блокирано.

Честотният анализ на ударният ток се прави по метода на Фурие от цифрови филтри за трите фазни тока и за тока на неутралата. Веднага след като нивото на втория хармоник надвиши настроената стойност, изключването е блокирано относно фазните токове и тока на неутралата. Тъй като количественият анализ на хармониците изисква един период време (20 ms), блокирането не може да се реализира преди това.

По тази причина функцията блокиране е въведена, а съобщението за пускане се забавя винаги един цял период на ударния ток. Набирането на времето за нарочно забавяне на максималнотоковата функция започва веднага, въпреки че е въведено блокирането при ударен ток. По тази причина из-

ползването на характеристиката „блокиране при ударен ток” няма да влияе при някои допълнителни забавяния при изключване. Ако релейният елемент отпада по време на блокирането при ударен ток, съответстващото забавяне ще се нулира.

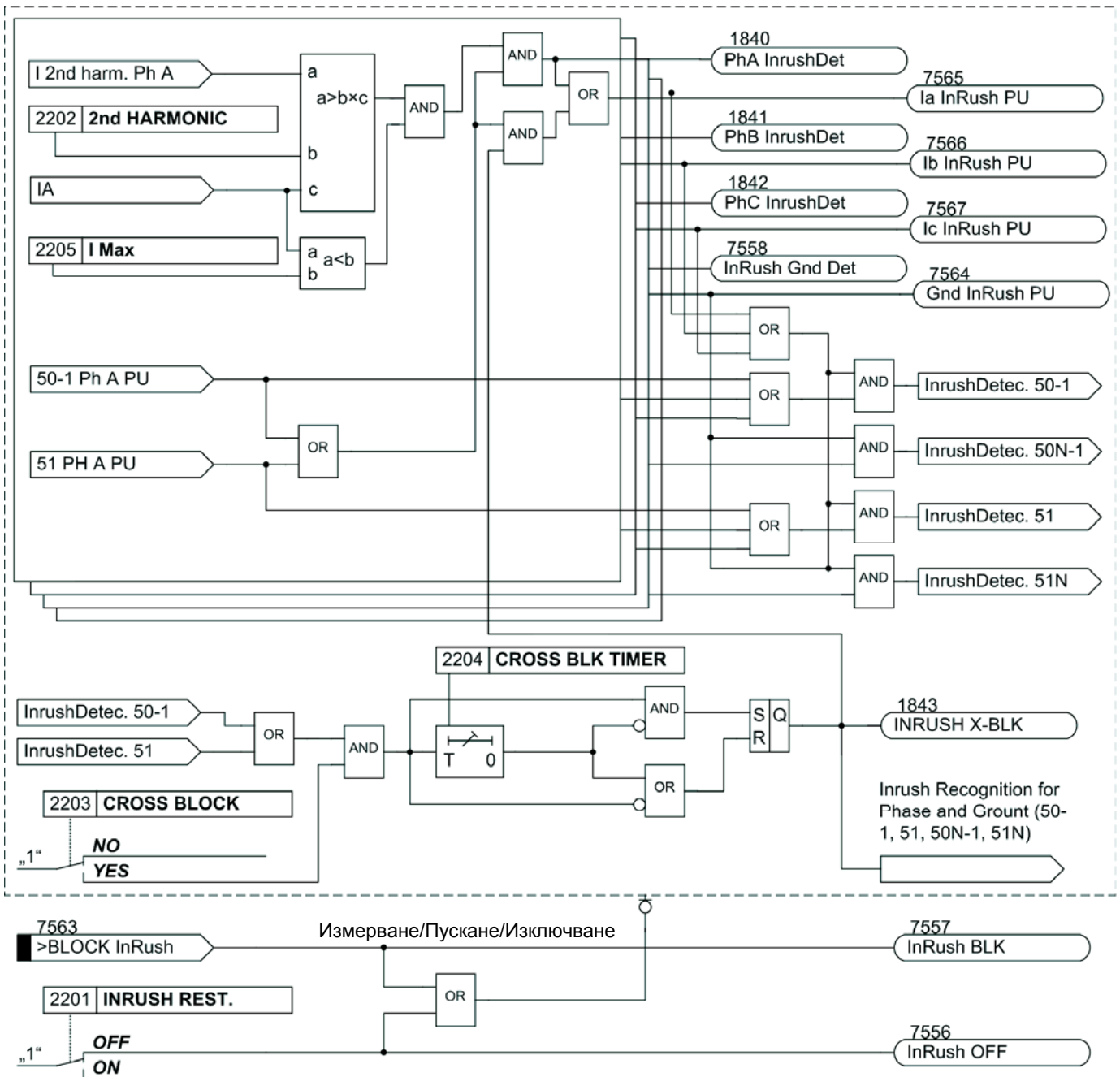
Напречно блокиране

Възможен е режим, когато блокирането от пусковия ток е индивидуално за всяка фаза. В този случай защитата функционира правилно, когато трансформаторът се включва при наличие на еднофазна повреда и пусковият ток се открива в здравите фази. Възможно е също защитата да се конфигурира така, че ако допустимото ниво на хармоника в тока превиши стойността си само в една фаза, да се осигури блокиране на действието не само в тази фаза, но и в останалите фази (т.н. функция „**НАПРЕЧНО БЛОКИРАНЕ**” (**CROSS BLOKING** function, address 2203). Трябва да се държи сметка, че ударният ток в неутралата не блокира изключването на фазните елементи. Напречното блокиране се връща, когато вече няма ударен ток в която и да е фаза.

Освен това, функцията „напречно блокиране” може да бъде въведена само за определен интервал от „**ВРЕМЕ ЗА НАПРЕЧНО БЛОКИРАНЕ**” (address 2204 **CROSS BLK TIMER**). След като премине този интервал от време, функцията „напречно блокиране” ще бъде изведена, ако още съществува.

Блокиране от ударен ток не се прави (защитата работи независимо от формата на тока и наличие на втори хармоник, а само от ефективната стойност на основния хармоник), ако има много голям ток на вътрешна повреда. Тази стойност се настройва чрез параметъра „2205 **I Max**” – 7.5 пъти номиналния ток на защитата.

Следващата фигура показва логическата диаграма на блокиране при ударен ток, когато е включено „напречно блокиране”.



Фиг. 10. Логика на МТЗ с независимо и зависимо от тока забавяне и блокиране по втори хармоник
 $I_{2^{nd}\ harm. phA}$ – ниво на втория хармоник на тока във фаза А

Диапазон на настройките и настройки по подразбиране

Адрес	Параметър	Функция	С	Настройки по избор	Настройки по подразбиране	Коментар
2201	INRUSH REST.	50/51 Overcur.		OFF ON	OFF	Inrush Restraint Спиране при ударен ток
2202	2nd HARMONIC	50/51 Overcur.		10 .. 45 %	15 %	2nd. harmonic in % of fundamental (Втори хармоник в % от основния)
2203	CROSS BLOCK	50/51 Overcur.		NO YES	NO	Cross Block Напречно блокиране
2204	CROSS BLK TIMER	50/51 Overcur.		0.00 .. 180.00 s	0.00 s	Cross Block Time (време за напречното блокиране)
2205	I Max	50/51 Overcur.	1A 5A	0.30 .. 25.00 A 1.50 .. 125.00 A	7.50 A 37.50 A	Maximum Current for Inrush Restraint (Максимален ток до който е валидно спирането при ударен ток)

3.6. Динамично настройване на пускане при “студен товар”

С функцията “динамично настройване на пускане при “студен товар” настройките за пускане и закъсненията на МТЗ могат да бъдат променяни динамично (от външен двоичен сигнал).

Област на приложение

- Понякога се налага да се увеличат токовете на пускане на защитата в динамичен режим, ако по време на старта и малко след това някои елементи на системата повишат консумацията си след продължителен престой при липса на захранващо напрежение (например: кондиционери, отоплителни инсталации, двигатели). Предварителното повишаване на праговете на заработване и намаляване на чувствителността на защитата може да се избегне, като се отчете наличието на пускови условия.
- Друг вариант е праговете на заработване да бъдат модифицирани от функцията АПВ в съответствие с това дали АПВ е успешно или неуспешно.

Забележки:

- Динамичното пренастройване на пусковите настройки при “студен товар” не трябва да се смесва с опцията ”групи настройки” (4 групи – от А до D). Това е допълнителна възможност.
- Пренастройването са отнася както за праговете на заработване, така и за закъсненията.

Описание на функцията

Има два метода, с които устройството може да определи дали захранването на защитеното съоръжение е изключено:

- Устройството се информира за положението на прекъсвача от блок-контактите му;
- Изпълнение на условието за праг на минималния ток.

Ако устройството определи по един от горните методи, че захранването на защитените съоръжения е изключено, се стартира времето **CB Open Time** и след изтичането му стават валидни увеличените прагове.

Освен това, превключването между параметрите може да се активира от две събития:

- От сигнала "79M Auto Reclosing ready" ("79M АПВ е на разположение)" на вътрешната функция АПВ. Така пусковите прагове на елементите и времената за изключване могат да се променят, ако АПВ е готова за повторно включване.
- Динамично настройване на пускане при “студен товар” може да бъде разрешено чрез двоичен вход ”>ACTIVATE CLP“ (Активиране на ПСТ – Пускане при ”Студен Товар”).

3.7. Обхват за настройване и настройки по подразбиране

Таблицата показва настройките по подразбиране в зависимост от диапазоните. Колона С (конфигурация) показва съответния вторичен номинален ток на токовия трансформатор.

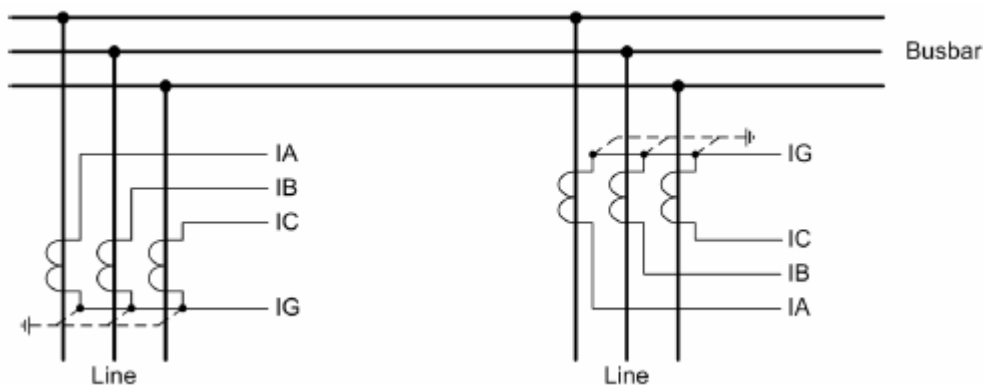
Адрес	Параметър	С	Опции за настройка	Настройка по подразбиране	Коментар
212	BkrClosed I MIN	1A	0.04 .. 1.00 A	0.04 A	Closed Breaker Min. Current Threshold
		5A	0.20 .. 5.00 A	0.20 A	
1701	COLDLOAD PICKUP		OFF ON	OFF	Функция пускане при “студен товар”
1702	Start Condition		No Current Breaker Contact 79 ready	No Current	Начални условия
1703	CB Open Time		0 ... 21600 s	3600 s	Време „прекъсвач изключен”
1704	Active Time		1 ... 21600 s	3600 s	Активно време
1705	Stop Time		1 ... 600 s; ∞	600 s	Стоп време
1801	50с-2 PICKUP	1A	0.10 ... 35.00 A; ∞	10.00 A	Зарботване на 50с-2
		5A	0.50 ... 175.00 A; ∞	50.00 A	
1802	50с-2 DELAY		0.00 ... 60.00 s; ∞	0.00 s	50с-2 закъснение
1803	50с-1 PICKUP	1A	0.10 ... 35.00 A; ∞	2.00 A	Зарботване на 50с-1
		5A	0.50 ... 175.00 A; ∞	10.00 A	

1804	50c-1 DELAY		0.00 ... 60.00 s; ∞	0.30 s	50c-1 закъснение
1805	51c PICKUP	1A	0.10 ... 4.00 A	1.50 A	Заработване на 51c
		5A	0.50 ... 20.00 A	7.50 A	
1806	51c TIME DIAL		0.05 ... 3.20 s; ∞	0.50 s	Настройка по време на 51c
1807	51c TIME DIAL		0.50 ... 15.00 ; ∞	5.00	Настройка по време на 51c
1901	50Nc-2 PICKUP	1A	0.05 ... 35.00 A; ∞	7.00 A	Заработване на 50Nc-2
		5A	0.25 ... 175.00 A; ∞	35.00 A	
1902	50Nc-2 DELAY		0.00 ... 60.00 s; ∞	0.00 s	50Nc-2 закъснение
1903	50Nc-1 PICKUP	1A	0.05 ... 35.00 A; ∞	1.50 A	Сработване на 50Nc-1
		5A	0.25 ... 175.00 A; ∞	7.50 A	
1904	50Nc-1 DELAY		0.00 ... 60.00 s; ∞	0.30 s	50Nc-1 закъснение
1905	51Nc PICKUP	1A	0.05 ... 4.00 A	1.00 A	Заработване на 51Nc
		5A	0.25 ... 20.00 A	5.00 A	
1906	51Nc T-DIAL		0.05 ... 3.20 s; ∞	0.50 s	Настройка по време на 51Nc
1907	51Nc T-DIAL		0.50 ... 15.00 ; ∞	5.00	Настройка по време на 51Nc

Приложение 1

П1 Свързване на токовите вериги на защитата към ТТ

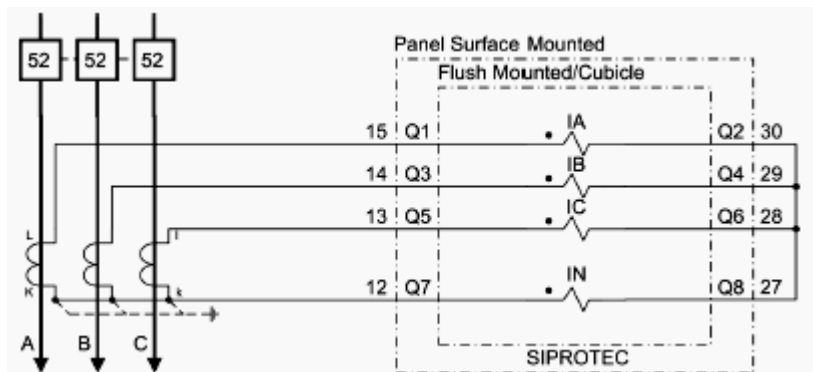
1. Разположение на звездната точка на ТТ



Фиг. 1. Разположение на звездната точка: а) към извода, б) към шинната система

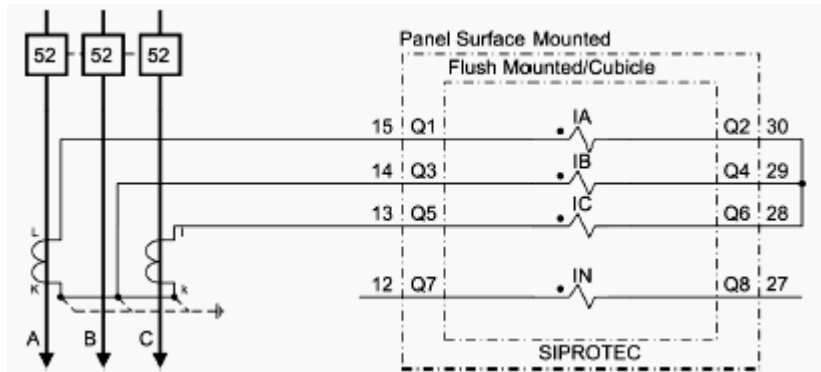
Могат да се реализират четири варианта на свързване на токовите вериги на защитата към ТТ.

2. Схема с три токови трансформатора



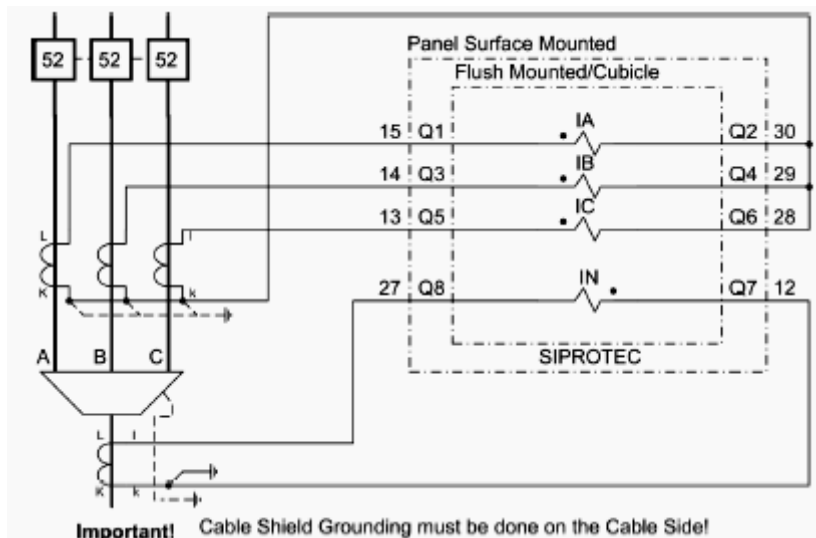
Фиг. 3. Три токови трансформатора и схема Холмгрийн

3. Схема с два токови трансформатора



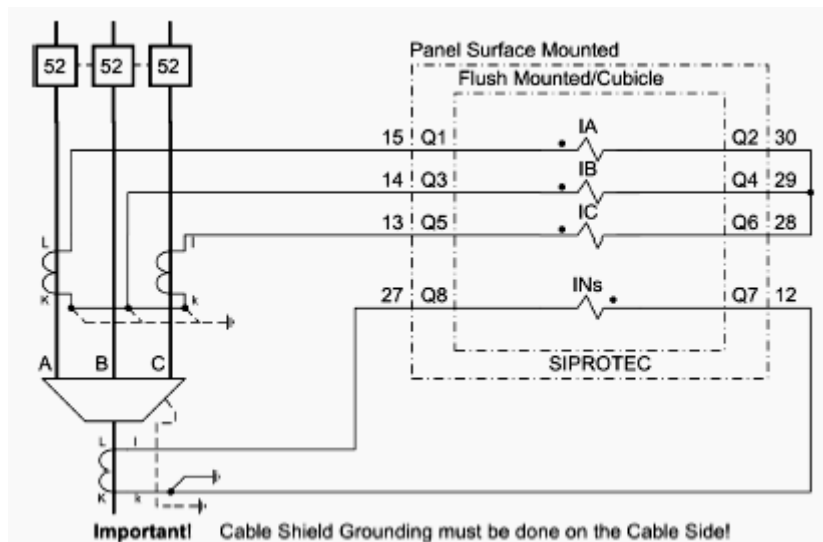
Фиг. 4. Два токови трансформатора, без информация за токовете с нулева последователност. Токът на фазата без ТТ се получава чрез сумиране на токовете на двете фази с ТТ.

4. Схема с три токови трансформатора и ТТ тип Феранти



Фиг. 5. Три ТТ за трите фазни тока. Токът на нулева последователност се получава от ТТ тип Феранти

5. Схема с два токови трансформатора и ТТ тип Феранти



Фиг. 6. Два токови трансформатора за двата фазни тока. Токът на фазата без ТТ се получава чрез сумиране на токовете на двете фази с ТТ. Токът на нулева последователност се получава от ТТ тип Феранти

П2. Характеристика тип RI

Характеристиката тип RI е специална характеристика, използвана главно в комбинация с електромеханични релета. Характеристиката се основава на следния математически израз:

$$t [s] = \frac{k}{0.339 - 0.236 \cdot \frac{I_{>}}{I}}$$

където

t = време на заработване, s,

k = кратност на времето,

I = измервана стойност на тока,

$I_{>}$ = настроена пускова стойност на тока.

Приложение 3

П3. Статистика

Извършва се броене на изключванията, направени от защитата 7SJ61, включващите команди, инициирани от АПВ и работните часове под товар. Допълнителен брояч позволява да се определи броят на часовете, през които прекъсвачът е поставен в положение „включен”. Могат да бъдат натрупани допълнителни статистически данни за оптимизиране на интервалите за ревизия на прекъсвача.

Броячът и паметите са защитени срещу загуба на оперативно напрежение.

Броене на изключванията

С цел да се броят изключванията направени от защитата 7SJ61, положението на прекъсвача трябва да се контролира през блок-контактите му и бинарните входове на 7SJ61. Стойността на импулсния брояч "Брой изключвания на прекъсвача" ("Number of TRIPs CB") може да бъде намерена в групата "Статистика".

Брой на командите за повторно включване

Броят на командите за повторно включване, инициирани от функцията за АПВ се сумира в отделни броячи за 1-я и 2-я цикли.

Работни часове

Работните часове под товар също се съхраняват (стойността на тока поне в една фаза е по-голяма от пределната стойност **Прекъсвач включен I MIN /BkrClosed I MIN**).

Брояч на часове “Прекъсвачът е включен”

Може да бъде реализиран брояч като CFC приложение, което подобно на брояча на работни часове, брой часовете в положение „прекъсвачът е включен”. Универсалният брояч на часовете е присъединен към съответния бинарен вход и започва да брой, ако последния е активен.

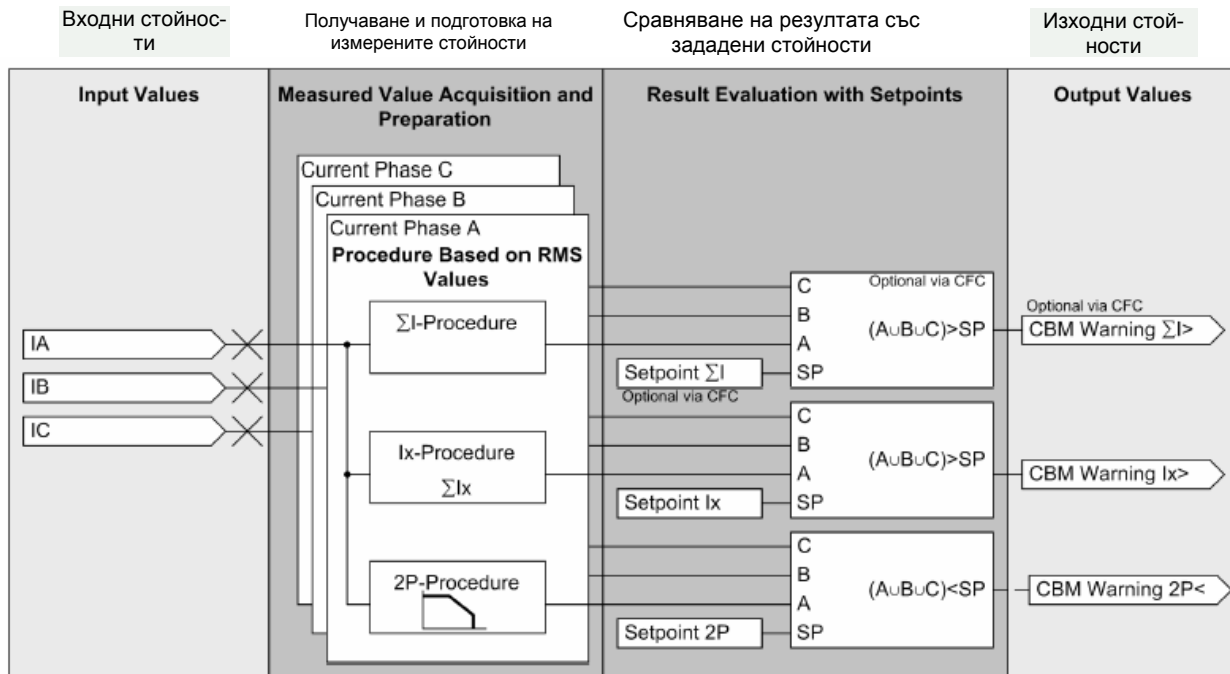
Ресурс на прекъсвача

Процедурите, подпомагащи експлоатацията на прекъсвача, позволяват да бъдат изпълнени експлоатационните срокове на контактите на прекъсвача, когато тяхната актуална степен на износване го изисква. Една от основните ползи, които тази функция предлага е икономията от разходите за експлоатация и обслужване.

В общия случай при оценка на ресурса на прекъсвача се акумулират изключваните токове, инициирани от защитните функции и обхваща следните 3 автономни под-функции:

- Сумиране на изключващ ток (процедура ΣI)
- Сумиране на изключващи мощности (процедура ΣI^x)
- Дву-точкова процедура за изчисляване на остатъчния ресурс за експлоатация (процедура 2P)

Получаването и обработката на измерена стойност се извършва пофазно за всичките 3 под-функции. Всеки от трите резултата се изчислява с използването на праг, който е специфичен за всяка процедура (Вижте фиг. 1).



Фиг. 1. Схема на процедурите при експлоатацията на прекъсвач

Като основна функция, процедурата ΣI е винаги включена и активна. Другите две процедури (ΣI^x и 2P) могат да бъдат избрани чрез определен конфигурационен параметър.

Значително натоварване за прекъсвача се получава от нивото на тока и продължителността на действителната работа по превключването, включително затихването на дъгата. Следователно от първостепенно значение е стартовия и спиращия критерий. Процедурите ΣI^x и 2P използват за тази цел същия критерий. На фиг. 2 е представена логиката на стартовия и на спиращия критерий.

Стартовият критерий е изпълнен при поява на обобщения сигнал “ИЗКЛЮЧВАНЕ от релето” (“Relay TRIP”) в случай на изключване от вътрешен сигнал. Може да бъде взета под внимание изключваща команда, инициирана от външен източник. Друг критерий може да бъде края на текущия сигнал “>52-a“, което сигнализира, че механиката на прекъсвача е съобщила за разделяне на контактите.

Ако стартовият критерий е удовлетворен, то се стартира зададеното работно време на включване на прекъсвача. Това определя момента, в който контактите на прекъсвача започват да се отделят. Като допълнителен параметър може да се използва времето, определено от производителя, което включва работното време на прекъсвача до изключването и времето за изгасване на дъгата.

За предпазване на изчислителните процедури от грешки в случай на отказ на прекъсвача, токовият критерий 212 **Прекъсвач включен I MIN (212 BkrClosed I MIN)** проверява дали токът наистина е станал нула след два допълнителни периода. Ако токовият критерий показва, че прекъсвачът е изключен, прекъсвачът е готов за повторно изключване.

Процедура ΣI

Като основна функция, процедурата ΣI не участва в конфигурацията и не изисква каквито и да е настройки. Всички изключени токове, появили се $1\frac{1}{2}$ периода след защитно изключване се сумират за всяка фаза. Тези изключени токове са ефективни (rms) стойности на основния хармоник.

Токът на изключване при късото съединение се записва при всяко съобщение за късо съединение и се добавя в броячите към запамените преди това стойности на тока на късото съединение.

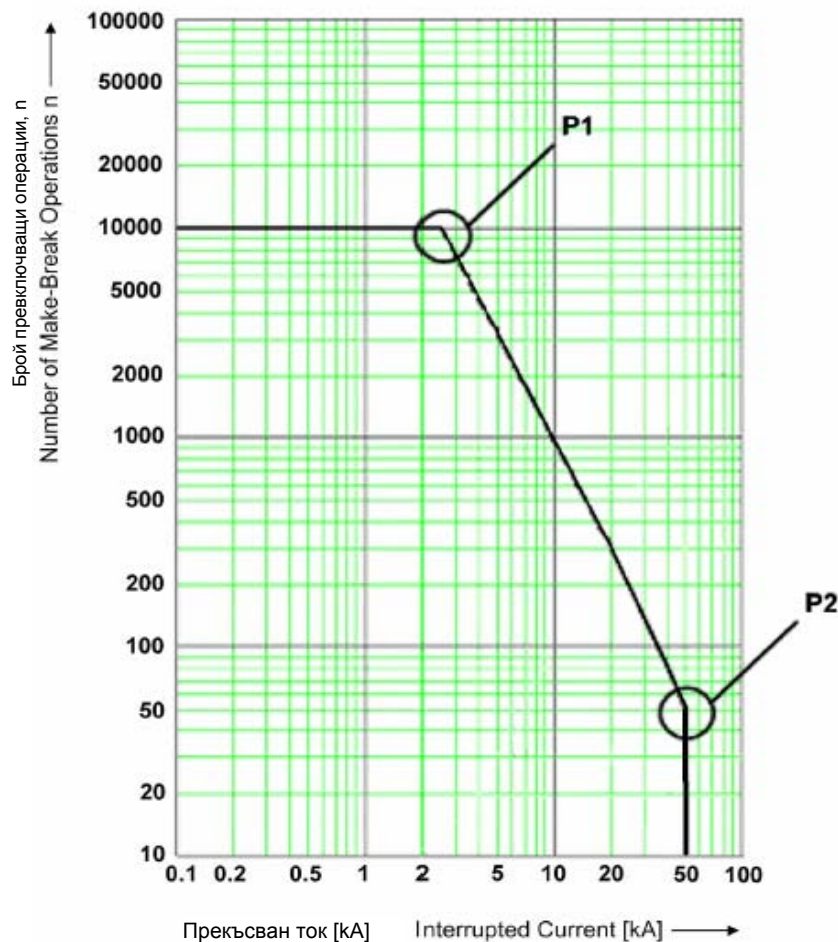
Методът ΣI няма определен праг. Но, използвайки CFC, е възможно да се въведе праг, с надвишаването на който да бъде създадено съответно съобщение.

Процедура ΣI^x

Докато процедурата ΣI е винаги включена и активна, използването на процедурата ΣI^x зависи от конфигурацията на оценката за ресурса на прекъсвача. Тази процедура действа аналогично на процедурата ΣI . Разликите са свързани с повдигане на степен на изключените токове и тяхното отношение спрямо работния ток на прекъсвача. Намирането на степента I_r^x за всеки прекъсвач прави възможно сравняване с броя на превключванията, определени от производителя на прекъсвача. Резултатите се извеждат на дисплея. Ако се въведе праг "Threshold ΣI^x " и той бъде превишен в някоя от фазите се появява съобщение. За изпълнение на различните изисквания на клиентите, този степенен показател може да бъде регулиран от **1.0** до **3.0**. Настройката по подразбиране е **2.0**.

Процедура 2P

Приложимостта на дву-точковата процедура за изчисляване на остатъчния експлоатационен срок зависи от възможностите на прекъсвача. Данните, осигурени от производителя на прекъсвача са преобразувани по такъв начин, че измерването на изключващите токове позволява да бъде направено надеждно заключение относно остатъка от допустими превключвания. Това се дава от производителя като двойно-логаритмичните диаграми на работните цикли за токове, измерени в момента на разделяне на контактите.



Фиг. 3. Диаграма на работни цикли за процедура 2P

Изключваните токове се определят аналогично на процедурата за ΣI^x .

На двойно-логаритмичната диаграма, осигурена от производителя на прекъсвача, се представя зависимостта между работните цикли и изключвания ток (вижте примера на фиг. 3). Тази схема позволява да бъде определен броят на все още възможните изключения (за изключване с установен изключван ток). В съответствие с примера, средно още 1000 изключения могат да бъдат извършени

при изключван ток от 10 kA. Параметърът се определя от двата върха и тяхната свързваща линия. Точка P1 се определя от броя на разрешените работни цикли при номинален работен ток $I_r = 2.5 \text{ kA}$ и $n = 10000$; точка P2 – от максималния брой работни цикли $n = 50$ при номинален изключващ ток на късото съединение $I_{sc} = 50 \text{ kA}$.

Тъй като фиг. 3 представя двойно-логаритмично възпроизвеждане, линията, свързваща точки P1 и P2 може да бъде описана чрез следното експоненциално уравнение:

$$n = b \cdot I_b^m$$

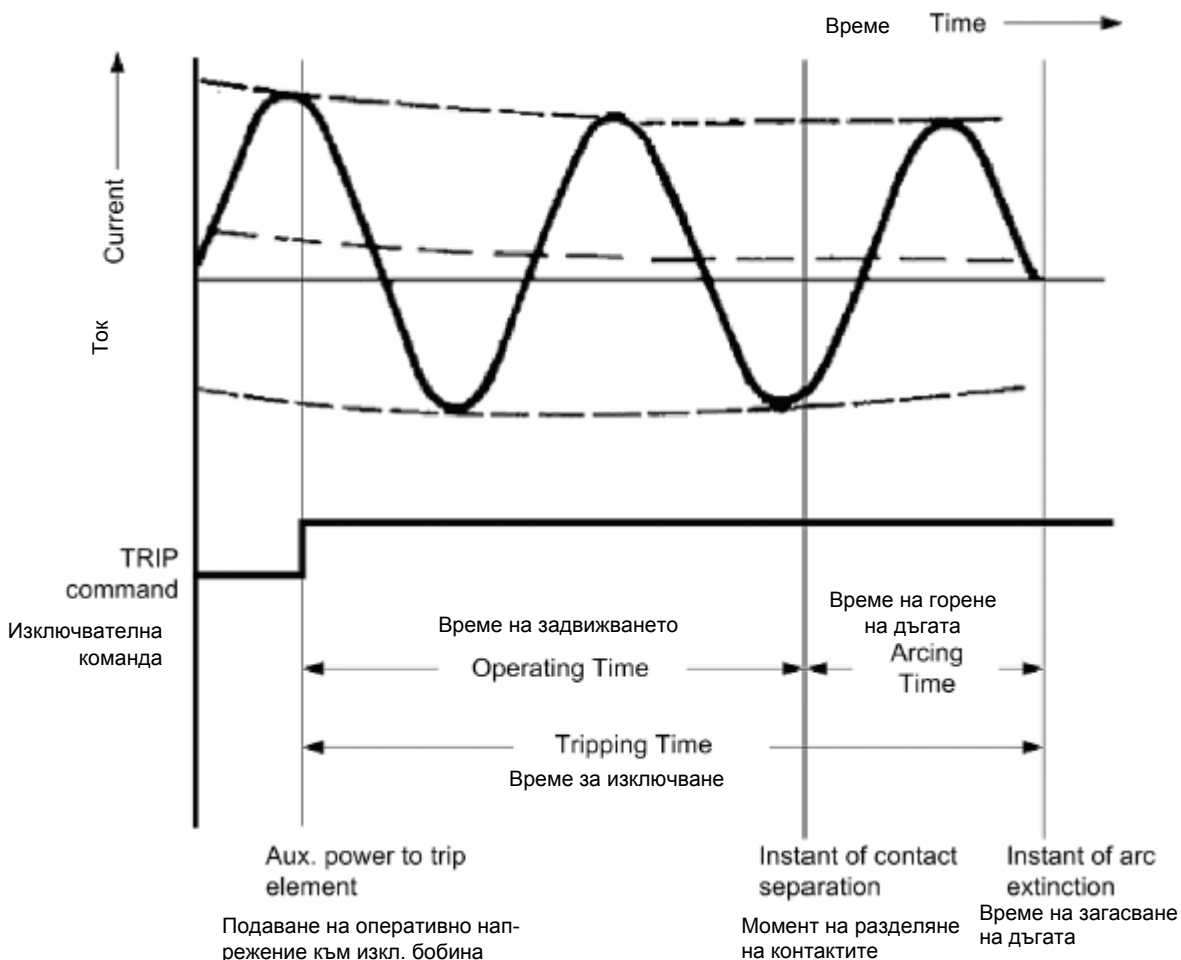
където n е броят на работните цикли, b е работният цикъл при $I_b = 1 \text{ A}$, I_b е изключващия ток и m – коефициент.

Изчисляването на остатъчния ресурс на прекъсвача на базата на токовете и времето за тяхното протичане става чрез сравняване на натрупания резултат с праг ("**Thresh.R.Endu.<**") и води до сигнализиране.

Оценка на ресурса на прекъсвача

Избира се една от опциите за оценка на ресурса на прекъсвача: процедура ΣI^x , процедура 2P или *Изключено*.

Задават се следните стойности: Времето за изключване на прекъсвача е собствена величина, осигурена от производителя. То обхваща целия процес на изключване от изключващата команда (подавайки оперативно напрежение на изключвателната бобина на прекъсвача) до затихването на дъгата във всички контакти. Времето на задвижване на прекъсвача е също характерна величина за прекъсвача. То обхваща времеви интервал между изключващата команда (подавайки оперативно напрежение на изключвателната бобина на прекъсвача) и разделянето на контактите на прекъсвача във всички фази. На следващата схема е представено съотношението между тези времена на прекъсвача.

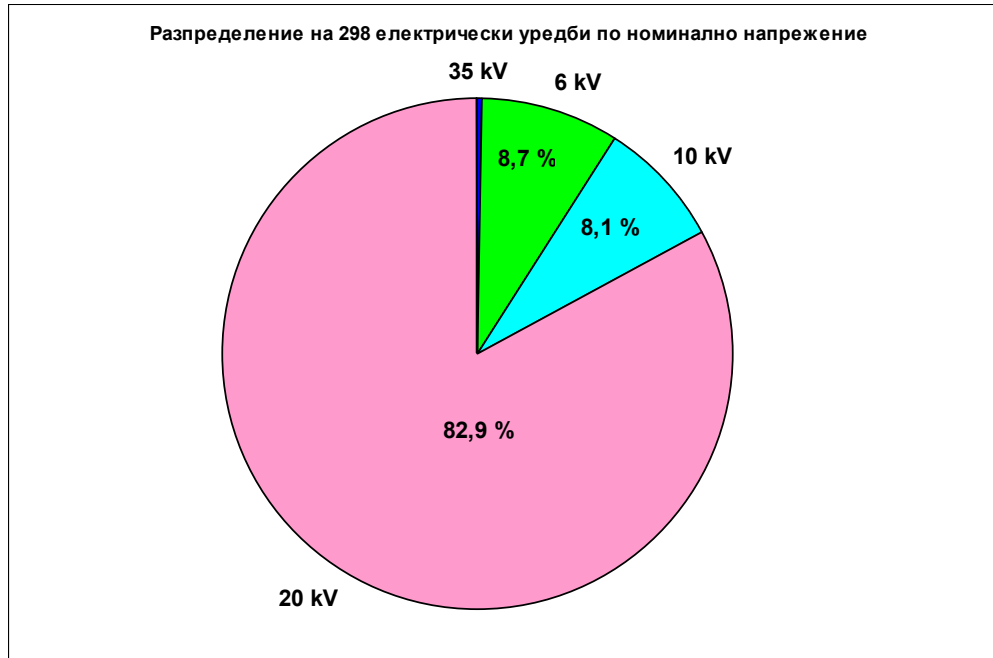


Фиг. 5. Илюстрация на времената на прекъсвача

13а. Въведение в земните защиты

Напрежения на разпределителните мрежи и режими на неутралата

Към настоящия момент (Януари 2008 г.) в България предприятието ЕСО-ЕАД експлоатира и поддържа 260 подстанции, захранващи електроразпределителната мрежа. Респективно, броят на електрическите уредби средно напрежение (СрН) в тези подстанции е 298. Процентното разпределение на електрическите уредби, в зависимост от номиналното им напрежение (6, 10, 20 и 35 kV) е показано на фиг. 1.



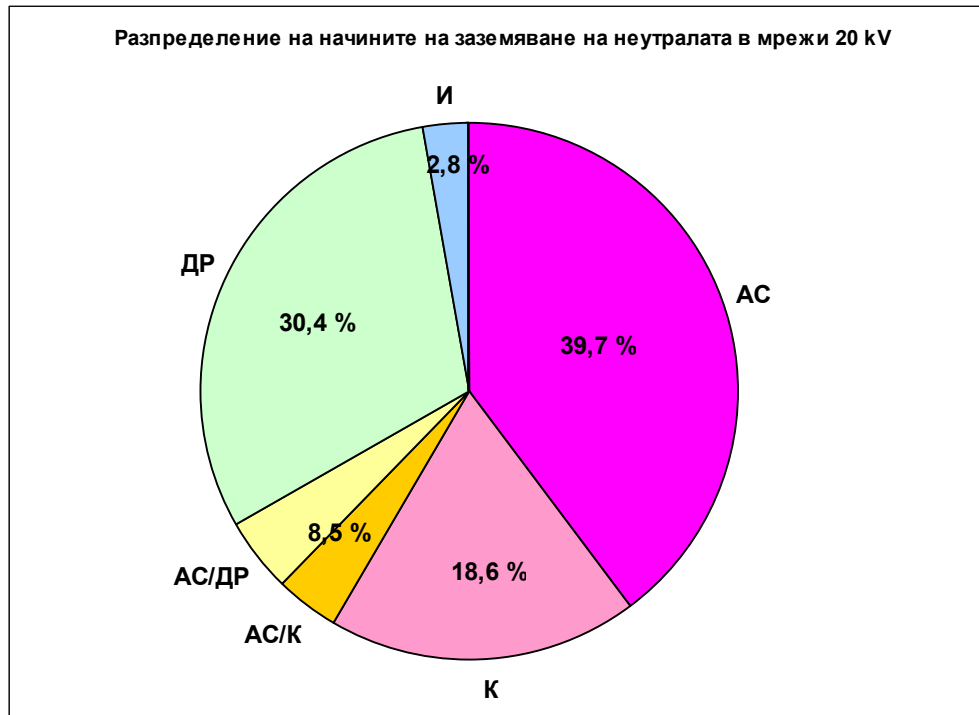
Фиг. 1

Реализираният режим на работа на неутралите на захранващите електрическите уредби – силови трансформатори на страна СрН, за най-широко използваното номинално напрежение – 20 kV, е илюстриран на фиг. 2.

Както може да се установи, на практика се използват всички основни режими на заземяване на неутралата (АС - активно съпротивление; ДР - дъгогасителен(и) реактор(и); К - комбинирано; И - изолирана), както и комбинации от тях (АС/ДР; АС/К).

Бележка:

Гасителният реактор е въведен от проф. Петерсен (Германия) през 1916 г.



Фиг. 2

Мрежата с номинално напрежение 10 kV работи с неутрала заземена през активно съпротивление (23 от 24 ЕУ, или 96%). На напрежение 6 kV за 62 % от ЕУ режимът на работа също е с активно съпротивление, докато останалите ЕУ работят в режим с изолирана неутрала на силовите трансформатори. Единствената ЕУ 35 kV работи в режим на компенсация.

Нормативни изисквания и критерии при определяне на режима на заземяване на неутралата на страна СрН

До средата на 2004 г. критериите при определяне начина на заземяване на неутралата на страна СрН са въз основа на изискванията на ПУЕУ, ПТЕ, Ръководящи указания, както и при съобразяване на предписанията на IEEE Std.142-1972,1991 г.

След средата на 2004 г. нормативна база са Наредба № 3 за УЕУЕЛ, Наредба № 9 за ТЕЕЦМ, както и въведеният БДС HD 637 S1. За съжаление в посочените наредби съществуват известни непълноти и неточности свързани с режима на заземяване на неутралите на силовите трансформатори на страна СрН, както и противоречия с изискванията на БДС HD.

Използвани земни защиты в разпределителните мрежи

През 2008 г. се налага мнението, че при цифровите земни защиты за изолираните мрежи (колкото и малко да са тези мрежи в България) е приложима функцията " $I \cdot \sin \varphi$ ", а при компенсираниите - " $I \cdot \cos \varphi$ ", като и в двата случая защитата е посочна. В мрежите със заземена през неголямо активно съпротивление неутрала се използват токови защиты на пълния ток с нулева последователност. При мрежите с комбинирано заземяване на неутралата е необходима автоматика, която да определя включването и изключването на гасителната бобина и резистора. Защитата ще разчита на увеличението на токовете при включване на резистора. В разпределителните мрежи винаги се поставя и неизбирателна земна контрола.

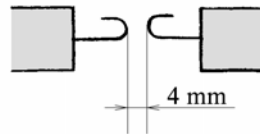
13b. Земни съединения през прекъсваща дъга

1. Форма на тока и напрежението при земно съединение през прекъсваща дъга

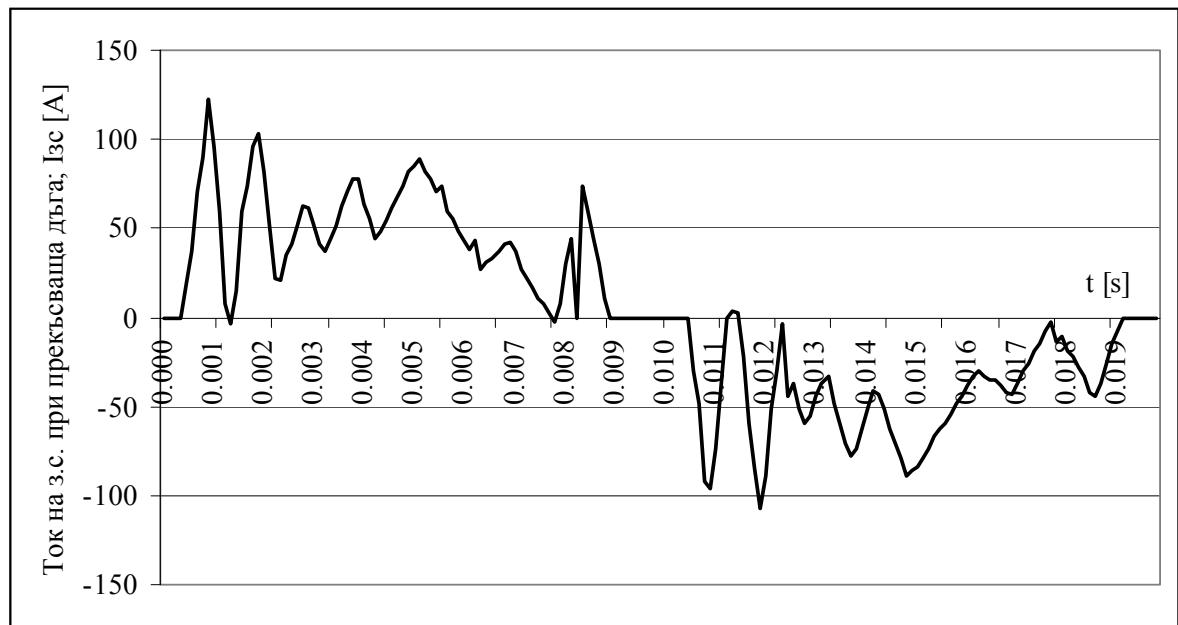
Пробив всеки период или дори всеки полупериод може да има в мрежи с изолирана неутрала, защото там напрежението се възстановява веднага след изгасването на дъгата. В компенсирани мрежи реакторът поддържа напрежението доста периоди и пробивите не стават всеки период.

1.1. Подстанция “Руднична” – Кремиковци, изолирана неутрала

Искрище, което се използва за постигане на з. с. прекъсваща дъга (фиг. 1.2.1.)



Фиг. 1.1.1.

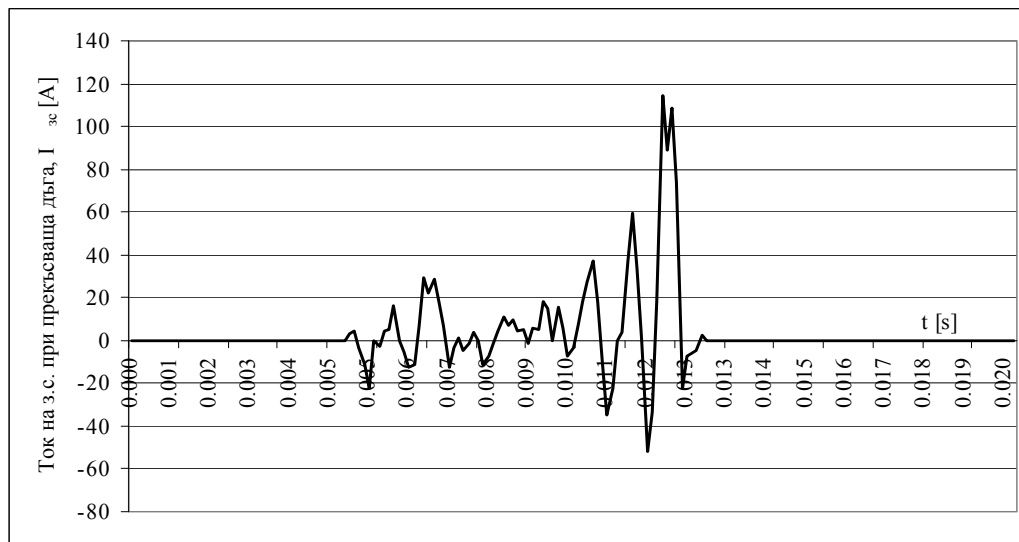


Фиг. 1.1.2.. Ток при з.с. през прекъсваща дъга. П/я “Руднична”, Кремиковци

Един период от ток на з. с. (фиг. 1.1.2) при прекъсваща дъга, която се запалва всеки полупериод е отчетен по 180 точки и анализиран по Fourier. Ефективната стойност на тока е 13.4A. Преобладаващ е основният хармоник – $11.98A_{\text{eff}}$. Чувствителна е големината и на петия хармоник – 21.52% от основния, т.е. ток с такава форма се държи като типичен т. з. с. в мрежа средно напрежение.

На фиг. 1.1.3 е показан също т.з.с. I_{3c} при прекъсваща дъга, но от п/я “Руднична” в Кремиковци. Очевидни са следните особености:

- Дъгата се запалва един път на всеки период (на всеки 20ms).
- Формата е много сложна, а факторите, които я обосновават, са разнообразни.
- Измереният траен т.з.с. с тази мрежа е около 13.5А. На осцилограмата: максималната стойност на т.з.с. не съвпада с началото на процеса и се равнява на около 118А; ефективната стойност е 6.54А.
- Токът има компоненти с висока честота и се налага записване с голям брой точки. Регистриращото устройство трябва да има способност да записва добре токове с честота 2kHz. В случая са отчетени 180 точки и са пресметнати хармониците до № 40.
- Определящи са хармониците с големи номера. Има и четни хармоници. Ако се приеме първи хармоник за 100% (5.30А), то над него по стойност са хармониците с номера 19 (113.51%), 21(107.66%), 22(161.85%) и 23(147.53%). Типичният за з.с. пети хармоник е на 28-мо място с 31.31% (1.66А).

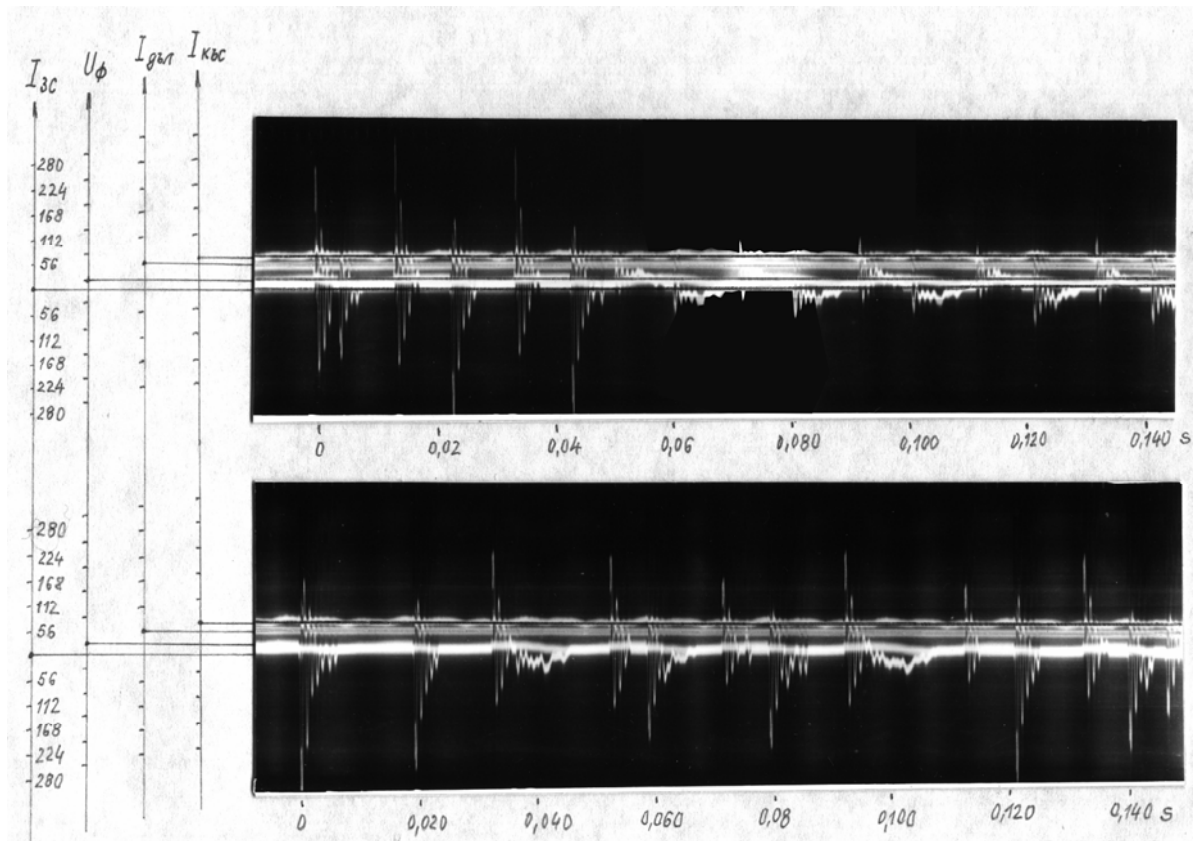


Разнообразието на земните токове при прекъсваща дъга проличава и при т.з.с. от фиг. 1.1.4 (п/я

Фиг. 1.1.3.. Ток на з.с. при прекъсваща дъга: П/я “Руднична”. Кремиковци

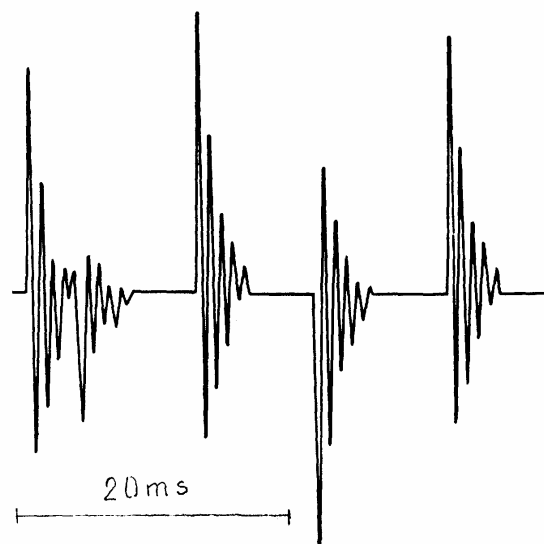
“Руднична”, Кремиковци). Дъгата прекъсва, но се поражда отново всеки полупериод и това се повтаря продължително време - докато не изключи прекъсвачът в мястото на изкуственото з.с

Земното съединение се реализира чрез въздушна междина 5mm, в която е поставена първоначално жичка като предпазител, за да се гарантира началното запалване на дъгата. Регистриран е единствено токът в мястото на з.с. I_{3c} . Токът има ударна стойност около 335А и колебания с честота около 1000Hz.



Фиг. 1.1.4. Ток при з.с. през прекъсваща дъга. П/я “Кремиковци”

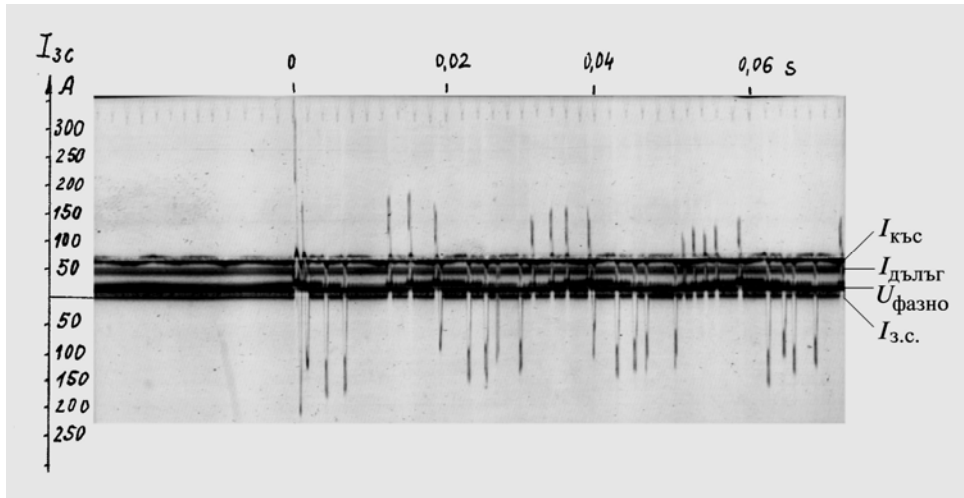
Част от явлението на фиг. 1.1.4 е показано в друг мащаб на фиг. 1.1.5. До голяма степен може да се говори за повторяемост и устойчивост.



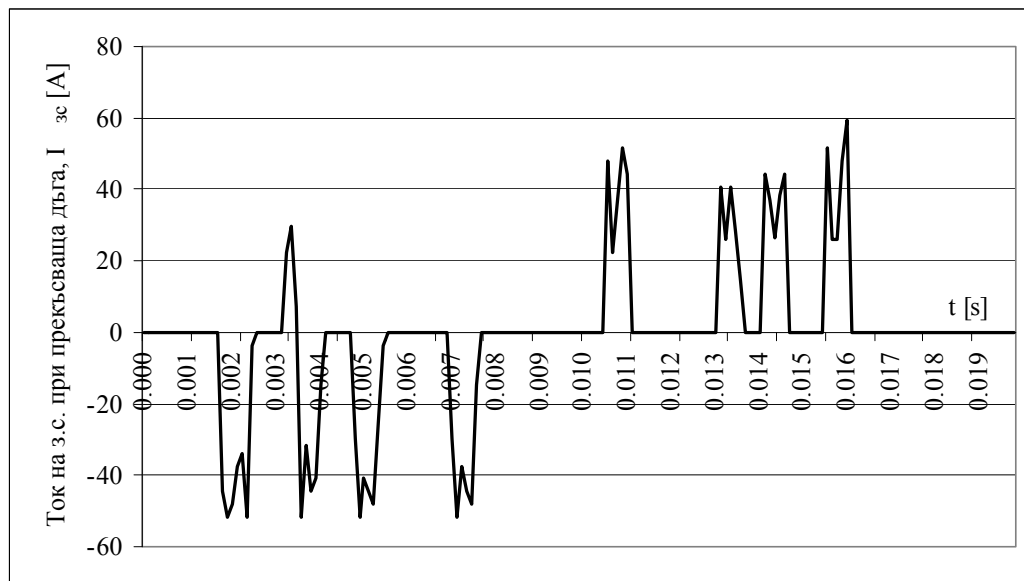
Фиг. 1.1.5. Ток при з.с. през прекъсваща дъга. П/я “Кремиковци”

Наблюдавани са например в продължение на няколко часа устойчиви открити дъги при з.с. в разпределителни мрежи (трафопост в Костинброд; електропровод до с. Казичене).

Многократно през всеки полупериод палене на прекъсващата дъга е показано на фиг. 1.1.6. Мястото на пробива е в парче кабел с изкуствено повредена изолация, така че дъга гори между мантията на кабела и жилото му. Записан е единствено токът в мястото на з.с. На другите шлейфи записът не е успешен.



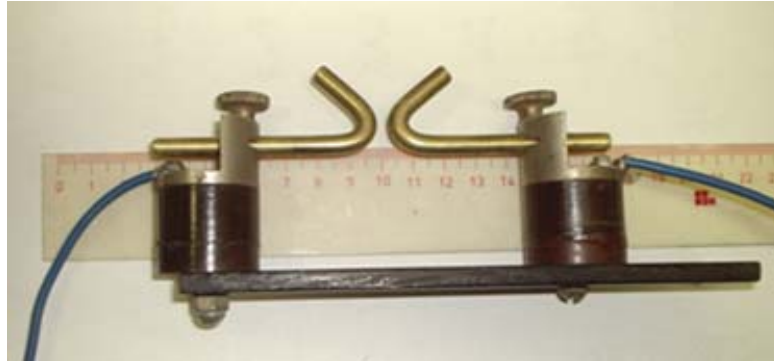
Фиг. 1.1.6. Ток при з.с. през прекъсваща дъга. П/я “Руднична”, Кремиковци



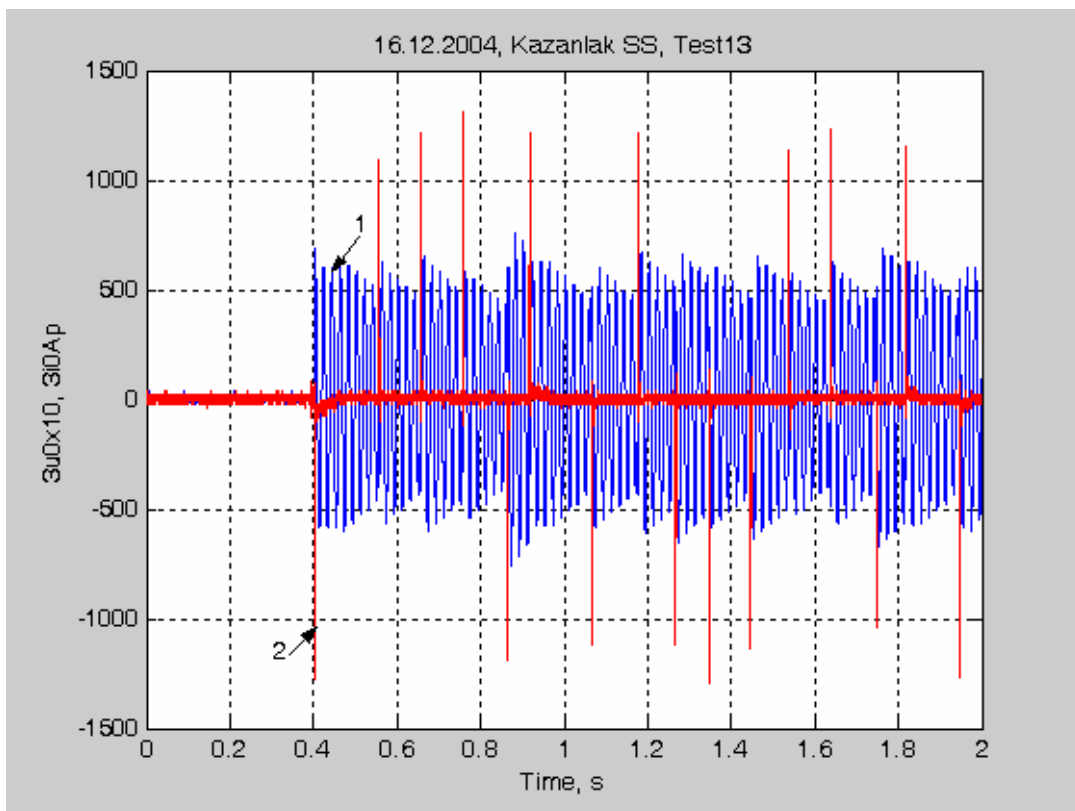
Фиг. 1.1.7. Ток при з.с. при прекъсваща дъга; П/я “Руднична”, Кремиковци

На фиг. 1.1.7 е изнесен един период на тока в мястото на з. с. за друг експеримент в п/я “Руднична”, Кремиковци. Направен е хармоничен анализ. Максималната стойност на т. з. с. е 60А, а ефективната - само 18.9А. За анализа са използвани 180 точки. Най-значителен по големина е основният хармоник (9.81А – 100%), а представляващият особен интерес 5-ти хармоник е на 19-то място с големина 16.12%.

1.2. Подстанция “Казанлък”, 16.12.2004 г. Опыт №13: Нейтрала, заземена през гасителен реактор. Земно съединение през прекъсваща дъга

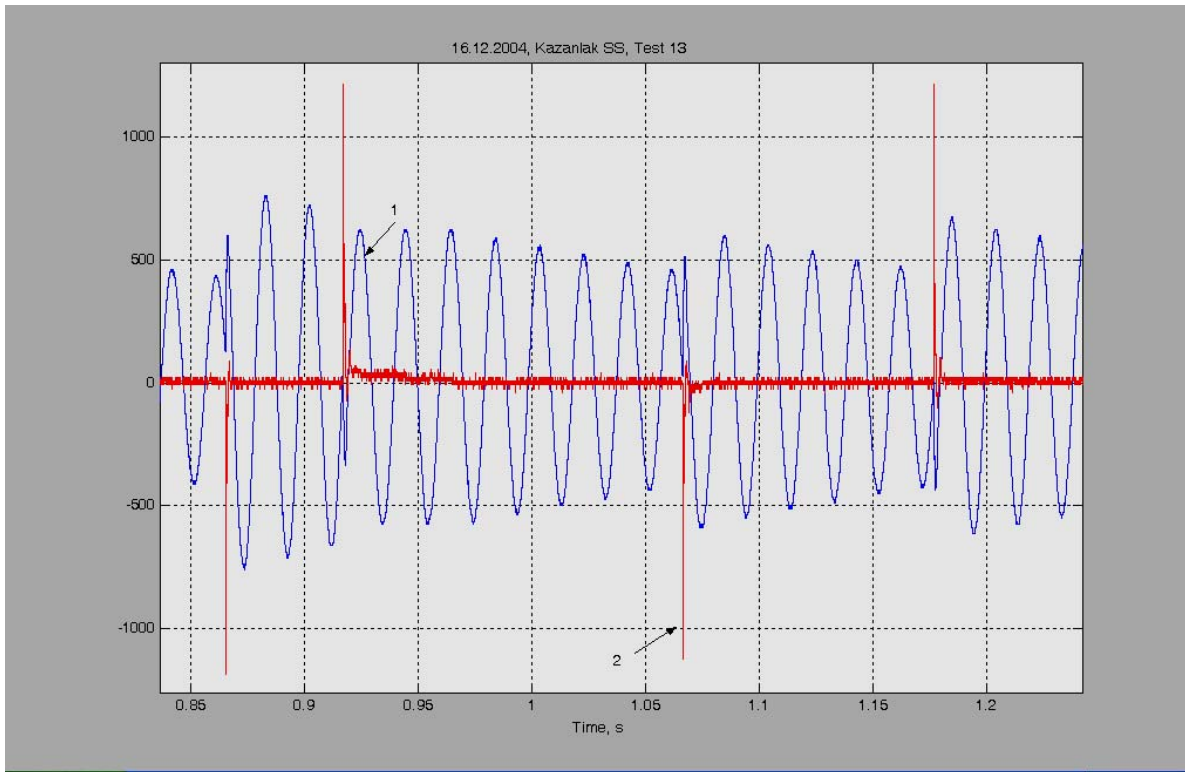


Фиг. 1.2.1. Искрище за получаване на прекъсваща дъга в мрежа 20 kV



Фиг. 1.2.2. Опыт №13: Нейтрала, заземена през гасителен реактор. Земно съединение през прекъсваща дъга.

- 1 - вторично напрежение [V] на нулева последователност, умножено по 10;
2 – първичен ток [A] в мястото на земно съединение



Фиг. 1.2.3. Опит №13: Неутрала, заземена през гасителен реактор. Земно съединение през прекъсваща дъга. Четири запалвания на дъгата, част от фиг. 1.2.2:

1 - вторично напрежение [V] на нулева последователност, умножено по 10;

2 – първичен ток [A] в мястото на земно съединение

Резултати: При този опит неутрала е заземена през гасителен реактор, а земното съединение е през прекъсваща дъга. За реализирането на опита се използва искрище, което е показано на снимката от фиг. 1.2.1. Токът през мястото на земното съединение при отделните пробиви е различен като най-голямата му амплитудна стойност е 1312 А, а най-малката е 1042 А. След пробива токът затихва, като времето на затихване варира между 60 и 5 ms. За първата една секунда от опита има десет пробива.

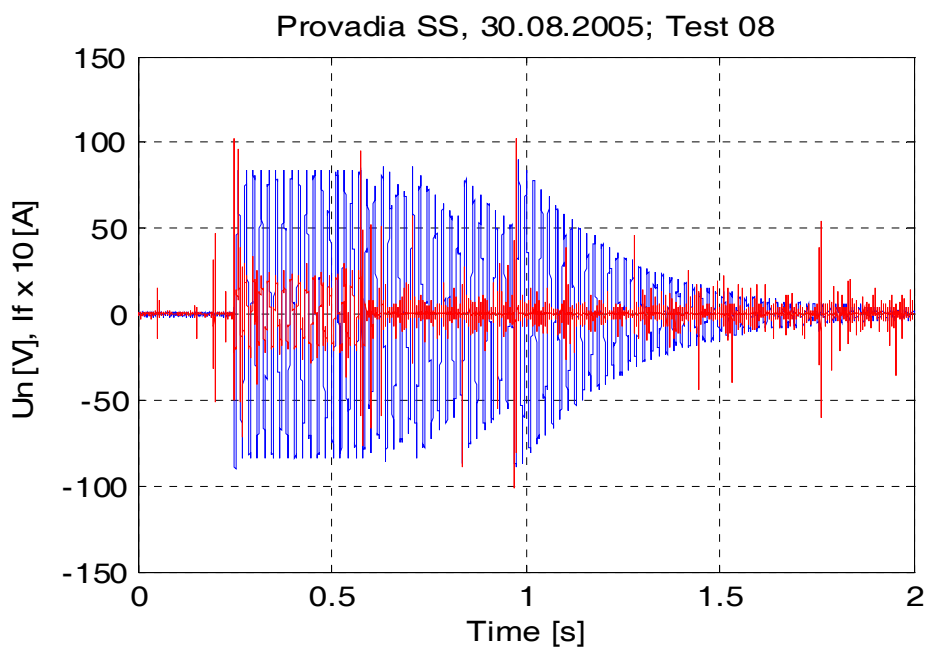
1.3. Подстанция “Провадия”, 30.08.2005 г., компенсирана неутрала

На 30.08.2005 г. в подстанция “Провадия” на Електропреносен район – Варна са проведени 10 опита с изкуствени земни съединения през дъга на шини 20kV.

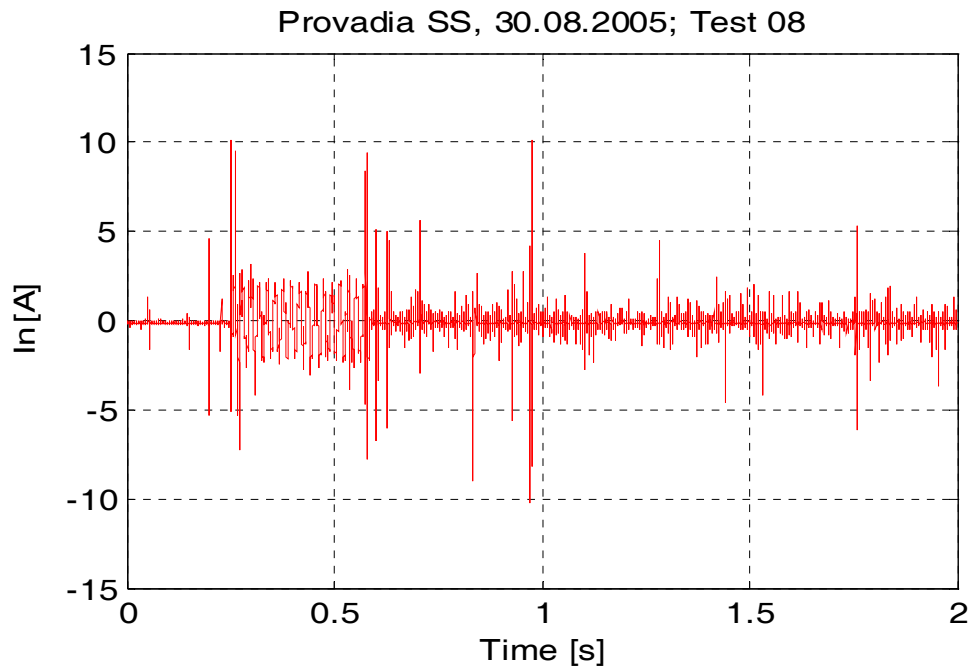


Фиг. 1.3.1. Конструкция на оригинално искрище в подстанция “Провадия”

Тест № 8

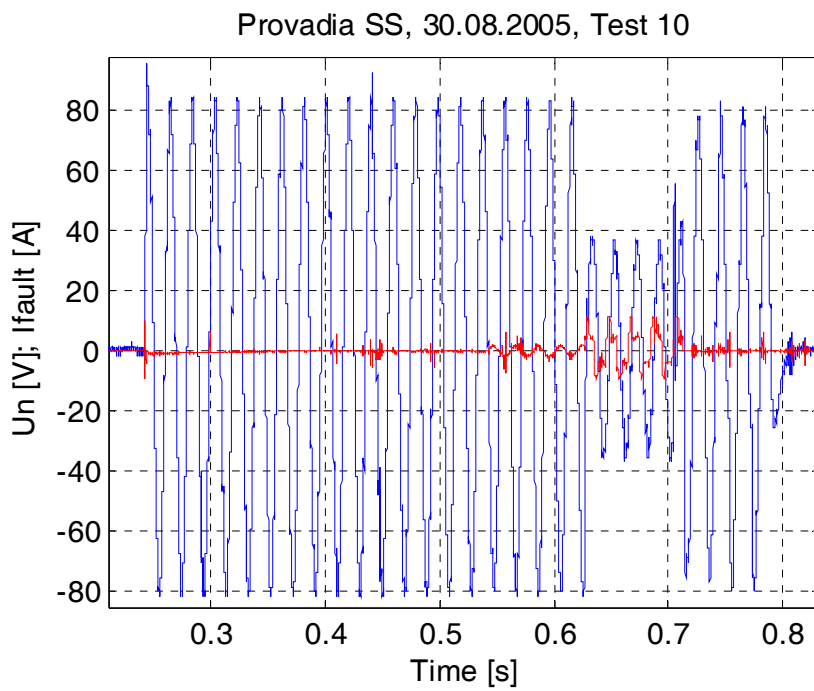


Фиг. 1.3.2. Вторично напрежение на неутралата и вторичен ток в мястото на з. с., умножен по 10



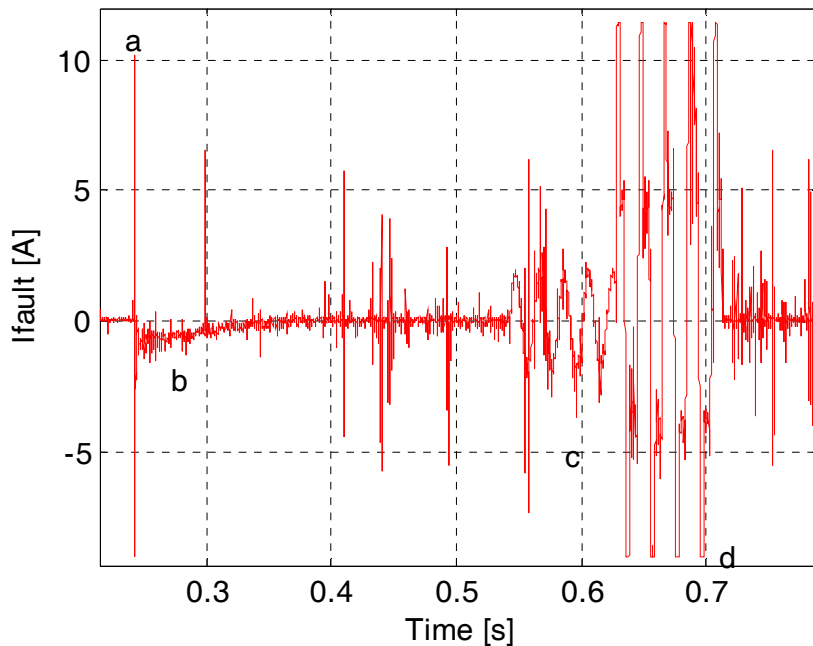
Фиг. 1.3.3. Токът от фиг. 1.3.2

Тест № 10



Фиг. 1.3.4. Вторично напрежение на нустралата и вторичен ток в мястото на з. с.

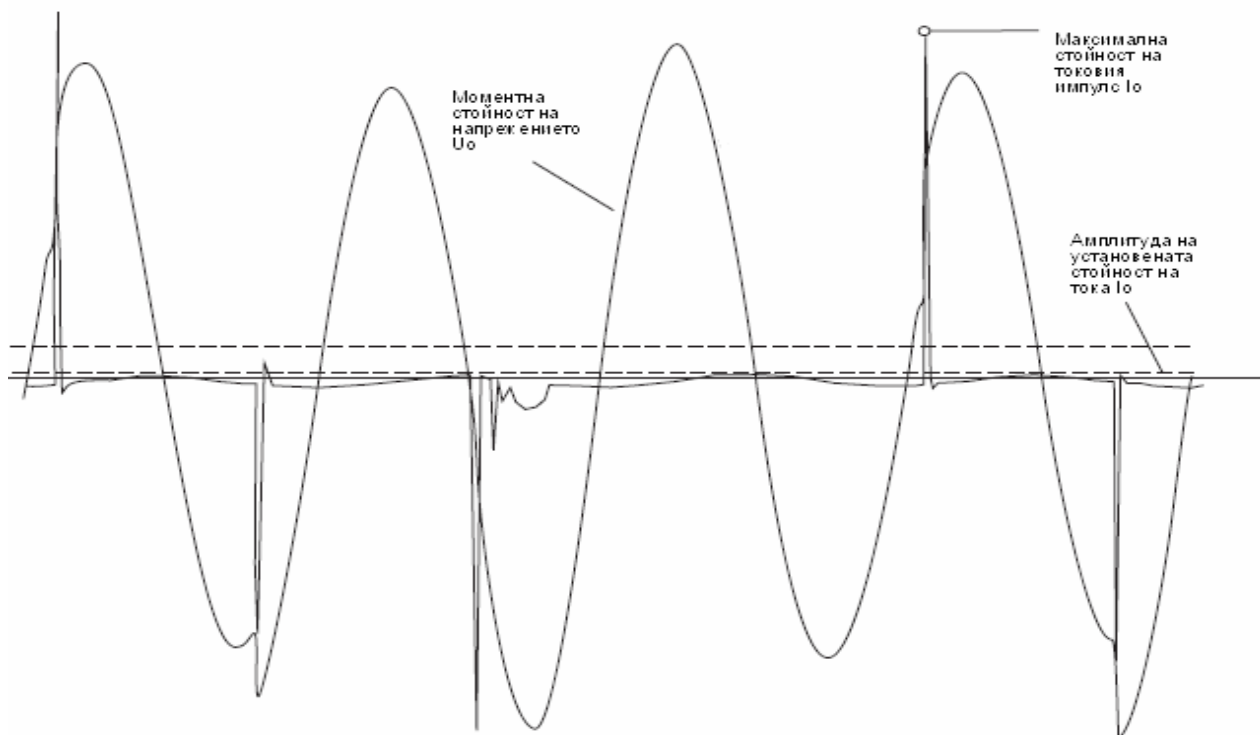
Provia SS, 30.08.2005, Test 10



Фиг. 1.3.5. Токът от фиг. 1.3.4

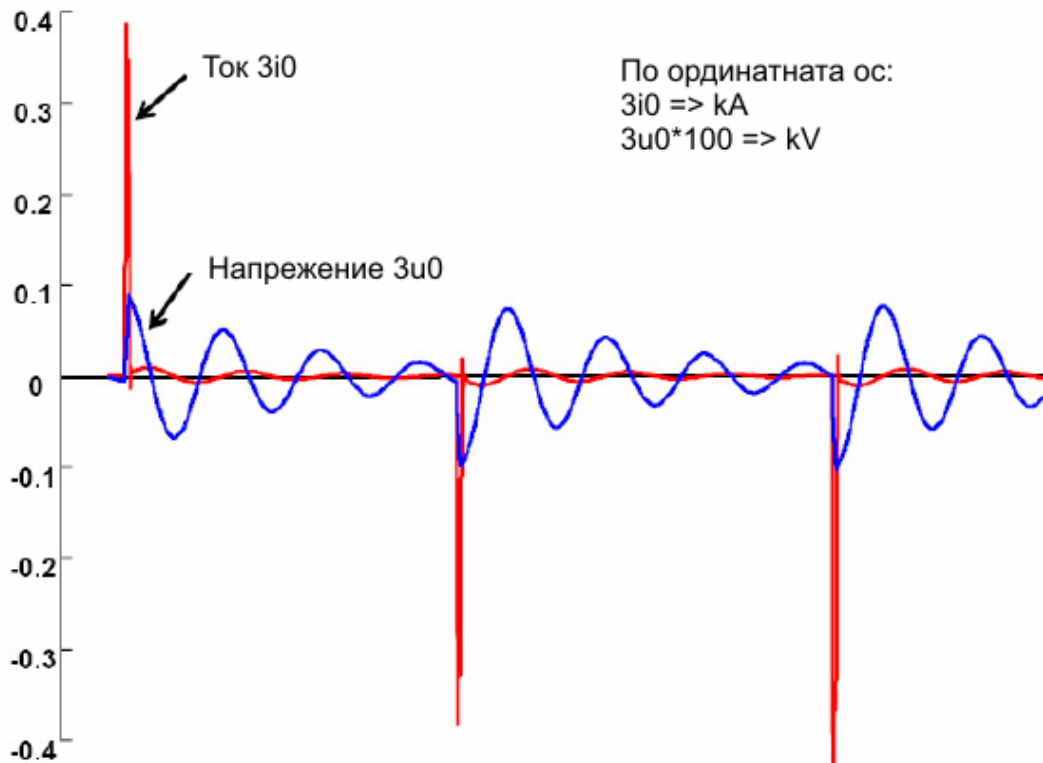
1.4. Данни от ръководството за земната защита на комплекта REJ 527 на АВВ

Земни съединения през прекъсваща дъга се случват в изолацията на кабел, когато изолацията е повредена (има пукнатина) и в кабела е проникнала вода. Земният ток се промъква към кабела през пукнатината, после изгасва, но се повтаря след кратко време, защото водата се връща обратно през пукнатината. Процесът се повтаря и се превръща в серия от токови импулси.



Фиг. 1.4.1. Земна повреда при прекъсваща дъга

1.5. Данни от документация за земна защита на фирмата WAMP



Фиг. 1.5.1.

На фиг. 1.5.1 е показана формата на тока и напрежението с нулева последователност при ЗСПД по данни от фирмата WAMP (Финландия). В извода със земно съединение знакът на първия импулс на тока съвпада със знака на първия импулс на напрежението (или двата са с положителен знак, или двата знака са отрицателни). Информацията за появата на токов импулс се удължава чрез забавяне на връщането. За да се натрупва информация и да заработи земната защита, времето на връщане трябва да бъде поне равно на времето на прекъсване между два токови импулса.

13с. Защита при земно съединение през прекъсваща дъга (ЗСППД)

1. Пример 1. Защита на Siemens 7SJ62/63/64 [1]

Задача на защитата: да предпази кабел от термично претоварване при ЗСППД

Въведение

Една типична характеристика на земното съединение през прекъсваща дъга (ЗСППД) е, че тя често изчезва автоматично, за да се запали отново след известно време. Тя може да трае в интервала от няколко милисекунди до няколко секунди. Поради това, такива повреди не се откриват селективно от класическите земни защиты на тока и напрежението на нулева последователност.

Ако продължителността на импулса е извънредно кратка, то никое защитно устройство по пътя на тока на земно съединение няма да се пусне; селективно изключване в този случай не е осигурено. Поради нарочното забавяне на функцията МТЗ такава повреда е твърде кратка, за да предизвика изключване на повредения кабел. Токовата земна защита е възможно да изключи селективно само, когато стане трайна земна повреда.

От термична гледна точка, ЗСППД създава опасност от прегряване на защитаваното устройство. Защитите 7SJ62/63/64 могат да открият такава повреда през прекъсваща дъга, защото притежават характеристика за акумулиране на продължителността на импулсите. Ако за определено време тази сума достигне настроената стойност, границата на допустимото термично натоварване ще бъде достигната и устройството изключено. **Селективност на защитата не се оценява, защото могат да се окажат претоварени при ЗСППД няколко лъчисти извода.**

Ако земната повреда съществува продължителен период от време и ако земната повреда се самоизключи и дъгата не се запали отново, се очаква натовареното устройство да се охлади и от термична гледна точка изключване не е необходимо.

Приложение

Защита при прекъсваща дъга се поставя при кабели с недостатъчно ниво на изолацията или когато има проникване на вода в кабелните връзки.

Описание

Входни величини на защитата при ЗСППД

Земната повреда през прекъсваща дъга може да бъде открита на базата на информация, която е получена

- или посредством входа за тока на неутралата (IN) – например ТТ тип Феранти;
- или посредством чувствителния вход (схема Холмгрийн на ТТ) за земен ток (INS);
- или като се пресметне сумата на трите фазни тока ($3 \cdot I_0 = I_A + I_B + I_C$).

За разлика от МТЗ, която работи на основната честота, защитата при прекъсваща дъга реагира на ефективната стойност на тока и я сравнява с настроената стойност **lie>**. Този метод отчита съдържанието на висши хармоници (до 400 Hz) и на постояннотокова съставка, тъй като двата фактора допринасят за термично натоварване.

Действие на защитата при преходна и трайна повреда (фиг. 1.1 и фиг. 1.2)

Фиг. 1.1 показва логиката на действие на земна защита при прекъсваща дъга. Когато се надвиши границата на заработване на параметъра “ток на пускане **lie>**” (Блок 3) се появява съобщение за пускане 6924 „**IIE Fault det**“ (т. F – светва светодиод или заработва сигнално реле).

Пусканията се броят по веригата 3-3a-Counter-2a. Веднага след като броят на преброените пускания надвиши стойността на параметъра **Nos.det.**, т.е. когато $b \geq a$ в т. 2b се появява сигнал “1” и се появява съобщение „**Intermitt.EF**“. Ако броенето не е приключило, т.е. когато $b < a$ и сигналът 2b е нула, но пусковият сигнал съществува ($3a = 1$) се появява сигналът 2c = 1 и съобщението „**IIE Fault det**“ (т. D).

Трети вид съобщение при пускане е съобщението за устойчиво пускане **IIE stab.Flt** (т. E). То се по-

лучава, като комбинация „ИЛИ“ от два факта: първият е “ток на пускане $lie>$ ” = $3a = 1$, който дава и съобщението „*IIE Fault det*“, а вторият факт – наличие на сигнал $3b$ с продължителност **T-det.ext.**, който настъпва веднага след изчезването на самия сигнал $li>$. Обяснение на действието на този елемент „ИЛИ“ се дава на фиг. 1.2. Параметърът забавеното връщане **T-det.ext.** се съпоставя с продължителността на пусковия сигнал “ $lie>$ ”. Ако продължителността на сумарния сигнал $3c$ не води до застъпване (фиг. 1.2 – горната част), то сигналът $3c$ е прекъснат и не създава съобщение за стабилно ЗСППД *IIE stab.Flt* (т. Е).

Непрекъснатият сигнал $3c$ (фиг. 1.2 – долна част) ще създаде такова съобщение и по веригата „ $3c$ -блок **Integrator** – блок &4e-тригер SR-4f-ще създаде:

- сигнал за изключване „*IEF Trip*“,
- команда за изключване „*IEF Trip*“,
- участие в обобщената команда за изключване „*Gen. Trip*“.

Прекъснатият сигнал $3c$ (фиг. 1.2 – горна част), се обработва допълнително в блока за акумулиране на време **Integrator**. Ако акумулираното време от сигнала $3c$ надвиши една настроена стойност (време-параметър **T-sum det**), се генерира съответното съобщение („*IEF Tsum exp.*“- т. G), защото сигналът $4d$ става „1“. Сигналът след „блок **Integrator**“ ще доведе до изключване, ако съществува сигналът за пускане $li>$ ($3a$), сигналът $4e = 1$, тригер „SR“ се пуска и сигналът $4f = 1$.

Командата за изключване се поддържа докато трае въведеното минимално време за изключване **Minimum TRIP Command Duration – Tmin TRIP CMD** (по подразбиране 0.15 s). Когато в т. $4f$ се получи сигнал „1“ и се създаде командата „*IEF Trip*“ (т. l) става самозадържане по веригата 5-5a-5b. Сигналът $5c = 0$ и тригерът SR остава в пуснато състояние. За да спре командата за изключване, т.е. сигналът $4f$ да стане нула, трябва да изтече времето **Tmin TRIP CMD = 0.15 s** и пусковият сигнал **3a** да не съществува.

Друг вид поддръжане на защитата в състояние „тревога“ се получава чрез импулсно пускащ се моновибратор с настройка според параметър **T-reset = 300 s**. Той се пуска от първото превишаване на ефективната стойност на входния ток над настройката „ $lie>$ “ (сигнал $3c = 1$) и изчезва, когато изтече времето **T-reset = 300 s** и в това време няма команда за изключване „*IEF Trip*“ (т. 4 или 5). Същите причини ще върнат брояча (команда **Reset Counter**) и блока **Integrator**, вход **res**. Изходният RS-тригер ще се нулира по входа R, когато едновременно изчезнат удълженият сигнал за изключване $5b$ и пусковият входен сигнал $lie>$. След завършване на командата за изключване всички памети се връщат в изходно положение и защитата минава в състояние „дежурство“. Сигналът $4b$ за изтичане на времето за връщане **T-reset** създава съобщение „*IEF Tres run.*“ т.е. че следващото земно съединение ще се приеме като ново и ще се проведе отново цялата процедура на ЗСППД. До връщане след време **T-reset = 300 s** ще се стигне, ако няма команда за изключване от блока **Integrator** и няма пусков входен сигнал $lie>$.

Продължителността на времето за връщане в изходно положение (параметър **T-reset = 300 s** и съобщението „*IEF Tres run.*“) трябва да се съгласува с времето на удължаване на сигнала **T-det.ext.** и води до едновременно пускане с „*IEF Tres run.*“, когато е на лице земно съединение. Обратно на **T-sum det.** всяко ново з.с. връща в изходно положение това време до неговата начална стойност и то започва отново. Ако времето **T-reset** изтече и няма записано, че се е появило в това време ново з.с., всички памети се връщат в изходно положение и защитата се връща до нейното състояние „дежурство“. По този начин настройката **T-reset** определя времето, след което може да се открие следващото з. с., за да се отличи то от предшестващото ЗСППД. Земно съединение, което се открива по-късно ще се разглежда като едно ново състояние на повреда.

Съобщението „*IIE Fault det*“ ще се въведе в описанието на повредата и ще се изпрати до системния интерфейс само, докато съществува съобщението „*Intermitt.EF*“. Това предпазва паметта от препълване. Ако съобщението се предава на светодиода (LED) или на реле, това ограничение не съществува. Това се извършва чрез дублиране на съобщения с номера 6924, 6926.

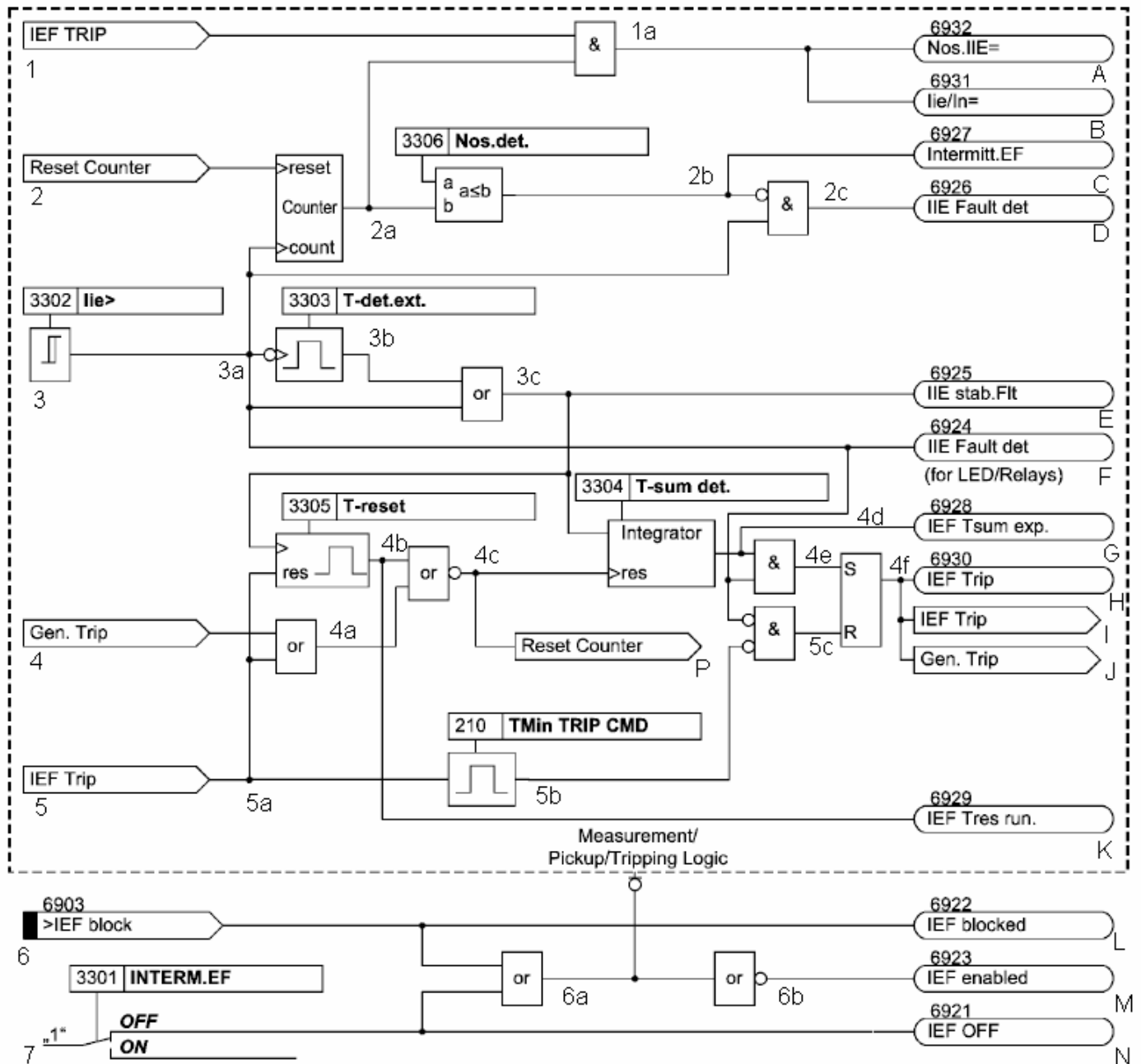
Логиката „Измерване/Пускане/Изключване“, показана в долната част на фиг. 1.1 описва блокирането на схемата: „Блокирано“ (Команда $>IEF blok$) и „Включено ON / Изключено-OFF“), които могат да бъдат въведени (*IEF enabled*) и блокирани (*IEF blocked*).

Взаимодействие с функцията АПВ

АПВ не е ефективна мярка срещу з. с. през прекъсваща дъга, тъй като функцията го изключва след повтарящо се откриване на повреда, или след натрупване на удълженото време на пусковия сигнал (т. 3с) до достигане на настройката T-sum det. Освен това, основна задача на разглежданата защита е да предпазва от термично претоварване. По тези причини защитата при з.с. през прекъсваща дъга **не се предвижда да пуска функцията АПВ**.

Взаимодействие с функцията УРОП

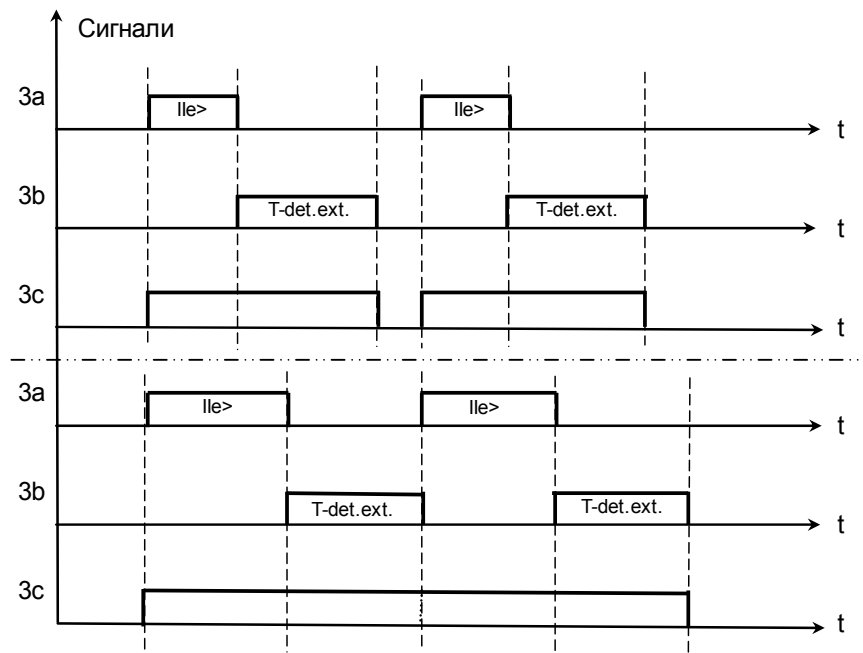
Изключване от защита при з.с. през прекъсваща се дъга настъпва след забавяне Tmin TRIP CMD. Не е сигурно обаче, че пусковият сигнал “lie>” няма да се появи отново и УРОП (ако има въведена функция УРОП) да възприеме новото пускане като неуспешно изключил прекъсвач. По тази причина **УРОП не се активира** от защита при з.с. през прекъсваща се дъга.



Фиг. 1.1. Логика на действието на земна защита при прекъсваща дъга – принцип

№	Означение	Пояснение
3301	INTERM.EF	Защита при з.с. през прекъсваща дъга (Въведена (ON) или Изведена (OFF))
3302	lie>	Параметър: Пускова стойност на тока lie>, по подразбиране 1 А или 5А

3303	T-det.ext.	Параметър: Време за удължаване на пусковия сигнал след неговото изчезване, по подразбиране 0.1 s
3304	T-sum det.	Параметър: Време, през което интеграторът извършва натрупване, по подразбиране 20 s
3305	T-reset	Параметър: Време на забавено връщане, което започва от първото зареждане на пусковия орган lie> и след приключването си нулира интеграторът и изходните сигнали – защитата преминава в състояние „дежурство”. По подразбиране 300 s
3306	Nos. det.	Параметър: Мажоритарен брояч на пусканията на защитата (a), с граница b, след които земното съединение се определя като ЗСППД ($a \leq b$). По подразбиране $b = 3$
6903	>IEF block	Блокировка: Външен двоичен входен сигнал за блокиране на защита при ЗСППД
6921	IEF OFF	Съобщение: Защитата при ЗСППД е изключена.
6922	IEF blocked	Съобщение: Защитата при ЗСППД е блокирана
6923	IEF enabled	Съобщение: Защитата при ЗСППД е активна
6924	IIF Fault det	Съобщение: ЗСППД е открито от пусковия орган lie> , но не е проверена повтаряемостта му
6825	IIE stab.Flt	Съобщение: ЗСППД е стабилно – има повтаряемост.
6826	IIE Fault.det	Съобщение: Съобщението „ IIE Fault det “ се появява и записва в регистъра само, докато съществува съобщението „ Intermitt.EF “. Съобщенията с номера 6924 и 6926 се дублират.
6927	Intermitt.EF	Съобщение: Открито ЗСППД, което има повтаряемост
6928	IEF Tsum exp.	Съобщение: Набрано е времето T-sum det. за работа на интегратора.
6929	IEF Tres run.	Съобщение: Набрано е времето T-reset , след което защитата се връща.
6930	IEF Trip	Команда: Изключване от ЗСППД



Фиг. 1.2.

Бележки за настройване

Защитната функция при ЗСППД може да бъде ефективна, само ако е включена (Параметър 3301 **INTERM.EF = ON**, блок 7) и ако е активна (външен двоичен входен сигнал за блокиране на защита при ЗСППД липсва и има съобщение (6923 **IEF enabled**, съобщение M).

Нивото на пускане (ефективна стойност) се настройва в адреса 3302 **lie>**. Ефективната стойност зависи от амплитудата и продължителността на пусковия сигнал. Една по-чувствителна настройка отговаря на кратка земна повреда (пусковото време е по-кратко), а токът е по-голям при една и съща

ефективна стойност.

Пусковото време може да се продължи с параметъра 3303 **T-det.ext.** Това стабилизиране на пускането е особено важно за координиране със съществуващи аналогови или електромеханични максималнотокови релета. Времето **T-det.ext.** също може да се блокира (**T-det.ext = 0**).

Изчезването на всеки от пусковите сигнали стартира моновибратор с време на връщане **T-det.ext.** Този тригер тръгва, когато отпадне пусковата функция и спира след настроеното време **T-det.ext.** Сигналят **3c** независимо, че може да бъде прекъснат при по-кратки пускови импулси (фиг. 1.2) се подлага на интегриране и ако натрупаното време е по-продължително от параметъра 3304 **T-sum det.** се създават условия за команда „ИЗКЛЮЧВАНЕ” (т. I).

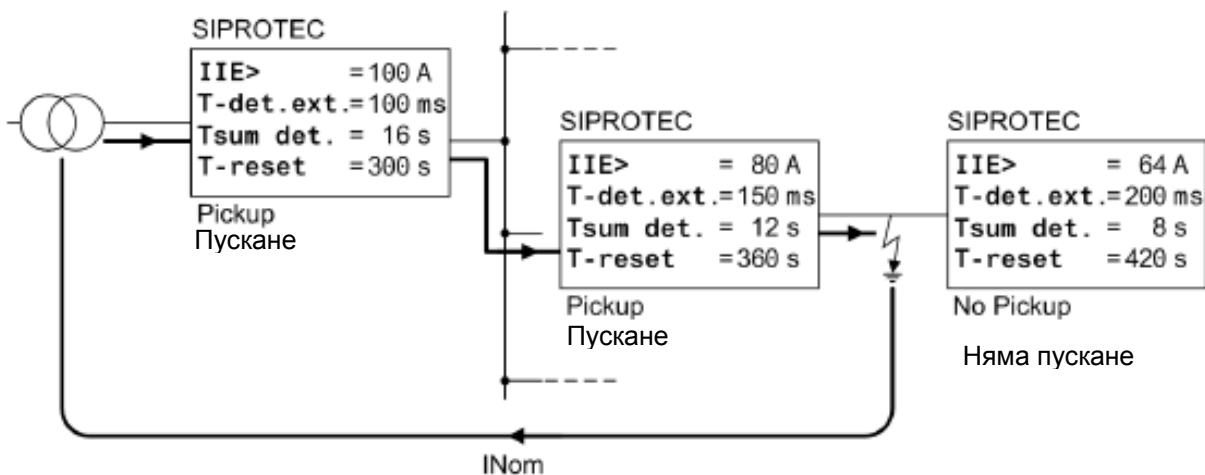
Настройват се четири параметъра:

- Пусковата стойност на тока е надмината **lie>**,
- Достигнато е разширеното време **T-det.ext.**,
- Броячът е достигнал максимална стойност **T-sum det.** и
- Време на връщане **T-reset** е изтекло.

Те се съгласуват с настройките на релетата на съседните изводи и се сравнява със стъпалата на времето на МТЗ.

Релетата в радиалните мрежи, които са най-близко до ЗСПД и се пускат, ще имат най-малко сумарно време **T-sum det.** Пример за съгласуване на настройките на последователно наредени електропроводи е показан на фиг. 1.2.

Времето на връщане, след което сумирането се връща в изходно състояние и защитата заема състояние „дежурство” се конфигурира като **T-reset** в адреса 3305.



Фиг. 1.3. Пример на селективни критерии на защита при ЗСПД

Параметърът с адрес 3306 **Nos.det.** определя броя на спусканията, след които земното съединение се определя като ЗСПД.

Настройки

Таблицата показва обхвата на настройките и специфични настройки по подразбиране. Третата колона (C) показва съответстващия втори ток на токовете трансформатори.

Адрес	Параметър	C	Обхват на настройване	Настройки по подразбиране	Коментар
3301	INTERM.EF		OFF ON	OFF	Intermittent earth fault protection <i>Защита при з.с. през прекъсваща дъга</i>
3302	lie>	1A	0.05 ... 35.00 A	1.00 A	Pick-up value of E/F stage interm. <i>Пускова стойност на съпалото при ЗСППД</i>
		5A	0.25 ... 175.00A	5.00A	
3302	lie>	1A	0.05 ... 35.00 A	1.00 A	Pick-up value of E/F stage interm. <i>Пускова стойност на съпалото при ЗСППД</i>
		5A	0.25 ... 175.00A	5.00A	
3302	lie>		0.005 ... 1.500 A	1.00 A	Pick-up value of interm. E/F stage <i>Пускова стойност на съпалото при ЗСППД</i>
3303	T-det.ext.		0.00 ... 10.00 sec	0.10 s	Detection extension time <i>Продължение на времето на пусковия сигнал</i>
3304	T-sum det.		0.00 ... 100.00 sec	20.00 s	Sum of detection times <i>Сума на времето на пусковия сигнал и неговото удължаване</i>
3305	T-reset		1 ... 600 sec	300 s	Reset time <i>Време на връщане</i>
3306	Nos.det.		2 ... 10	3	No. of det. for start of int. E/F prot <i>Брой на пусканията, след които земното съединение се определя като ЗСППД.</i>
210A	TMin TRIP CMD		0.01 ... 32.00 sec	0.15 s	Minimum TRIP Command Duration <i>Минимална продължителност на времето на командата за изключване</i>

2. Пример 2. Защита на ABB REJ 527 [2]

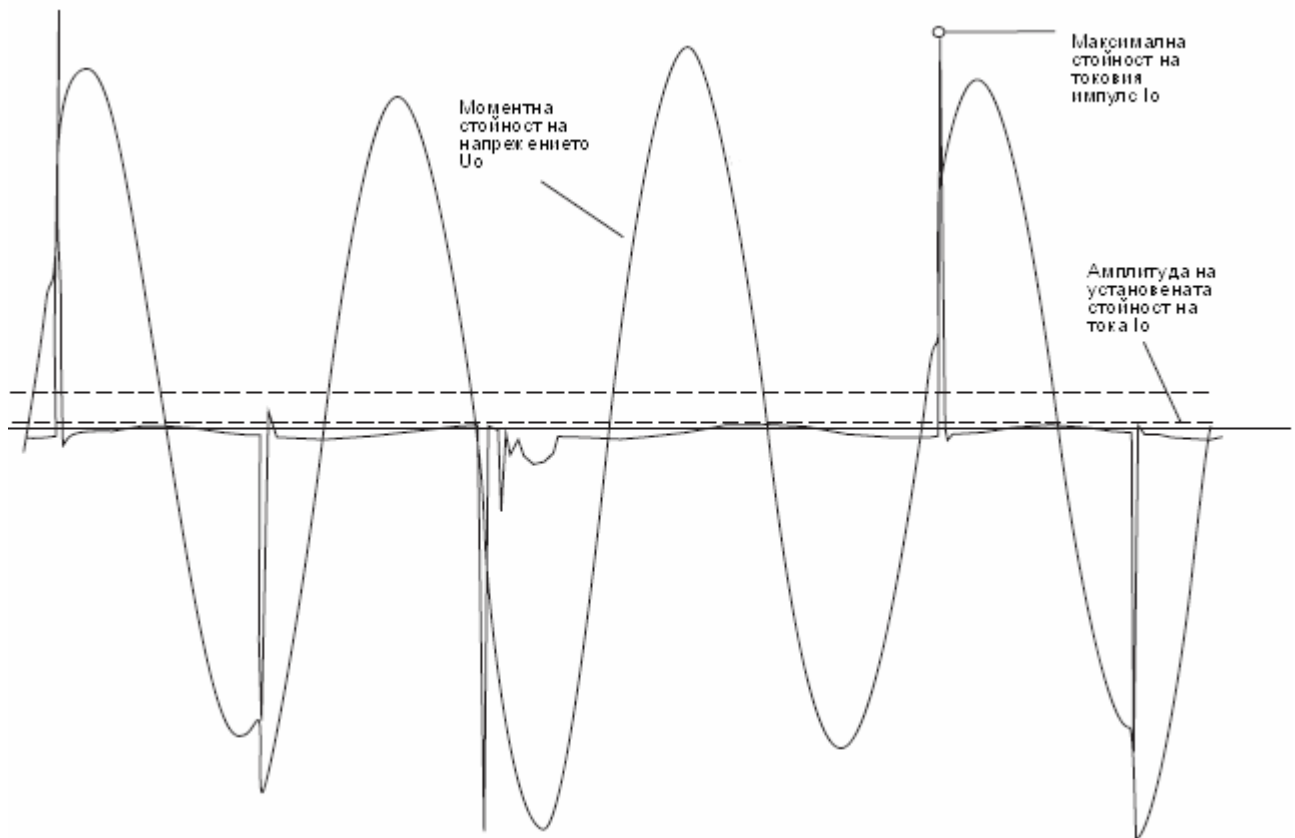
Задача на защитата: да изключи селективно извод със ЗСППД

Теория

Преходният процес при еднофазни земни съединения се характеризира с начален токов импулс, който по големина превишава многократно установения. Посоката на този импулс, сравнявана с посоката напрежението с нулева последователност, е показател за мястото на повредата. В изводът с повреда знаците на тези два импулса са еднакви – два плюса или два минуса. Във всички здрави присъединения знаците са различни – плюс и минус или минус и плюс. При ЗСППД това правило се повтаря при всеки пробив на изолацията.

Приложение

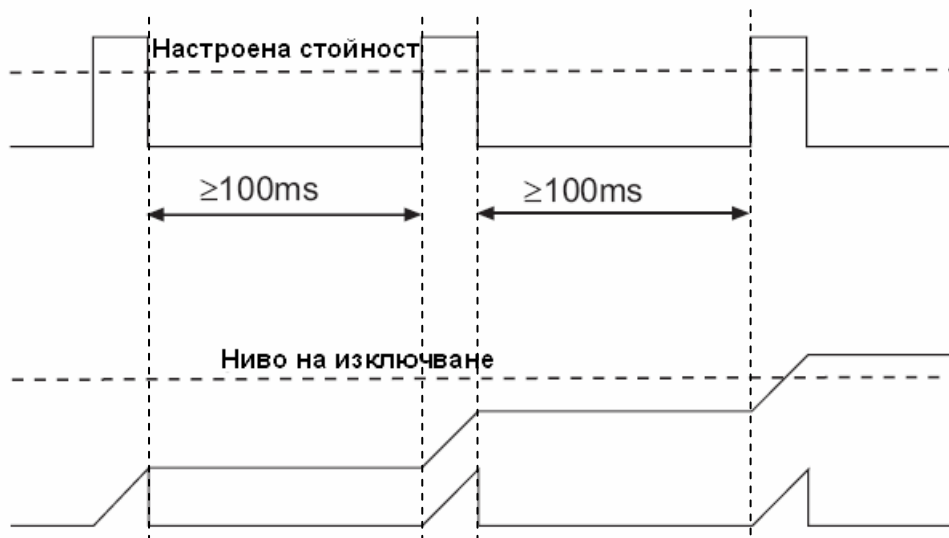
Земни съединения през прекъсваща дъга се случват в изолацията на кабел, когато изолацията е повредена (има пукнатина) и в кабела е проникнала вода. Земната повреда се промъква към кабела през пукнатината, после изгасва, но се повтаря след кратко време, защото водата се връща обратно през пукнатината. Процесът се повтаря и се превръща в серия от токови импулси.



Фиг. 2.1. Земна повреда при прекъсваща дъга

Алгоритъм

ЗСПД се разпознава по броя и честотата на появяване на токовите импулси, надвишаващи по стойност настройката $I_0 >$. Има независимо забавяне на пускането на ниското стъпало $I_0 >$ от 70 ms и на високото стъпало $I_0 >>$ (токовата отсечка) от 60 ms. Токовите сигнали създават кратките правоъгълни импулси от фиг. 2.2, а те от своя страна се подлагат на забавено връщане (удължават се). Забавеното връщане може да се избира от стойностите 80, 100, 500 и 1000 ms. По подразбиране е 80 ms. Когато времето на забавено връщане е по-кратко от интервала между импулсите на токовете на повредата, релето остава в незарботило състояние и до изключване на извода не се стига. Време на връщане, по-продължително от времето между два съседни импулса създава условие за натрупване и при надвишаване на *нивото на изключване* (фиг. 2.2) се изключва прекъсвачът на повредения извод.



Фиг. 2.2. Подбиране на времето на връщане

Времето на забавеното връщане може да се настрои на 80, 100, 500 или 1000 ms чрез ключето SGF5. Когато времето на връщане е настроено на 100 ms или повече, стъпалото на земната защита $I_0>$ ще заработи като функция ЗСППД.

Технически данни

Характеристика	Стъпало $I_0>$ или $U_0>$	Стъпало $I_0>>$ или $U_0>>$
Настройки за пусково стъпало по ток <ul style="list-style-type: none"> независимо забавяне зависимо забавяне (IDMT - Inverse definite minimum time characteristic ¹⁾ 	1.0...100% x I_n 1.0...40.0% x I_n ²⁾	5.0...400% x I_n ³⁾
Настройки за пусково стъпало по напрежение <ul style="list-style-type: none"> независимо забавяне 	2.0...80.0% x U_n	2.0...80.0% x U_n
Пусково време		
Типично	70 ms	60 ms
Характеристики „време/ток“ <ul style="list-style-type: none"> независимо забавяне $t_0>$ и $t_0>>$ IDMT за стъпалото $I_0>$ според IEC 60255-3 специални зависими характеристики множител за времето k за стъпалото $I_0>$	0.10...300 s Extremely inverse; Very inverse; Normal inverse; Long-time inverse RI-type inverse RD-type inverse 0.05...1.00	0.10...300 s
Избираемо време на връщане	80, 100, 500 или 1000 ms	100 ms
Коефициент на връщане, типичен	0.96	0.96

3. Някои становища за защитите при земни съединения през прекъсваща дъга [3]

Прекъсващата дъга може да възникне при еднофазни земни съединения както във въздушните, така и в кабелните изводи. По данни за руднични мрежи до 80% от з.с. в кабелните изводи са съпроводени от прекъсваща дъга. Във въздушните изводи такива земни съединения са няколко пъти по-малко.

Анализ на токовете при еднофазни земни съединения през прекъсваща дъга се правят от много изследователи. Описват се както експериментални резултати, така и резултати от математически модели. Качествени експериментални резултати при изкуствени ЗСППД се получават при цифрови записи с висока честота на сканиране (1000 точки за период) и продължителен запис (2 – 3 s). Регистрирането на токове и напрежения в цифровите защити става с 20-40 точки на период, което не е достатъчно за изучаване на ЗСППД.

Лабораторно моделиране на токовете и лабораторно изпитване на алгоритмите на защитите е възможно, но не е лесно. По тези причини авторите не са и поставили задачата да изследват пълно поведението на земните посочни защити при прекъсваща дъга. В сегашно време много въпроси, свързани с поведението на тези защити при прекъсваща дъга остават неизяснени.

На основание на наличните данни могат да се направят следните изводи:

- За токовете и напреженията при еднофазни земни съединения през прекъсваща дъга не може да се дефинира класическото понятие фазова разлика.
- Токовият сигнал има силно променлива амплитуда.
- За реализиране на правилно действие на защитата е необходимо до се въведе нарочно забавяне на пускането на защитата и удължаване на времето на токовите сигнали.
- Защитата трябва да действа правилно и при метални еднофазни земни съединения, и при еднофазни земни съединения през прекъсваща се дъга.

Литература:

1. Siemens. 7SJ62/63/64 Manual (p. 217) C53000-G1140-C147-7
2. ABB. Directional or Non-Directional Earth-Fault Relay REJ 527
3. Шалин Алексей Иванович. Замыкания на землю в сетях 6–35 КВ. Влияние электрической дуги на направленные защиты. Новости ЭлектроТехники, № 6(37) 2006. (<http://www.news.elteh.ru/arh/2006/37/06.php>)

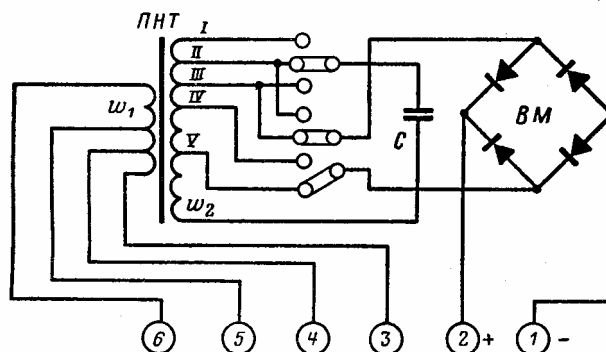
13d. Променливо оперативно напрежение

13d1. Променливо оперативно напрежение при електромеханични заштити. Схеми за използване на измервателните трансформатори

Гельфанд Я. С. [1], Реле защиты [3]

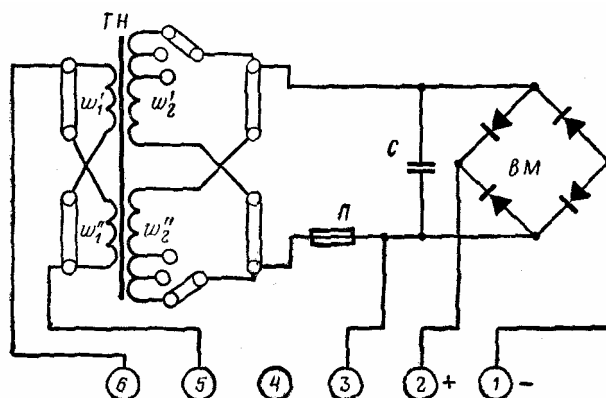
Решения в Русия

Захранващи блокове



Фиг. 1. Токов захранващ блок тип БПТ-101 [3]

ПНТ – междинен насищащ се трансформатор, захранван от ТТ



Фиг. 2. Напреженов захранващ блок тип БПН 101/2 [3]

НТ- междинен напреженов трансформатор, захранван от НТ

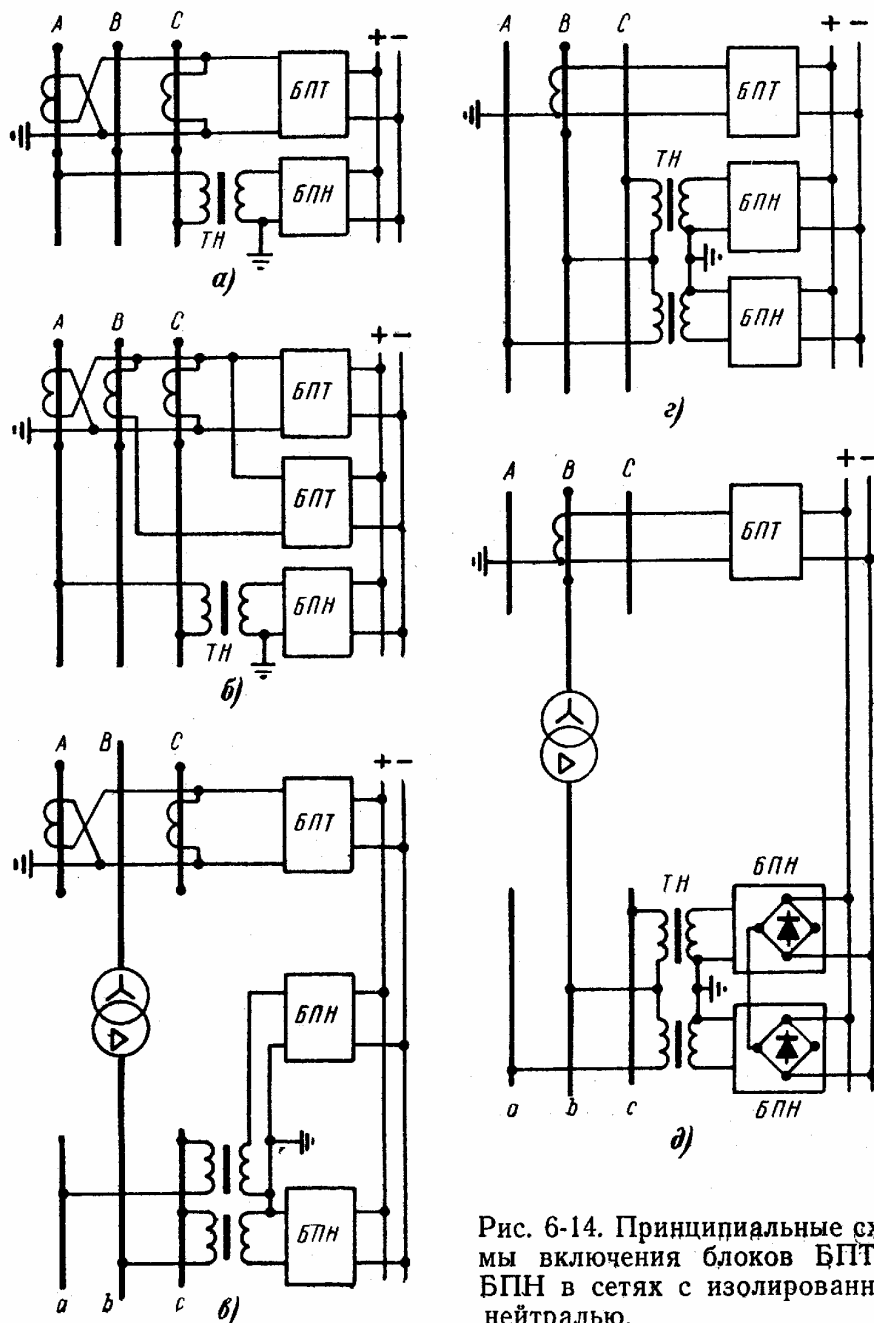


Рис. 6-14. Принципиални схеми включения блокове БПТ и БПН в мрежи с изолирана нула.

Фиг. 3. Комбинация от захранващи блокове в система с неефективно заземена нула [1]

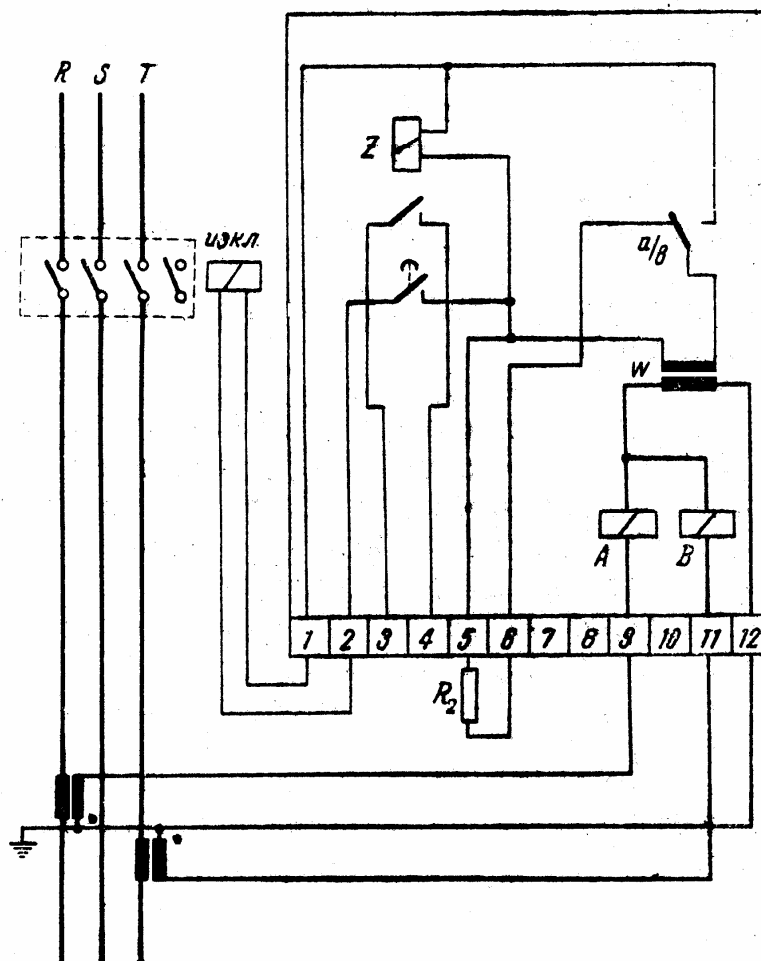
а) Универсална схема. Ток: $I_a - I_c$ и напрежение U_{ac}

б) Схема с два токови блока. Токове: $I_a - I_c$ и I_b ; напрежение U_{ac}

в) Случай на силов трансформатор, който няма напреженови трансформатори на високата страна,

г) Случай на вградени ТТ, от които е възможно да се използва само ТТ на фаза В. Налага се добавяне на още един напреженов захранващ блок,

д) Съобразяване на захранващите блокове с групата на свързване на силовия трансформатор (Δ/Δ) и използване на два напреженови блока БПН, свързани като максиселектор.

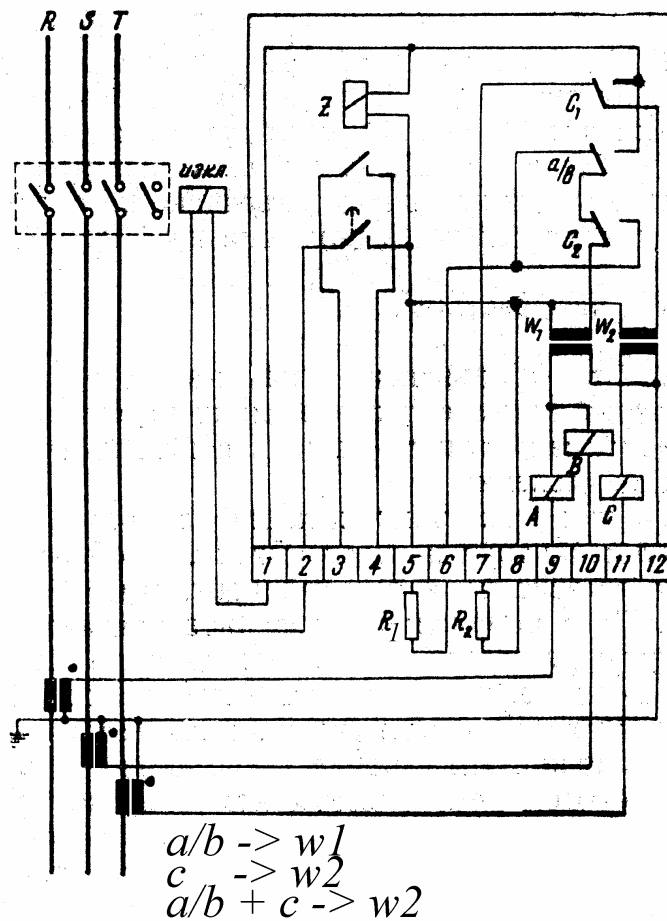


Фиг. 1-8. Схема на максималнотокова защита RSZ2w2

Фиг. 4. Схема с бързонансищач се междиен трансформатор W . Променливото оперативно напрежение се използва и за самото реле RSZ2w2 и за изключвателната бобина на прекъсвача. Вариант с един бързонансищач се трансформатор БНТ, но схемата на свързване на ТТ е непълен триъгълник.

Бележка:

Защитата тип RSZ2w2 е разгледана в [5, стр. 68, Упражнение № 4]

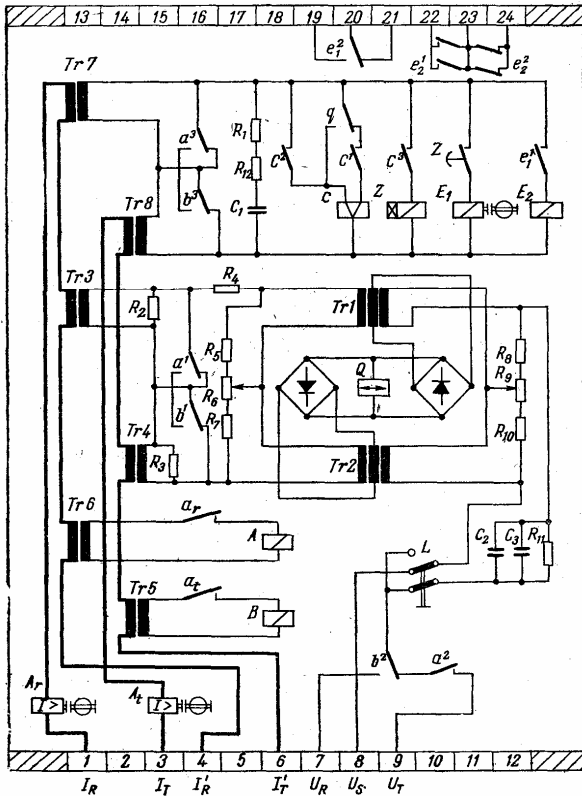


Фиг. 1-9. Схема на максималнотокова защита RSZ3w2

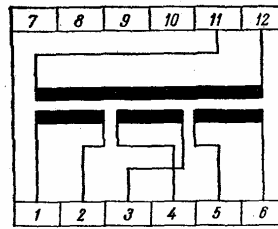
Фиг. 5. Схема с два бързонасища се междинни трансформатора W_1 и W_2 . Променливото оперативно напрежение се използва и за самото реле RSZ3w2 и за изключвателната бобина на прекъсвача. Вариантът е с два бързонасища се трансформатора, но схемата на свързване на ТТ е триъгълник.

Бележка:

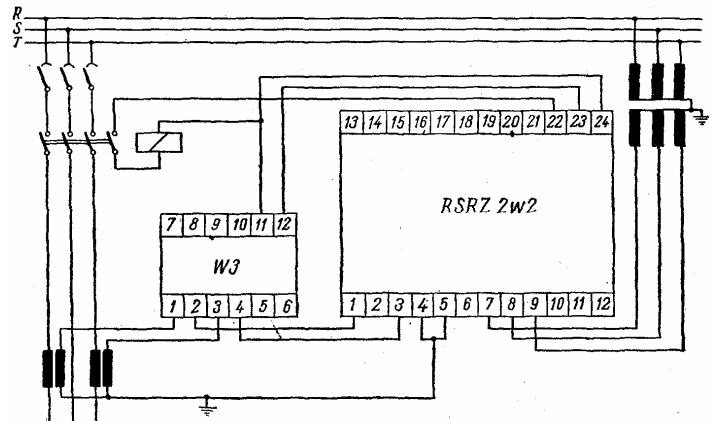
Защитата тип RSZ2w2 е разгледана в [5, стр. 68, Упражнение № 4]



Фиг. 4.4. Схема на релейния комплект на максималнотокова посочна защита RSRZ2w2 за променливо оперативно напрежение



Фиг. 4.5. Схема на захранващия трансформатор W3



Фиг. 4.6. Пълна схема на максималнотокова посочна защита RSRZ2w2+W3

Фиг. 6. Схема на посочна токова защита RSRZ2w2. Два бързонасящи се трансформатора (Tr7 и Tr8) за самото реле RSRZ2w2 и външен блок (W3) за изключвателната бобина на прекъсвача

13d2. Променливо оперативно напрежение при цифрови защиты

Фирма	Модел	Особености
ABB	PR 512/P (50-51)	При ток $\geq 0.2 \cdot I_{\text{ном}}$ и най-малко една годна фаза ТТ гарантират коректно действие на всички защитни, измервателни и управляващи функции. Наличието на външен оперативен източник гарантира коректния диалог (за PR512/PD)
	PR 512/PD (50-51-50N-51N)	
	PR 512/PD (50-51-50N-51N) + Dialogue	
Schneider	Sepam 100 LA (50/51)	При двуфазни и трифазни к.с. Използва допълнителни тороидални ТТ.
	Sepam 100 LA (50N/51N)	При земни повреди в ефективно заземени и в компенсирани мрежи. Използва допълнителни тороидални ТТ.
Siemens	7SJ45	С импулсен изход от енергия на ТТ (тип 7SJ45XX-0) към специална изключвателна бобина с малка енергия за задвижване тип 3AX1102-2B. Оперативното захранване на кутията на релето е от енергията на ТТ.
		С контактен изход от енергия на ТТ (тип 7SJ45XX-1) към специална изключвателна бобина с малка енергия за задвижване тип 7AX1102-2A или тип 3AX1104-2B. Оперативното захранване на кутията на релето е от енергията на ТТ.
	7SJ46	Стандартна изключвателна бобина се захранва от външен източник (акумулаторна батерия). Оперативното захранване на кутията на релето е от енергията на ТТ.

PR512/P (50-51)

Осигурява:

- защита при претоварване (51),
- защита при к.с. – мигновена или с нарочно забавяне (50),
- показва фазните токове при най-големия товар.

PR512/P (50-51-50N-51N)

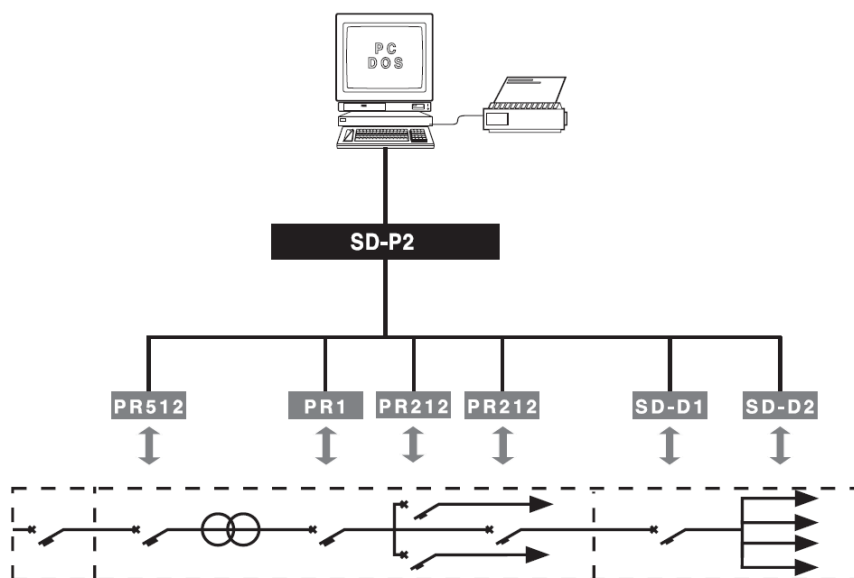
Осигурява:

- защита при претоварване (51),
- защита при к.с. – мигновена или с нарочно забавяне (50),
- земна защита (51N),
- земна защита – мигновена или с нарочно забавяне (50N),
- показва фазните токове при най-големия товар.

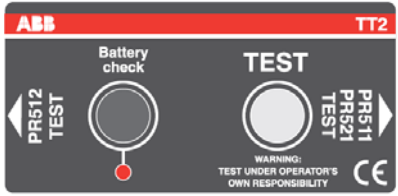
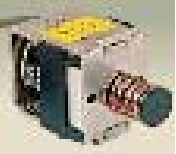

PR512/PD (50-51-50N-51N + dialogue)

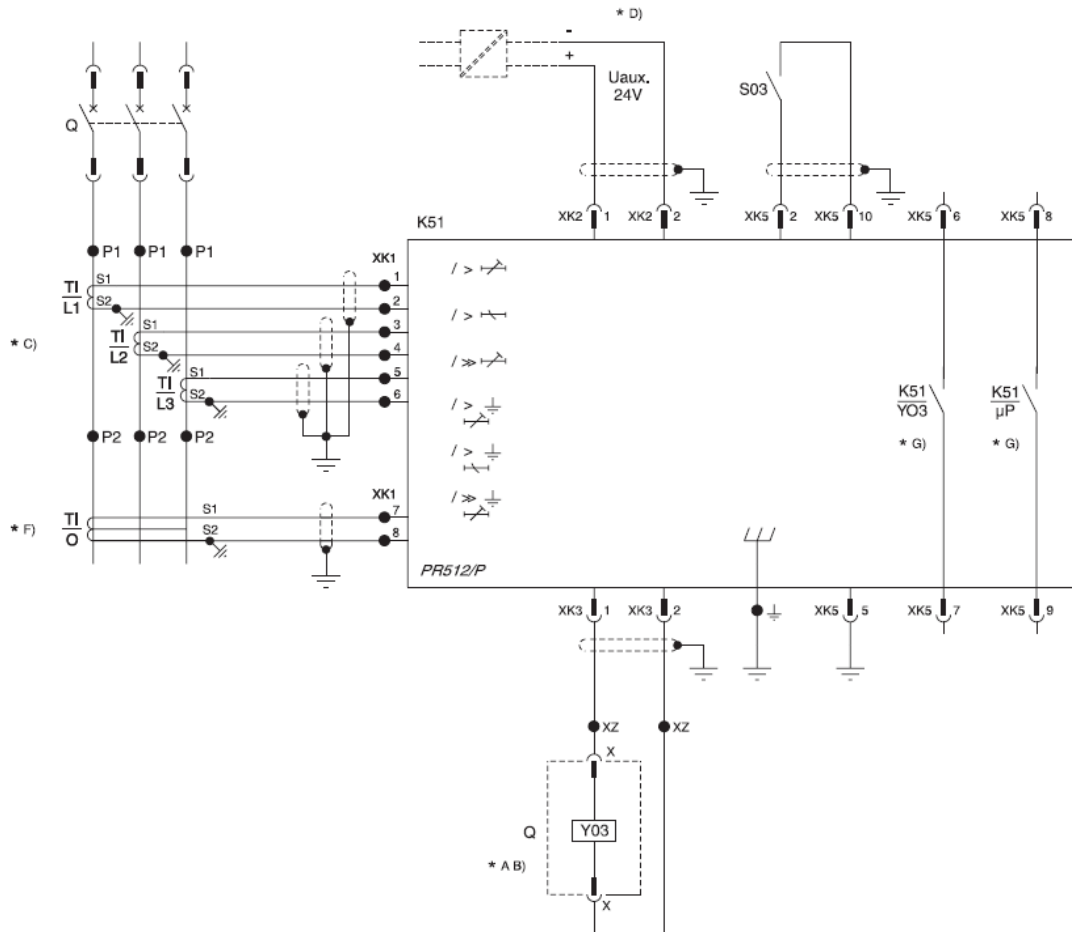
Осигурява:

- защита при претоварване (51),
- защита при к.с. – мигновена или с нарочно забавяне (50),
- земна защита (51N)
- земна защита - мигновена или с нарочно забавяне (50N),
- показва фазните токове при най-големия товар.
- Има функция „диалог” и винаги се свързва с електрическата система за управление.

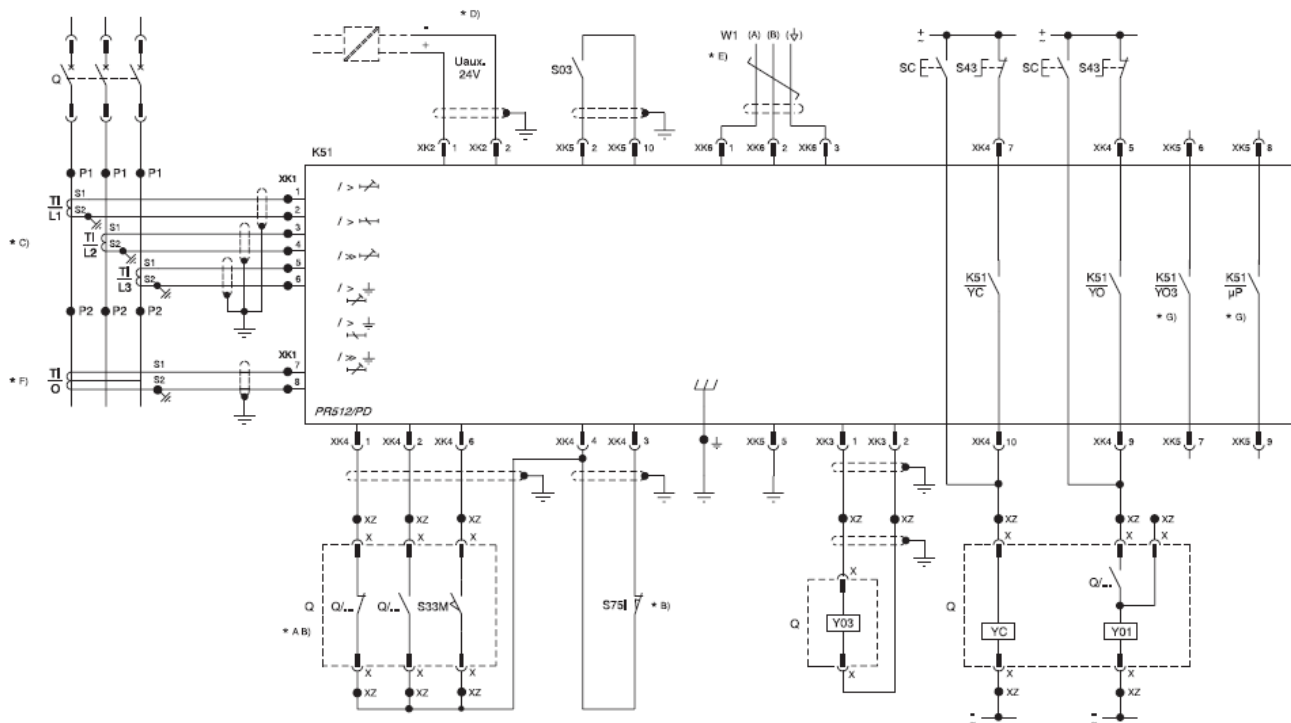


Фиг. 7. Идея за диалог между елементите на електрически свързана верига с помощта на защитата PR212/PD

Приспособления към PR212	
 <p>ABB TT2 Battery check TEST PR512 TEST PR511 PR521 TEST WARNING: TEST UNDER OPERATOR'S OWN RESPONSIBILITY</p>	Блок за тест тип TT2
	Изключвателен соленоид тип YO3 с малка изисквана мощност
	Външен тороидален трансформатор (неразглобяем или разглобяем)



Фиг. 8. Схема за защитата PR512/P, блокове (50-51/50-50N-51-51N)



Фиг. 9. Схема и допълнителни вериги на защитата PR212/PD

Условни означения:

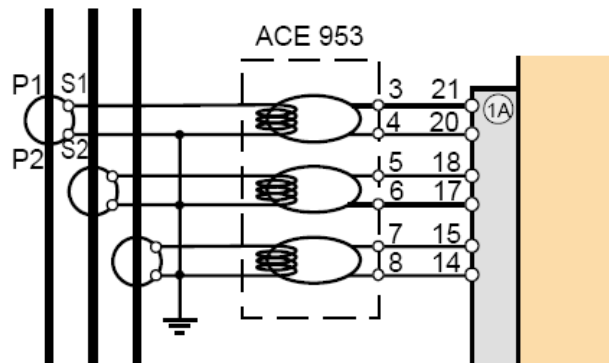
K51/YC	Closing control by PR512/PD release	Управляващ контакт за включване от PR512/PD
K51/YO	Opening control by PR512/PD release	Управляващ контакт за изключване от PR512/PD
K51/YO3	Contact signalling YO3 solenoid tripped for overcurrent	
K51/μP	Contact signalling microprocessor malfunction	
Q\...	Circuit-breaker auxiliary contacts	Блок-контакт на прекъсвач
S33M	Limit contact of the spring-charging motor of the circuit-breaker	
S43	Remote/local selector device	Устройство за избор „дистанционно / местно“
S75I	Contact signalling circuit-breaker in the connected position, located in the enclosure (see note B)	
SC	Pushbutton or contact for c. breaker closing	Бутон или контакт за включване на прекъсвача
SO	Pushbutton or contact for c. breaker opening	Бутон или контакт за изключване на прекъсвача
SO3	Contact for circuit-breaker opening through the YO3 solenoid	Контакт за изключване на прекъсвача чрез соленоида YO3
TI/L1...L3	Current transformers located on L1-L2-L3 phases (see note C)	ТТ за трите фази
TI/O	Toroidal current transformer for measuring the earth fault current (see note F)	Тороидален ТТ за тока при земно съединение
Uaux.	Auxiliary supply voltage (see note D)	Оперативно напрежение (вежте бел. D)
W1	Serial interface with control system (EIA RS485 interface) of the PR512 relay (see note E)	
X	Circuit-breaker operating mechanism circuit connector (see note B)	
XK1	PR512 release current circuit terminal board	
XK2...XK6	PR512 release auxiliary circuit connectors	
XZ	Terminal board in switchboard (see note B)	
YC	Circuit-breaker shunt closing release	Включвателна бобина на прекъсвача
YO1	Circuit-breaker shunt opening release	Изключвателна бобина на прекъсвача
YO3	Circuit-breaker opening solenoid with tripping for overcurrent	Соленоид за изключване на прекъсвача при големи токове

Бележки:

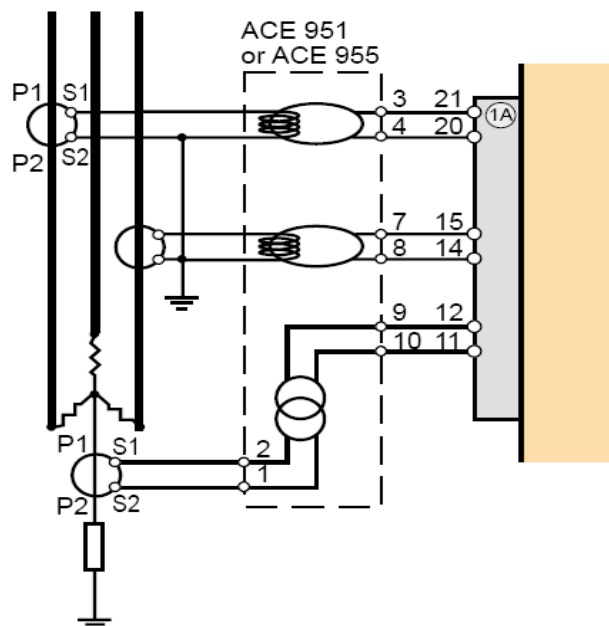
A)	For the circuit-breaker auxiliary circuits, see the	
----	---	--

	specific diagram of the circuit-breaker itself.	
B)	This diagram shows a withdrawable version circuit-breaker but is also valid for fixed version circuit-breakers. In that case, it is necessary to short-circuit poles XK4-3 and XK4-4 of the PR512/PD release. Moreover, the circuit-breaker auxiliary circuits are terminated at a terminal board called XV instead of at connector X and at terminal board XZ.	
C)	When only 2 current transformers are provided on phases L1 and L3 (only to be used with networks with insulated neutral and negligible earth fault currents), terminals XK1-3 and XK1-4 of the PR512 must be short-circuited.	
D)	The Uaux. auxiliary power supply is needed to guarantee that the following functions operate correctly even without self-supply (primary currents lower than 0.2 In):	Допълнителното оперативното напрежение Uaux. е необходимо за гарантиране на коректно действие на следните функции, дори и да липсва самозахранване (първичният ток е по-малък от 0.2 In):
	– external opening control (SO3) and relative signals (signalling lamp and optic indicator)	
	– current measurement	- измерване на тока
	– earth fault protection and relative signals (K51/YO3 and K51/mP signalling contacts, signalling lamp and optic indicators)	-
	– reset of signalling contacts and optic indicators.	- връщане на контактите за сигнализиране и оптическите индикатори.
	The Uaux. auxiliary power supply is always needed to guarantee correct dialogue operation (only for PR512/PD relay). The presence of primary current $\geq 0.2 I_n$ on at least one phase fitted with current transformer ensures correct operation of all the protection, measuring and control functions.	Допълнителното оперативно захранване е необходимо винаги, за да се гарантира коректен „диалог“ (само за модела PR512/PD).
E)	For connection of the EIA RS485 serial line, see the following documentation:	
	– examples of distribution of the EIA RS485 serial communication 401517	-
	– requirements for cable laying for serial EIA RS485 serial communication 601823.	-
F)	The TI/O homopolar current transformer, outside the circuit-breaker and with connections to be made by the customer, is only supplied on request. Should the TI/O transformer not be used, short-circuit terminals XK1-7 and XK1-8.	
G)	The K51/YO3 and K51/mP signalling contacts have the following electrical characteristics:	
	– maximum interrupted current 0.8 A	-
	– maximum interrupted voltage 110Vac - 100Bdc	-
	– maximum interrupted load at 24Vdc	-
	– inductive (L/R = 7 ms) 10W	-
	– resistive 24W	-
	– maximum interrupted load at 48Vac	-
	– inductive (cosj = 0.4) 15VA	-
– resistive 30VA	-	

Schneider, защита Seram 100LA
Съгласуване на входните вериги

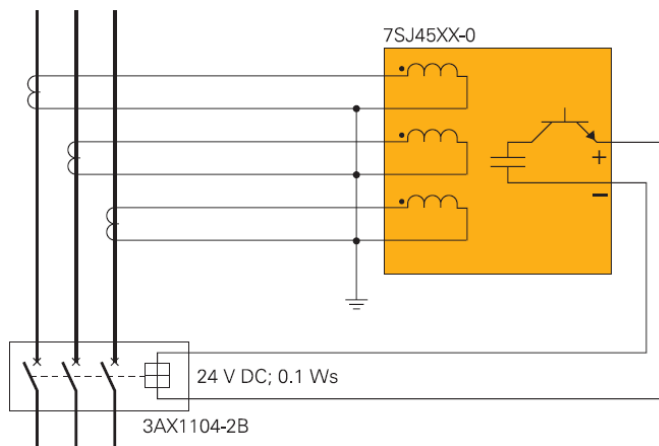


Фиг. 10. Схема с три фазни токови трансформатора и междинни трансформатори тип ACE 953

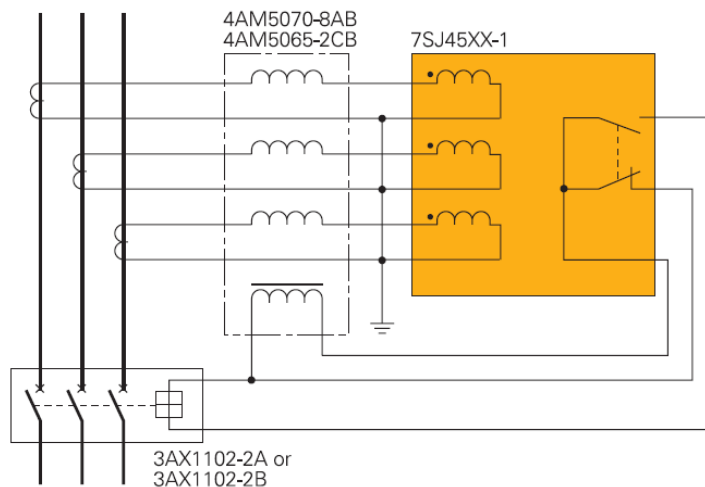


Фиг. 11. Схема с два фазни токови трансформатора, един ТТ в неутралата и междинни трансформатори тип ACE 951 или ACE 955

Siemens 7SJ45

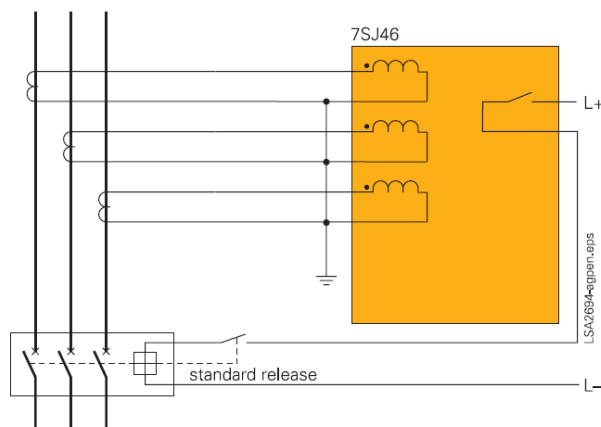


Фиг. 12. Схема с 3 токови трансформатора и импулсен изход



Фиг. 13. Схема с 3 токови трансформатора, междинен трансформатор тип 4AM5070-8AB или тип 4AM5065-2CB като източник на оперативно захранване за изключвателната бобина и релеен изход

Siemens 7SJ46



Фиг. 14. Схема с 3 токови трансформатора и възможност за управление на изключвателната бобина с енергия от външен източник на оперативно напрежение (L+, L-)

13d3. Използване на предварително зареден кондензатор

Особености:

1. Зарядът на кондензаторите може да се използва еднократно и импулсно.
2. Енергията на кондензаторите зависи от капацитета им и квадрата на напрежението. Традиционните кондензаторите дават възможност за използване на кондензатори с капацитет 100÷200 μF и напрежение до 400 V.
3. Необходимо е изследване на преходния процес на разряд на кондензатор върху реле в някои конкретни случаи.
4. Налага се използване на специални изключвателни бобини.

Литература:

1. Гельфанд Я. С. и др. Релейная защита и электроавтоматика на переменном оперативном токе. Москва, Энергия, 1973
2. Георгиев К., Г. Димитров, С. Нанчев. Справочник по релейна защита. Техника, София, 1977
3. Реле защиты. Москва, Энергия, 1976. Авт.: В. С. Алексеев, Г. П. Варганов, Б. И. Панфилов, Р. З. Розенблюм
4. Фирмени материали от АВВ, Schneider и Siemens
5. Аврамов Н. Н., С. Т. Вичев. Ръководство за лабораторни упражнения по релейна защита. София, Техника, 1973

14. Цифрови дистанционни защиты

№	Тема	Стр.
1	Основни означения и изчисления	2
2	Източници на грешки	6
П1	Уравнения за токовете на късо съединение	12
П2	Деформиране на напрежението и тока след к.с. и роля на аналоговите нискочестотни филтри	16
3	Някои алгоритми на цифрови защиты на преносни линии	19
3.1	Цифровите защиты като устройства, измерващи параметри	19
3.1.1	Алгоритми с подходящи емпирични криви	20
3.1.2	Алгоритми на Фурие	20
3.1.3	Рекурсивни форми	21
3.1.4	Алгоритми с функциите на Уолш	23
3.2	Алгоритми на цифрови защиты, използващи диференциалните уравнения на електрическата верига	23
4	Таблица с алгоритмите за цифрови дистанционни защиты	29
5	Характеристики на дистанционни релета	34
6	Вградени функции в една дистанционна защита. Пример	37
7	Принцип на действие на цифрова дистанционна защита	40
7.1	Устройство	40
7.2	Функции към дистанционната защита	42
7.2.1	Пускане на защитата при късо съединение	42
7.2.1.1	Откриване на къси съединения към земя	43
7.2.1.2	Токов пусков орган	43
	Числен пример	44
7.2.1.3	Импедансен детектор за къси съединения (Импедансна пускова функция)	45
	Настройки на импедансната пускова функция	47
7.2.1.4	Напреженова, зависима от тока пускова функция (минималноимпедансен детектор)	49
	Настройки на напреженово зависимия детектор за къси съединения (U/I)	50
7.2.2	Определяне на контура на късото съединение	51
7.2.2.1	Избор на контур на късо съединение при заземени системи	53
7.2.2.2	Избор на контур на повредата при незаземени системи	54
7.2.2.3	Настройки на защитата за земни съединения в изолирани и компенсирани мрежи	55
7.2.3	Изчисляване на импеданса на късото съединение	57
7.2.3.1	Общи данни за линията	58
7.2.3.2	Числен пример	60
7.2.3.3	Допълнителни данни за съоръженията	60
7.2.4	Настройки на дистанционната защита	61
7.2.4.1	Общи настройки	61
7.2.4.2	Настройки на импедансните зони	62
7.2.4.3	Числен пример	63
7.2.4.4	Настройки по активно съпротивление	65
7.2.4.5	Удължени (управляеми) зони Z1B и Z1L	66
7.2.5	Определяне на посоката	66
7.2.6	Исключвателни характеристики	69
7.2.7	Исключвателна логика	71
8	Блокировки на дистанционните защиты при люлеене (преговор)	74
8.1	Въведение	74
8.2	Описание на процесите при люлеене	75
8.3	Използване на комплексната равнина за анализ на поведението на импедансните релета при люлеене	77
8.4	Изисквания към блокировките при люлеене в ЕЕС	78
8.5	Видове блокировки	80
8.5.1	Блокировка при люлеене в защитата RD110	80
8.5.2	Блокировки, реагиращи на различните скорости на изменение на ел. величини при к.с. и люлеене	80
9	Блокировка при люлеене за цифрова дистанционна защита	83
9.1	Откриване на люлеенето	83
9.2	Настройки за блокировката при люлеене	84
10	Аварийна максималнотокова защита	85
10.1	Принцип	85
10.2	Настройки на аварийната максималнотокова защита	86
10.3	Проверка на максималнотоковия детектор за к.с. на аварийната максималнотокова защита	87
11	Ускоряване на изключването при паралелни електропроводи и слаб край при дистанционната защита	88
11.1	Пофазна логика за ускорение на дистанционна защита по ВЧ канал, ABB REL 531	88
11.1.1	Предназначение	88
11.1.2	Принцип на действие	88
11.1.3	Настройки	90
11.1.4	Описание на логическите схеми	90
11.2	Пофазна логика за слабо захранен край, ABB REL 531	91
11.2.1	Предназначение	91
11.2.2	Принцип на действие	91
11.2.3	Настройки	93
11.2.4	Описание на логическите схеми	93
11.3	Защита при край със слабо захранване (ехо-функция), Siemens 7SA511	94
12	Блокировка при неизправност в напреженовите вериги	97
12.1	Сравняване на напреженията на намотките "звезда" и "триъгълник"	97
12.2	Използване на симетрични съставки	97

1. Основни означения и изчисления [1, стр. 112]

Следващата система за означение ще се използва в обсъждането на всички алгоритми за дистанционни защиты:

$y(t)$ е моментна стойност на аналогов входен сигнал (напрежение или ток);

y_k – k -та стойност на $y(t)$;

ω – основната кръгова честота в радиани за секунда;

Δt – интервал между дискретните стойности, т.е. $y_k = y(k \cdot \Delta t)$.

Θ – ъгълът, отговарящ на един интервал Δt , т.е. $\Theta = \omega_0 \cdot \Delta t$

За да се илюстрират някои от общите характеристики на алгоритмите, базирани върху сигнал с вид $y(t)$, сигналът се представя с функцията

$$y(t) = Y_c \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) + Y_s \cdot \sin(\omega_0 \cdot t), \quad (1.1)$$

където Y_c и Y_s са реални числа.

По-нататък се взимат стойности при $-\Delta t$, 0 и Δt .

$$\begin{aligned} y_{-1} &= y(-\Delta t) \\ y_0 &= y(0) \\ y_1 &= y(\Delta t) \end{aligned} \quad (1.2)$$

Стойностите са свързани с амплитудите Y_c и Y_s

(1.3)

$$\begin{bmatrix} y_{-1} \\ y_0 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Theta & -\sin \Theta \\ 1 & 0 \\ \cos \Theta & \sin \Theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_c \\ Y_s \end{bmatrix}$$

където Θ е основният ъгъл, отговарящ на интервала Δt . Две стойности са достатъчни за определянето на Y_c и Y_s , ако сигналът е описан като (1). Например

$$Y_c = y_0 \text{ и } Y_s = (y_1 - y_0 \cdot \cos \Theta) / \sin \Theta$$

удовлетворяват последните две уравнения в (1.2). Използването на три стойности е опит да се осигури някаква защита срещу допълнителни членове (хармоници или случайни сигнали) в (1.2). Използването на решение с метода на най-малките квадрати би било подходящо. Това решение има вида:

$$\begin{bmatrix} \hat{Y}_c \\ \hat{Y}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + 2 \cos^2 \Theta & 0 \\ 0 & 2 \sin^2 \Theta \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \cos \Theta & 1 & \cos \Theta \\ -\sin \Theta & 0 & \sin \Theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{-1} \\ y_0 \\ y_1 \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

$$\hat{Y}_s = \frac{[y_1 - y_{-1}]}{2 \sin \Theta} \quad (1.5)$$

По-общо решение на (3) - (не с метода на най-малките квадрати) е:

$$Y_c = \hat{Y}_c + c_1 [y_1 - 2y_0 \cos \Theta + y_{-1}] \quad (1.6)$$

$$Y_s = \hat{Y}_s + c_2 [y_1 - y_0 \cos \Theta + y_{-1}] \quad (1.7)$$

където c_1 и c_2 са произволни константи. Членовете в скобите в (1.6) и (1.7) са нула, ако сигналът е описан от (1). Два от ранните алгоритми отговарят на специален избор на c_1 , при $c_2 = 0$.

Алгоритъмът на Mann - Morrison отговаря на $c_2 = 0$ и

$$c_1 = \frac{-\cos \Theta}{1 + 2\cos^2 \Theta}$$

докато при алгоритъма на Prodar 70 $c_2 = 0$ и

$$c_1 = \frac{1}{\sin^2 \Theta} - \frac{\cos \Theta}{1 + 2\cos^2 \Theta}$$

Оригиналните версии на двата алгоритъма се базират също на допускането, че Θ е достатъчно малък, така че допусканията $\cos \Theta \approx 1$ и $\sin \Theta \approx \Theta$ са подходящи и представляват апроксимации на производни членове от стойности.

За да се изследват някои основни свойства на всички такива алгоритми се взема варианта с c_1 и c_2 равни на нула и се разглежда изчислението след известно време, когато повече стойности са на разположение. Алгоритъм, базиран на последните три стойности y_{k-1} , y_k и y_{k+1} ще има вида:

$$\hat{Y}_c = \frac{[y_{k+1} \cos \Theta + y_k + y_{k-1} \cos \Theta]}{1 + 2\cos^2 \Theta} \quad (1.8)$$

$$\hat{Y}_s = \frac{[y_{k+1} - y_{k-1}]}{2\sin \Theta} \quad (1.9)$$

където индексът k показва изчисления направени за k -та стойност. Ако $y(t)$ е чисто синусоиден като в (1.1), тогава:

$$Y_c^{(k)} = Y_c \cdot \cos(k\Theta) + Y_s \cdot \sin(k\Theta) \quad (1.10)$$

$$Y_s^{(k)} = Y_s \cdot \cos(k\Theta) - Y_c \cdot \sin(k\Theta) \quad (1.11)$$

В полярна форма

$$|Y^{(k)}| = \sqrt{(Y_c^{(k)})^2 + (Y_s^{(k)})^2} \quad (1.12)$$

$$\varphi_k = \tan^{-1} \left[\frac{Y_s^{(k)}}{Y_c^{(k)}} \right] = \tan^{-1} \left[\frac{Y_s}{Y_c} \right] - k\Theta \quad (1.13)$$

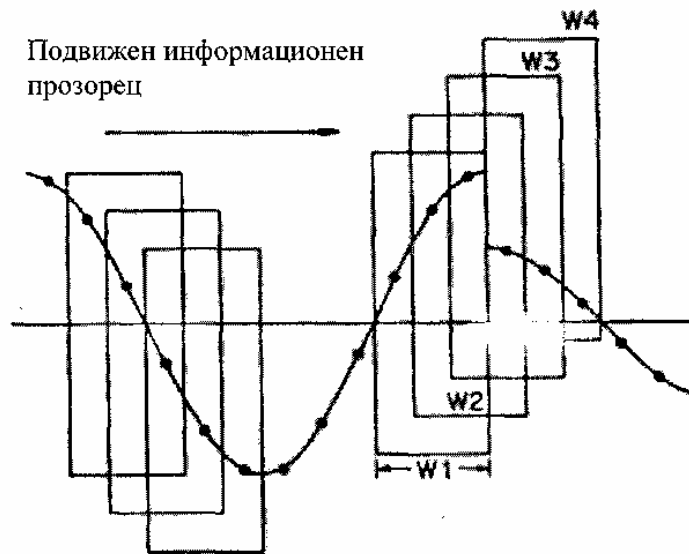
Може да се види от (1.13), че изчислената величина има правилна амплитуда, но се завърта, т.е. ъгълът $\varphi^{(k)}$ намалява спрямо ъгъл Θ за всяка избрана точка. Според приложението, може да се наложи заради ротацията да се въведат корекции. Ако отношението на напреженията и токовете се използва за изчислението на импеданса, тогава ротацията ще се съкрати при делението.

Алгоритъмът, описан от (8) и (9) има "информационен прозорец" от три стойности, така че ако се получи нова стойност, най-старата от трите стойности се отхвърля и новата се включва в изчисленията. Всяка стойност тогава се включва в три изчисления, веднъж като y_{k-1} , веднъж като y_k и съответно като y_{k+1} . Изчислението в (1.8) и (1.9) трябва да бъде извършено от микропроцесора преди да се вземе следващата стойност.

На фиг. 1.1 е показан подвижен информационен прозорец от три стойности за идеална форма на вълната на напрежението, анализирана при честота на сканиране 600 Hz (12 стойности за период). Напрежението намалява мигновено в момента на к.с. Прозорецът W1 съдържа три стойности от данните за състоянието преди к.с., прозорците W2 и W3 съдържат информация за преди и след к.с., а прозорец W4 има единствено данни за след к.с.

Изчисленията (1.8) и (1.9) ще дадат верните величини в прозорците съдържащи истински стойности от преди и след к.с. Данните в прозорци W2 и W3 не са чисто синусоидални и изчислената величина е леко осреднена. Може да бъде проверено, че изчислената величина не съответства на трите стойности. Трябва да се отбележи, че прозорец от две стойности винаги ще отговаря на данните, въпреки че съответствието към една стойност преди к.с и една след к.с. е еднакво безсмислено.

Интервалът Δt определя периода от време, за който микропроцесорът ще извърши изчисленията. При 20 стойности за период в мрежа с честота 50 Hz се получава $\Delta t = 1$ ms. Съществуващите алгоритми използват скорост на обработване на стойности от 4 до 96 стойности на период. **Първият въпрос** е, че високите скорости на обработване на стойности изискват мощни процесори.



Фиг. 1.1. Подвижен информационен прозорец от три извадки.

- W1 - данни за величините преди к.с.,
- W2 и W3 - данни за величините преди и след к.с.,
- W4 - съдържа само данни за величините след к.с.

Вторият въпрос е този, свързан с дължината на информационния прозорец. Приемайки, че на резултатите получени при прозорец, съдържащ стойности от преди и след к.с. не може да се разчита, логично е да се изчака докато резултатите станат сигурни (когато прозорецът съдържа само данни за величините след к.с.) преди да се вземат решения за релейната защита. Важно е да се разработи метод, който да улавя тази преходна област. Характеристиката на примерния алгоритъм в тази преходна област е функция от параметрите c_1 и c_2 в (1.6) и (1.7). Ясно е, че по-бързи решения могат да се направят от алгоритми с къс прозорец, докато по-дълъг прозорец отнема повече време за преминаването момента на к.с.

За съжаление, способността на един алгоритъм да отхвърля висшите хармоници е функция от дължината на информационния прозорец. С други думи, съществува обратна връзка между скоростта на релейната защита и нейната точност. Когато алгоритъмът, представен от (1.8) и (1.9) дава вярна величина, ако сигналът $y(t)$ е като в (1.1), то трябва да се приеме, че примерния сигнал е по-точно описан от:

$$y(t) = Y_c \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) + Y_s \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + \varepsilon(t) \quad (1.14)$$

Трябва да се разбере същността на сигнала $\varepsilon(t)$ в (1.14), за да се оцени работата на релейната защита на преносни линии.

Литература:

1. Phadke A. G., J. S. Thorp. Computer Relaying for Power Systems. Research Studies Press Ltd, Taunton, Somerset, England, 1988

2. Източници на грешки [1, стр. 118]

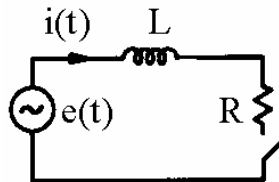
А. Токът на к.с. в общия случай има сложна форма. Представя се като състав от няколко периодични и аperiодични компоненти. Особено сложен е случаят на внезапно к. с. на изходите на голям синхронен генератор (*Приложение 1*). Най-простият запис, сред голям брой опростявания, е показан като уравнение (1), а като се приеме еднакъв токът i_m пред периодичната и аperiодичната компоненти и фазата $\varphi = 0$ се стига до уравнението (2.1a).

$$i(t) = i_m \cdot \cos(\omega_0 \cdot t - \varphi) - \left[i_m \cdot \cos(\omega_0 \cdot t - \varphi) \right] \cdot e^{-\frac{(t-t_0)R}{L}} \quad (2.1)$$

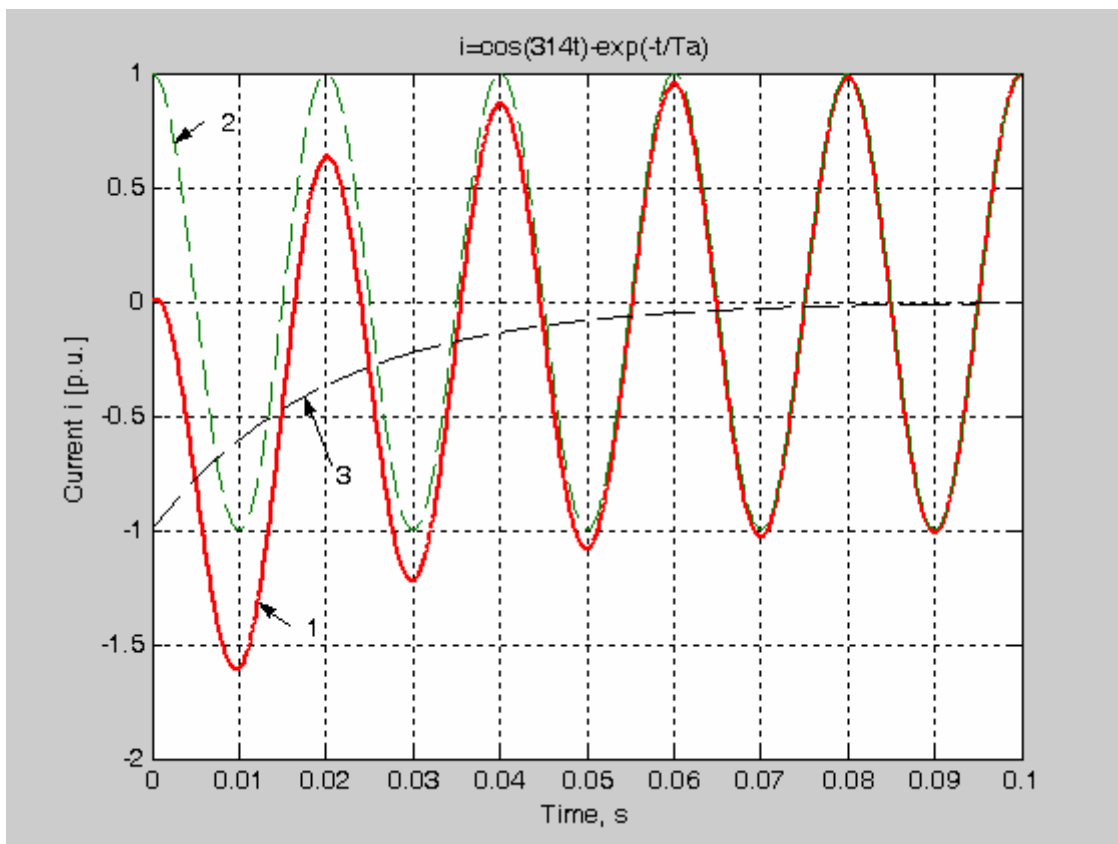
$$i(t) = i_m \left[\cos(\omega_0 \cdot t) - e^{-\frac{t}{T_a}} \right], \quad (2.1a)$$

където

$$T_a = \frac{L}{R} \quad (2.1b)$$



Фиг. 2.1. Последователен R-L модел на преносна линия



Фиг. 2.2. Затихващ ток на к.с., представен от (ур. 2.1). 1 – пълен т.к.с. [р.у.];
2 – косинусоида; 3 - експонента

Вторият член в (1) е експонента, която затихва с времеконстантата на веригата. Този член е основна причина за забавяне в бързите релета и трябва да бъде премахнат, ако се изисква цифрова релейна защита да заработва за част от периода. За типична линия свръх високо напрежение (СВН) времеконстантата е в рамките на 30-50 ms.

На фиг. 2.2 е показан затихващ ток на к.с. при следните данни:

$$i_m = 1 \text{ [р.у.]; } T_a = 0.02 \text{ s; } \omega = 314; t = 0 \div 0.1 \text{ s (1000 точки)}$$

В. Ситуацията може да бъде дори по-сложна, ако **к.с. е близо до мощен генератор (Приложение 1)**.

Експоненциалният член не води до грешки при алгоритми, базирани на описание на линията с диференциално уравнение.

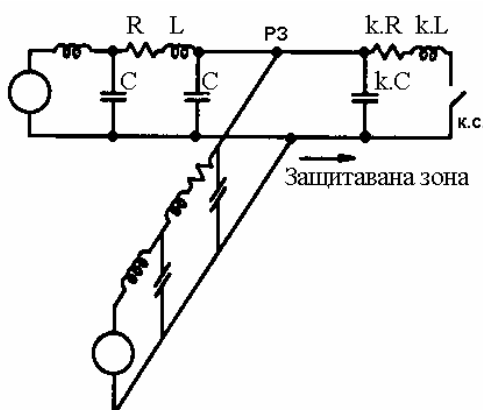
С. Моделирането на електропроводите ВН и СВН зависи от напрежението и дължината на електропровода. В [2, стр. 31] се доказва, че за да се получи приемлива грешка, трябва електропроводите 110 kV да се моделират поне с две π -звена (фиг. 2.3), електропроводите 220 kV – с три, електропроводите 400 kV – с четири, а тези за 750 kV – с пет.

Д. Ако времеконстантата на линията е известна, то затихването може да бъде отстранено хардуерно или софтуерно (за алгоритми, чиято точност зависи от наличието на експонента). Времеконстантата зависи и от това, дали к.с. е метално или през дъга и това прави отстраняването ѝ по-малко ефективно.

Е. Висшите хармоници в тока на к.с. не могат толкова лесно да бъдат премахнати, защото е трудно да се предвидят. Те се генерират и от преобразувателите на ток и напрежение. Нелинейният характер на изменение на дъгата при к.с. може да породи **хармонични съставки**.

Ф. АЦП допринася за грешки, дължащи се на честотата на сканиране и на разрядността. Има значение промяната на величината докато трае интервалът Δt .

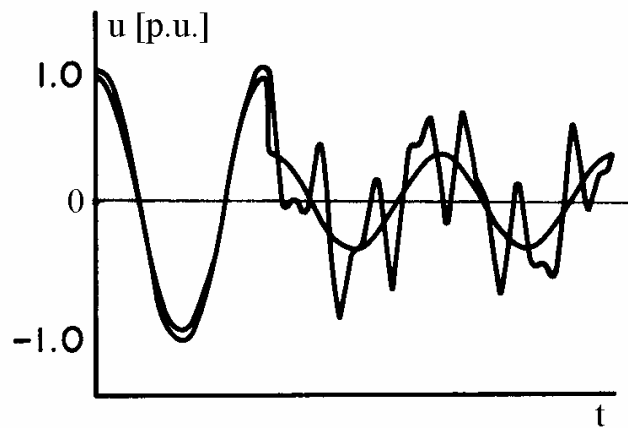
Г. Вредните високочестотни сигнали могат да бъдат намалени още на входа на защитата чрез ниско-честотни (anti-aliasing [ˈi nti-ˈeili j siɹ]) филтри (филтри против “изопачаване” на честотата). Тяхната честота на срязване трябва да се съобрази с честотата на Найквист (Nyquist frequency). Честотата на сканиране трябва да бъде поне два пъти по-висока от честотата на най-високия хармоник, който ни интересува. Такива филтри трябва да се оценяват и от гледна точка на работата им в преходен режим, и от гледна точка на създаването на фазова грешка.



Фиг. 2.3. Еднофазен модел на електрическа мрежа: три линии с два източника

Н. Енергийната система, разгледана като съставена от електропроводите с разпределени параметри, сама по себе си е източник на **висши хармоници**. Пример за еднофазен модел с три контура и два генератора е показан на фиг.3. Приема се, че контурите са еднотипни, но единият източник е по-мощен от другия. Прието е звената да бъдат по 150 km от линия 400 kV.

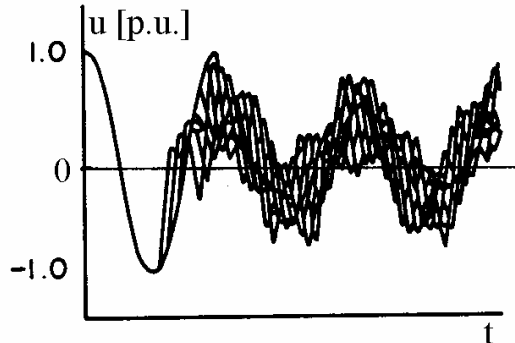
Ако к.с. засяга 60% от защитената линия, то напрежението, което ще получи релейната защита РЗ е показано на фиг. 2.4.



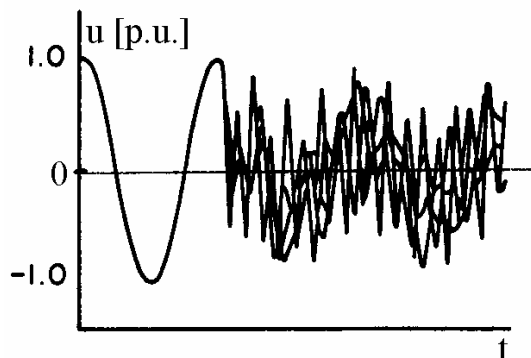
Фиг. 2.4. Форми на напрежението за к.с. на 60% от дължината на линията

Плавната крива след появата на к.с. от фиг. 2.4 показва как би изглеждало напрежението, ако се пренебрегнат напречните капацитети от модела на фиг. 2.3. Наличието на капацитети поражда **висши хармоници**.

Тези **хармоници** са собствени честоти на мрежата, които са възбудени от появата на к.с. За конкретна мрежа собствените честоти се определят от мястото на к.с.



Фиг. 2.5. Серия форми на вълните на напрежения за к.с.на 60% от дължината на линията



Фиг. 2.6. Серия форми на вълни на напрежения за променящо се място на к.с.

Фиг. 2.5 показва серия форми на вълната на напрежение, породени от промяната на началния ъгъл на к.с. Може да се види, че фазата на **висшите не-основните честотни съставлящи** е функция от този ъгъл. Ако мястото на к.с. се промени, както е показано на фиг. 2.6, **честотата на неосновните честотни съставлящи** се променя.

Бележка:

$$y(t) = Y_c \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) + Y_s \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + \varepsilon(t) \quad (1.14)$$

където: $y(t)$ е реалният периодичен сигнал.

Подобен ефект може да се получи от промяната на структурата на мрежата след к.с. (*Приложение 2*). Изводът е, че важна част от **неосновния честотен сигнал** $\varepsilon(t)$ в (3.14), поне за линии високо напрежение, се дължи на самата мрежа. Тези сигнали зависят от мястото на к.с., от характера на мрежата, захранваща к.с. и като такива, не са предсказуеми.

Разглеждайки сигнала $\varepsilon(t)$ от (1.14) като случаен процес, логично е да се обърне внимание на филтъра против “изопачаване” на честотата и на алгоритъма на защитата взети заедно. Честотната характеристика на алгоритъма в такъв случай е важна част от филтрирането на процеса. За да се получи такава честотна характеристика, трябва да се изчисли характеристиката на алгоритъма (например коефициентите пред \sin и \cos от уравнение 1.14), когато входният сигнал е експонента от вида $e^{j\omega t}$.

Пример 1

$$\text{Ако } y(t) = e^{j\omega t}$$

$$y_{-1} = e^{-j\omega \Delta t}$$

$$y_0 = 1$$

$$y_1 = e^{j\omega \Delta t}$$

и от предишната точка и уравненията (4) и (5) се получава

$$\hat{Y}_c = \frac{[y_1 \cos \Theta + y_0 + y_{-1} \cos \Theta]}{1 + 2 \cos^2 \Theta} = \frac{[e^{j\omega \Delta t} \cos \Theta + 1 + e^{-j\omega \Delta t} \cos \Theta]}{1 + 2 \cos^2 \Theta} = \frac{[1 + 2 \cos \Theta \cdot \cos(\omega \cdot \Delta t)]}{1 + 2 \cos^2 \Theta}$$

и

$$\hat{Y}_s = \frac{[y_1 - y_{-1}]}{2 \sin \Theta} = \frac{[e^{j\omega \Delta t} - e^{-j\omega \Delta t}]}{2 \sin \Theta} = j \frac{\sin(\omega \cdot \Delta t)}{\sin \Theta}$$

Може да се види например, че ако входният сигнал е косинусоида $y(t) = \text{Re} \{ e^{j\omega_0 t} \} = \cos(\omega_0 t)$,

то коефициентът пред косинуса е $\hat{Y}_c = 1$, а пред синуса е $\hat{Y}_s = 0$

Ако входният сигнал е косинусоида с начална фаза φ : $y(t) = \text{Re} \{ e^{j(\omega t + \varphi)} \} = \cos(\omega t + \varphi)$,

тогава:

$$\text{коефициентът пред косинуса е } \hat{Y}_c = \cos \varphi \cdot \left[\frac{1 + 2 \sin \Theta \cdot \cos(\omega \cdot \Delta t)}{1 + 2 \cos^2 \Theta} \right],$$

$$\text{а пред синуса е } \hat{Y}_s = \sin \varphi \cdot \left[\frac{\sin(\omega \cdot \Delta t)}{\sin \Theta} \right].$$

Двата члена в скобите са изобразени на фиг. 7 заедно с

$\sqrt{\frac{\hat{Y}_c^2 + \hat{Y}_s^2}{2}}$ (стойността за $\varphi = 45^\circ$) за $\Theta = 30^\circ$ (12 стойности за цикъл). След като се изчислят

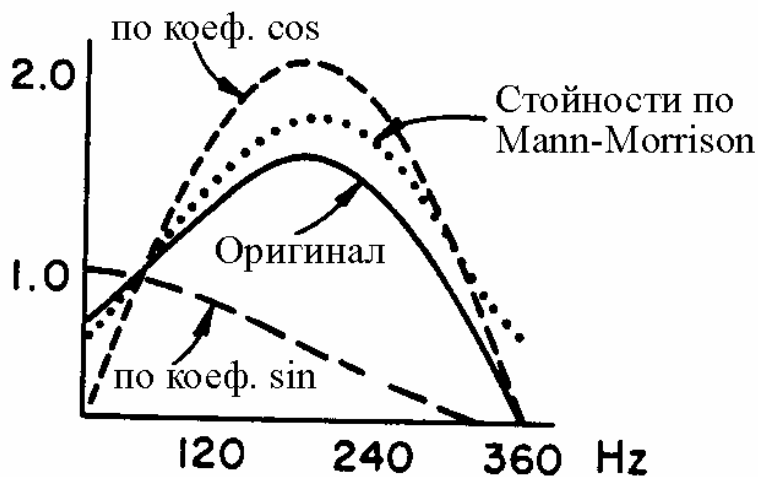
двете величини се получават две честотни характеристики – по коефициентите за синус и по коефициентите за косинус. Изборът на ъгъл φ който се използва в представянето на стойността е произволен. За улеснение се използва $\varphi = 45^\circ$.

Различни честотни характеристики се получават за различни стойности на c_1 и c_2 от (1.6) и (1.7).

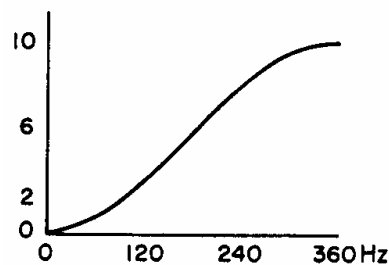
$$Y_c = \hat{Y}_c + c_1[y_1 - 2y_0 \cos \Theta + y_{-1}] \quad (1.6)$$

$$Y_s = \hat{Y}_s + c_2[y_1 - y_0 \cos \Theta + y_{-1}] \quad (1.7)$$

Алгоритъмът на Prodar 70 има специалното предназначение да ограничава ниски честотни влияния. Влиянието на честотата върху алгоритъма на Mann-Morrison и алгоритъм на Prodar 70 при еднаква честота на сканиране (12 стойност за период) са показани на фиг. 2.7 и 2.8.



Фиг. 2.7. Честотна характеристики на уравнения (6 и 7) на алгоритъма на Mann-Morrison



Фиг. 2.8. Честотна характеристика на алгоритъма Prodar 70

Алгоритмите, съпоставени във фиг. 2.7 и фиг. 2.8 представят стойности при честота на сканиране 600 Hz (12 извадки за период). Прозорецът е четвърт период и не дава възможност да се премахват висшите хармоници, особено третият хармоник, което може да се налага в повечето случаи. Тези алгоритми са бързи, защото прозорецът е къс. Алгоритмите с по-дълъг прозорец имат по-голяма възможност да отстраняват висши хармоници за сметка на по-дълго време на пресмятане. Съществува присъщо ограничение на обсега на действие на дистанционната защита на електропроводи, причинено от присъствието на случайни сигнали в измерените напрежения и токове. Определянето на границите на зоната на защита е директно свързан с точността на изчисленията, направени от алгоритъма.

Литература:

1. Phadke A. G., J. S. Thorp. Computer Relaying for Power Systems. Research Studies Press Ltd, Taunton, Somerset, England, 1988
2. Жежов И. Б. Алгоритъм за цифрова дистанционна защита. Дисертация за “доктор”. Енергопроект – ЕАД, 1993
3. Slemon G. R., S. D. T. Robertson, M. Ramamootry (Canada). High speed protection of power systems based on improved power system models. Report No. 31-09, CIGRE-1968
4. Стогний Б.С. Анализ и расчет переходных режимов работы трансформаторов тока. Наукова думка, Киев, 1972

Уравнения за т. к. с. [4, стр. 8]

Пълно уравнение на тока на к.с. при внезапна повреда на клемите на голям синхронен генератор с отчитане на преходния процес в машината:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad i_1 = & i_{dm} \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\
 & + (i_{dm\Pi} - i_{dm}) \cdot F(t) \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\
 & + (i_{dm \text{ нач.}}'' - i_{dm \text{ нач.}}') \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_d''}\right) \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\
 & + (i_{dm \text{ нач.}}' - i_{dm \text{ нач.}}) \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_d'}\right) \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) - \\
 & - i_{qm \text{ нач.}}'' \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_q''}\right) \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_u) - \\
 & - (i_{da} + i_{qa}) \exp\left(\frac{-t}{T_a}\right) - \\
 & - i_{dm(2) \text{ нач.}} \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_a}\right) \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t + \psi_u) + \\
 & + i_{qm(2) \text{ нач.}} \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_a}\right) \cdot \sin(2 \cdot \omega \cdot t + \psi_u).
 \end{aligned}$$

d (индекс) – надлъжна съставка;

q (индекс) – напречна съставка;

' (прим) – преходна съставка;

'' (секонд) – свръхпреходна съставка;

m (индекс) – максимална стойност;

нач (индекс) – начална стойност (в момента $t=0$);

a (индекс) – апериодична съставка;

$i_{dm\Pi}$ – амплитуда на установения ток на к.с. при пределно възбуждане на генератор с АРН;

$F(t)$ – функция, определяща закона на нарастване във времето на синхронния ток в резултат на форсирането на възбуждането;

Ако се разглежда система с няколко генератора изчисляването на преходния ток рязко се усложнява преди всичко заради взаимното свързване на свободните токови съставки на генераторите, а при АРВ – и на принудените. Затова за решаване на практически задачи за изчисляване на т.к.с. в сложни електрически системи са разработени опростени практически методи. В тях се приема, че законът за изменение периодичната съставка на т.к.с., определен за схема с един генератор, може да се използва за приблизителна оценка на тази съставка в схема с произволен брой генератори. Освен това роторът на всяка синхронна машина се предполага, че е симетричен ($x_d'' = x_q''$), което позволява да се ползват напрежения и токове без разлагането на надлъжни и напречни съставки, а също така изключва необходимостта от отчитане на втория хармоник на тока.

$$\begin{aligned}
 (2) \quad i_1 = & i_{1m} \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\
 & + (i_{dm\Pi} - i_{1m}) \cdot F(t) \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\
 & + (i_{1m \text{ нач.}}'' - i_{1m \text{ нач.}}') \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_1''}\right) \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\
 & + (i_{1m \text{ нач.}}' - i_{1m \text{ нач.}}) \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_1'}\right) \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) - \\
 & - i_{1a} \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_1}\right) - \\
 & - i_{1m(2) \text{ нач.}} \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_1}\right) \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t + \psi_u).
 \end{aligned}$$

Допълнително опростяване чрез пренебрегване на съставките с двойна честота и ролята на регулатора на възбуждане $F(t)$, който при електромашинните регулатори влиза в действие 0.2-0.3 s след к.с. и за бързодействащите защиты също може да се пренебрегне:

$$(3) \quad i_1 = i_{1m} \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\ + (i_{1m.нач}'' - i_{1m.нач}') e^{-\frac{t}{T_1''}} \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\ + (i_{1m.нач}'' - i_{1m.нач}') e^{-\frac{t}{T_1''}} \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_u) + \\ + i_{1a} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}}.$$

Допълнително опростяване чрез пренебрегване на разликата между преходните и свръхпреходните съставки:

$$(4) \quad i_1 = i_{1m} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_u + \varphi_k) - i_{1a} \cdot \sin(\psi_u + \varphi_k) \cdot \exp\left(\frac{-t}{T_a}\right).$$

Допълнително опростяване чрез пренебрегване на разликата между максималните стойности на тока пред периодичната i_{1m} и аperiodичната i_{1a} съставки на тока и приемане на най-неблагоприятното съчетание на началната фаза на напрежението ψ_u и ъгълът на късото съе-

$$(5) \quad i_{1m} = i_{1a}; \quad \psi_u + \varphi_k = 90^\circ; \\ i_1 = i_{1m} \cdot \left(\cos(\omega \cdot t) - \exp\left(\frac{-t}{T_a}\right) \right).$$

динение φ_k :

При разсъжденията за преходни режими на релейните защиты се работи с последната, най-простата, форма на запис на тока на к.с. Този запис отговаря и на една най-проста верига, състояща се от източник на синусоидално напрежение, резистор, индуктивност и ключ (фиг. 4.1).

Токове на трифазно късо съединение [кА]

Шини 110 kV	Шинни 220 kV	Шинни 400 kV
	<i>Бургас</i>	
19.1	***	9.75
	<i>АЕЦ</i>	
18.3	31.5	28.7
	<i>Казичене</i>	
39.7	23.9	***
	<i>Горна Оряховица</i>	
17.8	14.9	***
	<i>Марица Изток</i>	
32.7	25.7	***
	<i>ТЕЦ Варна</i>	
35.1	20.8	***
	<i>Столник</i>	
26.2	24.6	17.6
	<i>Мизия</i>	
23.9	24.4	23.8
	<i>София Запад</i>	
21.6	***	21.2
	<i>Добруджа</i>	
33.2	24.4	16.7

По данни от Русия

Времеконстанти на затихване, T_a [s]

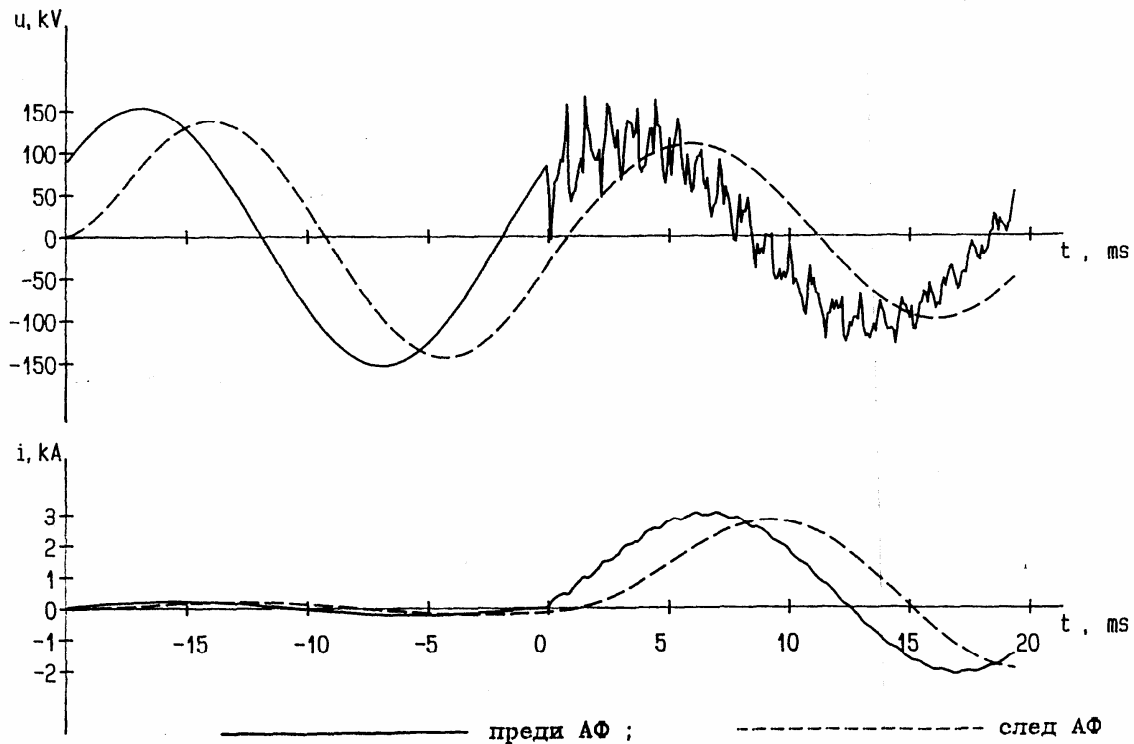
Турбогенератори		
ТВ	37.5÷176.5 MVA	0.200÷0.420 s
ТВВ-200-2	235 MVA	0.300 s
ТВВ-500-2	588 MVA	0.360 s
ТГВ-800	940 MVA	0.560 s
Трансформатори		
35 kV	3.2÷40.5 MVA	0.013÷0.050 s
110 kV	5.6÷240 MVA	0.028÷0.114 s
220 kV	90÷240 MVA	0.087÷0.176 s
330 kV	200÷630 MVA	0.094÷0.440 s
500 kV	200÷630 MVA	0.115÷0.825 s
Шини		
10 kV		0.050÷0.300 s
35 kV		0.010÷0.050 s
110 kV		0.050÷0.200 s
220 kV		0.100÷0.250 s
330 kV		0.200÷0.300 s
550 kV		0.200÷0.600 s
Електропроводи		
35 kV		0.002÷0.010 s
110 kV		0.003÷0.010 s
220 kV		0.012÷0.016 s
АСО-400		0.035 s
АСО-500		0.043 s

Деформиране на напрежението и тока след к.с. и роля на аналоговите ниско- честотни филтри [2, стр. 25]

Както при фиг. 3 електропроводът се представя с определен брой π -звена. Наличието на напречни кондензатори в модела е задължително, за да се отрази наличието на собствени честоти в контура след появата на к.с.

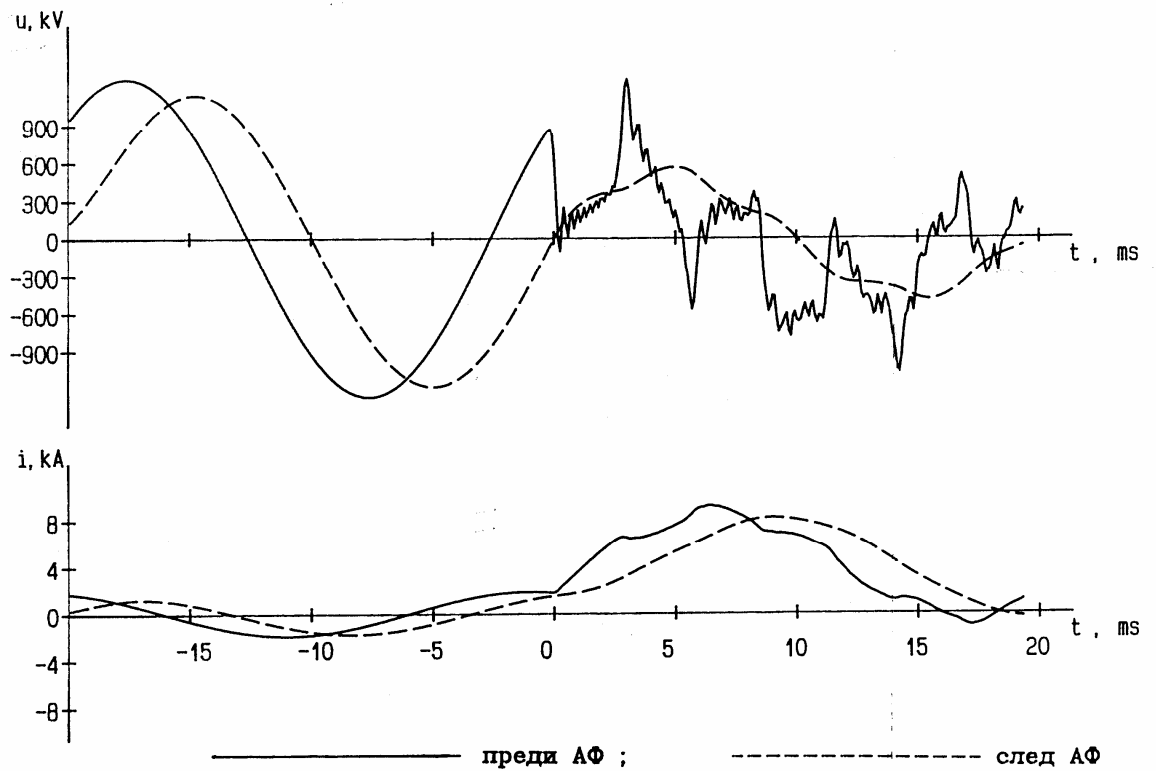
На следващите фигури 1 и 2 са показани деформациите в напрежението и тока в мрежа 110 kV и 750 kV, настъпили след появата на к.с.

На фигурите е показано също и ролята на входните нискочестотни аналогови филтри.



Форма на тока и напрежението при к.с. на линия 110 kV и $\ell = 100$ km

Фиг. 1. Електропровод 110 kV, дължина 100 km. Роля на аналоговия филтър АФ преди АЦП за отделяне на висшите хармоници в тока и напрежението. Видима фазова грешка



Форма на тока и напрежението при к.с. на линия 750 kV и $\ell = 400$ km

Фиг. 2. Електропровод 750 kV, дължина 400 km. Роля на аналоговия филтър АФ преди АЦП за отделяне на висшите хармоници в тока и напрежението. Видима фазова грешка

Грешката ε_i [%], приета като допустима, при моделирането на тока за определени напрежения, брой на звената при моделиране на електропровода и дължина на електропроводите е показана на долната таблица.

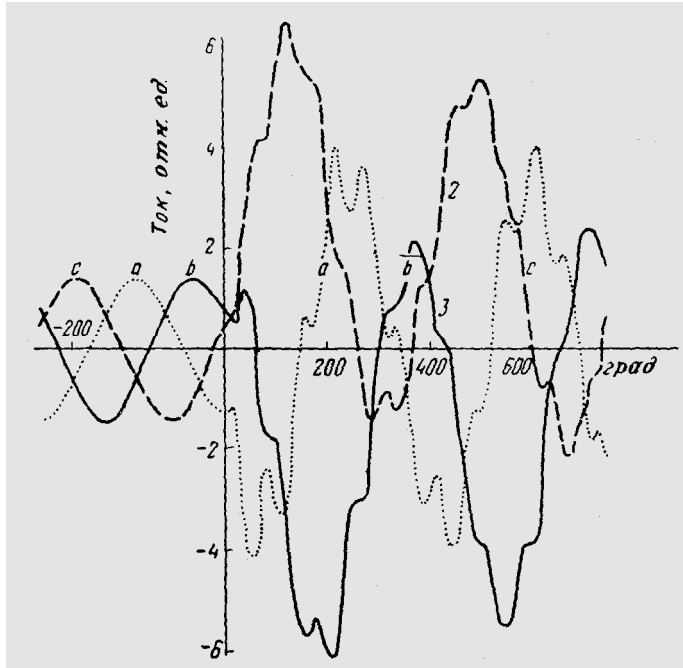
Табл. 1.

U , kV	Брой звена	Дължина на електропровода l , [km]		
		50	100	150
110	2	7.15	9.80	11.50
220	3	-	10.17	12.20
400	4	-	10.43	11.83
750	5	-	12.36	15.72

Грешката ε_i , отразява разликата в резултатите, получени чрез изчисляване с посочените във втората колона звена и резултатите, получена при моделиране с максималния брой 20 звена.

Токове при трифазно к.с. [3 – CIGRE-68]

Необходимост от подробно изучаване и моделиране на мрежата, за получаване на качествена релейна защита



Фиг. 3. Токове при трифазно к.с. в мрежа СВН. Оценка на пресичането през нулата при фазни компаратори

3. Някои алгоритми на цифрови защиты на преносни линии

3.1. Цифровите защиты като устройства, измерващи параметри [1, стр. 123]

Ако изразът (1.14) е обобщение на известни сигнали с основната честота, основен проблем е определянето на коефициентите при описване на сигналите.

$$y(t) = Y_c \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) + Y_s \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + \varepsilon(t) \quad (1.14)$$

Това се използва от редица алгоритми на защиты. Сигналът, който ще бъде анализиран се записва като:

$$y(t) = \sum_{n=1}^N Y_n \cdot s_n(t) + \varepsilon(t) \quad (3.1)$$

или в дискретен вид:

$$y_k = \sum_{n=1}^N Y_n \cdot s_n(k\Delta t) + \varepsilon(t) \quad (3.2)$$

където сигналите $s(t)$ се приемат за известни, но коефициентите Y_n са неизвестни. Очевидните избори за сигнали включват:

$$\left. \begin{array}{l} s_1(t) = \cos(\omega_0 \cdot t) \\ s_2(t) = \sin(\omega_0 \cdot t) \end{array} \right\} \text{основен хармоник;}$$

$$\left. \begin{array}{l} s_3(t) = \cos(2\omega_0 \cdot t) \\ s_4(t) = \sin(2\omega_0 \cdot t) \end{array} \right\} \text{вторият хармоник;}$$

$$\left. \begin{array}{l} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \right\} \text{други хармоници;}$$

$$s_N(t) = e^{-\frac{R}{L} \cdot t} \quad \text{експоненциалното изместване}$$

Проблемът в такъв случай е да се определят коефициентите Y_n от измерванията y_k . Методът с най-малките квадрати е подходящ, ако се запише:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1(\Delta t) & s_2(\Delta t) & \cdot & \cdot & s_N(\Delta t) \\ s_1(2\Delta t) & s_1(2\Delta t) & \cdot & \cdot & s_1(2\Delta t) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ s_1(k\Delta t) & s_1(k\Delta t) & \cdot & \cdot & s_1(k\Delta t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_k \end{bmatrix}$$

или

$$\mathbf{y} = \mathbf{S} \cdot \mathbf{Y} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (3.3)$$

където (3.3) представлява k уравнения с N неизвестни. Ясно е, че се изисква $k \geq N$, за да се определят всички N параметъра. Ако за вектора на грешката $\boldsymbol{\varepsilon}$ се приеме нулева стойност, т.е. $E\{\boldsymbol{\varepsilon}\} = 0$ и ковариантната матрица става

$$E\{\boldsymbol{\varepsilon} \boldsymbol{\varepsilon}^T\} = \mathbf{W}, \quad (3.4)$$

тогава според метода с най-малките квадрати

$$\dot{Y} = (S^T \cdot W^{-1} \cdot S)^{-1} \cdot S^T \cdot W^{-1} \cdot y \quad (3.5)$$

Изчислението дадено от (3.5) е без изместване, т.е.

$$E\{\dot{Y}\} = E\{Y\} \quad (3.6)$$

и има като коварианта

$$E\{(\dot{Y} - Y) \cdot (\dot{Y} - Y)^T\} = (S^T \cdot W^{-1} \cdot S) \quad (3.7)$$

3.1.1. Алгоритми с подходящи емпирични криви [1, стр. 124]

Алгоритмите, развити по уравненията (5.5) приемат по същество, че W е кратна на единична матрица (грешките са некорелентни и независими от стойност до стойност и имат постоянен ковариант), така че решението с метода на най-малките квадрати е

$$\dot{Y} = (S^T \cdot S)^{-1} \cdot S^T \cdot y \quad (3.8)$$

Матрицата $(S^T \cdot S)^{-1} \cdot S^T$ може да бъде изчислена автономно и запазена. Всъщност, единствено двата реда от матрицата, които отговарят на $\cos(\omega_0 \cdot t)$ и $\sin(\omega_0 \cdot t)$ са необходими за импедансна релейна защита (достатъчно е отношението напрежението и тока с основна честота). Ако е включено експоненциалното затихване на тока на к.с., матрицата $(S^T \cdot S)^{-1} \cdot S^T$ е пълна, така че са нужни пълен набор от $2k$ числа. За оценка на параметрите е необходимо да се добавят определен брой хармоници, големината на амплитудата и времеконстантата на аperiодичното изместване от електропровода.

3.1.2. Алгоритми на Фурие [1, стр. 125]

Ако, както при алгоритмите с подходящи емпирични криви, W се приема да е кратна на единична матрица и ако постояннотоковото изместване е премахнато с аналогов филтър или с отделен софтуер, тогава уравненията (5.5) или (5.8) стават изключително прости. Ако единствено основният хармоник и висшите хармониците са включени в множеството $\{s_n(t)\}$ и се използват равен брой стойности, обхващащи цял период, то (5.8) придобива правоъгълна форма от дискретна трансформация на Фурие. С k стойности за период могат да бъдат изчислени $(k/2-1)$ хармоници (теорема на Котелников). Използвайки ортогоналността на синусните и косинусните членове, ij -ят член на матрицата $S^T \cdot S$ е

$$(S^T S)_{ij} \begin{cases} = \sum_{k=1}^K s_i(k \cdot \Delta t) \cdot s_j(k \cdot \Delta t); \\ = \frac{K}{2} \quad \text{за } i = j; \\ = 0 \quad \text{за } i \neq j. \end{cases} \quad (3.9)$$

Съставките с основна честота са дадени от

$$\hat{Y}_c = \frac{2}{K} \sum_{k=1}^K y_k \cdot \cos(k \cdot \Theta); \quad (3.10)$$

$$\hat{Y}_s = \frac{2}{K} \sum_{k=1}^K y_k \cdot \sin(k \cdot \Theta), \quad (3.11)$$

докато за p -ти хармоник

$$\hat{Y}_c^{(p)} = \frac{2}{K} \sum_{n=1}^K y_k \cdot \cos(p \cdot k \cdot \Theta); \quad (3.12)$$

$$\hat{Y}_s^{(p)} = \frac{2}{K} \sum_{n=1}^K y_k \cdot \sin(p \cdot k \cdot \Theta), \quad (3.13)$$

където $\Theta = 2\pi/k$. Дискретната трансформация на Фурие е води до оптимално определяне на основната честота и на всички хармоници, разрешени от честотата на сканиране.

Изчисленията на хармониците дадени в (3.12) и (3.13) не се използват в релейната защита на линии, но участват в защитата на трансформатори.

Честотната характеристика на алгоритъма на най-малките квадрати и алгоритъма на Фурие с пълен цикъл са показани на фиг. 3.1 за честота на сканиране 600 Hz (12 стойности за период). Алгоритъмът на Фурие отстранява постоянно токовата съставка за разлика от алгоритъма на най-малките квадрати. Апроксимиращият алгоритъм премахва експоненциалното затихване и има предимството, че не се изисква външно филтриране за отстраняване на експоненциалното затихване. Негов недостатък е усложняването на изчислението. Алгоритъмът на Фурие може значително да се опрости чрез подходящ избор на честота на сканиране.

3.1.3. Рекурсивни форми [1, стр. 127]

Изчисленията на Фурие в (3.10) и (3.11) или (3.15) и (3.16) представляват по-голямо количество изчисления отколкото всъщност са нужни. В допълнение изчислената величина има фазово изместване върти като в (3.13). Ако се изследва комплексната форма на изчисленията, съдържащи стойности, завършващи в L и се изпусне коефициента $2/K$ в (3.10) и (3.11) или (3.15) и (3.16),

$$Y^{(L)} = \sum_{k=L-K+1}^L y_k \cdot e^{-j(k+K-L)\cdot\Theta} \quad (3.17)$$

и се върти под ъгъл $(K-L)\cdot\Theta$, за да се запази резултата постоянен

$$\tilde{Y}^{(L)} = Y^{(L)} e^{j(K-L)\Theta} = \sum_{k=L-K+1}^L y_k e^{-jk\Theta} \quad (3.18)$$

$$\tilde{Y}^{(L-1)} = \sum_{k=L-K}^{L-1} y_k e^{-jk\Theta} \quad (3.19)$$

Разликата между (3.18) и (3.19) е последния член от (3.18) и първия член от (3.19), т.е.

$$\tilde{Y}^{(L)} = \tilde{Y}^{(L-1)} + [y_L \cdot e^{-jL\Theta} - y_{L-K} \cdot e^{-j(L-K)\Theta}]$$

или

$$\tilde{Y}^{(L)} = \tilde{Y}^{(L-1)} + [y_L - y_{L-K} \cdot e^{jK\Theta}] \cdot e^{-jL\Theta} \quad (3.20)$$

Уравнение (3.20) е валидно за всякаква дължина на прозореца (всякакво K). Ако $K\Theta$ не е кратно на половината цикъл, тогава реалната и имагинерната части на (3.20) трябва да се умножат с матрицата $(S^T S)^{-1}$, за да се получат изчисленията. За прозореца с пълен цикъл, $K\Theta = 2\pi$ и рекурсивната форма на алгоритъма с пълен цикъл става

$$\tilde{Y}_c^{(new)} = \tilde{Y}_c^{(old)} + [y_{new} - y_{old}] \cos(L\Theta) \quad (3.21)$$

$$\tilde{Y}_s^{(new)} = \tilde{Y}_s^{(old)} + [y_{new} - y_{old}] \sin(L\Theta) \quad (3.22)$$

където y_{new} е най-новата стойност, отговаряща на L , а y_{old} е най-старата стойност, отговаряща на пълен цикъл. Ако сигналът е чисто периодичен, тогава $y_{new} = y_{old}$ и величината не се променя.

Забелязва се също, че само едно умножение и едно делене са необходими, за да се осъществи актуализацията на реалната и имагинерните части от изчислението на величината. Разновидностите с половин цикъл на (3.21) и (3.22) с $K\Theta = \pi$ са:

$$\tilde{Y}_c^{(new)} = \tilde{Y}_c^{(old)} + [y_{new} + y_{old}] \cos(L\Theta) \quad (3.23)$$

$$\tilde{Y}_s^{(new)} = \tilde{Y}_s^{(old)} + [y_{new} + y_{old}] \sin(L\Theta) \quad (3.24)$$

където y_{new} и y_{old} са разделени от половин цикъл в (3.23) и (3.24). Отново ако $y_{new} = -y_{old}$ (чист основен честотен сигнал или сигнал единствено с нечетни хармоници) величината остава непроменена. Липсващият множител от $2/k$ може да бъде включен в табличното определяне на числата в микропроцесора.

Въпреки, че рекурсивните форми на изчисленията на Фурие са изключително прости, трябва да се отбележи, че голям брой токове и напрежения трябва да се обработят за пълна трифазна защита на преносна линия. Калкулациите могат още повече да се опростят чрез подходящ избор на скорост на обработване на стойностите. Скорост от четири стойности за период би единствено изисквала синусите и косинусите на кратни ъгли на 90° (т.е. $0, \pm 1$) и следователно прави актуализацията чисто събиране. За нещастие, това е доста бавна скорост за някои приложения. Ако скоростта се увеличи до осем стойности за цикъл, синусите и косинусите са от кратни ъгли на 45° ($0, \pm 1$ и $\sqrt{2}/2$). При 12 стойности за цикъл множителите са $0, \pm 1, \pm 1/2$ и $\pm \sqrt{3}/2$. Във всички тези случаи умножението с ирационално число може да се осъществи външно с аналогов делител на напрежение или да се апроксимира в софтуер от множество изваждания и събирания.

3.1.4. Алгоритми с функциите на Уолш [1, стр. 129]

Функциите на Уолш имат предимството, че всички умножения, необходими за изчисляването на (3.8) са ± 1 . Ако се вземе $N = 2^n$ и

$$s_n(t) = w_n(t) \quad (3.25)$$

тогава

$$(S^T S) \quad (3.26)$$

и

$$\hat{Y}_n = \frac{1}{2^n} \sum_{k=1}^{2^n} y_k w_n(k\Theta) \quad (3.27)$$

Пример 3. Извеждането от гледна точка на първите четири функции на Уолш би включвало изчисленията

$$\tilde{Y}_1 = \frac{1}{4} (y_1 + y_2 + y_3 + y_4)$$

$$\tilde{Y}_2 = \frac{1}{4} (y_1 + y_2 - y_3 - y_4)$$

$$\tilde{Y}_3 = \frac{1}{4} (y_1 - y_2 - y_3 + y_4)$$

$$\tilde{Y}_4 = \frac{1}{4} (y_1 - y_2 + y_3 - y_4)$$

Голям брой членове на Уолш трябва да се включат, за да се получи точно изчисление на съставящите. Предимството от простотата на (3.27) е неутрализирано от необходимостта от голям брой членове и от нуждата да се преминава от Уолш към Фурие. Ако се използват достатъчен брой коефициенти на Уолш, честотната характеристика на алгоритъма на Уолш е еднаква с тази на алгоритъма на Фурие с пълен цикъл.

3.2. Алгоритми на цифрови защиты, използващи диференциалните уравнения на електрическата верига [1, стр. 130]

Алгоритмите с диференциални уравнения представляват втората главна тема в цифровите релейни защиты на електропроводи. Алгоритмите, разгледани досега, се основават на описанието на формата на вълната и са предимно алгоритми на импедансни релейни защиты. Тези алгоритми се опитват да определят основния хармоник на токовете и напреженията, за да се определи импедансът до мястото на к. с. Алгоритмите с диференциални уравнения, от друга страна, се базират повече на модел на мрежата, отколкото на сигналите. Все пак, те все още могат да бъдат разглеждани като определяне на параметрите. Ако се вземе еднофазният модел на повредената линия, показана на фиг. 2.1, и се запише диференциално уравнение, свързващо напрежението и тока отчетени от релето, се получава

$$u(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} \quad (3.28)$$

Тъй като $u(t)$ и $i(t)$ са измерени е възможно определянето на параметрите R и L , както и на разстоянието до к. с. Понеже производните на измерените величини се получават трудно, McInnes и Morrison достигат до решение чрез интегрирането на (3.28) в два последователни интервала:

$$\int_{t_0}^{t_1} u(t) dt = R \int_{t_0}^{t_1} i(t) dt + L \int_{t_0}^{t_1} \frac{di(t)}{dt} dt \quad (3.29)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} u(t) dt = R \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt + L \int_{t_1}^{t_2} \frac{di(t)}{dt} dt \quad (3.30)$$

или

$$\int_{t_0}^{t_1} u(t) dt = R \int_{t_0}^{t_1} i(t) dt + L[i(t_1) - i(t_0)] \quad (3.29)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} u(t) dt = R \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt + L[i(t_2) - i(t_1)] \quad (3.30)$$

В уравненията (3.29) и (3.30) трябва да бъдат заместени измерените стойности. Ако стойностите са равно разположени една от друга на интервал Δt и за интегриране се използва правилото на трапеците се получава

$$\int_{t_0}^{t_1} u(t) dt = \frac{\Delta t}{2} [u(t_1) + u(t_0)] = \frac{\Delta t}{2} [u_1 + u_0] \quad (3.31)$$

тогава (5.29) и (5.30) могат да бъдат записани за стойности в k , $k+1$ и $k+2$ като

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta t}{2}(i_{k+1} + i_k) & (i_{k+1} - i_k) \\ \frac{\Delta t}{2}(i_{k+2} + i_{k+1}) & (i_{k+2} - i_{k+1}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta t}{2}(u_{k+1} + u_k) \\ \frac{\Delta t}{2}(u_{k+2} + u_{k+1}) \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

Три стойности на тока и напрежението са достатъчни за изчислението на R и L като:

$$R = \left[\frac{(u_{k+1} + u_k)(i_{k+2} - i_{k+1}) - (u_{k+2} + u_{k+1})(i_{k+1} - i_k)}{(i_{k+1} + i_k)(i_{k+2} - i_{k+1}) - (i_{k+2} + i_{k+1})(i_{k+1} - i_k)} \right] \quad (3.33)$$

$$L = \frac{\Delta t}{2} \left[\frac{(u_{k+2} + u_{k+1})(i_{k+1} + i_k) - (u_{k+1} + u_k)(i_{k+2} + i_{k+1})}{(i_{k+1} + i_k)(i_{k+2} - i_{k+1}) - (i_{k+2} + i_{k+1})(i_{k+1} - i_k)} \right] \quad (3.34)$$

Алгоритъмът с диференциални уравнения (3.33) и (3.34) не е много селективен. Подобряване на селективността се получава чрез използване на по-дълъг прозорец. Разширяването на подхода с диференциални уравнения с по-дълъг прозорец заема множество форми. Един от начините е да се направят интервалите $[t_0, t_1]$ и $[t_1, t_2]$ в (3.29) и (3.30) по-дълги. Възможно е интервалите да се изберат по такъв начин, че да се отстранят определени хармоници, както това е показано в темата “Цифрови филтри”. За да се отстранят например втори, трети и пети хармоник е необходимо честотата на сканиране да бъде поне 1500 Hz, т.е. броят на точките в един период да бъде $N = 30$ [2, стр. 4.16]. Освен това входните величини в ЦРЗ преминават през входни нискочестотни филтри и могат да имат само незначителни хармоници над трети.

Друг начин е да се направи интегриране по правилото на трапеците в интервала между съседни стойности и да се получи определена поредица от уравнения във формата:

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta t}{2}(i_{k+1} + i_k) & (i_{k+1} - i_k) \\ \frac{\Delta t}{2}(i_{k+2} + i_{k+1}) & (i_{k+2} - i_{k+1}) \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \frac{\Delta t}{2}(i_{k+N} + i_{k+N-1}) & (i_{k+N} - i_{k+N-1}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta t}{2}(u_{k+1} + u_k) \\ \frac{\Delta t}{2}(u_{k+2} + u_{k+1}) \\ \cdot \\ \cdot \\ \frac{\Delta t}{2}(u_{k+N} + u_{k+N-1}) \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

Резултатите от решението на (3.28) с интегриране могат да се оптимизират по метода на най-малките квадрати, но решението става още по-сложно и поради това е практически неприложимо [2, стр. 11.16]. За да се избегнат някои от тези проблеми е разработен метод, използващ поредица от изчисления, всяко от които е получено от алгоритъма с три отчета [3].

Допълнителен проблем свързан с честотната характеристика на тези алгоритми е, че изчислените стойности на R и L са верни докато $i(t)$ и $u(t)$ удовлетворяват диференциалното уравнение (без значение какви са честотите в $i(t)$ и $u(t)$).

Обобщение

В тази тема се разглеждат алгоритми на защиты на електропроводи. Прието е като общо ограничение за всички алгоритми, че появата на несинусоидални колебания в тока и напрежението е след повредата. Алгоритмите или се опитват да оценят импеданса по основния хармоник на тока и напрежението, или използват последователен R-L модел на електропровода, при който сигналите не могат да се моделират и се допускат грешки при определяне на мястото на повредата. Поведението на алгоритмите при експоненциално изместване на тока на к.с. е важно съображение при оценяване на разликата между тях. Ако аperiодичната съставка е отделена чрез аналогово филтриране или чрез отделна подпрограма, преди сигналът да попадне в алгоритъма на релето, то алгоритмите от типа “Фурие” предлагат важни предимства по отношение на простотата и техническите характеристики. За алгоритмите с диференциални уравнения не се препоръчва премахване на аperiодичната съставка, но има някои ограничения на характеристиките при дълги електропроводи ВН, ако структурата на системата и захранващите шини са сложно свързани. Ако се приеме, че областта на грешките на измерване на тока и напрежението има значителни отклонения при своето статистическо описание по време на реализиране на алгоритъма на релето, то филтрите на Калман отбелязват това отклонение. При по-детайлно моделиране на грешките нарастват трудностите при изчислителните процедури.

Трябва също до се обмислят и допълнителни характеристики на алгоритмите на релетата като тяхната способност да определят типа на повредата. Използването на съставящите на Едит Кларк

$(\alpha, \beta, 0)$ [4; 5, стр. 384] и симетричните съставящи $(1, 2, 0)$ осигурява техническа възможност за определяне на типа на повредата от съвременните алгоритми. Като следствие на грешно определен тип на повредата се налага допълнително обмисляне при избора на алгоритъм.

Заклучение:

- Присъщо е да се предявяват изисквания към бързодействието на дистанционните релета.

- След появата на повреда се появяват в тока и напрежението непредвидими компонентите с честота, различна от основната.
- Близките повреди ще се определят правилно и от алгоритми с малък прозорец от данни, но за отдалечените релета се препоръчва по-дълъг прозорец от данни. Това становище трябва да се отчита при алгоритми с фиксиран прозорец от данни.
- Важно предимство имат алгоритмите на релета, които имат адаптиране на бързодействието.

Литература:

1. Phadke A. G., J. S. Thorp. Computer Relaying for Power Systems. Research Studies Press Ltd, Taunton, Somerset, England, 1988
2. Витанов А. Б. Дистанционни релета. Хабилизационен труд. НИТИ “Енергопроект”, София, 1990
3. Breingan W. D., M. M. Chen, T. F. Gallen. The Laboratory Investigation of a Digital System for the Protection of Transmission Lines. IEEE Trans. on PAS, Vol. 98, No. 2, March/April 1979, pp 350-368
4. Edith Clarce. Circuit Analysis of a A-C Power Systems. Vol. I, John Wiley & Sons, New York, 1943
5. Чернин А. Б. Основы вычислений электрических величин для релейной защиты при сложных повреждениях в электрических системах. Энергия, Москва, 1971

4. Таблица с алгоритмите за цифрови дистанционни защиты

Алгоритмите, които са избрани за сравнение са представени в табл. 1. Първите девет от тях, обозначени като 1_1 до 1_9 са I клас алгоритми, които се базират на модела с диференциални уравнения на електропроводната линия. Останалите шест алгоритъма, означени като 2_1 до 3_2 са II клас алгоритми, които са базирани на входно-изходните модели на сигнала.

Алгоритми 1_1 до 1_4 се базират на метода на Mc Innes, Morrison. В 1_1 се определя активното и индуктивно съпротивление на електропроводната линия като се използват три стойности от измерените ток и напрежение. Алгоритми 1_2, 1_3 и 1_4 се основават на същият метод но при тях се интегрира с период съответно $T/4$, $T/8$ и T , като T е големината на един период на тока (напрежението).

Следващите два алгоритъма (Breingan et. al.) представят разнообразието от начини, по които интеграционният подход се прилага към модела с диференциални уравнения. При 1_5 се използват само три стойности за период, докато при 1_6 се използва интегриране с период T , за намаляване на грешката, породена от изкривяването на сигнала при наличие на висши хармоници.

Алгоритми 1_7, 1_8 и 1_9 представят метода на Ranjbar и Coгу като в 1_7 се използват само пет стойности за период. При 1_8 и 1_9 се интегрира с период $T/4$ и T за да се получи по-голяма точност на изчислените импеданси.

Клас II се състои от тези алгоритми, в които не се прилага оптимизация за определянето на параметрите в сигнала. Алгоритми 2_1 до 3_2 представляват подгрупа, в която се моделират единствено основните честотни съставящи. 2_1 и 2_2 представя метода на Lobosh. Алгоритми 2_3 и 2_4 се основават на метода на Gilbert, Shovlin. При този клас алгоритми, в 2_1 и 2_3 се изчислява R и X на електропроводната линия, използвайки три (четири) стойности. При 2_2 и 2_4 се обхожда целия период и се намират средните стойности на R и X за всеки от методите за да се намали влиянието на висшите хармоници.

При алгоритми 3_1 и 3_2 се прави Фурие анализ на сигнала съответно за цял период в 3_1 и за половин период при 3_2.

Клас и №	Алгоритъм	Математическа форма	Период
1_1	Mc Innes, Morrison	$R = \left[\frac{(U(2) + U(1))(I(3) - I(2)) - (U(3) + U(2))(I(2) - I(1))}{(I(2) + I(1))(I(3) - I(2)) - (I(3) + I(2))(I(2) - I(1))} \right]$ $X = \frac{\omega \Delta t}{2} \left[\frac{(U(3) + U(2))(I(2) + I(1)) - (I(3) + I(2))(U(2) + U(1))}{(I(2) + I(1))(I(3) - I(2)) - (I(3) + I(2))(I(2) - I(1))} \right]$	----
1_2	Mc Innes, Morrison	$\int_{t_1}^{t_2} u \cdot dt = R \cdot \int_{t_1}^{t_2} i \cdot dt + L \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{di}{dt} \cdot dt, \quad \int_{t_3}^{t_4} u \cdot dt = R \cdot \int_{t_3}^{t_4} i \cdot dt + L \cdot \int_{t_3}^{t_4} \frac{di}{dt} \cdot dt;$ $t_2 - t_1 = t_2 - t_1 = T/4$ $R = \left[\frac{(U(k+1) + U(k))(I(k+2) - I(k+1)) - (U(k+2) + U(k+1))(I(k+1) - I(k))}{(I(k+1) + I(k))(I(k+2) - I(k+1)) - (I(k+2) + I(k+1))(I(k+1) - I(k))} \right]$ $X = \frac{\omega \Delta t}{2} \left[\frac{(U(k+2) + U(k+1))(I(k+1) + I(k)) - (I(k+2) + I(k+1))(U(k+1) + U(k))}{(I(k+1) + I(k))(I(k+2) - I(k+1)) - (I(k+2) + I(k+1))(I(k+1) - I(k))} \right]$	T/4
1_3	Mc Innes, Morrison	$\int_{t_1}^{t_2} u \cdot dt = R \cdot \int_{t_1}^{t_2} i \cdot dt + L \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{di}{dt} \cdot dt, \quad \int_{t_3}^{t_4} u \cdot dt = R \cdot \int_{t_3}^{t_4} i \cdot dt + L \cdot \int_{t_3}^{t_4} \frac{di}{dt} \cdot dt;$ $t_2 - t_1 = t_2 - t_1 = T/8$ $R = \left[\frac{(U(k+1) + U(k))(I(k+2) - I(k+1)) - (U(k+2) + U(k+1))(I(k+1) - I(k))}{(I(k+1) + I(k))(I(k+2) - I(k+1)) - (I(k+2) + I(k+1))(I(k+1) - I(k))} \right]$ $X = \frac{\omega \Delta t}{2} \left[\frac{(U(k+2) + U(k+1))(I(k+1) + I(k)) - (I(k+2) + I(k+1))(U(k+1) + U(k))}{(I(k+1) + I(k))(I(k+2) - I(k+1)) - (I(k+2) + I(k+1))(I(k+1) - I(k))} \right]$	T/8

1_4	Mc Innes, Morrison	$R = \left[\frac{(U(k+1) + U(k))(I(k+2) - I(k+1)) - (U(k+2) + U(k+1))(I(k+1) - I(k))}{(I(k+1) + I(k))(I(k+2) - I(k+1)) - (I(k+2) + I(k+1))(I(k+1) - I(k))} \right]$ $X = \frac{\omega \Delta t}{2} \left[\frac{(U(k+2) + U(k+1))(I(k+1) + I(k)) - (I(k+2) + I(k+1))(U(k+1) + U(k))}{(I(k+1) + I(k))(I(k+2) - I(k+1)) - (I(k+2) + I(k+1))(I(k+1) - I(k))} \right]$ $k = 1 : (T-2)$	T
1_5	Brein- gan et. al.	$\frac{U(2) + U(1)}{2} = R \cdot \frac{I(2) + I(1)}{2} + L \cdot \frac{I(2) - I(1)}{\Delta t},$ $\frac{U(3) + U(2)}{2} = R \cdot \frac{I(3) + I(2)}{2} + L \cdot \frac{I(3) - I(2)}{\Delta t}$ $X = \frac{\omega \Delta t}{2} \left[\frac{(U(2) + U(1))(I(3) + I(2)) - (U(3) + U(2))(I(2) + I(1))}{(I(2) - I(1))(I(3) + I(2)) - (I(3) - I(2))(I(2) + I(1))} \right]$ $R = \frac{\Delta t \cdot (U(2) + U(1)) - \frac{2 \cdot X}{\omega} \cdot (I(2) - I(1))}{\Delta t \cdot (I(2) + I(1))}$	---- -
1_6	Brein- gan et. al.	$X = \frac{\omega \Delta t}{2} \left[\frac{(U(k+1) + U(k))(I(k+2) + I(k+1)) - (U(k+2) + U(k+1))(I(k+1) + I(k))}{(I(k+1) - I(k))(I(k+2) + I(k+1)) - (I(k+2) - I(k+1))(I(k+1) + I(k))} \right]$ $R = \frac{\Delta t \cdot (U(k+1) + U(k)) - \frac{2 \cdot X}{\omega} \cdot (I(k+1) - I(k))}{\Delta t \cdot (I(k+1) + I(k))}; k = 1 : (T-2)$	T
1_7	Ranjbar, Cory	$X = \frac{\omega \Delta t}{2} \left[\frac{(U(3) + 2U(4) + U(5))(U(1) + 2U(2) + U(3)) - (U(1) + 2U(2) + U(3))(U(3) + 2U(4) + U(5))}{(I(5) - I(3))(I(1) + 2I(2) + I(3)) - (I(3) - I(1))(I(3) + 2I(4) + I(5))} \right]$ $R = \frac{\Delta t \cdot (U(1) + 2 \cdot U(2) + U(3)) - \frac{2 \cdot X}{\omega} \cdot (I(3) - I(1))}{\Delta t \cdot (I(1) + 2 \cdot I(2) + I(3))}$	---- -

1_8 Ranjbar,
Cory

$$\int_{t_1}^{t_2} u \cdot dt + \int_{t_3}^{t_4} u \cdot dt = R \cdot \int_{t_1}^{t_2} i \cdot dt + R \cdot \int_{t_3}^{t_4} i \cdot dt + L \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{di}{dt} \cdot dt + L \cdot \int_{t_3}^{t_4} \frac{di}{dt} \cdot dt ,$$

$$t_2 - t_1 = t_2 - t_1 = T/4$$

$$\int_{t_1'}^{t_2'} u \cdot dt + \int_{t_3'}^{t_4'} u \cdot dt = R \cdot \int_{t_1'}^{t_2'} i \cdot dt + R \cdot \int_{t_3'}^{t_4'} i \cdot dt + L \cdot \int_{t_1'}^{t_2'} \frac{di}{dt} \cdot dt + L \cdot \int_{t_3'}^{t_4'} \frac{di}{dt} \cdot dt ,$$

$$t' = t + 2 \cdot \Delta t$$

$$X = \frac{\omega \cdot \Delta t}{2} \cdot \left[\frac{(U(k+2) + 2U(k+3) + U(k+4))(U(k) + 2U(k+1) + U(k+2))}{(I(k+4) - I(k+2))(I(k) + 2I(k+1) + I(k+2)) - (I(k+2) - I(k))(I(k+2) + 2I(k+3) + I(k+4))} - \frac{(U(k) + 2U(k+1) + U(k+2))(U(k+2) + 2U(k+3) + U(k+4))}{(I(k+4) - I(k+2))(I(k) + 2I(k+1) + I(k+2)) - (I(k+2) - I(k))(I(k+2) + 2I(k+3) + I(k+4))} \right]$$

$$R = \frac{\Delta t \cdot (U(k) + 2U(k+1) + U(k+2)) - \frac{2 \cdot X}{\omega} \cdot (I(k+2) - I(k))}{\Delta t \cdot (I(k) + 2I(k+1) + I(k+2))}$$

1_9 Ranjbar,
Cory

$$X = \frac{\omega \cdot \Delta t}{2} \cdot \left[\frac{(U(k+2) + 2U(k+3) + U(k+4))(U(k) + 2U(k+1) + U(k+2))}{(I(k+4) - I(k+2))(I(k) + 2I(k+1) + I(k+2)) - (I(k+2) - I(k))(I(k+2) + 2I(k+3) + I(k+4))} - \frac{(U(k) + 2U(k+1) + U(k+2))(U(k+2) + 2U(k+3) + U(k+4))}{(I(k+4) - I(k+2))(I(k) + 2I(k+1) + I(k+2)) - (I(k+2) - I(k))(I(k+2) + 2I(k+3) + I(k+4))} \right]$$

$$R = \frac{\Delta t \cdot (U(k) + 2U(k+1) + U(k+2)) - \frac{2 \cdot X}{\omega} \cdot (I(k+2) - I(k))}{\Delta t \cdot (I(k) + 2I(k+1) + I(k+2))}$$

$$k = 1 : (T - 4)$$

T/4

T

2_1	Lobosh		-----
		$R = \frac{U(2).(I(4) - I(2)) - U(3).(I(3) - I(1))}{I(2).(I(4) - I(2)) - I(3).(I(3) - I(1))}$ $X = \frac{2.(U(3).I(2) - U(2).I(3)).\sin \omega\Delta t}{I(2).(I(4) - I(2)) - I(3).(I(3) - I(1))}$	
2_2	Lobosh	$R = \frac{U(i+1).(I(i+3) - I(i+1)) - U(i+2).(I(i+2) - I(i))}{I(i+1).(I(i+3) - I(i+1)) - I(i+2).(I(i+2) - I(i))}$ <p style="text-align: center;">$k = 1 : (T - 3)$</p> $X = \frac{2.(U(i+2).I(i+1) - U(i+1).I(i+2)).\sin \omega\Delta t}{I(i+1).(I(i+3) - I(i+1)) - I(i+2).(I(i+2) - I(i))}$	T
2_3	Gilbert, Shovlin	$R = \frac{2.U(2).I(2) - U(3).I(1) - U(1).I(3)}{2.(I(2)^2 - I(3).I(1))}$ $X = \frac{U(2).I(3) - U(3).I(2)}{I(2)^2 - I(3).I(1)} \sin \omega\Delta t$	-----
2_4	Gilbert, Shovlin	$R = \frac{2.U(i+1).I(i+1) - U(i+2).I(i) - U(i).I(i+2)}{2.(I^2(i+1) - I(i+2).I(i))}$ <p style="text-align: center;">$k = 1 : (T - 2)$</p> $X = \frac{U(i+1).I(i+2) - U(i+2).I(i+1)}{I^2(i+1) - I(i+2).I(i)} \sin \omega\Delta t$	T
3_1	Slemon et. al.	Фурие анализ цял период	T
3_2	Thorp et. al.	Фурие анализ половин период	T/2

Изследвания

Представява интерес изследване на качествата на алгоритмите (точност, бързодействие, ресурс и т.н.) при:

1. Различна честота на сканиране
При това изследване се прави анализ за влиянието на честотата на сканиране върху изчисляването на R и X от алгоритъма. Използват се различен брой на точки на сканиране за период, като по този начин се симулират стандартните съществуващи АЦП. – т.е. $s = 4, 8, 12, 16, 24, 32, 96$ стойности за период.
2. Промяна на мрежовата честота
Прави се анализ за влиянието на промяната на мрежовата честота върху точността на изчисленията. Прави се изследване при промяна на честотата в диапазона: $48 \div 52$ Hz. За всяка една от посочените честоти се правят изчисления за R и X при различно s.
3. Влияние на висшите хармоници
Анализира се влиянието на висшите хармоници върху точността на изчисляване на R и X от всеки един от алгоритмите. Най-силно изразени в мрежи ВН са трети и пети

хармоник. За анализиране влиянието на това смущаващо въздействие към основния хармоник се прибавят осем процента трети и два процента пети хармоник. Отново се изчисляват R и X при честоти в диапазона $48 \div 52$ Hz, при различна честота на сканиране.

Изводи

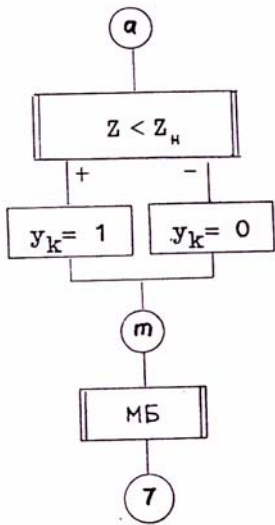
При синусоидален ток и напрежение, без висши хармоници и при честота, равна на номиналните 50 Hz, броят на сканираните точки за един период оказват влияние върху точността на изчисленията само при алгоритмите с диференциални уравнения. При останалите алгоритми това влияние е слабо изразено. Промяната на честота оказва влияние на всички алгоритми с изключение на 2_1 \div 2_4. Висшите хармоници оказват силно влияние върху точността на почти всички алгоритми. Чрез въвеждане на интегриране с по-голям интервал за част от алгоритмите се постига частично намаляване на въздействието на хармониците. Алгоритмите използващи разлагане в ред на Фурие най-малко се влияят от наличието на висши хармоници. Друг начин за намаляване на грешката породена от хармоници е използването на алгоритмите на Ranjbar, Cory.

Литература за алгоритми на дистанционни защиты:

1. Phadke A. G., J. S. Thorp. Computer Relaying for Power Systems. Research Studies Press Ltd, Taunton, Somerset, England, 1988
2. Kezunovic M., J. T. Cain, B. Perunicic. "Digital Protective Relaying Algorithm Sensitivity Study and Evaluation", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, July 1988
3. Phadke A. G., T. Hlibka. M. Ibrahim and M. G. Adamiak, "A Microprocessor Based Symmetrical Component Distance Relay", Proceedings of PICA, May 1979, Cleveland.
4. Mann B.J., I. F. Morrison. "Digital Calculation of Impedance for Transmission Line Protection", IEEE Trans, on PAS, Vol. 90, No. 1, January/February 1971, pp 270-279.
5. A. M. Ranjbar, B.J. Cory. "An Improved Method for Digital Protection of High Voltage Transmission Lines", IEEE Trans, on PAS, Vol. 94, No. 2, March/April 1975, pp 544-550.
6. Ranjbar A.M., B.J. Cory. "Algorithms for distance protection", IEE Conf. Publ. 125, Int. Conf. on Development of Power System Protection, 1975.
7. Gilbert J.G., E.A. Udren, M. Sackin. "Evaluation for Computer Relaying", IEEE Publication No. 77CH1193 PWR, Paper No A77-520-0, IEEE PES Summer Meeting, Mexico City, July 1977, pp 1-8.
8. Gilbert J.G., R. J. Shovlin. "High speed transmission line fault impedance calculation using dedicated mini computer", IEEE Trans. On power Apparatus and Systems, May/June, 1975.

5. Характеристики на дистанционни релета [2, стр. 11.17]

Обща блок-схема на алгоритъм за сравнение на входния импеданс с характеристиката на релето е дадена на фиг. 5.1.



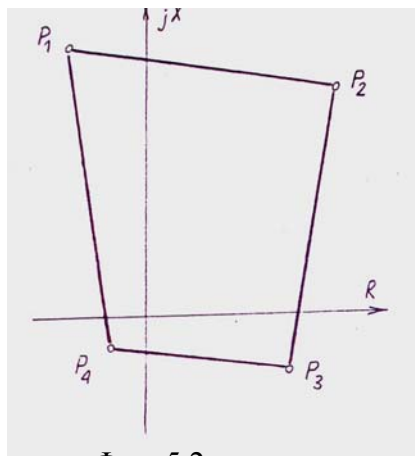
Фиг. 5.1

Характеристиката на ДР може да бъде произволна линия, зададена в подпрограмата на микропроцесорната система аналитично или таблично. Програмата проверява всеки квант дали импедансът, отговарящ на изчислените R и X е в работната област (блок “ $Z < Z_H$ ”). Резултатите се оценяват от мажоритарен брояч (блок “МБ”), който дава сигнал P за заработване или възвръщане на релето.

Съществено преимущество на цифровите дистанционни релета е, че тяхната характеристика много лесно може да се променя. Това позволява характеристиката да бъде адаптивна: да има различна форма при различните видове к.с., различна настройка при различни режими на мрежата и др. Друго преимущество е, че изчислените стойности на R и X съдържат пряка информация за разстоянието до мястото на к. с. и ЦДЗ може да изпълнява и функциите на измерител на това разстояние.

Въпреки неограничената свобода на избора на характеристиката, се предпочита тя да бъде многоъгълник (обикновено четириъгълник), тъй като в този случай нейното задаване и проверка са най-лесни.

Като пример на фиг. 5.2 е показана характеристика във вид на четириъгълник с върхове в точните $P_i(R_i, X_i)$. Ако $X_1 > X_2 > X_4 > X_3$, $R_2 > R_3 > R_4 > R_1$, точката на входния импеданс $P(R, X)$ е вътре в четириъгълника, когато са изпълнени едновременно следните условия:



Фиг. 5.2

$$\frac{X_1 - X}{R_1 - R} < \frac{X_1 - X_2}{R_1 - R_2}; \quad \frac{X_2 - X}{R_2 - R} < \frac{X_2 - X_3}{R_2 - R_3}; \quad \frac{X_3 - X}{R_3 - R} < \frac{X_3 - X_4}{R_3 - R_4}; \quad \frac{X_4 - X}{R_4 - R} < \frac{X_4 - X_1}{R_4 - R_1}$$

и блок “ $Z < Z_H$ ” във фиг. 7.1 включва проверката на тези неравенства.

Заклучение

Съществуват голям брой методи за определяне на входния импеданс на ЦДР.

Първата група методи се основава на изчисление на големината и фазата на основните хармоници на входните величини на ДР (напрежение и ток), от които след това се пресмята векторът на импеданса

Втората група методи се основава на решаване на диференциалното уравнение на линията, от което се намират активното и реактивното съпротивление до мястото на к. с. Решаването на уравнението може да се извършва непосредствено (с производни) или чрез интегрирането му в различни интервали, което отстранява грешките от висшите хармоници.

Дадени са алгоритми на цифрови дистанционни релета, почиващи на изброените методи. Тяхната съпоставка показва, че ако измервателните и междинните трансформатори възпроизвеждат правилно входните величини, следва да се препоръча алгоритъмът с решаване на диференциално уравнение чрез интегриране. Обратно, ако има опасения от насищане на измервателните и междинните трансформатори, трябва да се предпочита филтриране на входните величини на дистанционното реле по метода на апроксимацията.

Приемания

В темата за алгоритми на дистанционните релета за електропроводи се правят няколко приемания.

- Прието е като общо ограничение за всички алгоритми, че появата на несинусоидални колебания в тока и напрежението е след повредата. След появата на повреда се появяват в тока и напрежението непредвидими компонентите с честота, различна от основната.
- Алгоритмите или се опитват да оценят импеданса по основния хармоник на тока и напрежението, или използват последователен R-L модел на електропровода, при който сигналите не могат да се моделират и се допускат грешки при определяне на мястото на повредата.
- Поведението на алгоритмите при експоненциално изместване на тока на к.с. е важно съображение при оценяване на разликата между тях. Ако апериодичната съставка е отделена чрез аналогово филтриране или чрез отделна подпрограма, преди сигналът да попадне в алгоритъма на релето, то алгоритмите от типа “Фурие” предлагат важни предимства по отношение на простотата и техническите характеристики.
- За алгоритмите с диференциални уравнения не се препоръчва премахване на апериодичната съставка, но има някои ограничения на характеристиките при дълги електропроводи ВН, ако структурата на системата и захранващите шини са сложно свързани.
- Ако се приеме, че областта на грешките на измерване на тока и напрежението има значителни отклонения при своето статистическо описание по време на реализиране на алгоритъма на релето, то филтрите на Калман отбелязват това отклонение. При по-детайлно моделиране на грешките нарастват трудностите при изчислителните процедури.
- Трябва също до се обмислят и допълнителни характеристики на алгоритмите на релетата като тяхната способност да определят типа на повредата. Използването на съставящите на Едит Кларк $(\alpha, \beta, 0)$ [4, 5-стр. 384] и симетричните съставящи $(1, 2, 0)$ осигурява техническа възможност за определяне на типа на повредата от съвременните алгоритми. Като следствие на грешно определен тип на повредата се налага допълнително обмисляне при избора на алгоритъм.
- Присъщо е да се предявяват изисквания към бързодействието на дистанционните релета.
- Близките повреди ще се определят правилно и от алгоритми с малък прозорец от данни, но за отдалечените релета се препоръчва по-дълъг прозорец от данни. Това становище трябва да се отчита при алгоритми с фиксиран прозорец от данни.
- Важно предимство имат алгоритмите на релета, които имат адаптиране на бързодействието.

Литература:

1. Phadke A. G., J. S. Thorp. Computer Relaying for Power Systems. Research Studies Press Ltd, Taunton, Somerset, England, 1988
2. Витанов А. Б. Дистанционни релета. Хабилитационен труд. НИТИ “Енергопроект”, София, 1990

3. Breingan W. D., M. M. Chen, T. F. Gallen. The Laboratory Investigation of a Digital System for the Protection of Transmission Lines. IEEE Trans. on PAS, Vol. 98, No. 2, March/April 1979, pp 350-368
4. Edith Clarce. Circuit Analysis of a A-C Power Systems. Vol. I, John Wiley & Sons, New York, 1943
5. Чернин А. Б. Основы вычислений электрических величин для релейной защиты при сложных повреждениях в электрических системах. Энергия, Москва, 1971

6. Вградени функции в една дистанционна защита

Пример. В дистанционната защита 7SA511 (Siemens) са вградени следните функции:

Дистанционна защита:

- Пофазен максималнотоков детектор за къси съединения;
- Допълнителна възможност за избор между:
 фазозависим напреженов детектор (U/I) или
 импедансен ъгловозависим детектор за къси съединения с полигонални импедансни характеристики;
- Пет импедансни зони всяка от които може да се насочи в права или в обратна посока или да бъде непосочна, като две от тях могат да се използват като резервни зони с обхват на настройката, по-голям от дължината на защитаваната линия;
- Седем зони по време;
- Полигонални характеристики с независими настройки по R и X с възможност за задаване на различни настройки по активно съпротивление при междуфазни къси съединения и къси към земя;
- Определяне на посоката посредством информация за здравите фази и използване на памет за напрежението, което позволява на защитата безпроблемна работа при използването на капацитивни напреженови трансформатори и гарантира неограничена чувствителност при определянето ѝ;
- Пофазно изключване за използване на еднофазно АПВ.

Блокировка при люлеене (съвместно с импедансния детектор)

- Откриване на люлеенето посредством симетрично измерване на dR/dt ;
- Предотвратяване на нежелани изключения при люлеене в системата;
- Възможност за използването на функцията за изключване при излизане от синхронизъм.

Универсална схема за комуникация

- Програмиране за работа в различни схеми, като:
 Разрешаващи схеми със скъсени зони (permissive underreach transfer trip - PUTT);
 Разрешаващи схеми с удължени зони (permissive overreach transfer trip - POTT) в разрешаващ или блокиращ режим;

Защита при включване върху късо съединение

- Осигурява бързо изключване при включване от ръка, на който и да е край на линията върху късо съединение;

Аварийна максималнотокова защита

- Двустъпална с независимо от тока закъснение и отделно стъпало за ток с нулева последователност;
- Предназначена за аварийна функция в случай на изключване на автомата монтиран в напреженовите вериги;
- Предназначена за аварийна функция в случай на изгаряне на предпазител във вторичните вериги на напреженовия трансформатор.

Защита при термично претоварване

- Моделира термичния режим на загубите в защитавания обект, които се дължат на протичащия ток;
- Измерване на действителната ефективна стойност на трите фазни тока;
- Настройваеми стъпала на предупредителната сигнализация.

Детектор за земни съединения (допълнителна функция за изолирани и компенсирани мрежи):

- С възможност за определяне на засегнатата фаза.
- С възможност за определяне на посоката.

Чувствителна земна защита

- За къси съединения през голямо активно съпротивление в мрежи с ефективно заземен звезден център;
- С две стъпала по ток на нулева последователност;
- Определяне на посоката посредством тока и напрежението с нулева последователност;
- Допълнителна възможност за комуникация със защитата в отсрещния край на линията посредством комуникационна връзка (например ВЧ канал);
- Служи за резервна защита при отпадане на измерваните напрежения (с независимо от тока закъснение);
- Алтернативно с непосочно стъпало с възможност за избор на една от три възможни инверсни характеристики (работи независимо от посочната земна защита).

Автоматично повторно включване

- Еднофазно, трифазно или еднофазно и трифазно АПВ;
- Еднократно или многократно АПВ (например бързо АПВ и забавено АПВ, трифазно забавено АПВ при втория опит за включване);
- Независимо настройваеми времена за действие на АПВ, на безтоковата пауза и за еднократност за еднофазно, трифазно бързо АПВ (първи опит за включване) и трифазно забавено АПВ (при следващи опити за включване).

Проверка на условията за синхронизъм и наличие на напрежение

- Проверка на условията за синхронизъм преди включване от АПВ след трифазно изключване;
- Бързо измерване на разликите в амплитудите на напреженията - ΔU , на разликата във фазовите ъгли - $\Delta \varphi$ и в честотите - Δf ;
- Алтернативно избираеми възможности за подаване на напрежение от шината към линията (dead line) или от линията към шината (dead bus);
- Възможност за асинхронно включване с предварително определяне на момента на синхронност на напреженията;
- Настройваемо минимално напрежение;
- Възможност за извършване на проверка за наличие на напрежение по линията или на шината при включване от ръка.

Определяне на разстоянието до късото съединение

- Може да се стартира от вътрешна или външна команда за изключване или от възвръщането на детектора за къси съединения;
- Изчислява разстоянието до късото съединение;
- Показанията могат да бъдат в олове, в километри и в процент от дължината на линията;

- Допълнителна компенсация на влиянието на взаимния импеданс с нулева последователност при наличието на паралелна линия.

Стандартните функции включват още:

- Две логически функции с времена, които могат да се дефинират от потребителя за да се комбинират, забавят или обработват външни сигнали;
- Непрекъснат вътрешен контрол, от веригите на оперативното напрежение до токовете и напреженови входни трансформатори и изходните релета, като по този начин се постига максимална надеждност (разполагаемост) на релето и възможност за изключване на превантивните проверки от стратегията за поддръжка на защитата;
- Измервателни и тестови процедури при нормална работа:
 - измерване на токовете на товара и работните напрежения,
 - измерване на мощността и честотата,
 - индикация на измерените импеданси, посока и фазов ред;
- Съхраняване на сигнализацията за последните четири къси съединения в системата с времето на възникването им;
- Съхраняването на данните за последните три земни съединения в изолирана или компенсирана мрежа;
- Съхраняването на данните и предаването им към регистратор, което позволява:
 - бързо анализиране на късите съединения,
 - подробен запис на величините на късо съединение;
- Броење на изключвателните и включвателните команди, записването на данните за късите съединения и акумулативното натрупване на изключените от прекъсвача токове на късо съединение;
- Помощни средства при въвеждане в експлоатация, например проверка на посоката и функционални проби с прекъсвача.

7. Принцип на действие на цифрова дистанционна защита

7.1. Устройство

Цифровата защита за електропроводи 7SA511 е изградена на базата на 16 битов микропроцесор

На фиг. 1 е показана принципно структурата на хардуера на защитата.

Преобразуването на измерваните величини става в блока на входния преобразувател ME. Посредством него се осъществява връзката между измервателните трансформатори в електрическата уредба и вътрешните нива на обработка в самата защита. За да се постигне пълно галванично разделяне с малък капацитет за входни преобразуватели се използват трансформатори. За да се елиминира влиянието на високочестотните смущения, в защитата са вградени специални нискочестотни филтри. Честотните ленти и скоростта на работа на тези филтри са оптимизирани така, че да са максимално подходящи за обработката на измерваните величини. Трансформирания в блока на входните преобразуватели величини се подават към входния блок на защитата - АЕ.

Входният блок АЕ съдържа входни усилватели, "sample and hold" елементи за всеки от входовете, аналого-цифров преобразувател и вериги за запомняне на данните, предавани към микропроцесора.

Заедно с обработката на измерените величини микропроцесорът изпълнява и програмите на конкретните защитни функции. Тази обработка включва следното:

- филтриране и формиране на измерваните величини;
- непрекъснато следене на величините, от които зависи заработването на детекторите за къси съединения;
- определяне на повредената фаза в случай на късо съединение;
- сканиране на величините с определената честота;
- управление на сигналите и последователността на работата на функциите за комуникация, АПВ и д.р.;
- вземане на решения за подаване на командите за изключване и включване;
- записването на моментните стойности на измерваните величини за периада на късо съединение, с цел да се анализира действието на защитата.

Двоичните входове и изходи са свързани с процесорната система посредством входно/изходни елементи. Чрез тях тя получава информация за системата (например команди за ускоряване и др.) или от други устройства (например блокиращи сигнали). Изходите на защитата служат за подаването на изключвателните команди, за сигнализация на важни събития и състояния на защитата (чрез задействане на външни релета или на светодиодните индикатори), а също така и за визуализация на определена информация на цифрено-буквения дисплей, който се намира на лицения панел на защитата.

Вградената мембранна клавиатура заедно с дисплея и светодиодите служи за комуникация със защитата. Всички данни необходими за работата ѝ, например настройки, данни за линията и т.н. могат да се въведат в защитата чрез този панел. Чрез използване на този панел може да се извика и прочете записаното през времето на късото съединение. Като алтернатива за връзка със защитата можете да използвате монтирания на лицевата плоча сериен интерфейс за връзка с персонален компютър.

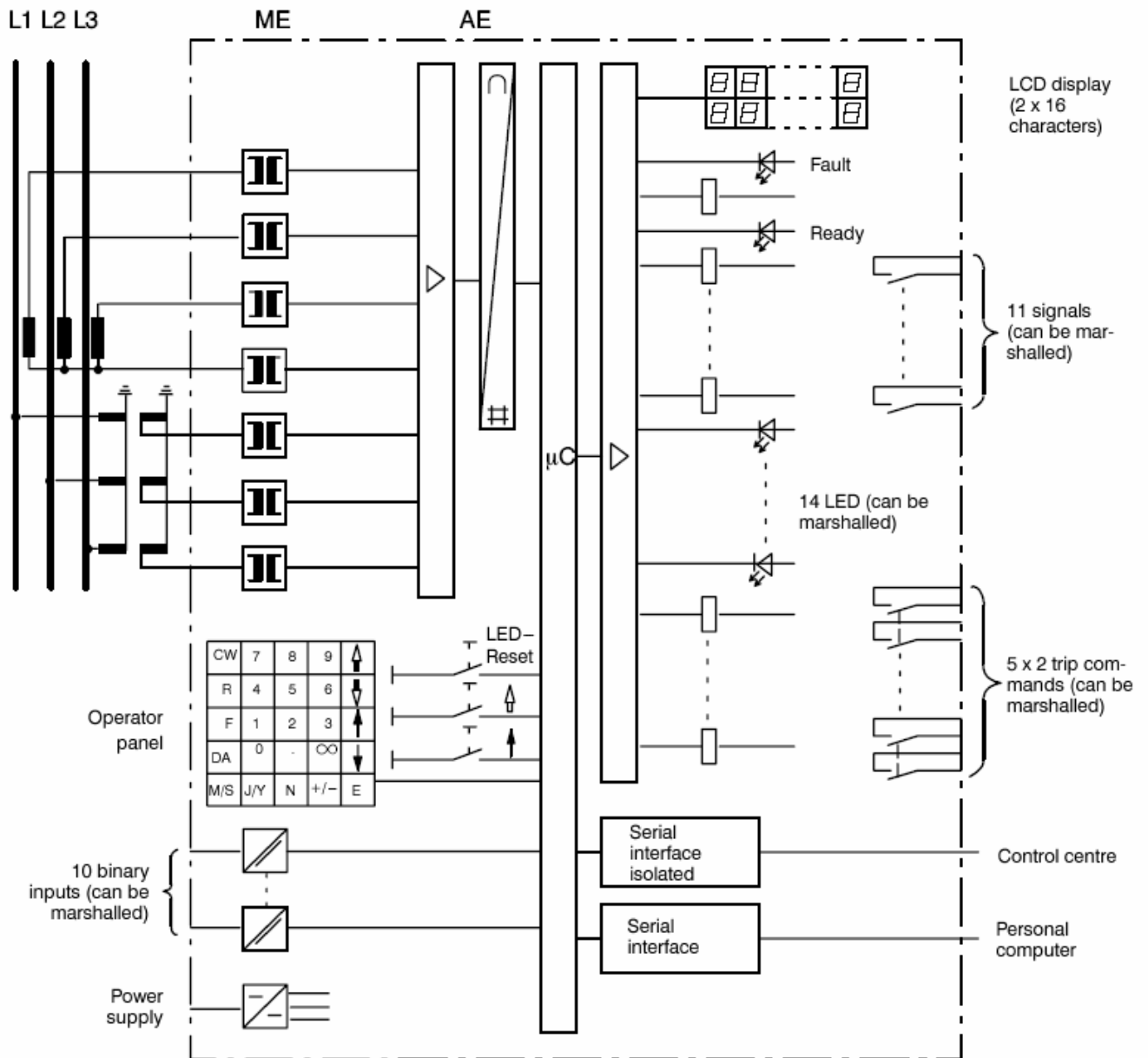


Figure 4.1 Hardware structure of distance protection relay 7SA511

Фиг. 1. Структура на хардуера на дистанционната защита 7SA511.

Посредством друг сериен интерфейс данните за късото съединение могат да бъдат предадени към централна станция за събиране и обработка на данни. През времето на нормална работа устройството може да се предават данни за измерените работни величини в мястото на монтирането му – например измерените работни токове и напрежения.

При необходимост този интерфейс може да се изпълни и като оптичен кабел.

Захранващият блок на устройството осигурява необходимите за работата на модулите различни напрежения. За релейните изходи се използва напрежение +24 V. Аналоговите входове изискват напрежение ± 15 V. Процесорът и неговите периферии се захранват с +5 V. Преходни пропадания на захранващото напрежение с продължителност до 50 ms, причинени например от къси съединения в оперативните вериги, се преодоляват без рестартиране благодарение на вградените елементи за запазване на напрежението.

7.2. Функции към дистанционната защита

Функциите, свързани с откриването на повредата чрез дистанцията (импеданса) са основни в разглежданата защита. Към тях могат да се причислят различни функции.

7.2.1. Пускане на защитата при късо съединение

Функцията за откриване на късото съединение има за задача да определи ненормалното състояние в системата и да предизвика стартирането на всички необходими действия за селективно изключване на повредата, т.е:

- стартиране на таймерите;
- избиране на величините за измерване;
- стартиране на изчисленията за определяне на импеданса и посоката на късото съединение;
- подаване на командата за изключване;
- подготовка за действие на допълнителните функции;
- индикация за състоянието на откритата повреда.

В защитата 7SA511 са предвидени няколко варианта на функцията за откриване на къси съединения, от които може да се избере оптималния за конкретното приложение вариант. С тези опции е възможно удовлетворяването на различни изисквания на системата и приспособяването на защитата към желанията на потребителя.

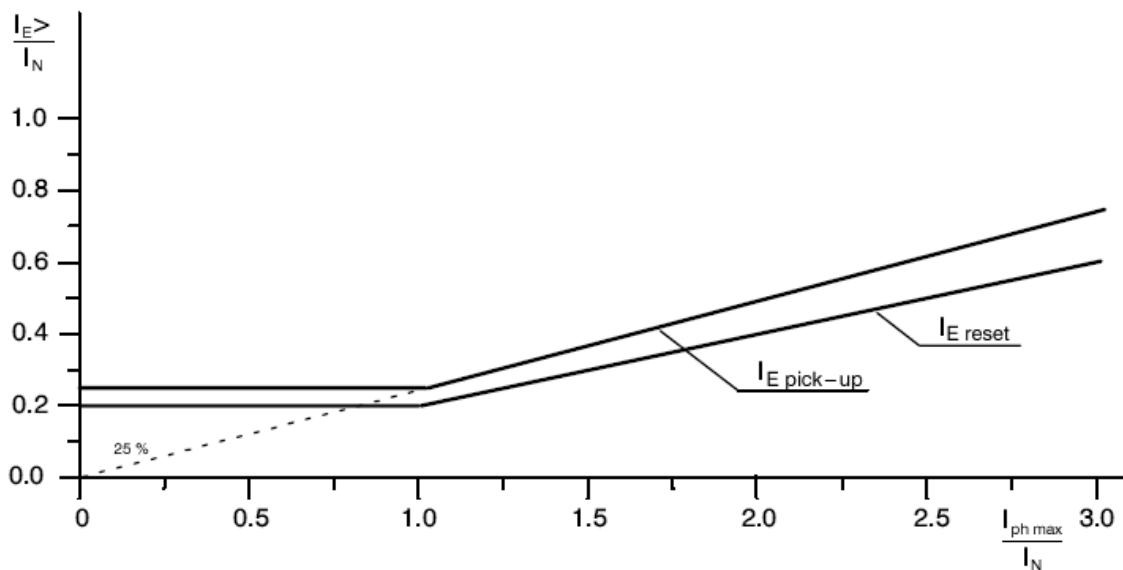


Figure 4.2 Earth current detector – pick-up/reset characteristic – example $I_E > / I_N$ set at 0.25

Фиг. 2. Детектор за ток с нулева последователност – характеристики на заработване и възвръщане – пример за настройка $I_E > / I_N = 0.25$

I_E pick-up – ток на заработване (на пускане)

I_E reset – ток на връщане

Максималнотоковият детектор разпознава повредите по големината на токовете, протичащи при късо съединение. Ако токовият детектор няма достатъчна сигурност и чувствителност, трябва да се използват напреженово-зависимият токов детектор или минималноимпедансният детектор за къси съединения.

7.2.1.1. Откриване на къси съединения към земя

Важно е разграничаването на к.с. със “земя” от тези без “земя”. Защитите 7SA511 използват стабилизирани метод за измерване на тока с нулева последователност (с възможност за забавяне) и детектор за напрежение с нулева последователност. Предвидени са и мерки за блокиране на детектора (пусковата функция) за еднофазни къси съединения при еднофазни земни съединения в системи с изолирана неутрала (важни за държави като Германия, където се прилага неефективно заземяване на неутралата и в мрежи 110 kV).

Детекторът за ток с нулева последователност следи основната честота (получена посредством цифров филтър) на сумата от фазните токове ($I_E = 3I_0$) и я сравнява с настроен праг на заработване. Той е осигурен срещу неправилни заработвания, причинени от несиметрия в работните токове или изкривявания във вторичните токове на токовия измервателен трансформатор, дължащи се на различната степен на насищане при междуфазни къси съединения без връзка към земя. Валидната настройка на тока на заработване автоматично се увеличава при нарастването на фазните токове. На фиг. 2 е показан пример с настройка 0.25. Хоризонталната част на характеристиката се отменя съобразно настройката. Стойността на възвръщане е приблизително 95% от тази на заработване.

Детекторът за напрежение с нулева последователност следи основната честота (получена посредством цифров филтър) на напрежението с нулева последователност ($U_E = \sqrt{3} \cdot U_0$) и я сравнява с настроен праг на заработване. Стойността на възвръщане е приблизително 95% от тази на заработване.

При системи с ефективно заземен звезден център (директно заземен или заземен през неоглямо активно съпротивление) заработването на напреженовия или на токовия критерий предизвикват заработването на детектора за къси съединения към земя. **Само** заработването на детектора за къси съединения към земя **не води до заработване** на общия критерий за късо съединение на дистанционната защита, а само контролира останалите критерии. Заработването **само** по този критерий **не се сигнализира** и остава без последствия. За да заработи общият критерий за късо съединение е необходимо заработване и на съответния фазен детектор за късо съединение без земя.

При неефективно заземени системи (или с изолиран, или заземен през петерсонова бобина звезден център) за откриване на къси съединения не се използва критерия “напрежение с нулева последователност”. **Ако в такива системи се допуска работа с едно земно съединение**, то заработването на детектора се потиска, за да се избегнат нежелани задействания на защитата през времето на възникването на единичното земно съединение. Заработването отново е възможно след изтичането на определено време “T_{IE} 1PHASE”. Това се прави, за да може защитата да открива двойни земни съединения с една точка на повредата при разклонени линии. Ако в системата има вече едно земно съединение, то това се открива от детектора за напрежение с нулева последователност. Ако при това положение се появи ново земно съединение в друга фаза, то това може да бъде само двойно земно съединение.

7.2.1.2. Токов пусков орган

Максималнотоковият детектор (токов пусков орган) за къси съединения е с пофазно действие. Измерените фазни токове след филтриране чрез цифров филтър се сравняват със зададения праг на заработване. Сигнал за заработване се подава за тази фаза или на тези фази, в които токът е превишил настройката на заработване.

За да се направи правилен избор на величините, с които трябва да се изчисли импедансът на късо съединение, сигналите за заработването на детектора се преобразуват в информация за засегнатите от късото съединение контури. Това преобразуване се прави в зависимост от заработването на детектора за къси съединения към земя и при заземени системи – от настройката на параметъра 1PH FAULTS (вижте табл. 1). При незаземени системи, в случай на заработване само на фазен детектор (няма заработване на детектора за къси съединения към земя) за обработка винаги се избира контур “фаза-фаза” (има се предвид възможност от две еднофазни повреди в различни фази и електропроводи).

Връщането на максималнотоковия детектор за къси съединения става при намаляването на протичащия ток под стойност, равна на 95% от стойността на заработване.

Табл. 1. Обработвани контури на късо съединение и сигнализация при еднофазно заработване на максималнотоковия детектор за къси съединения

Модул на детектора	Заработил ли е?	Параметър 1PH FAULTS	Обработван контур	Сигнализация
L1	не	PHASE-PHASE	L3-L1	L1
L2	не		L1-L2	L2
L3	не		L2-L3	L3
L1	не	PHASE-EARTH*	L1-E	L1
L2	не		L2-E	L2
L3	не		L3-E	L3
L1	да	Не е от значение	L1-E	L1, E
L2	да		L2-E	L2, E
L3	да		L3-E	L3, E

*) само при заземени системи

Параметрите на максималнотоковия детектор за къси съединения се задават като фазни токове и като токове с нулева последователност. Определящ за избора на настройките е максималният ток на товара. Заработването на детектора при максимално натоварване е недопустимо. Стойността на тока на заработване $I_{ph}>>$ трябва да е поне 120% от максималния очакван ток на товара. Необходимо е също така тази стойност да е по-малка от минималния ток на късо съединение. Ако така определената настройка не удовлетворява тези две изисквания е необходимо да се използва импедансен пусков орган (детектор за къси съединения).

За токовете с нулева последователност е предвидено отделно стъпало $I_e>$. При заземени системи настройката на това стъпало трябва да е по-малка от минималния ток на еднофазно късо съединение. При изолирани или компенсирани мрежи, с цел да се осигури правилна работа на защитата при двойни земни съединения, тази настройка трябва да е по-малка от тока на двойно земно съединение.

Числен пример:

За линията използвана в примера от раздела за импедансни измервателни органи максималният работен ток е 680 А, а преводното отношение на токовете трансформатори - 600/5А. Ако приемем, че минималния ток на късо съединение е 1200 А можем да използваме следната настройка:

$$I_{>>}/I_N = (I_{Lmax}/I_N) \cdot 1.2 = (680/600) \cdot 1.2 = 1.36 \cdot I_N.$$

Тази стойност е достатъчно по-малка от минималния ток на късо съединение $1200/600=2 \cdot I_N$.

Условието за минималния ток на късо съединение е валидно и при еднофазни къси съединения в заземени системи както и при двойни земни съединения в изолирани или компенсирани мрежи.

7.2.1.3. Импедансен детектор за къси съединения (Импедансна пускова функция)

Импедансният детектор за къси съединения работи с величините на контурите на късо съединение и определя дали да се обработват междуфазните контури или всеки от фазните контури. При заработването на този детектор се обработват фазните контури и при незаработването му се обработват само междуфазните. Предпоставка за обработката на конкретен контур е стойността на съответният фазен или контурен ток да е по-висока от настройката на параметъра I_{ph} .

Импедансите се изчисляват поотделно като за активни компоненти R , така и за реактивни X в циклични интервали от време и се сравняват със зададените настройки.

На фиг. 3 е показана примерна характеристика на импеданския детектор на къси съединения, начертана в равнината (R, jX) . Точките на фигурата показват настроените параметри, определящи вида на характеристиката. Перпендикулярните на оста X линии означени с “ $X+A$ ” и “ $X-A$ ” са определящи за посочността на детектора – в права (към линията) и обратна (към шините) посока. Линиите перпендикулярни на оста R се определят от настройките по активно съпротивление при междуфазни къси съединения - $RA1$ и съответно при еднофазни - $RA1E$. По този начин е възможно да се зададе по-голям обхват по активно съпротивление за късите съединения към земя (прекъснатите линии на фиг. 3).

За да се гарантира еднозначно разграничаване на импеданса на късите съединения от импедансите на товара, по-специално в случаите на дълги и силно натоварени преносни линии, характеристиките могат да се направят ъглово зависими. Използва се настройка, равна на $RA2$, ако измереният ъгъл е по-голям от предварително настроената стойност φ_A и настройката $RA1$, когато ъгълът е по-малък от φ_A .

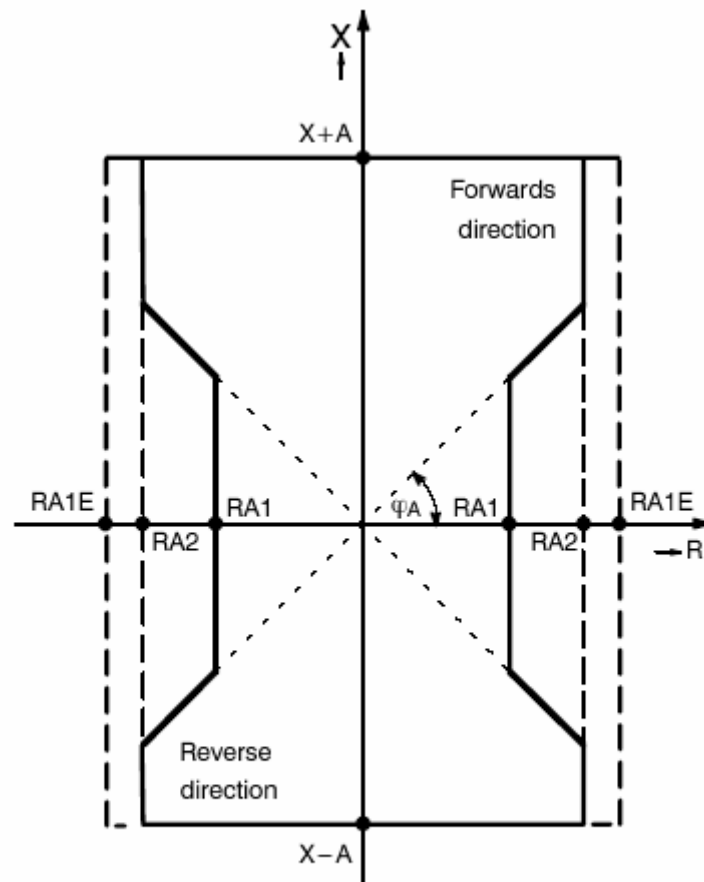


Figure 4.3 Impedance fault detection characteristics

Фиг. 3. Примерна характеристика на импедансен детектор за къси съединения

Forwards direction – права посока (към електропровода)

Reverse (bus-bar) direction – обратна посока (към шини)

За да се избегне накъсването на сигнала за заработване в областта на граничните стойности, характеристиките са с хистерезис от 6% (коефициент на възвръщане ≈ 0.94).

Зависимостта от фазовия ъгъл може да се приложи и при еднофазни къси съединения, като се използват настройките RA2E и φ_{AE} , които не са показани на фиг. 3 с цел опростяване на чертежа.

Пускането е успешно, ако векторът на импеданса от измервания контур лежи вътре в полигона на характеристиката. Ако резултатът показва наличие на късо съединение в повече от един контур, защитата приема за валидни всички контури, в които измереният импеданс е не по-голям от 150% от най-малкия измерен импеданс. По този начин се елиминират грешните заработвания, причинени от нарастването на тока на товара в неповредените фази през времето на късо съединение, особено в случаите на малък импеданс на захранващия източник.

Импедансният детектор за къси съединения е допълнен с едно стъпало по ток - $I_{ph} \gg$. Неговото заработване се взема предвид само, ако токът е по-голям от $I_{ph} \gg$, а описаната по-горе процедура не е открила контур на късо съединение. Тъй като, този детектор може само да възстанови определянето на контур с повреда, грешки в действието на защитата са изключени.

Настройки на импедансната пускова функция

Импедансният детектор за еднофазни къси съединения е допълнен с едно максималнотоково стъпало $I_{ph}>>$, като заработването на това стъпало се възприема за критерии за наличието на късо съединение към земя само в системите с ефективно заземена неутрала.

Значението на параметрите ще бъде извлечено от характеристиката показана на фиг. 6.4. Точките на характеристиката идентифицират настройките на параметрите определящи геометрията на полигоналната характеристика на импеданския детектор за къси съединения. Параметърът $I_{ph}>$ е минималния работен ток предизвикващ заработването на всяка от фазите. Той трябва да се настрои на стойност по-малка от очаквания минимален ток на късо съединение.

Импедансният детектор за къси съединения може да се разглежда като последна зона на защитата. Ако се вземе предвид влиянието на междинното захранване на шините на отсрещната подстанция за настройката на детектора могат да се зададат по-високи стойности. Ако по линията се пренасят големи реактивни мощности, настроенния импеданс трябва да бъде по-малък от минималния импеданс на такъв вид товари.

Ако се използва изчислителният пример, може да се избере стойност около 2 пъти по-голяма от настройката на трета зона. Изчисленията на първичните величини са потвърждение на приетата стойност:

$$X + A_{sec} = 38 \Omega$$

Не забравяйте да проверите условията за обратна посока, тъй като в режим на претоварване и използване на схема за комуникация трябва еднозначно да се определи дали съответното късо съединение е обхвата на съответната удължена зона на защитата в отсрещния край на линията. Обикновено се използва настройка, която е равна на половината от тази в права посока.

$$X - A_{sec} = 19 \Omega$$

За настройката по активно съпротивление се задават долна и горна граници. Настройката RA1 трябва, с известен запас, да обхваща и съпротивлението на дъгата. Без прецизни изчисления може да се използва стойност 2 или 3 пъти по-голяма от тази на настройката за трета зона.

В горната част на характеристиката, настройката RA не трябва да превишава 6 пъти настройката за X-A.

При дълги въздушни линии трябва да се има предвид, че настройката в обратна посока трябва да осигурява достатъчно голям коефициент на сигурност при максимален товар. Минималният импеданс на товара се получава в случаите на пренос на максимален ток и наличие на минималното работно напрежение. Използвайки изчислителния пример се получава:

$$R_{L_{prim}} = \frac{U_{min}}{\sqrt{3} \cdot I_{L_{max}}} = \frac{0.9 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 680} = 84.06 \Omega$$

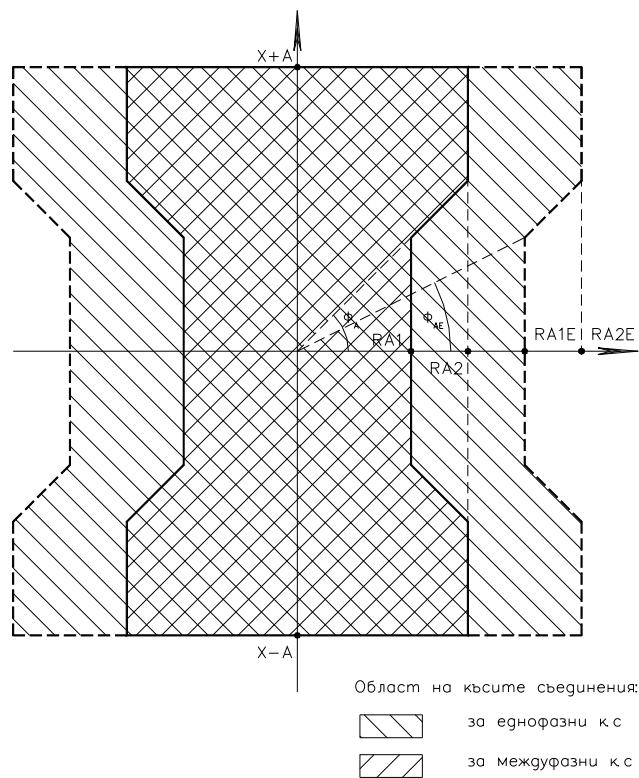
или преизчислено във вторични величини:

$$R_{L_{sec}} = \frac{N_{ct}}{N_{vt}} \cdot R_{L_{prim}} \cdot \frac{I_N}{1A} = \frac{600/5}{110/0.1} \cdot 84.06 \cdot \frac{5A}{A} = 45.85 \Omega$$

Настройката трябва да има най-малко 20% коефициент на сигурност спрямо тази стойност.

$$R_{max} = 0.8 \cdot 45.85 = 36.6 \Omega$$

Когато се използва блокировка при люлеене тази стойност не трябва да бъде по-голяма от неговата настройка. Т.е трябва да се избере по-малка настройката по активно съпротивление, за да се постигне адекватно разграничаване на случаите на люлеене от тези на късите съединения.



Фиг. 4. Характеристика на импедансия детектор за къси съединения.

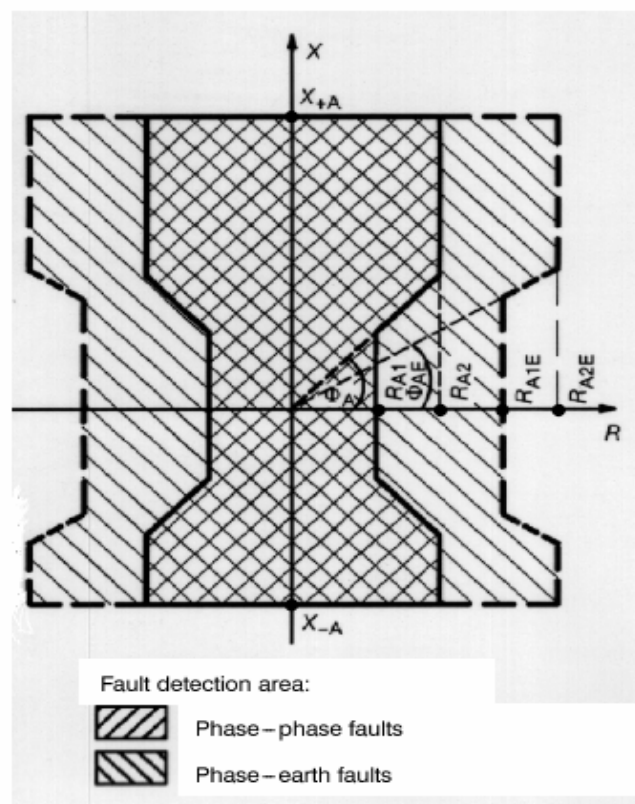


Figure 6.4 Impedance fault detection characteristic

За да се гарантира еднозначен критерий за разграничаване на късите съединения от големите товари в случаите на използване на защитата при дълги силно натоварени линии, с други думи, когато описаните по-горе условия не могат да бъдат удовлетворени - характеристиката може да се настрои в зависимост от фазния ъгъл. В този случай се въвежда ограничението по ъгъл. Особено важно е в характеристиката на импеданския детектор за къси съединения да не попадат възможните импеданси на товара.

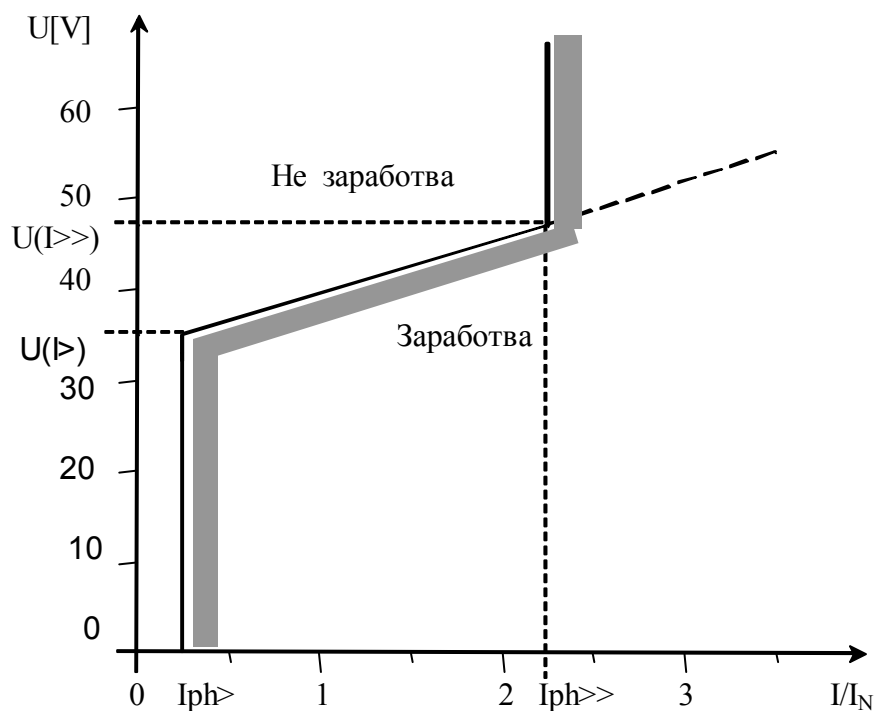
За случаите на еднофазни къси съединения се задават различни настройки по активно съпротивление и ъгъл. В този случай импедансите на товара могат да не се вземат предвид, тъй като при еднофазни къси съединения стойността на заработване на детектора за токове с нулева последователност би трябвало да е по-малка от протичащия поради несиметрията ток. Блокировката при разлюляване измерва само величините за междуфазните контури и поради този факт настройките по активно съпротивление не са от значение за него.

7.2.1.4. Напреженова, зависима от тока пускова функция (минималноимпедансен детектор)

Напреженовият токовозависим детектор е също пофазна процедура, която при работата си следи параметрите на фазните и контурните величини. Определящо за заработването му е повишаването на фазния ток, като стойността на заработване зависи от големината на контурното напрежение.

Основната характеристика на този детектор за къси съединения може да бъде пояснена със зависимостта на токовете и напреженията показана на фиг. 4. Превिшаването на тока над настройката на $I_{ph>}$ е първата предпоставка за заработването на всяка от фазите. Над тази стойност на тока характеристиката има наклон, който се определя от настройките на параметрите $U(I>)$ и $U(I>>)$. Стъпалото с висока настройка се използва за къси съединения с голям ток. Точките, показани на фиг. 4 определят геометрията на характеристиката.

Връщането на детектора за съответната фаза става при намаляването на тока до 95% от стойността на заработване или увеличаването стойността на съответното напрежение до 105% от настройката на заработване.



Фиг. 5. Характеристика на напреженов токовозависим детектор за къси съединения

Защитата има три такива модула, всеки от които контролира по едно фазно или междуфазно напрежение. При настройката на защитата се определя кое от напреженията да се контролира:

- винаги фазното (U_{ph-E}),
- винаги линейното (U_{ph-ph}) или
- изборът зависи от начина на заработване на детектора за къси съединения към земя.

Този начин на работа позволява по-добро адаптиране към състоянието на системата. Оптималният контрол зависи от режима на заземяване на звездния център, от това дали той е незаземен (изолиран или компенсирани), заземен през неголямо активно съпротивление или е ефективно заземен. Начинът на заземяване е от значение и при определянето на други настройки, дадени по-нататък в това описание.

Критерият за заработване по U_{ph-E} (фазно напрежение) има висока чувствителност при къси съединения към земя и по тази причина е най-подходящ за използване в системи със заземен звезден център. Той автоматично се адаптира към тока на товара т.е. става по-чувствителен по ток при по-малки товарни токове и стойността на прага на заработване нараства с нарастването на тока на товара.

Настройки на напреженово зависимия детектор за къси съединения (U/I)

Значението на параметрите ще бъде извлечено от характеристиката показана на фиг. 3. Параметърът $I_{ph>}$ е минималния работен ток предизвикващ заработването на всяка от фазите. Той трябва да се настрои на стойност по-малка от очаквания минимален ток на късо съединение.

Зависимия от напрежението участък може да се настрои за напрежение фаза-земя или за линейни напрежения. Какво напрежение да се избере зависи от настройката за вида на работното за детектора напрежение U_{phph} или U_{phe} . Настройката на характеристиката трябва да бъде така определена, че да е достатъчно далече от максималните токове на товара и минималните работни напрежения. При случаи които пораждаат съмнения е необходимо да се направи проверка за заработването на детектора при съответните условия. При сложни преплетени мрежи е необходимо предварително да бъдат изчислени токовете на късо съединение.

В повечето случаи при заземени системи се предпочита контрол на напрежението U_{ph-e} при еднофазни къси съединения и на напрежението U_{ph-ph} при къси съединения без връзка към земя. Този начин на работа осигурява максимална чувствителност при всички видове къси съединения. Условие за използването му обаче е в точката на монтиране на защитата да са изпълнени условията за наличие на късо към земя при всички случаи. В противен случай е разумно използването на контрол на фазните напрежения при всички видове къси съединения, който е по-малко чувствителен към междуфазните къси съединения. В повечето от случаите тази настройка е приемливо решение, тъй като междуфазните къси съединения се разпознават по заработването на максималнотокоовото стъпало $I_{>>}$.

Възможността за контрол само на напреженията U_{ph-e} при повреди към земя има преимущество при системи заземени през малко активно съпротивление, т.е. при наличието на мерки за ограничаване на токовете на земни съединения. При такъв режим на заземяване на звездния център този детектор се използва само за разпознаване на повредите към земя. При междуфазни повреди се разчита на заработването на максималнотоковия детектор за къси съединения $I_{>>}$.

При работа в изолирани и компенсирани (заземени през гасителен реактор) мрежи, за да се избегне грешното заработване на детектора за повреди към земя при преходните процеси, съпровождащи възникването на единични земни съединения, то може да се забави чрез настройката на специален параметър Tie 1PHASE. Ако при нормална работа токът през земя би могъл да превиши стойността на заработване на детектора на параметъра Tie 1PHASE трябва да се зададе настройка равна на ∞ , което ще забрани заработването му при единични земни

съединения дори при протичането на големи токове. Задаването на тази настройка няма да попречи на правилното действие на защитата при възникване на двойно земно съединение като действието ѝ ще бъде съобразно със зададената настройка за предпочитаност на фазите.

Освен това възможно е и задаването на настройка за контрол само на междуфазни напрежения. В този случай контурите за измерване са независими от зареждането на детектора за повреда към земя, като въобще изключва зареждането на детектора. В този случай правилното действие на предпочитаността на фазите при двойно земно съединение е невъзможно.

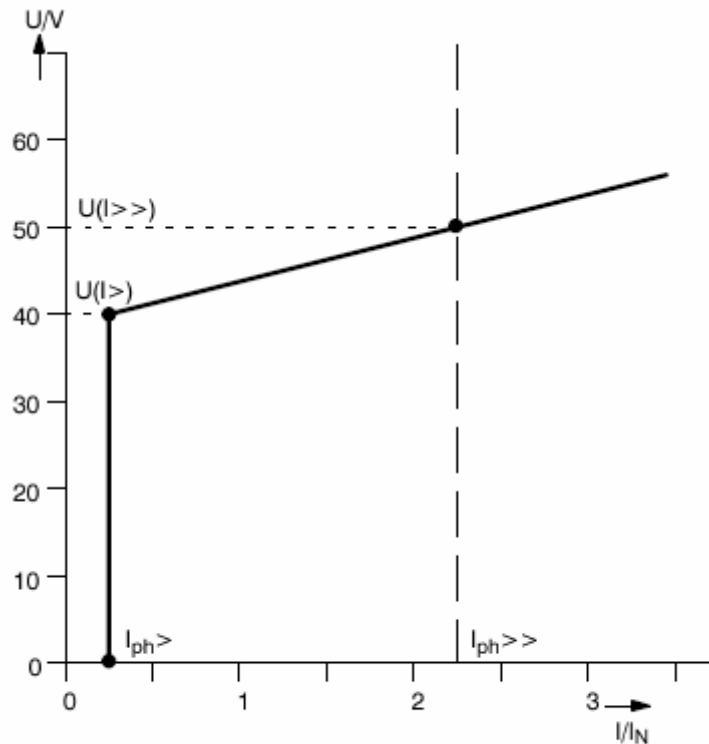


Figure 6.3 Voltage controlled fault detectors, U/I characteristic

Фиг. 6. Напреженово зависим детектор на къси съединения

7.2.2. Определяне на контура на късото съединение

За изчисляването на импеданса на късото съединение се използват токовете и напреженията на контура с късо съединение. Пусковите функции определят съответния контур на к.с. и стартират изчислението на импеданса с избраното напрежение.

(Сравнение със защитата RD110)

При изчисляването на контур “фаза-фаза” например L1-L2 (фиг. 7) се използва следното равенство:

$$I_{L1} \cdot Z_L - I_{L2} \cdot Z_L = U_{L1} - U_{L2}$$

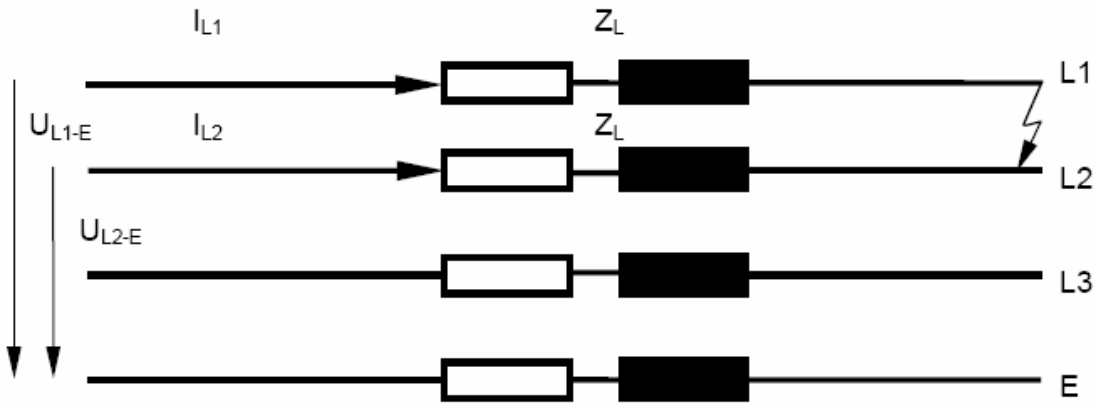
където:

U и I са измерените стойности (в комплексен вид);

Z = R + jX е импедансът на линията.

Импедансът на линията може да се определи от равенството:

$$Z_L = (U_{L1-E} - U_{L2-E}) / (I_{L1} - I_{L2})$$



Фиг. 7. Контур на двуфазно късо съединение.

При изчисляването на контур “фаза-земя”, например L3-E (фиг. 8) се отчита разликата между импеданса на правата и импеданса на нулевата последователност (земен фактор). Ако в уравнението на контура

$$I_{L3} \cdot Z_L - I_E \cdot Z_E = U_{L3-E}$$

се замести Z_E с израза $(Z_E/Z_L) Z_L$ ще се получи

$$I_{L3} \cdot Z_L - I_E \cdot (Z_E/Z_L) \cdot Z_L = U_{L3-E},$$

от където може да се определим импедансът на линията

$$Z_L = \frac{U_{L3-E}}{I_{L3} - \frac{Z_E}{Z_L} I_E},$$

където отношението Z_E/Z_L се определя само от параметрите на линията и не зависи от разстоянието до късото съединение.

(Сравнение със земния фактор при RD110)

$$\dot{U}_R = \dot{I}_{R1} \cdot Z_1 + \dot{I}_{R2} \cdot Z_2 + \dot{I}_{R0} \cdot Z_0;$$

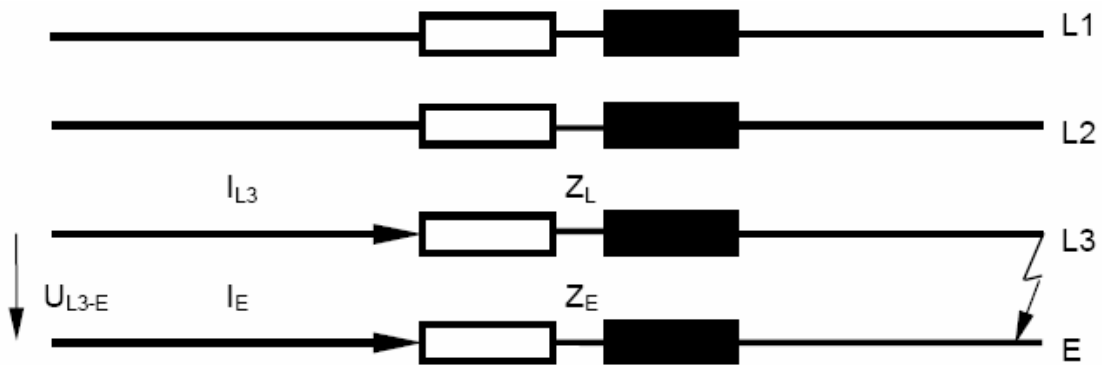
$$Z_1 = Z_2; \quad \dot{I}_R - \dot{I}_{R0} = \dot{I}_{R1} + \dot{I}_{R2};$$

$$\dot{U}_R = Z_1 \left(\dot{I}_R + \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} \cdot 3\dot{I}_{R0} \right) = Z_1 (\dot{I}_R + f_E \cdot 3\dot{I}_{R0});$$

$$f_E = \frac{Z_0 - Z_1}{3 \cdot Z_1};$$

$$U_{реле} = \dot{U}_R; \quad I_{реле} = \dot{I}_R + f_E \cdot 3\dot{I}_{R0};$$

$$Z_1 = \frac{\dot{U}_R}{I_R + \frac{Z_0 - Z_1}{3 \cdot Z_1}}$$



Фиг. 8. Контур на еднофазно късо съединение.

Изборът на контура на късо съединение е така организиран, че при всеки конкретен случай на късо съединение за изчисленията се използват коректните измерени величини. При сложни къси съединения, обхващащи повече от един фазен контур на един от тях се дава предимство.

RD110 – предимство при 3 ф.к.с. се дава на величините:

RTS: U_{TR} и I_{TR}

RST0: U_{TO} и I_{TO} .

Изборът на валидната верига на късо съединение варира в зависимост от режима на заземяване на звездния център на системата – директно заземен, компенсирани или изолирани. Разбира се, режимът на заземяване на звездния център трябва да е известен преди защитата да се въведе в експлоатация.

7.2.2.1. Избор на контур на късо съединение при заземени системи

При системи със заземен звезден център всеки контакт на фазен проводник със земята е късо съединение, което трябва да бъде изключено незабавно от най-близката защита. Ако силовите трансформатори през които се захранва късото съединение са заземени, детекторът за късо съединение ще заработи. В този случай той се използва като допълнителен критерий за наличие на късо съединение.

При двуфазно късо съединение със земя обикновено работват детекторите на две от фазите и този за ток с нулева последователност (имат се предвид максималнотоковите детектори) или за два от контурите “фаза-земя” (на минимално-импедансния детектор). В този случай е възможно да се настрои релето така, че да се обработват

- или само контурите “фаза-фаза”
- или контура на водещата фаза към земя
- или контура на изоставащата фаза към земя.

Бележка:

При системи със заземен звезден център защитата получава от напрежените трансформатори три фазни напрежения U_{L1-N} , U_{L2-N} и U_{L3-N} и от токовете трансформатори три фазни тока I_{L1} , I_{L2} и I_{L3} . Звездната точка на токовете трансформатори трябва да се свърже към токовия вход I_E на защитата (схема Холмгрийн). Ако входът I_E се използва за подаване на тока с нулева последователност от паралелен електропровод за отчитане на влиянието на взаимния импеданс с нулева последователност, токът на нулева последователност на защитавания електропровод се получава чрез пресмятане от трите фазни тока. Ако напрежените трансформатори имат втора вторична намотка за получаване на напрежението с нулева последователност, то тя трябва да се свърже в отворен триъгълник, за да може да се използва като из-

точник на напрежение с нулева последователност и за следене на изправността на вторичните вериги на напрежените трансформатори.

7.2.2.2. Избор на контур на повредата при незаземени системи

В изолирани или компенсирани мрежи при еднофазни земни съединения не протичат големи токове на късо съединение. Триъгълникът на линейните напрежения се запазва, но се променят фазните напрежения (вижте фиг. 9). При такива мрежи обикновено се допуска работа с наличието на единично земно съединение (до два часа), защото потребителите на ниско напрежение имат нормално електрозахранване. В този случай дистанционната защита не трябва да заработва въпреки, че напрежението “фаза-земя” на фазата с повредата е равно на нула в цялата галванически свързана система. Това състояние ще доведе до измерването на импеданс равен на нула в повредената верига “фаза-земя” за всяка една от точките на измерване (за всяка една от защитите), т.е. изводът със земно съединение не може да бъде определен селективно. По тази причина **заработването в дистанционната защита на детектор за повреда към земя се пренебрегва.**



Фиг. 9. Земно съединение при незаземени системи

При двойни земни съединения в различни фази на два различни електропровода в изолирани или компенсирани системи е достатъчно да се изключи едното от земните съединения. Второто земно съединение остава като единично земно съединение. Кое от земните съединения да бъде изключено зависи от настройката на приоритета при двойни земни съединения, която трябва да бъде еднаква в цялата галванически свързана система. При защитите 7SA511 за приоритет на действието при двойни земни съединения може да се избере една от следните възможности за приоритет:

- изключва фазата L3 преди L1, преди L2, означение - “L3 (L1) acyclic”;
- изключва фазата L1 преди L3, преди L2, означение - “L1 (L3) acyclic”;
- изключва фазата L2 преди L1, преди L3, означение - “L2 (L1) acyclic”;
- изключва фазата L1 преди L2, преди L3, означение - “L1 (L2) acyclic”;
- изключва фазата L3 преди L2, преди L1, означение - “L3 (L2) acyclic”;
- изключва фазата L2 преди L3, преди L1, означение - “L2 (L3) acyclic”;
- изключва циклично L3 преди L1, преди L2, преди L3, означение - “L3 (L1) cyclic”;
- изключва циклично L1 преди L3, преди L2, преди L1, означение - “L1 (L3) cyclic”.

Бележка:

Приема се, че към защитата са подадени трите фазни тока I_{L1} , I_{L2} и I_{L3} и трите фазни напрежения. Ако са на разположение само два токови трансформатора и/или два напреженови трансформатора (свързани в схема “V”) не може да се разчита на разпознаване на двойните

земни съединения. При избора на приоритета за действие на защитата при откриване на двойните земни съединения трябва да се има предвид, че избраната за приоритетна фаза трябва да има инсталиран токов трансформатор (в случай че токовете трансформатори са само два).

7.2.2.3. Настройки на защитата за земни съединения в изолирани и компенсирани мрежи

Откриването на земните съединения е възможно само, ако при конфигурирането на защитата е зададена настройка EXIST. Ако защитата има вградена такава функция, но се налага да се монтира в заземена мрежа трябва да се зададе настройка NON-EXIST.

Функцията “Детектор за земни съединения” съдържа елемент за откриване на наличието на напрежение с нулева последователност, за определяне на фазата с повреда и за определяне на посоката на земното съединение. Трябва да се има предвид, че определянето на посоката е възможно само, ако релето може да измери едновременно тока, протичащ през земята и напрежението с нулева последователност.

Наличието на напрежение с нулева последователност $U_e >$ стартира детектора за земни съединения. Тъй като при земни съединения в изолирани и компенсирани мрежи появяващото се напрежение на нулева последователност е голямо, големината на зададената настройка не е критична и може да се намира между 30 и 60 V. Детекторът за земни съединения заработва и сигнализира наличието на повреда само ако наличието на напрежение се запази до изтичането на определено време (T-E/F).

Критерий за определянето на фазата с повреда е нейното напрежение да е по-малко от зададената настройка $U_{ph} <$, като същевременно напрежението на другите две фази трябва да е по-голямо от настройката $U_{ph} >$. Разбира се настройката на $U_{ph} <$ трябва да е по-малка от минималното работно напрежение фаза-земя. Тази настройка също не е критична и задаването ѝ равна на 40 V (както е в заводските настройки) в повечето случаи удовлетворява изискванията. Настройката на $U_{ph} >$ трябва да е по-голяма от максималното работно напрежение фаза-земя, но по-малка от минималното напрежение фаза-фаза, например 75V при $U_N = 100$ V. Другото условие за сигнализирането на земното съединение е определянето на повредената фаза.

За определяне на посоката на земното съединение, по принцип, е необходимо граничният ток на заработване да се настрои на възможно най-високата стойност, за да се избегне грешно заработване, дължащо се на асиметрия в токовете в мрежата и през токовете трансформатори (в случая на използване на свързване “Холмгриин”). Начинът на заземяване на звездния център е важен за определяне на големината на капацитивния ток на земно съединение при изолираните мрежи и на активния при компенсираниите.

При земно съединение в **изолирани мрежи** през точката на измерване (токовете трансформатори на повредения кабел) ще протича целият възможен капацитивен ток на електрически свързаната мрежа с изключение на капацитивния ток на самия повреден кабел. В тези случаи е възможно да се използва половината от целия капацитивен ток на мрежата като настройка на защитата.

Пример 1: Към една шина с номинално напрежение 24 kV има присъединени 7 кабелни извода. Преводното отношение на токовете трансформатори на всеки от изводите е 300/1 A. Токът на земно съединение е 2.5 A/km. Кабелите имат следните дължини, които ще предизвикат протичането на токовете дадени по-долу:

Кабел	Дължина	Собствен капацитивен ток при 2.5 A/km
Кабел 1	3.0 km	7.5 A
Кабел 2	5.0 km	12.5 A
Кабел 3	2.6 km	6.5 A
Кабел 4	5.0 km	12.5 A

Кабел 5	3.4 km	8.5 A
Кабел 6	3.4 km	8.5 A
Кабел 7	2.6 km	6.5 A
Общо	25 km	62.5 A

При земно съединение в началото на кабел 2 (най-дългия от кабелите) през точката на измерване ще протичат 50 A ($62.5 - 12.5 = 50$). Тъй като този кабел е с най-голяма дължина това е най-неблагоприятния случай (през точката на измерване ще протича най-малък ток на земно съединение). Ако приведем тази стойност на тока към вторични величини ще получим:

$$50/300 = 0.167 \text{ A}$$

Настройката на релето трябва да е приблизително половината от тази стойност, например 0.080 A.

При **компенсирани мрежи** определянето на посоката е по-трудна задача поради факта, че върху показателния за посоката активен ток е насложена значително по-голяма реактивна съставка с индуктивен или капацитивен характер. При този случай общият ток на земно съединение зависи от състоянието на мрежата и разположението на компенсиращата бобина и може да бъде с различни стойности и да има разнообразни фазови ъгли. За определяне на посоката на релето е необходимо да направи оценка на активната компонента на земния ток, която е $I_E \cdot \cos\varphi$. За да се гарантира коректността на тази оценка е необходима много висока точност като от особено голямо значение е правилното измерване на фазовия ъгъл, т.е. токовете трансформатори трябва да са с малка ъглова грешка. Освен това не е необходимо релето да има излишно голяма чувствителност. Поради тези причини в компенсирани мрежи достатъчно надеждно определяне на посоката може да се постигне само с използването на токови трансформатори тип “Феранти”. Тук също може да се използва правилото за определяне на настройката равна на половината от очаквания ток на земно съединение, приложено обаче само към активната му компонента. По принцип тази активна компонента на тока на земно съединение се обуславя от загубите в петерсоновата бобина.

Пример 2: Да предположим, че имаме същата мрежа както в предния пример, но заземена през петерсонова бобина. Компенсацията е за целия ток т.е за 62.5 A. Да приемем, че загубите са 4%. За измерване на тока на земно съединение се използват токови трансформатори тип “Феранти” с преводно отношение 60/1.

Активната компонента практически не зависи от мястото на повредата и винаги има почти еднаква стойност:

$$4\% \text{ от } 62.5 \text{ A са } 2.5 \text{ A.}$$

Върху тази активна съставка на тока е насложена реактивна компонента, чиято стойност може да достигне до 62.5 A. Ако се приведе активната компонента на тока във вторични величини се получава:

$$2.5 \text{ A}/60 = 0.0417 \text{ A.}$$

Може да се избере настройка равна на 0.020 A.

Поради наличието на голяма реактивна компонента в тока на земно съединение в изводите на компенсирани мрежи и възможните въздушни междини в конструкцията на токовите трансформатори тип “Феранти” често се налага да се компенсира ъгловата им грешка. Тази възможност се осъществява с настройки в защитата. За конкретното натоварване на токовия трансформатор се въвеждат две работни точки с максималната ъглова грешка F1 при протичането през него на ток I1 и F2 при ток I2, над който грешката на практика остава непроменена. От тези две точки защитата апроксимира кривата на изменение на ъгловата грешка на токовия трансформатор. При изолирани мрежи тази компенсация на грешката не е необходима.

7.2.3. Изчисляване на импеданса на късото съединение

Защитата изчислява поотделно резистанса (R) и реактанса (X) за контура на късо съединение, като за тази цел използва величините, които са избрани съгласно описанието дадено в предния раздел 2.2. Изчисленията се извършват непрекъснато във времето, в което детекторите за късо съединение са в работило състояние. Алгоритъмът на изчисленията използва адаптираните стойности на измерените токове и напрежения най-малко от последния половин период. При наличието на условия, затрудняващи измерването, например твърде малки напрежения или попадане в точка, близка до настройката, интервалът за измерени стойности автоматично се разширява.

Изчислението се извършва посредством решаване на диференциални уравнение:

$$L \cdot \frac{di}{dt} + R \cdot i = u,$$

където: “ u ” и “ i ” са моментните стойности на тока и напрежението за момента “ t ”, използването на които позволява (вследствие на идеалните характеристики на филтрите) определянето на компонентите на импеданса на контура на късо съединение R и X ($X = \omega \cdot L$), независимо от настройката на характеристиките на зоните.

За изчисляване на междуфазните къси съединения, съгласно избора на величините за измерване, определени според описанието дадено в раздел 2.2, се използват моментните стойности на линейното напрежение “ u ” и разликата на фазните токове “ i ” (фиг. 7).

$$L \cdot \left(\frac{di_{L1}}{dt} - \frac{di_{L2}}{dt} \right) + R \cdot (i_{L1} - i_{L2}) = u_{L1} - u_{L2}.$$

За изчисляване на еднофазните къси съединения (съгласно фиг. 8) се използва.

$$L \cdot \left(\frac{di_{L3}}{dt} - \frac{X_E}{X_L} \cdot \frac{di_E}{dt} \right) + R \cdot \left(i_{L3} - \frac{R_E}{R_L} \cdot i_E \right) = u_{L3-E},$$

където R и L са съответните компоненти на импеданса.

Резултатът от изчисленията е реактансът X_L на линията до мястото на късото съединение. Посредством него се определя мястото на късото съединение. От друга страна стойността на изчисления резистанс R_L се състои от съпротивлението на проводниците и съпротивлението в мястото на късото съединение - R_F (Вижте фиг. 8 и 9).

Бележка:

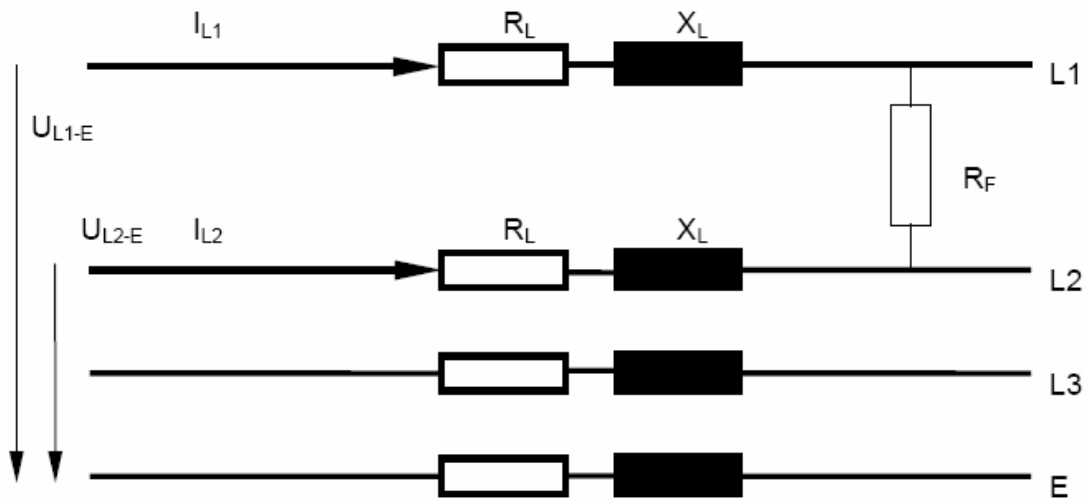
Коефициентите R_E/R_L и X_E/X_L имат само математическо значение и не притежават физически смисъл. Те могат лесно да бъдат изчислени от данните на електропровода без използването на векторни величини по формулата:

$$\frac{R_E}{R_L} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{R_0}{R_1} - 1 \right)$$

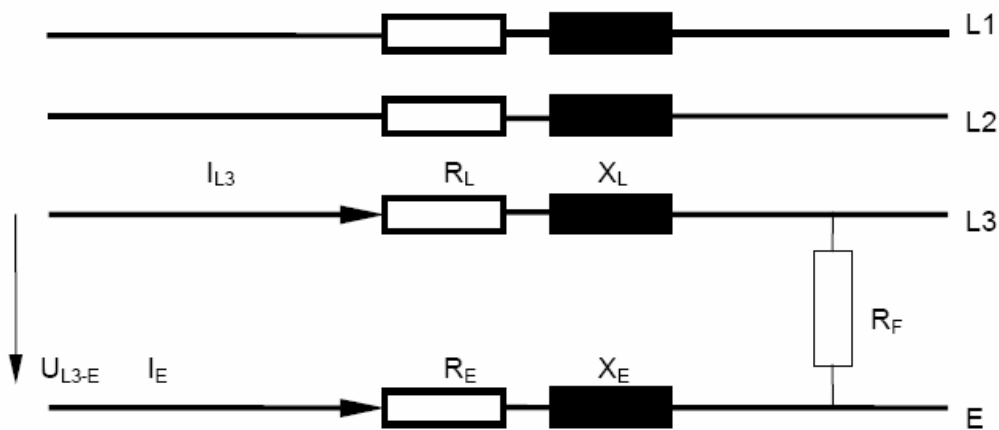
и

$$\frac{X_E}{X_L} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{X_0}{X_1} - 1 \right).$$

Отделните настройки на тези два коефициента позволяват при изчисленията да се отчита фазовата разлика между импеданса на проводника и на обратния път на тока на късото съединение през земя като допълнение на коефициента Z_E/Z_L .



Фиг. 8. Контур на късо съединение фаза-фаза



Фиг. 9. Контур на късо съединение „фаза-земя“

7.2.3.1. Общи данни за линията

Данните за линията, които се коментират в този раздел касаят физическите ѝ параметри и не зависят от настройките на зоните по импеданс и време. Съответствието на импедансите с права и нулева последователност се определя чрез въвеждането в защитата на отношенията R_E/R_L и X_E/X_L . Те се изчисляват лесно и не са идентични на реалната и имагинерната части на отношението Z_E/Z_L . **Не е необходимо** изчисленията да се правят в комплексен вид.

Изчисляването на стойността на тези параметри на защитата могат да бъдат определени от параметрите на линията с използването на следните формули:

За отношение на резистансите:

$$\frac{R_E}{R_L} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{R_0}{R_1} - 1 \right)$$

За отношение на реактансите:

$$\frac{X_E}{X_L} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{X_0}{X_1} - 1 \right),$$

където:

- R_0 е резистансът на нулева последователност на линията;
- X_0 е реактансът на нулева последователност на линията;
- R_1 е резистансът на права последователност на линията;
- X_1 е реактансът на права последователност на линията.

Няма значение дали в тези уравнения се използват величините на съпротивления за цялата дължина на линията или за единица дължина, тъй като и в двата случая отношенията са еднакви.

7.2.3.2. Числен пример:

Има една въздушна линия за номинално напрежение 110 kV със следните параметри:

S (дължина)	60 km	
$R_1/S=$	0.13 Ω/km	}
$X_1/S=$	0.39 Ω/km	
		импеданс на права последователност
$R_0/S=$	0.38 Ω/km	}
$X_0/S=$	1.15 Ω/km	
		импеданс на нулева последователност

Токови трансформатори	600/5 A
Напреженови трансформатори	110 kV/0.1 kV

За отношението на импеданса с нулева последователност ще получим:

$$\frac{R_E}{R_L} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{R_0}{R_1} - 1 \right) = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{0.38}{0.13} - 1 \right) = 0.64$$

$$\frac{X_E}{X_L} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{X_0}{X_1} - 1 \right) = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{1.15}{0.39} - 1 \right) = 0.65$$

При наличие на паралелна линия трябва да се отчете влиянието на взаимния импеданс на нулева последователност. Това важи само за защитите 7SA511, които имат вградена функция за определяне на разстоянието до късото съединение при паралелни линии т.е. поръчани са с функция за компенсация на влиянието на тока с нулева последователност, протичащ по паралелната линия. Тази компенсация се въвежда в действие със задаването на настройката "PARALLEL LINE = YES".

Настройките се определят от следните формули:

За отношението на резистансите:

$$\frac{R_M}{R_L} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{R_{0M}}{R_1} \right)$$

За отношение на реактансите:

$$\frac{X_M}{X_L} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{X_{0M}}{X_1} \right),$$

където:

X_{0M} е взаимния реактанс на нулева последователност на линиите;
 X_1 е реактансът на правата последователност на едната линия.

При изчисленията могат да се използват отношенията както на величините на съпротивлението за цялата дължина на линията, така и за единица дължина, тъй като и в двата случая отношенията са еднакви.

За различните функции на защитата е необходимо да се зададат някои допълнителни данни.

Реактансът на единица дължина се задава приведен към вторични величини. Стойността може да се определи от първичната стойност чрез използването на следната формула:

$$X_{Sec} = \frac{N_{ct}}{N_{vt}} \cdot X_{prim} \cdot \frac{I_N}{A}$$

където:

N_{ct} е преводният коефициент на токовете трансформатори;
 N_{vt} е преводният коефициент на напрежените трансформатори;
 I_N/A е номиналният вторичен ток на токовия трансформатор, който трябва да е равен на номиналния ток на защитата.

Задава се дължината на линията. Този параметър се използва от функцията за определяне на разстоянието до късото съединение.

7.2.3.3. Допълнителни данни за съоръженията

За правилната работа на някои от вградените в защитата функции са необходими някои допълнителни данни за първичните съоръжения, съвместно с които тя ще работи.

Настройва се минималната продължителност на изключвателния импулс. След задаването на тази настройка тя става валидна за всички функции на защитата, които подават команда за изключване. Трябва да се направи разграничаването на случаите, в които през прекъсвача протича ток ($I > 0.1 I_N$) и на тези не свързани с протичането на ток.

Минимална продължителност на изключвателния импулс при протичане на ток

Най-малка стойност **0.00 s**

Най-голяма стойност **32.00 s**

Минимална продължителност на изключвателния импулс без протичане на ток

Най-малка стойност **0.01 s**

Най-голяма стойност **32.00 s**

Ако функцията за проверка на условията за синхронизъм и наличие на напрежение ще се използва трябва да се има предвид следното:

Напрежението от напреженовия трансформатор на линията се означава с $U1$ и то е напрежението, което се използва като репер за всички функции, работещи с измерване на напрежение. Напрежението от напреженовия трансформатор от мерене на шини се означава с $U2$.

Начинът на свързване на това напрежение (какво напрежение се използва - фазно или линейно) се указва при настройката. Ако между шините и напреженовия трансформатор на линията има силов трансформатор неговата група на свързване трябва да бъде отчетена при избора на напрежение за репер.

Номиналното вторично напрежение на двата напреженови трансформатора трябва да бъде еднакво. Освен това отношението на първичните напрежения на напреженовите трансформатори, монтирани на линията и към шините трябва да е съобразено с коефициента на трансформация на силовия трансформатор.

Ако напрежението на шините и на линията не са дефазирани настройката трябва да остане 0° . В противен случай тя трябва да се промени. Ъгълът, определен като за репер се отнася до напрежението U_1 .

Пример:

Шини	400 kV - първично напрежение 110 V - вторично напрежение
Линия	110 kV - първично напрежение 110 V - вторично напрежение

Между мястото на монтиране на напреженовия трансформатор за мерене на шини и напреженовия трансформатор на линията има инсталиран силов трансформатор:

Силов Трансформатор	400 kV/110 kV група на свързване $Dy(n)5$
---------------------	--

Групата на свързване на силовия трансформатор се определя от ъгъла на векторите на напрежението на високата страна към ъгъла на напрежението на ниската страна. Напрежението на ниската страна на силовия трансформатор е реперно за защитата. По тази причина отметването на вектора на напрежението на шини съобразено с групата на свързване ще бъде $5 \times 30^\circ$ и трябва да се въведе с отрицателен знак.

7.2.4. Настройки на дистанционната защита

7.2.4.1. Общи настройки

Дистанционната защита вградена в 7SA511 има 5 зони по импеданс и 7 настройки по време, които са организирани по следния начин:

Независими зони по импеданс:

Зона Z1	с настройка по време T1
Зона Z2	с настройка по време T2
Зона Z3	с настройка по време T3

Управляеми (удължени) зони:

Зона Z1B	с настройка по време T1B
Зона Z1L	с настройка по време T1L

Крайни (пускови) зони:

Посочна	с настройка по време T4
Не посочна	с настройка по време T5

За зоните $Z1$, $Z2$ и $Z1B$ могат да се настройват различни времена за изключване при еднофазни и при междуфазни къси съединения.

Задават се посоката при посочната крайна зона и времената $T4$ и $T5$.

Бележка:

За реакцията на дистанционната защита **при ръчно включване върху късо съединение** могат да се изберат няколко варианта:

- При избор на настройка *Z1 EFFECTIVE* не се предприемат специални мерки.
- Специалните мерки се изразяват в превключването на защитата за действие с удължена зона (посочно), като за целта могат да се използват първа удължена зона ($Z1B$) или посочна пускова (FD) зона. Предварителното условие за изпълнението на това уско-

ряване е командата за ръчно включване на прекъсвача да се подава към защитата **през двоичен вход**.

Ако дистанционната защита работи съвместно с вградената функция или външно устройство за АПВ е необходимо на да се укаже коя зона на дистанционната защита е валидна преди АПВ. Обикновено в такива случаи при липса на комуникация между защитите в двата края на линията се използва ускоряване на първа удължена зона.

При използване на възможността за извършване на забавено АПВ (всяко АПВ след първото) на разположение е друга зона на дистанционната защита - Z1L. Въвеждането на тази зона на защитата преди цикъл на забавено АПВ може да се блокира. Стартирането на цикъла на забавено АПВ може да се блокира и чрез сигнал подаден на двоичен вход на защитата. Може да се избере и зона на защитата, която се активира през времето за което е блокиран цикъла на забавено АПВ. Обикновено в такива случаи се въвежда Z1 с T1, но тази настройка може да бъде променена на Z1 с T1B.

Ако защитаваната линия се състои от въздушна линия и кабелен участък зоните на дистанционната защита Z1B и Z1L, до известна степен, могат да се използват за разграничаване на късите съединения по въздушната линия и тези в кабелния участък. Включването от АПВ може да се блокира. Ако, например, кабелен участък преминава във въздушна линия е възможно на зоната Z1B да се зададе настройка, която да гарантира обхващане на късите съединения по него и да се зададе настройка за блокиране на АПВ при такива къси съединения. В случай, че се налага по-нататъшно разграничаване на късите съединения (конфигурация кабел - въздушна линия - кабел) по подобен начин може да се направи подходяща настройка.

7.2.4.2. Настройки на импедансните зони

Настройките за всяка от зоните на дистанционната защита се задават поотделно. Реактансът X определя обхвата на съответната зона. Резистансът R определя обхвата на съответната зона по активно съпротивление, което включва активното съпротивление на защитавания участък от линията и съпротивлението в мястото на късото съединение. То може да се настройва поотделно за еднофазни и междуфазни къси съединения с цел да се постигне по-добра чувствителност при еднофазните къси съединения през голямо активно съпротивление.

Посоката на всяка от зоните може да се определя индивидуално. Тази възможност осигурява свободен избор на действието в права, в обратна посока или непосочно, при случаите в които устройството се използва за защита на трансформатори, генератори или към шиносъединителни прекъсвачи.

Времената T1 и T2 могат да се настройват индивидуално и поотделно за еднофазни и междуфазни къси съединения. Тази възможност позволява, например, ако защитата е монтирана на трансформатор при еднофазни къси съединения да се зададе по-голяма настройка по време от това на съответната диференциална защита, или да се зададе по-малко време за изключване в обратна посока, ако късото съединение е междуфазно и по-близо до генериращите източници. Независимите зони на дистанционната защита Z1, Z2 и Z3 работят независимо една от друга и независимо от управляемите удължени зони Z1B и Z1L.

Препоръчва се задаването на такива настройки, които гарантират селективност при пълна схема на енергийната система. Разбира се, за да се определят тези настройки е необходимо те да бъдат предварително изчислени като се направи оценка в различните режими на работа на системата. Тези изчисления за обхвата на зоните се базират на първичните реактанти на електропроводите.

За първа зона на дистанционната защита Z1 обикновено се избира обхват 85% от дължината на линията и не се задава закъснение - т.е. $T1 = 0.00$ s. Късите съединения в този участък ще бъдат изключвани със собственото закъснение на защитата.

Времената за всяка следваща зона трябва да се увеличат с приетата от потребителя стъпка по време. Тази стъпка се определя в зависимост от времето за изключване на използваните в

схемата прекъсвачи, което трябва да включва и съответния толеранс, времето за възвръщане на защитите и максималния толеранс във времената. **Обикновено това време е от порядъка на 0.3 до 0.4 s.** Обхвата на зоните обикновено се настройва, така че да **покрива 85%** от най-късата зона на изходящите от отсрещната шина присъединения.

Стойностите, определени като първични величини трябва да се приведат към вторични величини съобразно използваните напреженови и токови измервателни трансформатори. Използва се формулата:

$$Z'' = \frac{K_{TT}}{K_{NT}} \cdot Z',$$

където:

- Z'' е импеданса приведен във вторични величини;
- Z' е първичния импеданс;
- K_{TT} е преводния коефициент на токовите трансформатори;
- K_{NT} е преводния коефициент на напреженовите трансформатори.

Вторичните величини, които се задават за настройка на релето трябва да са отнесени към номинален ток на защитата от 1 А. Т.е. формулата за привеждане на импедансите на зоните е:

$$X'' = \frac{N_{ct}}{N_{vt}} \cdot X' \cdot \frac{I_N}{1A},$$

където:

- X'' е импедансът приведен във вторични величини;
- X' - първичният импеданс;
- N_{ct} - преводният коефициент на токовите трансформатори;
- N_{vt} - преводният коефициент на напреженовите трансформатори;
- $I_N/1A$ - отношението на номиналния вторичен ток на токовите трансформатори към номиналния ток на защитата.

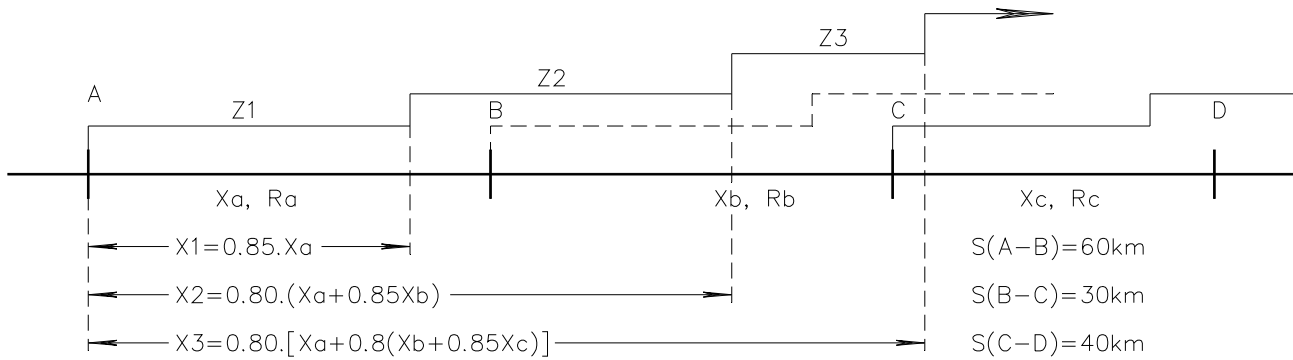
Настройката R на зоната определя обхвата и по посока на активните съпротивления, които включват: активното съпротивление на проводника до мястото на късото съединение, съпротивлението в мястото на късото съединение (например на дъгата) и съпротивлението на заземлението на стълба. При определянето на тази настройка трябва да се има предвид, че тя трябва да бъде достатъчно по-малка от активното съпротивление на максималния възможен товар по линията. Тази настройка може да се задава поотделно за еднофазни и междуфазни къси съединения.

7.2.4.3. Числен пример

Защитата е монтирана на въздушна линия с алуминиево-стоманени проводници 240/40 mm² със следните характеристики:

Дължина	60 km
R_1	0.13 Ω /km
X_1	0.39 Ω /km
R_0	0.38 Ω /km
X_0	1.15 Ω /km
Токови т-ри	600 / 5 А
Напреженови т-ри	110 / 0.1 kV
Максимален товар P_{max}	130 MVA,
отговарящ на I_{max}	680 А.

На фиг. 6.2 е показана опростена първична схема на част от енергийна система със съответния селективен план на настройките на дистанционните защиты.



Фиг. 6.2. Селективен план на настройките на релейните защиты от изчислителния пример

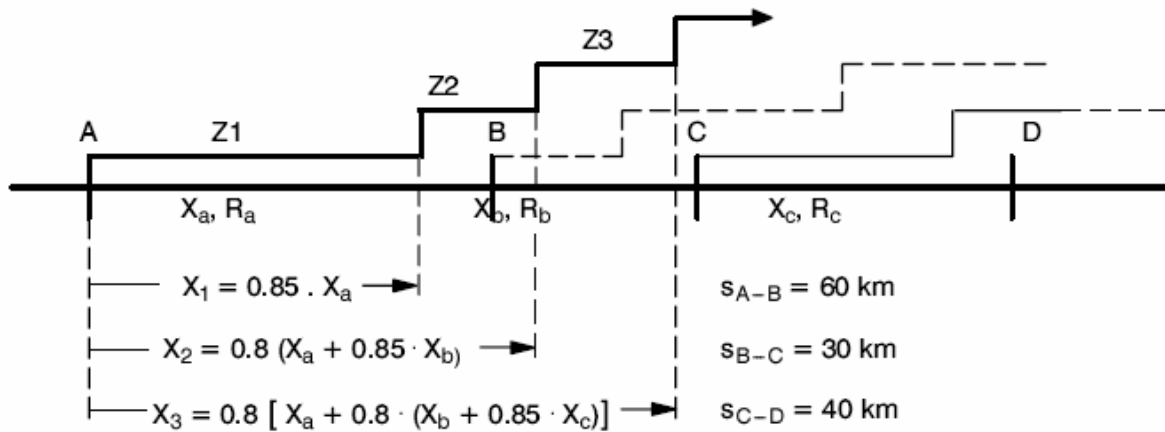


Figure 6.2 Grading plan related to above calculation example

От първичните данни получаваме параметрите на линиите:

$$X_a = 0.39 \cdot 60 = 23.4 \, \Omega$$

$$R_a = 0.13 \cdot 60 = 7.8 \, \Omega$$

$$X_b = 0.39 \cdot 30 = 11.7 \, \Omega$$

$$R_b = 0.13 \cdot 30 = 3.9 \, \Omega$$

$$X_c = 0.39 \cdot 40 = 15.6 \, \Omega$$

$$R_c = 0.13 \cdot 40 = 5.2 \, \Omega$$

За импеданса на зоните се получава:

Зона 1 - първично (85% от дължината на линията)

$$X_1' = 0.85 \cdot X_a = 0.85 \cdot 23.4 = 19.89 \, \Omega$$

Зона 1 - вторично

$$X_1'' = \frac{N_{ct}}{N_{vt}} \cdot X_1' \cdot \frac{I_N}{1A} = \frac{600/5}{110/0.1} \cdot 19.89 \cdot \frac{5A}{A} = 10.85 \, \Omega$$

Зона 2 - първично (достига до 80% от дължината на първа зона на следващата линия)

$$X_2' = 0.80 \cdot (X_a + 0.85 X_b) = 0.80 \cdot (23.4 + 0.85 \cdot 11.7) = 26.68 \, \Omega.$$

Зона 2 - вторично

$$X_2'' = \frac{N_{ct}}{N_{vt}} \cdot X_2' \cdot \frac{I_N}{1A} = \frac{600/5}{110/0.1} \cdot 26.68 \cdot \frac{5A}{A} = 14.55 \Omega.$$

Зона 3 - първично (достига до 80% от дължината на втора зона на следващата линия)

$$X_3' = 0.80 \cdot [X_a + 0.80 \cdot (X_b + 0.85 \cdot X_c)] = 0.80 \cdot [23.4 + 0.80 (11.7 + 0.85 \cdot 15.6)] = 34.69 \Omega.$$

Зона 3 - вторично

$$X_3'' = \frac{N_{ct}}{N_{vt}} \cdot X_3' \cdot \frac{I_N}{1A} = \frac{600/5}{110/0.1} \cdot 34.69 \cdot \frac{5A}{A} = 18.92 \Omega.$$

7.2.4.4. Настройки по активно съпротивление

При определяне на настройката по активно съпротивление при въздушните линии основно значение има съпротивлението на дъгата. При кабелни линии съпротивлението на дъгата е с незначителна стойност и настройката по активно съпротивление в тези случаи се определя от собствения резистанс на кабела. Въпреки това, при защитаване на много къси кабели е необходимо да се зададе такава настройка, която да гарантира, че при възникване на дъга на входните клемите на кабела това късо съединение ще попадне в обхвата на първа зона на защитата.

В този пример се приема, че при възникване на дъга между два фазни проводника максималния пад на напрежение върху нея ще бъде 12 kV. Ако се приеме, че максималният ток на късо съединение е 1000 A, то може да се определи първичната стойност на съпротивлението на дъгата - 12 Ω. Може да се определи стойността на настройката в този случай:

$$R_1' = R_{1Line} + \frac{1}{2} \cdot R_{arc} = 6.63 + \frac{1}{2} \cdot 12 = 12.63 \Omega$$

$$R_1'' = \frac{N_{ct}}{N_{vt}} \cdot R_1' \cdot \frac{I_N}{1A} = \frac{600/5}{110/0.1} \cdot 12.63 \cdot \frac{5A}{A} = 6.9 \Omega$$

Във формулите се използва само половината от изчисленото съпротивление на дъгата понеже то се отнася за целия контур на късо съединение и само половината от него се отнася за съответната фаза с късо съединение.

При еднофазни къси съединения може да се зададе отделна настройка по активно съпротивление. Ако приемем, че съпротивлението на дъгата е 9 Ω, а на заземлението на стълба и на обратния път на тока през земята - 25 Ω, ще получим:

$$R_{1E}' = R_{1Line} + R_{arc} + R_{tower} = 6.63 + 9 + 25 = 40.63 \Omega$$

$$R_{1E}'' = \frac{N_{ct}}{N_{vt}} \cdot R_{1E}' \cdot \frac{I_N}{1A} = \frac{600/5}{110/0.1} \cdot 40.63 \cdot \frac{5A}{A} = 22.2 \Omega$$

Тази стойност е достатъчно далече от областта на товара. С настройката на блокировката при люлеене не е необходимо да се съобразяваме, тъй като тя работи само при симетрични процеси и се извежда при еднофазни къси съединения.

Бележка: Настройките по активно съпротивление R за всяка от зоните, ако е възможно, не трябва да превишават 6 пъти стойността на настройката по X.

7.2.4.5. Удължени (управляеми) зони Z1B и Z1L

Работата на двете удължени зони, с които разполагат защитите 7SA511 подлежи на специален контрол. Действието им не влияе на работата на независимите зони Z1, Z2 и Z3. Поради спецификата на предназначението си те се въвеждат и/или извеждат от действие посредством специални критерии. Ако някоя от тези зони не се използва настройките, които са ѝ зададени не са от значение.

Първа удължена зона обикновено се използва съвместно с функцията за АПВ и/или със схемите за комуникация. Съществува възможност тя да се активира и посредством сигнал подаден на двоичен вход на защитата. По принцип тя се настройва така, че гарантирано да обхваща шините в отсрещната подстанция (120% от импеданса на линията).

Зоната Z1L се използва при осъществяване на многократни АПВ, след втория опит за включване (забавено АПВ). Тя също може да се активира със сигнал подаден на двоичен вход на защитата.

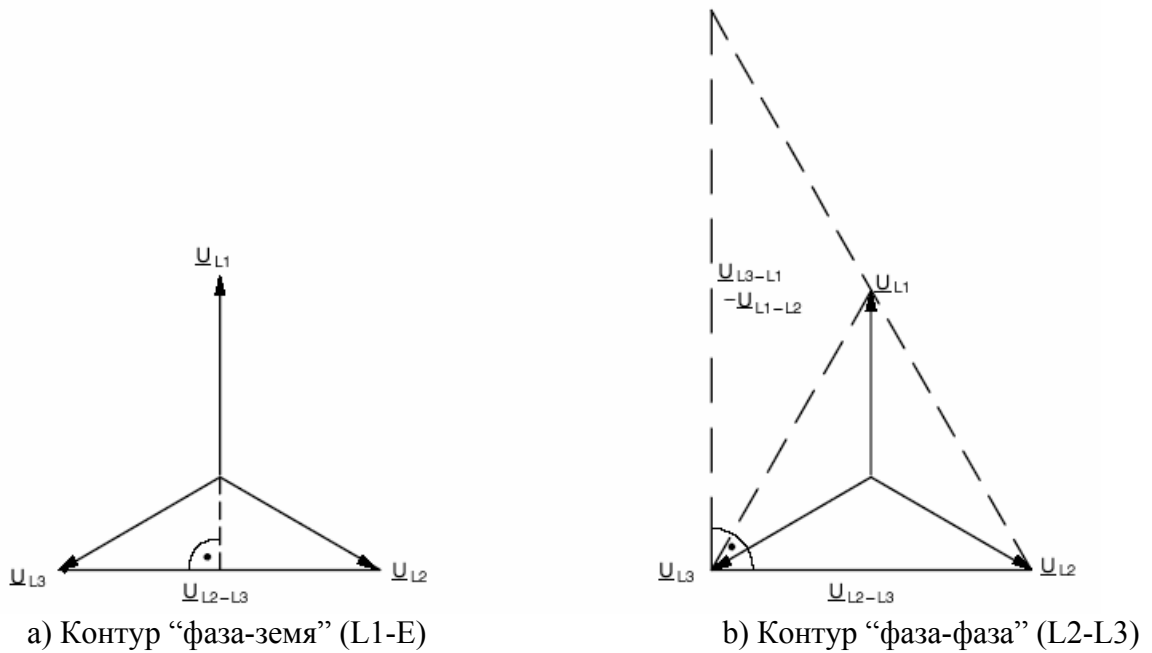
Тези две зони на защитата могат да се използват за разграничаване на късите съединения по въздушния и кабелния участък на смесена линия. Всяка от тези зони има собствена настройка по време, освен това за първа удължена зона е възможно да се зададат различни настройки при еднофазни (T1B 1PHASE) и междуфазни (T1B >1PHASE) къси съединения.

Посоката на всяка от зоните също може да се определя самостоятелно.

7.2.5. Определяне на посоката

Определянето на посоката на енергията при късо съединение става по начин, подобен на измерването на импеданса. В някои от случаите за определяне на посоката се използва напрежението на здрава фаза или друго напрежение, запомнено в специална памет за напреженията. По този начин се осигурява правилно определяне на посоката на късото съединение във всички случаи, дори когато остатъчното напрежение при късо съединение е незначително по стойност. Напрежението (за два периода) записано в предназначенията за тази цел специална памет се използва само в случаите, когато остатъчното напрежение на контура на късо съединение не е достатъчно за прецизно определяне на посоката.

За посочното реле се използва 90°-на схема на свързване – при активна верига токът е винаги на 90° спрямо линейното напрежение (I_A и U_{BC}) (фиг. 10). Това е съобразено при изчисляването на посочния вектор. В табл. 2 са показани величините, които се използват за изчисляване на импеданса и посоката при шестте възможни комбинации на късо съединение.



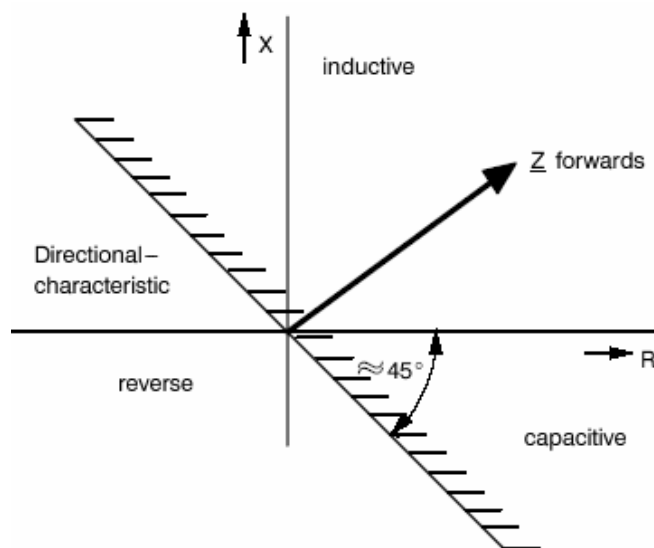
Фиг. 10. Препоръчвани напрежения за определяне на посоката

Табл. 2. Измервани стойности за изчисляване на импеданса и за определяне на посоката.

Контур на к.с.	Измерван ток (за импеданс и посока)	Измервано напрежение (за импеданс)	Измервано напрежение (за посока)
L1-E	$I_{L1} - k_E \cdot I_E$	U_{L1-E}	U_{L2-L3}
L2-E	$I_{L2} - k_E \cdot I_E$	U_{L2-E}	U_{L3-L1}
L3-E	$I_{L3} - k_E \cdot I_E$	U_{L3-E}	U_{L1-L2}
L1-L2	$I_{L1} - I_{L2}$	U_{L1-L2}	$U_{L2-L3} - U_{L3-L1}$
L2-L3	$I_{L2} - I_{L3}$	U_{L2-L3}	$U_{L3-L1} - U_{L1-L2}$
L3-L1	$I_{L3} - I_{L1}$	U_{L3-L1}	$U_{L1-L2} - U_{L2-L3}$

Забележка: $k_E = Z_E / Z_L$. Всички величини в таблицата са векторни.

Теоретичната характеристика на посочния елемент е показана на фиг. 11. На практика положението на линията, определяща посоката на късо съединение зависи от стойността на импеданса на източника, тъй като преди възникването на късото съединение, по линията тече само токът на товара.



Фиг. 11. Посочна характеристика на 7SA511 (условия за максимална чувствителност на посочната функция на 7SA511, $\varphi_{м.ч.} = 45^\circ$)

На фиг. 12 е показана характеристиката на посочния елемент с отчитане влиянието на импеданса на източника, без да е отчетено влиянието на тока на товара. Тъй като напрежението в нормален режим може да се приеме за равно на това на източника E , което не се променя след появата на късото съединение, характеристиката на посочния елемент в импедансната равнина е отместена със стойност равна на импеданса на източника. Ако мястото на късо съединение е $F1$ (фиг. 12a), то е в права посока, а импедансът на източника – в обратна. Всички къси съединения до точката на монтиране на релето (на токовите трансформатори) ще бъдат определени в права посока (фиг. 12b). При протичане на ток в обратна посока посочната характеристика веднага се изменя (фиг. 12c). В този случай протичащия в обратна посока ток, определен от импеданса на източника $Z_{S2} + Z_L$ също протича през точката на измерване (през токовите трансформатори).

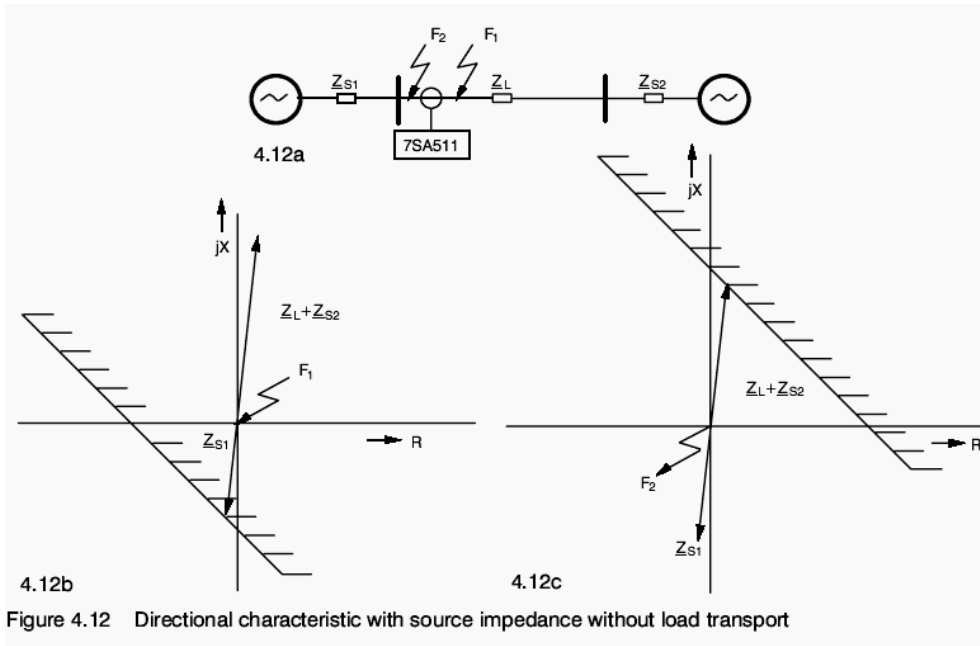


Figure 4.12 Directional characteristic with source impedance without load transport

Фиг. 12. Посочна характеристика с импеданса на източника без преминаващия ток

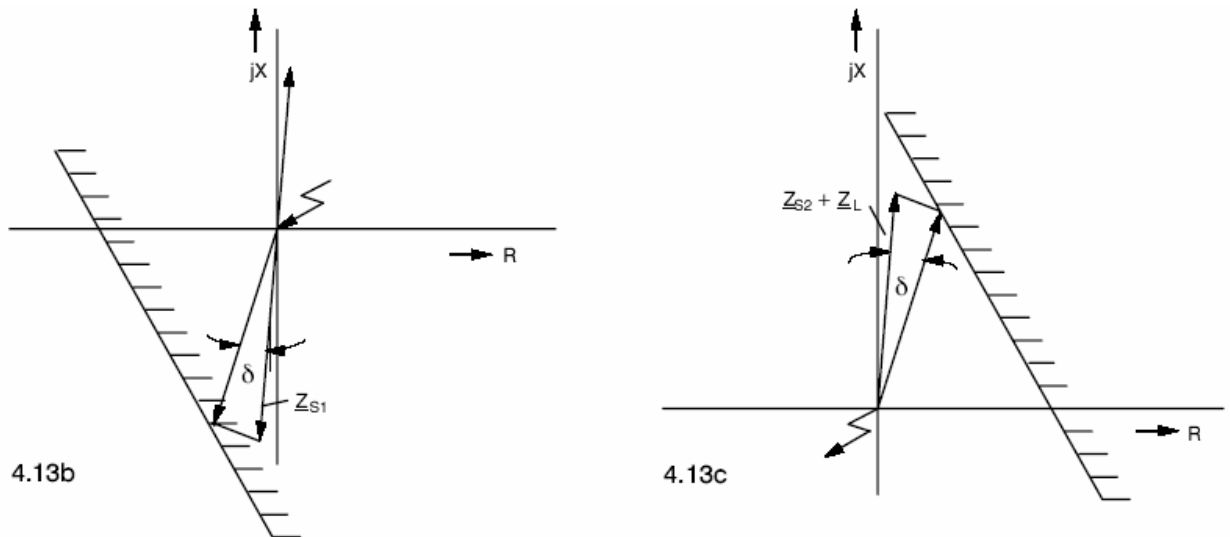
Ако по линията тече ток на товара това се отразява в пад на напрежение върху импеданса на източника (фиг. 13a). Тъй като в точката на монтиране на защитата се измерва напрежението U , а не електродвижещото напрежение на източника E , то посочната характеристика се завърта на ъгъла на товара δ (фиг. 13b и 13c). Поради този факт се налага посочната характеристика да обхваща и известна част от втори и четвърти квадранти, както е показано на фиг. 11.

а) преди късото съединение

б) след възникване на късото съединение



Фиг. 13. Векторна диаграма на напреженията при натоварена линия с еднофазно късо съединение



Фиг. 13. Посочна характеристика с импеданса на източника и товар по линията

7.2.6. Изключвателни характеристики

Изключвателните зони на защитата 7SA511 имат полигонални характеристики. Те се формират от линията за определяне на посоката, съгласно раздел 4.2.4 и съответните граници по активно и реактивно съпротивление. Настройките по резистанс и реактанс се задават поотделно и независимо едни от други. Освен това е възможно задаването на различни настройки по активно съпротивление за еднофазни (RE) и междуфазни къси съединения така че, ако е необходимо, да се обхващат къси съединения с по-малък ъгъл (по голяма активна компонента).

Както е показано на фиг. 14 защитата има следните характеристики, които могат да се настройват независимо една от друга:

1^{ва} зона (Z1 - зона без време) с параметри за настройка:

- X1 обхват по реактанс
- R1 обхват по резистанс за междуфазни къси съединения
- R1E обхват по резистанс за еднофазни къси съединения
- T1 T1 = 0 или ако е необходимо с време, има отделни настройки за еднофазни и междуфазни къси съединения

2^{ра} зона (Z2 - резервна зона с настройка по време) с параметри за настройка:

- X2 обхват по реактанс
- R2 обхват по резистанс за междуфазни къси съединения
- R2E обхват по резистанс за еднофазни къси съединения
- T2 закъснение, с отделни настройки за еднофазни и междуфазни къси съединения.

3^{та} зона (Z3 - резервна зона с настройка по време) с параметри за настройка:

- X3 обхват по реактанс
- R3 обхват по резистанс за междуфазни къси съединения
- R3E обхват по резистанс за еднофазни къси съединения
- T3 закъснение

Освен тези три зони на разположение са и още две зони действието на които се управлява от наличието или липсата на някои логически условия:

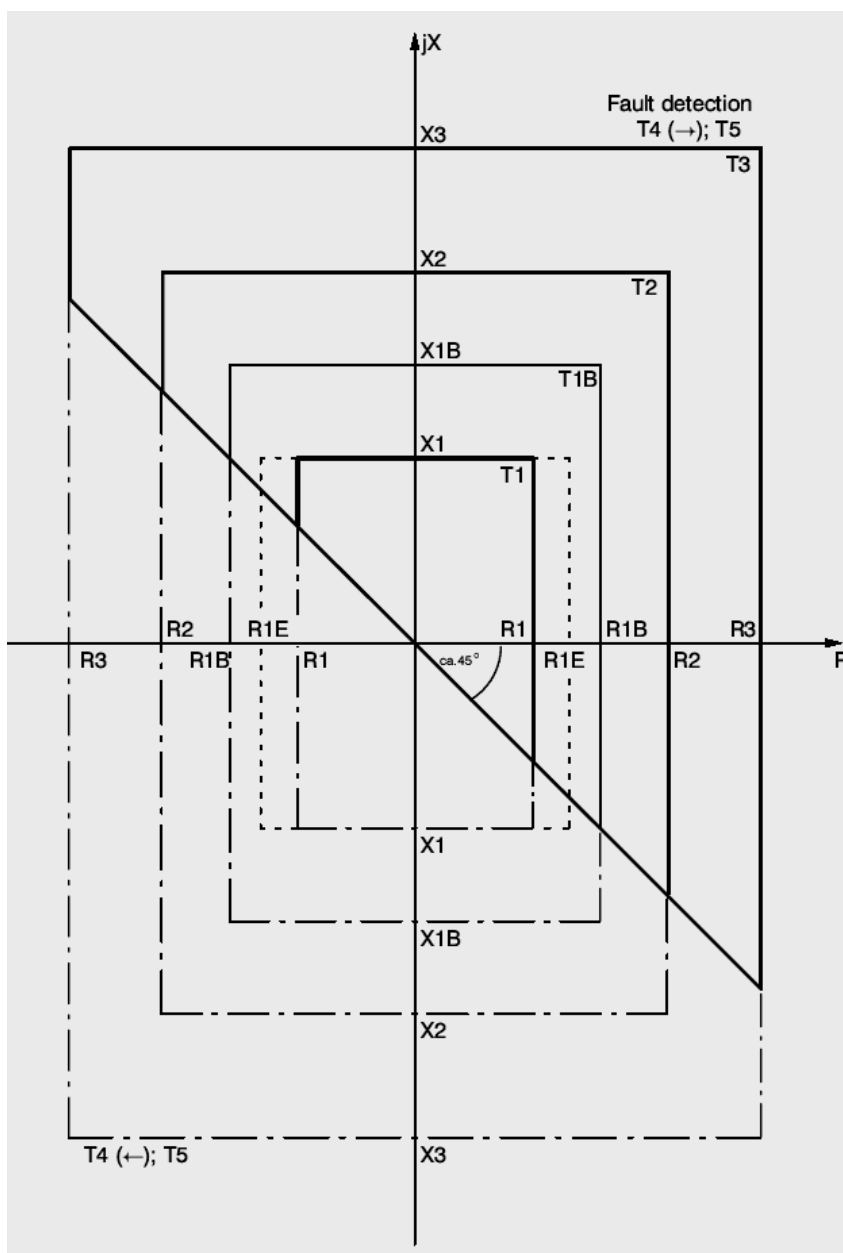
1^{ва} удължена зона - Z1B предназначена е да се използва за осъществяване на комуникационни схеми, ускоряване преди АПВ, или действието ѝ да се контролира посредством двоичен вход на защитата, с параметри за настройка:

- X1B обхват по реактанс
- R1B обхват по резистанс за междуфазни къси съединения

- R1BE обхват по резистанс за еднофазни къси съединения
 T1B $T1B = 0$ или ако е необходимо с време, има отделни настройки за еднофазни и междуфазни къси съединения
 удължена зона - Z1L активираща се при използване на многократно АПВ (цикъл на забавено АПВ), или посредством двоичен вход на защитата, с параметри за настройка:
 X1L обхват по реактанс
 R1L обхват по резистанс за междуфазни къси съединения
 R1LE обхват по резистанс за еднофазни къси съединения
 T1L $T1L = 0$ или ако е необходимо с време

Всяка от зоните може да се настрои за работа в права или обратна посока или да бъде непомощна.

На фиг. 14 е показан вида на характеристиките. За опростяване на чертежа различните настройки за отделните видове къси съединения са показани само за първа зона. По същата причина не е показана зоната Z1L.



Фиг. 14. Характеристики на зоните за изключване
 Fault detection – зона на пусковите функции

На разположение е и крайна зона, която може да бъде посочна или непосочна. Обхватът и вида на характеристиката ѝ се определят от избора на настройка на детекторите за къси съединения. За моделите с импедансни детектори за къси съединения на разположение е пусковата зона ZA, показана на фиг. 3. Обхвата на другите видове детектори за къси съединения зависят от характеристиките на захранващия източник (например отношението на импедансите), тъй като те нямат определена форма в равнината R-X.

7.2.7. Изключвателна логика

При откриване на късо съединение от релето се стартира измерването на времената. Импедансите изчислени за избраните, контури на късо съединение се сравняват с праговете за заработване на съответните зони. Команда за изключване се подава, когато изтече времето на зоната в чийто обхват е измерения импеданс и посоката му съвпада с настроената. За първа зона Z1 (или първа удължена зона Z1B) настройката по време обикновено е 0 s, т.е. команда за изключване ще бъде подадена веднага след като се получи потвърждение, че измерения импеданс е в обхвата на зоната. При измерване на импеданс близък до границата на зоната автоматично се стартира повторно изчисляване с цел да се избегнат евентуални грешни действия и преходно удължаване на зоните. Този принцип на действие може да доведе до малко удължаване на времето за изключване.

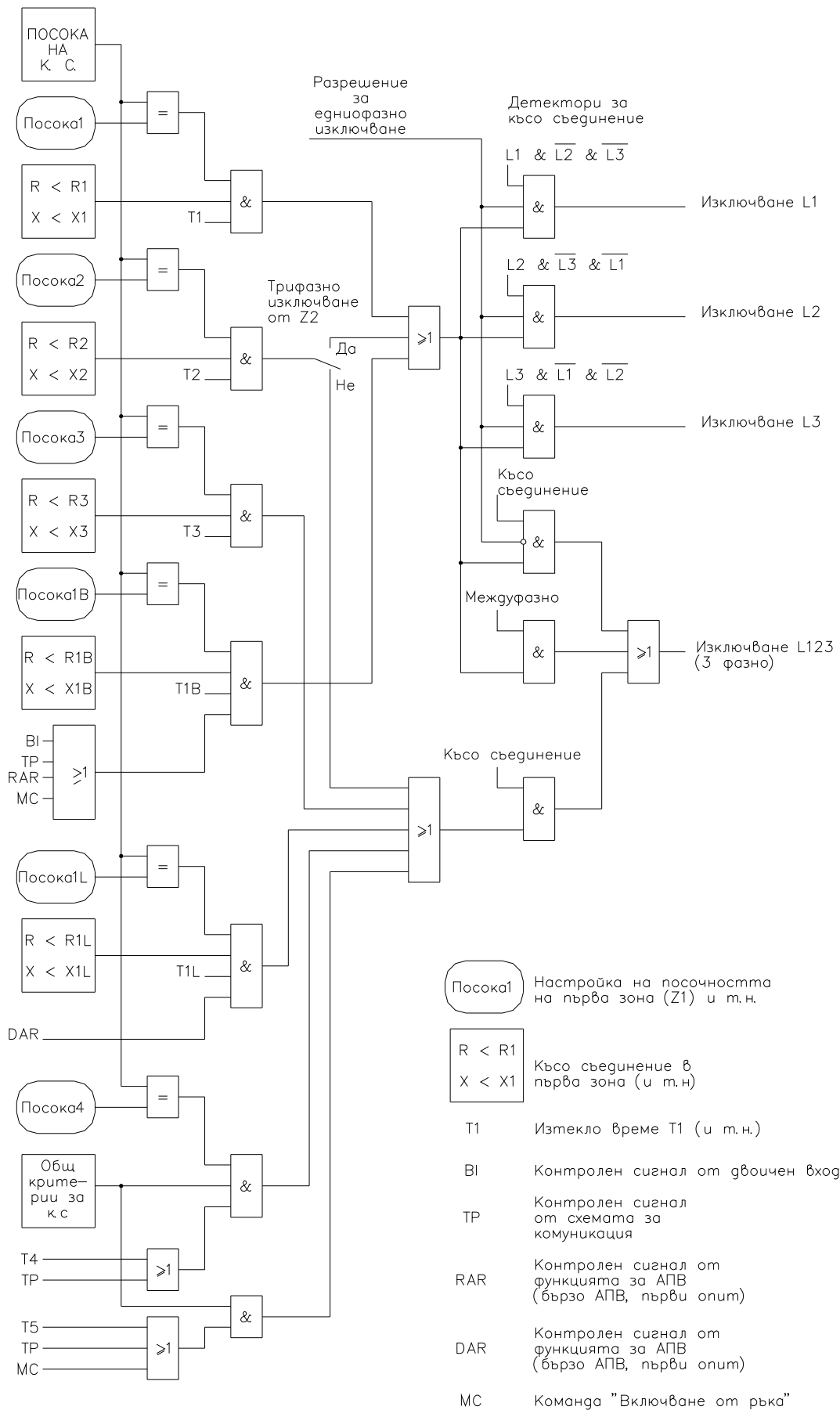
При заработване на първа (Z1), първа удължена (Z1B) и втора (Z2) зони изключването при еднофазни къси съединения може да бъде пофазно. Тази възможност се използва при осъществяване на еднофазни автоматични повторни включвания. При междофазни къси съединения, по принцип, следва трифазно изключване. Ако функцията за АПВ не е готова да стартира изпълнението на цикъл за АПВ, изключването винаги е трифазно. В случай, че не се използва пофазно АПВ при всички видове къси съединения изключването е трифазно. Ако в защитната схема на линията се използва външно за защитата устройство за АПВ, то командата за изключване може да се свърже към двоичен вход на защитата.

Освен това, чрез двоичен вход на защитата може да се контролира и действието на удължените зони Z1B и/или Z1L.

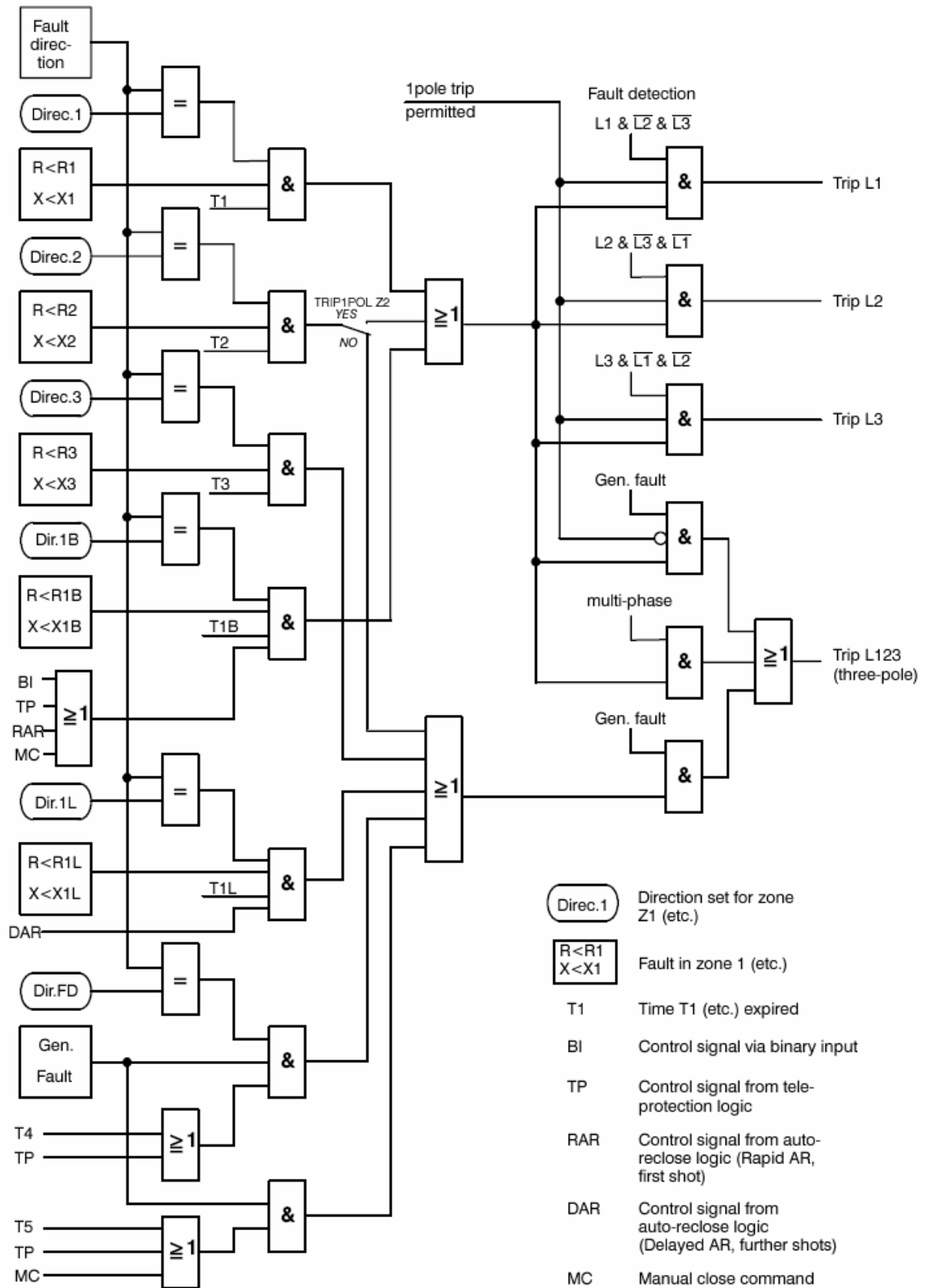
На фиг. 15 е показана блокова схема на изключвателната логика.

Вградената логика за включване върху късо съединение може да се настрои да активира или първа удължена зона (Z1B, обикновено посочна) или пусковата зона (не посочно и без време). На фиг. 15 са показани и двете възможности.

За подаването на изключвателната команда към прекъсвачите в конструкцията на защитата са предвидени релета с мощна контактна система, всяко от които има по два нормално-отворени контакта. Изключвателните релета връщат автоматично при връщане на детекторите за късо съединение след прекъсването на тока на късото съединение (връщане на минималнотоковия елемент). Във всички случаи обаче изключвателната команда е с настроената минимална продължителност. Веригата за изключване на прекъсвача трябва да се прекъсва от предвиден за тази цел блок-контакт на самия прекъсвач.



Фиг. 15. Блокова схема на изключвателната логика на дистанционната защита



8. Блокировки на дистанционните защиты при люлеене

Преговор

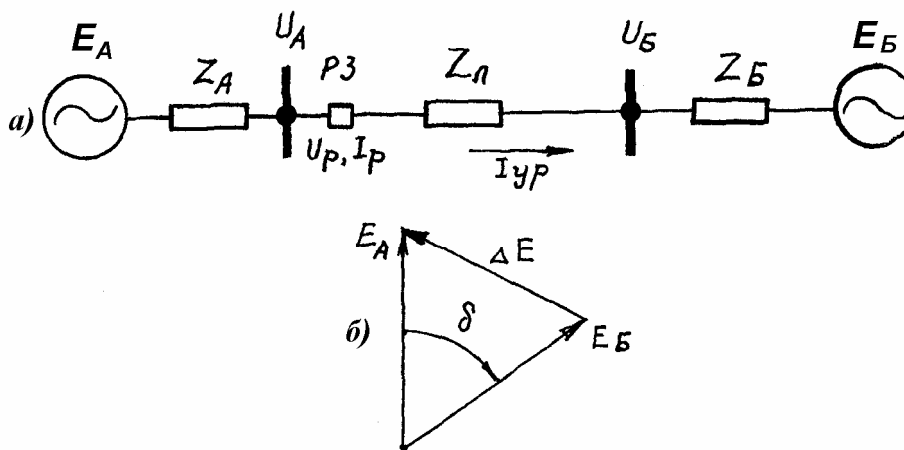
8.1. Въведение

Люлеенето и асинхронният ход в ЕЕС са следствие на системни смущения - рязка промяна на товара или изключване на к.с. с недопустимо забавяне. Големината на колебанията зависи от степента на смущението и от естествената стабилност на системата. Скоростта на измененията зависи от времеконстантите на системата и от импедансите между отделните генератори.

Типично е представянето на явлението в една двумашинна система (фиг. 1а). Двете части на системата *A* и *B* могат да имат следните различия:

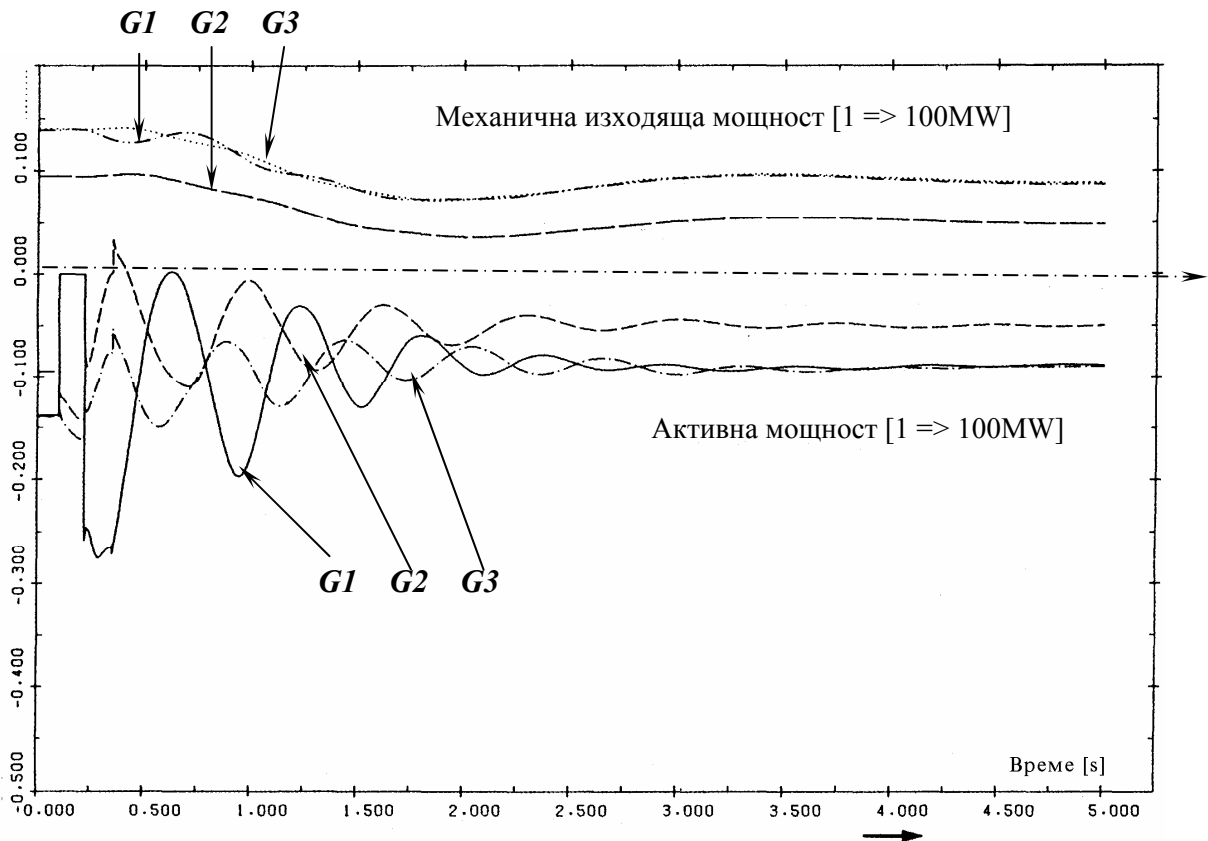
А. Частта *A* има честота $\omega_A = \text{const.}$, а частта *B* - $\omega_B = \text{const.}$ (фиг. 1а). Честотата на хлъзгане е

$$(1) \quad \omega_A - \omega_B = \omega_s .$$



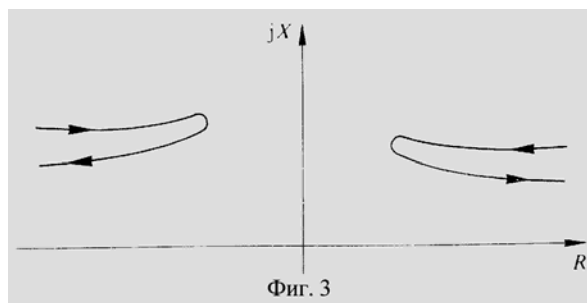
Фиг. 1

Б. Частта А има честота $\omega_A = \text{const}$. Честотата ω_s се изменя от една начална стойност $\omega_{s,\text{нач}}$ до нула, т.е. люлеенето минава в синхронен режим след краен брой колебания. Може да се зададе и закон за изменението на ω_s , например линеен. Пример на параметрите при такова затихващо люлеене е даден в [10] (фиг.2).



Фиг.2

В. Люлеене без хлъзгане. Честотите на двете части са винаги равни, но заедно се люлеят с честота ω_s , т.е. $\omega_A = \omega_B = \omega_{\text{var}}$. Изменението на измервания от защитата импеданс е даден в [2] (фиг.3).



Фиг. 3

8.2. Описание на процесите при люлеене

За простота на представянето по-долу се разглежда случаят А. Построява се векторната

$$(2) \quad \dot{E}_A - \dot{E}_B = \Delta \dot{E}; \quad \omega_A - \omega_B = \omega_s; \quad Z_\Sigma = Z_A + Z_B + Z_L;$$

$$(3) \quad \delta = \omega_s \cdot t; \quad \Delta \dot{E} = 2 \cdot E_A \cdot \sin\left(\frac{\omega_s \cdot t}{2}\right).$$

диаграма за схемата от фиг. 1б. Приети са съотношенията:

Дистанционната защита е на електропровода към шина А. Тя получава следните токове и напрежения (фиг. 1а):

$$(4) \quad I_p = I_{yp} = \frac{\Delta \dot{E}}{Z_{\Sigma}};$$

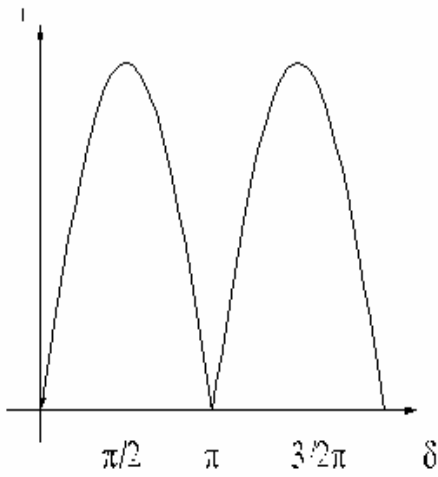
$$(5) \quad \dot{U}_p = \dot{E}_A - \dot{I}_p \cdot Z_A = \dot{E}_A - \frac{\Delta \dot{E}}{Z_{\Sigma}} \cdot Z_A.$$

Измереният импеданс в комплексен вид е

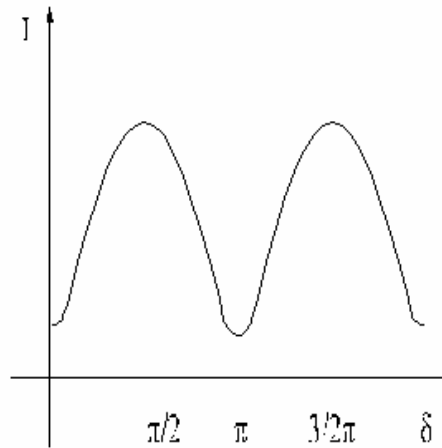
$$(6) \quad Z_p = \frac{\dot{U}_p}{\dot{I}_p} = Z_{\Sigma} \cdot \frac{\dot{E}_A}{\Delta \dot{E}} - Z_A.$$

Променлива величина е времето t , т.е. ъгълът δ .

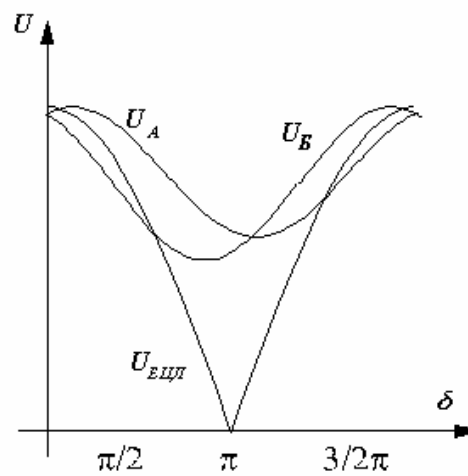
Изменението на токовете във функция от ъгъла на разместване на е.д.с. в ненатоварена система е дадено на фиг. 4. Същата функция в система с товар е дадена на фиг. 5.



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

От фигурите могат да се направят следните изводи:

1. При люлеене в ЕЕС по ЕП протичат уравнителни токове. Те имат максимална стойност при ъгли δ близки до 180° . Максималните стойности на токовете се определят от сумата на е.д.с. на машините (в частност удвоеното е.д.с. на единия генератор при $E_A=E_B$) и могат да бъдат и по-големи от токовете на трифазно к.с. При ненатоварена система минималните стойности на токовете спадат до нула. При натоварени системи минималните стойности се определят от големината и характера на товара.
2. Напрежението в мястото на дистанционната защита се колебае (фиг. 6). Най-големи колебания се явяват в точката на електрическия център на люлеене (ЕЦЛ).
3. Изравнилният ток изостава от разликата между е.д.с. на ъгъл φ_c , определен от параметрите на системата.

8.3. Използване на комплексната равнина за анализ на поведението на импедансите релета при люлеене в ЕЕС

Използването на комплексната равнина за анализ на поведението на импедансите релета при люлеене е удобно и нагледно. Дава възможност в равнината (R, j) да се разгледа едновременно характеристиката на релето и ходографът на измервания от него импеданс. Методът е създаден през 1941 г. в МЭИ от Н. А. Моралев като дипломна работа.

От фиг. 1б и уравнение (6) следва, че върхът на вектора $\Delta \hat{E}$ описва окръжност, когато ъгълът $\delta = \omega_s \cdot t$ се изменя от 0 до 360° .

Допълнително ще се приеме с нулева начална фаза напрежението \hat{E}_A , а $\Delta \hat{E}$ ще раздели на \hat{E}_A

$$(7) \quad Z_p = \frac{\dot{U}_p}{\dot{I}_p} = Z_\Sigma \cdot \frac{1}{\Delta \hat{E}^*} - Z_A.$$

и ще стане в относителни единици $\Delta \hat{E}^*$.

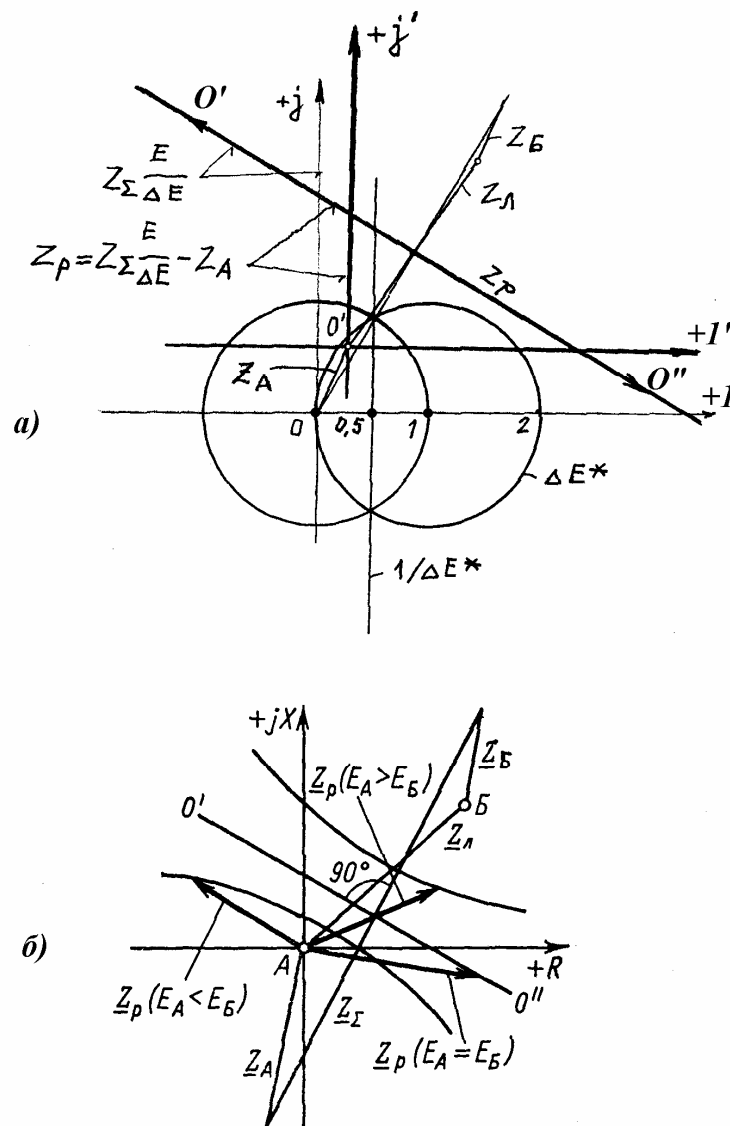
Геометричното място на $\Delta \hat{E}^*$ е единична окръжност, която минава през координатно начало (фиг. 7а, координати $\{+1, +j\}$). Инверсният ѝ образ $1/\Delta \hat{E}^*$ е права, успоредна на ординатната ос и отстояща на 0.5 о.е. от центъра O в същата координатна система $\{+1, +j\}$.

Векторите Z_Σ , Z_A , Z_B и Z_L са начертани с очакваните ъгли, близки до 90° . Произведението $Z_\Sigma (1/\Delta \hat{E}^*)$ дава права, която разполовява вектора Z_Σ и е завъртяна според неговия ъгъл. За да се получи крайният резултат Z_p , трябва от $Z_\Sigma (1/\Delta \hat{E}^*)$ да се извади векторът Z_A . Изваждането може да се реализира и с преместване на координатното начало. В новата координатна система (I', j') се показва крайният резултат $Z_p(\delta)$.

При приетите опростени условия по време на люлеене измерваният от дистанционната защита импеданс Z_p ще се движи по описаната права O', O'' и може да се съпостави с характеристиките на съответната защита.

Ако напреженията \hat{E}_A и \hat{E}_B не са еднакви, геометричното място на $\Delta \hat{E}^*$ не е единична окръжност, която минава през координатно начало. Инверсният ѝ образ $1/\Delta \hat{E}^*$ е окръжност в общо положение. На фиг. 7б са показани ходографи на Z_p при $\hat{E}_A > \hat{E}_B$ и $\hat{E}_A < \hat{E}_B$.

Анализът на поведението на релетата при люлеене се осъществява, като се съпоставят настроените характеристиките на релетата, определящи тяхната зона на заработване със съпротивленията, измерени от тях в разглеждания режим.



Фиг. 7

8.4. Изисквания към блокировките при люлеене в ЕЕС

- 3.1. Релета за блокиране при люлеене се използват главно при дистанционните защиты, въпреки че имат място и при други бързи защиты, като например токовите отсечки (А. М. Федосеев, Н. В. Чернобровов).
- 3.2. Релето трябва да открие люлеенето бързо, т.е. преди защитата да е заработила излишно. Блокирането следователно не трябва да се случва, когато събитието е повреда, дори и по същото време да има люлеене.
- 3.3. Релета за блокиране при люлеене трябва да блокира не само функцията "изключване", но също и да връща релето за време на дистанционната защита, което означава, че дори да се случи повреда по време на люлеене всички дистанционни релета трябва да започнат измерване в първа зона и да няма безразборни (объркани) изключвания. За да се постигне това е необходимо да се екипират с блокировки всички дистанционни релета, които биха реагирали на люлеенето, а не само тези, на които електрическият център попада в първата и втората зона.
- 3.4. Обхватът на честотата на хлъзгане, на която реагират блокиращите релета се определя при насрещни (двата вектора се раздалечават в противоположни посоки или единият вектор стои неподвижен, а другият се отдалечава с двойно по-голяма ъглова скорост) скорости на електродвижещите напрежения на двумашинна система и има горна граница до 10% от номиналната честота (5 Hz). Според някои източници

диапазонът на честотите при люлеене е от 0.2 до 2 Hz. Долната граница най-често се препоръчва да бъде 0.1% от номиналната честота, т.е. 0.05 Hz. Такива широки граници се обсъждат, когато се оценяват възможностите на различните принципи. Долните граници се отнасят за случаите на излизане от паралел на паралелно работещи генератори.

За България (по инж. Кирил Илчев) честотата на люлеене има гранични стойности 0.2 - 2 Hz, най-често тя е в интервала 0.6 – 1.5 Hz, при авария до АЕЦ “Козлодуй” – 0.86 Hz.

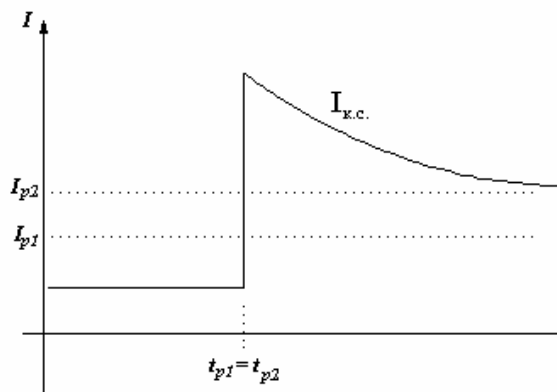
Защитите трябва да бъдат конструирани и настроени така, че да не задействат при разлюляване на системата. Най-простият начин за това е да се използват защиты с голямо времезакъснение (по-голям от периода на люлеене), така че да се блокират за всеки период на люлеене. Този начин е неприложим в преносните мрежи.

8.5. Видове блокировки

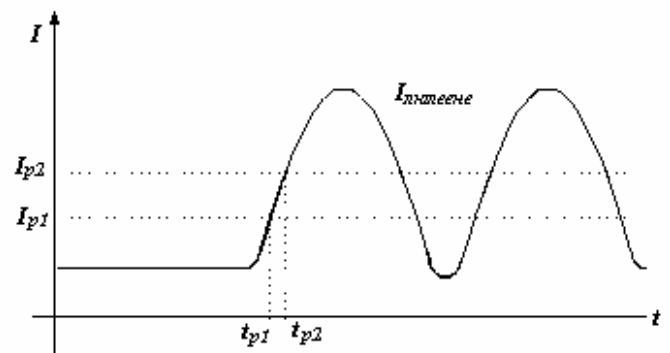
8.5.1. Блокировка при люлеене в защитата RD110 [6, 11]

8.5.2. Блокировки, реагиращи на различните скорости на изменение на електрическите величини при к.с. и люлеене

А. Принципът на работа на устройствата за блокиране, използващи различните скорости на изменение на електрическите величини при к.с. и люлеене се вижда от фиг. 9 (при к.с.) и фиг. 10 (при люлеене).



Фиг. 9

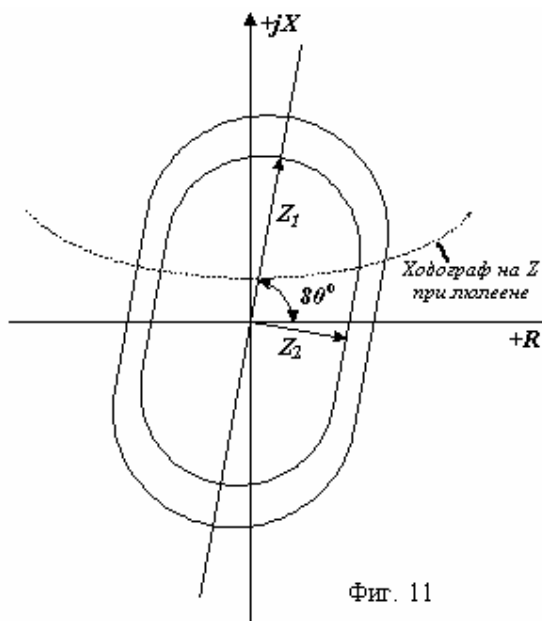


Фиг. 10

Такива устройства се изпълняват например с две токови релета с различни настройки. При к.с. изменението на тока през тях е почти мигновено и двете релета заработват едновременно. Чрез подходящо свързване на контактите им се разрешава изключването на защитата. При люлеене първо заработва релето с по ниска настройка, след известно време

заработва и второто реле, но неговите оперативни вериги са блокирани от първото и сигнал за изключване не се подава.

Б. На фиг. 11 е показан принципът на действие на блокировка RANZP, влизаща в комплекта на защитата RAZOA (ABB).

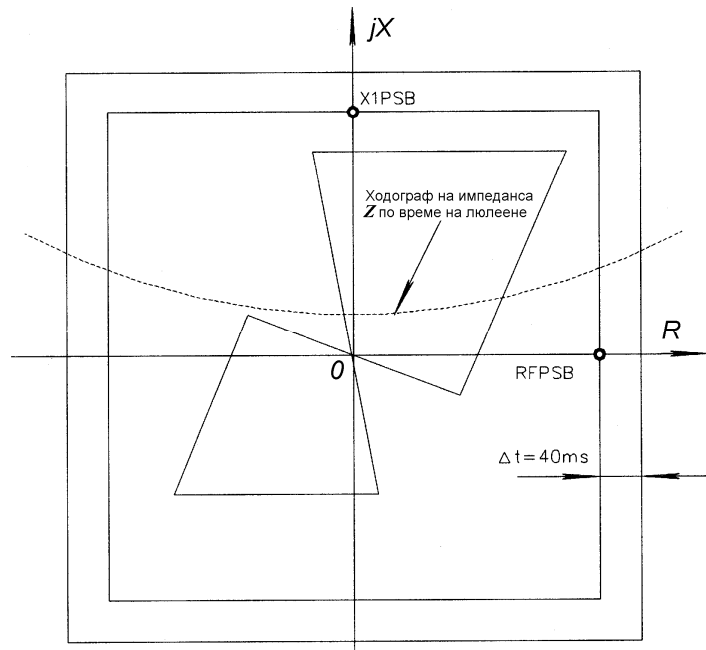


Фиг. 11

На графиката с пунктирана линия е показано примерно геометрично място на върховете на векторите на съпротивленията при люлеене. Тази блокировка е в статично изпълнение и се състои от два импедансни измервателни елемента, чиито характеристики, представени в комплексната равнина на съпротивленията представляват два концентрични овала с разлика в осите 80%. Оста по реактивната съставка е приблизително 2 пъти по-голяма от тази по активната. Изходният

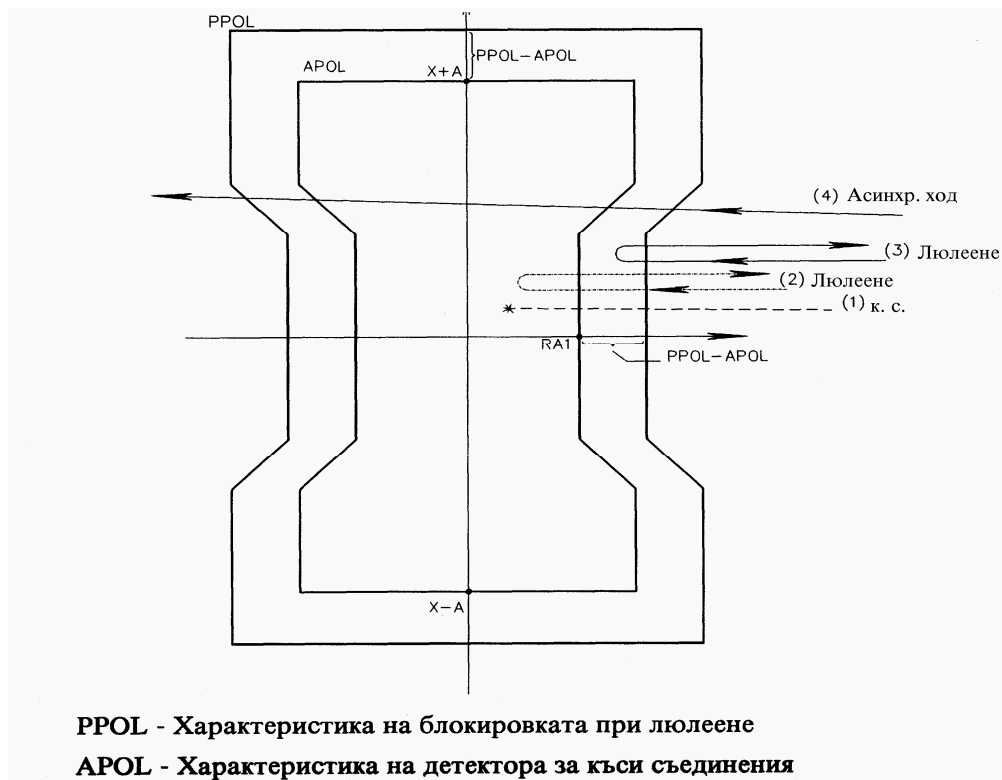
сигнал от двете импедансни нива се подава на логическа схема, където се установява дали има люлеене или к.с. Логическата схема измерва времето на преминаване между двата овала. Ако това време е по-малко от настроеното ($\approx 50\text{ ms}$), процесът ще се приеме като к.с. и блокировката няма да задейства. В противен случай тя ще задейства за около 2s. Това се повтаря всеки път, когато съпротивлението влезе между двете импедансни нива.

В. Аналогично действа и блокировката на защитата RELZ 100, която има правоъгълни характеристики (фиг. 12).



Фиг. 12

С. Блокировка на защитите REL5xx (ABB)



Работната характеристика на елемента за откриване на люлеенето е показана на фиг. 13.

Фиг. 13

Когато генераторите от двете страни на линията, защитавана от дистанционни защиты се колебаят, кривата на изменение на импеданса измерван от релетата се променя по пунктираната линия (2), показана на фиг. 13. Тази линия може да навлезе в характеристиката на дистанционната защита и ако не са взети предпазни мерки да предизвика излишното ѝ заработване.

Въздействието при заработване на блокировката при люлеене се конфигурира във вътрешната логика на защитата. За всяка от измервателните зони може да се избере дали да се блокира или не в зависимост от изискванията. Например, крайните зони на дистанционната защита могат да се блокират при разлюляване, което се очаква да бъде преодоляно от системата и в същото време да разрешава изключване, ако кривата на изменение на импеданса навлезе в характеристиката на първа зона.

Работата на блокировката се забранява при наличие на ток с нулева последователност (линия 1). Тази възможност е предвидена, за да се разреши изключване при 1 ф.к.с. през голямо активно съпротивление, при което е възможно бавно намаляване на съпротивлението.

Забраняващата функция на тока с нулева последователност гарантира незаработването на блокировката при несиметричен товар или при наличието на ток с нулева последователност, който е следствие на съществуващата несиметрия при дълги линии без транспозиции.

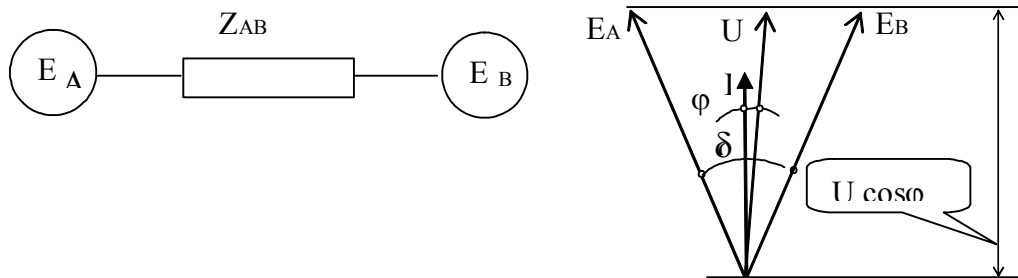
Критерият по ток на нулева последователност, който забранява действието на блокировката при люлеене е:

$$3I_0 > 20\% \text{ от който и да е фазен ток и}$$

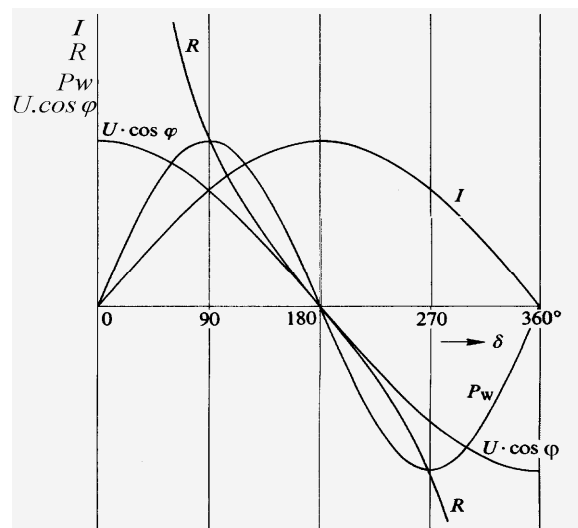
$$3I_0 > 10\% \text{ от номиналния ток.}$$

D. Блокировка, използваща активната съставка на напрежението

В [2] се препоръчва различаването на к.с. от люлеенето да става по активната съставка на напрежението $U \cdot \cos(\delta)$ (фиг. 14).



Фиг. 14



Фиг. 15

Показан е опростен случай на двумашнна система. Валидни са уравненията:

$$|E_A| = |E_B| = E;$$

$$I = \frac{\Delta E}{X_{AB}} = \frac{2 \cdot E \cdot \sin \frac{\delta}{2}}{X_{AB}};$$

$$U \cdot \cos \varphi = E \cdot \cos \frac{\delta}{2};$$

$$R = \frac{U \cdot \cos \varphi}{I} = \frac{1}{2} \cdot X_{AB} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\delta}{2};$$

$$P_w = U \cdot I \cdot \cos \varphi = \frac{E^2}{X_{AB}} \cdot \sin \delta.$$

По принцип в мястото на РЗ могат да се измерват само токове и напрежения. Носител на информация могат да бъдат (фиг. 15): I , $U \cdot \cos(\delta)$, R и P . Единствената величина, която не се влияе от мястото на защитата (от Z_A , Z_B и Z_L) е активната съставка на напрежението $U \cdot \cos(\delta)$. Този факт се използва в цифровите дистанционни защиты и в редица разработки на Енергопроект - София.

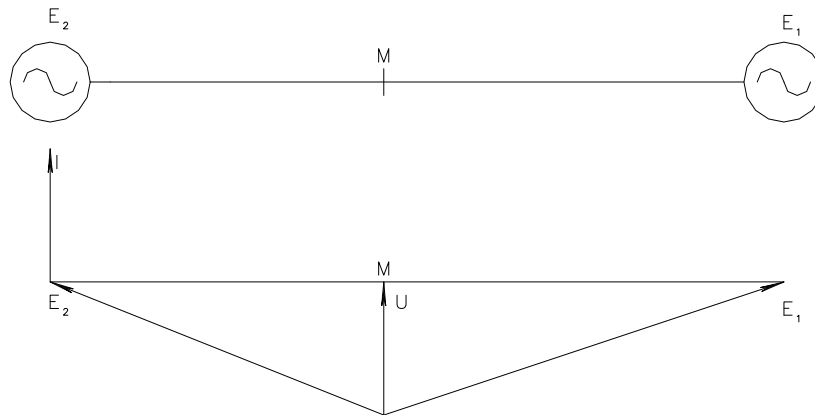
Литература:

1. Атабеков Г.И. Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей. Госэнергоиздат, М., 1957
2. Par F. Innovations in the detection of power swings in electrical networks. ABB, CH-ES 35-30.10 E, Edition February 1986
3. АBB. Фирмени материали (лекция за RAZOA, документация за REL531 и др.)
4. Георгиев К. Г. Ръководещи указания по релейна защита. Земни защиты в мрежи с голям ток на земно съединение. Материали на ДСО "Енергетика и въглища", София, 1971
5. Георгиев К. Г. Ръководещи указания по релейна защита. Дистанционни защиты в мрежи 20-220kV. Материали на ДСО "Енергетика и въглища", София, 1971
6. Георгиев К. Г., Г. А. Димитров, С. Н. Нанчев. Справочник по релейна защита. Техника, София, 1977
7. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 11. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110-750 кв. Москва, Энергия, 1979
8. Федосеев А. М. Релейная защита электрических систем. М., Энергия 1976
9. Федосеев А. М. Релейная защита электроэлектрических систем. Релейная защита сетей. М., Энергоатомиздат, 1984
10. Schwarz Harald. Power system analysis with NEPLAN guards against unexpected transients. ABB Review No. 3, 1990
11. Аврамов Н., С. Вичев. Ръководство за лабораторни упражнения по релейна защита. С., Техника, 1973

9. Блокировка при люлеене за цифрова дистанционна защита (7SA511)

Люлеене настъпва след промени на товара, къси съединения, АПВ или включване на линии е възможно да се наложи промяна на работната точка на генераторите, за да се пригоди работния им режим към новото състояние на товара в системата. Дистанционните защиты реагират на повишаването на тока и в отделни случаи - в електрическия център на люлеенето, и на понижаване на напрежението (фиг. 1). Понижаването на напрежението комбинирано с нарастването на тока може да доведе до неправилно изключване от дистанционната защита. В преносни мрежи, където токовете на товара са големи такава грешно изключване може да застраши дори стабилността на енергийната система.

$$I = \frac{E_1 - E_2}{x} \quad \text{в точката на измерване M.}$$



Фиг. 1. Люлеене.

Защити на електропровод от типа 7SA511 са комплектовани с функция за блокиране на дистанционната защита при люлеене, която предотвратява нежелани изключения при разлюляване в системата, но също така може, при изпълнение на определени условия, да предизвика изключване (изключване при излизане от синхронизъм). Тази функция работи само съвместно с импеданския детектор за къси съединения.

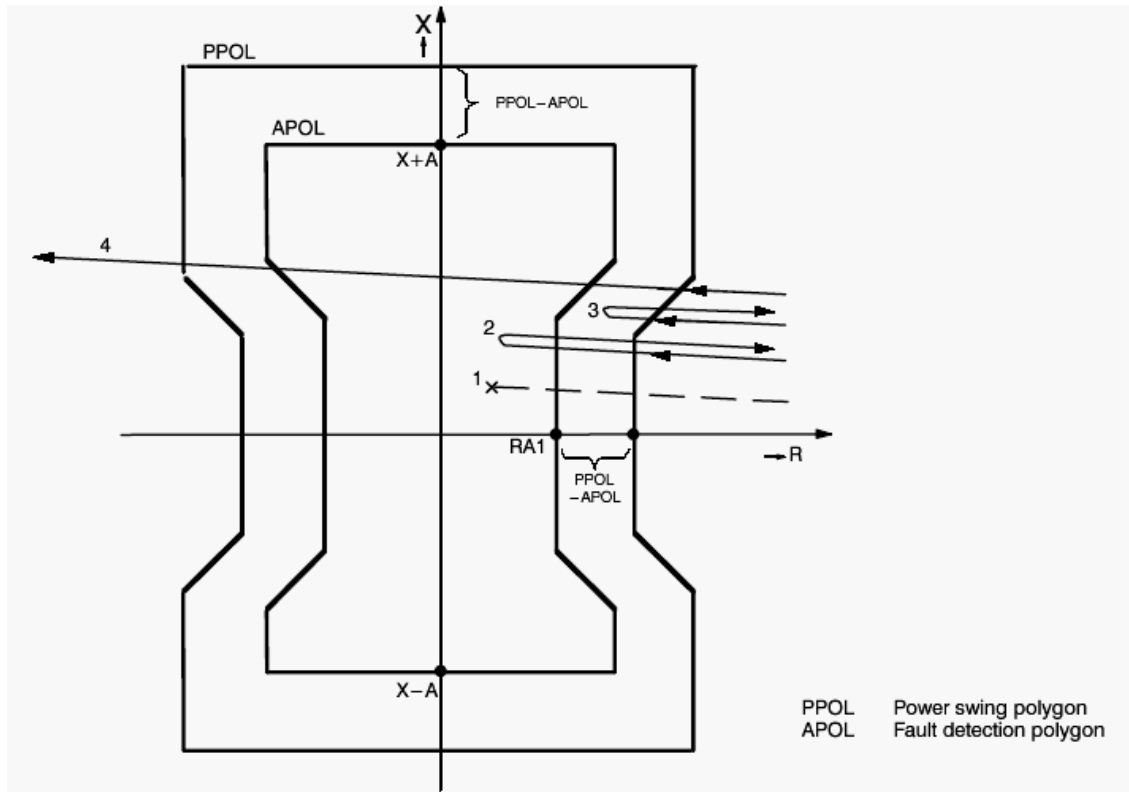
9.1. Откриване на люлеенето

Люлеенето е симетричен трифазен процес. Първата предпоставка за наличие на люлеене е симетричност на импедансите и липсата на какъвто и да е ток на нулева последователност. При заработване на детекторите за къси съединения със земя или при разлика в импедансите по-голяма от 25% блокировката се извежда от действие. Асиметричните къси съединения (т.е. всички еднофазни и двуфазни) не се отразяват на работата на блокировката. В случай на възникване на несиметрично късо съединение през време на люлеене, появата на несиметрията в токовете ще доведе до бързо възвръщане на блокировката и деблокиране на изключването от дистанционната защита.

В случаите на откриване на люлеене се измерва скоростта на изменението на вектора на импеданса. Поради симетричността на процеса, за да се открие люлеенето е достатъчно да се следи само един контур (L1-L2). Измерването започва при навлизане на вектора на импеданса в характеристиката на блокировката PPOЛ (вижте фиг. 2). В случай на късо съединение (1) векторът на импеданса незабавно се премества в характеристиката на импеданския детектор за къси съединения APOЛ. При случаите на люлеене векторът на импеданса се премества първо в областта на характеристиката на блокировката, а след това в областта на късите съединения (2). Възможни са и случаи при които векторът на импеданса напуска характеристиката на блокировката при люлеене без да достигне до характеристиката на импеданския детектор за къси съединения (3). Ако векторът на импеданса премине през цялата област обхваната от характеристиката на блокировката, тогава частта от енергийната система “гледана”

от точката на монтиране на релето е несинхронна спрямо останалата част и преноса на енергия е нестабилен (4).

Ако скоростта на изменение на вектора на импеданса е по-малка от зададената настройка (dR/dt) то този процес се приема за люлеене. Скоростта на изменението на вектора на импеданса се определя с координирането на разстоянието между характеристиката на блокировката за люлеене и тази на дистанционната защита, като измерването на времето започва при навлизането в характеристиката на блокировката и тя може да заработи преди достигането на импеданса до стойности обхванати от характеристиката за къси съединения.



PPOL - Характеристика на блокировката при люлеене
APOL - Характеристика на детектора за къси съединения

Фиг. 2. Характеристика на блокировката при разлюляване

9.2. Настройки за блокировката при люлеене

При изпълнение на критериите за наличие на люлеене са възможни следните въздействия (настройки) на блокировката:

- **блокиране само на първа зона:**
Извежда се изключването от първа и първа удължена зони ($Z1$ и $Z1B$). Късите съединения във втора и следващите зони се изключват след изтичане на съответните времена.
- **блокиране на всички зони с изключение на първа:**
Разрешено е изключването само от първа и първа удължена зони ($Z1$ и $Z1B$). Подаването на изключвателен импулс от останалите зони се блокира
- **блокиране на всички зони:**
Извежда се изключването от дистанционната защита.

Избраното въздействие е ефективно до излизането на вектора на импеданса от характеристиката на блокировката PPOL, или докато поради появата на ток с нулева последователност (при някаква несиметрия) условията за наличие на люлеене се нарушат.

10. Аварийна максималнотокова защита с независимо от тока забавяне (Emergency overcurrent time protection)

10.1. Принцип

Защитите от типа 7SA511 (Siemens) имат вградена аварийна максималнотокова защита с независимо от тока закъснение. Основното преимущество на тази защита е, че тя може да работи нормално без да се нуждае от измерване на напрежението.

Защитата може да се въвежда в действие автоматично при отпадане на измерваните напрежения, например при изключване на автомата, монтиран в напрежените вериги вследствие на късо съединение в тях.

Въвеждането на максималнотоковата защита и блокирането на дистанционната става при откриване на неизправност в напрежените вериги установена по един от следните начини:

- от блокировката за неизправност в напрежените вериги или при
- получаване на сигнала “Изключване на автомата в напрежените вериги” на някой от двоичните входи на линейната защита.

При появата на някой от тези два сигнала дистанционната защита се блокира и в действие се въвежда аварийната максималнотокова защита.

При тези условия на работата на междуфазната защита селективното действие може да се осигури само посредством подходяща настройка по време, както е при всички максимално-токови защиты.

При нормализиране на измерваните напрежения логиката на междуфазната защитата, автоматично извежда от действие аварийната защита и нормализира действието на вградената дистанционна защита.

Аварийната максималнотокова защита има възможност за настройка на две стъпала за фазни токове и едно за ток с нулева последователност. Всяко от стъпалата има независима от останалите настройка, която може да се определи индивидуално.

- $I_{>>}$ настройка по ток на стъпалото с висока настройка (ТО) – за фазни токове;
- $T_{I_{>>}}$ настройка по време на стъпалото с висока настройка по ток;
- $I_{ph>}$ настройка по ток на стъпалото с независимо от тока закъснение;
- $T_{I_{>}}$ настройка по време на стъпалото с независимо от тока закъснение;
- $I_{E>}$ настройка по ток на стъпалото за ток с нулева последователност;
- $T_{IE>}$ настройка по време на стъпалото за нулеви токове;

Тази защита може да се използва и за бързо изключване на електропровода при включването му от ръка. В този случай, по избор, може да се използва стъпалото $I_{>>}$ или $I_{>}$ като при разпознаване на включването от ръка настройката по време на съответното стъпало се игнорира.

Аварийната максималнотокова защита може да се използва и съвместно с функцията за АПВ. В този случай стъпалото $I_{>>}$ се въвежда преди АПВ.

Обхвати на някои настройките:

Параметър	Обхват	Настройка по подразбиране
Ток с висока настройка $I_{>>}/I_N$	от 0.50 до 9.99 (стъпка 0.01)	2 пъти I_N
Време $T_{I_{>>}}$	от 0.00 до 32.00 s (стъпка 0.01) или ∞ (стъпалото е изведено)	0.3 s
Фазен ток $I_{ph>}/I_N$	от 0.10 до 4.00 (стъпка 0.01)	1 път I_N
Време $T_{I_{ph>}}$	от 0.00 до 32.00 s (стъпка 0.01) или ∞ (стъпалото е изведено)	1.5 s

Стъпало за нулев ток $I_{E>}/I_N$	от 0.10 до 4.00 (стъпка 0.01)	2 пъти I_N
Време $T_{IE>}$	от 0.00 до 32.00 s (стъпка 0.01) или ∞ (стъпалото е изведено)	0.3 s

Избор на стъпало, което се въвежда при включване от ръка	<ul style="list-style-type: none"> • Стъпало $I>>$, без закъснение • Стъпало $I>$, без закъснение • Стъпалото $I_{E>}$, без закъснение • Никое стъпало не се въвежда 	
Работили стъпалото съвместно с АПВ	<ul style="list-style-type: none"> • Стъпалото $I>>$ работи само, ако функцията за АПВ е в готовност за стартиране на АПВ • Стъпалото $I>>$ работи независимо от функцията за АПВ 	
Коефициенти на възвръщане за $I \geq I_N$ за $I \geq 0.25 I_N$	около 0.95 около 0.90	
Толеранс на измерването, съгласно VDE 0435, част 303	$\pm 5\%$	

10.2. Настройки на аварийната максималнотокова защита

Ако по някаква причина се получи пропадане на измерваните от защитата напрежения (например изключване на автомата, монтиран в напрежените вериги) защитата 7SJ511 може да остане въведена в действие като се използват възможностите на аварийната максималнотокова защита, работеща с независимо от тока закъснение. За да се използва тази възможност на линейната защита е необходимо при конфигурацията ѝ трябва да се зададе настройка EMERG. O/C = EXIST.

Стойността на заработването по ток на тази защита - стъпалото $I>$ трябва да бъде по-голяма (поне 1.2 пъти) от максималния работен ток по линията. Използването на стъпалото $I>>$ позволява степенуване по време на действието на защитата. Съответните настройки по време на стъпалата - $T-I>$ и $T-I>>$ позволяват постигането на селективно действие. При мрежи, включващи затворени контури за да се постигне съгласуване на настройките е възможно да се избере точка, в която при случай на аварийно действие да се разреши бързо изключване и спрямо него да се степенуват останалите времена.

В случаите на къси съединения към земя може да се използва стъпалото $I_{E>}$, което има собствена настройка по време $T-I_{E>}$. Настройките на това стъпало се задават независимо от тези на стъпалата за фазни токове, като по този начин може да се организира отделно степенуване на времената при к.с. към земя.

В режим на работа на аварийната максималнотокова защита не е възможно да се използват схемите за комуникация със защитата в отсрещния край на линията.

Ако за определен период от време, по изключение, се наложи межуфазната защита да работи само като максималнотокова защита, функцията на дистанционната защита трябва да се блокира чрез подаването към двоичен вход на защитата на сигнала “Изключване на автомата в напрежените вериги” (“Неизправност в напрежените вериги”).

Ако някое от стъпалата на аварийната максималнотокова защита няма да се използва, за да се изведе въздействието му е необходимо на съответния таймер да се зададе настройка равна на безкрайност (∞).

Настройва се кое от стъпалата на защитата се въвежда в действие при включване на прекъсвача на линията от ръка. Предварително условие в случая е подаването на включвателния импулс от ключа за управление на прекъсвача към двоичен вход на защитата, така че тя да

може посредством него да разпознае ръчното включване. Възможно е при включване от ръка да не се въвежда стъпало на максималнотоковата защита.

Възможно е също така да се осъществява автоматично повторно включване при действие на аварийната защита. Използването на тази възможност на линейната защита се указва при конфигурирането ѝ. В този случай преди АПВ в действие е въведено стъпалото $I_{>>}$ с времето си $T-I_{>>}$. Окончателното изключване след неуспешно АПВ става със стъпалото $I_{>}$ с време $T-I_{>}$. В този случай настройките по ток на стъпалата $I_{>>}$ и $I_{>}$ трябва да са еднакви, а настройката по време $T-I_{>>}$ да е 0 s.

Има настройка, която определя дали стъпалото $I_{>>}$ се въвежда само при готовност на функцията за АПВ за стартиране на нов цикъл или действия и самостоятелно (независимо от АПВ).

Трябва да се отбележи, че зададените настройки на времената на стъпалата са чистите времена на съответните таймери и не включват собственото време на заработване на защитната функция.

10.3. Проверка на максималнотоковия детектор за къси съединения и на аварийната максималнотокова защита

Подава се симетрична система номинални напрежения на трите напреженови входа на защитата, за да се избегне изключването без забавяне след заработването ѝ.

Проверката безпроблемно може да се извърши с подаване на един, два или три фазни тока.

Настройката за фазния ток високо ниво (ТО), параметъра $I_{ph>>}$ е определяща за фазните токове. За стойности на настройката до 4 пъти I_N , токът за проверка може да се повишава плавно до заработване на всеки от фазните елементи.

11. Ускоряване на изключването при паралелни електропроводи и слаб край при дистанционната защита

11.1. Пофазна логика за ускорение на дистанционна защита по ВЧ канал (ABB REL 531)

11.1.1. Предназначение

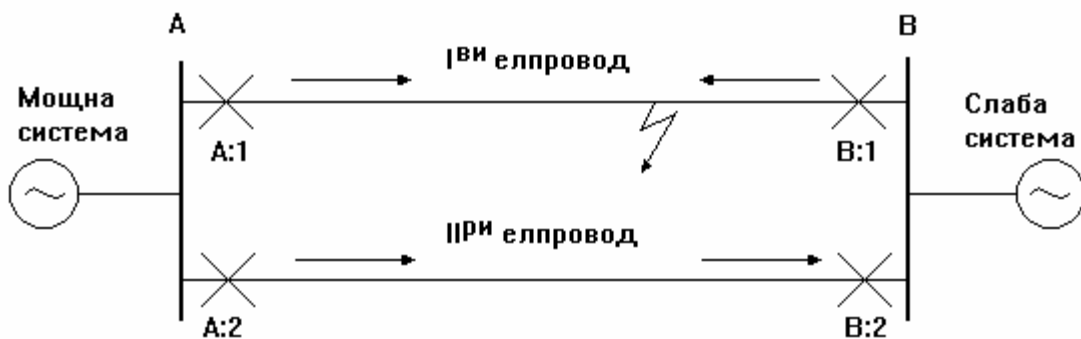
В случай на **паралелни електропроводи** между две подстанции, заради обръщането на посоката на тока по време на късото съединение и не едновременно изключване на прекъсвачите от двете страни на повредения електропровод, логиката за разрешаване на ускореното изключване с удължени зони на отсрещните защиты (permissive overreaching) може да работи неселективно. Нежеланото изключване засяга здравия електропровод, когато късото съединение се изключва на паралелния електропровод. Този недостатък в надеждността на схемата се дължи на прекъсването на връзката между шините на подстанциите.

За да се избегне този проблем, трябва да се използва логическата функция за обръщане на посоката на тока при к.с. (логика за преходно блокиране).

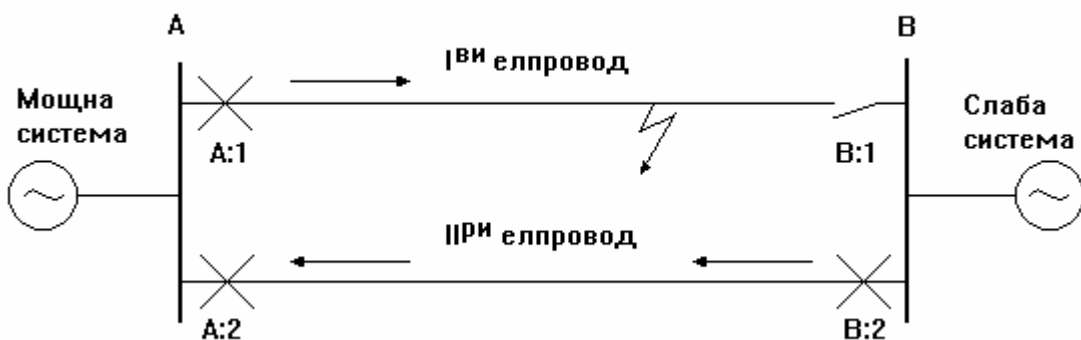
Логиката за обръщане на посоката на тока при к.с. се използва само при схема за ускорение на дистанционните защиты от типа разрешаване на изключването с удължени зони (permissive overreach).

11.1.2. Принцип на действие

На фиг. 1 и на фиг. 2 са показани типични схеми, при които може да се наблюдава обръщане на посоката на тока при к.с. Посоката на тока се обръща във втория електропровод след изключването на прекъсвача В:1 от първия електропровод. Токът през В:2 и А:1 тръгва към късото съединение след изключване на В:1.



Фиг. 1. Изходно положение (поява на късото съединение)



Фиг. 2. Разпределение на токовете след изключване на прекъсвач В:1

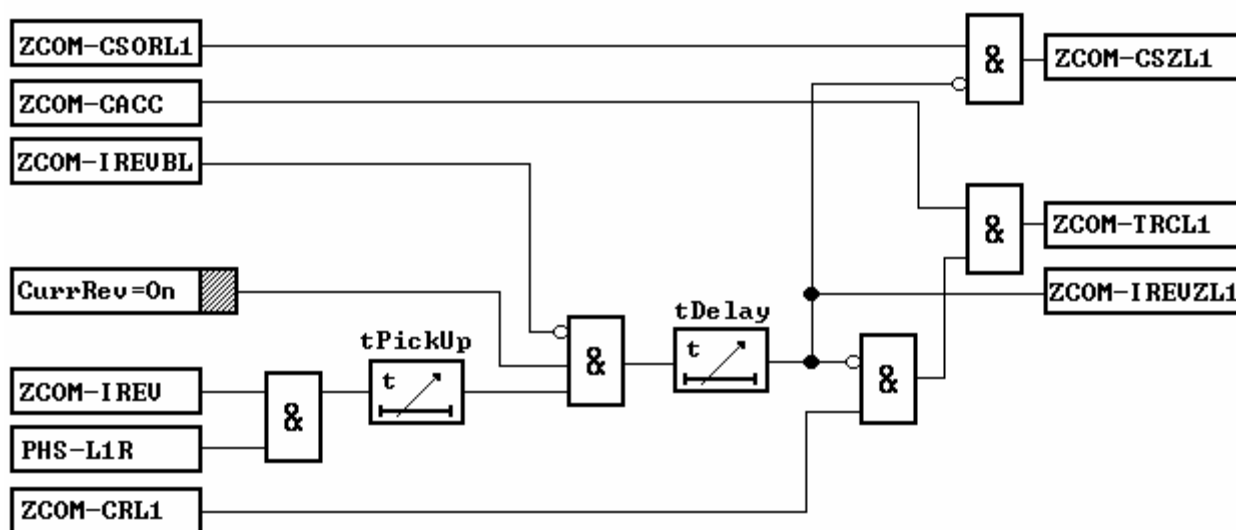
Логиката за обръщане на посоката на тока използва сигнал от насочена в гръб зона (ZCOM-IREV), която в точка В:2 открива късото съединение по първия електропровод. Както се вижда на фиг. 1, ко-

гато тази обърната зона заработи в интервала на времето t_{PickUp} , логиката е готова да предотврати изключването на втория електропровод въпреки ускоряването, ако първият не е изключен изцяло, а посоката на тока е обърната.

За да се осигури достатъчно време за възвръщане на приетия в точка В:2 ускоряващ сигнал ZCOM-CRLx - преди да заработи насочената към линията зона (сигнал ZCOM-CACC) при обръщането на посоката на тока, ускоряването (ZCOM-TRCLx) се забавя с време t_{Delay} (Вижте фиг. 3).

В точка А:2, където насочената към линията зона е заработила още при появата на к.с., е необходимо тази зона да възвърне преди да се получи ускоряващ сигнал ZCOM-CRLx от точка В:2. Изпращането на ускоряващата команда ZCOM-CSZLx се задържа, докато обърнатата зона ZCOM-IREV не възвърне и не изтече времето t_{Delay} .

Логиката за обръщане на посоката на тока при к.с. работи независимо за всяка фаза и се управлява от реверсивния фазов селектор (PHS-LxR). На мястото на знака x се поставя номерът на фазата 1, 2 или 3.



Фиг. 3. Логика за обръщане на посоката на тока при к.с. за фаза L1

където:

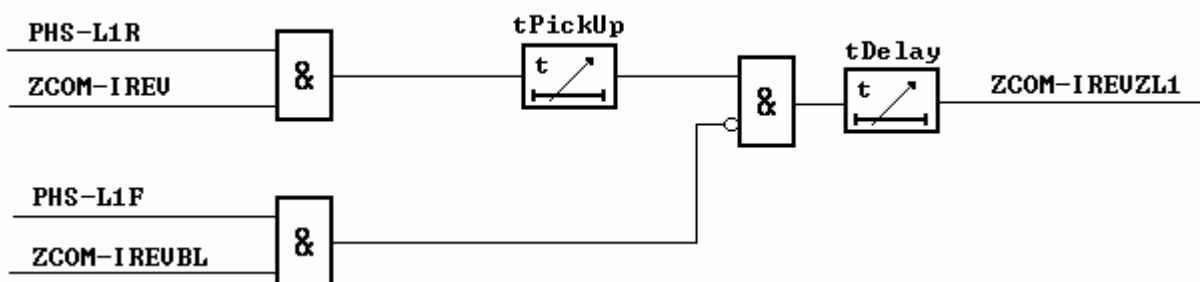
ZCOM-CSORL1	- Удължена зона в права посока, подаваща сигнал CSZ за изпращане на ускорение
ZCOM-CACC	- Удължена зона в права посока за изключване при приемане на сигнал CR
ZCOM-IREVBL	- Зона, блокираща логиката за обръщане на посоката на тока
ZCOM-IREV	- Обърната зона за логиката за обръщане на посоката на тока
ZCOM-CRL1	- Приет ускоряващ сигнал за фаза L1
PHS-L1R	- Фазен селектор за права посока на фаза L1
ZCOM-CSZL1	- Изпращане на ускоряващ сигнал за фаза L1
ZCOM-TRCL1	- Изключване от приета команда за фаза L1
ZCOM-IREVZL1	- Блокиране при обръщане на посоката на тока за фаза L1

11.1.3. Настройки

Времето t_{Delay} се настройва в съответствие с времето за възвръщане на сигнала ZCOM-CRLx в апаратурата за комуникация. Настройва се времето t_{Delay} на максималното време за възвръщане на комуникационния канал плюс 30 ms. Препоръчва се настройката на t_{Delay} да е минимум 40 ms. По-голямата продължителност на t_{Delay} увеличава сигурността от нежелано изключване, но пък забавя изключването на късо съединение, което може да се появи на втория електропровод вследствие на к.с. по първия. Вероятността за такъв тип к.с. е малка. Затова времето t_{Delay} се настройва с добър запас на сигурност.

Времето t_{PickUp} се настройва да е по-малко от 80% от времето за изключване на прекъсвача, но да не е по-малко от 20 ms.

11.1.4. Описание на логическите схеми



Фиг. 5. Логическа схема на функцията за фаза А (L1)

11.1.4.1. Списък на логическите сигнали

Входен сигнал	Описание
ZCOM-CACC	Зона, избрана да изпраща ВЧ команда
ZCOM-CRL1	Приета ВЧ команда за фаза L1
ZCOM-CRL2	Приета ВЧ команда за фаза L2
ZCOM-CRL3	Приета ВЧ команда за фаза L3
ZCOM-CSORL1	Въвеждане на удължена зона, която ще изпраща ВЧ командата за фаза L1
ZCOM-CSORL2	Въвеждане на удължена зона, която ще изпраща ВЧ командата за фаза L2
ZCOM-CSROL3	Въвеждане на удължена зона, която ще изпраща ВЧ командата за фаза L3
ZCOM-IREVBL	Зона, избрана да блокира логиката за обръщане на посоката на тока на к.с.
ZCOM-IREV	Зона, избрана за логиката за обръщане на посоката на тока на к.с.
ZCOM-IREVZL1	Блокиране на фаза L1 от логиката за обръщане на посоката
ZCOM-IREVZL2	Блокиране на фаза L2 от логиката за обръщане на посоката
ZCOM-IREVZL3	Блокиране на фаза L3 от логиката за обръщане на посоката
ZCOM-CSZL1	Изпращане на ВЧ команда от фаза L1
ZCOM-CSZL2	Изпращане на ВЧ команда от фаза L2
ZCOM-CSZL3	Изпращане на ВЧ команда от фаза L3
ZCOM-TRCL1	Изключване от ВЧ команда на фаза L1
ZCOM-TRCL2	Изключване от ВЧ команда на фаза L2.
ZCOM-TRCL3	Изключване от ВЧ команда на фаза L3

11.1.4.2 Таблица с настройките

Параметър	Обхват на настройката	Описание
CurrRev	Off (изведена), On (въведена)	Активиране на логиката за обръщане на посоката на тока при к.с.
tPickUp	(0 - 100) ms	Настройка на времето на заработване
tDelay	(0 - 150) ms	Настройка на времето на забавяне

11.2. Пофазна логика за слабо захранен край (ABB REL 531)

11.2.1. Предназначение

Схемите за взаимно ВЧ ускорение на защитите в двата края на линията с разрешаване на изключването могат да работят само когато ускоряваната защита е в състояние да открие късото съединение. За да се открие късото съединение, токът на повредата трябва да е достатъчно голям, обикновено над 20% от I_r . Токът на повредата може да е доста малък поради изключен прекъсвач или малка мощност на к.с. на генериращите източници. За преодоляване на тези условия се използва логиката „ехо-функция” от слабо захранения край на линията.

Също така токът на повредата първоначално може да бъде много малък поради потокоразпределението. В този случай токът ще нарасне след изключването на късото съединение от страната на мощната система и тогава ще има условия за изключване на повредата и от другия край на линията. Ще се реализира последователно (каскадно) изключване. Този случай изисква изключването на повредата да стане с независимо-изключваща първа зона. Когато такава зона не може да се реализира, се използва логиката за слабо захранен край, за да избегнете последователното изключване на късото съединение.

11.2.2. Принцип на действие

Логическата функция за слабо захранен край връща обратно (прави „ехо”) на получената ВЧ команда ZCOM-CRLx за съответната фаза, но при условие, че не е работила обърнатата зона на същата фаза. Защитата, която е изпратила командата за ускорение ZCOM-CSZLx, си го приема обратно вече като команда ZCOM-CRLx, когато късото съединение **не е** на шината на отсрещната подстанция или на изходящите от нея присъединения. Вижте долната фиг. 1. Ехото на приетия сигнал трябва да се изпълнява пофазно с пофазни канали за ускорение.

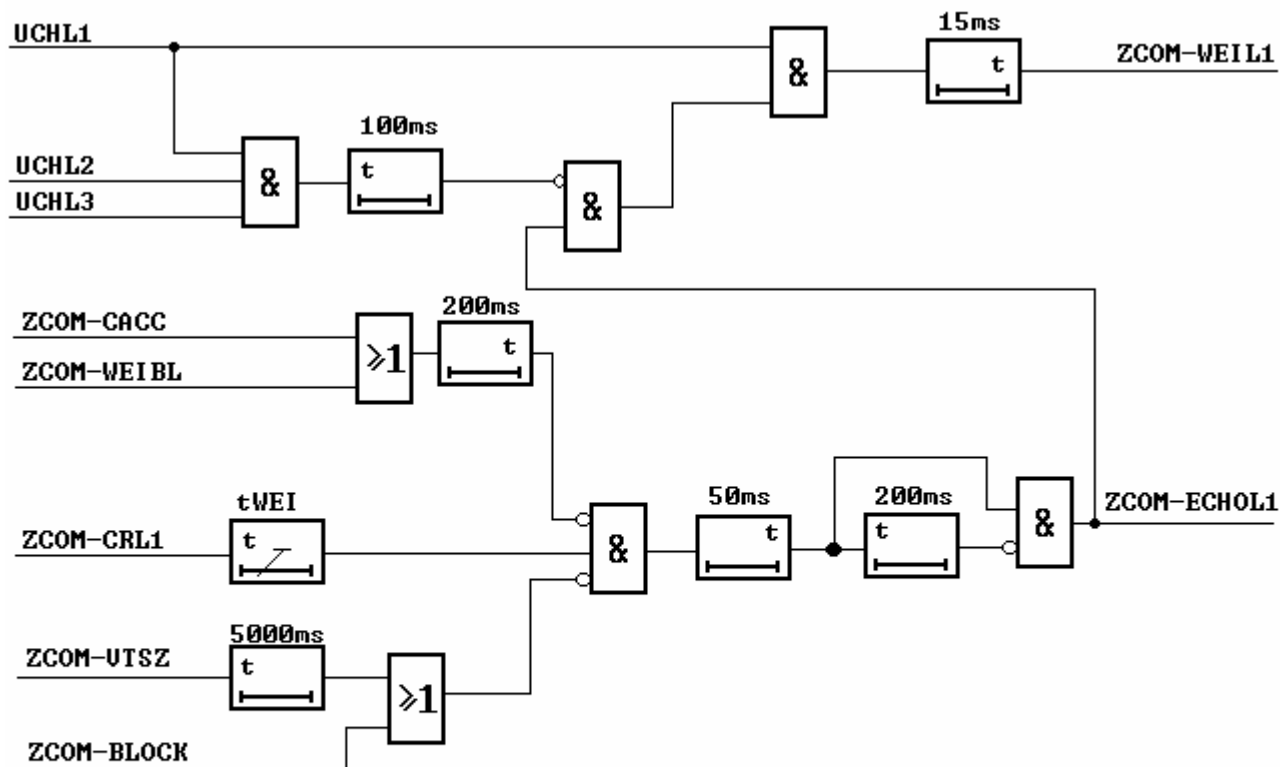
Ехо-функцията се забранява също така и при:

- Изгорял предпазител (обърнатата зона не може да работи)
- Когато насочената в права посока зона заработи (ZCOM-CACC), т.е. условията, определящи слабо захранения край, не съществуват.

За да се обезпечат условия за работа на ехо-логиката, обърнатата зона в слабо захранения край трябва да обхваща по-голям импеданс, отколкото зоната, изпращаща командата за ускорение (от страна на мощната система). Функцията за слабо захранен край преобразува схемата за взаимно ускорение от разрешаваща в блокираща.

Когато ехо-функцията е въведена в двата края на електропровода, ехо-функциите могат да генерират фалшива циклична команда. За да се избегне блокирането на системата, продължителността на ехо-сигнала е ограничена до 200 ms. Вижте долната фиг. 1.

Може да ехо-функцията да се разреши с команда за изключване на прекъсвача в слабо захранения край на линията. Командата за изключване се подава, когато се генерира ехо-командата и съответното фазно напрежение е ниско. Вижте долната фиг. 1. Тази функция също се изпълнява пофазно. Ехо-логиката се блокира 100 ms след като спаднат и трите фазни напрежения. Тази функция ще предизвика неселективно изключване от фалшиви ускоряващи команди, когато линията е изключена.



Фиг.1. Логическа функция за слабо захранен край на фаза L1

където:

UCHL1	- Ниско напрежение на фаза А (L1)
UCHL2	- Ниско напрежение на фаза В (L2)
UCHL3	- Ниско напрежение на фаза С (L3)
PHS-L1F	- Фазен селектор - к.с. в права посока на фаза А (L1)
ZCOM-CACC	- Зона в права посока, изпращаща ускоряващата команда
ZCOM-WEIBL	- Обърната зона за блокиране на ехо-то и на изключването
PHS-L1R	- Фазен селектор - к.с. в гръб на фаза А (L1)
ZCOM-CRL1	- Приета ускоряваща команда за фаза А (L1)
ZCOM-VTSZ	- Блокиране от изгорял предпазител
ZCOM-BLOCK	- Блокиране на комуникационните функции
ZCOM-WEIL1	- Изключване на фаза А (L1)
ZCOM-ECHOL1	- Отражена ускоряваща команда (ехо) на фаза А (L1)

11.2.3. Настройки

За да се активира тази функция, се задава WEI = Echo. За да се зададе “ехо” с изключване, се настройва WEI = Trip.

Критерият по минимално напрежение за изключване в слабо захранения край се настройва на 90% от минималното работно напрежение, същата настройка се задава и за условието за повреда в напрежените вериги.

Минимално напрежението е параметър на минимално напрежението защита и затова се настройва в тази функция (в минимално напрежението защита).

Когато в двата края на линията се използват идентични защиты (две защиты REL 531), времето tWEI може да го настроите на 10 ms.

11.2.4. Описание на логическите схеми

11.2.4.1. Списък на логическите сигнали

Входен сигнал	Описание
ZCOM-BLOCK	Блокиране на ВЧ ускорението
ZCOM-VTSZ	Открита е повреда в напрежените вериги от функцията за контролиране на предпазителите
ZCOM-CACC	Зона, избрана да изпраща ВЧ команда
ZCOM-CRL1	Приета ВЧ команда за фаза L1
ZCOM-CRL2	Приета ВЧ команда за фаза L2
ZCOM-CRL3	Приета ВЧ команда за фаза L3
ZCOM-WEBL	Блокиране на логиката за слабо захранен край
ZCOM-WEIL1	Избор на фаза L1 от WEI - логиката (за слабо захранен край)
ZCOM-WEIL2	Избор на фаза L2 от WEI - логиката (за слабо захранен край)
ZCOM-WEIL3	Избор на фаза L3 от WEI - логиката (за слабо захранен край)
ZCOM-ECHOL1	“Ехо”-команда от слабо захранения край за фаза L1
ZCOM-ECHOL2	“Ехо”-команда от слабо захранения край за фаза L2
ZCOM-ECHOL3	“Ехо”-команда от слабо захранения край за фаза L3

11.2.4.2. Таблица с настройките

Параметър	Обхват на настройката	Описание
WEI	Off (изведена) Trip (изключване) Echo (ехо)	Логика за слабо захранен край Trip = Изключване и “ехо” Echo = Само “ехо”
tWEI	(0 - 100) ms	Време на таймера на логиката WEI

11.3. Защита при край със слабо захранване (ехо-функция), Siemens 7SA511

В случаите при които електропроводът е едностранно захранен или захранването в единия от неговите краища е много слабо, дистанционната защита, монтирана в този край не може да заработи и по тази причина нито подава команда за изключване, нито може да изпрати команда за комуникация с отсрещния край на електропровода. Невъзможно е и използването на деблокиращи схеми за ускоряване с удължени зони, тъй като поради незаработването на защитата в слабо захранения край не може да се изпрати деблокираща команда без да се предприемат специални мерки. За да се постигне бързо двустранно изключване на късите съединения дори и в тези случаи, в цифровите дистанционни защиты се предвижда специален режим за комуникация, който използва т.н. “ехо” логика. Тази функция на защитата може да се въвежда и извежда от действие при конфигуриране на защитите. На фиг. 1 е показана блокова схема на функцията.

При незаработване на защитата в слабо захранения край на линията, тази функция осигурява връщането като “ехо” на получената от края със силно захранване команда за ускоряване, която приета обратно ще деблокира изключването без допълнително закъснение.

Продължителността на “ехо” командата се определя от настройката на параметъра T-ECHO-IMP = 0.05 s (по подразбиране).

Закъснението за изпращането на “ехо” командата се определя от настройката на параметъра T-ECHO-DEL = 0.04 s (по подразбиране). Това закъснение е необходимо, тъй като действието на “ехо” логиката е неефективно в случай, че защитата в единия край на линията има по-голямо време на заработване или поради неблагоприятно разпределение на токовете на късо съединение, работва по-бавно. В случай, че прекъсвачът на линията в слабо захранения край е изключен такова закъснение на “ехо” командата не е необходимо. В подобни случаи, ако защитата посредством сигнал подаден на един от двоичните и входове следи положението на прекъсвача, това забавяне може да се елиминира.

За да се предотврати формирането на “ехо” команда след изключване на съответния край на линията и възвръщането на детекторите за късо съединение, логиката е програмирана така, че да не формира “ехо” команда, ако детекторите за късо съединение са били заработили (RS - паметта на фиг. 1). По същите причини може да се използва настройваемото време T-ECHO-BLO = 0.15 s (по подразбиране), настройката на което определя времето на забрана за формиране на “ехо” команда след подаване на изключвателен импулс от защитата.

При използване на блокиращи схеми за комуникация и изключване по ВЧ команда използването на “ехо” функцията е неефективно. По тази причина логиката не може да се използва съвместно със схемите за комуникация, базиращи се на сравняване посоките на късото съединение определени от защитите в двата края на линията и за взаимна блокировка по сигнален кабел.

За електропроводи с край, който има слабо собствено захранване ехо-функцията е подходяща, когато разрешава разширяване на зоната на защитата чрез телемеханични разрешаващи сигнали, така че силно захранения край на електропровода да може да бъде активен, дори когато в слабо захранения край на електропровода защитата не е пусната. За други схеми с телемеханика ехо-функцията не е ефективна.

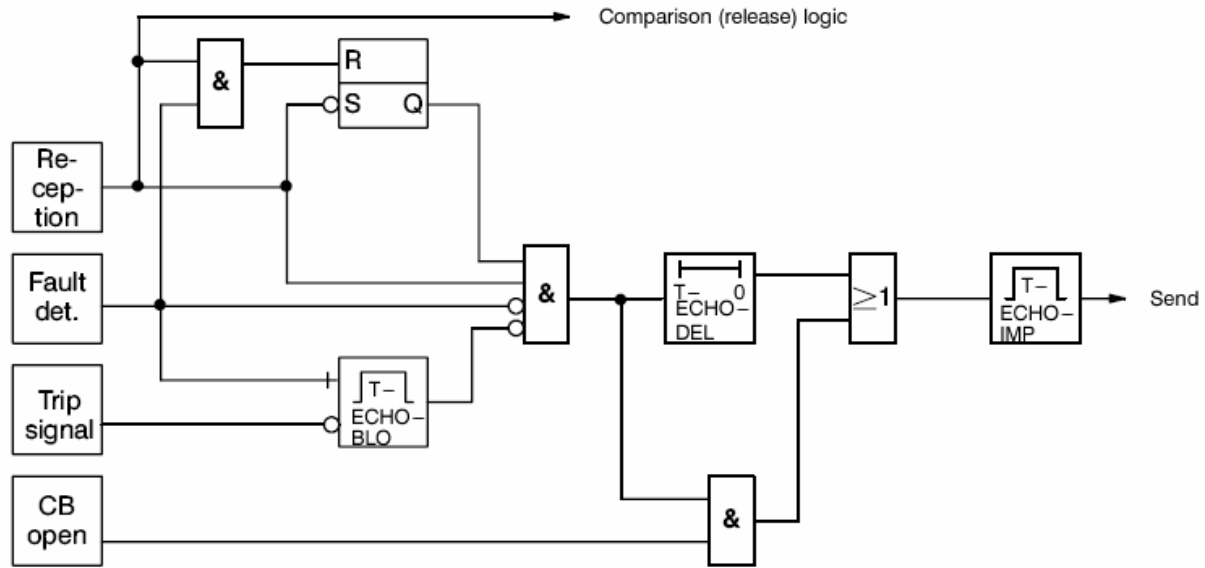
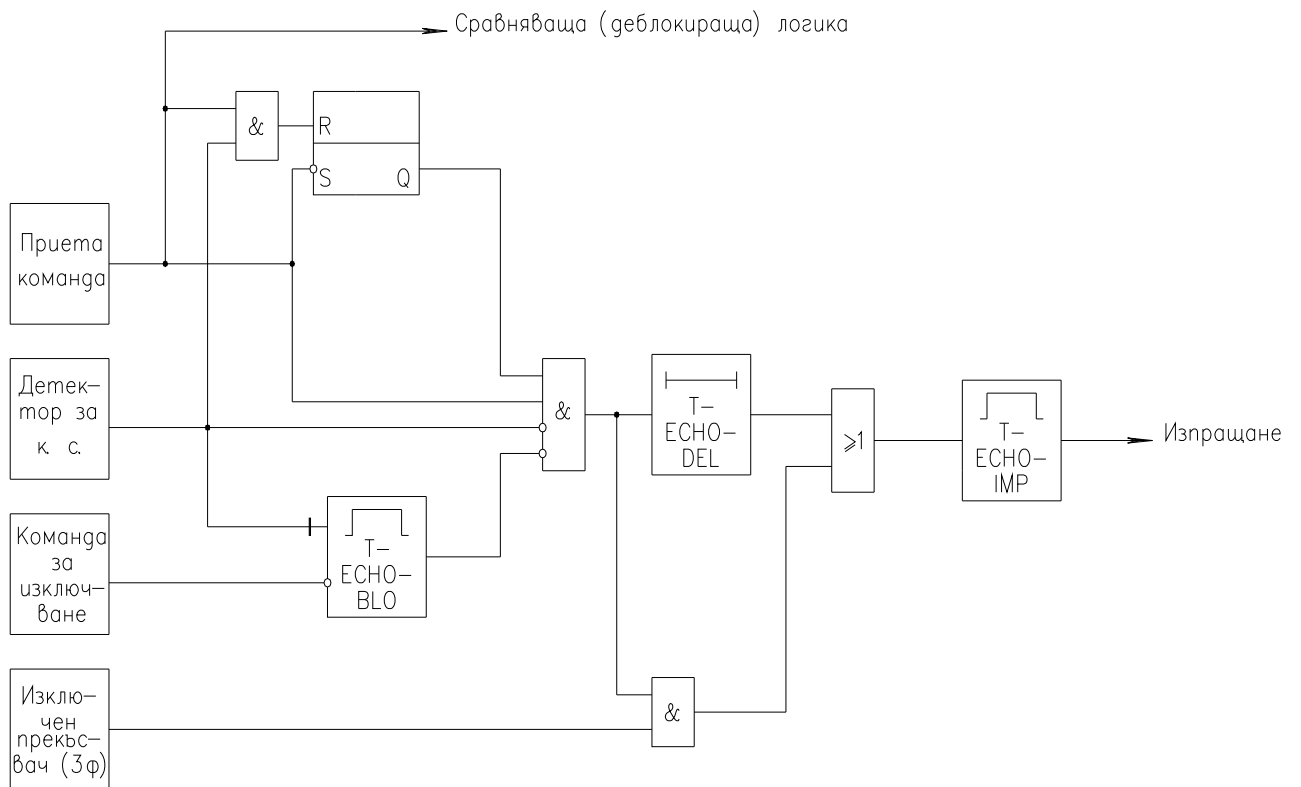


Figure 4.30 Block diagram of echo function (for release modes)



Фиг. 1. Блокова схема на “ехо” функцията (за деблокираща логика).

Закъснението за изпращането на “ехо” командата (параметър T-ECHO-DEL) трябва да се настрои така, че неговата продължителност да различа времето за реакция на детекторите на релетата от двете страни на линията, за да няма лъжливи ехо-сигнали в случай на външни повреди.

Продължителността импулса на “ехо” командата се (T-ECHO-IMP) може да се настрои в зависимост от изискванията на мрежата. То трябва да бъде достатъчно дълго, така че да стане равно на разликата на времето на заработване на защитните устройства в двата края на електропровода и на телемеханичното устройство, за да се гарантира разпознаването на приетия сигнал.

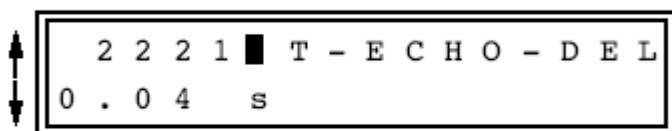
За да се избегнат лъжливи ехо-сигнали след изключването на електропровода, се настройва време за блокиране на “ехо” команда T-ECHO-BLO. То трябва да включва закъснението за изпращането на “ехо” командата T-ECHO-DEL, плюс продължителността импулса на “ехо” командата T-ECHO-IMP, плюс резервно време, най-малко два пъти времето за телекомуникация.



Ехо-функцията за електропровода със слаб край е:

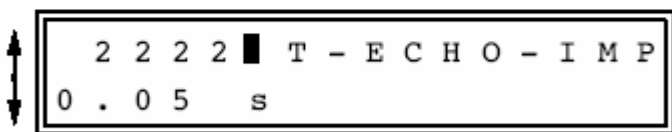
ON въведена

OFF изведена



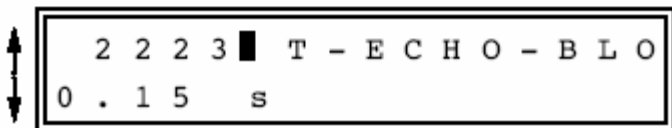
Закъснението за изпращането на “ехо” командата се определя от настройката на параметъра

T-ECHO-DEL = 0.04 s (по подразбиране)



Продължителността на “ехо” командата се определя от настройката на параметъра

T-ECHO-IMP = 0.05 s (по подразбиране)



Настройка, която определя времето за блокиране на “ехо” команда след подаване на изключвателен импулс от защитата

T-ECHO-BLO = 0.15 s (по подразбиране)

12. Блокировка при неизправност в напрежените вериги (БННВ)

12.1. Сравняване на напреженията на намотките “звезда” и “триъгълник” [1]

Напрежителната блокировка (БННВ) има задача да открива повреди във вторичните вериги, да забрани работата на защитата и да сигнализира дежурния персонал. Разглежданият алгоритъм показва и кои са засегнатите фази. Извършва се сравнение между едноименните напрежения от намотките $u_{\downarrow,k}$ и напреженията, от които е съставен отворения триъгълник $u_{\Delta,k}$.

Съставен е собствен буфер с размерност 3×2 от данни за всеки квант на посочените напрежения, които се пренареждат и обновяват всеки квант.

За заработването на блокировката е необходимо да се изпълнят следните две условия:

Първо:

$$(1) \quad |u_{\downarrow,k} - u_{\Delta,k}| > BU_{\text{настр.}} \cdot \max(u_{\downarrow,k}, u_{\Delta,k})$$

Това е проверка, че разликата между едноименните напрежения от звездата и триъгълника е по-голяма от номиналното напрежение, умножено по настройката $BU_{\text{настр.}}$. Под номинално се разбира по-голямото от двете напрежения, а типична стойност на настройката е $BU_{\text{настр.}} = 0.25$.

Второ:

$$(2) \quad |u_{\downarrow,k} - u_{\Delta,k}| > NU_{\text{мин}} \cdot NU_{\text{ном}}$$

Второто условие отчита случаите, когато напрежението преминава през нулата и цели да се избегне възможността поради грешки при дискретизацията първото условие да разреши излишно блокиране. Според (2) блокировката може да заработи само когато разликата между двете напрежения е по-голяма от зададената при настройката номинална стойност на напрежението $NU_{\text{ном}}$, умножена по настройката $NU_{\text{мин}} = 0.1$. Блокировката има мажоритарен брояч, чиято прагова стойност е 3.

12.2. Използване на симетрични съставки [2]

12.2.1. Предназначение

Различни функции, вградени в комплексните защиты от типа REx 5xx работят на базата на намаляване измерваното напрежение в точката на монтиране на релето. Например: дистанционна защита, минимално-напреженова функция, проверка на напрежението за логиката за край със слабо захранване.

Тези функции няма да работят правилно в случай на късо съединение или прекъсване във вторичните напреженови вериги между измервателния трансформатор и релето.

Възможно е използването на различни принципи за предпазване от неправилни заработвания при споменатите по-горе повреди. Поставянето на автоматични предпазители в напрежените вериги разположени колкото е възможно по-близо до напреженовия трансформатор е един от тях. Друга възможност е вграждането на елементи, откриващи повредите в напрежените вериги. Възможно е и комбинирането на двата метода за постигане на по-добър ефект.

Блокировката при неизправност в напрежените вериги вградена в REx 5xx има следните възможности:

- Работа само на базата на двоични сигнали от автоматични предпазители монтирани в напрежените вериги или от линейния разединител. В първия случай работата му ще влияе на всички зависими от напрежението функции, докато вторият няма да оказва влияние на импедансната измервателна функция.

- Работа на базата на величините с нулева последователност: голяма стойност на напрежението $3U_0$ без наличието на ток с нулева последователност $3I_0$.
- Работа на базата на величините с обратна последователност: голяма стойност на напрежението $3U_2$ без наличието на ток с обратна последователност $3I_2$.

12.2.2. Принцип на измерване

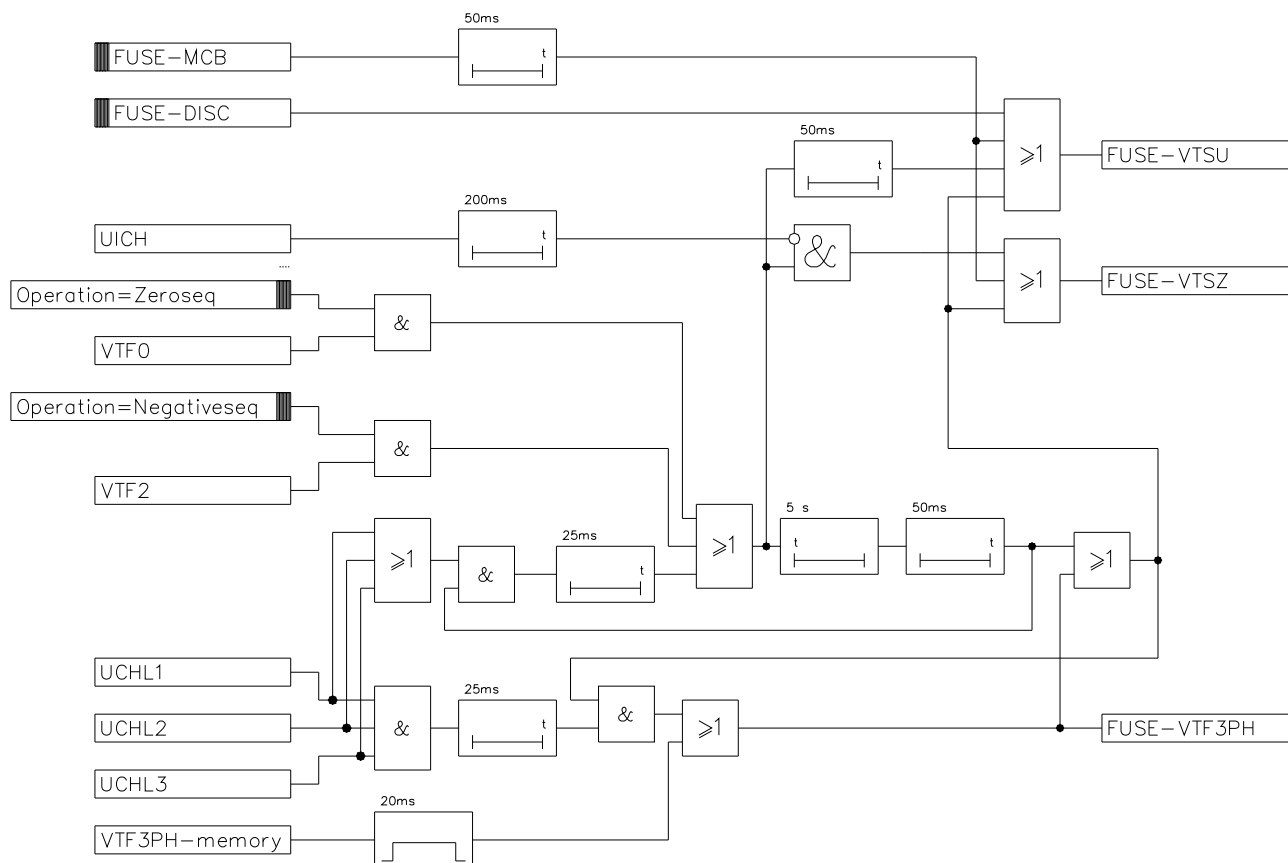
Токовете и напреженови измервателни елементи в един от вградените цифрови сигнални процесори непрекъснато измерва токовете и напреженията на трите фази и изчислява:

- Ток на нулева последователност $3I_0$
- Ток на обратна последователност $3I_2$
- Съответните напрежения, сравнявайки ги с настроените величини $I>$ и $U>$.

Рекурсивен **филтър на Фурие** филтрира токовете и напреженови сигнали, а един отделен брояч на изключванията предпазва от грешни зареждания на измервателните елементи. Следните сигнали приемат стойност логическа 1, ако измерените стойности на напреженията превишават, а измерените токове не превишават настроените стойности:

- VTF0 - за измерваните величини с нулева последователност
- VTF2 - за измерваните величини с обратна последователност

12.2.3. Устройство



Фиг. 1. Опростена блокова схема на функцията “Блокировка при неизправност в напреженовите вериги”.

На фиг. 1 е показана опростената блокова схема на функцията “Блокировка при неизправност в напреженовите вериги”. Външните сигнали (“FUSE-DISC” и “FUSE-MCB”) изпълняват функциите си дори когато БННВ е изведена. Предполага се, че те са свързани през двоични входове на защитата на електропровода, съответно към блок-контакт на линейния разединител и към помощен контакт на автоматичния предпазител в напреженовите вериги. Тези сигнали могат да работят и в паралел с вътрешните функции,

откриващи повреда в напреженовите вериги по величините с обратна и нулева последователност.

Предвиден е един допълнителен таймер, който запомня наличието на сигнала FUSE-MCB за още 50ms като по този начин предпазва от нежелано заработване на зависимите от напрежението функции поради не едновременно затваряне на контактите на автомата, монтиран в напреженовите вериги.

Функцията БННВ има вградена пофазна измервателна функция за токове и напрежения. Тя контролира вътрешния сигнал UICH. Стойността му е равна на логическа единица, когато напрежението в която и да е фаза намалее под настроената стойност като в същия момент токът в същата фаза е намалел до стойност по-малка от 10% от I_N .

Тази функция забранява заработването на блокировката за период от 200 ms след включване на линията с цел предпазване от неправилно заработване по време на не едновременното включване на фазите на прекъсвача. Същата функция извежда заработването на блокировката в цикъла на еднофазно АПВ.

Функцията за проверка на напреженията ще запомни състоянието на повреда в напреженовите вериги, ако състоянието което го е предизвикало се е запазило за време по-дълго от 5 s. Сигналите UICHL1, UCHIL2 и UCHIL3 подпомагат работата на функцията. Това състояние се запомня докато всички напрежения се нормализират.

Ако е изпълнено някое от условията за заработване на БННВ и напреженията в трите фази са намалели под настроената стойност, съответният изходен сигнал FUSE-VTF3PH получава стойност логическа единица. Това състояние се запомня (самозадържа се) докато напреженията в трите фази остава ниско.

То се запомня в постоянната памет на защитата, дори ако се прекъсне оперативното и захранване. При рестартиране, след възстановяване на захранването, защитата проверява стойността на сигнала "VTF3PH" и връща изходното състояние.

12.2.4. Проверки на блокировката

1. Свързва се трифазно тестово устройство към защитата и се симулират нормални работни величини с трифазен ток и фазни напрежения равни на номиналните.
2. Прекъсва се едно от фазните напрежения и се наблюдават вградените в защитата зависими от напрежението функции - дистанционна защита или минимално-напреженовата защита. Те трябва да работят адекватно на симулираната ситуация. Симулират се отново нормалните работни величини.
3. Подава се оперативно напрежение на двоичния вход FUSE-DISC и проверете дали сигналът FUSE-VTSU се появява без закъснение. Прекъсва се едно от фазните напрежения. Изходните сигнали FUSE-VTSZ и FUSE-VTF3PH не трябва да се появяват. Заработва само дистанционната защита. Останалите зависими от напрежението функции не трябва да заработват. Симулират се отново нормални работни величини. Прекъсва се подаденото оперативно напрежение на входа FUSE-DISC на защитата.
4. Подава се оперативно напрежение на двоичния вход FUSE-MCB и се провява дали сигналите FUSE-VTSU и FUSE-VTSZ се появяват без закъснение. Прекъсва се едно от фазните напрежения. Функциите зависими от напрежението не трябва да заработват. Симулира се отново нормални работни величини. Прекъсва се подаването на оперативно напрежение на входа FUSE-MCB на защитата.
5. Настройва се блокировката в режим на работа Operation=Zeroseq. Прекъсва се едно от фазните напрежения и се наблюдават логическите изходни сигнали. Сигналите FUSE-VTSU и FUSE-VTSZ трябва да се появяват незабавно.
6. Прекъсват се другите две фазни напрежения и всички фазни токове. Промяна в статуса на изходните сигнали не трябва да има.

7. Едновременно се възстановява нормалното състояние на входните величини и наблюдавайте логическите изходни сигнали. Те трябва да се променят в логическа 0 както следва:
- сигналът FUSE-VTF3PH след около 25 ms,
 - сигналът FUSE-VTSU след около 50 ms,
 - сигналът FUSE-VTSZ след около 200 ms.

8. Бавно се намалява напрежението на една от фазите до появата на сигнала FUSE-VTSZ. Записват се измерените величини и се изчислява съответното напрежение на нулева последователност, използва се уравнението. Напреженията в израза са

$$3 \cdot \dot{U}_0 = \dot{U}_{L1} + \dot{U}_{L2} + \dot{U}_{L3}$$

комплексни величини:

където:

U_{L1} , U_{L2} и U_{L3} са векторите на измерените фазни напрежения.

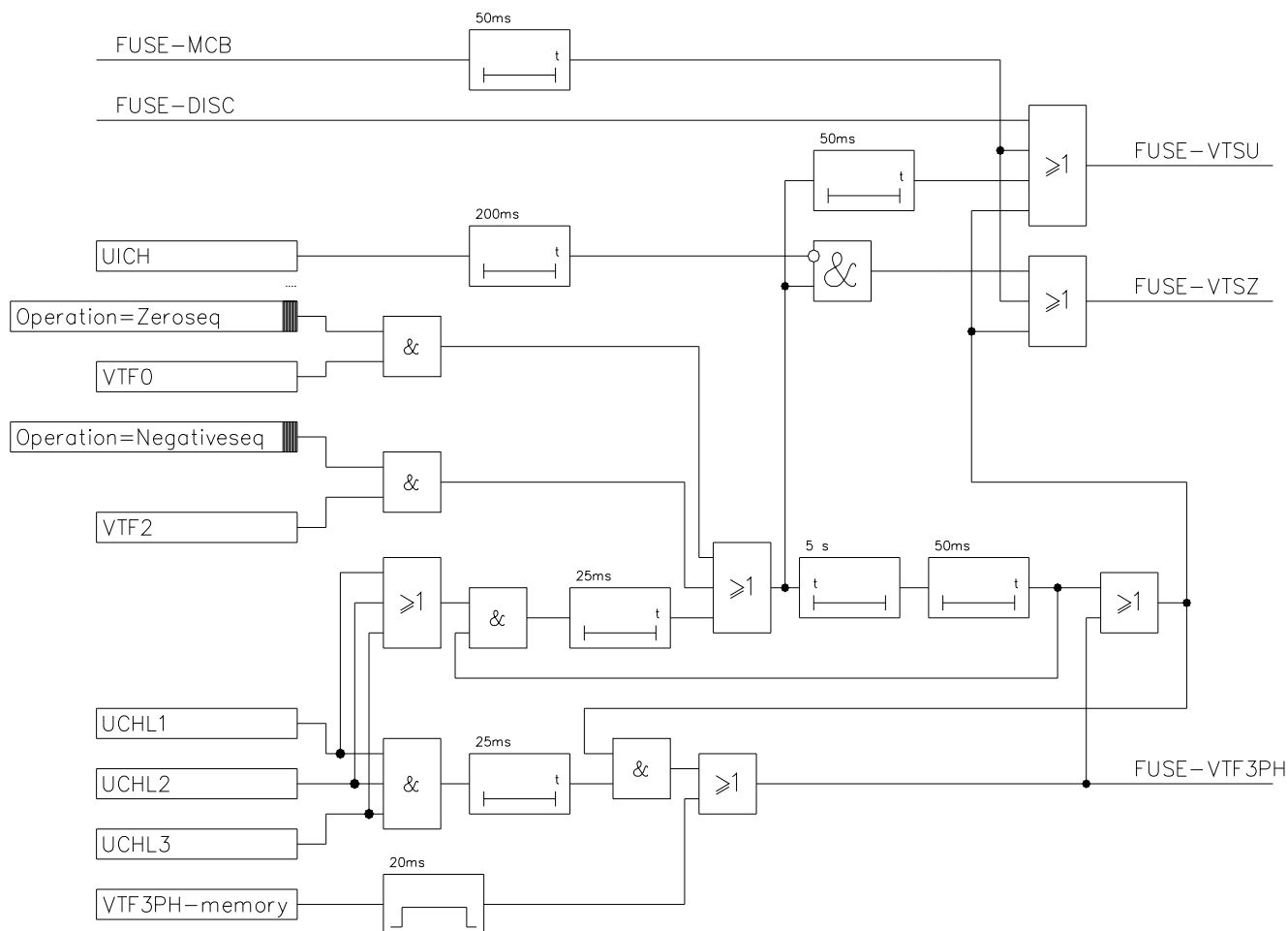
9. Сравнява се резултатът с настроената стойност на заработване по напрежението на нулева последователност. Резултатът трябва да бъде в границите на $\pm 5\%$ от настройката плюс декларираната точност на използваното тестово устройство.
10. Възстановяват се нормалните работни величини. Настройва се работата на блокировката в режим "Operation=Negativeseq". Повтарят се същите процедури както при режим Zeroseq с тази разлика, че измерените и настроени величини са токове и напрежения на обратна последователност. Съответните уравнения са както следва:

$$3 \cdot \dot{U}_2 = \dot{U}_{L1} + \dot{a}^2 \cdot \dot{U}_{L2} + \dot{a} \cdot \dot{U}_{L3}$$

където:

$$\dot{a} = 1 \cdot a^{j \frac{2\pi}{3}} = -0.5 + j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

12.2.5. Логическа схема на блокировката



Фиг. 2. Схема на функцията

12.2.6. Списък на сигналите

Вход	Описание
FUSE-MCB	Входен сигнал, който обикновено е свързан, посредством двоичен вход на защитата, към помощен нормално затворен контакт на автомата монтиран в напрежените вериги.
FUSE-DISC	Входен сигнал, който обикновено е свързан, посредством двоичен вход на защитата, към нормално затворен блок-контакт на линейния разединител.
Изход	Описание
FUSE-VTSU	Изходен сигнал на функцията. Предвиден е да се използва за блокиране на всички зависими от напрежението функции с изключение на дистанционната защита. Конфигурирайте го за тази цел към входовете за блокиране на тези функции.
FUSE-VTSZ	Изходен сигнал на функцията. Контролира се от функцията за проверка на напрежение/ток. Предвиден е да се използва за блокиране на дистанционната защита при повреда в напрежените вериги.
FUSE-VTF3PH	Изходен сигнал който се появява 5 секунди след откриването на повреда в напрежените вериги ако всички напрежения са ниски.

12.2.7. Таблица на настройките

Параметър	Обхват	Описание
Operation	Off / Zeroseq / Negativeseq	Режим на работа на функцията. Действието и може да бъде блокирано или настроено за работа с величини на нулева или обратна последователност.
U>	(10-50)% от $U_N/\sqrt{3}$	Стойност на заработване на напреженовия измервателен елемент за нулева ($3U_0$) или за обратна ($3U_2$) последователност зададена като процент от номиналното напрежение на защитата.
I>	(10-50)% от I_N	Стойност на заработване на токовия измервателен елемент за нулева ($3I_0$) или за обратна ($3I_2$) последователност зададена като процент от номиналния ток на защитата.

Литература:

1. Кежов И. Б. Алгоритъм за цифрова дистанционна защита. Дисертация за к.т.н. Енергопроект, София, 1993
2. Ръководство за експлоатация за дистанционна защита REL531 (ABB). Ноември 1996 г.

15. Автоматично повторно включване

1. Някои дефиниции [3, 4, 5]

Устройство против многократно включване [Antipump (pump free) Device (power switchgear)]. Устройство, което предпазва от повторно включване след команда за изключване толкова продължително, колкото изискват условията за експлоатация [5].

Предпазване от многократно включване (Antipumping). Характеристика, приложена към прекъсвача или устройството за АПВ, в случай на трайна повреда. Прекъсвачът се предпазва от повтарящи се операции, които могат да се появят, когато последният импулс за включване е по-продължителен от сумата на времената на защитното реле и времето на заработване на прекъсвача [3].

Време за горене на дъгата (Arcing time). Интервалът от време между момента на първото появяване на дъгата и момента на окончателното изчезване на дъгата от всички полюси. За комутиращите устройства, които използват комутиращ резистор, трябва да се прави разлика между време за горене на дъгата до момента на гасене на главната дъга и времето за горене на дъгата до момента на прекъсване на тока през резистора [5]. Подобна разлика трябва да се прави между момента на отделяне на контактите на прекъсвача и момента на гасене на дъгата в мястото на повреда [3].

Продължителност на импулса за включване (Closing impulse time). Времето през което включващите контакти на устройството за АПВ са допрени [3].

Време за включване (Closing time). Интервалът от време между появата на операцията включване и момента, когато всички полюси са се включили метално.

Бележки:

1. Във времето за включване участват времената на заработване на всички помощни устройства, необходими за затваряне на комутиращото устройство и които са интегрирани към него.
2. За комутиращи устройства, включващи комутиращ резистор трябва да се прави разлика между времето на включване до момента на установяване на веригата на вторичните дъгови контакти, и времето на включване до установяване на верига на главните или първичните дъгови контакти, или двете [5]. Следователно времето за захранване на включвателната верига на прекъсвача до допиране на контактите на прекъсвача [3].

Брояч (Counting relay). Едно реле, най-често електромагнитно, с храпов механизъм, който се предвижва една стъпка напред всеки път, когато бобината се захранва. Един контакт заработва след избран брой стъпки и механизма може да се върне в изходно положение ръчно или с електрически сигнал [3].

Нарочно забавяне (време на устройството за АПВ - $t_{АПВ}$) [Dead time (autoreclose relay)]. Времето между момента, когато се захранва схемата за АПВ и заработването на контактите, които захранват включвателната бобина на прекъсвача. При схеми с мигновено или много бързо АПВ това време е фактически същото като нарочното забавяне на прекъсвача [3].

Нарочно забавяне (за прекъсвачи при участие в АПВ) [Dead time (of a circuit breaker on a reclosing operation)]. Интервал между прекъсването на всички полюси на прекъсвача при изключване и повторното установяване при повторно включване

Бележки:

А. При прекъсвачи, използващи шунтиращ дъгата резистор, се различават следните интервали и могат да се направят следните препоръки:

1. Нарочно забавяне от прекъсването на първичните дъгови контакти до повторното установяване на първичните дъгови контакти.
2. Нарочно забавяне от прекъсването на първичните дъгови контакти до повторното установяване на вторичните дъгови контакти.
3. Нарочно забавяне от прекъсването на вторичните дъгови контакти до повторното установяване на първичните дъгови контакти.

4. Нарочно забавяне от прекъсването на вторичните дъгови контакти до повторното установяване на вторичните дъгови контакти.

В. Нарочното забавяне на повреда през дъга при действие на АПВ не е така необходимо както нарочното забавяне на заместващ прекъсвач, тъй като нарочното забавяне на повредата е интервалът, по време на който повреденият проводник не е захранен от всички възможни места [5].

Време за дейонизиране (Deionizing time). Време, отнасящо се за повреди през дъга във въздушни електропроводи, което е необходимо да осигури такава дисперсия на йонизираната среда, че дъгата да не се възстанови отново, когато електропроводът се захрани повторно [3].

Схеми за бързо АПВ (High-speed reclosing scheme). Схема, на която прекъсвачът се включва автоматично повторно най-много една секунда след операцията за изключване на повредата [3].

Блокиране (Lockout). Характеристика на схемата за АПВ, която предвижда след изключване на прекъсвача да се предотвратят и следващо повторно включване [3]. Контактите ще останат в отворено състояние също така, когато операция изключване, последва определен брой операции включване и изключване, които задвижващият механизъм може да извърши преди да настъпи блокиране.

Схеми с бавно АПВ или с АПВ със забавяне (Low speed or delayed reclosing scheme). Схема, на която прекъсвачът се включва автоматично повторно за повече от една секунда след операцията за изключване на повредата [3].

Многократно АПВ (Multishot reclosing). Последователност от АПВ с повече от едно повторно включване при дадена повреда, преди да е настъпило блокиране на прекъсвача.

Брояч на заработвания (Operating counter). Брояч, обикновено от типа на електромагнитните броячи на импулси, нагласен да показва броя на автоматичните операции, или включване, или изключване, въведен веднага след пусково-наладъчните работи [3].

Безтокова пауза (Dead time delay)

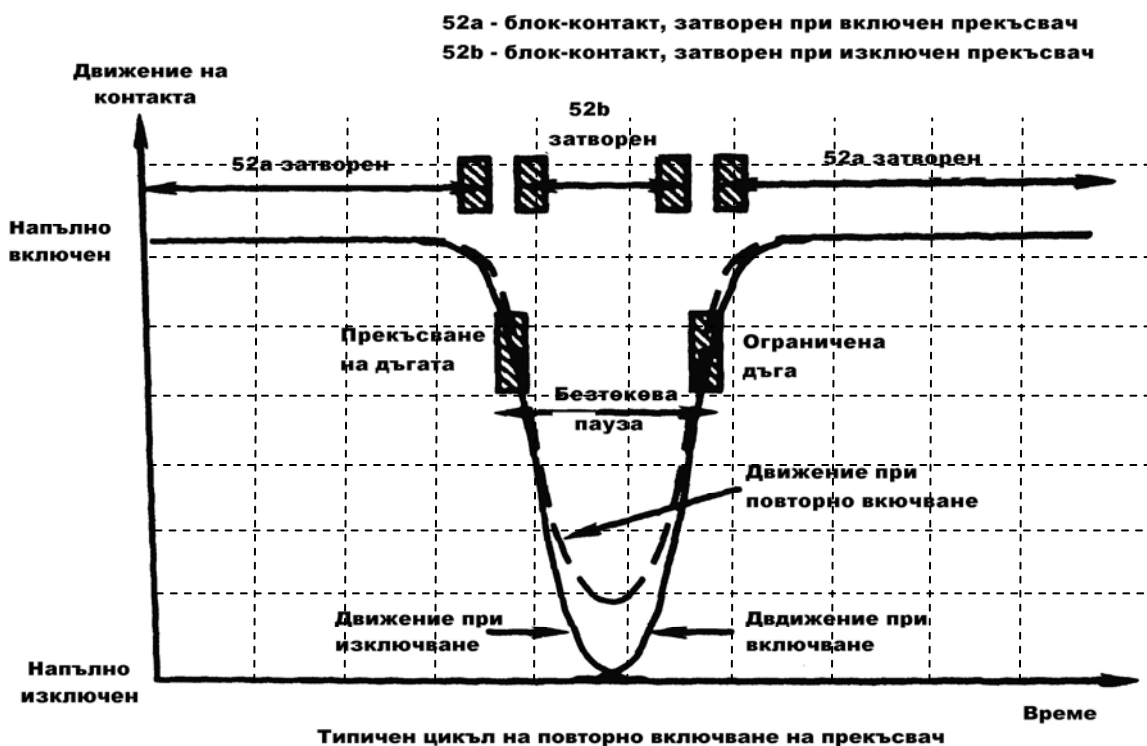
Време за повторна готовност recloser (ready time delays)

Време за повторна готовност (зареждане) на прекъсвача (регенериране) (reclaim time)

Резерв от време (safety time)

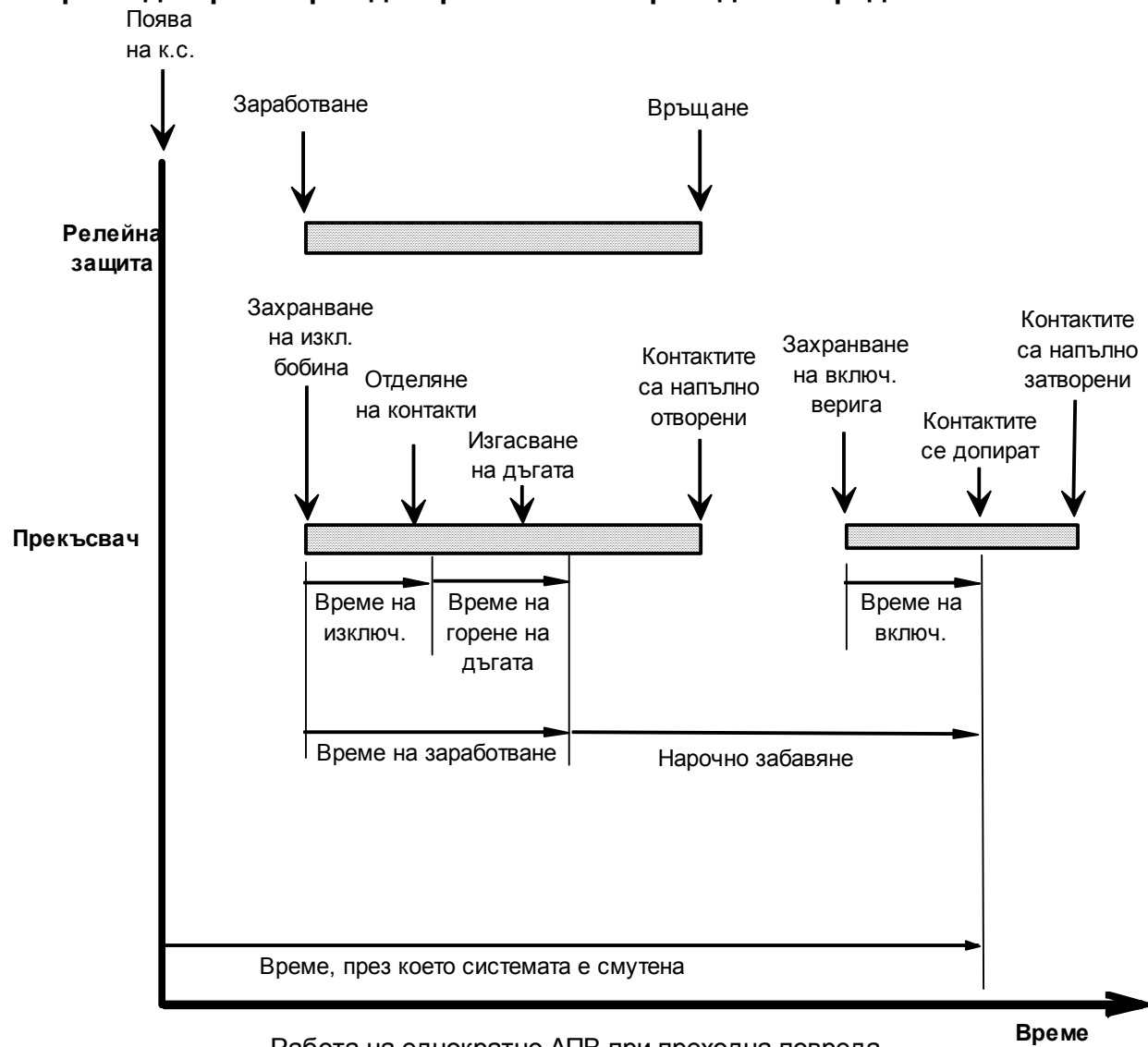
2. Работа на прекъсвача при АПВ

Разглежда се последователността в работата на главните контакти и на блок-контактите при един цикъл на успешно АПВ – изключване и включване (фиг. 2.1). Блок-контактите 52a и 52b са на същия вал, който задвижва главните контакти. С штрихованите правоъгълници се показва, че блок-контактите се затварят и отварят в течение на един тесен интервал от време – не става мигновено. Свързаният последователно на включвателната бобина блок-контакт е означен с 52 b, а свързаният последователно на изключвателната бобина – с 52a.



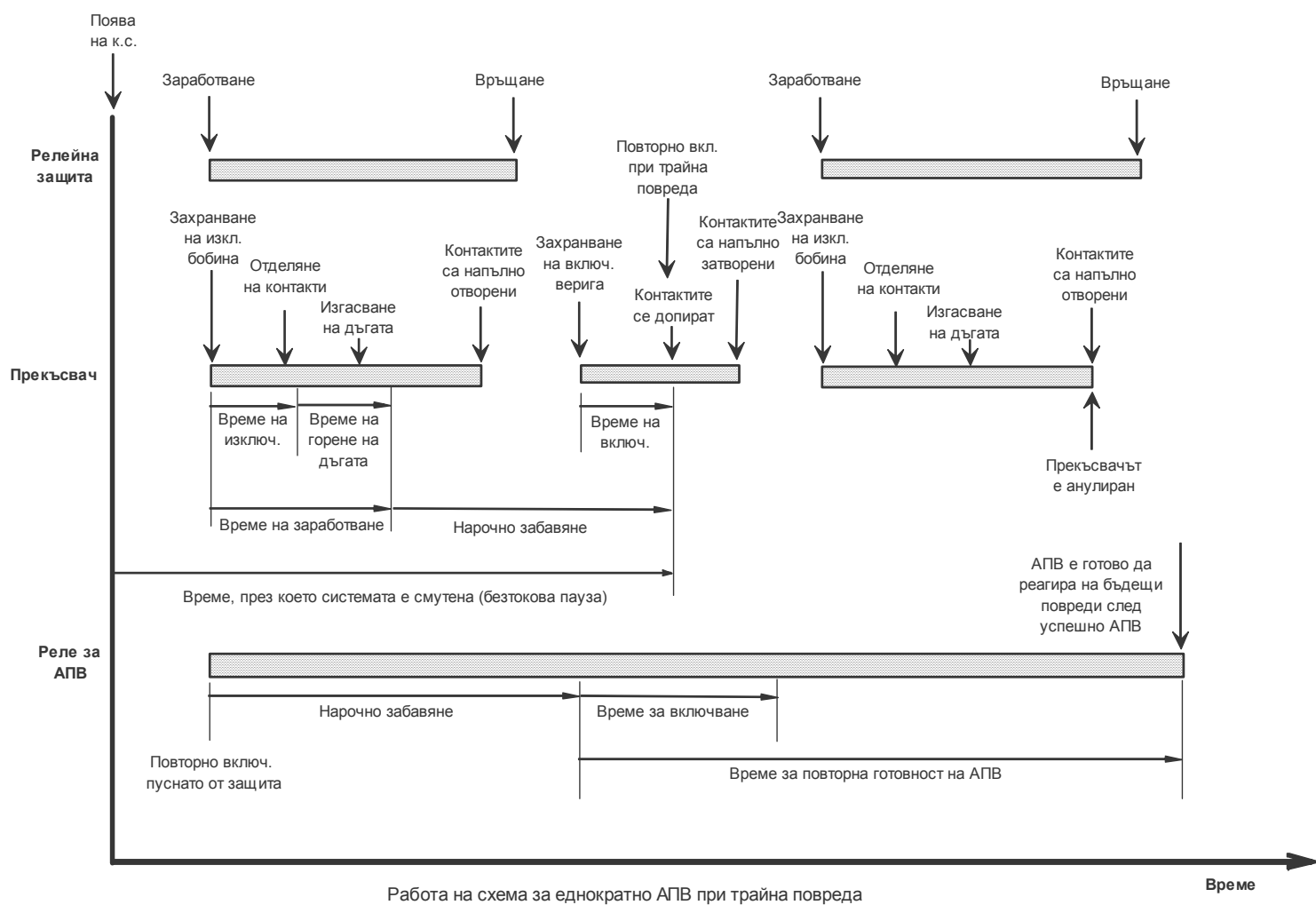
Фиг. 2.1

3. Време-диаграма при еднократно АПВ и преходна повреда



Фиг. 3.1

4. Време-диаграма при еднократно АПВ и трайна повреда



Фиг. 4.1

5. АПВ на защити само с токови входове

Примерни характеристики

АПВ (IEEE 79)		
1	Кратност на АПВ	0 до 9
2	Програма при междуфазни повреди	
	Пускане от	
	a.	МТЗ
	b.	Ток с обратна последователност
	c.	Бинарен вход
3	Програма при земни повреди	
	Пускане от	
	a.	Токов елемент
	b.	Чувствителна земна защита
	c.	Бинарен вход

Ефектът от повторното включване се определя от поведението на защитата след АПВ. Ако тя не задейства отново, електрическата верига се е възстановила и процесът на електроснабдяване се нормализира – регистрирано е успешно АПВ. При положение, че защитата се задейства след АПВ, присъединението се изключва и се регистрира неуспешно АПВ. Възможно е използването на многократно АПВ в някои мрежи. Установено е, че за открити електропроводи успешното еднократно АПВ е 60-70%, двукратното-10-15%, трикратното-3%. За кабелните линии успешното еднократно АПВ е 45-55%, а за трансформатори и други – 65-75%.

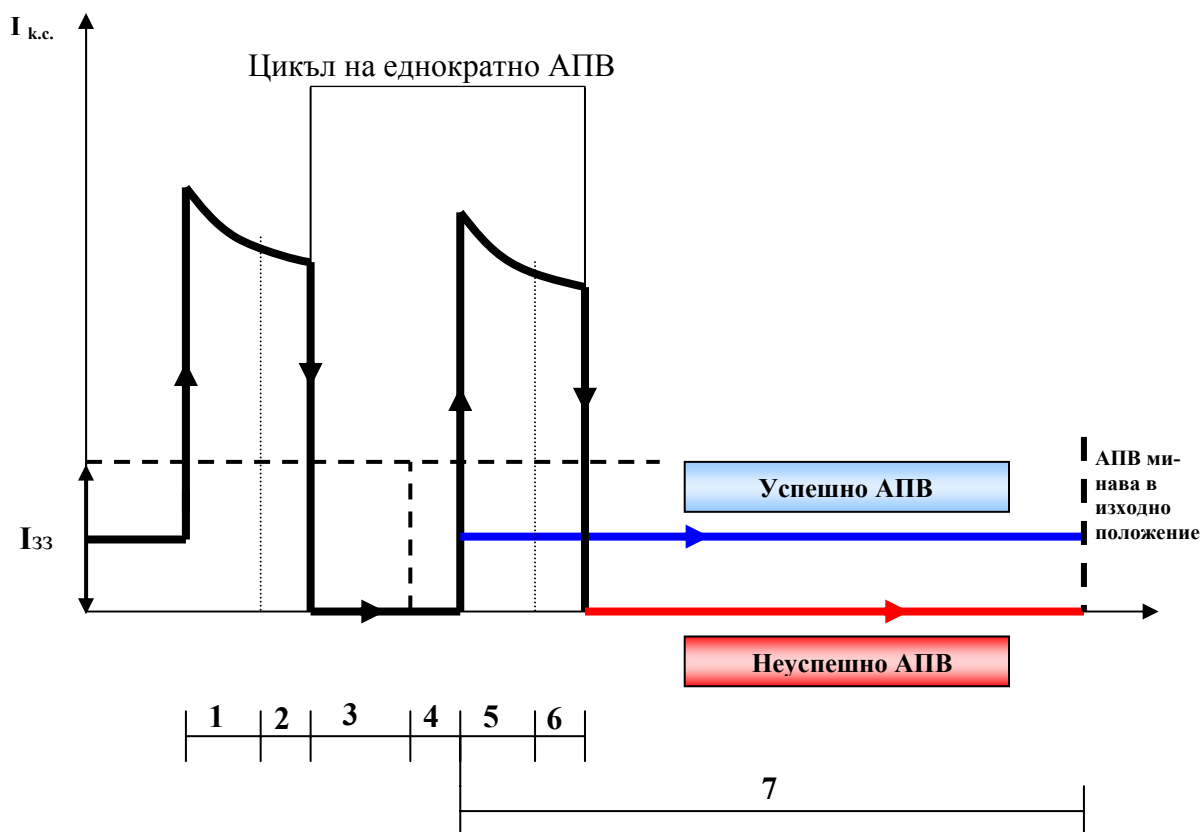
Защитата позволява въвеждането на трифазно еднократно или многократно АПВ, включващо до девет цикъла. Времето на безтоковата пауза при многократното АПВ за първите четири цикъла може да бъде различно настроено, а за останалите цикли важи времезакъснението на четвъртия цикъл. Освен това защитата дава възможност за избор на функция, която да стартира изпълнението на алгоритъма на АПВ. Обобщеният алгоритъм включва елементи за констатиране на критериите за заработване на пусковия модул, реализиране на зададеното времезакъснение, формиране на импулс за включване и осигуряване на блокировки по определени критерии.

При едностранно захранване критериите за заработване на пусковия модул се формират от наличие на несъответствие между ключа за управление и положението на прекъсвача. В случаите когато електропроводът се захранва двустранно, за заработване на пусковия модул се формират допълнителни критерии като наличие или отсъствие на напрежение, наличие или отсъствие на синхронизъм и други.

Чрез забавяне на действието на АПВ се цели:

- Да се гарантира възстановяването на изолационната среда (дейонизация на електрическата дъга) в мястото на повредата;
- Да се гарантира готовността на прекъсвача за повторно включване и следващо аварийно изключване при устойчива повреда.

При еднократното АПВ след изключването на прекъсвача от защитата се изпълнява само един цикъл. В момента на настъпване на повредата токът, протичащ през прекъсвача се повишава значително, защитата заработва и подава импулс за изключване. Настъпва безтоковата пауза, през която се изпълняват условията за повторно включване. След изтичане на предварително настроеното времезакъснение на АПВ се формира импулс за повторно включване. Ако повредата се е отстранила сама се реализира успешно АПВ. При положение, че к.с. не е с преходен характер, защитата отново заработва и подава изключвателен импулс към прекъсвача. След неговото изключване отново настъпва безтокова пауза – реализира се неуспешно АПВ. По нататък прекъсвачът се включва ръчно или от система за телеуправление след отстраняване на повредата.

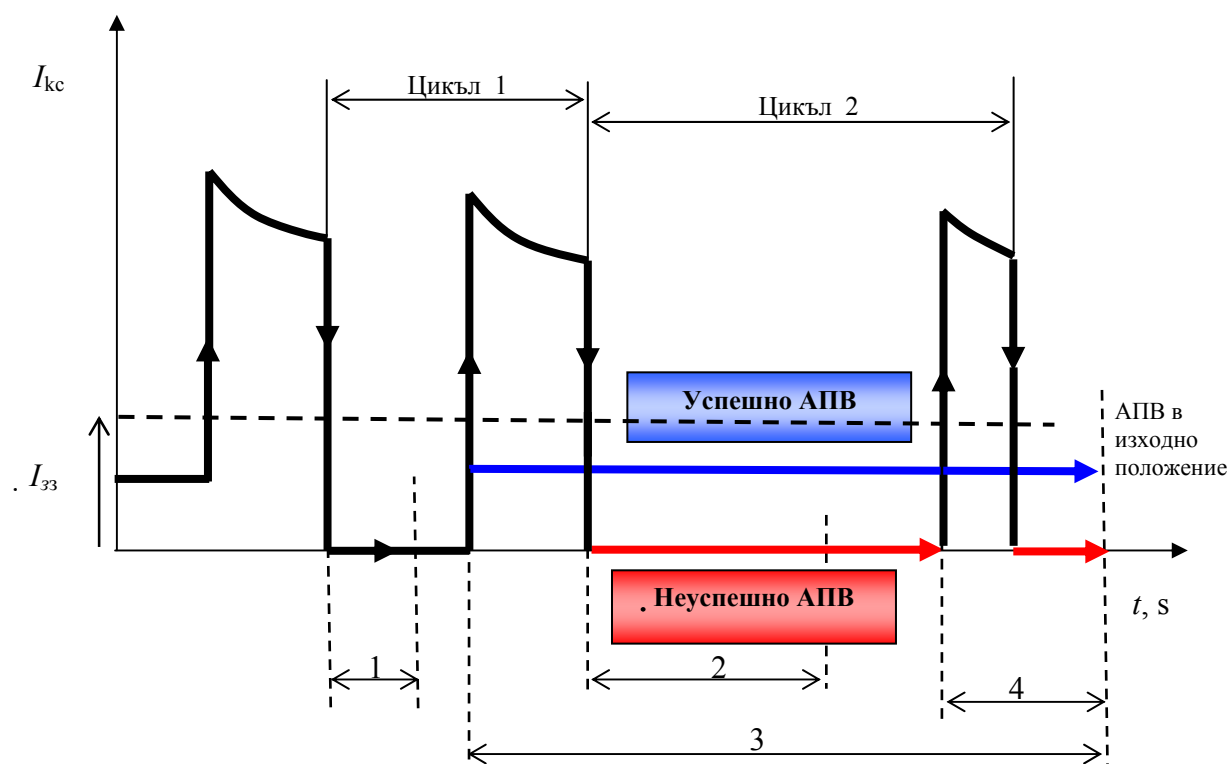


Фиг. 5.1. Графика на процеса при трифазно еднократно АПВ

В графиката на фиг. 5.1 за трифазно еднократно АПВ с цифри са записани времената на процеса както следва:

- 1 - времезакъснение на защитата;
- 2 - времезакъснение на изключвателната верига на прекъсвача;
- 3 - времезакъснение на функцията за АПВ;
- 4 - времезакъснение на включвателната верига на прекъсвача;
- 5 - времезакъснение на защитата;
- 6 - времезакъснение на изключвателната верига на прекъсвача;
- 7 - времезакъснение за връщане на АПВ в изходно положение.

Двукратното АПВ се характеризира с това, че извършва втори цикъл при неуспешно АПВ след първия, но с по-голямо времезакъснение.



Фиг. 5.2. Графика на процеса на трифазно двукратно АПВ

При успешно АПВ след първи цикъл функцията се връща в изходно състояние. При неуспешно АПВ с по-голямо времезакъснение се реализира втори цикъл. Ако повредата е с траен характер следва окончателно трифазно изключване на присъединението.

В графиката на фиг. 2 на процеса при трифазно двукратно АПВ, с цифри са записани времената на процеса както следва:

- 1 - времезакъснение на функцията за първи цикъл на АПВ;
- 2 - времезакъснение на функцията за втори цикъл на АПВ;
- 3 - времезакъснение за връщане на АПВ в изходно положение след успешен първи цикъл;
- 4 - времезакъснение за връщане на АПВ в изходно положение след успешен втори цикъл.

Всяка функция АПВ, независимо от алгоритъма си, трябва да отговаря на следните изисквания:

- Да се пуска в действие само при аварийно изключване на прекъсвача;
- Да се блокира при извършване на оперативни манипулации с прекъсвача;
- Да се блокира при въведена друга автоматика, като автоматично включване на резервното захранване, автоматично честотно разтоварване, диференциална и газови защиты на трансформатор и други;
- Да позволява извеждане от работа при необходимост;
- Да се блокира при неуспешно АПВ за време необходимо за връщането му в изходно състояние, съгласувано с броя на предвидените повторни включения;
- Да подава команда за включване след осъществяване на контрол над всички зададени критерии.

Функцията АПВ се изпълнява съгласно стандарт ANSI 79 и може да бъде стартирана чрез защитните функции – независимите ТО, МТЗ, 3^{те} степени на ЗЗ, както и от зависимите МТЗ и ЗЗ или чрез вън-

шна защита по бинарен вход. За по-голяма ефективност от АПВ, функциите които го стартират, трябва да изключват повредата с минимално забавяне. В процеса на работа АПВ може да се блокира чрез статична или динамична блокировка. За целта се въвежда параметърът “време за блокиране”, използван при динамичното блокиране, което означава, че при стартиране на АПВ цикъла и при поява на някое блокиращо условие, същият се прекратява.

Динамичното блокиране изключва възможността за повторно включване при поява на определен критерий като:

- Токова функция на защитата локализира трифазно К.С. ;
- Последният допустим цикъл е неуспешен;
- Прекъсвачът се комутира чрез ключ за управление или телемеханичен сигнал;
- Заработва друга автоматика;
- Прекъсвачът е изключен от диференциална или газова защита;
- Броят на циклите е зададен предварително – 0;
- Прекъсвачът не е готов за повторно включване след изтичане на времето за контрол на положението му.

След неуспешното изпълнение и на последния разрешен цикъл функцията АПВ също преминава в динамично блокиране. След изтичане на предварително зададеното “време за блокиране” тя се рестартира и е готова за изпълнение на нова серия от цикли, ако се появят условия за това. Готовността на прекъсвача да изпълни пълен цикъл Изкл.- Вкл.-Изкл. се следи от защитата чрез бинарен вход. При многократното повторно включване тази готовност се съблюдава през целия алгоритъм на АПВ като се блокира докато прекъсвачът не е готов за следващ цикъл Вкл.-Изкл.. Времето за контрол на прекъсвача, необходимо за сигнализиране на готовността му удължава допълнително времето на безтоковата пауза и ако за това време той все още не е готов, защитата блокира извършването на командата за АПВ. Това е особено необходимо в случай на ръчно включване на прекъсвача и наличие на повреда по електрическото присъединение. Защитата изключва прекъсвача непосредствено след командата за включване, при което механизмът му е разреден т.е. включвателната пружина е ненатегната и не е в състояние да изпълни следваща команда за включване. По аналогия се разглежда и действието на многократното АПВ след първия му цикъл и неотстранена повреда.

Друг параметър, който се използва е “максимална продължителност на изходната команда” и определя времето, в което цифровия изход за управление на прекъсвача подава импулс. Чрез параметърът “максимално време за изчакване на цифровия вход за старт на АПВ да се деактивира” се определя забавянето на старта на поредната безтокова пауза.

При **статичното блокиране** АПВ не може да бъде приведено в действие докато тази блокировка е на лице и чрез вътрешна команда се блокира стъпалото на защитата, която го активира. АПВ е блокирано статично при:

- изведено действие на АПВ;
- отсъствие на настроени стъпала в защитата, които да активират АПВ;
- наличие на блокиращ сигнал от бинарен вход.
- “RFI 421S” (РОКОН – София) дава възможност за въвеждане на функцията АПВ в зависимост от вида на к.с. при:
 - К.с. към земя ;
 - К.с. между фази.

В процеса на локализиране на к.с., в зависимост от работилите токови елемента се стартира и съответното АПВ.

Един от начините за разширяване на зоната на действие на ТО е използването на АПВ при въздушните линии или устройства за АВР - при кабелните. В така разглежданият случай действието на функцията АПВ има за цел да поправи неселективното действие на отсечката, тъй като зоната ѝ на

действие обхваща не само съседния, но и по-далечните участъци. Времетраенето на АПВ в този случай се избира нарастващо с отдалечаване от мястото на захранващия източник. При наличието на три последователно свързани електропровода и възникване на К.С. в последния, следва изключване и на трите прекъсвача, в резултат на неселективното действие на ТО, монтирана на електропровода, намиращ се най-близо до генериращия източник. След това започва процесът на включване на прекъсвачите в посока от най-близката подстанция до генериращия източник, чрез цикъл АПВ. След включването на всеки прекъсвач, ТО на съответния участък се извежда от действие до момента на включване на следващия прекъсвач и т.н.. Недостатък на това схемно решение е увеличаване броя комутации на силовите съоръжения, а така също и изключването на неповредени участъци от мрежата при отказ на прекъсвач по време на една от операциите.

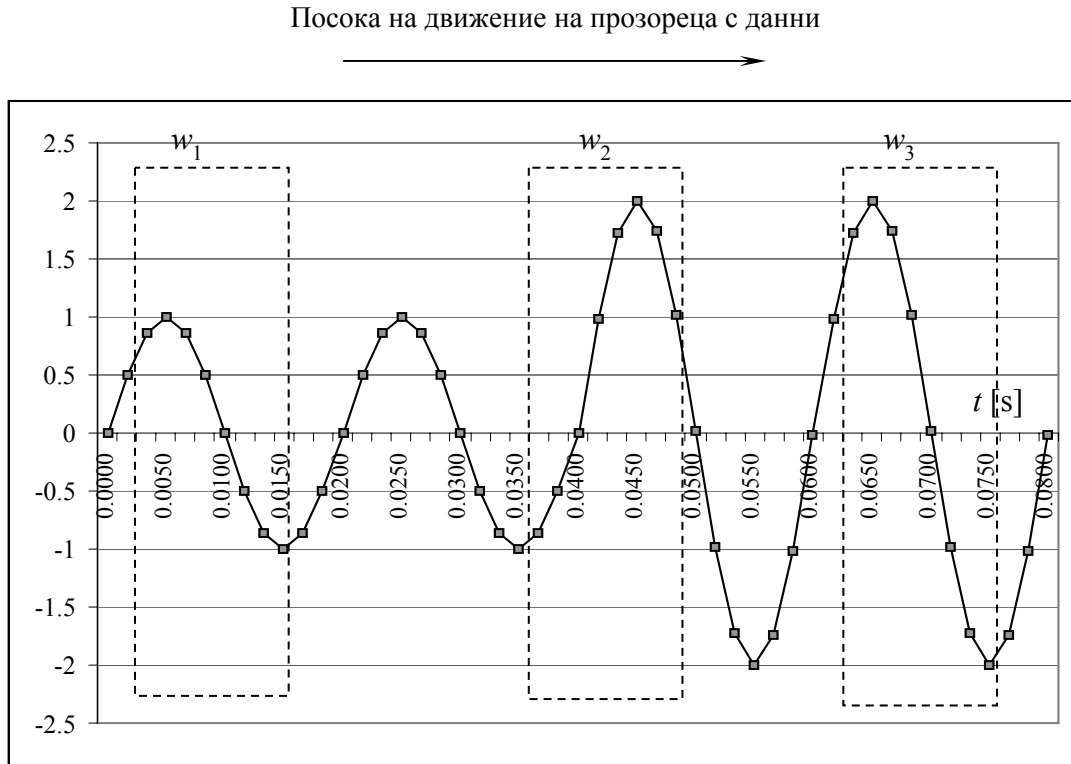
RFI 421S (РОКОН – София) позволява да се направи избор за ускорение в действието на дадена защита преди или след АПВ. Защита с ускорение преди АПВ се нарича съчетанието на ТО, работеща само преди АПВ с МТЗ. При гореизложената схема и наличие на к.с. (по някои от линиите, шините или в намотките за високо напрежение на трансформаторите в подстанциите) отсечката, монтирана единствено в подстанцията, която се намира най-близо до генериращия източник, заработва и изключва цялата верига от линии и автоматично се извежда от действие от модула АПВ. В следващия момент заработва АПВ и включва всички линии. При устойчива повреда по линиите, същите се изключват от собствените си МТЗ със закъснение. Предимствата на разглежданото схемно решение се изразяват в това, че се поставя АПВ само в подстанцията, намираща се най-близо до генериращия източник. Недостатък на това изпълнение е изключването на устойчиви повреди със определено закъснение, което е особено негативно при кабелни мрежи.

Ускорението на защитата след АПВ се изразява в това, че след приключване на цикъла “изключване-включване” и наличие на устойчива повреда, модулет извежда от действие времетраенето на работилката защита и изключва прекъсвача мигновено.

6. АПВ на заштити с токови и напреженови входове

6.1. Стартова блокировка

Цифровите заштити използват прозорец от дискретни стойности, които за различните алгоритми има различна дължина, но най-често е в границите от половин до един период на основната честота. Като пример са приети 8 стойности при честота на сканиране 600 Hz и общ брой на дискетите за един период $N = 12$ (фиг. 6.1).



Фиг. 6.1. Прозорци с 8 стойности: преди повреда w_1 ; по време на прехода w_2 ; в установения режим на повреда w_3

Прозорците се преместват по оста на времето напред с всеки квант. От момента на поява на повреда в прозореца ще има данни от двата режима и са възможни непредсказуеми грешки в изчисленията. Разумно е защитата да се блокира за времето до изпълване на прозореца с данни само от аварийния режим. Рязката промяна в режима на обекта се открива от *детектор на преходния процес*. Използва се сигнал от тока, а три от възможните условия за неговото реализиране са (фиг. 2.1):

1. Сравняване на две симетрични точки от два съседни полупериода, т.е. точки на разстояние $N/2$ [1].

$$(6.1) \quad i_{k-N/2} = -i_k.$$

2. Сравняване на две симетрични точки от два съседни периода, т.е. точки на разстояние N [3, 4].

$$(6.2) \quad i_{k-N} = i_k.$$

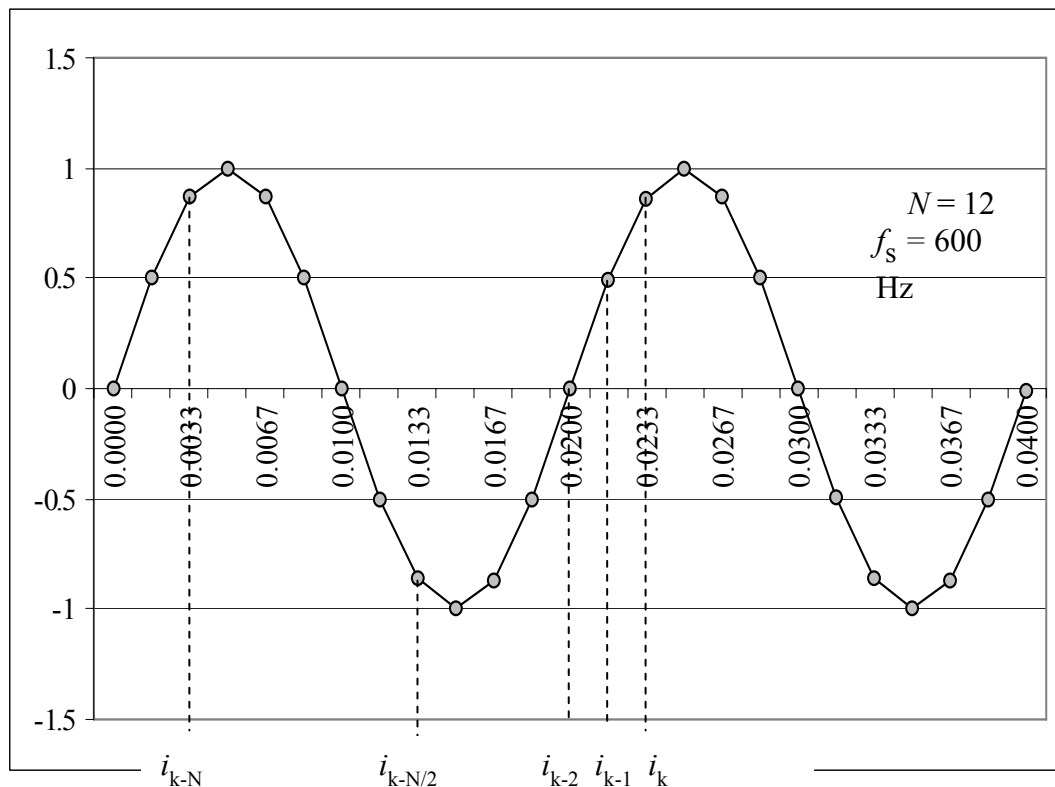
3. Сравняване на три последователни точки i_{k-2} , i_{k-1} , i_k и улавяне на момента на прехода [2]

$$(6.3) \quad \sqrt{3} \cdot i_{k-1} = i_{k-2} + i_k.$$

Коефициентът $\sqrt{3}$ от (6.3) съответства на 12 точки на сканиране $N = 12$. Ако например i_{k-2} е нулевата точка, то другите са след 30° и 60° , т.е.

$$\sqrt{3} \cdot \sin 30^\circ = \sin 0^\circ + \sin 60^\circ,$$

$$\sqrt{3} \cdot \frac{1}{2} = 0 + \frac{\sqrt{3}}{2}.$$



Фиг. 6.2. Условия за детекторите на преходен процес

Изискванията към детектора за преходен процес са:

- За да реагират максимално бързо, трябва да използват величините преди филтриране.
- Да не се влияят от промени на честотата и поява на люлеене.

Равенствата (6.1-3) не могат да се спазват и изравняването става с точност до една реална константа C , която се определя за всеки конкретен случай. Например [4, 5] при откриване на к.с. $C \leq 0,7$; при снижаване на честотата до 45 Hz е достатъчно да бъде спазено условието $C \geq 0,62$; при поява на люлеене без к.с. блокировката не трябва да заработва и при честота на люлеене под 10 Hz условието за правилна работа на блокировката е $C \geq 0,53$.

6.2. Напрежителна блокировка

Напрежителната блокировка (БННВ) има задача да открива повреди във вторичните напреженови вериги, да забрани работата на защитата и да сигнализира дежурния персонал. Разглежданият алгоритъм показва и кои са засегнатите фази. Извършва се сравнение между едноименните напрежения от намотките u_{Δ} и напреженията, от които е съставен отворения триъгълник u_{Δ} .

Съставен е собствен буфер с размерност 3×2 от данни за всеки квант на посочените напрежения, които се пренареждат и обновяват всеки квант.

За заработването на блокировката е необходимо да се изпълнят следните две условия:

Първо:

$$(6.2.1) \quad |u_{\Delta k} - u_{\Delta k}| > BU_{\text{настр.}} * \max(u_{\Delta k}, u_{\Delta k})$$

Това е проверка, че разликата между едноименните напрежения от звездата и триъгълника е по-голяма от номиналното напрежение, умножено по настройката $BU_{\text{настр.}}$. Под номинално се разбира по-голямото от двете напрежения, а типична стойност на настройката е $BU_{\text{настр.}} = 0.25$.

Второ:

$$(6.2.2) \quad |u_{\Delta k} - u_{\Delta k}| > NU_{\min} * NU_{\text{НОМ}}$$

Второто условие отчита случаите, когато напрежението преминава през нулата и цели да се избегне възможността поради грешки при дискретизацията първото условие да разреши излишно блокиране. Според (6.2.2) блокировката може да заработи само когато разликата между двете напрежения е по-голяма от зададената при настройката номинална стойност на напрежението $NU_{\text{НОМ}}$, умножена по настройката $NU_{\min} = 0,1$. Блокировката има мажоритарен брояч, чиято прагова стойност е 3.

6.3. Блокировка при люлеене

Използва се проекцията на напрежението в мястото на релейната защита върху тока $U_a = U \cdot \cos \varphi$, защото тази величина не се влияе при люлеене от мястото на защитата.

6.4. Контрол на напрежението (КН)

Контрол на отсъствие на напрежение. Напрежението трябва да е под минимално допустимото. Проверява се състоянието на първите три клетки от масивите на реле за минимално напрежение.

Контрол на наличието на напрежение. (Това условие се съчетава с условието за синхронизъм на двете напрежения.) Проверява се дали напрежението на трите фази е близко до номиналното. Реализират се три максималнонапреженови релета – по едно за всяка фаза. Проверява се например дали двупътно изправеното напрежение за половин период е по-голяма от настройката. Използва се и мажоритарен брояч с прагова стойност 3.

6.5. Контрол на синхронизма (КС)

Електромеханичните АПВ използват алгоритми за контрол на синхронизма, в които разлика в честотите е разделена на три диапазона: $0 \div 0.7\text{Hz}$; $0.7 \div 1.3\text{Hz}$; $1.3 \div 1.8\text{Hz}$. Цифровите устройства [Енергопроект] работят с плаващ диапазон на разлика в честотите на двете страни от нула до около 7 Hz, което позволява по-бързо улавяне на момента на включване. За реализиране на включване на прекъсвача по условие на наличие на синхронно напрежение от срещнатата страна е необходимо да се реализират три процедури:

6.5.1. Определяне на периода на напрежението на една фаза от електропровода и периода на напрежението на едноименната фаза от системата

Търси се интервал, през който напрежението на електропровода минава от отрицателна в положителна моментна стойност. Същото се прави и за напрежението на ЕЕС. Използва се нулевия индикатор, описан в *Тема 4*. Две последователни преминавания през нулата в една и съща посока определят периода на напреженията и кое от двете има по-малка честота, за да се приеме за базово.

6.5.2. Определяне на взаимното положение на векторите на двете напрежения

Напрежението с по-ниска честота (с по-продължителен период T) се приема за базово и спрямо него се определя в брой кванти фазовата разлика между двете напрежения. Определянето става в момента, когато напрежението с по-висока честота премине през нулата, а до този момент алгоритъмът изчаква.

6.5.3. Определяне на *изпреварващия момент* за подаване на команда за включване на прекъсвача.

Стремежът е контактите на прекъсвача да се включат, когато двете напрежения съвпадат по фаза. Това изисква командата за включване да се подаде към прекъсвача по-рано – колкото е времето за включването му (доколкото то е постоянно). За електромеханичните устройства се приема като допустимо разместване на двата вектора от 60° [6].

За оценка на работата на цифровите АПВ с контрол на синхронизма се въвеждат следните означения, а мярка е интервалът Δt на честотата на сканиране.

U_1 – вектор на напрежението с по-ниска честота,

U_2 – вектор на напрежението с по-висока честота,

$P_{\text{пр}}$ – брой интервали Δt (по каталог) за включване на прекъсвача ($P_{\text{пр}} = t_{\text{пр}}/\Delta t$)

P_p – брой интервали Δt за абсолютната стойност на максималното разсейване във времето при включване на прекъсвача ($P_p = t_p/\Delta t$)

P_c – брой интервали Δt до съвпадане на векторите на двете напрежения,

P_a – брой интервали Δt , за които векторите на двете напрежения ще съвпаднат, ако са дефазирани на максималния допустим ъгъл например 60° ,

f_b – разлика на честотите на двете напрежения.

Литература:

1. Gilerest G. B., G. D. Rockefeller, E. A. Udren. High-speed distance relaying using a digital computer I – system description. TPAS, Vol. 91. No. 3, May/June. 1972, pp. 1235-1243
2. Phadke A. G., T. Hlibka, M. G. Adamiak, M. Ibrahim, J. S. Thorp. A microprocessor-based ultra-high speed distance relay: field tests. TPAS, 80 SM 649-4, 1980
3. Витанов А. Б., Л. Пандева. Пускова програма за цифрова дистанционна защита. Конференция SPSO'81, Вроцлав 1981, с. 341-345
4. Витанов А. Б. и др. Комплексно устройство за защита на линии 110 kV. Разработка на Енергопроект и ИТКР, 1991
5. Кежов И. Б. Алгоритъм за цифрова дистанционна защита. Дисертация за к.т.н. Енергопроект, София, 1993
6. Нанчев С. Н. Автоматизация на електроенергийните системи. Техника, София, 1982

17. Измерване на разстоянието до мястото на късото съединение

Темата е развита по материали на фирмата ABB за цифровите дистанционни защиты от типа REL 5xx.

1. Предназначение

Главната задача на релейните защиты на електропроводи е бърза, селективна и надеждна работа при възникване на къси съединения (к.с.) по защитавания участък от електропровода. Във връзка с това информацията за мястото на к.с. е от особена важност за отделите по експлоатация и поддържане на съоръженията. Надеждната информация за мястото на к.с. значително намалява времето, за което съоръженията са извън експлоатация и като цяло повишава надеждността на работа на енергийната система.

Допълнителната функция в дистанционните защиты за определяне на разстоянието до мястото к.с. ("Fault Locator") изпълнява следните задачи:

- Изчислява разстоянието до късото съединение;
- Определя векторите на първичните или вторични напрежения и токове по време на нормалната работа на линията;
- Дава информация за векторите на първичните токове и напрежения **в периода преди** късото съединение, които се използват при изчисляването на разстоянието до късото съединение;
- Дава информация за векторите на първичните токове и напрежения **по време на** късото съединение, които се използват при изчисляването на разстоянието до късото съединение.

Разстоянието до к.с., изчислено с висока точност, както и векторите на токовете и напреженията преди и по време на к.с. за последните десет къси съединения се записват в паметта на защитата и могат да се прочетат на дисплея на защитата или по сериен канал да се изпратят към система за контрол (SMS) или за управление (SCS) на подстанцията.

В следствие за последните десет смущения може да бъде преизчислен резултатът за различни вериги на преминаване на тока на к.с. или при променени системни параметри.

2. Определяне на разстоянието до мястото на късото съединение

Функцията за определяне на разстоянието до к.с. в дистанционните защиты е едно особено ценно допълнение, тъй като с голяма точност измерва и показва разстоянието до късото съединение и поради тази причина те могат бързо да бъдат локализирани, а причините за тях - отстранени.

Използваният алгоритъм отчита влиянието на токовете на товара, двустранното захранване и съпротивлението в мястото на к.с. Разстоянието, в зависимост от зададената настройка, се показва като процент от дължината на линията, в километри или мили.

Точността на определяне на разстоянието зависи в определена степен от точността на задаване на системните параметри в самата защита (например импедансите на източниците в двата края на линията). При значителна промяна на някой от параметрите, зададените настройки могат да бъдат променени на място или дистанционно и изчисленията за к.с. могат да се направят отново като се използват записаните вече величини по време на късото съединение. По този начин може да се получи по прецизно определяне на разстоянието, което ще рефлектира в по-малкото време, необходимо за отстраняване на причините.

Влиянието на взаимния импеданс на нулева последователност Z_{m0} при определяне на разстоянието до к.с. при двойни електропроводи се компенсира посредством прокарането през защитата, през специално предназначено за целта вход на тока с нулева последователност на съседната линия. В някои защиты (REL 5xx на ABB) този ток се използва само при изчисляване на разстоянието до к.с.

Функцията за определяне на разстоянието до к.с. заработва при стартиране на запис на съобщението за повреда. Резултатът от изчисленията за мястото на к.с. автоматично се изписва на дисплея на защитата, ако к.с. е в обхвата на защитата. Във всички останали случаи резултатите за токовете и напреженията преди и по време на к.с. се записват в паметта. По всяко време с тези стойности е възможно на ръка да се започни ново изчисление на разстоянието до к.с.

Ако в продължение на 10 s са станали повече от едно к.с., на дисплея автоматично ще бъде показан резултатът от изчисленията само за първото от тях. Това се прави с оглед на възможността от поява на ново к.с. след включването от АПВ, тъй като се счита, че изчисленията при първото к.с. са точни.

Допълнителна информация носят символите пред цифрата, показваща разстоянието:

- * За изчислението е използван некомпенсиран модел;
- E Грешка, резултатът от изчисленията е извън обхвата на измерване;
- > Късото съединение е в права посока, но извън линията.

Възможна е и комбинация от два символа, например *>.

3. Вектори на тока и напрежението

При нормална работа функцията “Fault Locator” изчислява работните стойности на първичните и вторични вектори на всички 10 аналогови входни величини - 5 тока и 5 напрежения. Ефективните стойности и ъглите им могат да бъдат прочетени.

Тъй като функцията “Fault Locator” е част от вграденото в защитата съобщение за повреда, тя записва стойностите за векторите на входните величини за настроеното време на предисторията и по време на самото к.с. при всяко стартиране на запис. В записа могат да бъдат включени и външни сигнали, свързани към двоични входове на защитата. Тези сигнали могат да бъдат конфигурирани за стартиране на запис.

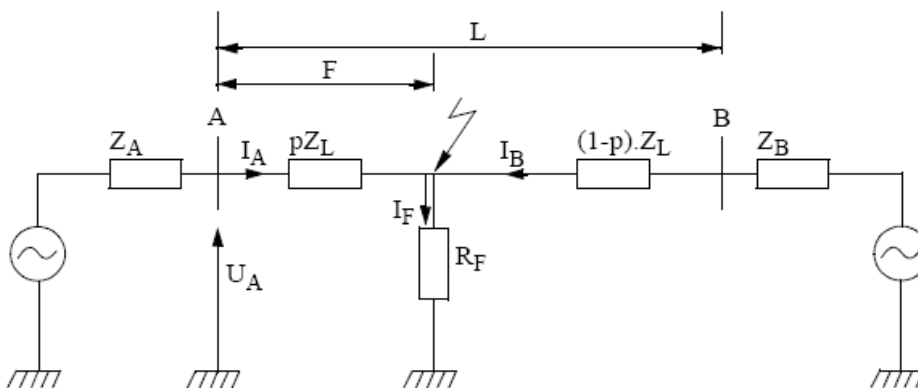
4. Принцип на измерване

При изчисляване на разстоянието до к.с. с токовете и напреженията само в точката на измерване на защитата трябва да се отчита влиянието на двустранното захранване и на съпротивлението в мястото на к.с. В случай че това влияние не се отчита, точността на изчисленията ще варира в зависимост от тока на товара и от съпротивлението в мястото на к.с.

Изчислителният метод, използван при функцията “Fault Locator” в модерните защиты (например REL 5xx на АВВ) отчита влиянието на двустранното захранване и съпротивлението в мястото на к.с.

4.1. Точен алгоритъм за определяне на разстоянието до късото съединение

На фиг. 1 е показана еднолинейна схема на преносна линия със захранване от двете страни и импеданси на източниците Z_A и Z_B . Приема се, че к.с. възниква на разстояние F от възел А при обща дължина на линията L и импеданс на линията Z_L . Съпротивление-то в мястото на к.с. е R_F . Еднолинейният модел в случая е използван за улеснение при обяснение на алгоритъма.



Фиг. 1. Късо съединение на двустранно захранена линия

От фиг. 1 се вижда, че:

$$U_A = I_A \cdot p \cdot Z_L + I_F \cdot R_F \quad (1)$$

където:

I_A е токът на к.с. по линията т.е токът преди к.с. плюс промяната, причинена от к.с.;

I_F - токът в мястото на к.с.;

p - относителното разстояние до к.с.

Токът на к.с. може да се изрази с:

$$I_f = \frac{I_{FA}}{D_A} \quad (2)$$

където:

I_{FA} е промяната на тока в точката на измерване - страна А;

D_A -е коефициентът на разпределение на тока - т.е отношението на тока на к.с. от страна А и пълния ток в мястото на к.с.

За единична линия D_A се определя от:

$$D_A = \frac{(1-p) \cdot Z_L + Z_B}{Z_A + Z_L + Z_B} \quad (3)$$

В случай на междуфазни к.с. директно се използва промяната във фазните токове. При к.с. със земя се използват по-добре дефинираните величини на правата последователност, което елиминира влиянието на токовете с нулева последователност.

Общото уравнение за определяне на разстоянието до к.с. е при единични линии е:

$$U_A = I_A \cdot p \cdot Z_L + \frac{I_{FA}}{D_A} \cdot R_F \quad (4)$$

Изразите за U_A , I_A и I_{FA} за различните типове к.с. са описани в табл. 1:

Табл. 1

Fault type:	U_A	I_A	I_{FA}
L1-N	U_{L1A}	$I_{L1A} + K_N \times I_{NA}$	$\frac{3}{2} \times \Delta(I_{L1A} - I_{0A})$
L2-N	U_{L2A}	$I_{L2A} + K_N \times I_{NA}$	$\frac{3}{2} \times \Delta(I_{L2A} - I_{0A})$
L3-N	U_{L3A}	$I_{L3A} + K_N \times I_{NA}$	$\frac{3}{2} \times \Delta(I_{L3A} - I_{0A})$
L1-L2-L3, L1-L2, L1-L2-N	$U_{L1A} - U_{L2A}$	$I_{L1A} - I_{L2A}$	ΔI_{L1L2A}
L2-L3, L2-L3-N	$U_{L2A} - U_{L3A}$	$I_{L2A} - I_{L3A}$	ΔI_{L2L3A}
L3-L1, L3-L1-N	$U_{L3A} - U_{L1A}$	$I_{L3A} - I_{L1A}$	ΔI_{L3L1A}

Комплексната величина K_N (земен фактор) за компенсацията на тока с нулева последователност е равна на:

$$K_N = \frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{3 \cdot Z_{1L}} \quad (5)$$

ΔI е промяната на тока, т.е. разликата на токовете по време на к.с. и преди него.

По нататък в уравненията ще участват импедансите на права последователност за Z_A , Z_B и Z_L , тъй като това са величините, които се използват в алгоритъма.

За двойни линии уравнението ще бъде:

$$U_A = I_A \cdot p \cdot Z_{1L} + \frac{I_{FA}}{D_A} \cdot R_F + I_{0P} \cdot Z_{0M} \quad (6)$$

където:

I_{0P} е токът на нулева последователност на паралелната линия;

Z_{0M} - взаимният импеданс на нулева последователност;

D_A - коефициентът на разпределение при паралелна линия, който е:

$$D_A = \frac{(1-p) \cdot (Z_{1A} + Z_{1L} + Z_{1B}) + Z_{1B}}{2 \cdot Z_A + Z_L + 2 \cdot Z_B} \quad (7)$$

При двойни линии земният фактор K_N е:

$$K_N = \frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{3 \cdot Z_{1L}} + \frac{Z_{0M}}{3 \cdot Z_{1L}} \cdot \frac{I_{0P}}{I_{0A}} \quad (8)$$

От тези изрази може да се види, че при $Z_{0M} = 0$ видът на уравнението е както при единична линия. Тези два случая се различават само по коефициента на разпределение D_A .

Тъй като коефициентът на разпределение D_A , съгласно уравнения (3) или (7) е функция на p , то уравнение (6) може да бъде написано във вида:

$$p^2 - p \cdot K_1 + K_2 - K_3 \cdot R_F = 0 \quad (9)$$

където:

$$K_1 = \frac{U_A}{I_A \cdot Z_L} + \frac{Z_B}{Z_L + Z_{ADD}} + 1; \quad K_2 = \frac{U_A}{I_A \cdot Z_L} \cdot \left(\frac{Z_B}{Z_L + Z_{ADD}} + 1 \right); \quad K_3 = \frac{I_{FA}}{I_A \cdot Z_L} \cdot \left(\frac{Z_A + Z_B}{Z_L + Z_{ADD}} + 1 \right)$$

и

- $Z_{ADD} = Z_A + Z_B$ - при паралелни линии;
- I_A , I_{FA} и U_A са дадени в таблицата по-горе;
- K_N се изчислява автоматично съгласно уравнение (8);
- Z_A , Z_B , Z_L , Z_{0L} и Z_{0M} са настройвани параметри.

За единична линия $Z_{0M} = 0$ и $Z_{ADD} = 0$. Отчитайки този факт, уравнение (9) може да се приложи както при единични така и при паралелни линии.

Уравнение (9) може да бъде разделено на реална Re и имагинерна Im част:

$$p^2 - p \cdot Re(K_1) + Re(K_2) - R_F \cdot Re(K_3) = 0 \quad (10)$$

$$-p \cdot Im(K_1) + Im(K_2) - R_F \cdot Im(K_3) = 0 \quad (11)$$

Ако стойността на имагинерната част на K_3 не е нула или близо до нула R_F се решава от уравнение (11) и се замества в уравнение (10). Съгласно уравнение (10) относителното разстояние до к.с. се получава чрез решение на квадратно уравнение.

Решенията на уравнение (10) дават две различни стойности за разстоянието до к.с. За да се определи коя от тях е вярната, се използва опростен модел за компенсиране тока на товара.

Ако методът с компенсиране влиянието на товара, описан по-горе, не даде достоверни резултати се използва по-малко точният алгоритъм с некомпенсиран модел за определяне на относителното разстояние до к.с.

4.2. Некомпенсиран модел за изчисляване на разстоянието до к.с.

В некомпенсирания модел вместо тока I_{FA} се използва I_A .

$$(12) \quad U_A = p \cdot Z_{1L} \cdot I_A + R_F \cdot I_A,$$

където токът I_A е съгласно таблица 1.

Точността на изчисленията при използване на некомпенсирания алгоритъм се влияе от тока на товара преди к.с. По тези причини методът се използва само, ако компенсираният модел не работи и фактът на използването на по-неточния модел се констатира при показването на изчисления резултат.

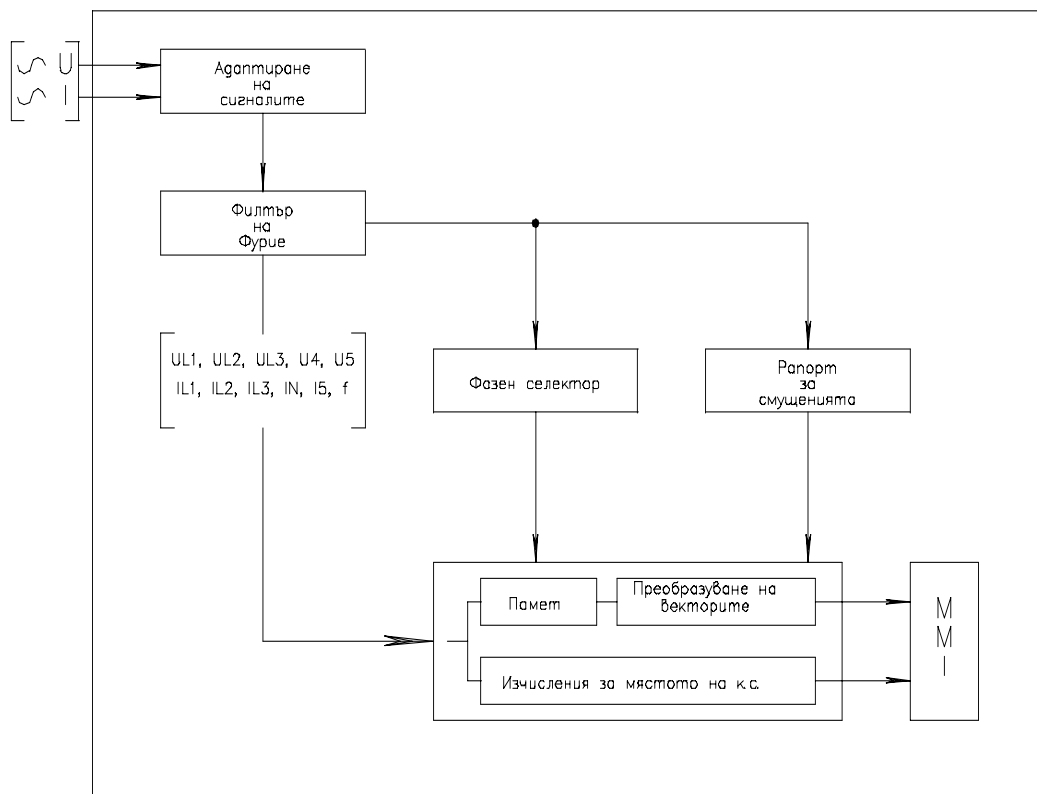
5. Изчисления

5.1. Изчисляване на разстоянието до късото съединение.

Обясненията в този раздел следват схемата на връзките между отделните функционални блокове показани на фиг. 2.

Входните токове и напрежения за изчисляване на разстоянието до мястото на к.с. се получават от входните вериги на системата за измерване на импеданс на съответната дистанционна защита и постъпват във филтриращия процесор на измерителя. Всяка милисекунда моментните стойности на токовете и напреженията се подават към този процесор. В него честотата на величините се определя и обновява три пъти за един цикъл на честотата, като се използват моментите на преминаване на напрежението през нулата. Честотата се използва от алгоритъма на цифровия филтър на Фурие, където моментните стойности на тока и напрежението за определен период от време се събират и обработват, за да се изчислят реалните и имагинерните части на векторите на тока и напрежението.

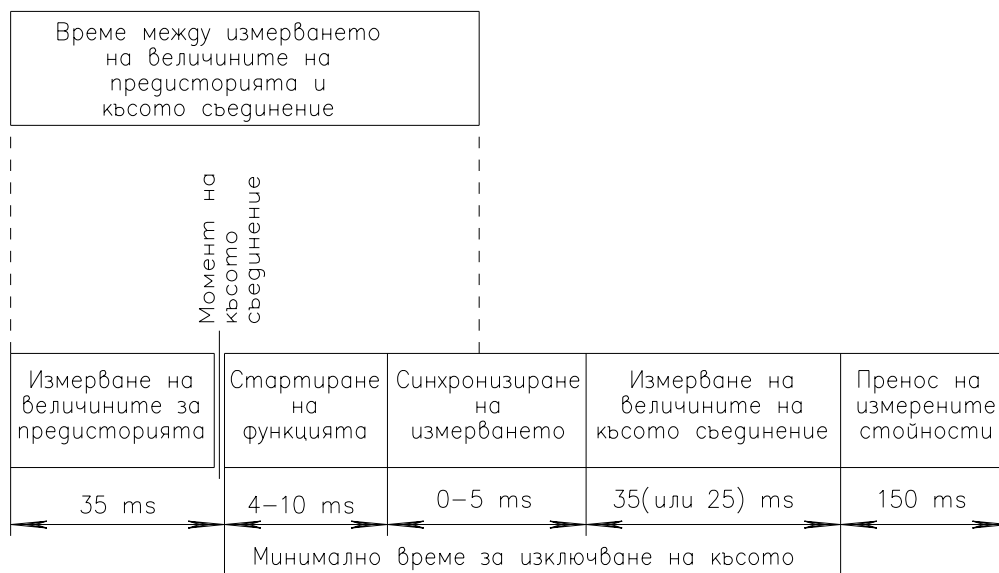
Времето на измерване по принцип е 1,75 периода (35ms при 50Hz). При енергийни системи с много бързи прекъсвачи, като друга възможност се използва по-къс цикъл на измерване от 1,25 периода (25ms при 50Hz). Изчислените величини се обновяват през 5ms и се съхраняват в паметта на сигналния процесор заедно с данните за последните 60ms.



Фиг. 2. Диаграма на сигналите

При възникване на к.с. от импедансната измервателна система се подава команда за стартиране на изчисленията за разстоянието до к.с. Веднага след обновяването на резултатите от филтъра на Фурие, (максимум 5ms след командата за стартиране) се стартира следната процедура:

- Обработените за интервала от 1.75 периода (0.35ms) от филтъра на Фурие величини, започвайки 60 ms преди “момента нула”, се записват в паметта, за да се използват като данни за времето преди к.с.;
- Моментните стойности на напреженията и токовете за следващото време от 1.75 периода (или 1.25 периода, ако се използва скъсения цикъл на измерване) се обработват, за да се получат реалната Re и имагинерната Im части на величините по време на к.с.;
- Данните необходими за изчисляване на разстоянието до к.с. се записват в паметта на логическия процесор;
- Информацията за типа на к.с. се получава от фазния селектор или от командата за преизчисляване на разстоянието до к.с.;
- Разстоянието до к.с. се изчислява по алгоритмите, описани в т. 4. Времето, необходимо за изчисленията е около 1 s. На фиг. 3 е показано разпределението във времето на отделните елементи на изчисленията.

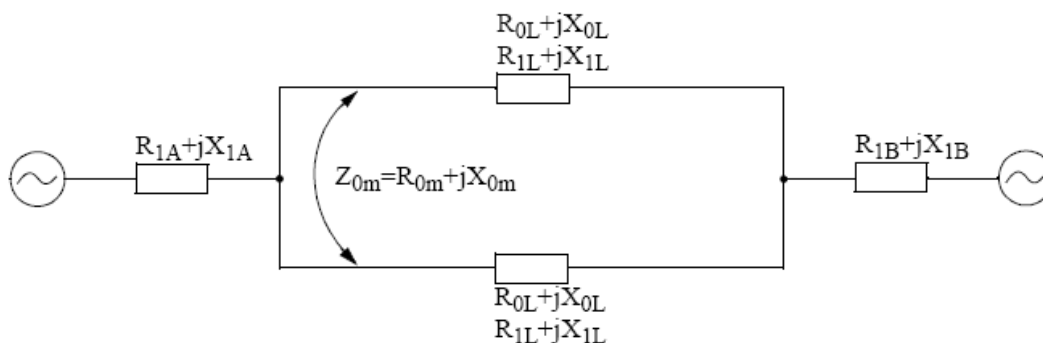


Фиг. 3. Разпределение на времето за изчисляване на разстоянието до к.с.

Стойностите на токовете и напреженията за периода преди и по време на к.с., както и изчислените резултати за разстоянието от последните десет събития се записват в паметта на защитата. Аналоговите величини се преобразуват във векторен вид (амплитуда и фазов ъгъл) и се изписват на дисплей.

6. Настройки

На фиг. 4 параметрите на електропроводите са показани графично. Трябва да се има предвид, че всички стойности на импедансите са във вторични величини и се отнасят за цялата дължина на линията. Преобразуването на величините от първични във вторични следва същите правила както при определяне настройките на дистанционната защита, т.е. като се използват преводните отношения на измервателните трансформатори.



Фиг. 4. Опростена конфигурация на мрежата с данни, необходими за настройка на функцията за определяне на разстоянието до к.с.

За единични електропроводи стойностите на взаимния импеданс на нулева последователност се настройват на нула.

Стойността на импеданса на източниците не е постоянна, но промяната и влияе в много малка степен на изчисляването на резултатите за разстоянието до мястото на к.с. Това е следствие на факта, че само фазния ъгъл на коефициента на разпределение D_A се влияе от промяната им. Фазовият ъгъл на коефициента на разпределение е много малък и практически не се променя защото се определя от импеданса на правата последователност, който има ъгъл близък до 90° . Така че реалната част (активното съпротивление) на импеданса на източника трябва да се настройва на величина, различна от 0. Ако точната стойност не е известна, може да се използва стойност, отговаряща на ъгъл на импеданса 85° , което дава удовлетворителни резултати на изчисленията.

7. Преизчисляване на разстоянието до късото съединение

От експлоатационна гледна точка съществуват два основни случая, заради които тази функция е включена във възможностите на защитата:

- При възникване на второ к.с. след по-малко от 10 с. В този случай функцията за изчисляване на разстоянието до к.с. не се изчислява автоматично, но стойностите на токовете и напреженията по време на к.с. се записват в паметта на защитата, предназначена за съобщението за смущения.
- Състоянието на системата, особено импеданса на източниците, се е променило твърде много в сравнение с това, което е зададено в действащата по време на к.с. група настройки. В случай, че промененото състояние на системата в момента на к.с. е станало известно и че е възможно да се определи по-точно импеданса на източниците в двата края на линията, тези данни могат да се въведат в защитата и с тях наново да се изчисли разстоянието. При такъв подход получените данни ще бъдат с по-голяма точност.

На място могат да се преизчислят резултатите за последните десет к.с. Това става посредством пулта за управление на защитата или чрез система за контрол или управление на подстанцията (SMS или SCS).

8. Прочитане с дисплея на работните величини, стойностите на токовете и напреженията за периода преди и по време на късото съединение

Когато функцията за определяне на разстоянието до к.с. е инсталирана например в защитата REL 5xx, тя записва и показва на дисплея:

- Стойностите на първичните и вторични вектори на токовете и напреженията на работните величини на електропровода;
- Стойностите на първичните и вторични вектори на токовете и напреженията преди и по време на к.с.

На табл. 2 е показан пример за съответните прозорци с данни.

Табл. 2. Начин за изобразяване на записаните величини при повреда

<p>a) Вектор на първичното напрежение</p> <p>UL1 = 219.3 kV 0.00 deg</p>	<p>b) Вторично напрежение преди повредата</p> <p>UL1 = 57.35 V 0.00 deg</p>	<p>c) Вторичен ток по време на повредата</p> <p>IL1 = 15.7 A 87.0 deg</p>
--	---	---

На табл. 2a е показан начинът, по който се изписват данните на дисплея на защитата. На първия ред се показва в какъв вид са величините - първични или вторични. Конкретният вектор се изписва на втория ред, ефективната му стойност на третия, а на четвъртия е фазовият му ъгъл в градуси. Базова величина при определяне на ъгъла е напрежението UL1 (на фаза R).

На табл. 2b и табл. 2c е показан начинът, по който се изписват данните на дисплея на защитата. На първия ред се показва в какъв вид са величините - първични или вторични. Конкретният вектор се изписва на втория ред, ефективната му стойност на третия, а на четвъртия е фазовият му ъгъл. Базова величина при определяне на ъгъла е напрежението UL1 (на фаза R).

Литература:

1. ABB. REL 531. Technical reference manual. Version: 2.0-00, September 1998

18. Адаптиране на релейни защиты

1. Въведение

Като обобщение на редица автори може да се даде следната дефиниция за „адаптивна защита” [1-6]: „Адаптивна защита е философия, която позволява реализиране на такива настройки на различни защитни функции, които са приведени в съответствие със съществуващото състояние на системата.”

Най-важната характеристика на адаптивните защиты е, че защитната система е способна да наблюдава промените в ЕЕС, каквито промени са промените в товара, превключванията или други примери и да реализира промени в стойностите на заработване или в други настройки, които да отговарят на тези наблюдения.

Литература към 1. Въведение:

1. Anderson P. M. Power System Protection. IEEE Press, 1998, p. 873-912
2. IEEE Tutorial Course, "Microprocessor Relays and Protection Systems," IEEE Course Text 88EH0269-1-PWR, IEEE, New York, 1988
3. Horowitz, S. H., A. G. Phadke, and J. S. Thorp, "Adaptive Transmission System Relaying", *IEEE Trans.*, PWRD-3 (4), October 1988, pp. 1436-1445
4. Phadke, A. G., J. S. Thorp, S. H. Horowitz, "Impact of Adaptive Protection on Power System Control", Proc. 9th PSCC Conf., Lisbon, 1987, pp. 283-290
5. Thorp, J. S., S. H. Horowitz, A. G. Phadke, "The Application of an Adaptive Technology to Power System Protection and Control", *CIGRE*, Paris, 1988
6. Phadke, A. G., J. S. Thorp, S. H. Horowitz, "Study of Adaptive Transmission System Protection and Control," Final Report Prepared for Oak Ridge National Laboratory", Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, VA, 1988
7. Rockefeller, G. D., C. L. Wagner, J. R. Linders, K. L. Hicks, D. T Rizy, "Adaptive Transmission Relaying Concepts for Improved Performance", *IEEE Trans.*, PWRD-3, October 1988, pp.1446-1458

2. Адаптация на характеристиките на заработване на дистанционните защиты [1]

Приети съкращения:

к.с. – късо съединение

ЕЕС – електроенергийна система

ДО – дистанционен орган

ХЗ – характеристика на заработване

Измервателните органи на системите за релейна защита обикновено се характеризират с „твърда” програма за функциониране, като същевременно имат краен брой и фиксирани настройки. Изборът и настройването на параметрите на защитата е свързан със значителен обем от изчисления и настройки. За такива сложни защиты, каквито са дистанционните защиты за електропроводи високо напрежение, работата по изчисленията и регулирането на характеристиките на заработването на ДО в комплексната равнина \underline{Z} в условията на експлоатацията са достатъчно трудоемки. Във връзка с това се счита за целесъобразно използването на принципа на адаптирането на характеристиките на защитите към изменящите се режими на работа на ЕЕС. Изборът на формата на характеристиките е свързан и с решаването на противоречивите задачи за повишаването на чувствителността при к.с. през преходно съпротивление и осигуряване на отстройка (сигурност) от режимите с голям товар.

За надеждно действие на защитата при к.с. през преходно съпротивление е желателно разширяване в посока на дясно на областта на заработване на дистанционния орган ДО. Но това противоречи на изискването за осигуряване на отстройване (достатъчна сигурност) при възможни режими с голям товар, когато съпротивлението на входа на ДО може да е разположено в същата област, както и при к.с. през преходно съпротивление.

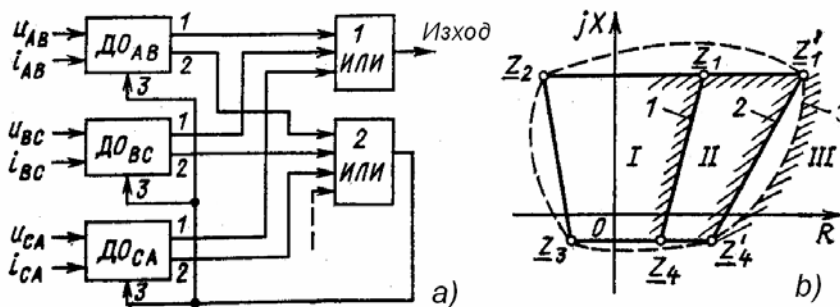
Принципът за различаване на режимите с голям товар и к.с. през преходно съпротивление е базиран на факта, че при к.с. през преходно съпротивление е малко вероятно режимът на трифазната система да е симетричен [1, стр. 252].

На фиг.1 е пояснена възможността за реализиране на предложения принцип за случай, когато в зависимост от натоварването на електропровода ДО може да има една от двете ХЗ: „тясна” характеристика $I(\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_3, \underline{Z}_4)$ при максимален товар, обхващаща областта I или „широка” характеристика

2 (Z'_1, Z_2, Z_3, Z'_4), обхващаща областите *I* и *II*.

Измерителните органи ДО_{AB}, ДО_{BC} и ДО_{CA} са изпълнени на базата на линейни токове и напрежения и имат два изхода 1 и 2 и изход 3 за автоматично превключване на характеристиките. На изходите 1 в зависимост от сигналите на входовете 3, се осигуряват характеристиките *I* или *2* чрез изменение на параметрите Z_1 и Z_4 на схемите за формиране (фиг. 1b). Изходите 2 на дистанционните органи на трите фази осигуряват допълнителната характеристика *3*, която отделя областта *III*, намираща се на определено разстояние от характеристиките *I* и *2*. Изборът на характеристика в зависимост от режима и изключването на повредата стават по следния начин.

Ако в режим на голям товар импедансът Z на входовете и на трите ДО се намира извън характеристиката *3*, т.е. в областта *III*, то сигналът от изхода на схемата 2 *ИЛИ*, който влиза във входовете 3 на ДО, осигурява за всички ДО „широка” характеристика *2* и защитата се намира в режим „чакане”. Също такъв режим има и когато вследствие на несиметричен товар на един или два входа измерваното съпротивление се намира между характеристиките *2* и *3* и макар и само едно – извън характеристиката *3*, тъй като сигналът на схемата 2 *ИЛИ* при това не се променя.



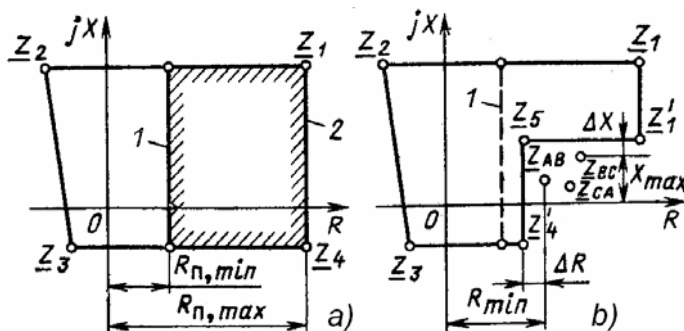
Фиг. 1. Принцип на дистанционен орган с адаптивна характеристика

Ако при тези условия се появи несиметрично к.с. през преходно съпротивление, при което макар и само едно измерване на ДО попадне в област, обхваната от „широка” характеристика *2*, и макар и само едно от измерванията се намира извън допълнителната характеристика *3*, то се осигурява изключване на повредения участък чрез схемата 1 *ИЛИ* с помощта на сигнал, идващ от заработилия ДО, притежаващ при това „широка” характеристика *2*.

Ако при увеличаване на товара, измереният вектор Z на всичките три ДО попадне в областта между характеристиките *1* и *2*, то сигналите на изходите на схемите 2 *ИЛИ* се изменят и на ДО се осигурява „тясната” характеристика *1*, отстроена от максималните товарни режими. Дистанционните органи не успяват да действат на изключване чрез схемата 1 *ИЛИ* вследствие на това, че техните изходи 1 са малко забавени по отношение на изходите 2. Допълнителната характеристика *3* е така изпълнена, че се допира до точките Z_2 и Z_3 на „тясната” характеристиката *1*. При следваща поява на каквато и да било симетрична или несиметрична повреда защитата заработва, ако макар и само едно от измерванията на ДО да се намира вътре в „тясната” характеристика *1*.

По този начин се осигурява свиване на характеристиката при попадане на измерения импеданс Z в областта между характеристиките *1* и *2* и изключване на несиметрични повреди през преходно съпротивление със „широката” характеристика *2*, когато макар и само едно от измерванията на повредените фази се намира в областта *III*, извън характеристиката *3*. При този критерий под несиметрия се разбира случай, когато кои да е две измервания Z се намират от две различни страни на характеристиките *2* и *3*.

Разгледаното до тук може да се реализира както с аналогова, така и с цифрова електронна техника. Подразбира се, че цифровата техника дава по-големи възможности за реализиране на адаптивни дистанционни защити. По-долу се разглежда реализация на ДО, който също различава к.с. през преходно съпротивление и голям товар на разглеждания електропровод. И тук се разчита на следенето на симетрията на измервания импеданс Z от ДО на трите фази.

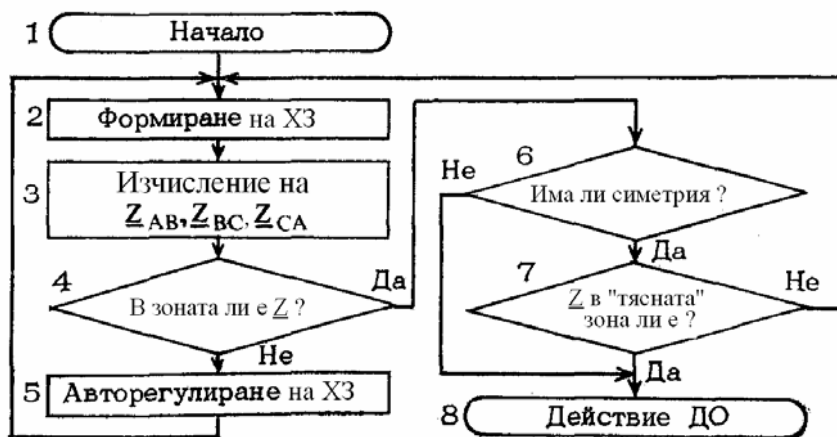


Фиг. 2. Области на регулируема характеристика на заработване (X3) на цифров дистанционен орган (ДО). а) гранични области; б) отстрояване от текущия режим с голямо натоварване

На фиг. 2а са показани областите на възможните X3 в равнината \underline{Z} , където се реализира адаптивния ДО. Изменението на областта на заработване се реализира в границите от „тясна“ характеристика **1** до „широка“ характеристика **2**. Адаптирането става в границите от минималните координати на дясната странична страна $R_{n, \min}$ до максималните координати $R_{n, \max}$ (защрихованото).

Структурната схема на алгоритъма за адаптиране на ДО е показана на фиг. 3. Блок **2** е за формиране на X3 и осъществява построяване на X3 от зададените стойности на координатите на нейните върхове. Първоначално параметрите на дясната страна се задават равни на $R_{n, \min}$, което създава най-тясната характеристика и отстрояване от максималния възможен режим на натоварване.

Блок **3** е за изчисляване на импеданса \underline{Z} чрез деление на векторните стойности на линейни напрежения и токове. Изчислената стойност на \underline{Z} постъпва в блок **4** за сравняване с X3 и с това определя дали импедансът е в зоната на действие, зададена от блок **2** или е извън нея.



Фиг. 3. Алгоритъм за адаптиране на цифров дистанционен орган (ДО)

Ако нито един от измерените входни импеданси \underline{Z}_{AB} , \underline{Z}_{BC} и \underline{Z}_{CA} не се намират в зоната на действие, то се изпълнява програмата от блок **5** (Авторегулиране на X3) и се пояснява с фиг. 2б. От измерените входни комплексни съпротивления се избира минималната от три измервания активна съставка R_{\min} и максималната от три измервания реактивна съставка X_{\max} . Тези стойности се отстрояват за по-голяма сигурност от режима с голямо натоварване съответно със стойностите ΔR и ΔX , като образуват координатите на точките \underline{Z}'_1 , \underline{Z}'_5 и \underline{Z}'_4 от адаптираната характеристика и сигналът се подава от блок **5** в блок **2**. По този начин ДО придобива характеристика, адаптирана към режима с голямо натоварване и изменение на координатите в съответствие с текущото значение на входното съпротивление. Попадането на входното съпротивление, изчислено от блок **3**, в зоната на адаптираната в предишната стъпка X3, може да попадне в един от следните три случая:

- несиметрична повреда;
- симетрична повреда (трифазно к.с.);
- нарастване на товара.

Във всички показани случаи блок **4** показва къде се намира векторът \underline{Z} макар и само на една от фазите вътре в адаптираната през текущата стъпка X3 и насочва изпълнението на програмата към блок **6**. Блок **6** контролира симетрията на входните съпротивления на трите фази чрез изчисляване на от-

носителното разсейване на минималните R_{\min} , X_{\min} и максималните R_{\max} , X_{\max} стойности на активните и реактивните съставки на импедансите Z_{AB} , Z_{BC} и Z_{CA} , т.е. чрез изпълнение макар и само на едно от условията

$$\frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\max}} \geq \delta; \quad \frac{X_{\max} - X_{\min}}{X_{\max}} \geq \delta,$$

където δ е зададената стойност на несиметрията.

Изпълнението макар и само на едно от тези условия съответства на к.с., тъй като импедансът Z се намира в зоната на адаптираната характеристика (определена от блока 4) и има несиметрия на измерването. При това програмата преминава към блок 8, фиксиращ действието на ДО. Неизпълнението на тези условия показва, че режимът е симетричен. Програмата при симетричен режим минава към блок 7, който определя намират ли се измерените входни импеданси в „тясната” характеристика на ХЗ, ограничена от вертикалната права 1. Попадането на измерването в областта на „тясната” ХЗ, която е отстроена от режимите с максимален товар съответства на симетрична повреда в зоната на действие (програмата се прехвърля в блока 8). Попадането на импеданса извън „тясната” ХЗ съответства на изменение на режима на натоварване на електропровода и програмата преминава към блок 2, осигурявайки необходимата адаптация на ХЗ в съответствие с входния импеданс Z на режима с натоварване.

3. Адаптивни релейни защиты за защита на въздушни електропроводи [2]

В организирането на либерализирания енергиен пазар релейната защита играе важна роля, за да се осигури непрекъсната работа на енергийната система, където неизправностите могат да доведат до сериозни опасности за голям брой оператори, които имат достъп до ЕЕС. Като се има предвид, че електропроводите работят по-голяма част от времето с ток, по-малък от номиналния, е възможно адаптивните релейни защиты да управляват разпределителните мрежи, в зависимост от изискванията за селективност и сигурност. Разчита се на възможността цифровите релета да достатъчно зависими от тока инверсни характеристики.

Процедурата води до адаптиране на характеристиките в зависимост от:

- Температурата на проводниците
- Скоростта на вятъра
- Слънчевото излъчване
- Поглъщането на слънчева енергия

4. Ползата от за прилагане на адаптивни релейни защиты е вече изпитана и са реализирани различни приложения [3]. В приложенията могат да се включат:

- Ефект на товара;
- Пускане при „студен” товар;
- Защити при „слаб” край;
- Защити на трансформатори;
- АПВ.

Дискусионно е противоречието между сигурност и чувствителност. На помощ може да дойде възможността на цифровите защиты да се самопроверяват и да изпращат информация за своето състояние в локални и централни компютри.

Литература към [2, 3 и 4]:

1. Шнеерсон Э. М. Дистанционные защиты. Москва, Энергоатомиздат, 1986, стр. 252
2. Calderaro V., V. Galdi, A. Piccolo, P. Siano. Adaptive relays for overhead line protection. Department of Information and Electrical Engineering (DIEE), University of Salerno, via Ponte don Melillo, 1, 84084 Fisciano, Salerno, Italy. 08.12.2006
3. Phadke A.G., S.H. Horowitz. Virginia Polytech. Inst., Blacksburg, VA. Adaptive relaying. Computer Applications in Power, IEEE, Volume: 3, Issue: 3, On page(s): 47-51. 06.08.2002

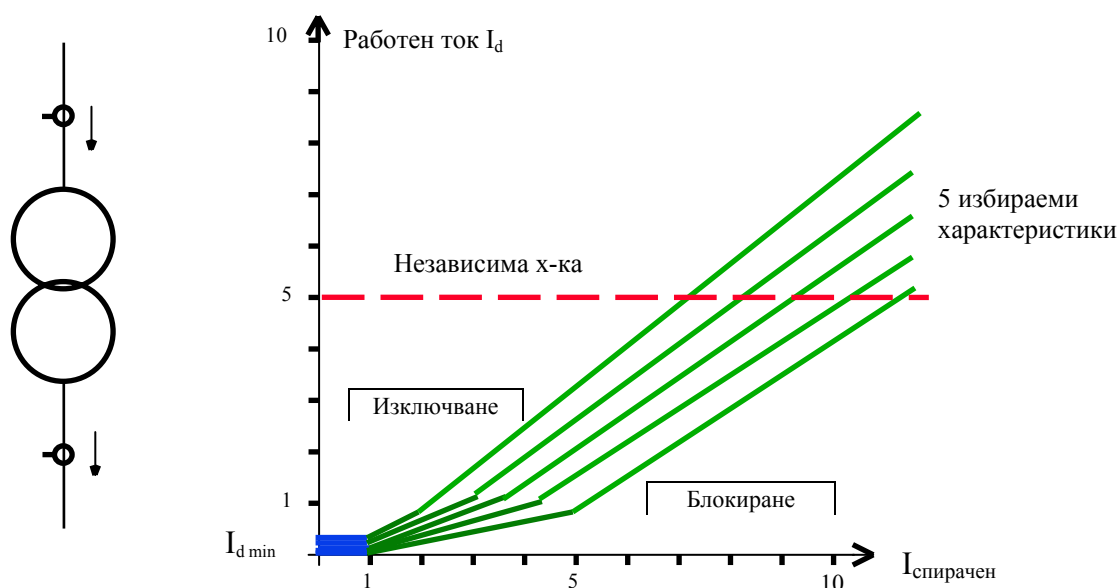
5. АПВ

Вградената в защитата функция АПВ може да се използва за въздушните електропроводи. Това може да се отнесе към всяко стъпало на функцията МТЗ и към други функции. Външно въвеждане на АПВ чрез бинарни входни сигнали е също възможно. Функцията повторно включване може да се адаптира индивидуално и да се приложи съответно без външни проводници.

Забавянето на повторното включване е време, което гарантира, че повредата се е отстранила сама. В общия случай няколко секунди са достатъчни. В райони със засилена мълниеносна дейност се препоръчва по-малко време, за да се намали опасността от неуспешно АПВ поради мълнии и трайни пробиви във въздушни и особено в кабелни изводи. По подразбиране забавянето е 3 s.

АПВ адаптира работата на защитаваното съоръжение към състоянието му – изправно (успешно АПВ) или с трайна повреда (неуспешно АПВ).

6. Диференциалните защиты със зависими характеристики са типичен случай, когато защитата става по-груба, когато има условия за излишно зареждане при външно к.с. с голям ток (голям небалансиран ток). Диференциалната защита зарежда, когато диференциалният ток стане по голям от адаптирания ток на зареждане според спирачната характеристика.



Фиг. 4. Спирачна характеристика на диференциална защита

7. Промяна на настройката според околната температура

Температурата на земята има важно значение за максималния допустим траен ток на кабелите. За повечето случаи е добре настройките на релетата да се преизчисляват според температурата на земята около кабела. Като се използват повече групи настройки при цифровите защиты, може да се направи адаптиране на термичните защиты към големите разлики в сезонните околните температури.

8. Приспособяване към различията във фазните товари чрез адаптиране на настройките на релетата

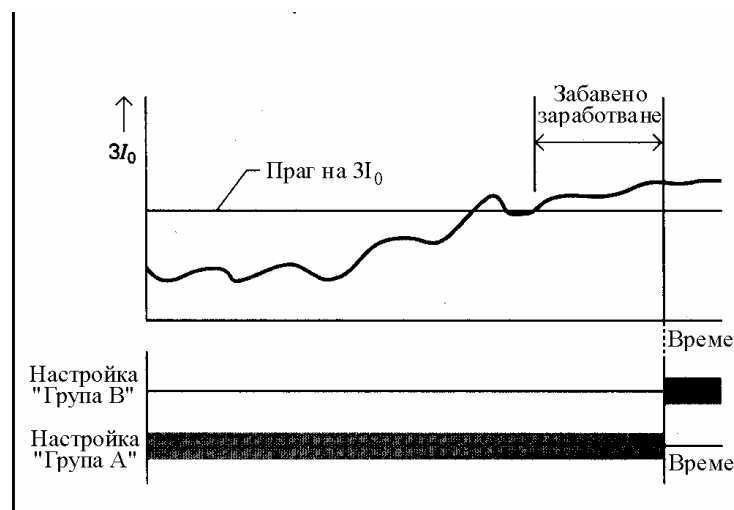
8.1. Въведение

В типичните разпределителни мрежи настройките на земните защиты са една характерна задача. Настройките на земните защиты трябва да са избрани така, че защитите да бъдат чувствителни и при най-малките земни токове. За мрежите с голямо разсейване на еднофазния товар обаче, в неутралата ще има голям ток ($3I_0$), причинен от този небаланс. Пусковият ток на земния елемент трябва да бъде достатъчно голям, за да не се пусне функцията от нивото на тока $3I_0$, предизвикан от тази несиметрия. Реалният ток $3I_0$ ще бъде различен при различните състояния на системата, така както максималният ток през лятото спрямо максималният ток през зимата. Типичната практика за мрежи, където има голямо разсейване на еднофазния товар е при изчисляване на настройките на защитите да се увеличи сигурността и да се намали вероятността от излишно заработване. Най-общо, чувствителността, а с това и надеждността, се намалява така, че релето да използва максималния очакван ток на нулева последователност (експлоатационна сигурност). Бележките от практиката въвеждат идеята за адаптивни настройки на релетата, за да се осигури по-добра земна токова защита за мрежи с голямо разсейване на еднофазния товар.

Нормалната настройка на релето отговаря на максимална чувствителност при земно съединение. Ако състоянието на системата се промени и различието на товарите във фазите се увеличи, релето се адаптира като намалява чувствителността си като пускова функция при земни повреди, предотвратява лъжливите действия като позволява преминаването на по-голям ток $3I_0$. Адаптивното реле позволява без допълнителни разходи да се подобри защитата на изводите чрез автоматично поддържане както на надеждността, така и на сигурността при промяна на състоянието на системата.

8.2. Принцип на адаптиране

Адаптивното настройване на релето позволява автоматично и независимо да се променят настройките при промяна на работното състояние на системата. Особено е подходяща програмата CFC за непрекъснато поддържане на таблица с логически функции [Continuous Function Chart (CFC) - Siemens], която може да адаптира автоматично настройките на релето – докато има по-голяма несиметрия на фазните товари, ще има и по-високи настройки на елементите за земни повреди.



Фиг. 5. Настройки при адаптиране на земна защита

Адаптирането на настройките на земните защиты става чрез промяна на групите настройки в зависимост от измереният ток на нулева последователност за определено време. Ако означеният ток $3I_0$ бъде надминат и продължи да съществува над настроената стойност, то релето променя групата настройки от група с максимална чувствителност на земната защита в група, която осигурява по-малка чувствителност към по-големите различия във фазните товари.

Когато означената стойност на тока $3I_0$ се надмине, но се върне под настроената стойност, релето се

върща в нормалната група настройки. Тази идея е показана на фиг. 5 и 6.

Означения на фиг. 5 и 6:

Настройки Група А (Settings Group A)

Това е „нормалната” група от настройки. Настройването на пускането на земния елемент е за максимална чувствителност (минимална сигурност), за да работи при повреда в една по-широка област, където за кратко време се стига до стойността на тока $3I_0$, която от своя страна отговаря на нормални разлики между еднофазните товари.

Настройки Група В (Settings Group B)

Това е „алтернативната” група от настройки. Настройването на пускането на земния елемент е направено така, че да отговаря на максимални разлики между еднофазните товари.

Праг на заработване за $3I_0$ ($3I_0$ Current Threshold)

Това е нивото на тока с нулева последователност, което държи сметка за наличие на разлика в еднофазните токове на товара. Големината на този праг трябва да бъде достатъчно голям, за да покаже, че има разлика във фазните токове, но е по-малка от пусковата настройка на „Настройки група А” на земния елемент.

Праг на забавеното заработване (Threshold Timer)

Забавяне на заработването е необходимо, за да се различи действителната налична разлика във фазните товари от разликите при преходни състояния. За нарастването на разликите в еднофазните товари се съди по големината на тока $3I_0$, съответно за всяка група настройки. Нарочното забавяне трябва да бъде достатъчно продължително, за да се изчакат няколко нива на разликите, преходните състояния и еднофазните променливи състояния. Таймерът трябва да се настрои също така и да различава състоянието повреда от състоянието разлика на еднофазните товари.

Време на забавено връщане (Reset Timer)

Това е времето, което е необходимо да се отрази намаляването на разликите в еднофазните товари. Тъй като разликата в еднофазните товари се следи чрез тока $3I_0$, за да стане забавеното връщане трябва токът да стои под „Прага на заработване за $3I_0$ ” по-продължително от времето на забавено връщане и релето ще се върне в оригиналната група настройки. Забавеното връщане трябва да се настрои достатъчно голямо, за да е сигурно, че разликата в еднофазните товари действително се е върнала в нормално състояние

8.3. Пример

Информацията за товарите, показана в табл. 1 е за мрежа с максимум през зимата. През зимата нараства значително и токът $3I_0$. Желателно е да се търси информация за максималния товар и дори, когато е възможно да се търсят стари данни за тока с нулева последователност. За този пример минималният вторичен ток на повредата, при който земният елемент трябва да заработи е $1.5 A_{sec}$.

Табл. 1. Типични товари, A_{sec}

Вторичен ток на товара, A_{sec}	Лято	Зима
Фаза А	1.25	2.38
Фаза В	1.54	1.62
Фаза С	1.35	1.42
$3I_0$	0.26	0.87

Табл. 2. Пример за настройки за мрежа с товари според табл. 1

Характеристика	Настройка	Изчисления
Настройки „Група А” Земен пусков елемент	$0.5 A_{sec}$	$k_{чувств.} = 1.5/0.5 = 3$ $k_{сигур.} = 0.5/0.26 = 1.92$
Забавяне на земния елемент	1.0	
Настройки „Група В” Земен пусков елемент	$1.1 A_{sec}$	$k_{чувств.} = 1.5/1.1 = 1.36$ $k_{сигур.} = 1.1/0.87 = 1.26$
Забавяне на земния елемент	1.0	
Праг на тока $3I_0$	$0.45 A_{sec}$	
Време на заработване	30 minute	
Време на връщане	15 minute	

Настройки „Група А” (Settings Group A)

При минимален ток на земно съединени $1.5 A_{sec}$ коефициентът на чувствителност ще стане $k_{чувств.} = 1.5/0.5 = 3$. За да бъде надеждно изключването, минималният коефициент на чувствителност трябва да бъде от 2 до 3. Коефициентът на сигурност при пускане на земна защита се приема от 1.2 до 1.5.

Настройки „Група В” (Settings Group B)

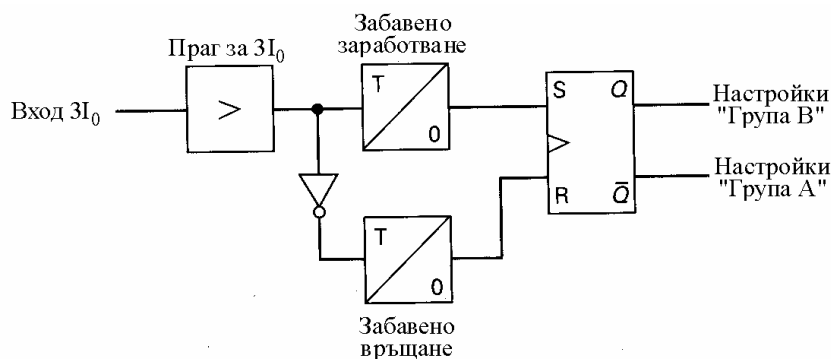
Настройката на пускането на алтернативната група настройки „В” се избира да поддържа сигурността при използване на част от очакваната стойност на тока $3I_0$. Типичната стойност на обхвата на коефициента на сигурност е от 1.2 до 1.5. Тази настройка е в противоречие с желанието за постигане на по-висока чувствителност при з.с.

Токът $3I_0$ (The $3I_0$ Current)

Прагът на заработване се настройва на ниво, достатъчно високо (сигурност), за да отрази действителна разлика в товарите на отделните фази, но достатъчно ниско (чувствителност) спрямо пусковия ток, който отговаря на настройките „Група А” (Settings Group A). Държи се сметка за прага на заработване на тока $3I_0$ ($3I_0$ Current Threshold) и за забавеното заработване (Threshold Timer), както и трябва, както и нормата за промени на тока с нулева последователност. Ако прагът на тока е твърде висок или времето на забавяне е твърде дълго, токът на нулева последователност може да нарасне над настройката за пускане, преди да стане промяната на настройката. Понякога земният елемент е пуснат, но не е възможно да се смени групата настройка и земният елемент може евентуално да доведе до изключване.

Времето за връщане (Reset Timer) се настройва така, че да бъде достатъчно дълго да осигури действително намаляване на несиметрията на фазните товари и да предпази от „подскачане” (неустойчивост) между групите настройки.

8.4. Осъществяване на адаптивни настройки



Фиг. 6. Логика на адаптивна земна защита

S	R	Q	\bar{Q}	
0	0	пс	пс	пс – без промяна
0	1	0	1	
1	0	1	0	
1	1	?	?	? – неопределено

Осъществяването на адаптивните настройки става с помощта на система от допълнителни логически функции (Continuous Function Chart (CFC) Siemens) в релето. Този графически програмируем логически контролер е инструмент, който позволява използване на стандартна и по-прогресивна логика и управлява дееспособността. Пример за логика на адаптивна земна защита е показан на фиг. 6.

Сравняване на тока $3I_0$ с прага на заработване става в блока „Праг за $3I_0$ ” („ $3I_0$ Current Threshold”) в частта „Измерване” на CFC.

При нормален режим на обекта (режим „дежурство”) токът на нулева последователност е под прага на заработване, сигналът след блока за сравняване е логическа „0”, изходният RS-тригер е във възврътнато положение \bar{Q} и релето разчита на настройки „Група А” ($I_{зр. А} = 0.5A_{sec}$; $t_{зр. А} = 1s$). Няма голяма несиметрия на товарите.

При голям ток $3I_0$ (режим „тревога”), ако се надвиши токът на заработване $I_{зр. А} = 0.5A_{sec}$, след изтичане на настройката на земната защита $t_{зр. А} = 1s$ се подава сигнал за изключване. Адаптирането не се проявява.

При голям ток $3I_0$, ако се надвиши прагът на заработване $I_{праг 3I_0} = 0.45A_{sec}$ на блока „Праг за $3I_0$ ”, но не се достигне до настройката на „Група А” $I_{зр. А} = 0.5A_{sec}$, сигналът след този блок става логическа „1”, започва за тече забавеното заработване и се блокира забавеното връщане. Ако няма промяна в тока, след изтичане на времето на заработване (30 minute) RS-тригерът ще се превключи и земната защита ще се загуби ($I_{зр. В} = 1.1A_{sec}$; $t_{зр. В} = 1s$), защото преминава към настройки „Група В” (фиг. 5). Трябва да се надвиши този ток за повече от $t_{зр. В} = 1s$, за да стане изключване при новите настройки.

Връщането от настройки „Група В” към настройки „Група А” става след спадане на тока под прага $I_{праг, 3I_0} = 0.45A_{sec}$ и забавено връщане $t_{връщане} = 15 \text{ minute}$.

Литература към т. 8: 1. Applications for SIPROTEC Protection Relays. Siemens PTD EA. 2005

9. Адаптиране чрез релета със зависимо от тока забавяне (Контролиране на времето за пускане на асинхронен двигател)

Роторът се претоварва термично, ако пусковият процес е много продължителен. Границата на термичното натоварване се описва с характеристиката $I^2 \cdot t$. Разрешеното време за пускане или състоянието блокирал ротор могат да се определят от следното уравнение:

$$I^2 \cdot t = I_{пусков}^2 \cdot t_{пусково} \quad \text{или} \quad t = \left(\frac{I_{пусков}}{I} \right)^2 \cdot t_{пусково}$$

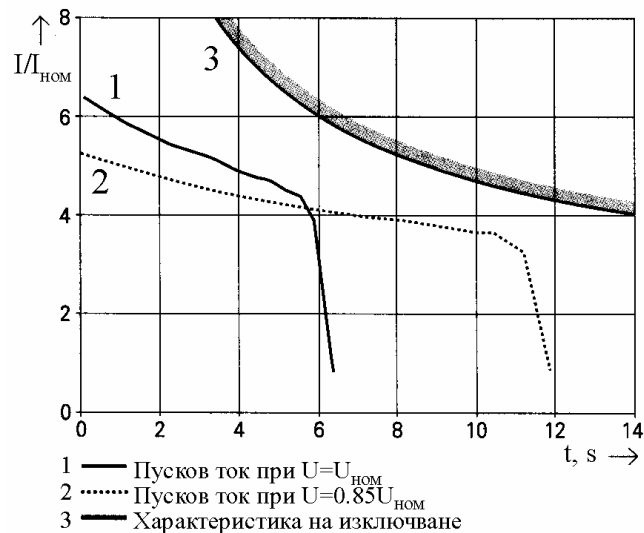
където:

$I_{пусков}$ е максималният разрешен пусков ток,

$t_{пусково}$ – максималното разрешено пусково време,

I – измерваният пусков ток.

Изключване ще настъпи, ако реалното време е по-продължително. Изключвателната характеристика е инверсна и се адаптира много добре към пусковото състояние, както при номинално, така и при понижено напрежение. За типичните асинхронни двигатели за ниско напрежение границата на допустимия пусков ток е приблизително $2.5 I_{ном, \text{двигател}}$. За двигателите с намален пусков ток тази граница може да бъде намалена. Като пример, на фиг. 7 са показани характеристики „ток/време” за един двигател. Вижда се явно адаптирането пусковите характеристики към пусковите състояния.



Фиг. 7. Пускови токове и характеристика на изключване

Литература към т. 9:

1. Optimum Motor Protection. SIPROTEC Protection Relays. Siemens PTDEA

10. Алгоритъм и схема на цифрова земна защита с относително сравняване на величините [1]

Разпределителните мрежи работят с различни режими на неутралата - изолирана, компенсирана, заземена през резистор или заземена едновременно с гасителен реактор и с резистор. Разглежданата земна защита се отнася главно за първите два режима. При тези режими върху токовете и напреженията при з.с. влияят много фактори, стават силно променливи и защитите работят неустойчиво. Предлага се алгоритъм, който определя селективно извода със з.с. по няколко различни критерии, като се разчита на относителното им сравняване, вместо сравняването им с константни величини на заработване.

10.1. Приоритети при използване на много критерии за откриване на з.с.

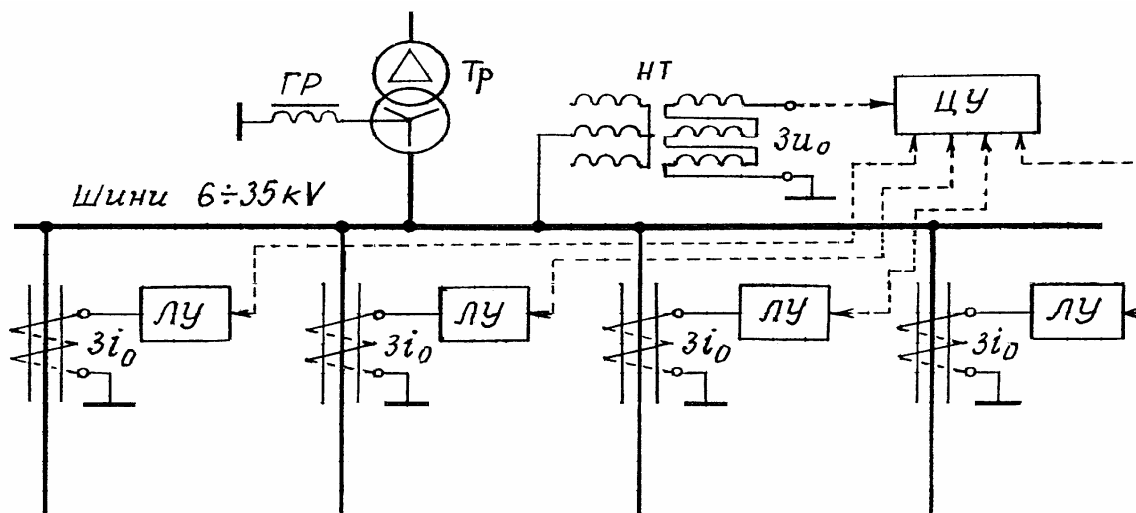
В мрежите с изолирана неутрала приоритетите на критериите за откриване на з.с. могат да се подредят както следва [2, 3]:

- a. Поява на напрежение с нулева последователност – за пусков критерий на земните защиты.
- b. Поява на първи полувълни на тока $3i_0$ и напрежението $3u_0$ с еднакви знаци – за защиты при з.с. през прекъсваща дъга.
- c. Относително най-високо ниво на първия хармоник.
- d. Относително най-високо ниво на сумата от хармониците, включително и на първия хармоник.
- e. Относително най-високо ниво на пети хармоник.
- f. Посока на активната компонента на тока на з.с. – за компенсираните мрежи ($I_0 \cdot \cos \varphi$).
- g. Посока на капацитивната компонента на тока на з.с. – за изолирани ($I_0 \cdot \sin \varphi$)

В компенсираните мрежи подреждането на критериите е същото, но в сумата от т. d не участва първия хармоник.

Последните години за цифровите защиты се използват само подчертаните критерии.

Предвижда се в подстанцията да има по едно локално устройство (ЛУ) за всеки извод и едно общо централно устройство (ЦУ) за цялата шинна система (фиг. 8).



Фиг. 8. Разположение на централното устройство ЦУ и на локалните устройства ЛУ в примерна подстанция с 4 извода

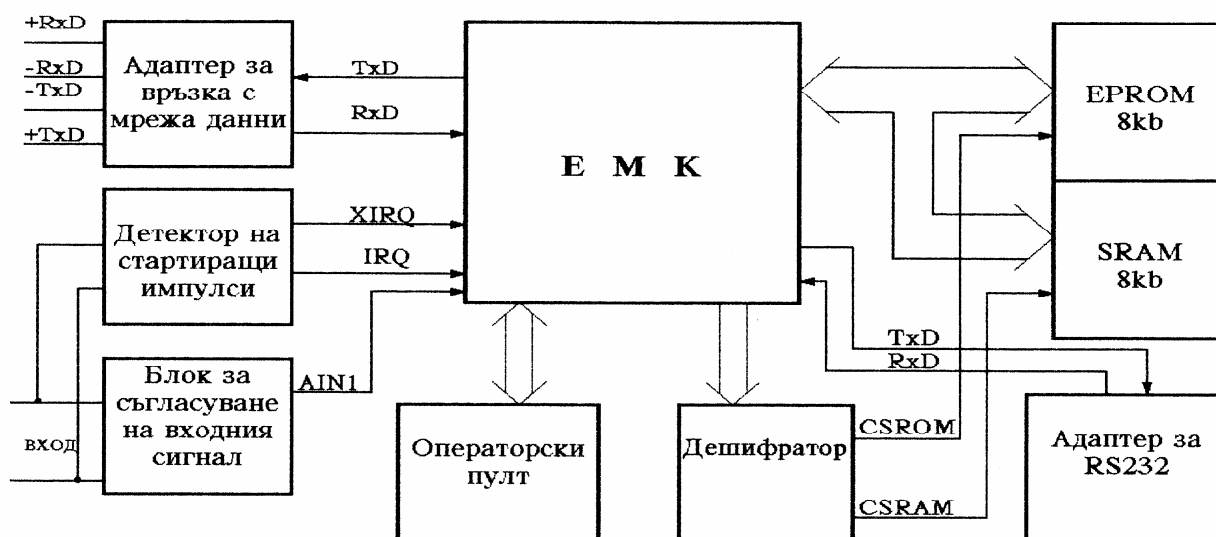
10.2. Описание на блоковата схема на ЛУ и ЦУ

Блоковата схема е еднаква за ЛУ и ЦУ (фиг. 8 и 9). Тя съдържа:

"ЕМК" - едночипов микроконтролер, например тип MC68HC11G5 на MOTOROLA.

"Блок за съгласуване на входния сигнал" - обхваща: резисторен преобразовател "ток-напрежение", ограничител от цепенер-диоди; операционния усилвател; източник на опорно напрежение $U_{оп}$, равно на половината от допустимото входно напрежение (5V); нискочестотен филтър (ФНЧ) за 800Hz.

"Детектор на стартиращи импулси" - съдържа: операционен усилвател, с който може да се регулира прага на заработване и Шмит-тригери. При входна величина с положителен знак сигналът, означен като *Start 1*, изпреварва сигнал *Start 2*, а при отрицателен е обратното.



Фиг. 9. Блокова схема на централно и локално устройство

"Адаптер за връзка с мрежа данни" и "Адаптер за RS232" - служат за връзка по цифров път с по-горното ниво.

"Операторски пулт" - дисплей и клавиатура за оживяване, настройване и диагностика на устройството.

ВОТО.

"**EPROM - 8kb**" - Служи за записване на програмата.

"**SRAM - 8kb**" - Служи за оперативна памет. В нея се записват и актуализират данните, измерени от АЦП.

10.3. Задачи на локалното устройство (ЛУ):

- Контролира нивото на тока с нулева последователност. Пусковият импулс трябва да бъде по-продължителен от 300ns. След стартиране ЛУ изчаква 20 ms в стартирано положение, независимо от промените в токовия сигнал, преди да се започне действието на АЦП и хармоничният анализ.
- Определя знака на първата полувълна на преходния ток.
- Измерва в продължение на три последователни периода $3.32 = 96$ точки. Започва 20 ms след старта и измерва до 80-тата милисекунда.
- Провежда хармоничен анализ, като пресмята хармониците с номера 1, 5, 7, 11, 13 и сумата от висшите хармоници [3]. За изчисляването се използва и времето между всеки два дискрета ($20/32 = 0,625\text{ms}$), но всички изчисления за набелязаните хармоници приключват 145 ms след старта.
- След приключване на хармоничния анализ преминава в режим на дежурство, докато не бъде разпитано от централното устройство или не изтече времето от 2s след старта.
- При запитване от ЦУ:
 - ▷ Изпраща записаната информация.
 - ▷ Преминава в режим на дежурство до получаване на сигнал за изключване или за деблокиране.
 - ▷ Деблокира се и чака появата на ново з.с., ако:
 - > Получи от ЦУ сигнал за деблокиране.
 - > Получи от ЦУ сигнал за изключване.
 - > Изтече време от 1 s след получаване на сигнал за запитване.

Забележка: Локалното устройство има два адреса: *A1* - за цифровата информация и *A2* - за сигнала за изключване.

10.4. Задачи на централното устройство (ЦУ):

- Контролира непрекъснато нивото на напрежението с нулева последователност на шините (фиг. 1) и работва, когато това напрежение надвиши 40V.
- Дежури задължително 2s след всяко пускане.
- Определя знака на първата полувълна на преходното напрежение.
- Изпраща импулси за разпитване на ЛУ, след като са изтекли 145ms от момента на пускането.
- Разпитва всички изводи. За 20 извода времето за разпитване е до 1s.
- Анализира информацията по предвидения алгоритъм и приоритети и взема решение за изключване или деблокиране.
- Изпраща сигнали на по-високото ниво, например в диспечерски пункт.
- Регистрира данните от всяка повреда.
- Има готовност да бъде разпитвано отвън.

10.5. Алгоритъм на защитата

А. Работа при преходно з.с.

- $t = 0 \rightarrow$ Поява на з.с. за повече от 300ns. Появява се сигнал *Start 1* или *Start 2* според знака на първата полувървна на входния сигнал.
- Стартира *ЕМК*, който остава в режим на дежурство 2s. В това време промените на входните сигнали не влияят на активното състояние на схемата.
- $t = 0 \rightarrow 20\text{ms}$ Изчаква се вторият период, за да затихне преходният процес и да започне хармоничният анализ.
- $t = 20 \rightarrow 80\text{ms}$ Измерват се и се записват в SRAM 3.32=96 точки от явлението. ЕМК провежда хармоничен анализ.
- $t = 80 \rightarrow 145\text{ms}$ За 145ms приключва хармоничният анализ от ЛУ на всеки извод
- $t = 145\text{ms} \rightarrow 1\text{s}$ ЛУ се разпитват последователно от ЦУ.
- $t = 1 \rightarrow 2\text{s}$ ЦУ анализира информацията по предвидения алгоритъм и взема решение:
- При отсъствие на $3u_0$ се взема решение, че няма повреда и защитата се връща в изходно състояние (деблокира се) и очаква ново з.с.
 - Изпраща сигнали на по-високото ниво, например в диспечерски пункт.
 - Регистрира данните от повреда. Записват се последователно например 10 събития. След изчерпване на паметта всяко ново събитие измества най-рано постъпилото.
- $t = 2\text{s} \rightarrow \infty$ Има готовност да бъде разпитвано отвън.
- Появата на повреда е с приоритет спрямо разпитването отвън.

В. Работа при трайно з.с.

Първата секунда защитата работи както при преходно з.с. След това:

- $t = 1 \rightarrow 2\text{s}$ ЦУ анализира информацията по предвидения алгоритъм и взема решение:
- При отсъствие на $3u_0$ се взема решение, че няма повреда и защитата се връща в изходно състояние (деблокира) и очаква ново з.с.
 - При наличие на $3u_0$ решението е, че има з.с. и на избрания извод се изпраща сигнал за изключване, а на здравите - за деблокиране.
 - При наличие на $3u_0$ решението е, че има з.с., но ако има непредвидени логически несъответствия, процедурата за вземане на решение се повтаря до откриване на извода с повреда и изключването му или докато изчезне $3u_0$.

ЦУ изпраща сигнали на по-високото ниво, например в диспечерски пункт.

ЦУ регистрира данните от всяка повреда. Записват се последователно например 10 събития. След изчерпване на паметта всяко ново събитие измества най-рано постъпилото.

- $t = 2\text{s} \rightarrow \infty$ ЦУ има готовност да бъде разпитвано отвън. Появата на повреда е с приоритет спрямо разпитването отвън.

С. Работа при з.с. през прекъсваща дъга

Защитата работи както при трайно з.с.

Д. Работа при излишна поява само на $3u_0$

Излишно заработва ЦУ, дежури 2s и се деблокира, за да чака следващото з.с. До заработване не се стига, защото няма сигнал от ЛУ за поява на з.с.

Е. Работа при излишна поява само на $3i_0$

Заработва съответното ЛУ, пуска ЦУ, което констатира липсата на $3u_0$ и след 2s се връща в изходно положение, без да подаде импулс за изключване.

10.6. Изводи

- a. Селективно откриване на извода със з.с. в компенсирани мрежи и в мрежи с изолирана неутрала може да се постигне от цифрова земна защита с относително сложен алгоритъм, който да отчита преходните явления и наличието на максимално ниво на висшите хармоници в повредения извод.
- b. Основни технически характеристики са: 8 разряден едночипов микроконтролер с 10 разряден АЦП; честота на сканиране 800 Hz; едно централно устройство и локални устройства за всяко присъединение.
- c. Препоръчан е набор от типични входни сигнали за изпитване на защитата в установен и преходен режим.

Литература към т. 10:

1. Вичев С. Т., С.Н.Нанчев, А.Х.Овчаров. Метод и устройство за селективно определяне на извода с еднофазно земно съединение. Авт. св. №19025 МПКG 01, 31/08, 17.02.1973
2. Белинска Б., С. Вичев, А. Овчаров. Математическо моделиране на преходни процеси в компенсирани мрежи средно напрежение. Енергетика, №7/1990, с. 13-15
3. Вичев С. Т., Б. И. Белинска. Селективност и чувствителност на земните защиты в компенсирани мрежи средно напрежение. Енергетика, №2/1991, с. 24-27
4. Вичев С. Т., А. Б. Цолов, К. М. Малчев, М. П. Миланов. Входен преобразовател за цифрова земна защита. Годишник на ТУ-София, т. 48, кн. 3/1995, с. 341-348

11. Селективна земна защита чрез относително сравняване на токовете с нулева последователност и използване на стандарта IEC 61850

Обектът, за който се предлага приложение на възможностите на стандарта IEC 61850 и по-специално селективна земна защита на изводи чрез относително сравняване на токовете с нулева последователност е разпределителна подстанция 110/20kV и е присъединена към електроенергийната система посредством три въздушни електропровода 110 kV. В подстанцията са монтирани два силови тринамотъчни трансформатора 110/20/10kV. Неутралите на трансформаторите на страна 20kV и 10kV са заземени през активно съпротивление 40Ω, по едно за всеки трансформатор. Към неутралата има възможност да се включи и гасителен реактор.

ОРУ 110kV е изградено с единична секционирана шинна система, а ЗРУ 20kV е изградено с двойна секционирана шинна система.

Показва се, че без използването на допълнителна комуникационна апаратура, само с помощта на релейни защиты може да се направи един алтернативен и икономичен метод за откриване на извода със земно съединение. Предлага се разработка с релейни защиты на фирмата SIEMENS от серията SIPROTEC 4. Типът на защитата е 7SJ62. Подобна разработка би могла да се направи и със защиты на други производители поддържащи стандарта.

Комуникацията между защитите може да се осъществи както по усукана двойка проводници, така и по оптични връзки.

Разработката е представена с помощта на специализиран софтуер DIGSI на фирмата SIEMENS. Той се използва за настройка и програмиране на релейни защиты. Логическите функции, използвани в разработката са разработени в CFC-среда (Continuous Function Chart – Siemens) към програмата

DIGSI. В проекта са включени устройствата от всички присъединения. Комуникациите между защитите са осъществени в IEC станция (IEC Station) към програмата DIGSI.

ЗРУ 20kV на подстанцията е с двойна шинна система. Съставена е от 22 кабелни извода, 2 трансформаторни присъединения, 2 килии мерене и една килия за секциониране.

Приема се условно първата половина на уредбата за секция 1, а втората половина за секция 2. Разглежда се секция 2. Аналогична разработка може да се направи и на секция 1. Секция 2 се състои от 10 кабелни извода, едно трансформаторно присъединение. В табл. 1 са дадени основните параметри на изводите от секция 2. Логиката на метода е разработена в защитата на трансформаторното присъединение, тъй като трябва да има среда, в която да се събира определена информация и да се обработва. Такава среда може да бъде и някой от изводите, но за улеснение е прието трансформаторното присъединение. Релейната защита на трансформаторното присъединение е наречена главно устройство, а тези на изводите – подчинени устройства. Реално няма разлика в главното и подчиненото устройство.

Табл. 1. Основни параметри на изводите от секция 2

№	Име на извода	Дължина, km	Трансформаторна мощност, kW	x_w, Ω	r_w, Ω	I_c, A
1	А	2.270	4630	0.325	0.363	7.596
2	Б	2.453	3550	0.229	0.256	5.364
3	В	0.500	0	0.072	0.080	1.673
4	Г	4.391	4960	0.628	0.703	14.694
5	Д	2.000	0	0.286	0.320	6.693
6	Е	4.991	13940	0.578	0.646	13.519
7	Ж	2.040	1260	0.292	0.326	6.826
8	З	3.875	9960	0.368	0.412	8.617
9	И	6.841	19010	0.738	0.826	17.274
10	Й	2.456	10190	0.351	0.393	8.219

Има три варианта, по които може да се разработи селективна земна защита с относително сравняване на токовете с нулева последователност.

Първи вариант

Релейната защита има само токови входове. С помощта на стандарта IEC 61850 и логически връзки се прави относително сравняване на ефективните стойности на токовете с нулева последователност и се изключва (сигнализира) само повредения извод.

Втори вариант

Защитата има токови и напреженови аналогови входове. Освен критерия големина, се въвежда и критерият посока на тока с нулева последователност. И по двата критерия едновременно (и токът да е най-голям и посоката да е към извода със з.с.) се определя изводът с повреда.

За изолирани мрежи това трябва да бъде капацитивният ток на нулева последователност, а за компенсирани – активната компонента на този ток.

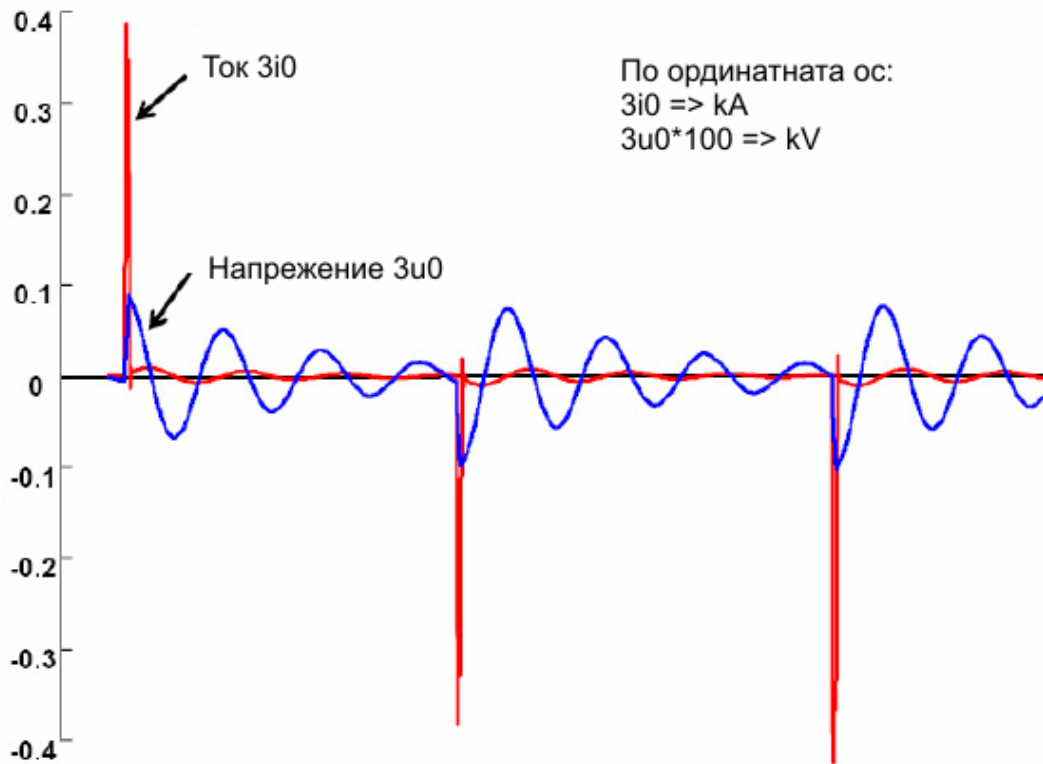
Трети вариант

Защитата има посочни органи за всеки режим на неутралата и новата логика подобрява селективността и чувствителността за нетрадиционни случаи, например много голямо преходно съпротивление в мястото на повредата.

Бележка

Има защити, които откриват селективно изводът със земно съединение като използват факта, че в повредения извод първият импулс на тока с нулева последователност и първият импулс на напреже-

нието с нулева последователност имат еднакви знаци (или два плюса или два минуса). Всички здрави присъединения имат различни знаци на първите импулси на тока и напрежението (плюс-минус или минус плюс). На фиг. 10 е показан пример на началния импулс при земно съединение през прекъсваща дъга.



Фиг. 10. Форма на тока и напрежението с нулева последователност при ЗСПД по данни от фирмата WAMP (Финландия)

Този подход има предимство, че не зависи от режима на заземяване на неутралата и от вида на мрежата. Не зависи дори и от наличието на прекъсваща дъга.

Неудобството е, че явлението не се повтаря и един път преминало и неизползвано води до непредсказуемо поведение на тази функция.

Литература за т. 11:

1. 7SJ62-64 Manual A7 V046101, 2006
2. A User Friendly Implementation of IEC 61850 in a New Generation of Protection and Control Devices. SA2007-000062
3. IEC 61850. Communication Networks and Systems in Substations
4. Dave Dolezilek. IEC 61850: WHAT YOU NEED TO KNOW ABOUT FUNCTIONALITY AND PRACTICAL IMPLEMENTATION. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Pullman, WA, USA. 2005

19. Защити на силови трансформатори

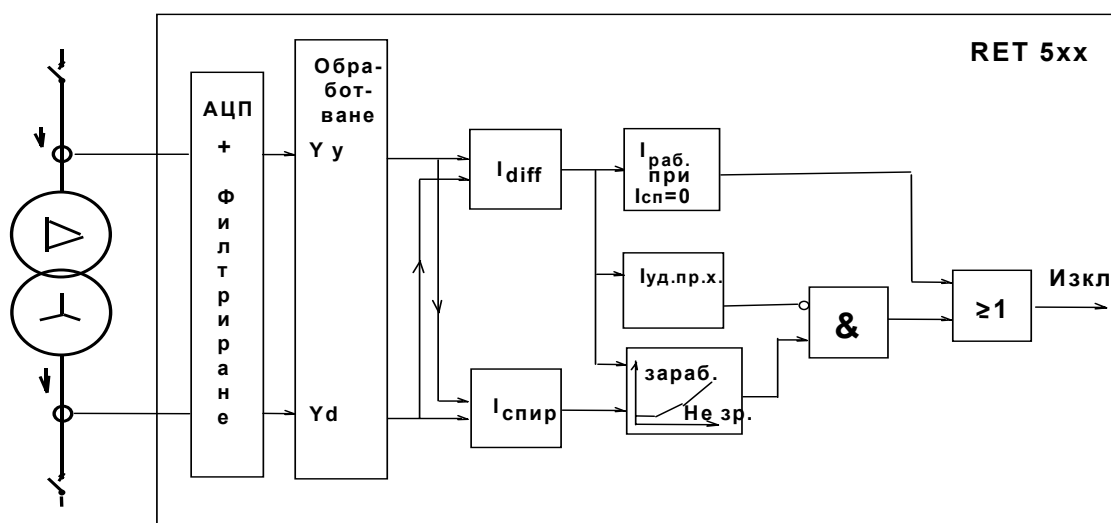
Факторите, които определят избора на защитите на силовите трансформатори са:

- **Мястото на трансформатора в ЕЕС** - трансформаторът понижаващ ли е или повишаващ. В ЕСПП трансформаторите са най-често понижаващи, токовете на к.с. са значително (8-20 пъти) по-големи от номиналните и защитите имат достатъчна чувствителност.
- **Брой на работните намотки**: двунамотъчни и тринмотъчни трансформатори.
- **Мощност на трансформатора**.
- **Номинални напредения на намотките**.
- **Изисквания на ЕЕС** към трансформаторните защити за селективност, чувствителност при вътрешни повреди и незаработване при външни, бързодействие и резервиране на защитите на изходящите линии.
- **Изисквания на производителя** на трансформатора за чувствителност, бързодействие и надеждност на релейната защита.

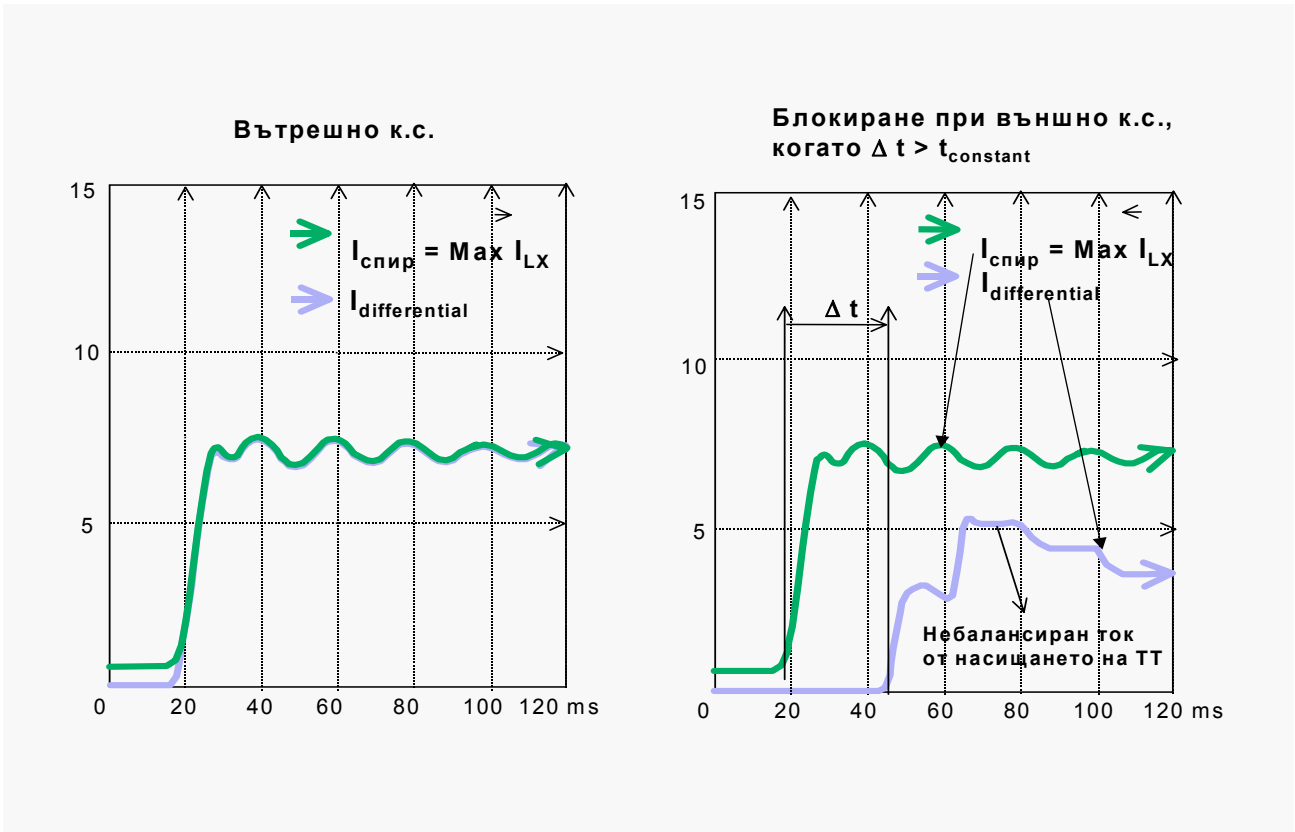
Изискваните релейни защити на трансформатори (и автотрансформатори) с напрежение на високата страна 2 kV и по-високо се определят от ПУЕУ, раздел IV. Предвиждат се защити от следните **видове повреди и ненормални режими на работа**:

- междуфазни к.с. в намотките и техните изводи;
- къси съединения между намотките на една и съща фаза;
- еднофазни з.с. в мрежи с голям ток на з.с.;
- външни к.с. (извън трансформатора);
- претоварване на трансформатора;
- отделяне на газове в казана и понижаване на нивото на маслото.
- увеличена индукция в магнетопровода
- температура на маслото

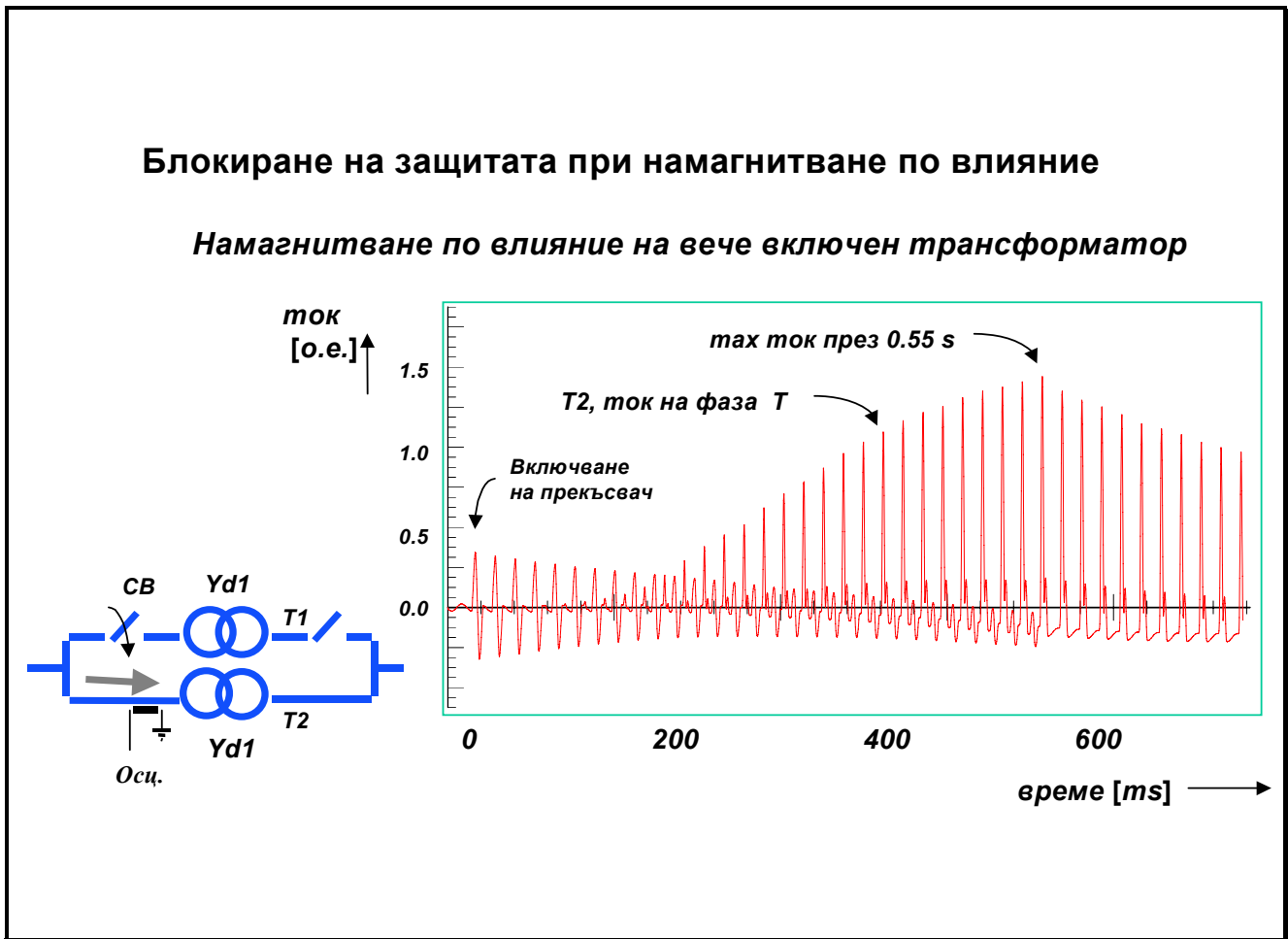
Блокова схема на цифрова диференциална защита на трансформатор



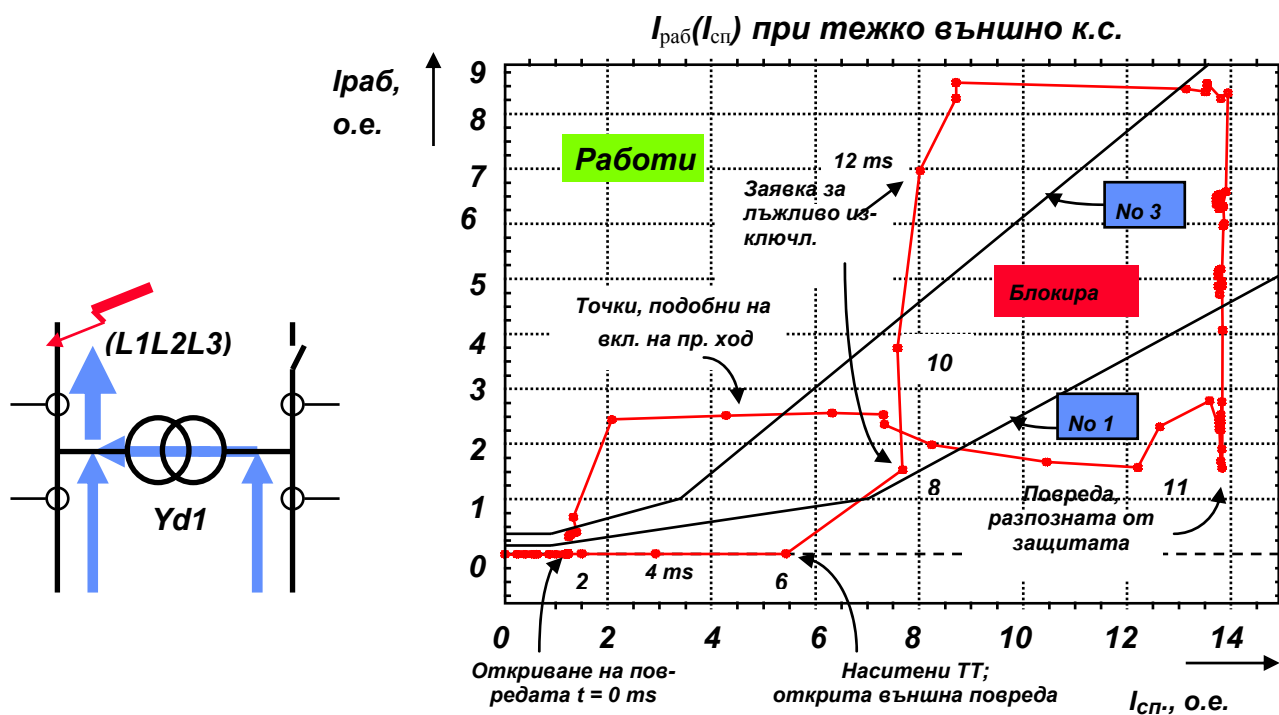
Фиг. 1



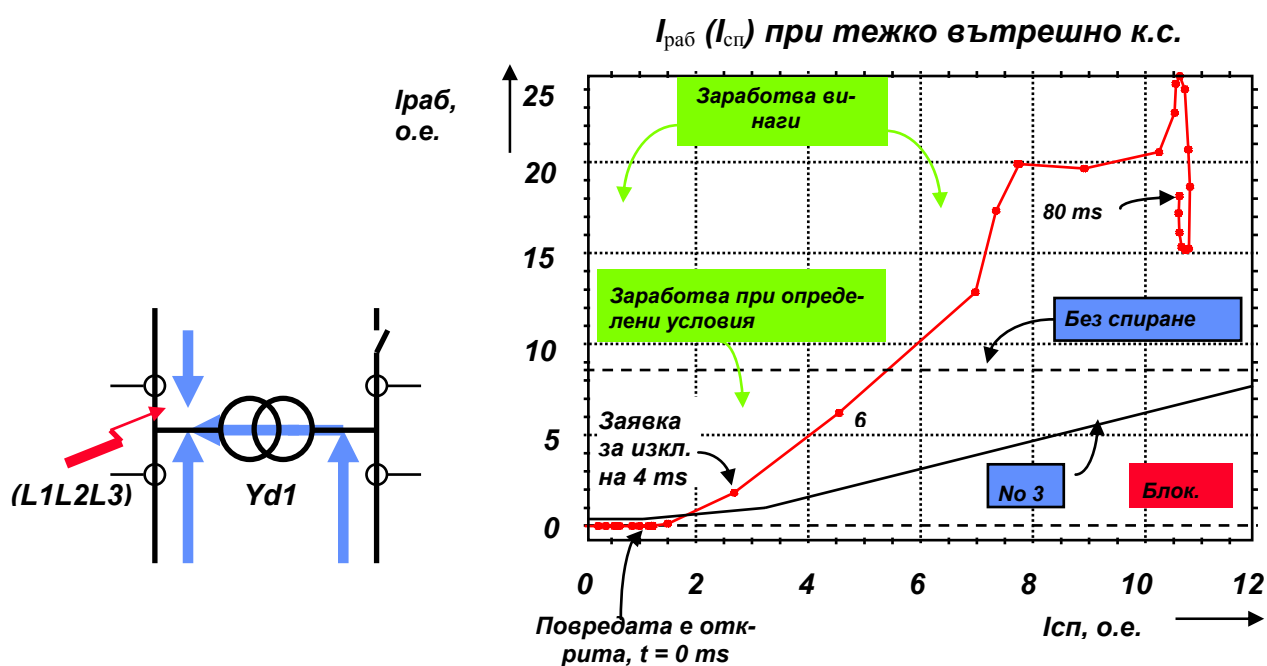
Фиг. 2. Принцип за блокиране на диференциалната защита RET 5xx при външно к.с.



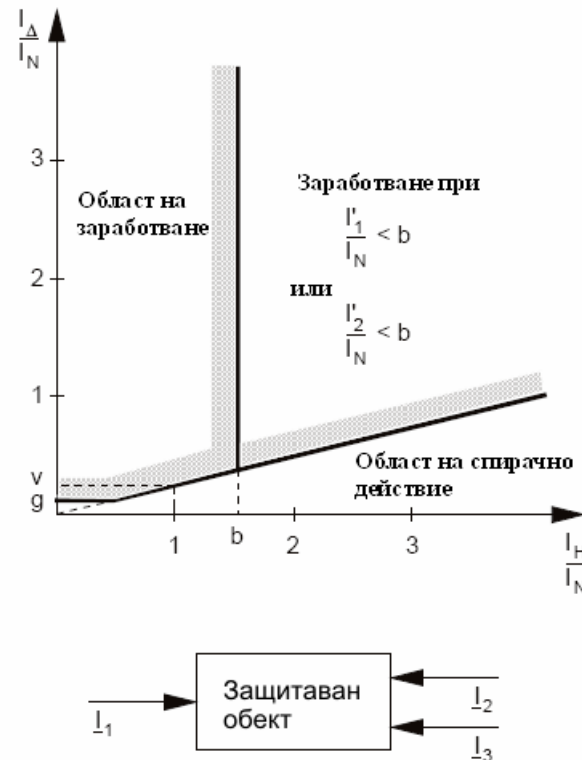
Фиг. 3. Намагнитване на трансформаторите “по влияние”



Фиг. 4. Работа на диференциалната защита при външно к.с.



Фиг. 5. Работа на диференциалната защита при вътрешно к.с.



$$I_{\Delta} = |I_1 + I_2 + I_3| \quad \text{Работен ток}$$

$$I_H = \begin{cases} \sqrt{I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \alpha} & \text{за } \cos \alpha \geq 0 \\ 0 & \text{за } \cos \alpha < 0 \end{cases} \quad \text{Спиращен ток}$$

където $I_1 = \text{най-големият от } I_1, I_2, I_3$

$$I_2 = I_1 + I_2 + I_3 - I_1$$

$$\alpha = \angle(I_1; -I_2)$$

Фиг. 6. Характеристика на заработване на диференциална защита на трансформатор (Diff-Transf)

Обяснение на параметрите за настройване на защитата:

ParSet 4	Параметър, който определя в коя група с настройки се активира тази функция
Trip	Определя изключвателния канал, активиран от изключвателния изход на функцията (матрица → изключвателна логика)
g	Базисна настройка (по чувствителност) на характеристиката на заработване
v	Относителна стойност на заработване (наклон) на работната характеристика
b	Определя точка b от работната характеристика. Трябва да се настрои приблизително на 1.5 пъти тока на товара
g-High	Увеличена базисна настройка (вместо нормалната), която се контролира от цифров сигнал
HighSetInp	Тази настройка се въвежда например при опасност от фалшиво изключване, резултат на временно нарастване на намагнитването (превъзбуждане)
I-Inst	Диференциален ток, над който се подава команда за изключване, независимо от

това дали защитаваното устройство се включва в момента или не. Това дава възможност максимално да се съкрати времето за изключване при големи токове на вътрешни къси съединения

InrushRatio	Стойност на втория хармоник в проценти спрямо основния, над която зарежда блокировката срещу намагнитващи токове.
InrushTime	Време, през което блокировката срещу намагнитващи токове е активирана след включване на празен ход или при външна повреда.
a1	Компенсационен коефициент по амплитуда за намотка 1
s1	Начин на свързване на намотка 1(първично) Възможни настройки: <ul style="list-style-type: none"> • Y: свързване в звезда • D: свързване в триъгълник
CurrentInp1	Дефинира токовете аналогови входни канали за намотка 1. Първият канал (фаза R) от двете трифазни групи трябва да бъде определен като канал 1
a2	Компенсационен коефициент по амплитуда за намотка 2.
s2	Група на свързване на намотка 2. Възможни настройки: Всички възможни групи на свързване с определяне на: <ul style="list-style-type: none"> • обозначаване на начина на свързване (Y = звезда, d = триъгълник, z = зиг-заг) • ъглово изместване на напрежението на намотка 2 по отношение на намотка 1 в стъпки от 30°.
CurrentInp2	Дефинира токовете аналогови входни канали за намотка 2. Първият канал (фаза R) от двете трифазни групи трябва да бъде определен като канал 1
a3	Компенсационен коефициент по амплитуда за намотка 3
s3	Група на свързване на намотка 3. Възможни настройки: Всички възможни групи на свързване с определяне на: <ul style="list-style-type: none"> • обозначаване на начина на свързване (Y= звезда, d=триъгълник, z=зиг-заг) • ъглово изместване на напрежението на намотка 3 по отношение на намотка 1 в стъпки от 30°.
CurrentInp3	Дефинира токовете аналогови входни канали за намотка 3. Първият канал (фаза R) от двете трифазни групи трябва да бъде определен като канал 1. <u>Бележка:</u> Защитата работи в режим двунамотъчен трансформатор, ако не се избере трети аналогов вход.
BlockInp	Цифров адрес използван като вход за блокиране. (F-FALSE, T-TRUE, цифрови входове или изходи на защитна функция)
InrushInp	дава информация че блокировката от намагнитващи токове е задействана, независимо че трансформатора вече е включен под напрежение. Това дава възможност да бъде разпознато и компенсирано включване на паралелен трансформатор(F-FALSE, T-TRUE, цифрови входове или изходи на защитна функция)
HighSetInp	Определя дали се използва нормалната или увеличената начална настройка “g”. (F-FALSE, T-TRUE, цифрови входове или изходи на защитна функция)
Trip	Изход, който сигнализира изключване (сигнален адрес)
ER	Означават регистратор на събития
Trip-R	Означават изключване, но определя, че изключването е при повреда във фаза R.

6	
Trip-S	Означава изключване, но определя, че изключването е при повреда във фаза S.
Trip-T	Означава изключване, но определя, че изключването е при повреда във фаза T
Inrush	Изход, който сигнализира наличие на намагнитващ ток (сигнален адрес)
Stabilizing	Изход, който сигнализира, че спирачния ток $I_H > b$ при външни къси съединения (сигнален адрес)

Инструкции за настройка

Параметър		Обхват за настройване	Настройка по подразбиране
Базисна настройка	g	0.1 до 0.5 I_N на стъпки от 0.1 I_N	0.3 I_N
Съотношение на заработване	v	0.25 или 0.5	0.5
Точка на превключване на работната характеристика	b	1.25 до 5 на стъпки от 0.25 I_N (препоръчва се 1.5)	1.5
Увеличена базисна настройка	g-High	0.1 до 0.5 I_N на стъпки от 0.1 I_N	0.75 I_N
Диференциална отсечка (не се влияе от наличието на намагнитващи токове)	I-Inst		12 I_N
Настройка на блокировката от намагнитващи токове	InrushRatio		10%
Време на действие на блокировката от намагнитващи токове	InrushTime		5 s
Компенсационни коефициенти по амплитуда	a1 a2 a3		Изчисляват се
Начин на свързване на намотка 1	s1		Зависят от обекта
Група на свързване на намотки 2 и 3	s2 s3		

Предназначението на трансформаторната диференциална защита е да действа при фазни повреди в защитаваната зона. Функцията реагира както при къси съединения към земя, така и при к.с. между навивките. Защитата е чувствителна, бърза и има абсолютна селективност.

Функцията диференциална защита няма пусков сигнал. Винаги действа на изключване. Пусковият сигнал "GetStart" е нагласен заедно с изключвателния "GetTrip" и дава изключвателна команда към изходното изключвателно реле.

Базисна настройка „g”

Базисната настройка представлява настройката на заработване на диференциалната защита при вътрешни повреди. Това е участъка от работната характеристика с ниски стойности на спирачния ток I_H .

За "g" трябва да се избере възможно най-ниска настройка (максимална чувствителност), за да може защитата да реагира при всички видове повреди - междуфазни къси съединения, къси съединения към земя и междувиткови къси съединения.

Същевременно настройката на "g" не трябва да бъде прекалено ниска за да се избегне опасността от фалшиво изключване дължащо се на:

- грешки в токовете трансформатори,
- максималният намагнитващ ток на трансформатора при максимално кратковременно повишаване на напрежението на системата,
- обхвата на стъпалния превключвател на трансформатора,

Намагнитващият ток на съвременните силови трансформатори е много нисък и обикновено е между 0.3 и 0.5% от номиналния ток при номинално напрежение. При поява на кратковременни пикове на напрежението, резултат на изключване на голям товар в системата, намагнитващия ток може да достигне и надвиши 10%.

Обхвата на стъпалния регулатор на напрежение обикновено е между $\pm 5\%$ и $\pm 10\%$, но е възможно да има и $\pm 20\%$ и повече. Влиянието на стъпалния регулатор на напрежение трябва да се вземе предвид при изчисленията независимо дали стъпалата се превключват ръчно или чрез автоматичен регулатор на напрежение.

Всичките три изброени причини водят до протичане на диференциален ток в нормален режим на работа на системата. Настройката на "g" трябва да се избере над стойността на този диференциален ток. Типична настройка е $g=0.3I_N$ (т.е. 30% I_N).

Съотношение на пускане „v”

Съотношението на пускане "v" е решаващ фактор за стабилността на защитата при външни междуфазни къси съединения или къси съединения към земя, както и при протичане на големи транзитни токове.

Стойността на "v" се определя от съотношението между тока на заработване I_D към спирачния ток I_N в участъка от характеристиката с умерен наклон т. е. това определя наклона на характеристиката. Настройката трябва да бъде такава, че функцията да има чувствителност дори при леки повреди, които предизвикват протичане на малък диференциален ток (междувивковни къси съединения). Същевременно настройката трябва да изключва риск от фалшиво изключване при външни повреди. Типична настройка е $v=0.5$

Спирачен ток „b”

Спирачният ток b определя точка, при която характеристиката променя наклона си.

Наклоненият участък на характеристиката осигурява сигурна работа на защитата при външни повреди и насищане на токовете трансформатори.

Възможността за превключване на наклона на характеристиката прави защитата адаптивна към различни условия на повредата.

Препоръчителната стойност за "b" е 1.5. Тази настройка осигурява висока стабилност при големи токове на външни къси съединения и достатъчна чувствителност при токове на повредата близки до тока на товара.

Коефициенти a_2 и a_3

Пълният обхват на настройка за коефициенти a_2 и a_3 за компенсирани амплитудите на токовете се използва само, когато базисната величина на аналоговите канали е настроена на 1.000. При всички други настройки, допустимата горна граница се намалява пропорционално на настроената базисна величина на аналоговите канали (трансформаторна намотка1/намотка2, респективно намотка3/намотка1).

Работна характеристика

При тринамотъчен трансформатор спирачният ток е резултат на два от токовете, а не на всичките три. В интерес на постигане на максимална стабилност при външни повреди се използват двата по-големи тока от трите намотки.

Спираният ток се определя от уравнението

$$I_H = \sqrt{I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \alpha} \quad \text{за } -90^\circ < \alpha < 90^\circ$$

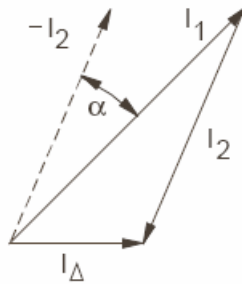
Или е нула

$$I_H = 0 \quad \text{за } 90^\circ < \alpha < 270^\circ$$

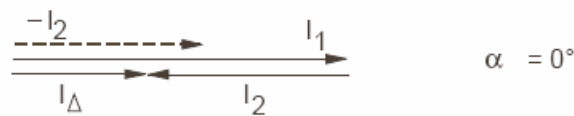
Ъгълът е

$$\alpha = \arg(I_1', -I_2)$$

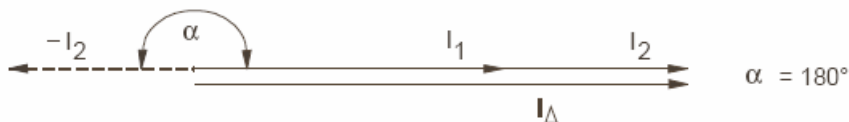
Може да се представи долната векторна диаграма за токовете от първичната и вторичната страна и за диференциалния ток на един натоварен трансформатор.



При външна повреда векторната диаграма е следната.

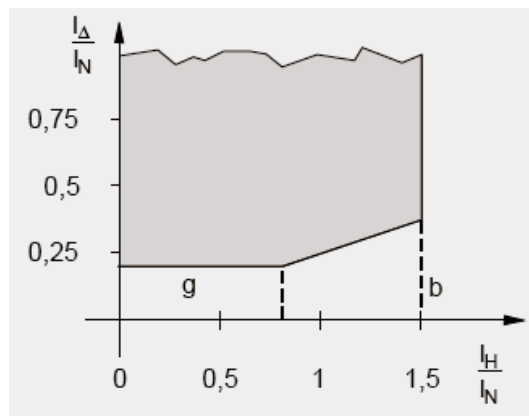


При вътрешна повреда пък векторната диаграма има вида:



Големи токове на външни къси съединения могат да предизвикат насищане на токовете трансформатори и по тази причина наклона на характеристиката се превключва към безкрайност при $I_H/I_N > b$.

Трябва да се отбележи, че при измерване, наклона на работната характеристика се превключва към безкрайност само, ако отделно от I_H също и I_1 и I_2 са по големи от b .

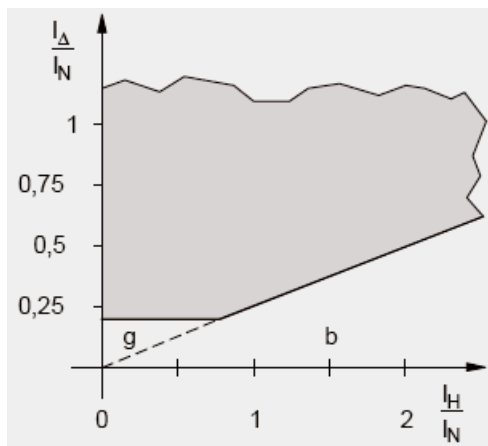


Фиг. 7. Работна характеристика на трансформаторна диференциална защита при външни повреди и големи транзитни токове

Характеристиката едва ли ще може да открие повреда в защитаваната зона, ако преминаващият ток е толкова малък, колкото тока на товара. За това, ако една от трансформаторните намотки се обтича от ток, който е по-малък от настройката “b”, т. е.

$$\text{ако } \frac{I_1}{I_N} \text{ или } \frac{I_2}{I_N} < b,$$

характеристиката се превключва обратно към наклон, отговарящ на настройката на “v”.



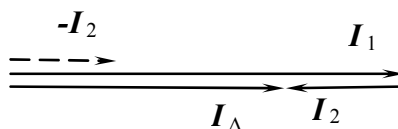
Фиг. 8. Работна характеристика на трансформаторна диференциална защита при външни повреди и малки транзитни токове

Тази характеристика осигурява добра чувствителност на защитата при повреди в защитаваната зона.

Пример:

Вътрешна повреда и номинален ток през трансформатора:

$$\frac{I_1}{I_N} = 4; \quad \frac{I_2}{I_N} = 1; \quad \alpha = 0.$$



$$I_{\Delta} = I_1 + I_2 = 4I_N - I_N = 3 \cdot I_N,$$

$$I_H = \sqrt{I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \alpha} = \sqrt{4 \cdot I_N \cdot 1 \cdot I_N \cdot 1} = 2 \cdot I_N.$$

По този начин защитата реагира надеждно при вътрешни повреди, когато протича транзитен ток, даже при по-висока настройка на наклона “v”.

Увеличена базисна настройка g-High

Увеличената базисна настройка g-High е предвидена с цел да предпази защитата от фалшиво изключване при специфични работни условия. Тя се активира от външен сигнал.

Има ситуации в енергийната система при нормални работни условия, които предизвикват голям диференциален ток, а именно:

- увеличен намагнитващ ток, като следствие на повишаване на системното напрежение (комутации в системата последвани от рязко разтоварване, повреди в генераторни регулатори и др.)

- голяма разлика между токовете от двете страни на трансформатора, резултат на положението на стъпалния регулатор на напрежение (когато е в едното си крайно положение)

Ако се направи така, че на подобни специфични условия да реагират напреженово или насищащо се реле (функция), съответен сигнал може да се използва да превключи настройката на работната характеристика от “g” в “g-High”. Препоръчителната настройка е $g\text{-High} = 0.75 I_N$.

Коефициента на възвръщане след изключване остава непроменен 0.8 g.

Диференциална токова отсечка I-Inst

Настройката на диференциалната отсечка I-Inst съдейства за максимално бързо изключване при големи токове на вътрешни повреди (не се влияе от наличието на намагнитващи токове).

Настройката трябва да бъде по-висока от най-големия очакван намагнитващ ток.

Типичната настройка за трансформатори от нисък и среден клас на мощност е $I\text{-Inst} = 12 I_N$.

Настройка на заработване на блокировката от намагнитващи токове

Настройката на тази функция се прави по чувствителност по отношение на очакваната големина на втория хармоник при поява на намагнитващи токове.

В повечето случаи големината на втория хармоник спрямо основния е не по-малко от 15%. За осигуряване на достатъчна чувствителност на блокировката се препоръчва настройка 10%.

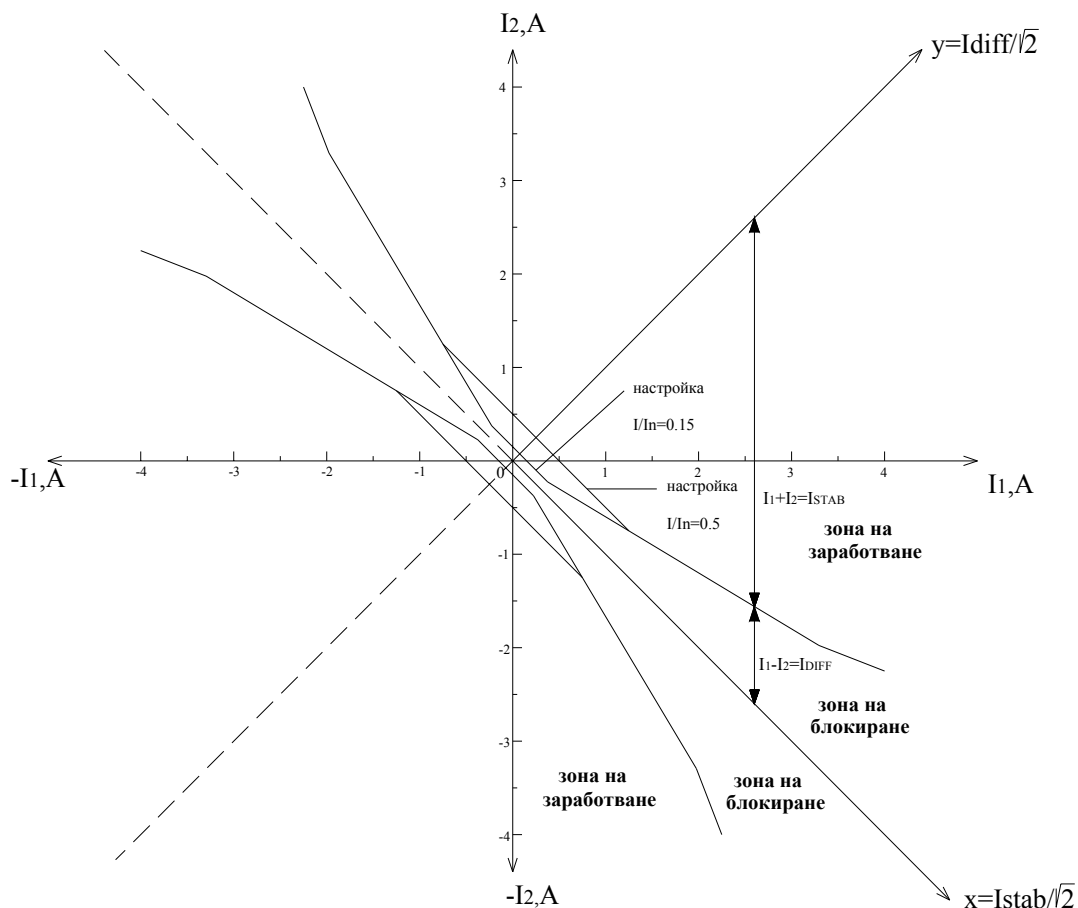
Времетраене на действие на блокировката от намагнитващи токове

Настройката на времетраене на действието на блокировката от намагнитващи токове зависи от периода на наличие на опасност от фалшиво изключване, дължащо се на намагнитващи токове протичащи само през една от намотките. Типичната настройка е 5 s.

Снемане на спирачна характеристика

Поради факта, че към цифровата диференциална защита не може откъм да се подаде формиран предварително диференциален ток, то прякото снемане на спирачната характеристика на защитата I_{diff} (I_{stab}), т.е. $I_{раб}$ ($I_{спир}$) не може да бъде извършено. За това се снима характеристиката $I_2=f(I_1)$, показана на фиг. 9.

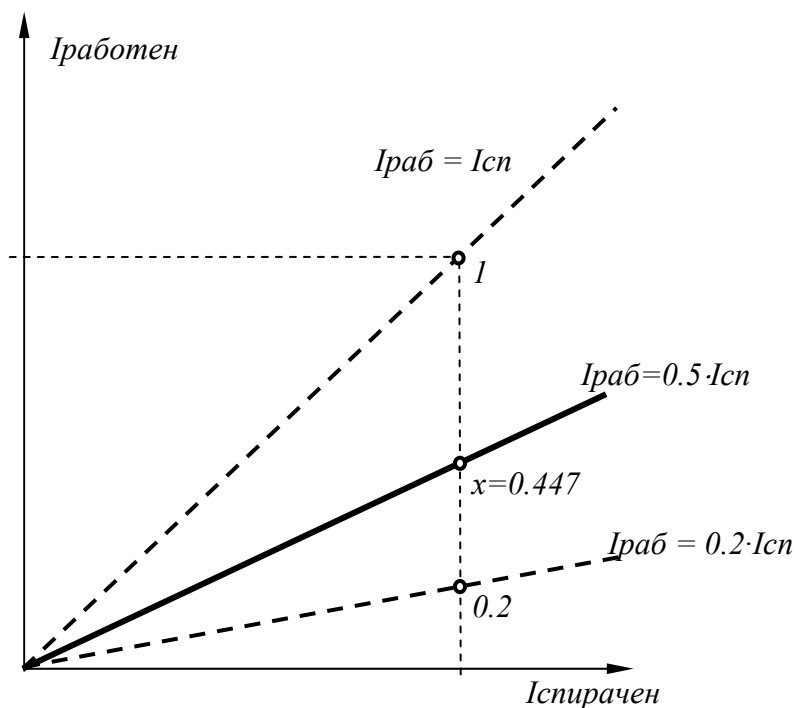
Координатната система $u0x$ дава връзката между диференциалния (работния) и стабилизиращия (спирачния) ток.



Фиг. 9.

Избор на наклона на спирачната характеристика

Най-неблагоприятните условия, когато защитата трябва да заработи поради вътрешното к.с. е условието $I_{\text{раб}} = I_{\text{сп}}$. Съответната права (фиг. П-1) трябва да ограничи областта на зареждане.



Фиг. П-1. Съотношение на работни и спирачни токове, определящи наклона на спирачната характеристика

Най-големият небалансиран ток, при който защитата не трябва да заработва е 20% от тока на к.с. или правата $I_{\text{раб}} = 0.2 \cdot I_{\text{сп}}$ (фиг. П4-1). Спирачната характеристика $I_{\text{раб}}(I_{\text{сп}})$ трябва да лежи между правите $I_{\text{раб}} = I_{\text{сп}}$ и $I_{\text{раб}} = 0.2 \cdot I_{\text{сп}}$ (фиг. П4-1). Колкото избраната спирачна характеристика лежи по-ниско под правата $I_{\text{раб}} = I_{\text{сп}}$, толкова защитата е по-чувствителна. Колкото избраната спирачна характеристика лежи по-високо над правата $I_{\text{раб}} = 0.2 \cdot I_{\text{сп}}$, толкова защитата е по-сигурна. За да бъде защитата колкото чувствителна, толкова и сигурна, трябва да се спазва съотношението

$$\frac{1}{x} = \frac{x}{0.2} \text{ или } x^2 = 0.2; x = 0.447.$$

Точката $x = 0.447$ и началото на координатната система определят мястото на търсената спирачна характеристика.

Бележка. Направените разсъждения са валидни за линейна среда. Нелинейността на магнитните характеристики на токовите трансформатори и необходимостта от зона на нечувствителност около нулата правят така, че характеристиката да има вида на тази от фиг. 3 и дори да бъде с няколко чупки.

20. Релейни защиты на голям синхронен генератор

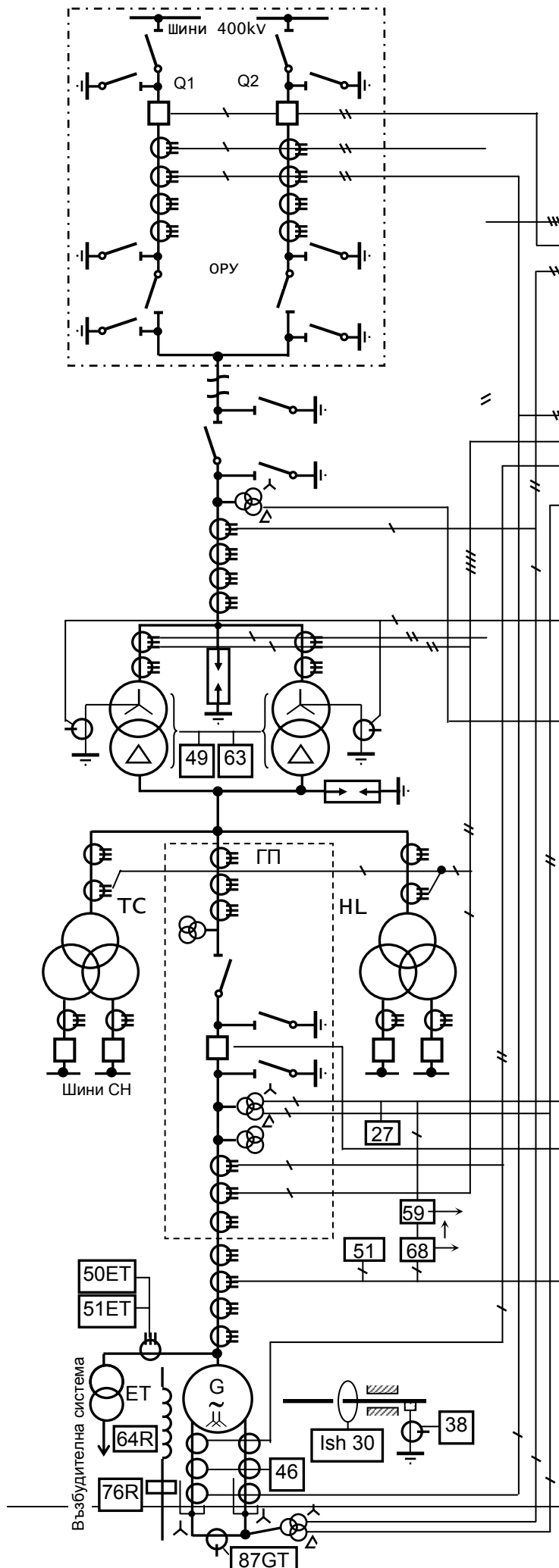
1. Структура на релейни защиты на голям синхронен генератор

Вид и място на повредата	Вид на защитата
1. Междофазни къси съединения в статорната намотка на генератора и на изводите му	1 Надлъжна диференциална защита със спирачни характеристики за генератора (87G)
2. Къси съединения между навивките на една фаза от статорната намотка на генератора	2. Едносистемна напречна диференциална токова защита (87, Ind)
3. Земни съединения в статорната намотка на генератора	3. Напреженова защита на първи и трети хармоник, която няма зона на нечувствителност 59GN (100%)
4. Асинхронен режим при загуба на възбуждане на генератора	4. Импедансна защита (40)
5. Всички видове къси съединения в намотките на трансформатора и на неговите изводи	5. Диференциална токова защита със спирачни характеристики за трансформатора (87T)
6. Всички видове къси съединения от страната на изводите на намотките за ВН на трансформатора и на шините 400kV	6. Диференциална защита на шинната система (87B)
7. Къси съединения в казана на трансформатора, съпроводени с отделяне на газ и понижаване на нивото на маслото	7. Газова защита (80MT)
8. Всички видове къси съединения на шините ВН, в намотките на трансформаторите и на изводите им и за резервиране на основните защиты на блока	8. Резервна диференциална защита на блока (87U)
9. Външни симетрични къси съединения	9. Дистанционна защита (21, Z<)
10. Външни несиметрични къси съединения и несиметрично претоварване	10. Защита на токове с обратна последователност (46, I_{2>})
11. Повишаване на напрежението на турбогенератора и трансформаторите при работа на блока генератор-трансформатор на празен ход	11. Защита от повишаване на напрежението (59, U>)
12. Външни къси съединения към земя в мрежи с голям ток на 1 ф.к.с.	12. Многостъпална токова защита на тока с нулева последователност (51TN, Idn)
13. Земни съединения на страната НН на блочните трансформатори	13. Контрол на изолацията (59N, U>)
14. Симетрично претоварване	14. МТЗ за тока на една от фазите, изпълнена с реле с висок коефициент на връщане (51S, Is>)
15. Претоварване на роторната намотка на турбогенератора от възбудителен ток	15. Токова защита със зависима характеристика (51R)
16. Земно съединение в една точка от роторната намотка на турбогенератора	16. Защита с инжектиране на променливо напрежение с честота 25 Hz (64R)
17. Като датчици за задействане на устройството за гасене на пожар в трансформаторите се използват:	17. Газова защита, диференциалната защита на трансформаторите и диференциалната защита на шините 400 kV (в определени случаи)

Релейна защита на работен трансформатор за собствени нужди

Тринамотъчен трансформатор 24/6,3/6,3 kV

Вид и място на повредата	Вид на защитата
1. Всички видове къси съединения в намотките на трансформатора и на изводите му	1. Диференциална токова защита на трансформатора (87T, Id>)
Блокиране на регулирането под товар	1a. Мигновена токова отсечка за блокиране на регулирането под товар (50TC, I>>)
Контрол за увеличен ток на страна 24 kV	1b. Мигновена токова отсечка (51TC, I>>)
2. Повреди вътре в казана на трансформатора, съпроводени с отделяне на газ и понижаване на нивото на маслото	2. Газова защита на трансформатора (80MT; 80TC)
3. Външни къси съединения, а също и за резервиране на основните защиты на трансформатора	3. МТЗ на тока на страна ВН с комбинирано пускане по напрежение за страна ВН (51+27)
	3а. Дистанционна защита за страна НН на трансформатора (21, 3Z<)
	3а. Дистанционна защита за страна ВН на трансформатора (21, 3Z<)
4. Симетрично претоварване	4. МТЗ на страна НН, използваща тока на една от фазите (51)
5. Дъгова защита	5. Arc



ANSI	Защита	Команда Изключване				*		
		Q1/2	SB	Възб.	6 kV	Други	Сигнал	Блокир.
	ОРУ							
87B	ДЗШ	◆		◆	◆			
BFP	УРОП на Q1 / Q2		◆					
21	Рез. Имп защита	◆	◆	◆	◆	◆		

Блочни защиты

87U	Блочна рез. 3-та.	◆		◆	◆			
87UT	Надлъжна д.з.	◆		◆	◆	◆		
87G	Надлъжна д.з.	◆		◆	◆			
59GN (100%)	Статорна 3-та. Пренапр. в неутрала	◆		◆	◆	◆		◆
40G, Z<	Загуба на възб-не	◆		◆	◆	◆		◆
21G, Z<	Симетр. външни п.	◆	◆	◆	◆	◆		◆
46G, I>	Токове с обр. посл	◆	◆	◆	◆		◆	◆
51TN	З.С. в неутр. на БТ	◆	◆	◆				
59G, U>	Пренапрежение			◆		◆		◆
51G, Is>	Еднофазен свърхт-р						◆	
59N, U>	Земна з. (К-л на изол.) на 24kV - БТ						◆	
68	Блокир. по ток на КАГ-24						◆	
27G	3-та от понижено U						◆	
87GTv	Напречна ДЗ	◆		◆	◆			
64R	ГРЗЗ покреством инж. на ток с f 25Hz	◆		◆	◆		◆	
76R	Токова на рптора.	◆		◆	◆	◆	◆	
63UT	Бухолц (газова БТ)	◆		◆	◆			
49UT	Термична сигнализа-ция на БТ						◆	◆
51TN, Ind	Защита с много стъпала от токове с обр. посл. (външни повреди в мрежи с големи токове на ЗС)							
BFP	УРПОП на КАГ	◆		◆	◆			
50ET	3-та на Тр-р Възб	◆		◆	◆			
51ET	3-та на Тр-р Възб	◆		◆	◆			

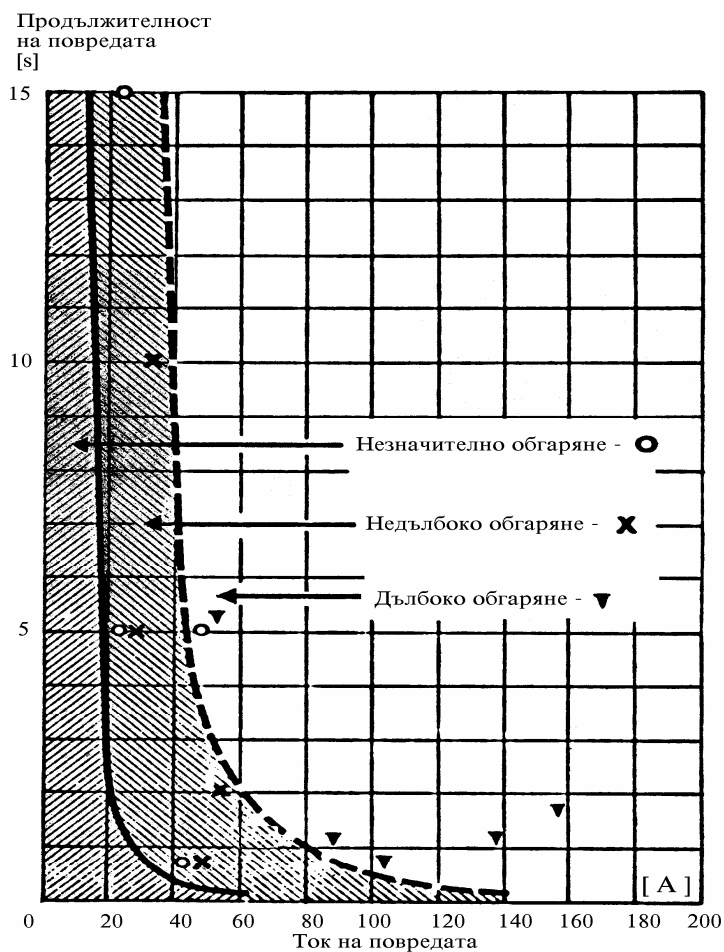
Допълнителни защиты

30Ish	Ток през вала на Г							◆
38	Ток през лагерите на Г							◆
49BUS	Термична защита на БТ шинопроводите						◆	◆

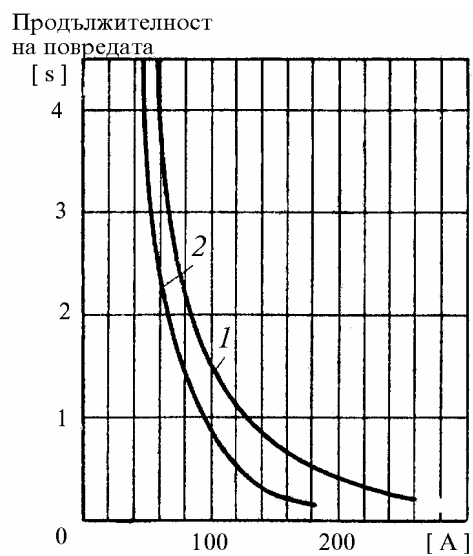
Фиг. 1. Блочна релейна защита

2. 100%-ни земни статорни защиты на синхронни генератори

2.1. Вреди от земната статорна повреда

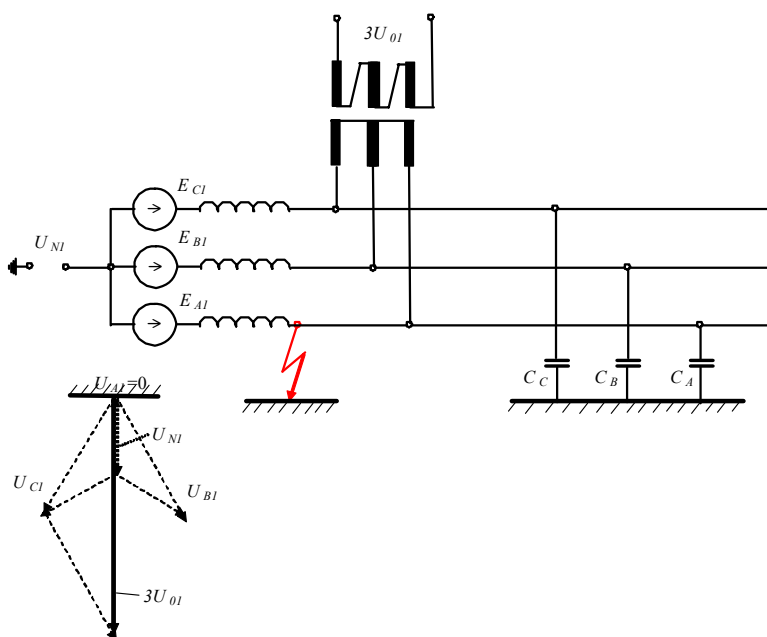


Фиг. 2. Вреда от тока на з.с. според ASEA, Швеция



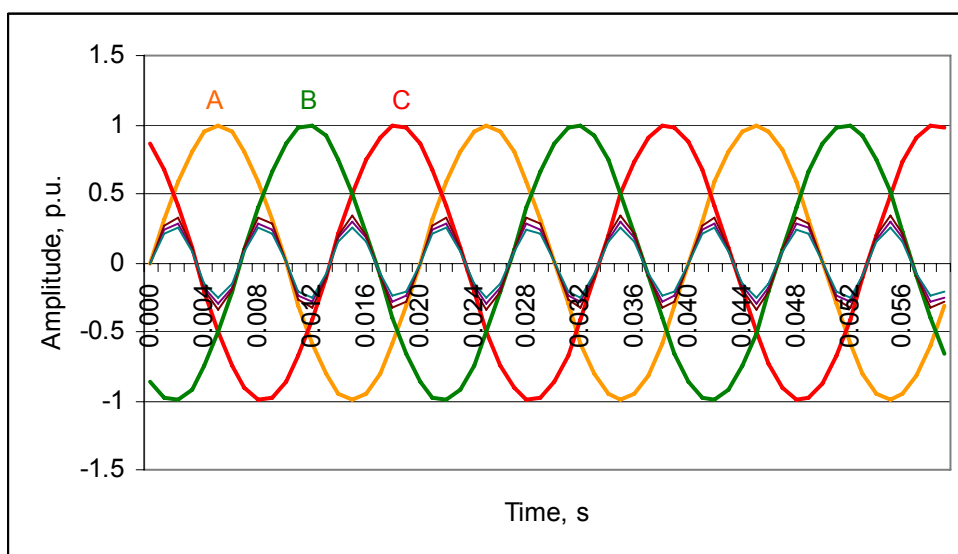
Фиг. 3. Допустим ток при з.с. в статора според лаборатория „Смуров”, Русия

2.2. Зависимост на големината на първия хармоник (U_{N1} и $3U_{01}$) от мястото на з.с. в статора на генератора



Фиг. 4. Зависимост на големината на първия хармоник от мястото на з.с. в статора

2.3. Първи и трети хармоник в напрежението на една трифазна система



Фиг. 5

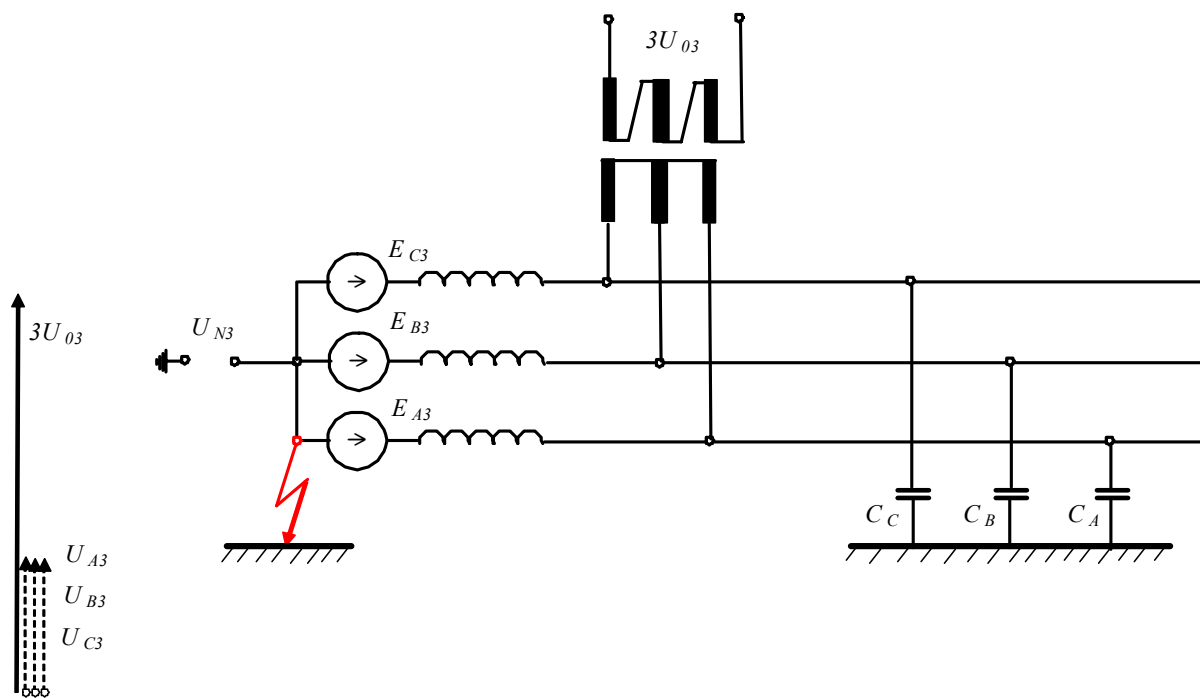
$$u_{A1\max} = 1; \quad u_{B1\max} = 1; \quad u_{C1\max} = 1;$$

$$u_{A3\max} = 0.32; \quad u_{B3\max} = 0.30; \quad u_{C3\max} = 0.26.$$

Забележка: Амплитудата на третия хармоник на фиг. 5 е приета в трите фази с малка разлика, за да се отличава на графиката.

2.4. Трети хармоник в напрежението на неутралата (U_{N3}) и в напрежението с нулева последователност на изводите на генератора ($3U_{03}$) [1]

Електродвижещото напрежение (е.д.н.) на синхронните генератори винаги съдържа трети хармоник и той има достатъчна големина за функционирането на земната статорна защита [1]. Е.д.н. на третия хармоник на трите фази са еднакви и съвпадат по фаза (фиг. 5). На фиг. 5 на базата на фиг. 6 е пояснена причината за съвпадането.

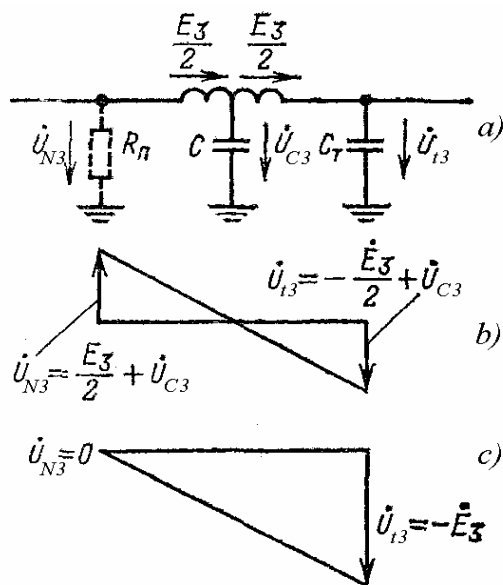


Фиг. 6. Зависимост на големината на третия хармоник от мястото на з.с. в статора

От еквивалентната схема за една фаза на генератора (фиг. 7а) и векторната диаграма на напрежението на третия хармоник на фазата спрямо земя (фиг. 7б) се вижда, че напреженията на третия хармоник в нормален режим от страната на неутралата (U_{N3}) и от страната на изводите (U_{I3}) са еднакви и равни на около половината на E_3 , а напрежението на третия хармоник в средата на намотката е приблизително нула ($U_{C3} \cong 0$) [1].

При з.с. в неутралата на генератора (фиг. 7с) се получават съотношенията

$$U_{N3} = 0 \text{ и } U_{I3} = -E_3.$$

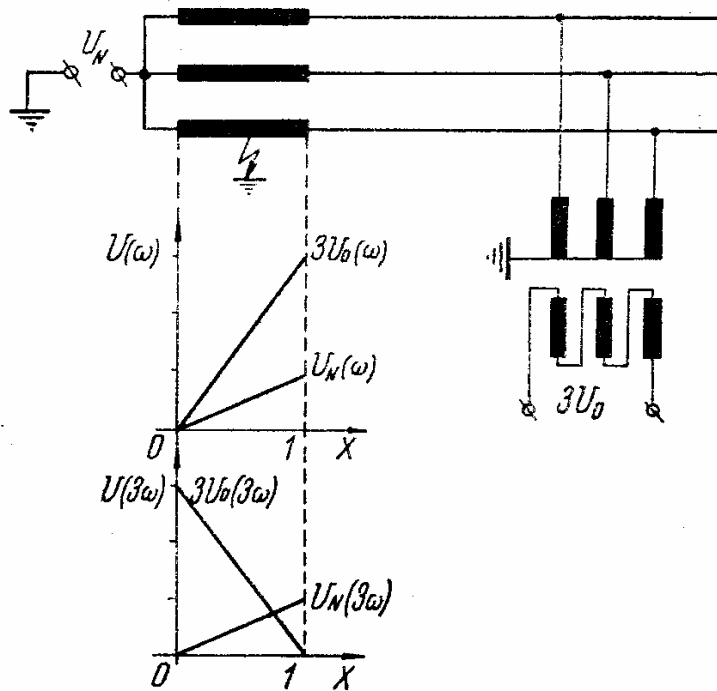


Напрежение на третия хармоник
в намотките на статора

Фиг. 7.

2.5. Условия за избор на входни величини за земната статорна защита

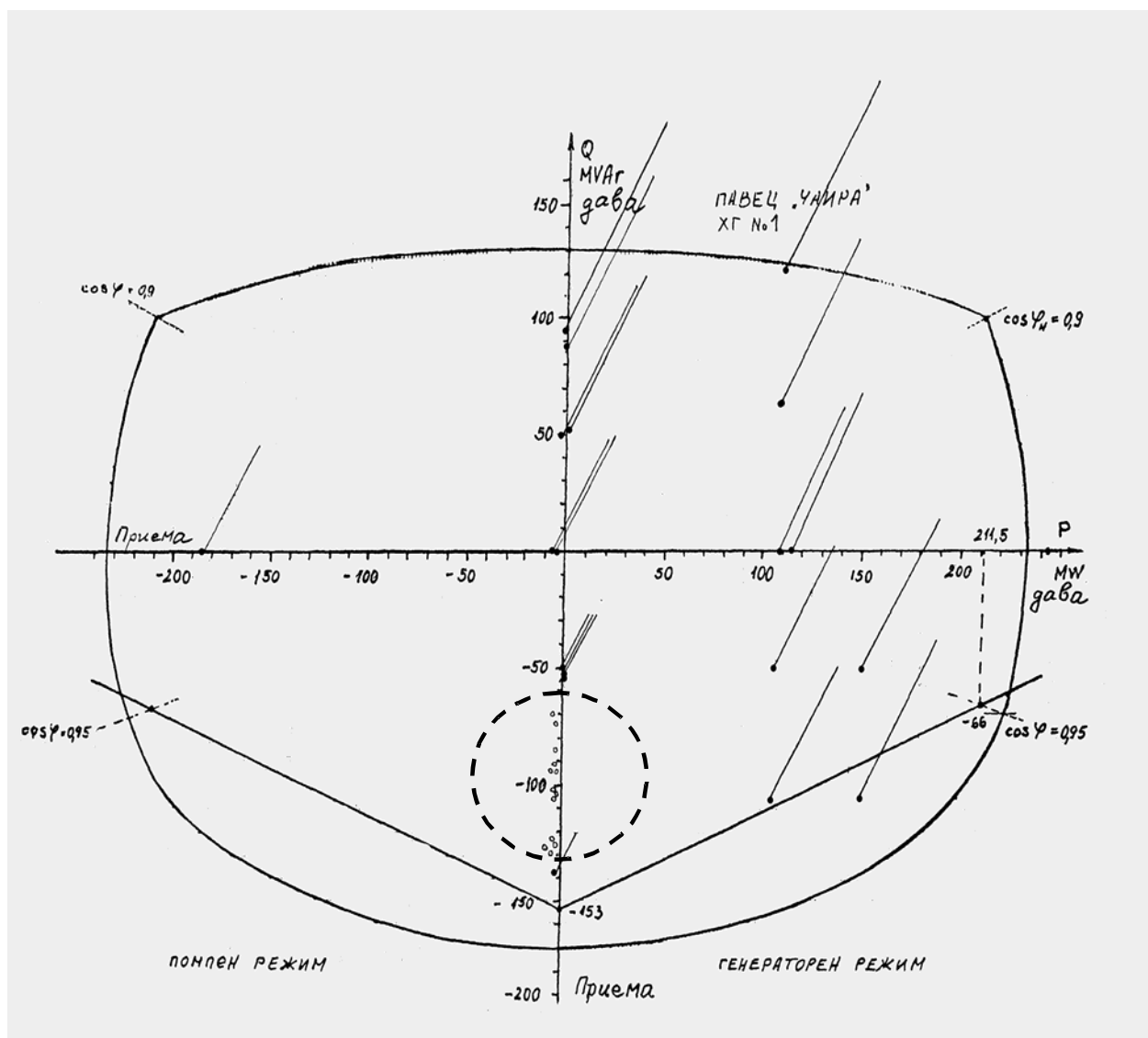
На фиг. 8 е показано изменението на напрежението с основна честота и с честота 150 Hz както в неутралата, така и на намотката отворен триъгълник на НТ, когато мястото на з.с. се измества от единия до другия край на намотката.



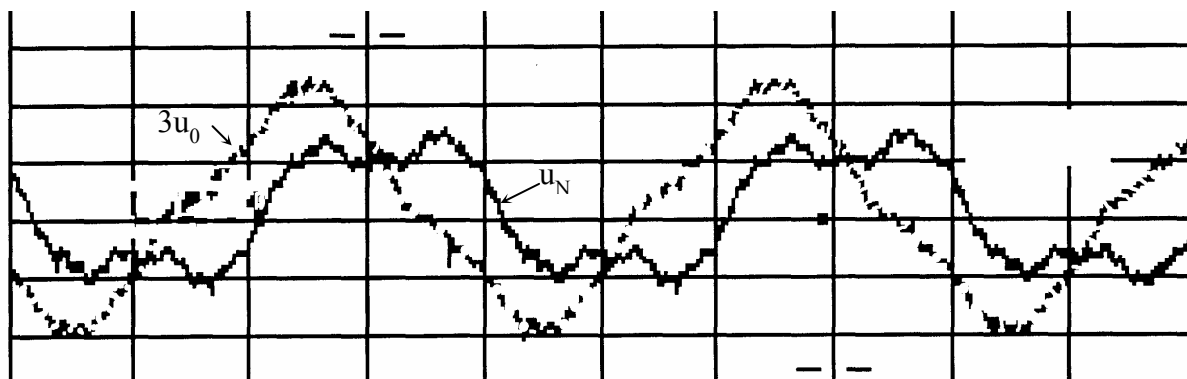
Фиг. 8.

2.6. Особености на третия хармоник на напрежението в неутралата U_{N3} и в "отворения триъгълник" $3U_{03}$ при генераторите в ПАВЕЦ "Чаира"

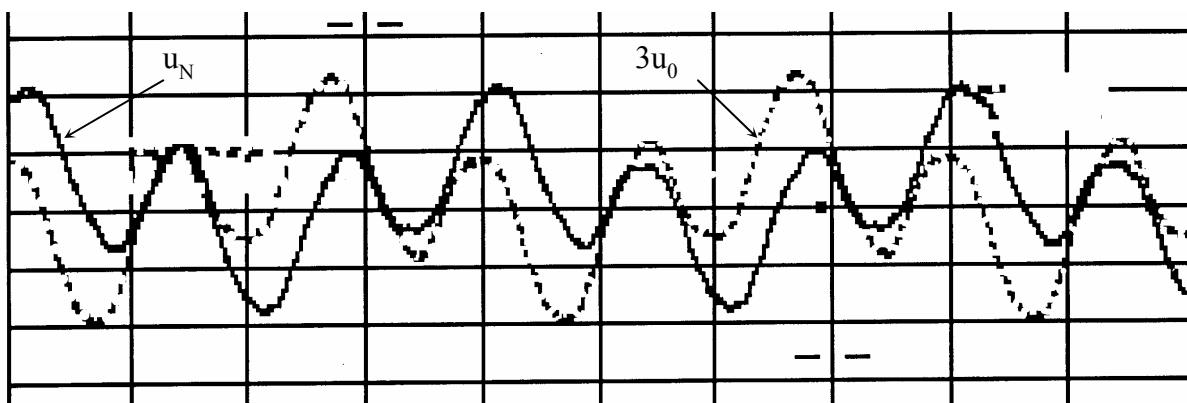
При експлоатацията на хидроагрегатите No. 1 и No. 2 в ПАВЕЦ "ЧАИРА" се констатира, че сигнализацията за земно съединение в близост до неутралата задейства излишно при изправни агрегати, когато генераторите не са възбудени и при някои от работните режими. Сигнализацията има като входна величина нивото на третия хармоник в напрежението на неутралата на генератора (реагира при понижаване) и затова се проведе измерване и регистриране на това напрежение, както и на другите входни величини (фазов ток, фазово напрежение и напрежение на нулевата последователност на изводите на генератора) на земната статорна защита при работа на хидроагрегатите в четирите възможни режима - генератор и помпа, при отдаване и при приемане на реактивна енергия.



Фиг. 9. ПАВЕЦ „Чаира“. Място на изследваната точка в товаровата диаграма на хидроагрегата ХА №1. В пунктирания кръг са точките с напрежение на третия хармоник в неутралата под настройката на защитата 0.7 V.



Фиг. 10. Хидроагрегат №1. Опит № 10. $P=-4\text{MW}$; $Q=-95\text{MVA}$



Фиг. 11. Хидроагрегат №1. Опит № 8. $P=-4\text{MW}$; $Q=+120\text{MVA}$

Измерването установи ниски стойности на нивото на третия хармоник (под 0.7 V) в ограничена зона на товарната диаграма ($+10\text{MW}$, -10MW ; -85MVA_r , -130MVA_r).

На фиг. 9 се посочва мястото на изследваните точки в товарната диаграма на ХА №1. Точките с ниско ниво на третия хармоник в неутралата $U_N^{(3)}$ са групирани в отрицателната област на реактивната компонента на товара, при ниски стойности на активната мощност. Измерените точки са в интервала от -85.7MVA_r до -129.3MVA_r . На фиг. 9 тази област е заградена ориентировъчно с пунктирна линия в кръг.

За ХА №2 резултатите са аналогични. Прагът на заработване 0.7V и по-ниските стойности на $U_N^{(3)}$ оформят също област, която се намира при малки активни товари и реактивни товари от -90.5MVA_r до -130MVA_r .

На фиг. 10 и 11 са показани като примери формите на регистрираните напрежения с нулева последователност $3u_0$ и на неутралата u_N за два характерни режима. Точката с координати ($P=-4\text{MW}$; $Q=+120\text{MVA}$) е от областта на гарантирана сигурност (фиг. 10). Точката с координати ($P=-4\text{MW}$; $Q=-95\text{MVA}$) е от областта, където има опасност от излишно сигнализиране (фиг. 11).

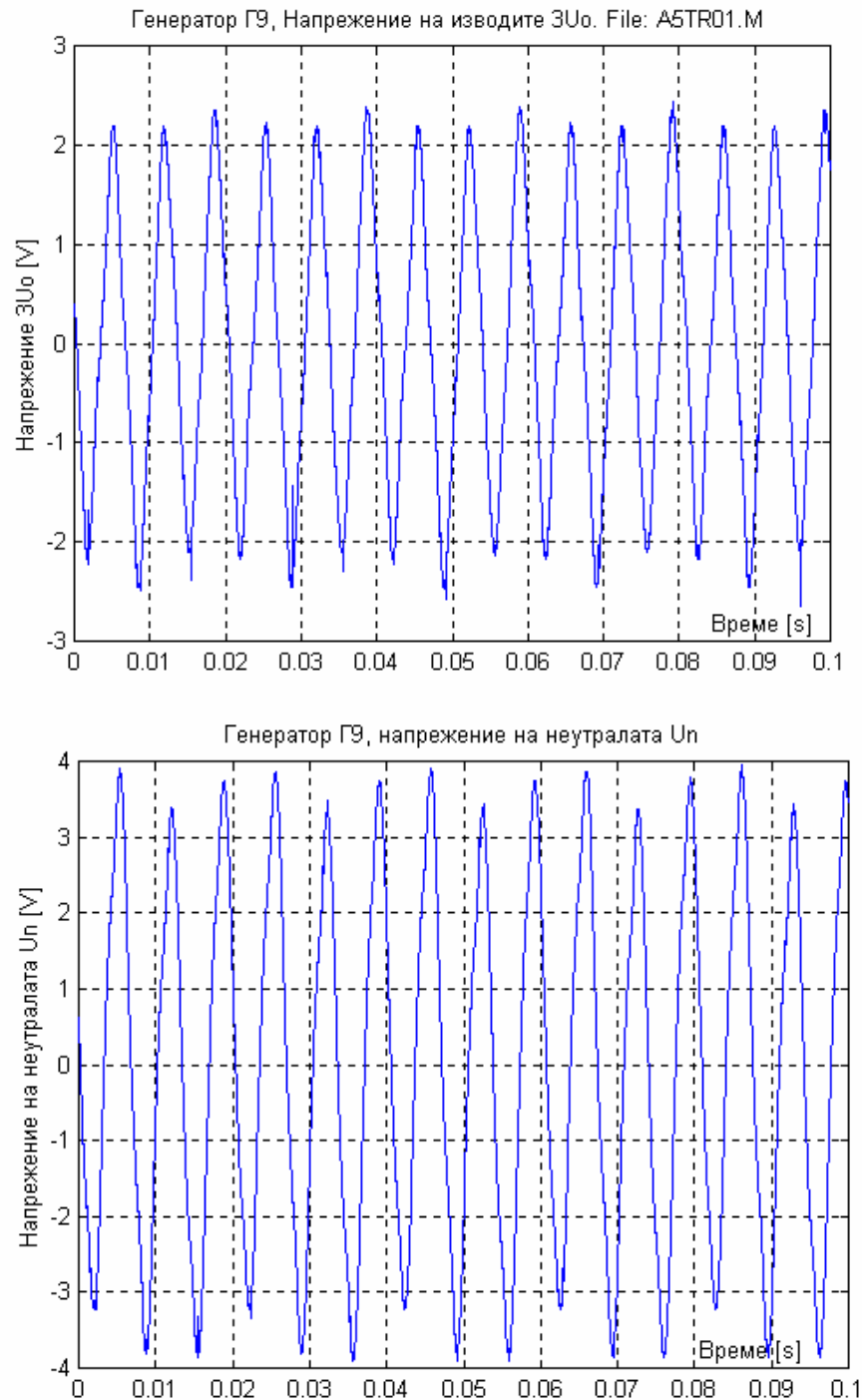
На **фиг. 10** показаните напрежения имат следните стойности:

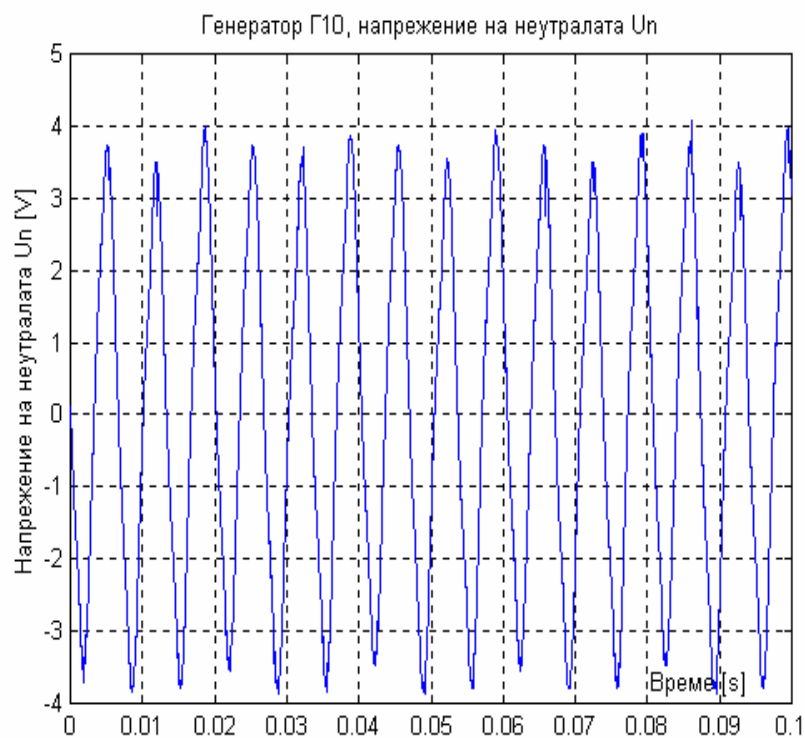
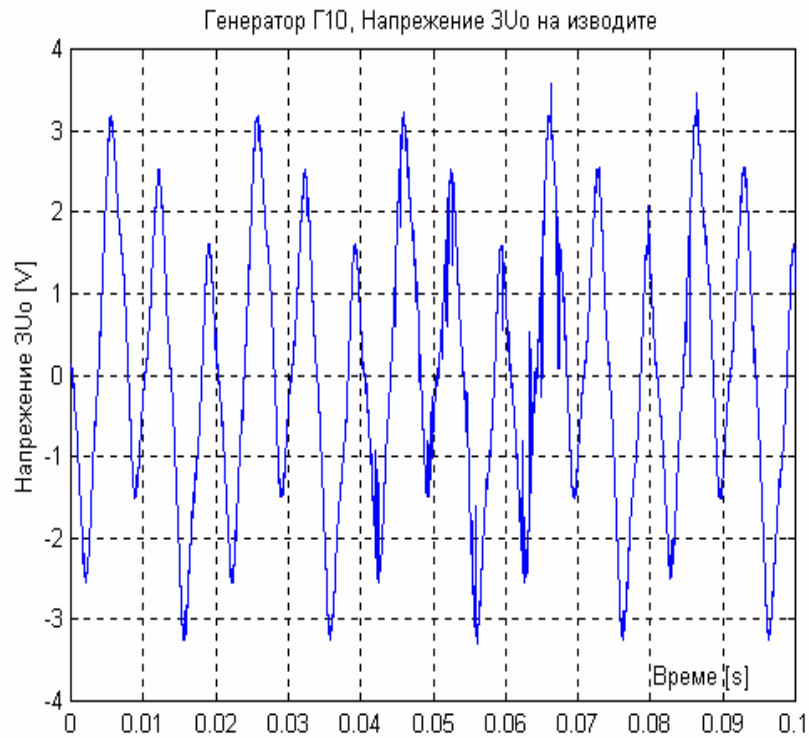
- напрежение на неутралата u_N – ефективна стойност 4.908V ; първи хармоник 3.100V ; трети хармоник 3.790V ;
- напрежение на нулевата последователност на изводите на генератора $3u_0$ – ефективна стойност 5.436V ; първи хармоник 3.172V ; трети хармоник 4.400V . Този случай отговаря на сигурна работа на 100%-ната земна статорна защита, която заработва при спадане на третия хармоник в u_N под 0.7V .

На **фиг. 11** показаните напрежения имат следните стойности:

- напрежение на неутралата u_N – ефективна стойност 0.869V; първи хармоник 0.834V; трети хармоник 0.305;
- напрежение на нулевата последователност на изводите на генератора $3u_0$ – ефективна стойност 2.690V; първи хармоник 2.560V; трети хармоник 0.382V. Този случай отговаря на несигурна работа на 100%-ната земна статорна защита, която в този случай ще даде излишно сигнал за земна статорна повреда.

2.7. Особенности на третия хармоник на напрежението в неутралата U_{N3} и в „отворения триъгълник” $3U_{03}$ при генераторите GQ9 и GQ10 в АЕЦ "Козлодуй"





Фиг. 14 и фиг. 15

2.8. Земна статорна защита с инжектиране на напрежение в неутралата (20Hz при Siemens)

(Обяснение за „инжектиране“ на сигнали 20Hz чрез напрежителен трансформатор в неутралата)

3. “Високоимпедансна” диференциална защита

Въведение[4]

В дадена високоомна схема, измервателната верига се представя посредством високоомно съпротивление, свързано в паралел на схема с циркулация на токовете. Високоомната защита служи за:

- защита срещу междуфазно съединение и евентуално земно съединение за генератори, двигатели и компенсиращи реактори;
- земна защита на трансформаторите при малък ток на земно съединение.

Основното предимство на високоомната схема в сравнение с обичайната диференциална схема се състои в по-добрата ѝ стабилност за относително ниски стойности на токовете на външни къси съединения (между I_n и $5 I_n$).

Нейните недостатъци са:

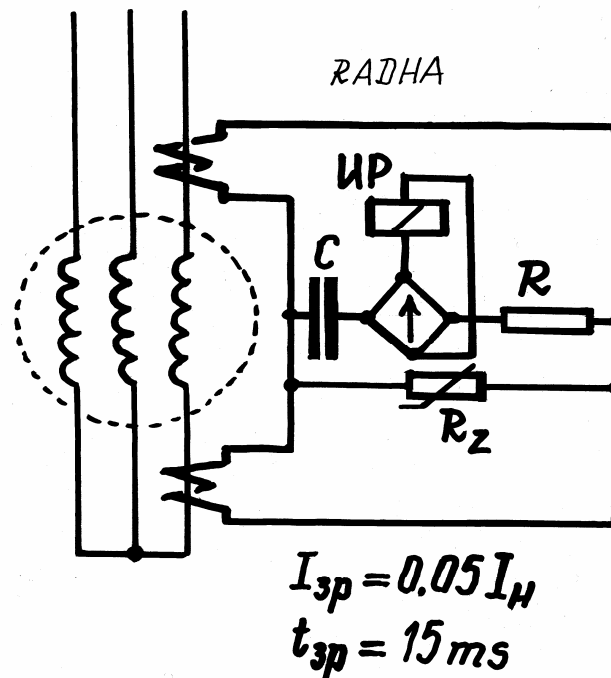
- поява на високо напрежение в токовите вериги при вътрешни къси съединения;
- специални изисквания към токови трансформатори (необходими са отделни ядра).

Използването на високоомната схема е целесъобразно където:

- токовете на къси съединения са сравнително ниски;
- определянето на мястото на късото съединение е изключително важно.

Такива са случаите при компенсационните реактори с въздушни сърцевини и при земни съединения при трансформаторите, които са заземени през съпротивление. При определени обстоятелства, директно заземените трансформатори също биха могли да бъдат защитени.

“Високоимпедансни” защиты за генератори [1]



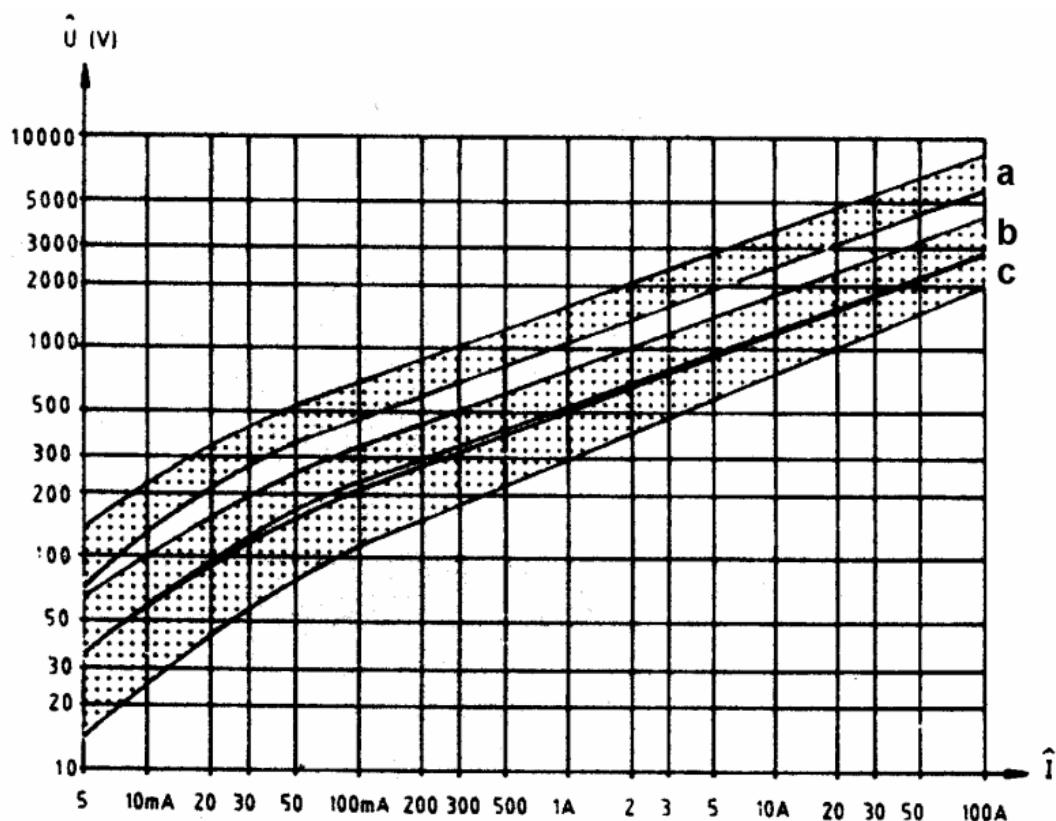
Фиг. 16. Схема на надлъжна диференциална защита на генератор тип РАДНА (АВВ);
R – линеен резистор; R_2 – нелинеен резистор; ИР – изходно реле [1, стр. 89]

Фиг. 16 се отнася за високочувствителна защита с голямо съпротивление в диференциалната верига, която осигурява сигурно отстройване от небалансирания ток при преходен режим.

При външно к.с. напрежението на релето на повредената фаза е малко, небалансираният ток в релето е малък и изходното реле е сигурно отстроено благодарение на голямото вътрешно съпротивление на защитата и наличието на резистора R .

Освен това в схемата е предвиден кондензатор C , който не пропуска в релето ИР апериодична компонента в диференциалния ток.

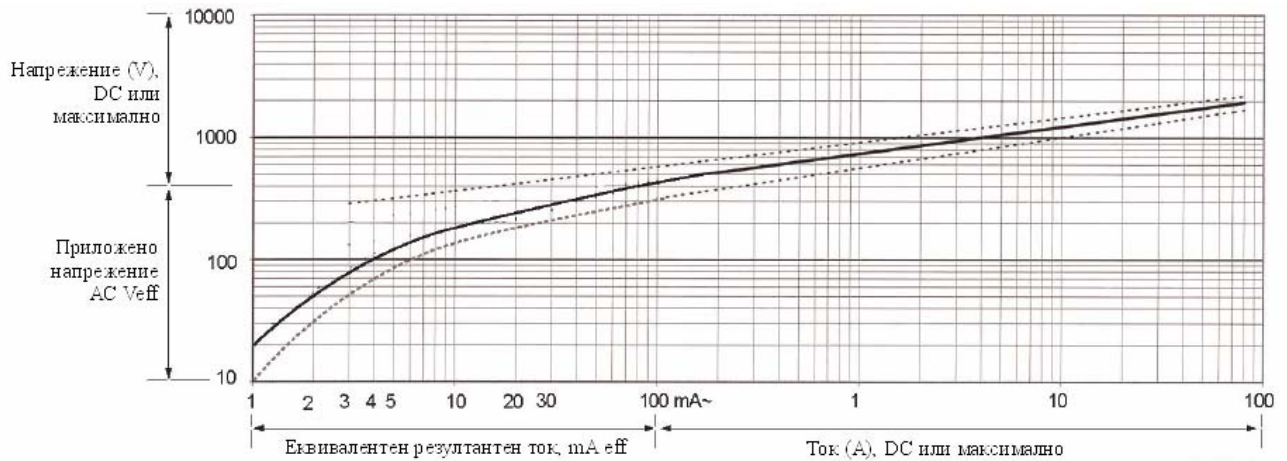
Токът на заработване на защитата е не повече от $0.05I_n$ на генератора. Времето на заработване е около 15ms при ток, равен на двукратния ток на заработване $I_{зп}$ [1, стр. 89].



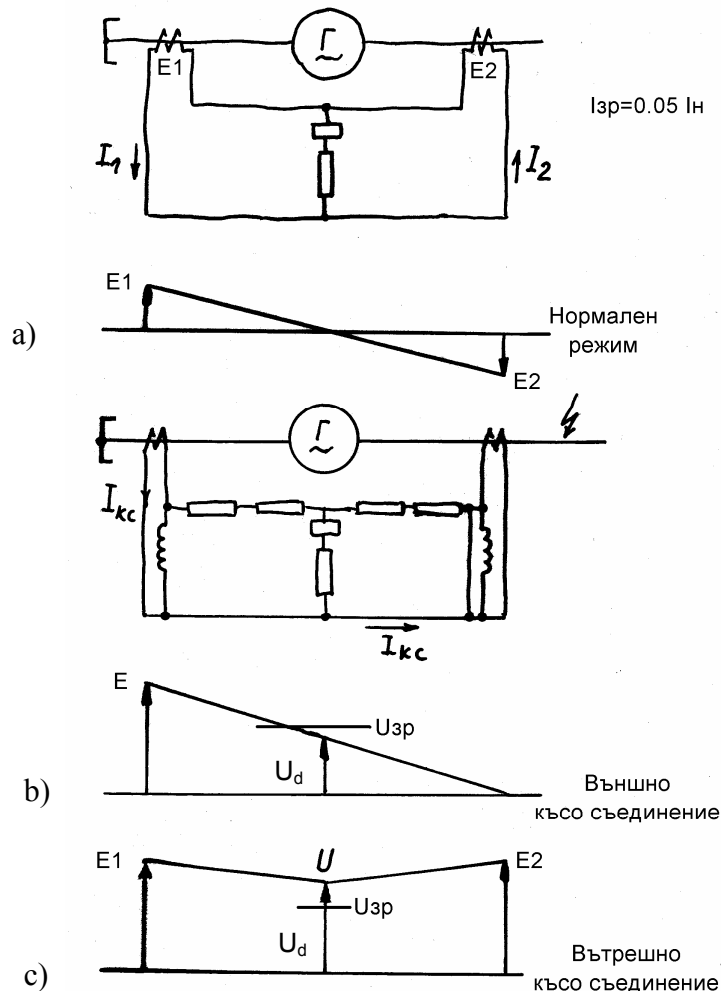
Фиг. 17. Характеристика „напрежение-ток“ на нелинейния резистор R_z . Зависимостта е между максималните стойности на напрежението $\hat{U}[\text{V}]$ и тока $\hat{I}[\text{A}]$ – варианти a, b и c

Нелинейните резистори се прилагат против пиковите напрежения при насищане. Напрежението на заработване на „високоимпедансното“ реле се избира така, че да не води до заработване при външно к.с. При вътрешно к.с. напрежението на релето се повишава и то заработва сигурно. При повишеното напрежение нелинейният резистор R_z намалява стойността си и понижава напрежението на релето и на изолацията на токовата верига до допустимо ниво.

Друг начин за представяне на характеристиката „напрежение-ток“ на нелинейния резистор е представен на фиг. 18.



Фиг. 18. Характеристика „напрежение-ток” на нелинейния резистор. В обхвата 10-200 V и честота 50 Hz максималният ток е приблизително 1-30 mA.



Фиг. 19. Диаграма на ефективните стойности на напреженията E1 и E2 на вторичната страна на ТТ, на напрежението на зареждане $U_{зр}$ и на диференциалното напрежение U_d

a) нормален режим, b) външно к.с., СТ₂ е напълно наситен, напрежението $E_2 = 0$, c) вътрешно к.с.

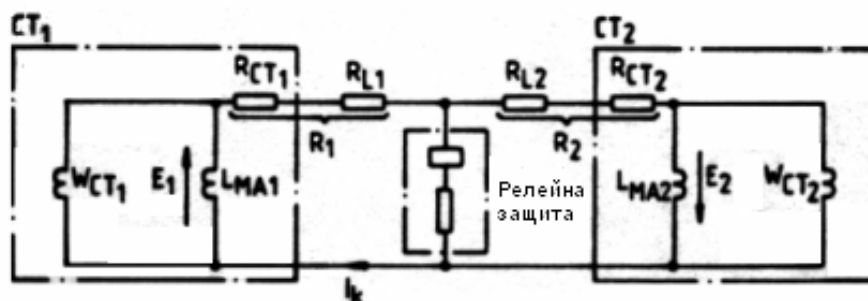
Принципът на работа на диференциалното реле е показан на фиг. 19. По време на нормална работа на защитавания генератор ефективните стойности на напреженията E_1 и E_2 , индуктирани в ТТ са еднакви и противоположни. Веригата е симетрична и напрежението на мястото на релето U_d е нула (фиг. 19а). В случай на насищане на ТТ по времена външно к.с. ще се появи напрежение върху релето. Това напрежение ще достигне максимална стойност, ако един от ТТ, например CT_2 се насити напълно, а другият ТТ (CT_1) не е засегнат от насищането (фиг. 19b). Импедансът на намагнитване L_{MA2} на наситения ТТ се приема, че е станал нула, което отговаря на к.с. на този клон според опростената схема на защитата от фиг. 20.

Тъй като импедансът на веригата на релето е много по-голям от комбинираното вторично активно съпротивление на вторичната верига R_2 , токът I_k ще премине през вторичната намотка на наситения ТТ. От това следва, че максималното напрежение U_d , което ще падне върху веригата на релето при външна повреда ще бъде равно на напрежителния пад $I_k \cdot R_2$ (фиг. 19b).

Не е възможно да се случи единият ТТ да е напълно наситен, когато другият да не е наситен. Когато по-маломощният ТТ започне насищане, релето като товар се прехвърля от по-маломощният към по-мощният ТТ. Опитите и изследването показват, че диференциалното напрежение U_d не може да надмине напрежението $I_k \cdot R_2$.

За да се държи релето еднакво стабилно и при екстремни случаи на преходно насищане на ТТ, напрежението на заработване на релето U_s се избира равно или по-високо от напрежението $I_k \cdot R_2$. В този случай изчислението се прави с по-голямата стойност от R_{CT} и R_L за всеки от ТТ и свързващите проводниците.

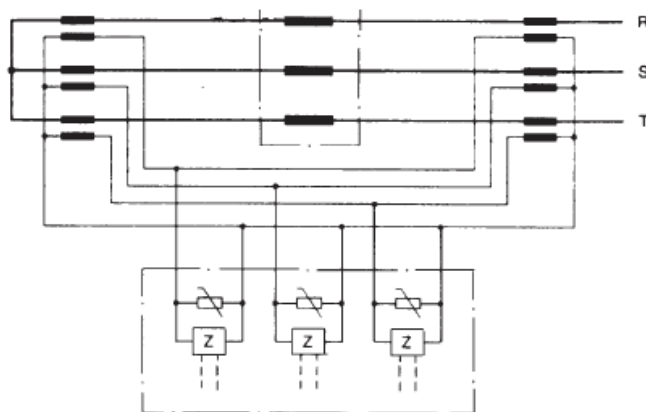
В случай на вътрешно к.с. и двата ТТ прокарват ток през диференциалното реле. Напрежението U_d става високо и релето се пуска и изключва (фиг. 19c).



Фиг. 20. Опростена схема на токовите трансформатори и диференциалната защитата

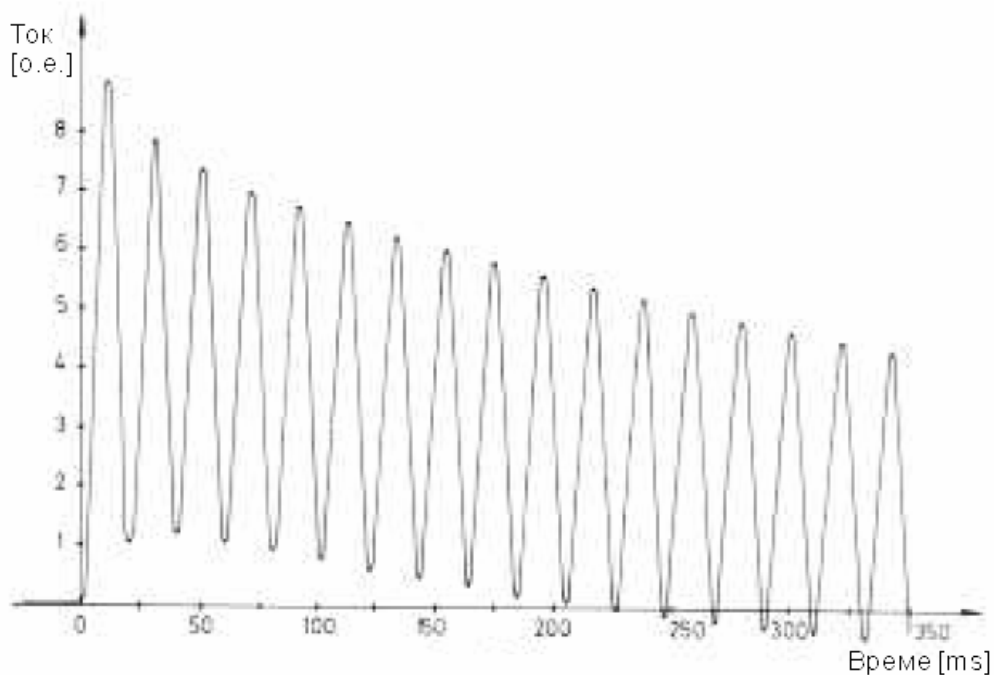
CT	Токъв трансформатор
R_{CT}	Активно съпротивление на вторична намотка на токов трансформатор
L_{MA}	Индуктивност на намагнитването (клони към нула, когато ТТ е наситен)
W_{CT}	Вторични намотки, които могат да се разглеждат като идеален източник на ток, т.е. като безкрайно голям вътрешен импеданс, когато ТТ е напълно наситен.
I_k	Максимален вторичен ток при външно к.с. (ефективна стойност). За РАДНА като генераторна защита токът I_k се изчислява чрез преходния реактанс на генератора.
R_L	Най-високата стойност на активното съпротивление на съединителните проводници до диференциалното реле
I_p	Първичен работен ток = $n_1 \cdot (I_r + I_m + I_{res})$, където n_1 е преводното отношение на ТТ, I_r – ток на заработване на релето, I_m – сума на намагнитващите токове на токовите трансформатори при настроената стойност на напрежението U_s ,

U	Най-голямото напрежение (ефективна стойност) върху диференциалната верига при външна повреда
U_s	Настроена стойност
	Защитата има сигнално реле А, което се настройва на 30mA или на 3% за едноамперов ТТ. Около 5 s след заработване на релето А изключвателните вериги се изключват, а диференциалната верига се шунтира от едно самозадържащо се помощно реле. Възвръща се ръчно. Времето за откриване на к.с. е 1-3ms, а до изключване се стига след 8-13ms.

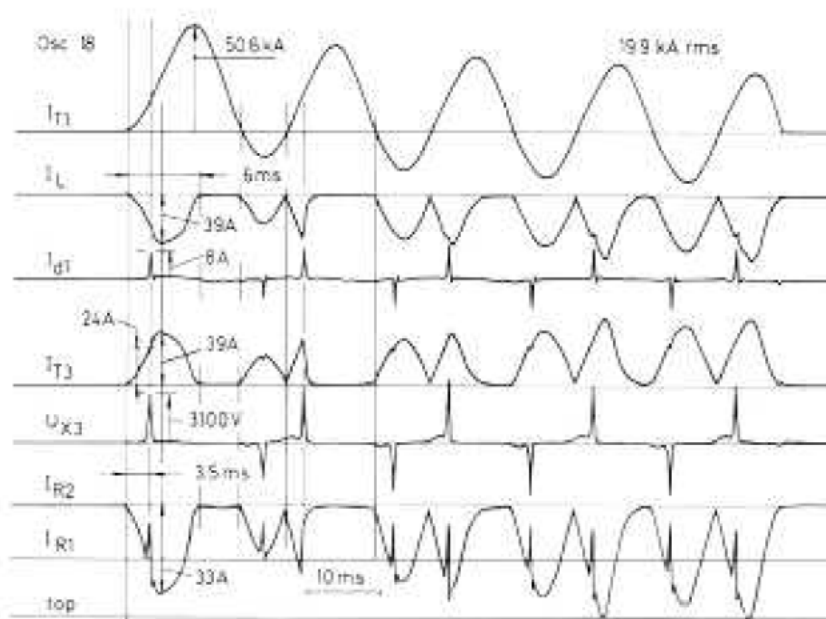


Фиг. 21. Принципно приложение на „високоимпедансно” реле за генератор

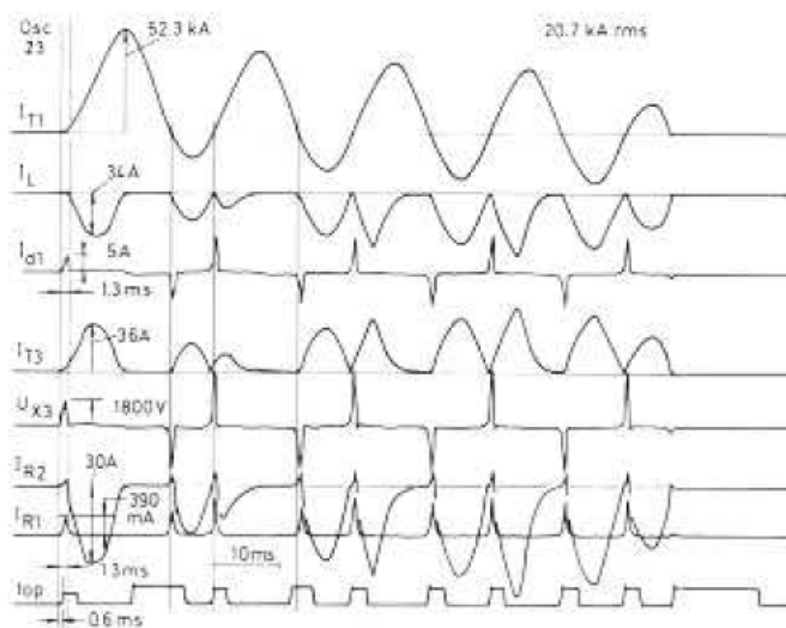
Време-диаграми на работата на „високоомна” диференциална защита на голям синхронен генератор[5]



Фиг. 22. Ток на трифазно к.с. на синхронен генератор с параметри: $S = 680 \text{ MVA}$; $X''_d = 0.2$; $X'_d = 0.32$; $X_d = 2.07$; $T_a = 330 \text{ ms}$



Фиг. 23. Външно к.с. Активно съпротивление във вторичната страна на ТТ $R_{X2} = 20 \Omega$. Защитата не заработва. На оста за сигнала за заработване топ няма сигнали.



Фиг. 24. Вътрешно к.с. Пусковото и диференциалното реле работват общо за 0.6 ms (top = 0=6 ms). Изходното помощно реле работва 3.5 ms по-късно.

Литература:

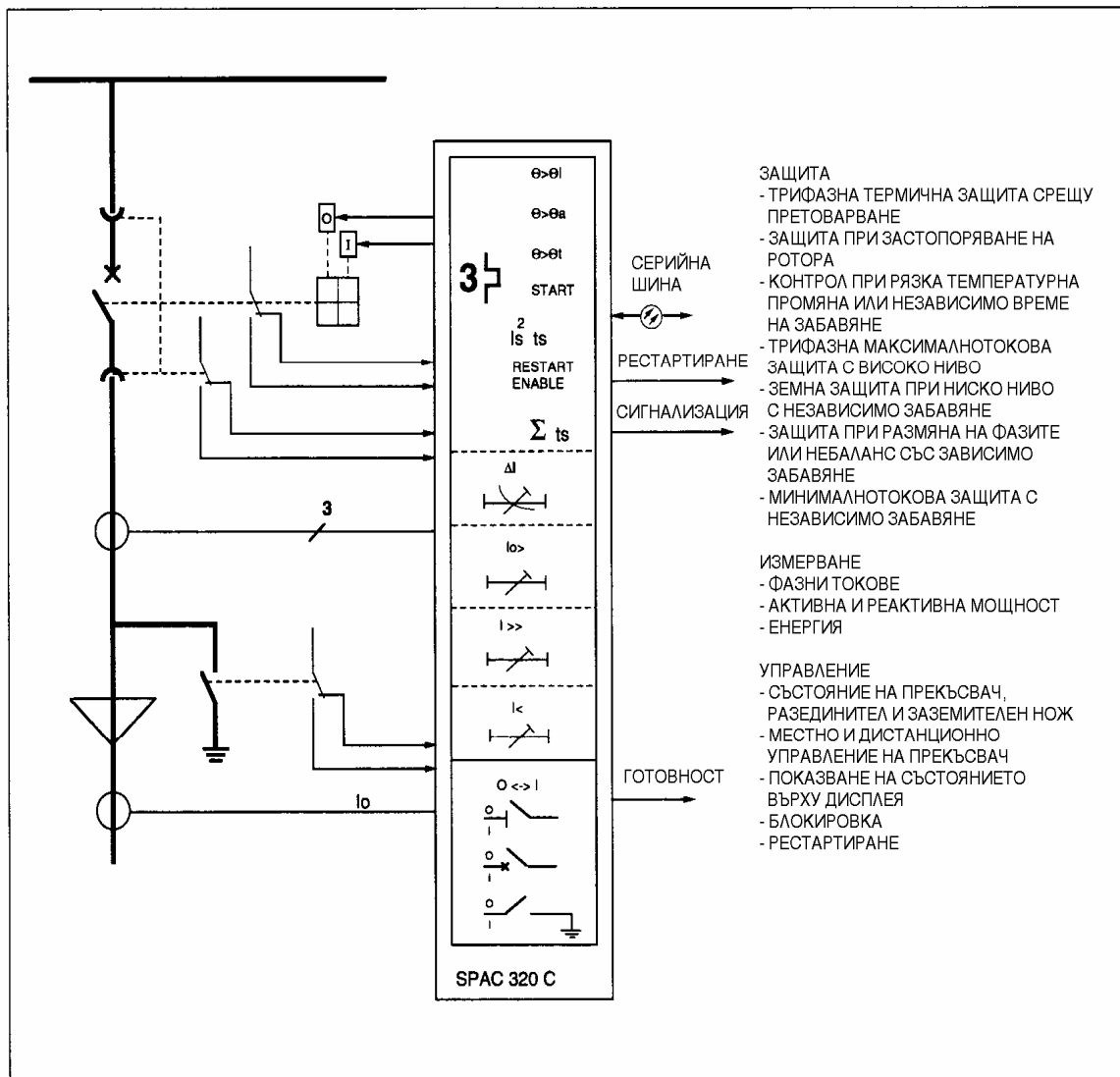
1. Вавин В. Н. Релейная защита блоков турбогенератор-трансформатор. М., Энергоатомиздат, 1982
2. Витанов А., Н. Златоустов, З. Попов, С. Вичев. Полупроводникови релейни защиты. Техника, София, 1975
3. ABB. RADHA. High-impedance three-phase differential relay. User's Guide. May 1986
4. ABB. REG 316. Numerical generator protection. User's Guide. February 2002
5. Forford T. (ASEA Relay Division, Västerås, Sweden) High speed differential protection for large generators. IEE conference on Developments in Power System Protection, London, 10-12 June, 1980

21. Защита на мощни асинхронни двигатели.

Пример: Двигателен защитен релеен модул SPCJ 4D34 (ABB)

Комплектната двигателна защита SPAC 320 C съдържа пет модула. Техните функции са показани в следната таблица.

Модул	Функция
Двигателен защитен релеен модул SPCJ 4D34.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Защита от термично претоварване; ▪ максималнотокова защита; ▪ самоконтрол при пускане; ▪ токова отсечка; ▪ максималнотокова защита за тока в неутралата; ▪ несиметрия на фазите; ▪ минималнотокова защита ▪ брояч, забраняващ известно време пускането.
Управляващ модул SPTO 1D5.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Чете и отчита местно и дистанционно данни за състоянието на 1 ÷ 3 разединителя или прекъсвача. ▪ Чете и отчита местно и дистанционно най-много шест външни бинарни сигнала ▪ Измерва и показва местно и дистанционно трите фазни тока, активната и реактивната мощност и енергия. ▪ Формира местно и дистанционно командите включване и изключване за един прекъсвач.
Входно-изходен (I/O) модул SPTR 3B12 или SPTR 3B13.	Включва 12 оптични бинарни входа, изключващи и включващи изходни контакти и IRF сигнален контакт (сигнален контакт на общото реле за вътрешни повреди).
Модул за оперативно напрежение SPGU 240A1 или SPGU 48B2.	Формира вътрешните захранващи напрежения, необходими на останалите модули.
Модул за входовете от измервателните трансформатори.	Включва съгласуващи трансформатори и проверяваща електроника за трите фазни тока и за тока в неутралата. Включва дънна платка с три сигнализиращи изходни контакта; изходен контакт, позволяващ рестартиране и електрониката за милиамперните входове.



Фиг. 1. Основни функции на комплекта за защита на двигател SPAC 320 C.

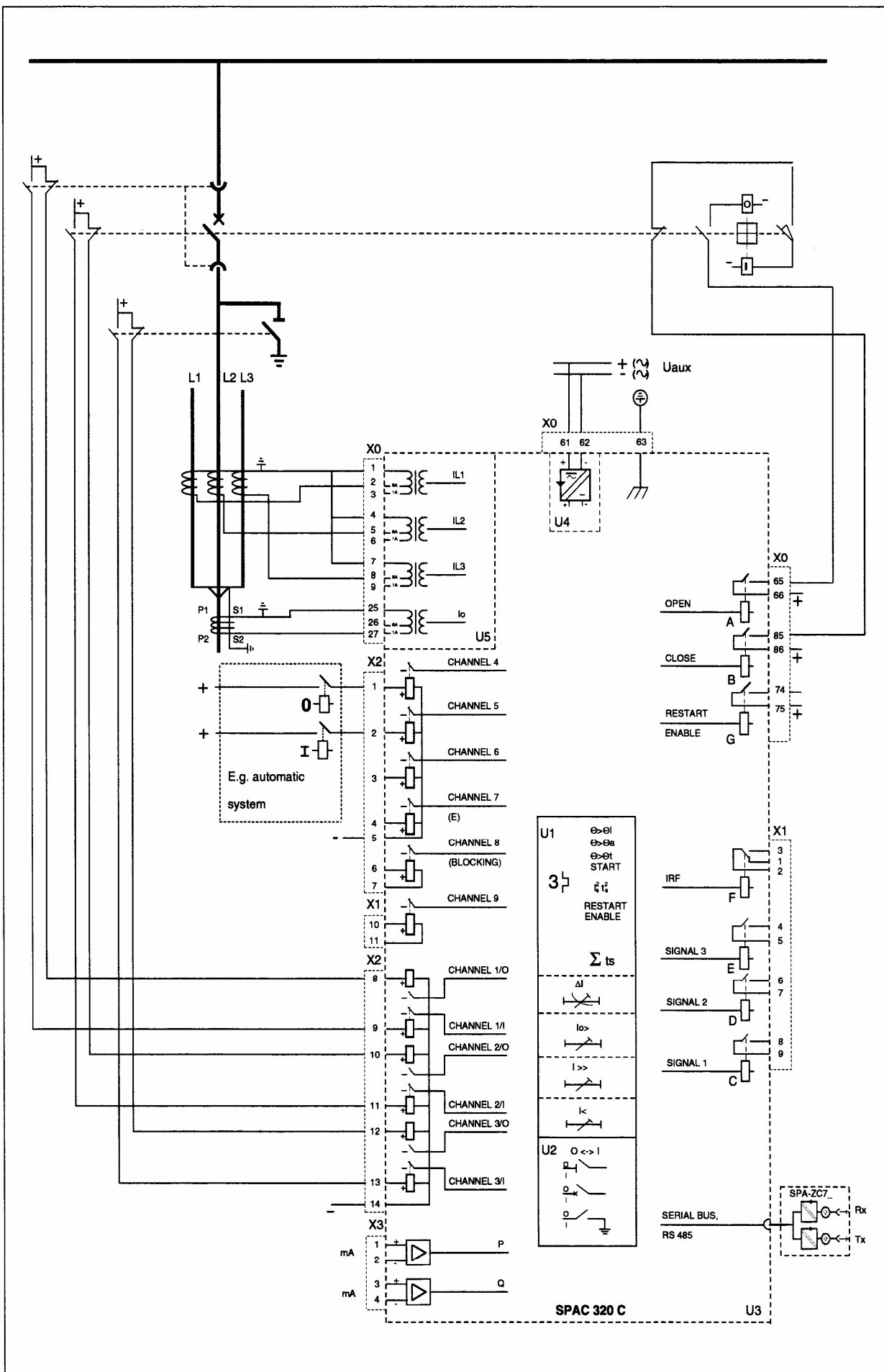
Управляващи функции

Общи сведения

Управляващият модул SPTO 1D5 се използва за четене на информация за състоянието на прекъсвачи и разединители. Модулът показва състоянието местно, чрез светодиодни индикатори и пренася информацията до по-високо ниво на оборудването през SPA шината. Може да бъде отчитано състоянието най-много на три обекта.

Управляващият модул се използва също за управление на един обект, например прекъсвач, местно чрез натискане на бутони на челния панел или чрез дистанционно управление с управляващи команди, получени по SPA-шината.

Освен информация за състоянието, модулът за управление може да чете други бинарни данни, да показва информацията местно и да я пренася до по-високи нива. Към двигателния защитен комплект могат да бъдат подадени най-много шест външни бинарни сигнала.



Фиг. 2. Схема на свързване на двигателния защитен комплект SPAC 320 C.

Защитаваният двигател се управлява от прекъсвач (за контактор има други схеми). Информацията, получена на входовете управлява пускането на двигателя в съответствие с определена блокираща

програма.

Характеристики

Термична защита срещу претоварване с обхват на настройката, по отношение на номиналния ток на двигателя, в границите $0,5 \dots 1,50 \times I_n$ и с настройка на допустимото време на работа при застопорен ротор в интервала $2 \dots 120$ s. Също така се характеризира с предупредителна сигнализация и забрана на рестартирането, намалено охлаждане при престой (спиране; празен ход) и други.

Токова отсечка TO I>> с интервал на настройване $0,5 \dots 20 \times I_n$ и с независима характеристика с настройка на времето в интервала $0,04 \dots 30$ s. ТО може да се изведе от употреба чрез ключе.

Чувствителна непосочна земна защита 33 Io> за тока на неутралата с обхват на настройка $1,0 \dots 100\% I_n$, с независима базова характеристика с обхват на настройка на времето на заработване $0,05 \dots 30$ s

Защита срещу несиметрия на фазите с обхват на настройка $10 \dots 40\% I_L$, изцяло ориентирана към тока на товара и зависима характеристика с настройка на базовото време в интервала $20 \dots 120$ s

Отделна **защита срещу неправилна последователност на фазите** с време на заработване 600 ms

Блок за контрол при пускането, работещ на основата на независима максималнотокова характеристика или отчитане на термичното състояние с управляващ вход за сигнал от датчик за скоростта (ключе за скоростта) на двигателя

Минималнотокова защита, например за защита на конвейери или на задвижването на потопяеми помпи

Брояч с натрупване на времето при пускане, защитаващ при твърде чести опити за пускане на двигателя

Цифров дисплей на измерените и настроените стойности и поредица от данни, записани в момента на изключване. Всички настройки могат да бъдат нагласени чрез използване на бутоните от лицевата плоча, използване на персонален компютър или чрез серийната връзка

Продължително самонаблюдение, обхващащо хардуера и софтуера. При трайна повреда изходното реле за самонаблюдение работва, а останалите изходни релета са блокирани.

Описание на защитите

Термична защита при претоварване

Термичната защита при претоварване е подходяща за двигатели при променливи условия на натоварване. Нагряването на двигателя се изменя по експоненциална крива, която е определена от квадрата на товарния ток. Стойностите на заработване на термичната защита са дефинирани чрез две настройки на релето. **Токът при пълно натоварване** (Full Load Current) отговаря на настройка I_θ и дава термичното ниво на заработване на защитата, а настройката на времето t_{6x} определя времето на заработване. Настройката t_{6x} представлява времето на заработване на термичната защита при шест пъти токът при пълно натоварване FLC, ако се започне от студено състояние на двигателя.

Термичната защита съдържа две различни термични криви: едната, описва кратките и продължителни претоварвания и осъществява изключване и втора крива, информираща за термичния фон. Тегловният коефициент p определя стръмността на термичните криви и се настройва между 20% и 100%. За двигатели с директно (“on-line”) пускане, имащи характеристики “hot spot”, които отчитат участъците със силно прегряване, безопасният коефициент p обикновено се настройва на 50%. За защита на обекти, без “hot-spot” характеристики, например кабели или двигатели с непряко (“меко”) пускане, се използва настройката $p=100\%$.

Един мултиплексор непрекъснато следи входните сигнали от измервателните трансформатори и избира най-голямата фазна стойност. Докато фазните токове са под настроените ток на пълното натоварване I_θ , релето няма да предизвика изключване. То само следи термичните условия на

двигателя, за да държи сметка за термичната предистория при големи натоварвания. Ако токът превиши продължително с повече от 5% тока на пълното натоварване I_{θ} , след известно време целият термичен капацитет на двигателя ще бъде изразходван. Това зависи от настройката на тока на пълното натоварване I_{θ} , настроеното допустимо време на работа със застопорен ротор и предходното натоварване на двигателя. Когато термичното ниво надвиши настройката на предупредителната сигнализация θ_a , се изпраща сигнал, ако има връзка с изходно реле чрез ключетата SGR1/1 или SGR2/1. Предупредителната сигнализация се показва на дисплея чрез цифра 1. Чрез цифра 2 се показва изключване от претоварване, което се реализира, когато термичното ниво надвиши 100%. Всеки път, когато термичният капацитет достига някакво ниво над настроеното ниво на термична забрана за рестартиране θ_i , изходното реле за разрешаване на рестартиране е блокирано. По този начин се предотвратяват ненужни опити за пускане на двигателя. През времето, в което е забранено рестартирането на дисплея се показва цифрата 3. След това се появяват индикации на другите термични функции.

Работата на термичния блок по различен начин зависи от тегловния коефициент p :

- Когато например $p = 50\%$, термичният блок отчита режима на работа “hot spot” на двигателя и разграничава кратковременните термични натоварвания от дълготрайния предшестваш термичен фон. След като премине краткият период на термично натоварване, например при пускане, термичното ниво доста бързо се понижава, като по този начин се изравнява температурата на горещите петна (hot-spot) с останалата част на двигателя. По този начин двигателят е по-подготвен за следващи пускания. Това може да се види чрез сравняването на “горещата” и “студената” криви, дадени по-долу.
- Когато $p = 100\%$, след тежки условия на товара се получава само бавно понижаване на термичното ниво, съобразно с новото по-ниско ниво на товара. Това прави блокът подходящ за приложения, където не се очаква режим на работа с горещи петна (hot spot), например: двигатели, които се пускат непряко; кабели или подобни обекти, в които не съществуват горещи петна.

Когато токът на двигателя е под 12% от I_{θ} се счита, че двигателят е спрял.

Понижените охлаждащи свойства на двигателя в спряно състояние се вземат под внимание, като времеконстантата на охлаждането е направена по-голяма от тази на нагриването, определена от настройката t_{6x} . Множителят k_c на времеконстантата на загриване, чрез който се получава времеконстантата на охлаждане може да бъде нагласен в интервала от цели числа 1...64.

Състоянието на пускане на двигателя се разпознава чрез изменението на тока. Ако първоначалният ток е по-малък от 12% от I_{θ} , двигателят е в спряно състояние. Пускането започва, когато токът се увеличи за около 60 ms до стойност над $1,5I_{\theta}$. Когато токът спадне под $1,25I_{\theta}$ за време до около 100 ms, пускането завършва. Пусковият брояч увеличава показанието си при всяко пускане и може да отчете до 999 пускания, след което започва да брои отново от нула. Пусковото време е определено като времето, през което токът се намира в границите, споменати преди това. Трябва да се отбележи, че пускането изчиства всички индикатори на лицевата плоча и се изписват новите настройки на запаметените работни величини. Информацията при пускането може да бъде изпратена до изход SS1.

При загуба на оперативно хранване или когато то бъде изключено, релето приема, че двигателят е загрят до ниво, съответстващо на 70% от пълния термичен капацитет на двигателя. Това осигурява при условия на голямо натоварване изключването да се осъществи в рамките на допустимото време. При условия на слабо натоварване, приетото от релето термично състояние на двигателя бавно ще намалява до достигане на действителното ниво, определено от токовете на двигателя.

Блок за контролиране на пускането

Защитата срещу пускане на двигателя при застопорен ротор може да се осъществи по два начина, като избора се осъществява чрез ключето SGF/7:

1. Контролиране на пускането, основано на максималнотокова защита с независима характеристика.

Най-простият начин е да се контролира времето за пускане чрез използването на независима максималнотокова функция. Състоянието на пускане се открива чрез това, че настройката I_S се надвишава, а допустимото време за пускане е настроено на t_S . Неудобството при това настройване е, че максималното допустимо време за пускане е фиксирано и не позволява увеличаване на времето за пускане при условия на работа с понижено захранващо напрежение.

Максималнотоковото стъпало се пуска, ако токът на една или няколко фази надвиши настроената стойност. Ако тази ситуация продължи достатъчно дълго и надвиши настройката на времето на заработване, блокът предизвиква изключване на прекъсвача чрез изпращане на сигнал за изключване. Едновременно с това индикаторът за заработване светва с червена светлина, а на дисплея се появява червена цифра 6. Червеният индикатор за заработване продължава да свети, въпреки, че защитното стъпало се връща. Индикаторите се връщат с бутона RESET.

Интервалът за настройване на тока $I >$ на стъпалото МТЗ е $1,0 \dots 10 \times I_n$. Времето на заработване t_S на МТЗ се настройва в интервала $0,3 \dots 80$ s.

МТЗ е снабдена със самозадържане

2. Контролиране на пускането, основано на пресмятане на термичното натоварване

Настройките I_S и t_S могат да се използват и по още един начин, чрез избиране на режима на работа $I_S^2 \times t_S$ с избиращото ключе SGF/7. В този случай токът I_S се настройва да бъде равен на действителният пусков ток на двигателя, а времето t_S се настройва на нормалното време за пускане на двигателя.

Релето изчислява произведението $I_S^2 \times t_S$, което е равно на сумарното термичното натоварване, получено при нормалното пускане на двигателя. При пускането на двигателя релето непрекъснато измерва пусковия ток, повдига измерената стойност на квадрат и я умножава с изминалото време.

Ако софтуерното ключе SG4/1 е настроено в позиция 1, блокът започва да брои стойността $I_S^2 \times t_S$, веднага щом се надвиши стойността на пусковият ток I_S . Блокът заработва, когато получената стойност от броенето надвиши настроената стойност за $I_S^2 \times t_S$.

Този начин на контролиране на пускането осигурява отчитането на условията при намалено ниво на захранващото напрежение, като се разрешава увеличаване на времето за пускане, докато се надвиши настройката на максималното термичното натоварване.

Интервалът за настройване на пусковия ток на стъпалото е $1,0 \dots 10 \times I_n$. Времето на заработване t_S на МТЗ се настройва в интервала $0,3 \dots 80$ s.

МТЗ е снабдена със самозадържане

3. Контролиране на пускането чрез контактен датчик (ключе) за скоростта на двигателя

За някои двигатели тип ExE безопасното време за работа в режим на застопорен ротор е по-малко от нормалното време за пускане на двигателя. В този случай е необходим контактен датчик (ключе) за скоростта на вала на двигателя, който да дава информация за това, дали при пускането двигателят започва да се развърта или не. Информацията от ключето за скорост се насочва към управляващите входни клеми 10 и 11 на релето. При активирането на управляващите входове се забранява отчитането на независимото време или сумирането на термично натоварване, извършвани от блока за контролиране на пускането на двигателя.

Токова отсечка ТО

Токовата отсечка се пуска, ако токът на една или няколко фази надвиши настроената стойност.

Когато стъпалото се пусне то създава пусков сигнал. Ако тази ситуация продължи достатъчно дълго и надвиши настройката на времето на заработване, блокът изпраща сигнал за изключване и прекъсвачът се изключва. Едновременно с това индикаторът за заработване светва с червена светлина.

Интервалът за настройване на пусковия ток $I_{>>}$ на стъпалото ТО е $0,5 \dots 20 \times I_n$. Времето на заработване $t_{>>}$ на ТО се настройва в интервала $0,04 \dots 30$ s.

ТО е снабдена със самозадържане

На настроената стойност $I_{>>}/I_n$ на стъпалото ТО може да се даде автоматично функцията удвояване, когато защитаваният обект се включва в мрежата, т.е. при пускане. При наличие на функция удвояване, първоначалната настроена стойност на стъпалото ТО може да бъде по-малка от ударния ток при включване. Функцията за автоматично удвояване на настроената стойност се избира с ключето SGF/2. Режимът “пускане” се определя като ситуация, в която фазните токове се увеличават от $0,12 \times I_\theta$ до стойност над $1,5 \times I_\theta$, за по-малко от 60 ms. Режимът “пускане” завършва, когато фазните токове спаднат под $1,25 \times I_\theta$.

Защита при неправилен ред на фазите

Защитата при неправилен ред на фазите се базира на последователността на появяване на положителните полуълни на фазните токове. Ако фазните токове започват в неправилен ред, блокът се пуска и изключва прекъсвачът за по-малко от 1s. Защитата при неправилен ред на фазите може да бъде въведена или изведена чрез ключето SGF/6. След заработване, индикаторите за заработване и изходните релета се държат така, както тези от описаната преди това защита при небаланс на фазите.

Минималнотокова защита

Минималнотоковата защита реагира при внезапно отпадане на товара на агрегата и двигателя. Тя може да се прилага, когато загубата на товара представлява състояние на повреда, например при помпи или конвейери.

Пусковото ниво на защитата е определено от настройката на тока на пълното натоварване I_θ . Ако товарът отпадне, трите фазни тока спадат под настроеното ниво и защитата се пуска. Ако този минималнотоков режим продължи по-дълго време от настроеното време на заработване $t_{<}$, защитата изпраща сигнал и изключва прекъсвача. Едновременно с това индикаторът за заработване светва с червена светлина, а на дисплея се появява червена цифра 8.

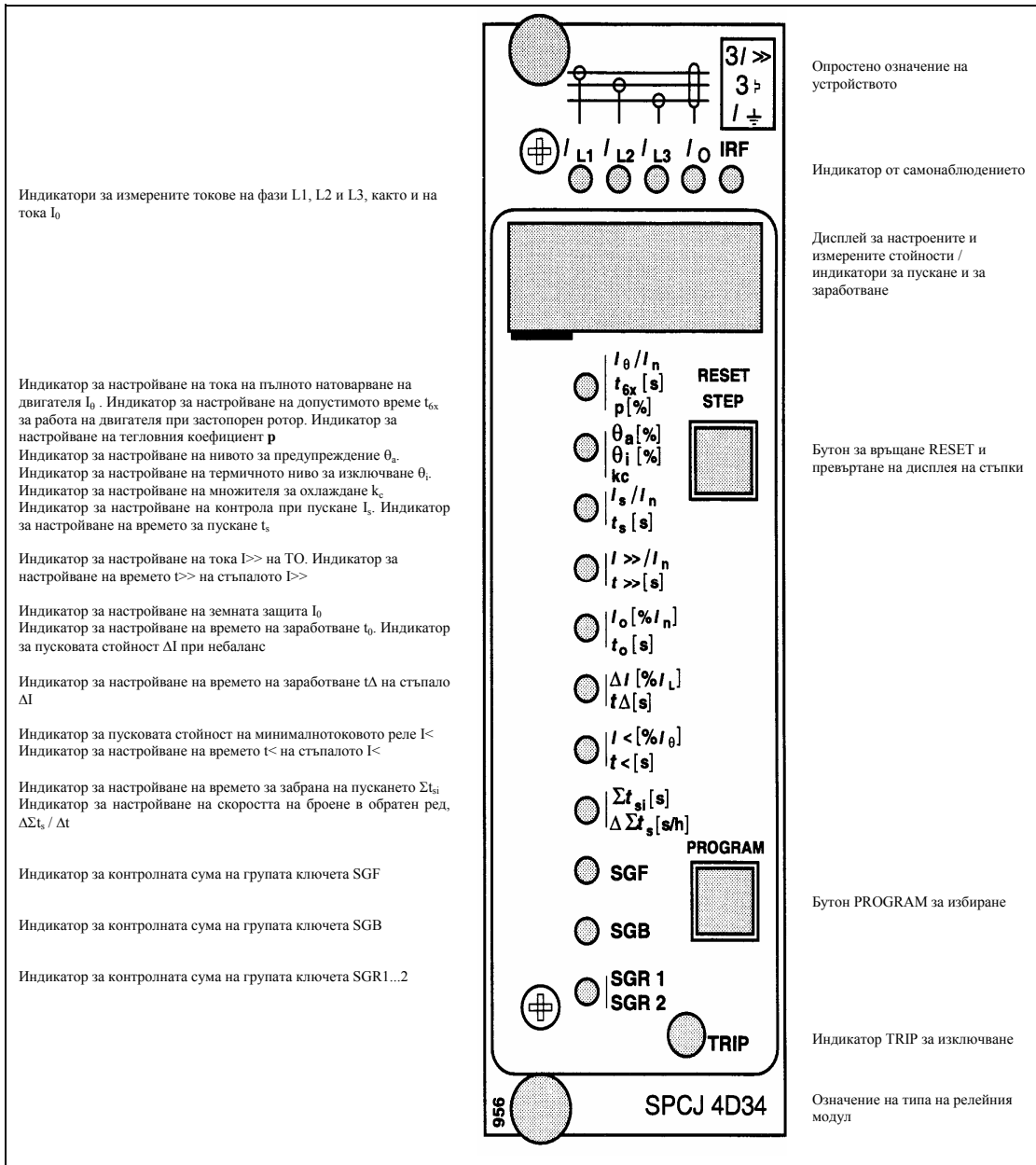
Интервалът за настройване на пусковия ток на стъпалото е $30 \dots 80\% I_\theta$. Времето на заработване $t_{<}$ се настройва в интервала $2,0 \dots 600$ s.

За да не се извърши изключване на двигател, който е без захранване, защитата се забранява при нива на тока под 12% от тока на пълното натоварване.

Заработването на защитата при минимален ток е съпроводено със самозадържане

Брояч с натрупване за пусковото време

Всеки път, когато двигателят се пуска, пусковото време се добавя към регистъра Σt_s . Ако съдържанието на регистъра надвиши текущото ниво Σt_{si} , всеки опит за рестартиране на двигателя ще бъде забраняван, защото релето, което разрешава рестартирането ще бъде върнато. Освен максималната сума от натрупаните времена на пускане се настройва и скоростта на връщане, което определя колко бързо съдържанието на регистъра на пускови времена трябва да бъде намалено. Ако производителят на двигателя упоменава например, че могат да бъдат направени най-много три пускания по 60 s за четири часа, то настройката за Σt_{si} трябва да бъде $3 \times 60 = 180$ s и настройката за $\Delta \Sigma t_s = 180 \text{ s} / 4 \text{ h} = 45 \text{ s/h}$.



Индикатори за заработване

Означение	Обяснение
1	$\theta > \theta_a \Rightarrow$ Даден е предупредителен сигнал за термично претоварване
2	$\theta > \theta_t \Rightarrow$ Изключване от термичната защита
3	$\theta > \theta_i, \Sigma t_{si} \Rightarrow$ Термичното ниво, забраняващо рестартиране е надвишено; броячът на пусковото време е пълен или външният забраняващ сигнал е активен
4	$I >> \Rightarrow$ Изключване от стъпалото ТО ($I >>$)
5	$\Delta I \Rightarrow$ Изключване при небаланс / неправилен фазов ред
6	$I_s^2 \cdot t_s \Rightarrow$ Изключване от блока за контролиране на пускането
7	$I_0 \Rightarrow$ Изключване от земна защита
8	$I < \Rightarrow$ Изключване от минималнотокова защита
9	EXT.TRIP \Rightarrow Изключване от външно реле (през разглежданото реле)

Индикаторът за самонаблюдение IRF показва, че системата за самонаблюдение е открила трайна

повреда. Индикаторът светва с червена светлина около 1 min след откриване на повреда. Едновременно с това защитният модул изпраща сигнал до изходното реле на системата за самонаблюдение на защитния блок.

Освен това, в повечето случаи кодът на повреда показва характера на повреда и той се появява на дисплея. Кодът на повреда се състои от червена цифра и зелен кодов номер. Когато възникне повреда е необходимо да се запише кодът на повреда и да се съобщи при осъществяване на ремонта в сервиз.

Настройване на релето

Настройка	Параметър	Обхват за настройване
I_{θ}	Ток на пълното натоварване I_{θ} , кратен на номиналния ток на релето I_n . Изключването ще се осъществи, ако токът надвиши настроената стойност с повече от 5% за продължително време	0,50...1,50x I_n
t_{6x}	Максимално допустимо време на работа при застопорен ротор, т.е. време на заработване в секунди за студен двигател при ток, равен на шест пъти токът на пълното натоварване I_{θ}	2,0...120 s
p	Тегловен коефициент за термичните криви на устройството	20...100% (50%)
θ_a	Ниво за предупреждаване при доближаване на термичното ниво в % от нивото на изключване	50...100% от нивото на изключване
θ_i	Ниво, забраняващо рестартирането при състояние на термично претоварване в % от нивото на изключване	20...80% от нивото на изключване
k_c	Редуциращ фактор на охлаждането за двигател в спряло състояние, сравнен с топлинната константа	1...64x времеконст. на замяване
I_s	Настройка на пусковия ток на двигателя, като кратен на номиналния ток на релето I_n	1,0...10,0x I_n
t_s	Настройка на пусковото време на двигателя в секунди *)	0,3...80 s (2 s)
$I_{>>}$	Настройка на ТО, като кратна на номиналния ток на релето I_n	0,5...20x I_n и ∞
$t_{>>}$	Време на заработване на ТО ($I_{>>}$) в секунди	0,04...30 s
I_0	Настройка на пусковия ток I_0 на 33 в % от номиналния ток на релето I_n	1,0...100% I_n
t_0	Време на заработване на 33	0,05...30 s
ΔI	Настройка ΔI на защитата при небаланс в % от най-големия фазен ток	10...40% I_L и ∞
t_{Δ}	Време на заработване на пусковото ниво в секунди, зависи от характеристиката. Време на заработване на токовата защита при неправилна последователност на фазите	20...120 s < 1 s
$I_{<}$	Пускова стойност за минималнотоковата защита в % от тока на пълното натоварване на двигателя	30...80% I_{θ} и изключен
$t_{<}$	Време на заработване на минималнотоковата защита в секунди	2...600 s
Σt_{si}	Настройка в секунди на брояча, основан на измерване на времето и забраняващ рестартирането *)	5...500 s
$\Delta \Sigma t_s$	Скорост на броене в обратна посока на брояча за пусковото време, зададена в s/h	2...250 s/h

*) Пускането е определено като режим, в който фазните токове надвишават нивото $1,5xI_{\theta}$ за по-малко от 60 ms спрямо спрялото състояние на двигателя, когато $I_{<} < 0,12xI_{\theta}$. Пускането завършва, когато фазните токове спаднат под $1,25xI_{\theta}$. За защитния блок срещу пускане при застопорен ротор отчитането на времето се спира, когато ключето за скоростта смени състоянието си (ако се използва такова ключе). В този случай настройката на пусковото време t_s е за предпочитане да

бъде равна на разрешеното време за блокиране поради загуба на скорост на двигателя t_e . (limited permitted stall time t_e).

Литература:

1. АBB. SPAC 320 С. Релейна защита за двигател. Инструкция за експлоатация и техническо описание.

22. Видове смущения. Източници на смущения и пренапрежения в релейните защиты

Смущенията са случайни въздействия, които изкривяват предавания сигнал. Ако смущението не е случайно, а постоянно (например, предаването на радиостанциите), от него може да се избавим с помощта на съответни филтри.

22.01. Видове смущения

22.01.01. Въздействието на смущенията върху сигналите могат да бъдат двойки. Ако смущението $\xi(t)$ се натрупва към сигнала $s(t)$ и на входа на приемника действа тяхната сума

$$(22.01.01.1) \quad x(t) = \xi(t) + s(t),$$

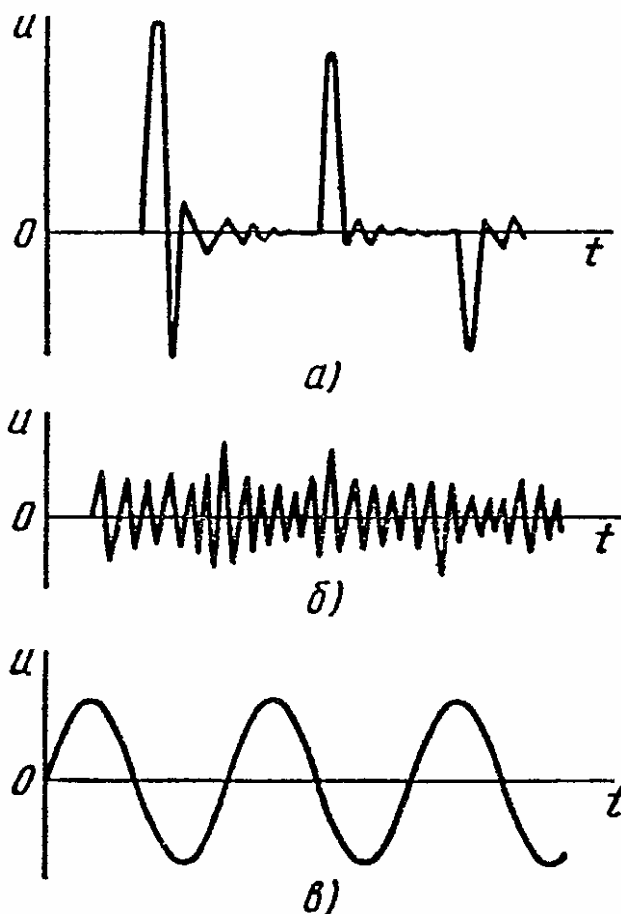
то такова смущение се наричат **адитивно**. Ако резултантният сигнал е равен на произведението на смущението и предавания сигнал

$$(22.01.01.2) \quad x(t) = \xi(t) \cdot s(t),$$

то смущението се нарича **мултипликативно**.

Мултипликативните смущения се причиняват от редица причини, основните от които са изменението на характеристиките на линията за връзка, коефициентите на усилване на схемите при колебание на захранващото напрежение и затихването на сигнала на радиовръзката.

Доколкото преобладаващото болшинство на съобщенията в релейната защита се предават по линии за връзка, съставени от проводници, които са линейни електрически вериги, то в тях мултипликативни смущения не възникват.



Фиг. 22.01.01.1. Типове адитивни смущения: а) импулсни, б) флукуационни, в) хармонични

22.01.02. Разглеждат се само адитивните смущения.

Тяхната класификация е следната:

22.01.02.1. Типове адитивни смущения:

- Импулсни (фиг. 22.01.01.1а)
- Флукуационни (фиг. 22.01.01.1б)
- Хармонични (фиг. 22.01.01.1в)

Импулсните смущения представляват поредица от случайни разнополярни импулси, интервалът между които е достатъчен за затихване на преходните процеси в преходното устройство. В общия случай импулсните смущения са последователни импулси със случайна амплитуда, продължителност и момент на появяване на отделните импулси.

Флукуационните смущения (наричат се още гладки смущения или шумове) имат вид на непрекъснато случайно изменящо се колебание, нямат постоянна съставка. Техни основни характеристики са мощността на смущението, закона на разпределение на амплитудата (най-често нормален закон на разпределение - вероятността амплитудата да превиши утроената ефективна стойност на напрежението е малка) и вида на енергийния спектър.

Принципна разлика между импулсните и флукуационните смущения няма. Тя се проявява при възприемането им в зависимост от пропускателната честотна лента на устройството и ще стигнат ли (или не) импулсните смущения до наслагване на преходните процеси.

Ако по линията за връзка честотата на спектъра на смущенията е равномерен, то ефективната стойност на напрежението U на флукуационните смущения на входа на приемното устройство е пропорционална на квадратния корен от лентата на пропускане на устройството ΔF , т.е. на $\sqrt{\Delta F}$. Мощността P е право пропорционална на лентата ΔF . При импулсните смущения и мощността P и напрежението U на смущенията са пропорционални на лентата на пропускане ΔF .

Флукуационни смущения	Импулсни смущения
$U \equiv \sqrt{\Delta F}$	$U \equiv \Delta F$
$P \equiv \Delta F$	$P \equiv \Delta F$

По този начин, ако се намали например четири пъти ефективната стойност на напрежението U на флукуационните смущения, то лентата ΔF се намалява два пъти, а при импулсните - четири пъти.

Може да се отбележи, че едни и същи смущения могат да се възприемат от едно устройство с тясна пропускателна лента като флукуационни, а от устройство с широка - като импулсни.

Енергийният спектър на смущенията се дефинира като мощност, функция на честота по протежение на цялата честотна лента. Така смущенията от вида "бял шум" имат равномерен спектър, т.е. спектралната плътност не зависи от честотата в границите на честотната лента на канала. При равномерния енергиен спектър се въвежда понятието *специфична мощност на смущението*, отнесена към лента от 1 Hz.

22.01.02.2. Според източника адитивните смущения биват:

- Вътрешни
 - Топлинни
 - Дробов ефект

Топлинните смущения са вътрешни и възникват във веригите на проводниците и резисторите от безпорядъчното движение на свободните електрони.

Характерен за постояннотоковите вериги е "*дробовият ефект*". Той се изразява във флукуации на средната стойност на тока, предизвикан от дискретния характер на носителите на заряди - йони и електрони. Проявява се в електронните лампи и полупроводниковите

елементи и схеми, като в тях токът, който трябва да бъде постоянен флукутира спрямо средната стойност.

Вътрешните шумове съществуват непрекъснато и са източник на флукутоационни смущения, които по тази причина са неотстраними и трябва единствено да се води борба за тяхното ограничаване. Флукутоационни смущения създават също местата на свързване на отделните участъци на веригите заради термичните ефекти и галваническите взаимодействия. (Сравнение може да се направи между електромеханичните релета, ламповите схеми, транзистори, интегрални схеми, микропроцесори и едночипови микроконтролери.)

➤ Външни

- Промислени (изкуствени)
- Атмосферни (естествени)
- От прекръстосване на кабели
- Космически

Промислените смущения се създават от различни устройства: електрически транспорт, електрозаварки, системите на запалване на автомобилите, електромедицинското оборудване, луминисцентните лампи, колекторните домакински уреди (електрически шевни машини) и др. Основната причина за тези смущения е искренето при комутация. Смущения създават и електропроводите, които при липса на екрани представляват подобие на рода антени.

Промислените смущения могат да имат или импулсен, или флукутоационен характер. Те проникват в телемеханичните устройства през антените, веригите за оперативно захранване, капацитивните и индуктивните връзки. На въздушните свързочни линии смущения се индуцират от електропроводите високо напрежение. Източници на смущения се явяват също и устройствата за заземяване на металните брони на кабелите, в които възниква напрежение от блуждаещите токове, когато "земята" се използва като обратен проводник (пример за трамвайните и ж.п. релси).

Атмосферните смущения се причиняват от електрическите заряди в атмосферата. Мълниите създават токови разряди от десетки хиляди ампери, а смущенията от тях имат импулсен характер. Обаче за даден период, ако броят на буреностните разряди за единица време е голям и приемното устройство реагира на достатъчно отдалечени разряди, смущенията на изхода на теснолентовите приемни устройства могат да имат флукутоационен характер.

Основната енергия на промислените и атмосферни смущения има нискочестотен диапазон на вълните. С увеличаване на честотата нивото на тези смущения пада.

Други външни смущения, които се проявяват само в многоканалните устройства на телемеханиката, това са така наречените *смущения от прекръстосване на кабели*. При изменение на сигналите в различните канали на многоканалните системи с честотно разделяне на сигналите поради неидеалните характеристики на филтрите се наблюдават взаимни смущения, предизвикващи преходни изкривявания. Ако броят на каналите е достатъчно голям, а изменението на сигналите в различните канали е независимо, то смущенията от прекръстосване по своя характер се приближават до флукутоационните. Аналогично взаимно влияние се наблюдава и при системите с разделяне на сигналите по време. В тези системи смущения от прекръстосване възникват поради относително дългите преходни процеси. Преходните процеси в електрическите вериги на приемните устройства, предизвикани от предшестващите сигнали, се наслаgват върху последвалите сигнали и предизвикват тяхното изкривяване.

Интензивността и характера на смущенията зависят от типа на линията за връзка, диапазона от честотите и условията за предаване. Силни смущения се индуцират във въздушните линии за връзка, които като антени улавят смущенията, създадени от буреностните разряди, промислените устройства, радиостанциите, високоволтните електропроводи и т.н.

Смущения от такъв род и от същите източници се проявяват и при радиовръзките. Освен това, тук възникват и изкривявания на сигналите от затихване на радиовълните и от многократното отражение на сигналите. При предаване на вълни в сантиметровия диапазон имат значения и *смущения от космически произход* и от *вътрешни шумове* в приемащото

устройство. Кабелните линии за връзка се екранират добре и в тях индуктивни смущения практически не постъпват.

22.01.02.03. Други класификации на смущенията

- По вид:
 - спрямо маса
 - между две точки от една и съща верига
- По последствия:
 - предизвикващи повреда на апаратурата
 - предизвикващи откази или излишни действия
- Практическо деление:
 - пренапрежения - високочестотни; спрямо "земя"; предизвикват повреди
 - смущения - нискочестотни; или спрямо "земя", или между две точки на една и съща верига; причиняват откази или излишни действия

22.02. Пренапрежения и преходни процеси в първичните вериги ВН

- Вълнови процеси при включване и изключване на празен ход на електропроводи и шинни системи
- Колебателни процеси при паралелно свързване на кондензаторни батерии
- Колебателни процеси при паралелно свързване на зареден капацитивен напрежителен трансформатор към токов трансформатор
- Колебателни процеси при комутиране на индуктивности:
 - >> включване на трансформатори на празен ход
 - >> пренесено насищане при включване на един трансформатор на празен ход при наличие на друг, вече включен трансформатор
 - >> комутиране на шунтов реактор (подстанция "Костинброд" - 400 kV)
- Къси съединения. Форми на тока и напрежението при мрежи средно, високо и свръх-високо напрежения.
- Токове и напрежения при еднофазни земни съединения (режим на неутралата, преходни съпротивления, прекъсващи дъги)

22.03. Пренапрежения и преходни процеси във вторичните вериги НН

- Комутиране на индуктивности
- Повреди в оперативните вериги: къси съединения, земни съединения, прекъсване на автомати, изгаряне на предпазители
- Насищане на трансформатори

22.04. Експериментално изследване на смущенията

- Наблюдения. Регистриране на събитията. Статистика
- Опити. Регистриране на опитите

22.05. Пътища за проникване на смущенията от първичните във вторичните вериги

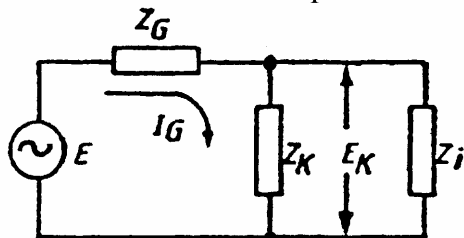
22.05.01. Галванична връзка (conductive coupling)

Първичните и вторичните вериги имат галванична връзка помежду си чрез заземителите. Много от явленията в ЕЕС са свързани с протичане на големи токове през земята (паралелно свързване на капацитети; зарядни токове при включване на кондензаторни батерии; пренапрежения; къси съединения със земя). Те създават потенциали, които са сложно разпределени в заземителната уредба и по пътя на тока през "земя". Значителна част от споменатите токове са кратки токови импулси или високочестотни колебания, за които импеданса на заземителите и на пътя през "земя" е по-голям отколкото при 50 Hz или при постоянен ток и има предимно индуктивен характер. При тези условия напрежението на заземителите и на отделни

точки от земята спрямо точки от апаратурата може да достигне до няколко киловолта, като са измерени до 20 kV.

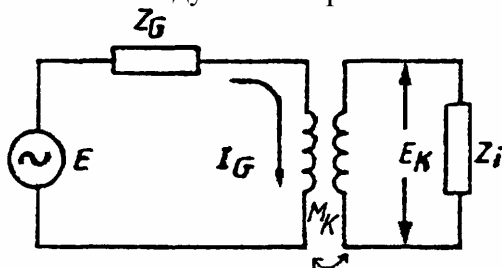
Устройствата от вторичната комутация са заземени понякога в твърде отдалечени точки. Например вторичните намотки на ТТ за заземени в уредбата ВН, а корпусът на даденото реле - в командна зала. Очевидно, че в подобни случаи между проводник в токова верига и кутия на реле може да се появи голяма потенциална разлика.

А. Галванична връзка



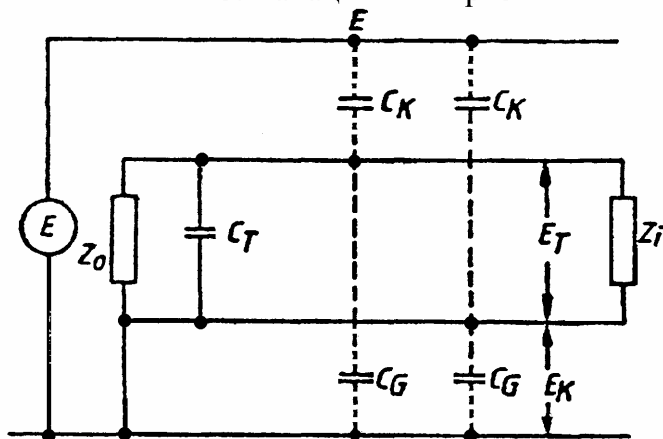
$$Z_i \gg Z_k \rightarrow E_k \approx I_G \cdot Z_k$$

В. Индуктивна връзка



$$E_k \approx -j\omega M_k \cdot I_G$$

С. Капацитивни връзки



1. $Z = \frac{Z_0 \cdot Z_i}{Z_0 + Z_i}$,
 $E_T \approx j\omega \cdot C_k \cdot Z \cdot E$,
2. $E_T \approx E \frac{C_k}{C_T + C_k}$,
3. $E_k \approx E \frac{C_k}{C_k + C_G}$.

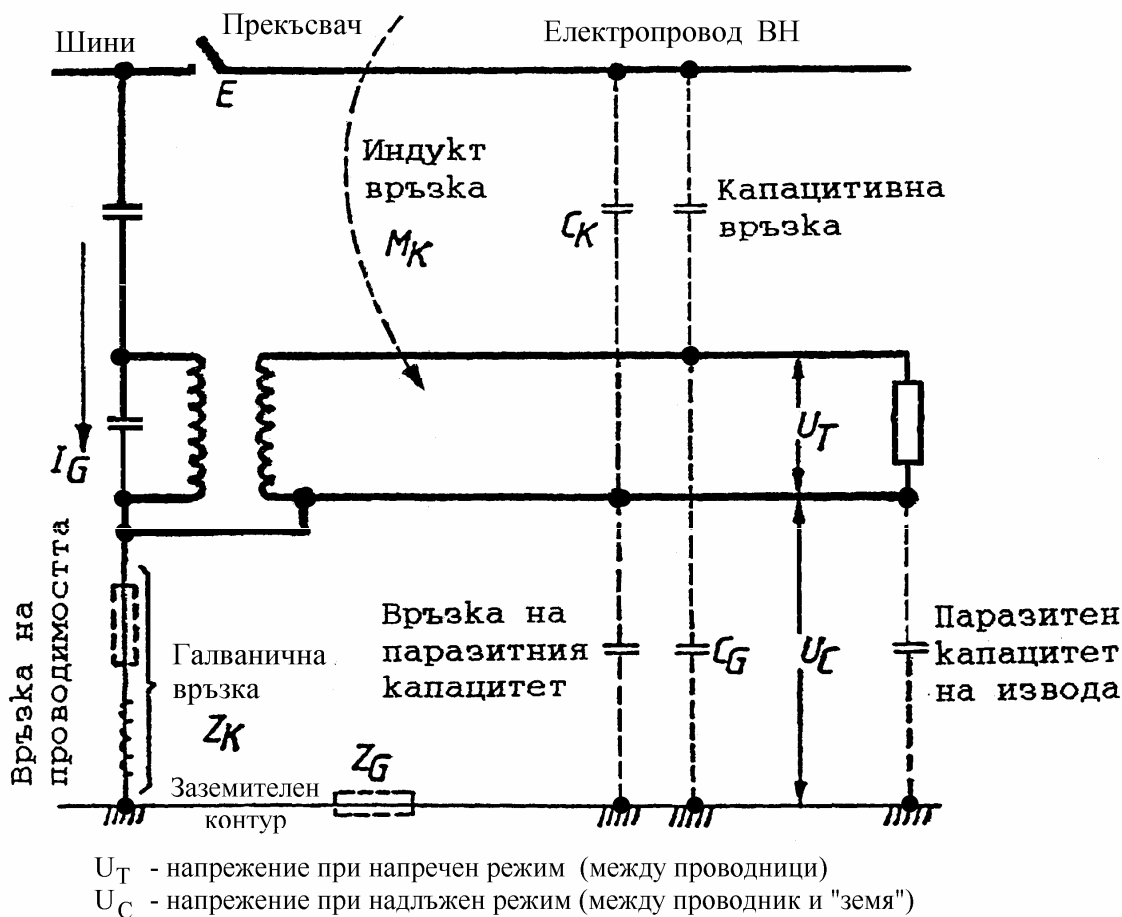
Фиг. 22.05.01.1. Взаимно влияние: А. Галванична връзка; В. Индуктивна връзка; С. Капацитивна връзка

22.05.02. Индуктивна връзка (inductive coupling)

При индуктивната връзка е определяща големината на тока

във възбуждащия контур, честотата му ω и взаимната магнитна индукция M между двата контура. Обикновено по този път проникват хармоничните смущения с промишлена честота и то най-вече при земни повреди.

Механизъм на връзките

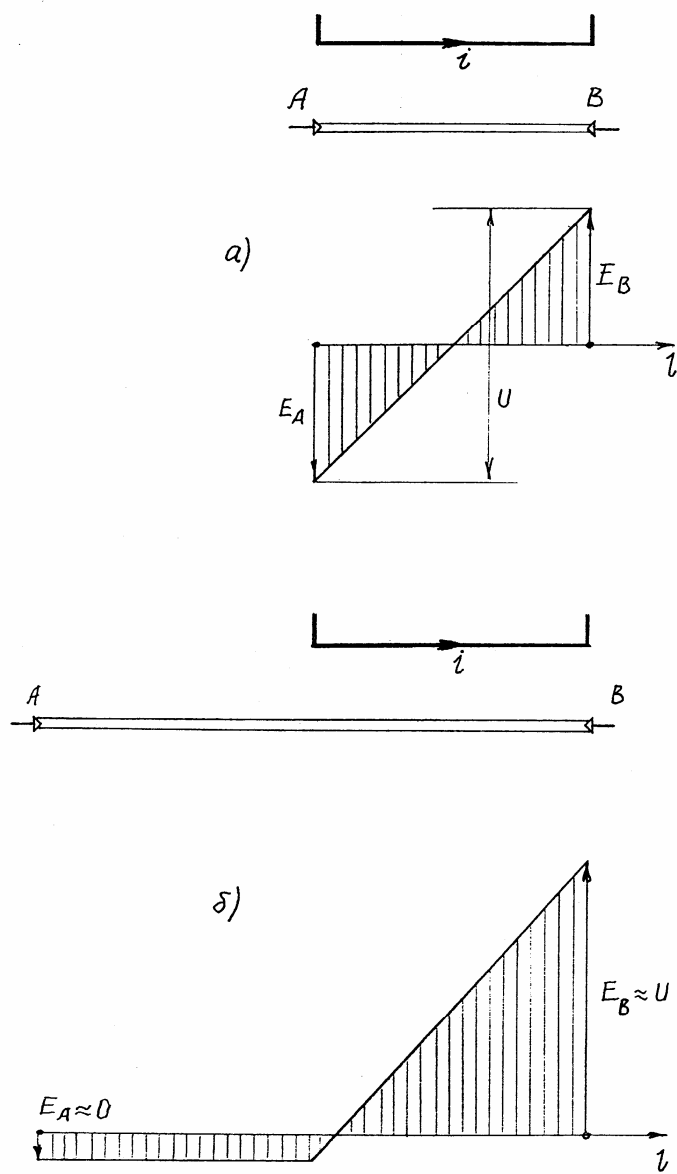


Фиг. 22.05.01.2. Механизми за връзка - обобщение

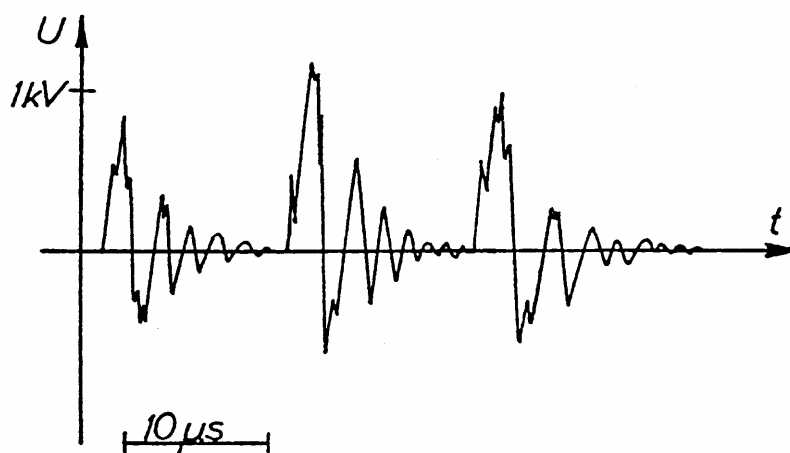
На фиг. 22.05.02.1 е показано надлъжното влияние на електропровод с ток i и кабел AB . Индутираното напрежение в кабела има големина U , но като се отчете, че електропроводите имат разпределени параметри за потенциала на кабела в различните точки се получава картината от фиг. 22.05.02.1а. За двата края на кабела потенциалът е $E_A = E_B = 0,5U$. Ако обаче индутирането става само по част от кабела (фиг. 22.05.02.1б), то единият край на кабела ще придобие потенциал почти нула, а другия - почти U . Такива случаи са особено опасни.

Типично индутирано напрежение с непромишлена честота, което попада от кабел за управление на високоволтна уредба в апаратурата за защита и управление е показано на фиг. 22.05.02.2. Параметрите на това напрежение са:

Максимална стойност	<ul style="list-style-type: none"> • в случаите, когато екранът не е заземен двойно – няколко kV • в случаите, когато екранът е заземен двойно – няколко стотен волта
Честота	50 kHz – 5 MHz
Брой на импулсите	300 – 400 за секунда
Време за намаляване на амплитудата на половина	2 – 6 периода



Фиг. 22.05.02.1. Индуктивно влияние между электропровод и кабел



Фиг. 22.05.02.2. Типично индуктирано вторично напрежение с непромишлена честота

22.05.03. Капацитивна връзка

Капацитивната връзка се определя от големината на капацитета между влияещата и повлияната вериги.

Капацитетът между първичната и вторичната намотка на измервателните трансформатори е от порядъка на няколко стотен до хиляди pF. При промишлената честота той няма никакво практическо влияние (случая в с. Манастирище, Монтанско), но високочестотните явления лесно проникват във вторичната комутация. Например капацитетът между намотките на един ТТ при честота 1MHz води до реактанс

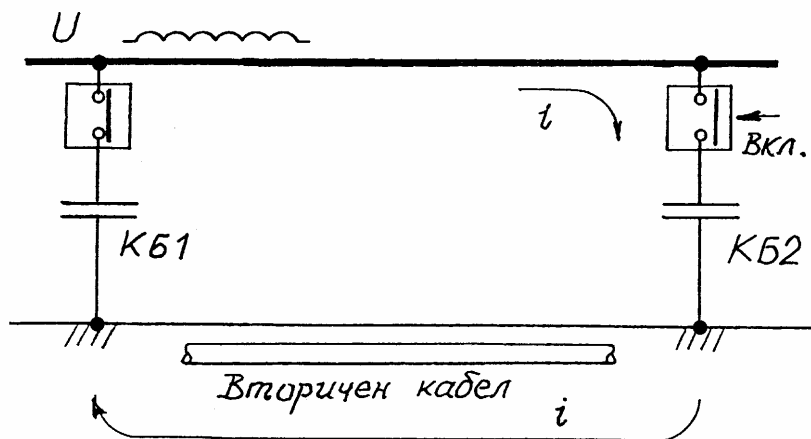
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^6 \cdot 1590 \cdot 10^{-12}} = 100\Omega$$

От голямо значение са също и капацитетите между жилата на един и същи кабел, както и капацитетите между съседни кабели.

До неочаквани смущения води несиметрията между капацитетите в един и същи кабел, свързан към акумулаторна батерия. Капацитетите между жилата и на жилата спрямо мантията образуват при несиметрия неуравновесена мостова схема и на места се получават неочаквани потенциални разлики с големина до захранващото напрежение. Има значение също заземена ли е мантията и дали е заземена от едната или от двете страни.

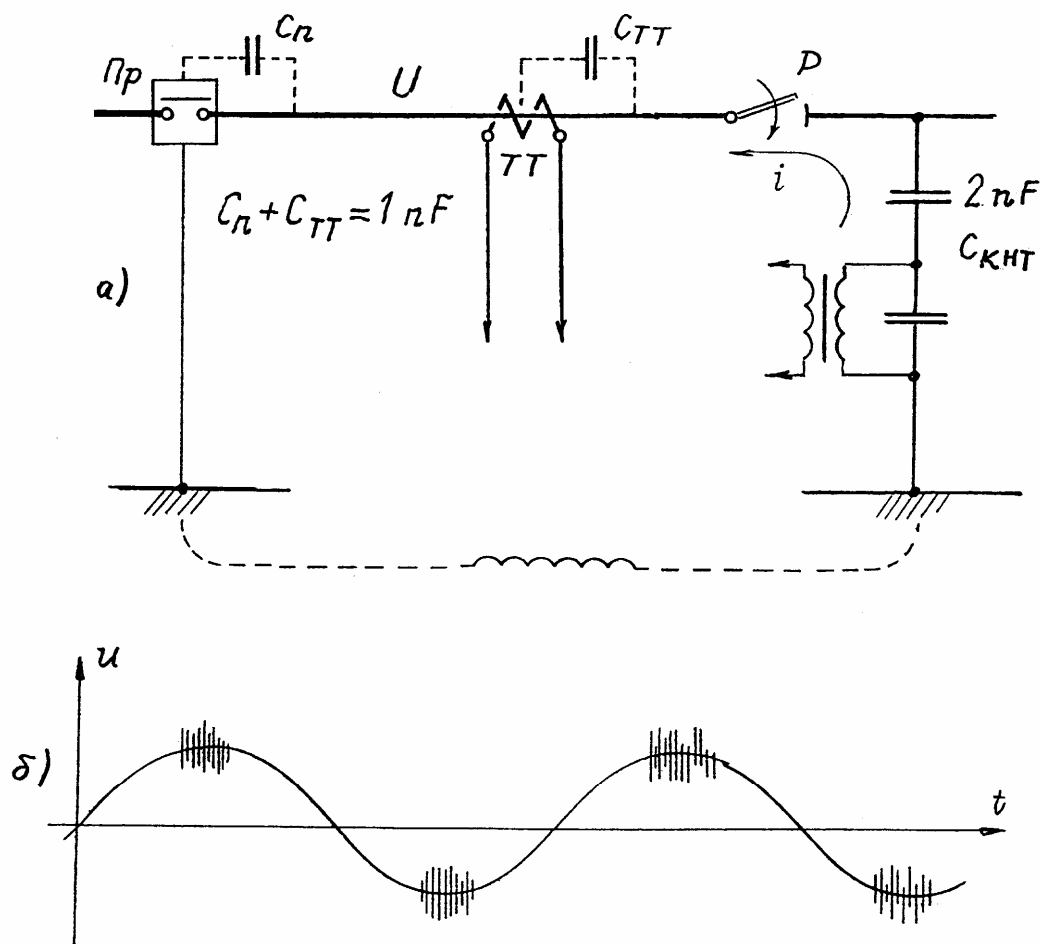
22.06. Причинители на смущения и пренапрежения във вторичната комутация

22.06.01. Пренапрежения и преходни процеси в първичните вериги ВН



Фиг. 22.06.01.1. Паралелно свързване на кондензаторни батерии

- Вълнови процеси при включване и изключване на празен ход на електропроводи и шинни системи
- Колебателни процеси при паралелно свързване на кондензаторни батерии (фиг.22.06.01.1)
- Колебателни процеси при свързване на зареден капацитивен напрежителен трансформатор КНТ към токов трансформатор ТТ (фиг. 22.06.01.2)



Фиг. 22.06.01.2. Свързване на зареден капацитивен НТ към ТТ

В уредба ВН е възможна ситуация, когато зареден КНТ се включва във верига така, че ток на разряд i да премине през първична намотка на ТТ (фиг. 22.06.01.2а). Във веригата на тока i участват паразитните капацитети на ТТ $C_{ТТ}$ и на прекъсвача $Пр$ $C_{П}$. Процесът е колебателен с честота стотици kHz. Ако включването е станало с разединител P , поради многократното запалване на дъга между контактите на разединителя явлението се проявява като високочестотни пакети от импулси, съпътстващи всеки полупериод максимума на напрежението u (фиг. 22.06.01.2б). Индуктивното съпротивление на земята и заземителите за разглежданите честоти е голямо и между точките на заземяване на КТН и ТТ са измерени напрежения, достигащи 10-20 kV.

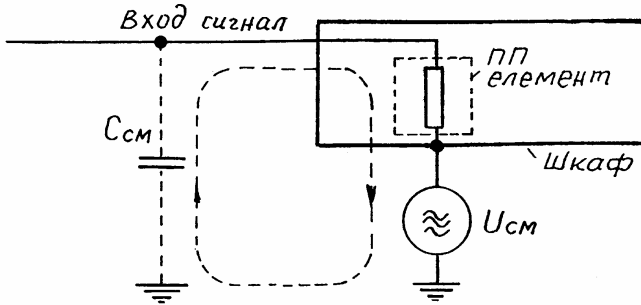
- Колебателни процеси при комутирание на индуктивности:
 - включване на трансформатори на празен ход
 - пренесено насищане при включване на един трансформатор на празен ход при наличие на друг, вече включен трансформатор
 - комутирание на шунтов реактор (подстанция "Костинброд" - 400 kV)
- Къси съединения. Форми на тока и напрежението при мрежи средно, високо и свръхвисоко напрежения.
- Токове и напрежения при еднофазни земни съединения (режим на неутралата, преходни съпротивления, прекъсващи дъги)

22.06.02. Пренапрежения и преходни процеси във вторичните вериги

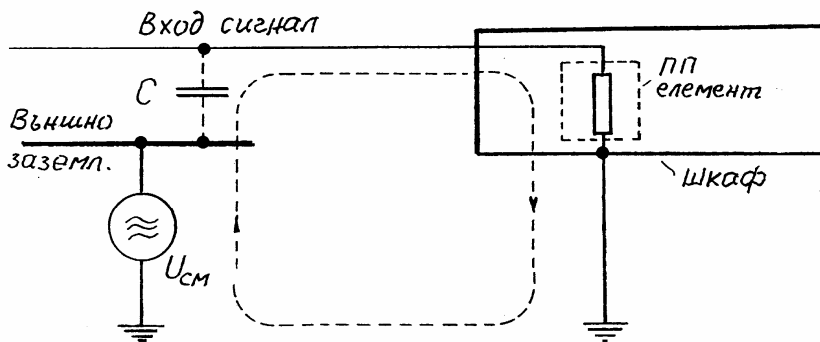
- Комутиране на индуктивности
- Повреди в оперативните вериги: къси съединения, земни съединения, прекъсване на автомати, изгаряне на предпазители
- Насищане на трансформатори

22.07. Проникване на смущения през заземяването

През заземяването на полупроводниковата част може да проникне смущение в самата нея, ако върху нейният заземителен проводник има смущение $U_{см}$ от други уредби



Фиг. 22.07.01. Създаване на смущение във входната верига от напрежение, възникнало в заземителната верига



Фиг. 22.07.02. Създаване на смущение във входната верига от напрежение, възникнало във външна заземителната верига

(фиг. 22.07.01). Това е особено забележимо, ако влизщите в командния шкаф сигнални проводници са неширмовани и имат спрямо околното пространство голям капацитет $C_{см}$. Смущението по заземлението измества потенциала на "нулевия" проводник, докато сигналният проводник запазва потенциала си и може да се имитира появата на сигнал на входа.

Опасност от поява на излишен входен сигнал съществува и когато входният сигнален проводник е капацитивно свързан (капацитета C) със смутено ($U_{см}$) външно заземление, макар че собственото заземление на шкафа с полупроводниково устройство не е изложено на смущение (фиг. 22.07.02).

22.08. Електромагнитна съвместимост

- Електротехническата апаратура да не влияе на хората и на обектите около себе си.
- Електротехническата апаратура да не се влияе от условията на средата, в която е поставена.

Литература:

1. Тутевич В.Н. Телемеханика. М. Высшая школа, 1985
2. Смущения и пренапрежения във вторичната комутация. НИППИЕС "Енергопроект" - София, Вх.№.1895/17.12.69
3. Johansson Arne. General considerations on development, manufacturing, application etc. of static relays. ASEA Relay Division, Lecture 000-903 E, 01.03.1979

23. Мерки против смущенията и пренапреженията в цифровите релейни защиты

23.01. Списъкът на мерките срещу смущенията може да се раздели на три части:

23.01.01. Въздействие върху причините за създаване на смущения

- Подобряване на заземленията
- Шунтиране на бобини с голяма индуктивност {фиг. 23.02.06.1а -> Това е единствената мярка против смущения, предвидена в ПУЕУ.}

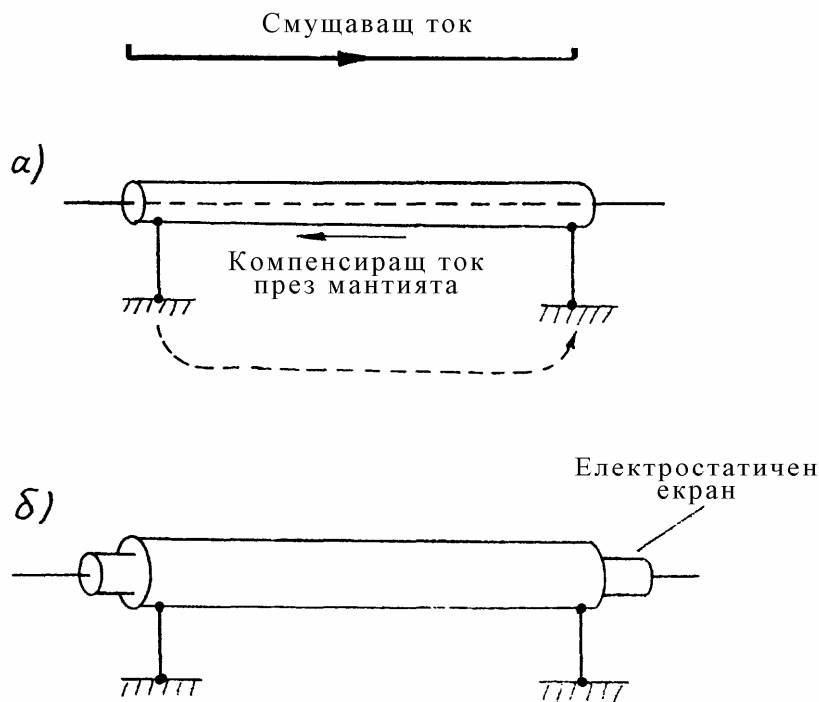
23.01.02. Възпрепятстване на разпространението на смущенията

- Намалване на съпротивлението в общата част на галванично свързаните вериги
- Намалване на съпротивлението на заземителите
- Намалване на капацитивните връзки
 - Отдалечаване на веригите една от друга
 - Въвеждане на електростатични екрани
- Намалване на магнитните връзки:
 - отдалечаване на вериги с големи токове от вериги с малки токове;
 - радиални вторични вериги;
 - да няма успоредни вериги.
- екраниране на жилата и заземяване на екрана в двата края

23.01.03 Защита на апаратурата

- Подходящ подбор на принципа на действие на схемите (интегриране вместо диференциране; заработване при изчезване на сигнал, а не при появя на сигнал)
- Конструктивни мерки (комплекти от елементи, а не сума от отделни устройства: отделни релета, комплектни защиты, интегрални схеми, микропроцесори, едночипови микроконтролери)
- Поставяне на устройства за защита (входни трансформатори със заземен екран между намотките;, оптически връзки; екраниращи метални обвивки; отделни източници на оперативно захранване; усукване на кабелите и екраниране на усуканите жила)

23.02. Най-популярни практически мерки срещу смущенията



Фиг. 23.02.02.1. Заземяване на мантия: а) Заземяване в двата края; б) Въвеждане на електростатичен екран

23.02.01. Кабелите за вторична комутация да бъдат с отделни усукани двойки или тройки жила и с алуминиева мантия.

По този начин се постига пълна капацитивна и индуктивна симетрия. Ако кабелите са разположени радиално, практически се избягват диференциалните смущения, дори при липса на екраниране.

Кабелите с оловна мантия или желязна броня, макар и по-добри от изобщо незащитените, не са достатъчно задоволителни поради голямото вътрешно съпротивление на тези екрани.

23.02.02. Мантиите на кабелите да се заземяват в двата края.

Екранирането с магнитни материали се счита за недостатъчно ефективно. Желязната броня на кабела се насища много бързо и магнитното поле прониква до жилата.

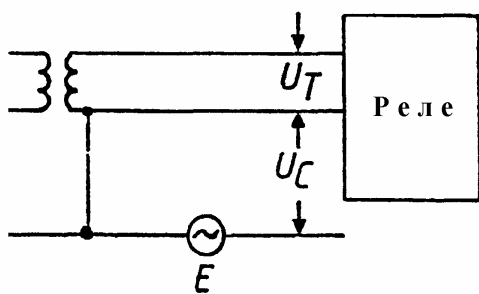
Мантията трябва да се прави от материал с добра проводимост (алуминий) и да се заземи в двата края (фиг. 23.02.02.1а). Смущаващият ток индуцира в мантията ток в обратно направление, който се затваря през земята. По отношение на жилата на кабела полетата на тези два тока (смущаващия и в мантията) се изваждат и като резултат индуцираното напрежение спада до няколко процента (фиг. 23.02.02.1б).

Подобен, макар и по-слаб, ефект може да се получи, ако при липса на мантия се заземят в двата края едно или няколко свободни жила от кабела.

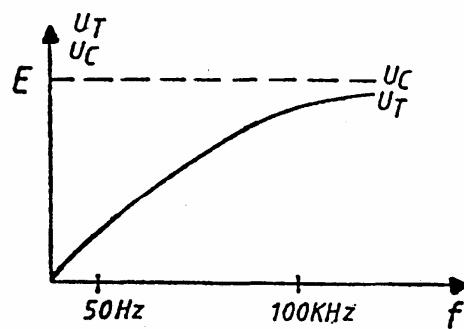
Заземяването на мантията в двата края има и недостатъци. Съществува опасност в мантията да протичат големи земни токове, които по индуктивен и капацитивен път да поразят смущения в жилата. За отстраняване на опасността от прехвърляне по капацитивен път се предлага употребата на втори, вътрешен електростатичен екран (фиг. 23.02.02.1б), но това решение се счита за много скъпо.

Заземяване на мантия на кабел

А. Кабел без мантия

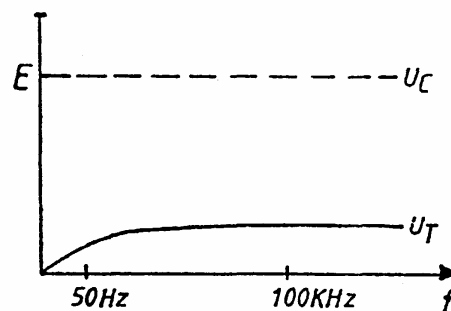
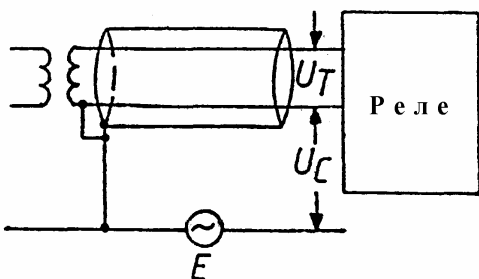


E - потенциал на "земя" или индуктирано напрежение

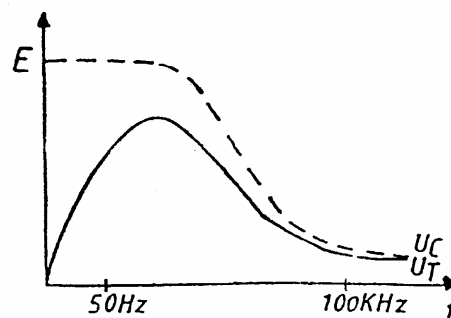
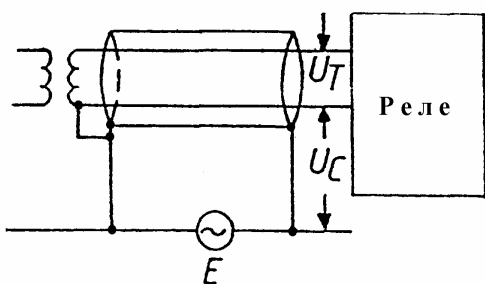


U_T - напречно напрежение
 U_C - надлъжно напрежение

Б. Кабел с мантия, заземена в единия край



В. Кабел с мантия, заземена в двата края



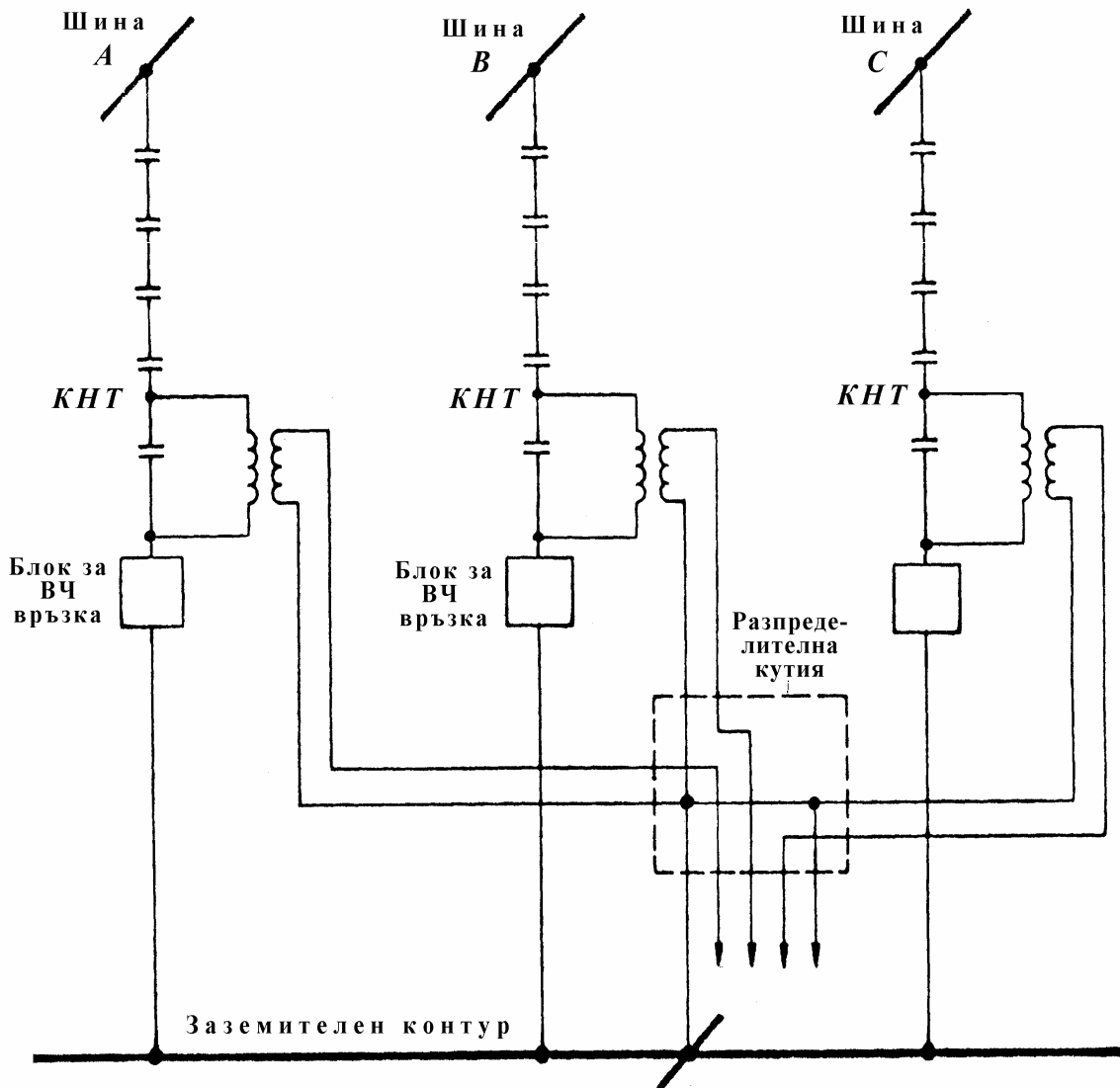
Фиг. 23.02.02.2. Ефект от заземяване на мантията на кабела: А. Кабел без мантия; Б. Кабел с мантия, заземена в единия край; В. Кабел с мантия, заземена в двата края.

E - потенциал на земята или индуктирано напрежение; U_T - напречно напрежение; U_C - надлъжно напрежение

23.02.03. Веригите на токовите и напрежителни трансформатори да бъдат в отделни кабели.

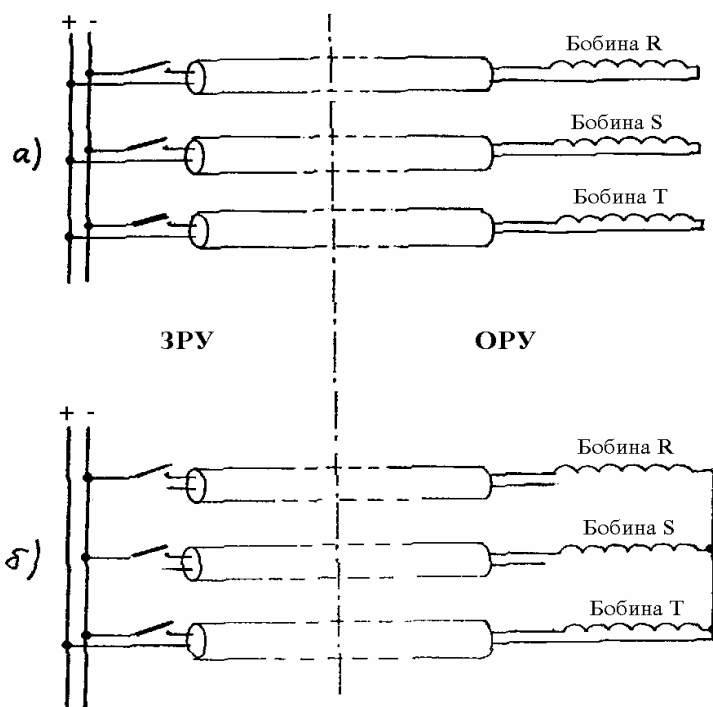
Токовите и напрежителните вериги трябва да се заземяват само в една точка, например до самите трансформатори.

Един специфичен случай на изисквания към заземяването във вторични напрежителни вериги е показан на фиг. 23.02.03.1. Проводниците на всяка фаза от капацитивните напрежителни трансформатори са разположени по двойки без заземяване до една обща разпределителна кутия. В нея се прави обща нулева верига и се свързва със заземяването на подстанцията.



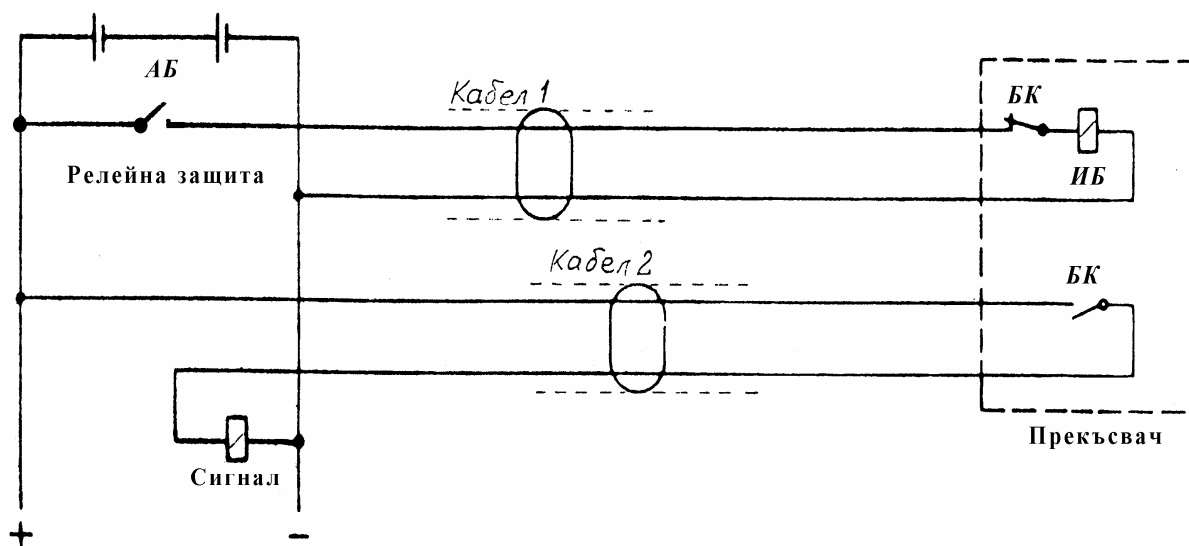
Фиг. 23.02.03.1. Заземяване на капацитивен напрежителен трансформатор

23.02.04. Командните вериги към прекъсвачите *Пр* да се осъществяват радиално (фиг. 23.02.04.1 и фиг. 23.02.04.2).



Фиг. 23.02.04.1 Свързване на командните вериги на прекъсвачите:
а) Правилно свързване; б) Неправилно свързване

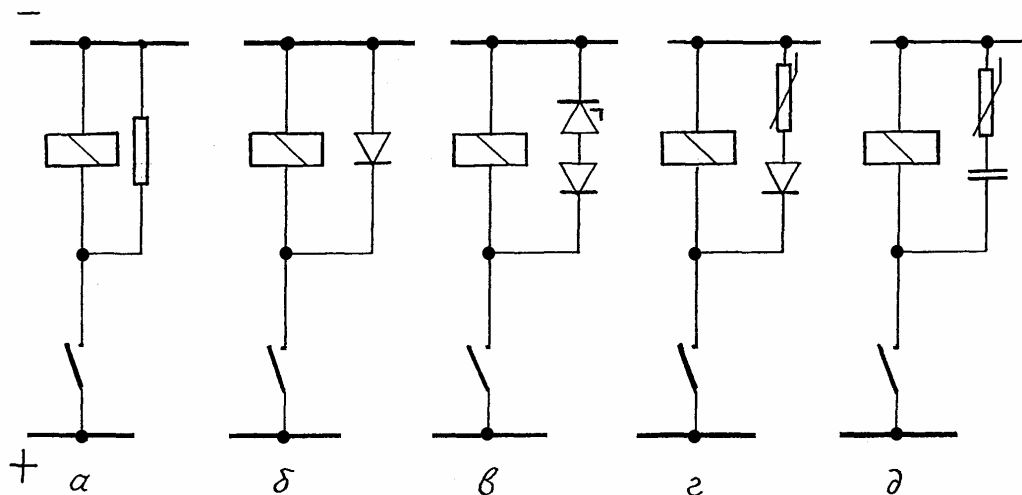
Всякакви "токови кръгове", водене на общи точки и т.н. да се считат за недопустими.



Фиг. 23.02.04.2. Пример за оперативна верига

23.02.05. Полагането на силови и вторични кабели в близост и успоредно е крайно нежелателно, а на силови и на кабели от измервателни трансформатори - недопустимо.

23.02.06. Всички управляващи бобини за прекъсвачи, разединители и др., а също и бобините на по-мощните спомагателни релета да се шунтират по един от посочените на фиг. 23.02.06.1 начини.



Фиг. 23.02.06.1 Защитно шунтиране на бобини

Шунтирането с диод (фиг. 23.02.06.1б) е много разпространено. По този начин пренапреженията действително се свеждат до нула, но времето за връщане на релето се увеличава.

По-правилно е да се търси баланс между допустимото пренапрежение и допустимото забавяне на връщането. Много удобно средство е поставянето в схемата и на ценер-диод (фиг. 23.02.06.1в).

Ако допустимите пренапрежения са по-високи, се препоръчва употребата на нелинейни резистори (варистори) - фиг. 23.02.06.1г и фиг. 23.02.06.1д. Счита се, че последната схема гарантира най-кратко време за връщане на релето.

23.02.07. За токови трансформатори, капацитивни напрежителни трансформатори и високоволтни кондензаторни батерии се препоръчва освен обикновеното заземяване да се изпълни и високочестотно заземяване.

Препоръчва се при особено големи токове на къси съединения съпротивлението на заземлението на подстанцията да се намали до $0,05 \Omega$. Заземителните шини по възможност да бъдат къси и прави, за да се намали тяхната индуктивност. Те следва да се свързват към възловите (пресечните) точки на заземителната уредба на обекта.

Високочестотното заземяване се изпълнява чрез няколко дълги проводника, излизачи радиално от точката на заземяване и заровени в земята на $0,5-1$ m дълбочина.

23.02.08. Води се борба за намаляване на нормата на допустимото съпротивление на заземителите на подстанциите и за нормиране на импулсното им съпротивление.

23.02.09. Намаляване на проникването на смущения през оперативното захранване:

Захранващият трансформатор на схемата за оперативно захранване трябва да има между първичната и вторичната намотка ширмовка (екран), свързана към корпуса. Използваните изглаждащи кондензатори трябва да имат добри качества до честота няколко MHz или пък паралелно на електролитните кондензатори да се постави един високочестотен кондензатор с малък капацитет.

Резки промени на тока в оперативната верига не трябва да водят до отклонение на напрежението извън допустимия толеранс. Необходимо е мощността на захранващото устройство (или капацитетът на батериите) да бъде достатъчна, свързващите проводници да бъдат къси, с достатъчно сечение и усукани.

За усилвателите в схемите е желателно да се предвидят отделни захранващи устройства, особено когато консумацията им надхвърля 50% от общата консумация на уредбата. Те трябва да са поставени в близост до усилвателите. Отделните захранвания създават удобство и при определяне на общите точки на усилватели с повече обратни връзки по ток.

Захранващите проводници трябва да се прокарват лъчисто, а сечението на "нулевия" проводник да бъде така подбрано, че падът в неговите лъчи да бъде под 0,2-0,5 mV. Меродавна е индуктивната компонента на пада на напрежение. Индуктивното съпротивление на свързващите проводници е около 1-2 $\mu\text{H/m}$.

Когато индуктивният пад на напрежението стане недопустимо голям, за неговото компенсиране могат да се приложат "подпорни" кондензатори между работното напрежение и "нулата". Свързването става в точките включване на захранващите проводници или още по-добре към отделните захранващи групи. Стойността е приблизително 1 μF за 1A едновременно протичащ ток.

Усилвателите, захранвани от отделно захранващо устройство трябва да имат собствени "нулеви" проводници. В случай на общо захранващо устройство те трябва да имат отделна захранваща шина и "нулевият" им проводник да се води от "нулата" на захранването.

При централно захранване на няколко шкафа, например от батерия, трябва да се определи "центърът на тежестта" на товарите и от там захранването да се води лъчеобразно до отделните шкаfoве.

Ако една уредба са захранва от няколко захранващи устройства, техните нулеви точки се свързват посредством отделни проводници в една обща "нулева" шина. В нея не трябва да текат товарни токове, а само токовете на сигналите между отделните уредби.

Сигналните проводници между отделните шкаfoве трябва да се водят заедно със захранващите проводници, за да се получи минимална площ на свързващите контури (фиг. 23.02.4, 23.02.5). Също така сигналните проводници между етажерки, чекмеджета и блокове трябва да се водят по дължината на "нулевия" проводник.

Литература:

1. Смущения и пренапрежения във вторичната комутация. НИППИЕС "Енергопроект" - София, Вх.No.1895/17.12.69
2. Johansson Arne. General considerations on development, manufacturing, application etc. of static relays. ASEA Relay Division, Lecture 000-903 E, 01.03.1979
3. ASEA. Relay circuits in high voltage power plants and substations. Information RF 600-005/15.12.1981
4. Влияние электроустановок на окружающую среду. Релейная защита. Переводы докладов СИГРЭ-84. Энергоатомиздат, Москва, 1986

24. Методи за изпитване на цифровите релейни защиты на смущения и пренапрежения

24.00. История на въпроса за изпитването на апаратурата за управление и защита в електрическите централи и подстанции

Във Великобритания в началото на 60-те години са въведени изпитания за шумоустойчивост на статичните защиты чрез въздействие с импулси $1/50 \mu\text{s}$, което е отразено и в стандарта ВЕАМ от 1967 г. [1].

В САЩ изследването на проблема за смущенията в разпределителните уредби ВН е започнало в IEEE. Работата е завършила с въвеждането на стандарта IEEE/ANSI за изпитване със затихващи колебания с честота 1-1,5 MHz [2].

Комитетът по релейна защита (ТС-41) на Международната електротехническа комисия (МЕК) по същото време започва да изследва проблема и през 1972 г. е предложен проект за стандарт, който включва двата споменати метода за изпитване. Този стандарт е въведен през 1976 г. [3].

Там където са използвани стандартите за шумоустойчивост, а именно в АЕЦ, проблемите, свързани със смущенията са били изключени [CIGRE].

24.01. Въведение

Популярни са седем вида изпитания под въздействие на смущения:

- 1). Изпитване с импулси $1.2/50 \mu\text{s}$ при включено захранване на изпитвания обект (*тест за издръжливост на импулсно напрежение, импулсен тест*). Този тест е въведен, за да определи дали релетата и техните индивидуални компоненти ще издържат без опасност високоволтни импулси с кратка продължителност.
- 2). Изпитване с напрежение 1 MHz (*тест за високочестотни смущения, високочестотен тест*). Този тест е въведен, за да определи дали едно реле ще заработи излишно, когато специално определени високочестотни преходни сигнали се наслагват на (се въвеждат в) едно реле, което се намира в условията на експлоатация: в нормален режим на защитаващия обект или при авария.
- 3). **Тестът за високочестотни смущения е валиден само за статични релета**
- 4). Изпитване на работещия обект с напрежение с промишлена честота.
- 5). Изпитване с напрежение от искров разрядник.
- 6). Изпитване при кратковременно прекъсване на захранването.
- 7). Изпитване при електростатични разряди
- 8). Изпитване при смущения с радиочестоти

Първите две изпитания са утвърдени от стандарти на МЕК. Четвъртото, шестото и седмото са според стандартите в Швеция [8,9].

24.02. Видове изпитания от гледна точка на производството и експлоатацията

Типово изпитание (type test). Провежда се изпитване на няколко екземпляра от определен тип реле, за да се изберат препоръки и да се утвърди, че типът реле е годен за производство.

Предварително типово изпитване (на подхода на типовото изпитание) (verifying type test). Провежда се част от типовото изпитване върху екземпляри от първата серия на определен тип реле или на екземпляри от първата серия след съществени промени на проекта.

Заклучително изпитване (след експлоатация) (following up type test). Провежда се част от типовия тест, за да се провери производствения процес и за да се утвърди, че екземпляри от нормалната продукция изпълняват препоръките за този тип реле.

24.03. Класове на изпитвателните напрежения и нива на напреженията

Апаратурата е разпределена в три класа. Класът II се използва за изпитване на нормална релейна и управляваща апаратура, а класът III - за апаратура, свързана с разпределителните уредби високо напрежение.

Клас I

Релетата и другите устройства от този клас не подлежат на тестване и следователно не се гарантира тяхната устойчивост. Ако се изпитва цяла защита в съответствие с нейния клас (клас II или клас III), то отделните ѝ релета няма нужда да бъдат подлагани на самостоятелна проверка. Разчита се, че те ще бъдат тествани заедно с цялата защита.

Клас II

Релетата и другите устройства от този клас се изпитват със следните нива на напреженията:

- импулсен тест 1.0 kV
- високочестотен тест
 - режим на подаване на напрежението между шасито на устройството и проводник от веригата (common mode voltage) 1.0 kV
 - режим на подаване на напрежението между проводници от веригата (transverse mode voltage) 0.5 kV

Забележка: Данните се отнасят за максималната стойност на първата полувълна.

Устройствата се изпитват с импулсна вълна 1 kV. Тестът се прилага върху релета (устройства) от клас II, които работят във вериги, където напрежението не надвишава 1kV и по-конкретно където:

- A. оперативните (спомогателните) вериги на устройството са свързани към източник на напрежение, предназначен единствено за захранване на статични (електронни) устройства; ако проводниците са къси и при отсъствие на комутации по други вериги, които са свързани към източника, нивото на преходните напрежения по проводниците е под 1 kV;
- B. входните величини на релето не се подават директно от токови и / или напрежителни трансформатори; свързващите проводници са добре екранирани и заземени;
- C. изходните вериги са свързани с товара си с къси проводници;
- D. нормално не се очакват пренапрежения (клас I), но се изисква по-висока надеждност.

Клас III

Релетата и другите устройства от този клас се изпитват със следните нива на напреженията:

- импулсен тест 5.0 kV
- високочестотен тест
 - режим на подаване на напрежението между шасито на устройството и проводник от веригата 2.5 kV
 - режим на подаване на напрежението между проводници от веригата 1.5kV

Забележка: Данните се отнасят за максималната стойност на първата полувълна.

Устройствата се изпитват с импулсна вълна 5 kV. Тестът се прилага върху релета (устройства) от клас III, които работят във вериги, където се очакват значителни пренапрежения и по-конкретно където:

- A. оперативните вериги на устройството са захранват от централна акумулаторна батерия с дълги проводници; по дългите проводници могат да се получат надлъжни преходни напрежения с относително по-голяма стойност, а напречни напрежения могат да се получат от превключвания в други вериги, свързани към същата акумулаторна батерия (към същия източник).

- В. входните величини на релето се подават директно от токови и/или напрежителни трансформатори по дълги проводници; свързващите проводници нямат ефективно екраниране и заземяване;
- С. изходните вериги на релетата са свързани към товара си чрез дълги проводници и поради това надлъжните преходни напрежения на изходните клеми са с относително висока стойност;
- Д. нормално по-ниското тестово напрежение на клас I и клас II е достатъчно, но се изисква по-висока надеждност.

Забележка: Едно реле може да има различни класове за входните, изходните и спомагателните вериги.

В новите шведски стандарти за изпитване при смущения (1988 г.) са предвидени пет класа, за разлика от старите (1977 г.), където класовете са три. Добавени са един най-нисък и един най-висок клас. Най-ниският клас е предвиден за изпитване на устройствата от изчислителната техника, а най-високият - специалният клас - е предназначен за изпитване на защитеността от пренапрежения и той допълва изпитанията от другите по-ниски класове. Числени данни за тези класове са дадени табл. 24.1, 24.2 и 24.3.

Табл. 24.1. Изпитвателни напрежения за смущения, въздействащи при галванична връзка

Вид на изпитанието						
Клас на изпитване	Импулсен тест		Напрежение 50Hz	Искрови	Напрежение 1 MHz	
	1,2/50µs	10/750µs			Спрямо земя	Между входове
	U_{max} kV	U_{max} kV	U V	U_{max} kV	U_{max} kV	U_{max} kV
PL1	-	-	-	-	-	-
PL2	1	-	10-100	0,5-1	0,5	-
PL3	3	-	250	1-2	1,0	0,5
PL4	5	-	500	2-4	2,5	1,0
PL5	5*	1,5*	-	4-8	-	-

* Могат да се договарят и други стойности. Точността на нагласяване на напрежението при всички изпитания, освен искровите е в границите от 0,5 до -10%.

Табл. 24.2. Изпитвателни напрежения при електростатични разряди

Изпитвателен клас	Напрежение, kV±10%
PL1	2
PL2	4
PL3	8
PL4	16

Забележка: Разрежда се кондензатор 150 pF през резистор 150 Ω

Табл. 24.3. Напрегнатости на полето за смущения с радиочестоти

Изпитвателен клас	Напрегнатост на полето, V/m ±30%
PR1	1
PR2	3
PR3	10

Забележка: Изпитването се провежда в диапазона от 25 до 250 MHz

24.04. Импулсен тест [3,4,6]

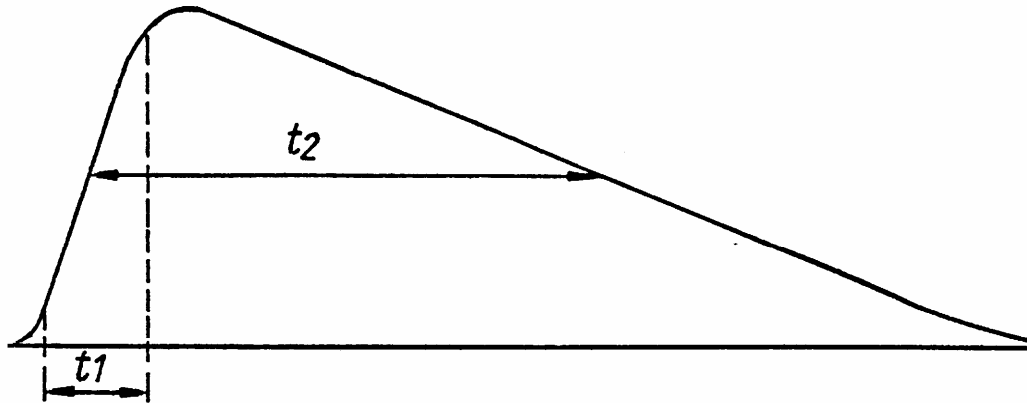
Такъв тест се препоръчва, когато е необходимо да се установи дали релето и собствените му компоненти ще издържат без повреда високоволтови удари с кратка продължителност.

За този тест напрежението е преходно, апериодично и без видими осцилации. За формата на вълната се използва IEC Publication 60: Техника на високоволтовите изпитания.

24.04.01. Условия за теста:

Формата на импулсното напрежение е според фиг.24.1, а реализирането му става по принципната схема от фиг. 24.2.

Изпитване с импулсно напрежение



Фиг. 24.1.

Параметрите и отклоненията на импулсното напрежение са:

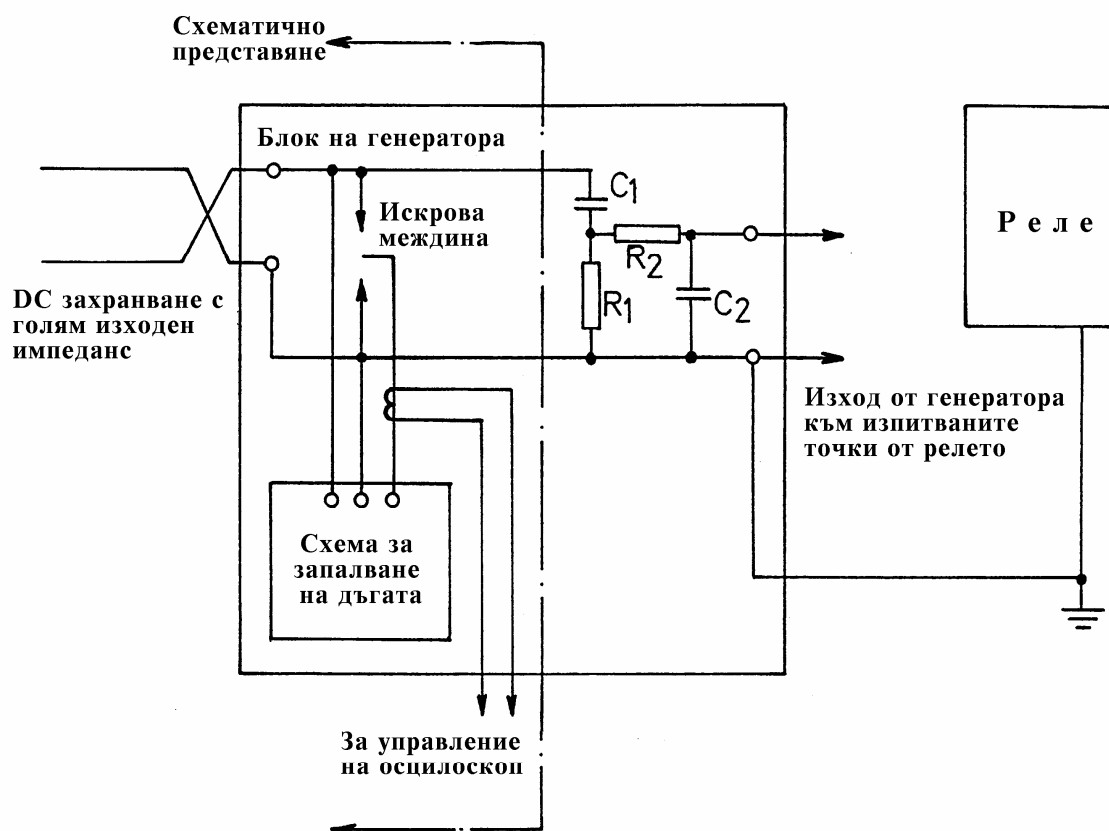
- > Време за нарастване на напрежението $t_1=1,2 \mu\text{s}\pm 30\%$
- > Време за спадане на напрежението $t_2=50 \mu\text{s}\pm 20\%$
- > Импеданс на захранващата верига $500 \Omega\pm 10\%$
- > Енергия на захранващата верига $0,5 \text{Ws(или J)}\pm 10\%$
- > Стандартната стойност на напрежението на изхода от схемата, което се подава към изпитваното реле е според т. 24.3. Толерансът му е от +0% до -10%.

Тестът трябва да се провежда с три положителни три отрицателни импулса през интервал не по-малък от 5 s. Проводниците не трябва да са по-дълги от 2 m.

Схемата от фиг. 24.2 има стойности на елементите както следва:

Елемент	Вид на изпитването	
	5 kV	1 kV
R_1	800 Ω	180 Ω
R_2	500 Ω	500 Ω
C_1	0,0350 μF	0,6000 μF
C_2	0,0008 μF	0,0005 μF

**Принципна схема на генератор за импулсно изпитване
(според IEC)**



Фиг. 24.2.

24.04.02. Процедура на теста

- а) Изпитанията на импулсни напрежения са типови.
- б) На интервали, не по-малки от 5 s се подават три положителни и три отрицателни импулса.
- в) Изпитвателните напрежения се подават в точки извън кутията на релето. Останалите вериги и всички метални части трябва да бъдат свързани по между си и спрямо "земя". Изпитанието се провежда без друго захранване на релето:
 - > i. между всички входни и изходни клеми, свързани помежду си и към "земя" (надлъжен режим - common mode voltage, фиг. 24.5Б);
 - > ii. между всички независими вериги на релето. Ако има клеми от една и съща верига, те са свързани в обща точка (надлъжен режим - common mode voltage, фиг. 24.5А);
 - > iii. между клемите на една и съща верига, с изключение на веригите с контакти (напречни вълни - transverse mode voltage, фиг. 24.5В.).

Забележка:

1. Не винаги е необходимо да се изпитват на импулсни напрежения отворени метални контакти. Производителят определя при необходимост след договаряне класа за изпитване на контактните вериги.
2. Когато на едно реле захранващите вериги (входните и помощните) и изходните вериги са с различни класове на тестовите напрежения, то тестът (виж iii) се провежда за всяка верига според нейния означен клас на напрежение.
3. Всички други тестове се провеждат при най-високия клас напрежение, означен на някоя от веригите на релето.
4. Тестът се провежда като се прекъснат всички външни връзки на релето.

24.4.3. Критерии за приемане на изделието след теста:

- а) След изпитанията релетата трябва да функционират нормално.
- б) За статичните релета с безконтактен изход ефективната стойност на изходния ток при запущена изходна верига не трябва да превишава стойността, предвидена от производителя и то при 110% от номиналното напрежение за тази верига. В зависимост от характерните особености на изходната верига, производителят може да зададе други контролни стойности на параметрите след теста, когато са вероятни промени в тези вериги (например може да се предвиди увеличаване на изходния ток при запущена изходна верига).

Забележка: Искренето (при капацитивно смущение) не винаги е критерий за настъпване на повреда. Производителят решава дали да го пренебрегне, при положение, че другите изисквания са спазени.

- в) Импулсният тест се предвижда като типов. Нормално е да се прави на всички релета. Тъй като при изпитването е възможно да се намали надеждността на релетата и/или животът им, винаги изпитанията на пренапрежение, които се извършват при производството на релетата трябва да се ограничат до 60% от напрежението, отговарящо на класа на релето, предвиден от производителя (конструктора).

24.5. Високочестотен тест [3,4,6]

{SWC - Surge withstand capability tests}

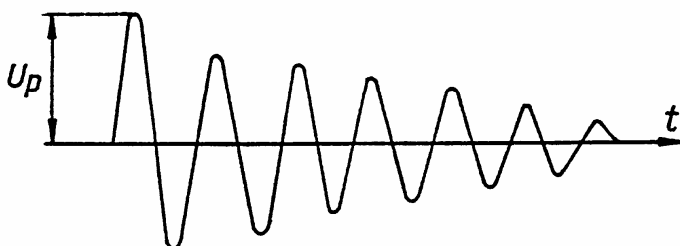
Този тест е валиден само за статични релета.

Тестове за високочестотни смущения се препоръчват, за да провери дали дадено реле ще прояви неизправност, когато е включено да работи нормално в ЕЕС и там се подлага на повтарящи се високочестотни преходни процеси, които са резултат на реалните условия.

Сега релетата се проверяват при една определена честота (1MHz) и се правят заключения за способността им да работят нормално при тези смущения. За в бъдеще може да се окаже необходимо да се правят проверки при други честоти и други видове тестове, но това ще се допълни с натрупването на необходимия опит.

24.5.1. Условия на теста

Форма на напрежението при изпитване с висока честота



Фиг. 24.3.

Формата на импулсното напрежение е според фиг. 24.3, а реализирането му става по принципната схема от фиг. 24.4.

Параметрите и отклоненията им са:

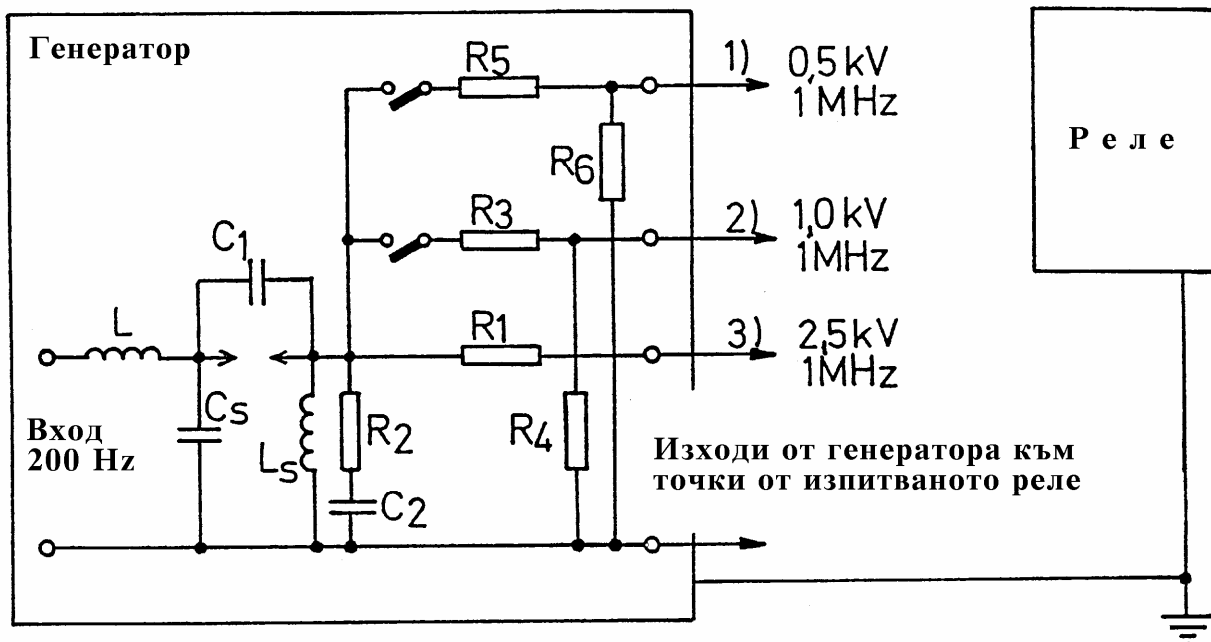
- > Обвивна крива: Намаляване на импулсната стойност до 50% след третия (до шестия) период
- > Честота: $1 \text{ MHz} \pm 10\%$
- > Импеданс на захранващата верига: $200 \Omega \pm 10\%$
- > Честота на повтаряне: По време на теста вълната се подава на релето с повтаряне по 400 пъти за секунда.
- > Продължителност на теста:

$$2^{+10\%}_{-0\%} \text{ s}$$

> Стандартното ниво на тестовото напрежение за II и III клас релета се задава в т.15.3. За валидно се счита напрежението на изхода на веригата от фиг.15.4 преди проверяваното реле да се включи към нея.

- > Толеранс на напрежението: +0%, -10%
- > Проводниците не трябва да бъдат по-дълги от 2 m.

Схема на генератор за високочестотно изпитване (според IEC)



Фиг. 24.4.

Схемата от фиг. 24.4 има стойности на елементите както следва:

$$L = 26 \text{ H}; C_1 = 20 \text{ nF}; L_s = 6,3 \text{ } \mu\text{F}; C_s = 4 \text{ nF}; C_2 = 80 \text{ pF};$$

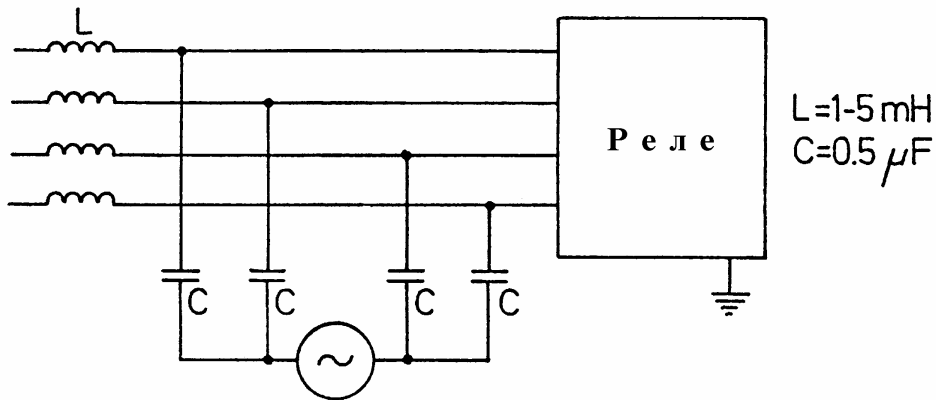
$$R_1 = 200 \text{ } \Omega; R_2 = 100 \text{ } \Omega; R_3 = 500 \text{ } \Omega; R_4 = 333,3 \text{ } \Omega; R_5 = 1000 \text{ } \Omega; R_6 = 250 \text{ } \Omega.$$

24.5.2. Процедура на теста

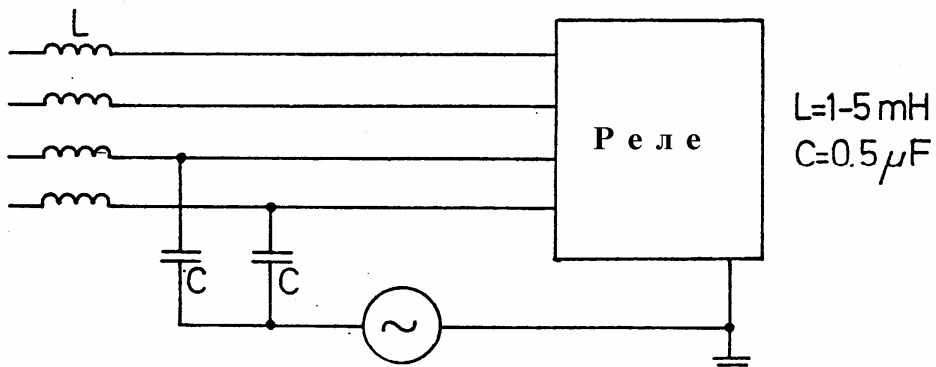
- а. Тези тестове се прилагат само като типови тестове (т. 24.2).
- б. Тестовите трябва да бъдат проведени при следните стойности на величините (входни и спомагателни), приложени към предвидените вериги:
 - > спомагателни напрежения - номиналните стойности;
 - > входни аналогови величини
 - >> релета с две устойчиви състояния (помощни релета):
 - един път - нула, втори път - номиналната стойност;
 - >> измервателни релета: предназначените стойности там където е подходящо (например при честотните релета) или стойности, съответстващи на настройката на релето.

Схеми на свързване при високочестотно изпитване

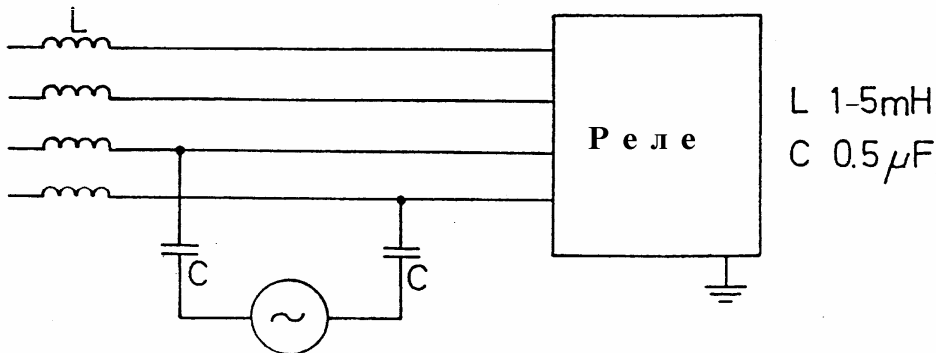
А. Изпитване между вериги, които нормално мямат обща връзка (т.н. "надлъжен режим")



В. Изпитване между верига и земя (т.н. надлъжен режим)



С. Изпитване между проводници от една и съща верига (т.н. "напречен" режим)



Фиг. 24.5.

в. При измервателните релета тестът трябва да се провежда, когато входната им величина е:

- а) по-ниска от настроената стойност и
- б) по-висока от настроената стойност.

г. Тестовите напрежения трябва да бъдат приложени към съответни точки от релето, които обезателно да са достъпни отвън. Капакът трябва да бъде на мястото си, затворен и достъпните метални части - заземени. Точките на подаване на напрежението са:

- > i. между всички независими вериги на релето (надлъжен

- режим - longitudinal) - фиг. 24.5А;
- > ii. между всички входни и изходни клеми на релето и земята (надлъжни вълни - longitudinal) - фиг. 24.5В;
 - > iii. между клемите от една и съща верига, където това е възможно (напречни вълни - transverse)фиг. 24.5С.

Забележки към iii:

1. Не е се прилага (не е необходимо) за релета с метални контакти, но може да се приложи към релета с полупроводникови изходни вериги. В този случай товарът на изходната верига трябва да отговаря на най-тежките условия, предвидени от конструктора. Това е обикновено чисто активната верига.
 2. Когато захранващите вериги (входни и помощни) и изходните вериги са с различни класове на тестовите напрежения, то тестът се провежда според означения клас на напрежение на веригата. Всички други тестове се провеждат при най-високия клас напрежение, означен на някоя верига на релето.
- д. Тестовите трябва да бъдат приложени, и ефектът от тях отчетен, като между измерванията по едно и също време тестови точки се намира едно множество от други тестови точки.
- е. Напреженията трябва да бъдат прилагани за 2 s, освен в случаите, когато релето има време на заработване по-голямо от 2s.
- Препоръчва се за релетата за време тестът да се проведе за време на настройката възможно най-близко до 2s. Когато минималното време на настройката е по-голямо от 2s, то трябва да се продължи периода на прилагане на смущаващия сигнал до покриване на това минимално време.
- ж. Непредвидени явления, които се дължат на ефекти от теста със смущения, трябва да се декларират от производителя (конструктора).

24.5.3. Критерии за приемане на изделието

- а. На релето се подават входни величини, които при отчитане на грешката на релето го довеждат до състояние преди да заработи (ако действа на заработване). Релето не трябва да заработи по време на теста.
- За статичните релета с безконтактен изход ефективната стойност на изходния ток при запушена изходна верига не трябва да превишава стойността, предвидена от производителя и то при 100% от номиналното напрежение за тази верига.
- б. На релето се подават входни величини, които го довеждат до състояние на заработване (ако трябва да заработи). Релето трябва да остане заработило и да не се връща по време на теста.
- в. След теста релето трябва да запази състоянието, което е имало преди подаване на смущението (преди теста). Не трябва да бъде повредена изолацията му или да са влошени други качества.
- За статичните релета с безконтактен изход ефективната стойност на изходния ток при запушена изходна верига не трябва да превишава стойността, предвидена от производителя и то при 110% от номиналното напрежение за тази верига.

24.06. Изпитване с напрежение с промишлена честота

Изпитването при 50 Hz е традиционно изпитване на релейните защиты с напрежение, приложено спрямо земя. То имитира потенциали на заземяващите контури, които се причиняват от земни съединения (1 ф.к.с. и 1 ф.з.с.).

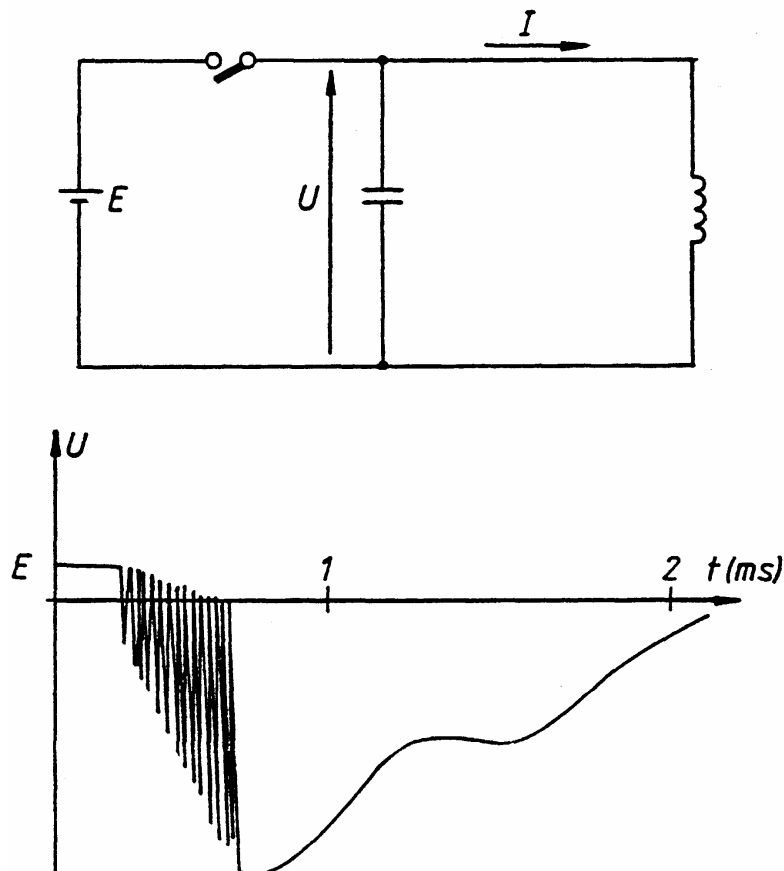
При екранираните кабели, ако екранът е заземен в двата края могат в жилата да се индуцират относително високи напрежения поради несиметрия на жилата.

24.07. Изпитания със сноп от искри (бързо протичащи преходни процеси, искрови изпитания) [9, 11]

За сравнение:

- i. За промишлената апаратура най-тежки са искровите изпитания, които поражда пренапрежения със стръмен фронт.
- ii. Цифровата апаратура е най-чувствителна към производната на изменението на напрежението.
- iii. Апаратурата с аналогови сигнали се влияе максимално от пренапреженията на повтарящите се преходни процеси. В този случай напреженията на бързите преходни процеси се изправят и интегрират, което удължава процесите.

Напрежение върху контакт на реле, което комутира индуктивна верига

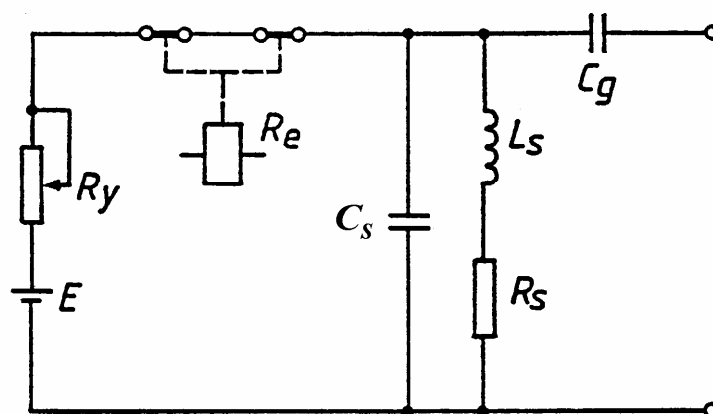


Фиг. 24.6.

Данните за искровите изпитания се базират на наблюдения върху работата на релета и контактори и влиянието, което те имат върху съседните апарати.

Високофреkwотните изпитания от типа SWC не възпроизвеждат достатъчно точно тези смущения, постъпващи по галваничен път. В Швеция е въведен изпитвателният стандарт [9. SEN 36 1503].

**Генератор за създаване на "сноп от искри"
(според SEM 361503)**



Фиг. 24.7.

Прекъсването на индуктивен товар е един типичен случай за генериране на подобни сигнали (фиг. 24.6). Специални генератори се създават по електронен и електромеханичен път. Решение от втория тип е показано на фиг. 24.7.

Схемата от фиг. 24.7 има стойности на елементите както следва:

Елемент	Вид на изпитването	
	2-4 kV	4-8 kV
E	110-220 Vdc	220 Vdc
L_S	300 H	100 H
R_S	10-20 k Ω	3 k Ω
R_y	10 k Ω	5 k Ω
C_S	200 pF	300 pF
C_g	100 pF	100 pF

R_e е реле от телефонен тип с най-малко два последователно свързани контакта (за изпитване при 2-4 kV).

R_e – контактор с най-малко два последователно свързани контакта (за изпитване при 4-8 kV).

24.08. Изпитване при електростатични разряди [10] {ESD}

Отделя се внимание на изучаването на влиянието на електростатичните разряди, които възникват при съприкосновение на персонала с чувствителни устройства, например персонални компютри [10]. В диспечерските центрове влиянието на електростатичните разряди липсва благодарение на климатичните инсталации, създаващи определена влажност на въздуха, използването на антистатични покрития и т.н. В останалите случаи трябва да се вземат по-строги мерки за защита от влиянието на електростатичните разряди.

Електростатичните изпитания се провеждат по следния начин. Кондензатор с капацитет 150 pF, зареден до напрежение 2-16 kV (табл. 24.2), се разрежда през резистор 150 Ω при допиране с електрод, имащ форма на пръст, последователно до всички достъпни проводящи повърхности на изпитваната апаратура. Ако няма достъпни проводящи повърхности, изпитването се провежда чрез разреждане на кондензатора към най-близкия металически предмет.

Амплитудата на напрежението се определя от условията на околната среда, в която ще се експлоатира апаратурата, например в помещение с климатична или без климатична инсталация. Стандартна форма на кривата на тока на разряда не е възможно да се определи, защото тя зависи от съпротивлението на товара. Въпреки всичко е определена стандартна препоръ-

чителна форма на кривата, за да се сравнят резултатите, получени от използването на различни генератори за изпитване.

24.09. Изпитване при смущения с радиочестоти [10, 15]

За връзка между производствения, ремонтния и дежурния персонал се използват радиотелефони, преносими радиостанции, мобифони и т.н. За да се осъществи добро качество на връзката на големи разстояния и през стените на сградите, се налага увеличаване на мощността и честотата на тези предаватели. Високофреkwотни излъчвания предизвикват също електрожените, правещи заварки в инертна среда. Тези излъчвания са в състояние да предизвикат неправилно действие на апаратурата за управление и защита, например в АЕЦ. Налага се щателно изследване на поведението на апаратурата при наличие на излъчване в диапазона на радиочестотите (табл. 24.3).

24.10. Изпитване при кратковременно прекъсване на захранването [3, 4, 6, 9, 17]

Непрекъснатост в действието на електронната апаратура може да се получи и при кратко прекъсване в електрозахранването. За проверка на това явление МЕК препоръчва да се направи изпитване при прекъсване на захранването за време от 1 до 200 ms. Такова изпитание е описано в [17].

24.11. Стандарти за електромагнитна съвместимост:

[IEC. TC65/WGG4, Draft - Electromagnetic compatibility. 65 (Secretariat) 80, June 1982]

Литература:

1. BEAMA. Recommended transient tests applicable to transistorised relays. Publication N219, Nov.1966, UK
2. ANSI. IEEE Gude for surge withstand capability (SWC) tests. ANSI C37.90a - 1974, IEEE Std 472 - 1974, USA
3. IEC. Single input energizing quantity measuring relays with dependent specified time; Appendix E. Standart 255-4, 1976
4. IEC Publication 255-5. Insulation tests for electrical relays: 5,0 kV; 1,2/50 μ s; 0,5 J as well as 2kV; 50 Hz; 1 min
5. ANSI C 37.90 1978, Dielectric test: 2/2,5 kV; 60 Hz: 1 min
6. IEC. Publicatiun 255-6, appendix C. High frequency disturbance test: 2,5 kV; 1 MHz; damped oscillatory wave
7. ANSI C 37.90 1978, Surge withstand capability tests: 2,5-3 kV; 1 MHz; damped oscillatory wave
8. Swedish Standard: SEN 36 1502
9. Swedish Standard: SEN 36 1503. Interference environment classes and testing requirements for electronic apparatus in control equipment for power installations SEN 36 15 03, edition 1, Sweden, 11.04.1977
10. IEC TC65 (Secretariat) 72, 1980 {ESD}
11. IEC. TC65/WG4, Draft - Electrical fast transient requirements. 65 (Secretariat) 87, March 1983]
12. Нанчев С.Н. Генератор за изпитване на полупроводникови устройства на високофреkwотни смущения. Стандарти и качество, No.4, 1988
13. Нанчев С.Н. Генератор на импулсни пренапрежения за изпитване на полупроводникови устройства. Стандарти и качество, No.9, 1987
14. Johansson Arne. General considerations on development, manufacturing, application etc. of static relays. ASEA Relay Division, Lecture 000-903 E, 01.03.1979
15. ASEA. Relay circuits in high voltage power plants and substations. Information RF 600-005/15.12.1981
16. Влияние электроустановок на окружающую среду. Релейная защита. Переводы докладов СИГРЭ-84. Энергоатомиздат, Москва, 1986
17. IEEE P734/D3 - ANSI C37.90.2 (1983)

25. Надеждност, резервиране, самопроверка

25.01. Въведение

- Надеждност при проектиране: основни, резервни и допълнителни защиты
- Изработване: фирми с доказана отговорност при производство на релейни защиты
- Монтаж, настройване, проби под товар
- ПТЕ - проверка всеки 2 години; утвърдени програми за настройка в "Справочник по релейна защита"

25.02. Данни за неправилно действие на релейните защиты

А. Данни за къси съединения

Място на к. с.	Преносни линии	85%
	Шини	12%
	Трансформатори	3%
Вид на к. с.	Еднофазно	60%
	Двуфазно	30%
	Трифазно	10%

Б. Откази да изключи при 100 зареждвания на релейна защита

Откази на прекъсвачи		0,5	
Откази на защита на електропроводи			
	Отказ на реле	0,2	Отказ на апарат
	Релето не е въведено	0,2	
	Променливотокови вериги	0,2	
	Постояннотокови вериги	0,1	
	Забавено зареждане поради голяма преходно съпротивление, насищане на ТТ и др.	0,8	Отказ поради принципа на РЗ
О б щ о :		1,5	
Откази на защита на шини			
	Отказ на реле	0,2	Отказ на апарат
	Релето не е въведено	0,2	
	Променливотокови вериги	0,2	
	Постояннотокови вериги	0,1	
	Забавено зареждане поради голяма преходно съпротивление, насищане на ТТ и др.	0,1	Отказ поради принципа на РЗ
О б щ о :		0,8	

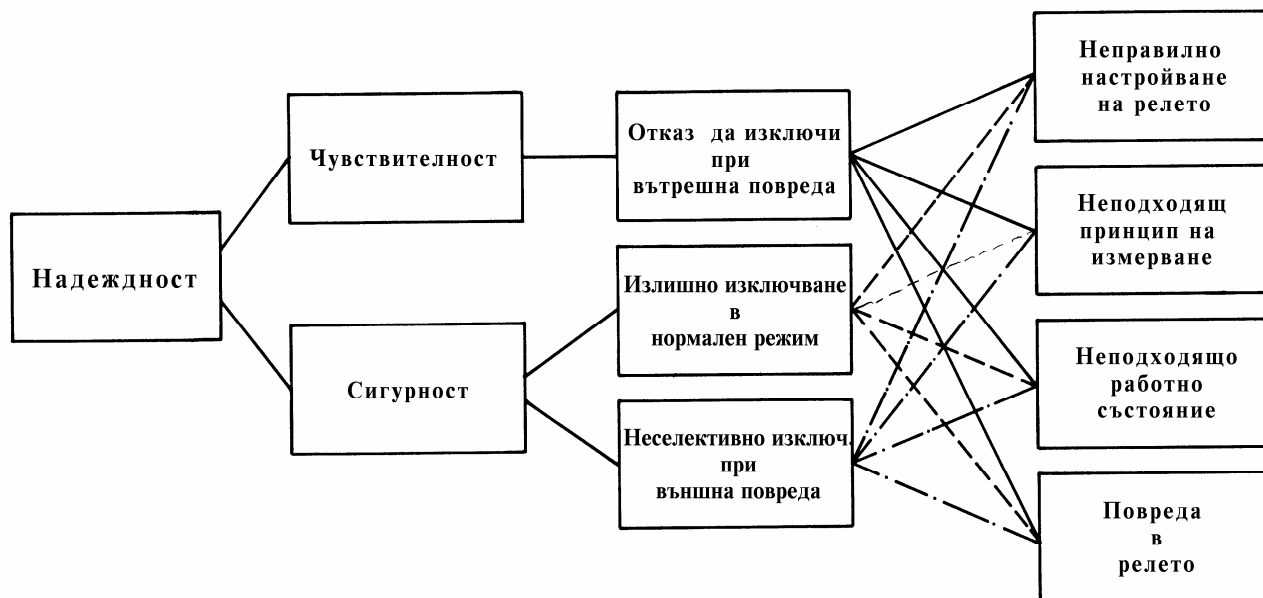
Откази на трансформаторни защиты			
	Отказ на реле	0,2	Отказ на апарат
	Релето не е въведено	0,2	
	Променливотокови вериги	0,1	
	Постояннотокови вериги	0,1	
	Забавено заработване поради голяма преходно съпротивление, насищане на ТТ и др.	0,1	Отказ поради принципа на РЗ
	О б щ о :	0,7	

В. Лъжливи заработвания на защиты

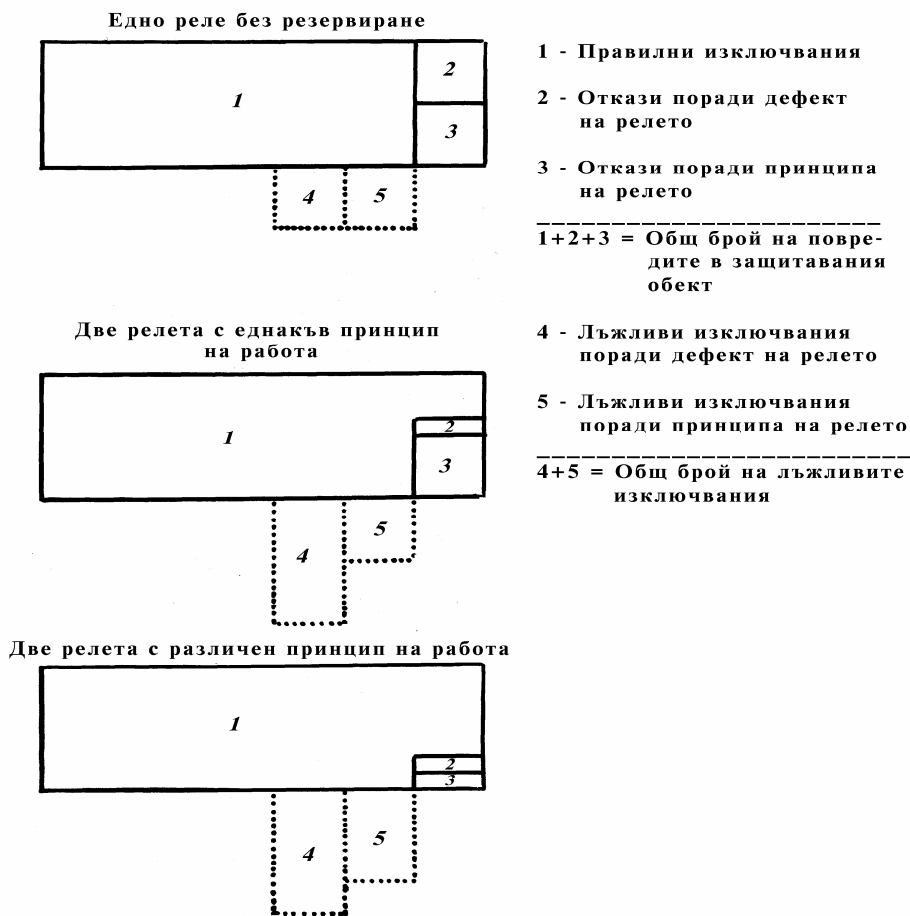
Лъжливи действия за 100 години на едно реле

	Отказ на реле	1,0	Отказ на апарат
	Релето не е въведено	0,7	
	Променливотокови вериги	0,5	
	Постояннотокови вериги	0,5	
	Забавено заработване поради голяма преходно съпротивление, насищане на ТТ и др.	1,0	Отказ поради принципа на РЗ
	О б щ о :	3,7	

25.03. Резервиране на РЗ

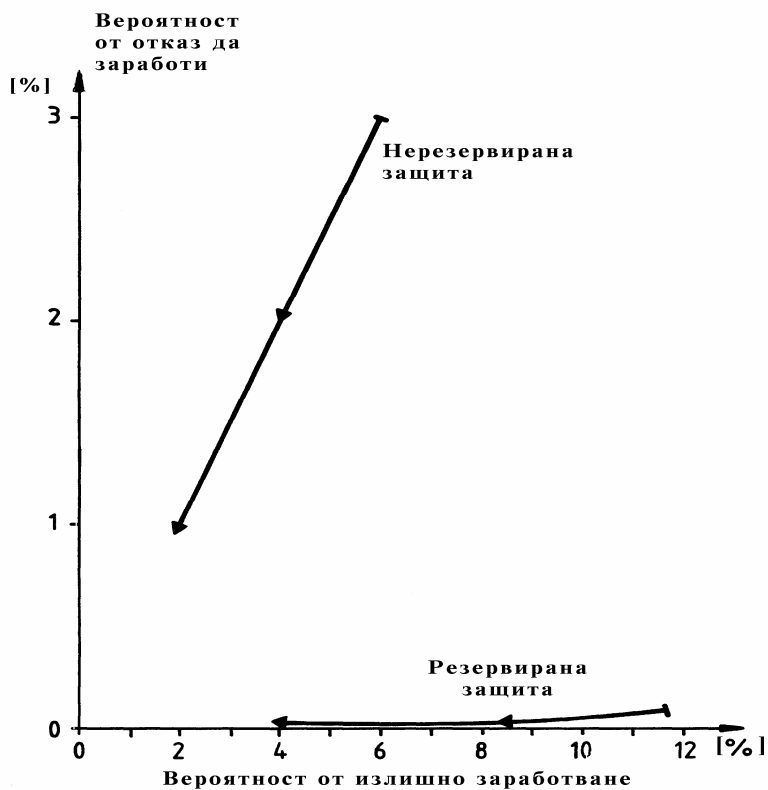


Фиг. 25.03.01. Правилни действия, откази и лъжливи действия

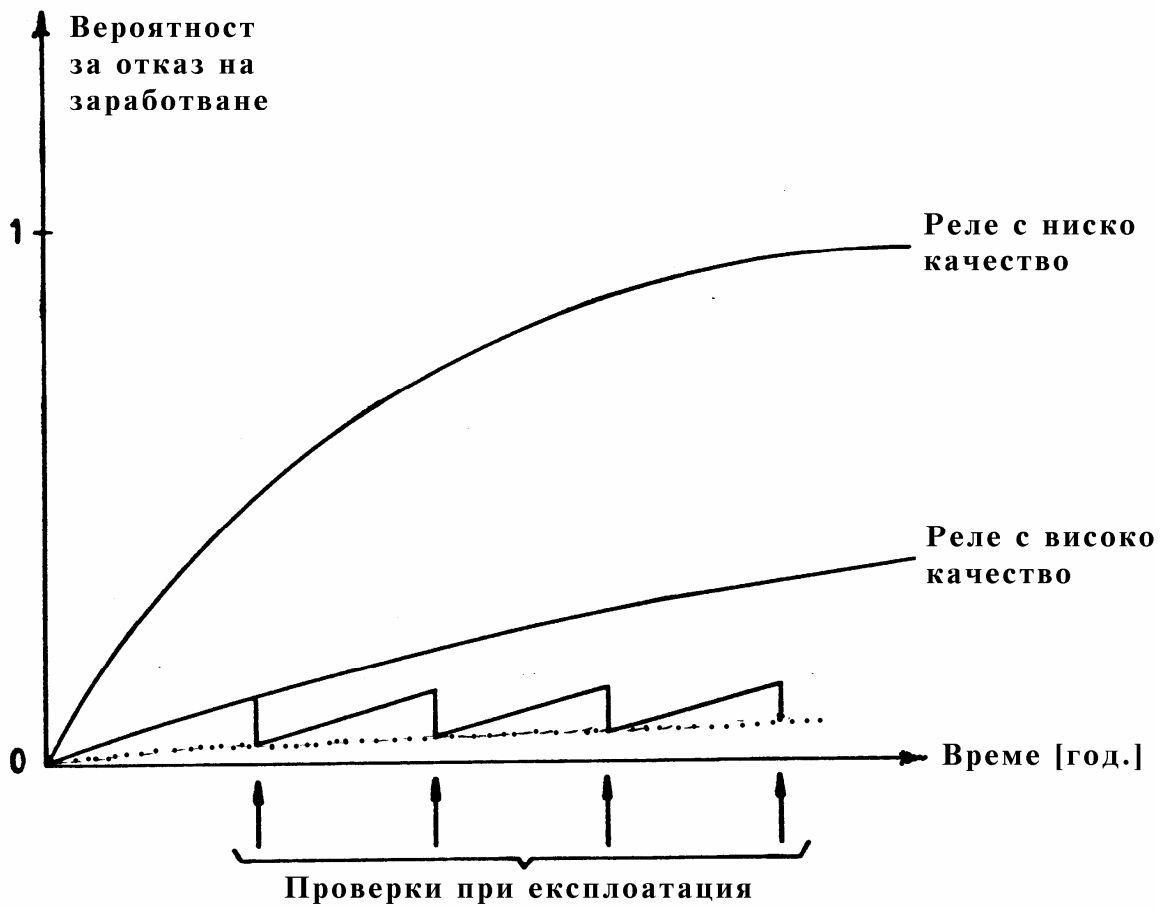


Фиг. 25.03.02. Ефект от резервиране с релета на еднакъв и различен принцип

Фиг. 25.03.03. Ефект от подобряване на надеждността на релетата



25.04. Проверка и самопроверка на цифровите защиты



Фиг. 25.04.01

25.05. Изпитване с "интелигентни" товарни устройства

25.06. Изпитване на смущения и пренапрежения

26. Устройство за мониторинг на аналогови сигнали

Въведение

Устройството за мониторинг на аналогови сигнали тип SACO 16A3 е част от системата за вторична комутация на подстанцията, наречена SPACOM. Системата SPACOM включва още релейни защиты и устройства, модули за дистанционно управление, двупозиционни сигнализиращи блокове и комуникатори за получаване на данни и отчитане на събития. Всички части от системата SPACOM могат да се използват като самостоятелни независими устройства. Същевременно, в зависимост от приложението, разнообразните части на системата могат да работят съвместно чрез шина за данни, като изпълняват функции на защита, контролиране, получаване на данни, системи за отчитане и управление.

Чрез серийна шина, разработена специално за целта, различните части на SPACOM могат да се свържат към по-високо йерархично ниво, например към системата за дистанционно управление или друга автоматична система.

26.1. Характеристики

- Самостоятелно устройство за мониторинг на аналогови входни сигнали или сигнали от външен контакт
- Четирицифрен буквено-цифров дисплей и матричен 64x120 LCD дисплей за локално представяне на данни
- Сериен куплунг с оптична SPA-шина за свързване на устройството към по-високо йерархично ниво на система за получаване и отчитане на данни или на система за дистанционно управление
- 36 стандартни канала с външно избираем обхват на входния сигнал
- За всеки канал има четири избираеми настройки за сигнализация и изключване
- Регистър на събитията за местно представяне на последните 30 събития
- Лесен избор на параметри и ясна конфигурация на цялото устройство за мониторинг
- Усъвършенствана вградена система за самонаблюдение за повишаване на експлоатационната надеждност

26.2. Област на приложение

Блоковете и модулите на системата SPACOM са изпълнени и изпитани при най-тежките условия на околната среда, за които се гарантира максимум на функционалната надеждност и висока устойчивост на смущения. Също така специално внимание се обръща на такива свойства на системата като гъвкавост и приспособимост към различни задачи. Типични области на приложение с посочените по-горе характеристики са:

- електрически централи и разпределителни подстанции
- индустриални предприятия и производствени уредби
- морски уредби

26.3. Информация за системата

Базов е един 16-канален аналогов блок за мониторинг, подходящ за различни цели, който има за всеки канал две високи нива с възможност за настройване и две ниски нива, също с възможност за настройване.

Каналите за мониторинг могат да бъдат приспособени лесно чрез програмиране към различен тип преобразователи със сигнали като ток, напрежение или съпротивление. Сигнали от външен контакт също се приемат като входни сигнали.

Блокът за мониторинг включва осем изходни помощни релета:

- Шест изходни релета са резервирани за целите на груповото сигнализиране;
- Едно изходно реле е предвидено за управлението на изходното устройство, което е за звукова сигнализация (аларма);

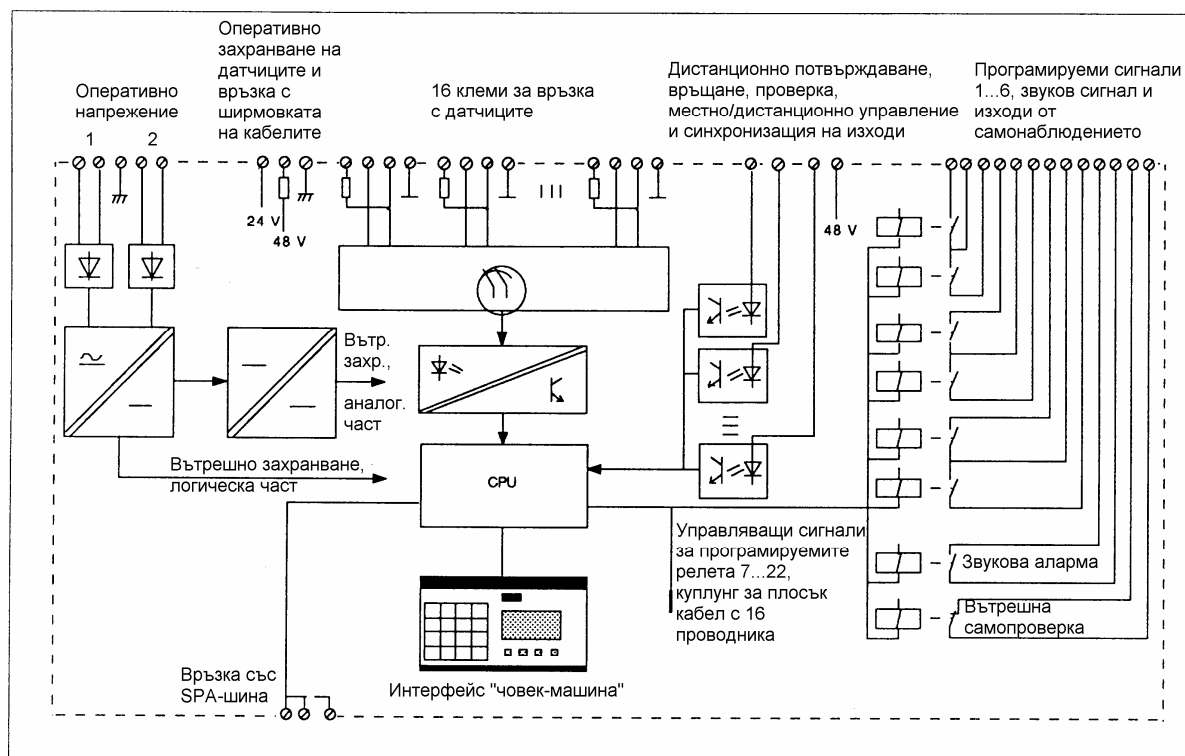
- Едно изходно реле се управлява от системата за вътрешно самонаблюдение на блока.

Една по-висока йерархична система за данни може да получава от блока за мониторинг информация чрез серийния интерфейс, например измерени величини, съобщения от регистъра на събития, настройки или други параметри. Също така, настройките могат да бъдат променяни по серийния интерфейс. Устройството за мониторинг може да представлява част от цялостна система за предаване и мониторинг на данни и събития.

Разнообразието в характеристиките на дисплея позволява устройството за мониторинг да се използва като средство за локално измерване. Измерените величини се представят като числа на цифровия дисплей или във форма на плавни линии или стъпални графики на матричния дисплей. Графиката на измерената величина може да се представи чрез различни скали на времето. Съдържанието на регистъра на събития също може да бъде показано на дисплея.

Когато измереният параметър надвиши или спадне под съответната настроена стойност, някой индикатор на лицевата плоча започва да мига. Едновременно с това сигналното изходно реле за звукова сигнализация заработва, а едно или повече програмируеми сигнални релета са предвидени да реагират. След това събитието се записва в регистъра на събития заедно с реалното му време.

26.4. Блокова диаграма



Блокова диаграма на устройство за мониторинг

26.5. Механична конструкция

Блокът за мониторинг е устройство от модулен тип и включва следните модули:

- модул на оперативното захранване
- входен модул за аналогови сигнали
- микропроцесорен модул
- модул на дисплея
- входно/изходен модул

Също така, блокът за мониторинг съдържа модул за свързване, на който се намират от едната страна РСВ куплунзи и от другата страна - клемореди за улесняване на външните връзки.

Клемите за входните сигнали от преобразувателите и клемите за дистанционно връщане на входните сигнали са монтирани на разглобяем цокъл, който може да се използва като самостоятелна база за връзки, например когато сигнализиращият блок е монтиран на пулт или табло.

26.6. Функции на входните канали

26.6.a. Функции на преобразувателите

Към входните канали на устройството се подава ток, напрежение, съпротивление или се включва външен контакт. Входовете на каналите на устройството са направени така, че да могат да се съгласуват с различни типове преобразуватели, които са да се свържат лесно чрез програмиране и чрез свързване на входните сигнали към подходящите клеми.

Входните вериги на каналите са галванически отделени от шасито на устройството и от цифровата част на електрониката. Каналите, обаче са галванически свързани помежду си. Тези мерки, описани по-горе позволяват лесно да се контролират и откриват земни съединения в датчиците и техните проводници.

Повредите в кабелите се контролират чрез сигналите от датчиците, които за да бъдат приети не трябва да се различават от програмираните обхвати на измерване. Следователно, прекъсване на кабелите не може да се открие, когато във веригите на датчиците сигналите варират около нулата. Повредите в кабелите се показват на цифровия дисплей и едновременно се блокират изключващите функции.

Обхватите на входните канали за токови сигнали могат да се изберат чрез програмиране от серия от стандартни обхвати, т.е. 0...5 mA,

1...5 mA,
0...20 mA,
4...20 mA.

Вграденият шунтов резистор 270 Ω е свързан към входа на канала чрез мост. Друга възможност е да се използва външен шунтов резистор, в който случай за предпочитане е входът да бъде програмиран за обхват на входни сигнали 0...1 V. Оперативното захранващо напрежение за датчиците може да се получи от самия блок за мониторинг. Нивото на напрежението е 24 V dc, а токовата консумация не трябва да надвишава 320 mA.

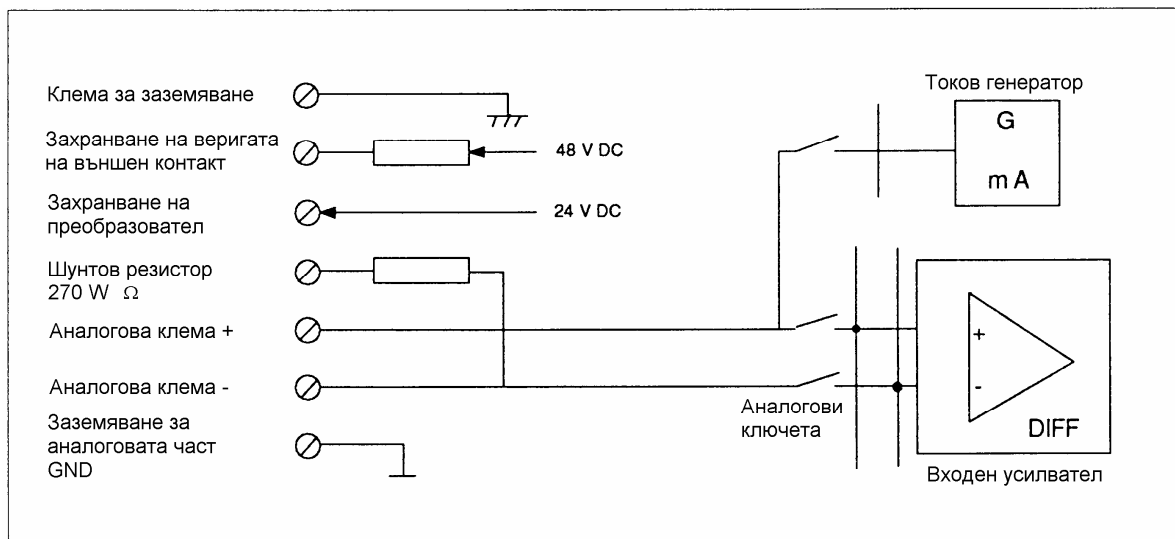
Програмируемите обхвати на входните канали за напрежителни сигнали са 0...1 V, 0...5 V, 1...5 V, 0...10 V и 2...10 V, а захранването с оперативно напрежение на преобразувателя може и в този случай да се получи от самия блок за мониторинг.

Когато входните канали се свързват към съпротивление, входовете трябва да се програмират за различни преобразуватели в обхвата (0...130 Ω)...(0...10k Ω). Освен потенциометричните преобразуватели може да се използват следните типове съпротивителни датчици: Pt100, Pt250, Pt1000, Ni100, Ni120, Ni250 и Ni1000. Освен това избираемият вход за съпротивителни датчици-Pt и датчици-Ni може да бъде калибриран с потенциометри в самия блок.

Датчиците могат да бъдат свързани с входовете на каналите според принципа с два или три проводника. Ако се използва три-проводният принцип импедансите на самите проводниците се компенсират, при условие, че и двата проводника имат еднакъв импеданс.

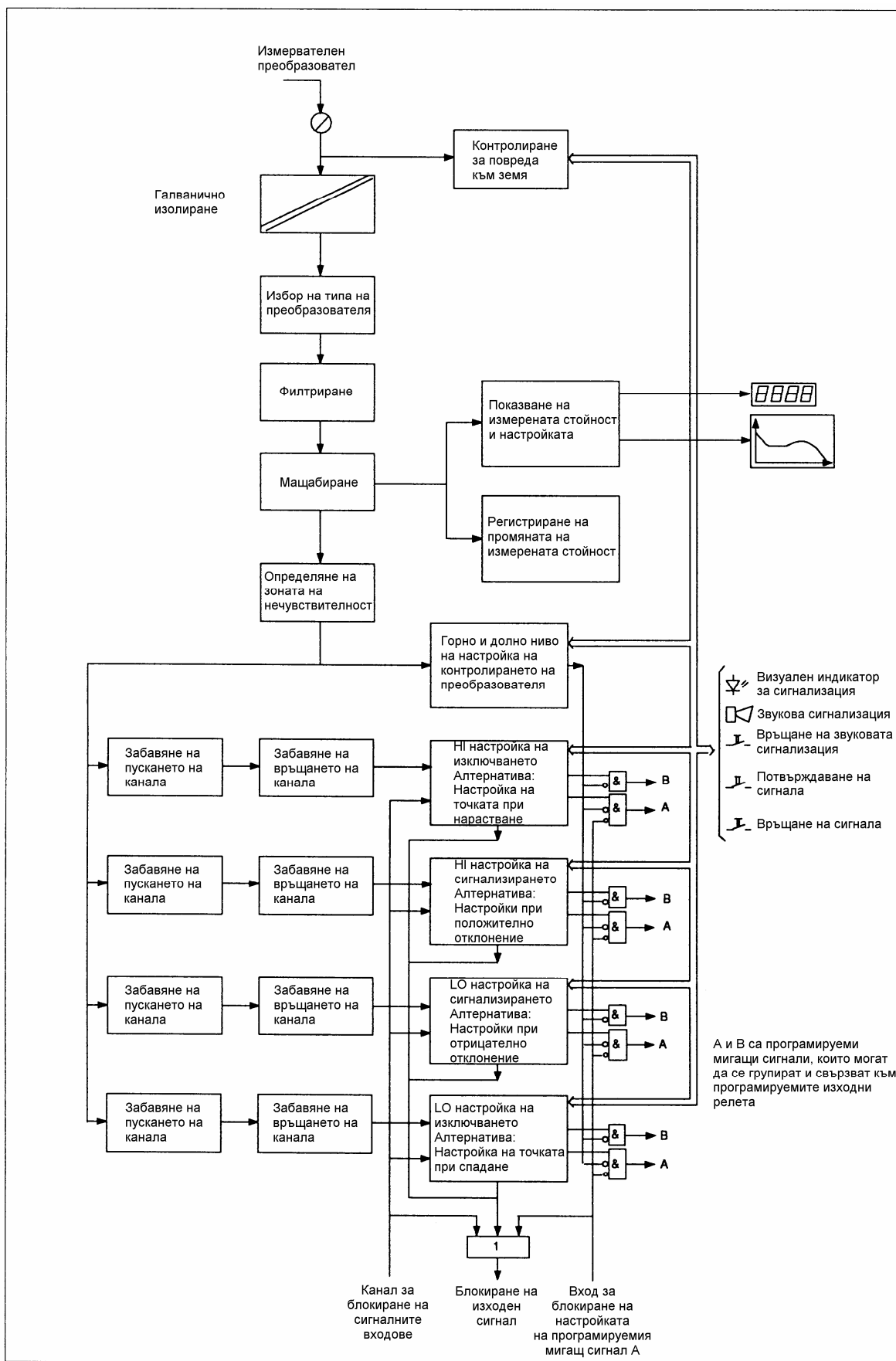
Когато се използва дву-проводно свързване импедансът на проводника може да се компенсира чрез изчисляване на съответната температурна промяна в таблиците на Pt- или Ni-датчиците.

Нормално отворени или нормално затворени външни контакти могат също да бъдат свързани към входовете на каналите. Оперативното напрежение +48 V dc за външните контакти се взема от самия блок за мониторинг. Блокът измерва токът, циркулиращ във веригите на външните контакти чрез вграден шунтов резистор, който трябва да бъде свързан с входа на канала чрез мост. Циркулиращият ток за един затворен външен контакт е приблизително 4 mA.



Принципна диаграма на входен канал

Различните функции на каналите на устройството за мониторинг са показани на следващата диаграма. Настройките на параметрите са въведени чрез бутоните и дисплея, които са на лицевата плоча или чрез серийния интерфейс.



Блокова диаграма на функциите на каналите

Веригите на преобразователите са галванически разделени от “земята” на устройството и от “електрониката”. Помежду си, обаче веригите на преобразователите са свързани. Това означава, че веригите на преобразователите са с плаващ потенциал и не трябва да бъдат заземявани. Методът на галваническото разделяне се прилага, за да укрепи състоянието на висока устойчивост на смущения на входа на канала и да осигури начини за използване на защита срещу земни съединения във веригите на преобразователите.

26.6.b. Избор на типа на преобразователя

Типът на канала се предава на блока за мониторинг чрез базов параметър за всеки канал. Програмирането се извършва посредством използването на параметъра S.

Пример

S	Тип на канала
0	= вход за външен контакт
1	= неопределен
2	= неопределен
3	= 0...5 mA
4	= 1...5 mA
5	= 0...20 mA
6	= 4...20 mA
7	= 0...1 V
8	= 0...5 V
9	= 1...5 V
10	= 0...10 V
11	= 2...10 V
12	= Pt 100, -20...230°C
13	= Pt 100, -20...600°C
14	= Pt 250, -20...230°C
15	= Pt 250, -20...600°C
16	= Pt 1000, -20...230°C
17	= Pt 1000, -20...600°C
18	= Регулируем Pt-датчик, -20...600°C
19	= Ni 100, -13...130°C
20	= Ni 100, -13...250°C
21	= Ni 120, -45...250°C
22	= Ni 250, -13...130°C
23	= Ni 250, -13...250°C
24	= Ni 1000, -13...130°C
25	= Ni 1000, -13...250°C
26	= Регулируем Ni-датчик, -13...250°C
27	= 0...200 Ω
28	= 0...500 Ω
29	= 0...2000 Ω
30	= 0...1000 Ω
31	= 0...2500 Ω
32	= 0...10 kΩ
33	= Вход с регулируем потенциометър (0...130Ω)...
34	= Вход с регулируем потенциометър (0...640Ω)...
35	= неопределен

26.6.c. Филтриране

За филтриране на сигнал се използва така наречения междинен филтър. Този тип филтър не пропуска пикови смущения, но пропуска направо промените в стойността на измервания параметър.

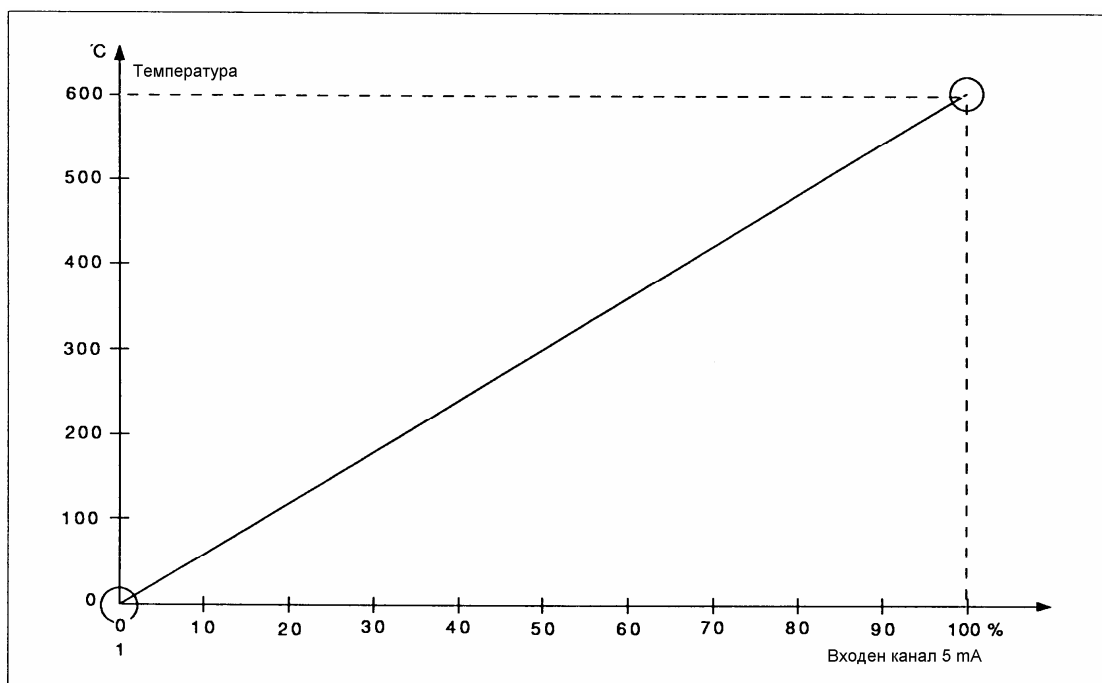
Може да се избират три степени на филтриране. Зададената времеконстанта определя степента на затихване на входния сигнал.

Времето на реакция на сигнала се програмира на 300 ms, 1 s или 5 s.

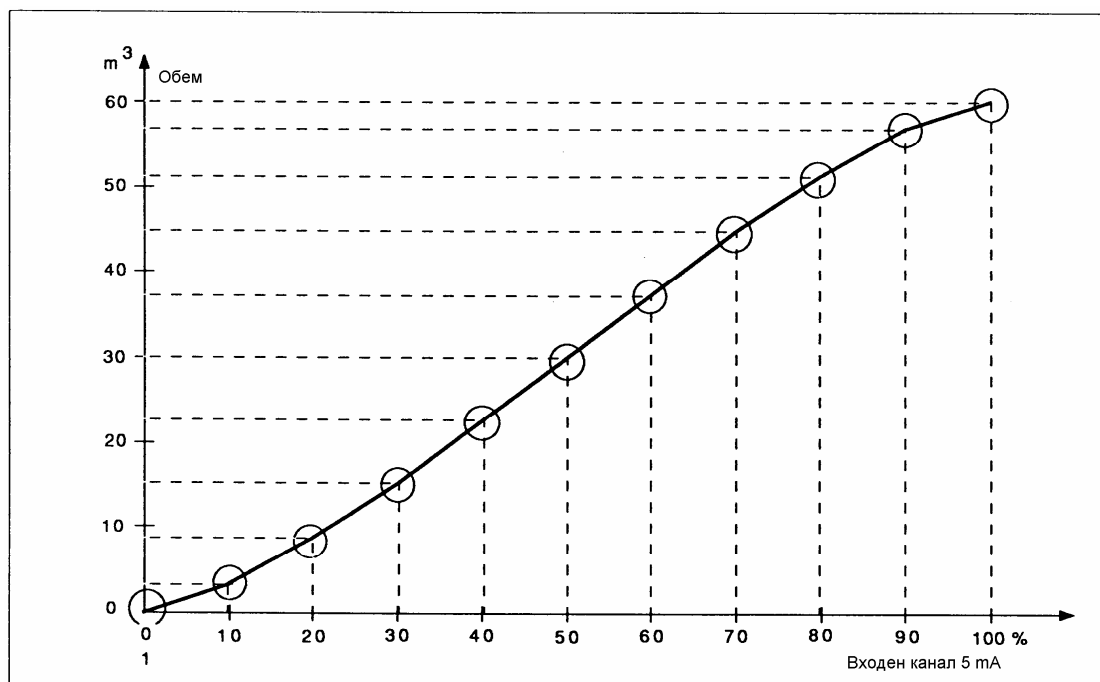
С цел да се подтиснат смущаващите сигнали от променливотоковата (АС) мрежа, може да се въведе като параметър честотата на мрежата – 50 Hz или 60 Hz.

26.6.d. Мащабиране

Каналите на устройството за мониторинг се мащабират индивидуално. Обхватът за мащабиране е $\pm 0.000 \dots 9999$. Позицията на десетичната точка се определя от максималната въведена стойност. За измерваният сигнал може да бъде зададено линейно или нелинейно мащабиране. Линейното мащабиране се представя чрез задаване на стойността на мащаба за минималната и за максималната стойност на измервания сигнал. Нелинейното мащабиране се представя чрез разделяне на обхвата на сигнала от преобразувателя на десет подобхвата, всеки от които може да бъде мащабиран поотделно. Следователно мащабирането е зададено с начупена линия. Тази функция може да се използва за компенсиране на неточност в преобразувателя или за линеаризиране на нелинеен преобразовател.



Пример за линейно мащабиране. (Например: измерване на изпуснат газ)



Пример за нелинейно мащабиране. Фигурата показва измерването на количеството течност, намиращо се в хоризонтален цилиндричен резервоар чрез измерване на нивото на повърхността на течността.

26.6.e. Големина на измерваните величини

Големината на измерваните величини, получени във всеки канал може да съдържа максимум 5 знака. Размерността е показана на матричния дисплей заедно с настроените стойности. Размерността на измерваните величини може също да бъде въведена чрез серийния интерфейс, използвайки параметър S49.

S49 XXXXX = пет знака

26.6.f. Контролиране на преобразователите

Нивото на измерваният сигнал от всеки преобразовател се контролира непрекъснато. Ако измерваният сигнал спадне или се повиши с повече от 4% спрямо определения обхват на входния сигнал за всеки канал, се счита, че преобразователят или свързването му са повредени. Сигналят за повреда на преобразователя се активира моментално и се отделя автоматично от измерването. На цифровия дисплей се показва буквата F и номера на канала, а събитието се записва в локалния регистър за събития.

Каналът се връща към нормална работа, когато преобразователят работи в зададения обхват за време не по-малко от най-продължителното избрано време на пускане или връщане на канал плюс 15 s.

26.6.g. Колебания на входните величини

За всеки вход на преобразовател може да се зададе допустимият брой събития (настройка на преходите) за минута, т.е. притежава специфичен параметър за контролиране на осцилациите. Ако зададеният брой се надвиши, записването на нови събития спира. Каналът се поставя в активно състояние и остава така, докато не изтекат две минути без записване на събития, превишаващи настройките. След това каналът се връща към нормална работа.

Целта на контролирането на колебанията на входовете на каналите е да предпази преобразователя от повреда при претоварване на системата за високо ниво при продължително предаване на съобщения за събития.

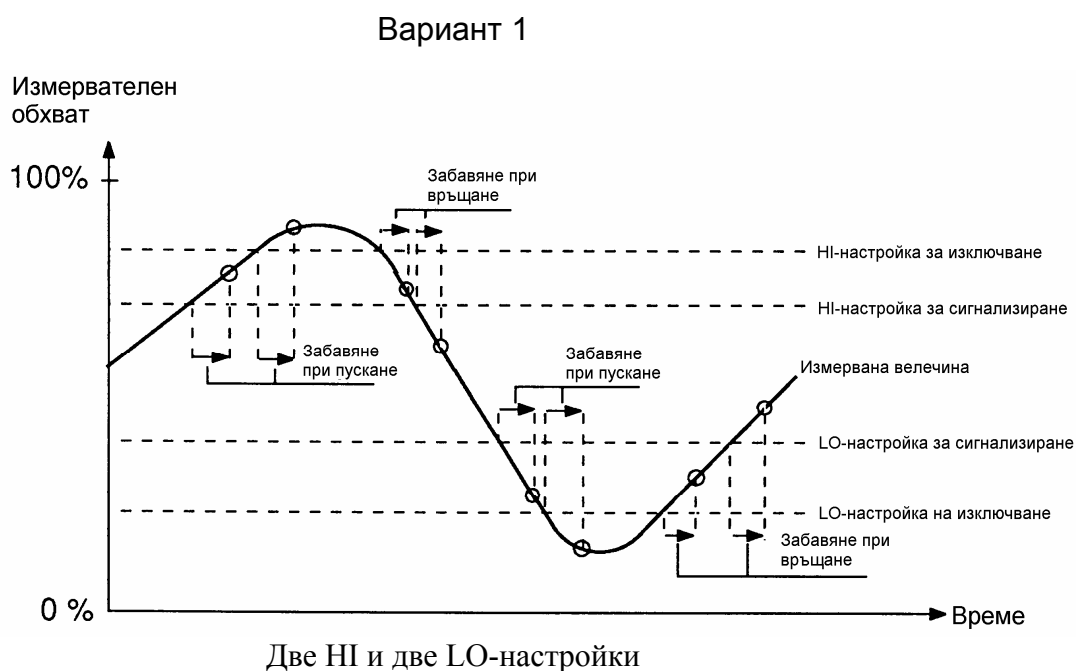
26.6.h. Земни съединения

Аналоговата част на устройството за мониторинг, т.е. електрическите схеми на входовете на каналите са галванически изолирани от земята и поради това те са с плаващ потенциал. Това свойство позволява на блока за мониторинг да бъде снабден с вградена контрола при земни съединения в преобразувателите, техните проводници и входовете на каналите. Чувствителността на контролата срещу земни съединения е $5 \dots 10 \text{ k}\Omega$. Когато се открие земно съединение на цифровия дисплей се появяват буквите EF. Активира се изходът за звуковата сигнализация и изхода за самонаблюдение.

Индикаторите остават да светят докато ситуацията със земно съединение не се премахне. Контролирането при земни съединения може да бъде изведено от употреба чрез преместване на моста S1 от дънната РС-платка. Мостът е направен достъпен чрез отстраняване на лицевата плоча и преместване на захранващия модул наляво.

26.6.i. Настройки

На всеки канал могат да бъдат зададени най-много четири настройки, в съответствие с два принципа. Първият принцип включва две HI-настройки и две LO-настройки. Вторият принцип включва една HI-настройка и една LO-настройка, а също така една настройка за времето на нарастване и една настройка за времето на намаляване. Когато входният сигнал надвиши или спадне под съответната зададена настройка и след изтичане на времето за забавяне на пускането на канала, се осъществява сигнализиране. Ако е била избрана, се осъществява и програмируема звукова сигнализация. Индикаторите и изходните релета се връщат в съответствие с избраната последователност, ако: измерваната величина се е върнала в нормални граници; времето за връщане на канала е изтекло; необходимите потвърждения са били направени. Всеки път, когато измерваната величина пресече настройка се прави запис във вътрешния регистър за събитията, като се маркира и времето.



Пример 1, показващ изменение на измерваната величина при пресичане на настройките. Стрелките показват времето за пускане и връщане, когато има превишаване и спадане под HI и LO-настройките за сигнализиране и изключване. Също така се обръща внимание на ефекта от зоната на нечувствителност.

26.6.j. Забавяне на пускането на канал

Активирането на канала може да бъде забавено за време от 0,5 до 255 s спрямо момента на пресичане на настройката. Програмирането може да се извърши чрез серийния интерфейс.

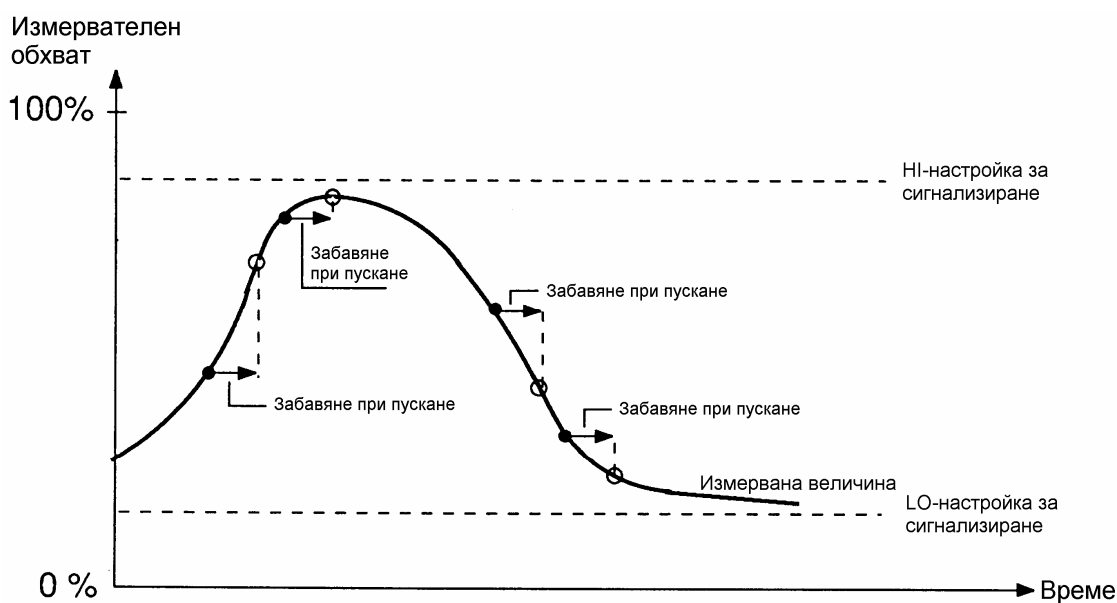
26.6.k. Забавяне на връщането на канал

Връщането на канал след пресичане на настройка може да бъде забавено за време от 0,5 до 240 s. Програмирането може да се осъществи чрез серийния интерфейс.

26.6.l. Зона на нечувствителност

На всеки канал може да бъде зададена индивидуална стойност за зоната на нечувствителност, въведена в хилядни части от измервателният обхват. Превишаването на настройката активира канала, но за осъществяване на връщане е необходимо входната величина да спадне под или да надвиши съответната настройка със стойност, определена от настройката на зоната на нечувствителност. Стойността на зоната на нечувствителност се въвежда чрез параметъра S 46 при използване на серийния интерфейс.

Вариант 2



Една HI- и една LO-настройка и по една настройка за скоростта на нарастване и скоростта на намаляване на измерваната величина

Пример 2, показващ пресичане на настройките. Стрелките показват времето за пускане и връщане, когато има превишаване и спадане спрямо настройката на скоростта на нарастване и скоростта на намаляване на измерваната величина. Също така се обръща внимание на ефекта от зоната на нечувствителност.

26.7. Местно / дистанционно управление

Блокът за мониторинг има два управляващи входа, означени с LOCAL (МЕСТНО) и REMOTE (ДИСТАНЦИОННО). Когато блокът за мониторинг се използва в електрическа централа без обслужващ персонал, изходът за звуков сигнал може да се изведе от употреба, чрез активиране на входа REMOTE (ДИСТАНЦИОННО).

26.8. Часовник за реално време

Блокът за мониторинг притежава часовник за реално време, поддържан с батерия. Часовникът показва означения, включващи: година, месец, ден, час, минута и секунда.

26.8.a. Синхронизиране на часовника

Когато блокът за мониторинг представлява част от система, включваща още защиты, управление, автоматика и т.н., часовникът се синхронизира автоматично веднъж на всяка секунда чрез синхронизиращ импулс по шината за данни. Часовникът може също така да бъде синхронизиран чрез синхронизиращия вход на клемния блок посредством принципа за минутно синхронизиране. Необходимата минимална дължина на управляващия импулс е 100 ms.

26.8.b. Настройване на времето

Настройването на базовото време се извършва чрез матричния дисплей и подменю на параметъра TIME SETTING. Година, месец и ден се настройват с параметъра DATE (ДАТА). Чрез параметъра TIME се настройват: часовете, минутите и секундите. Настройката на времето може да се извърши чрез серийния интерфейс посредством параметъра T.

26.9. Измерване на средна стойност

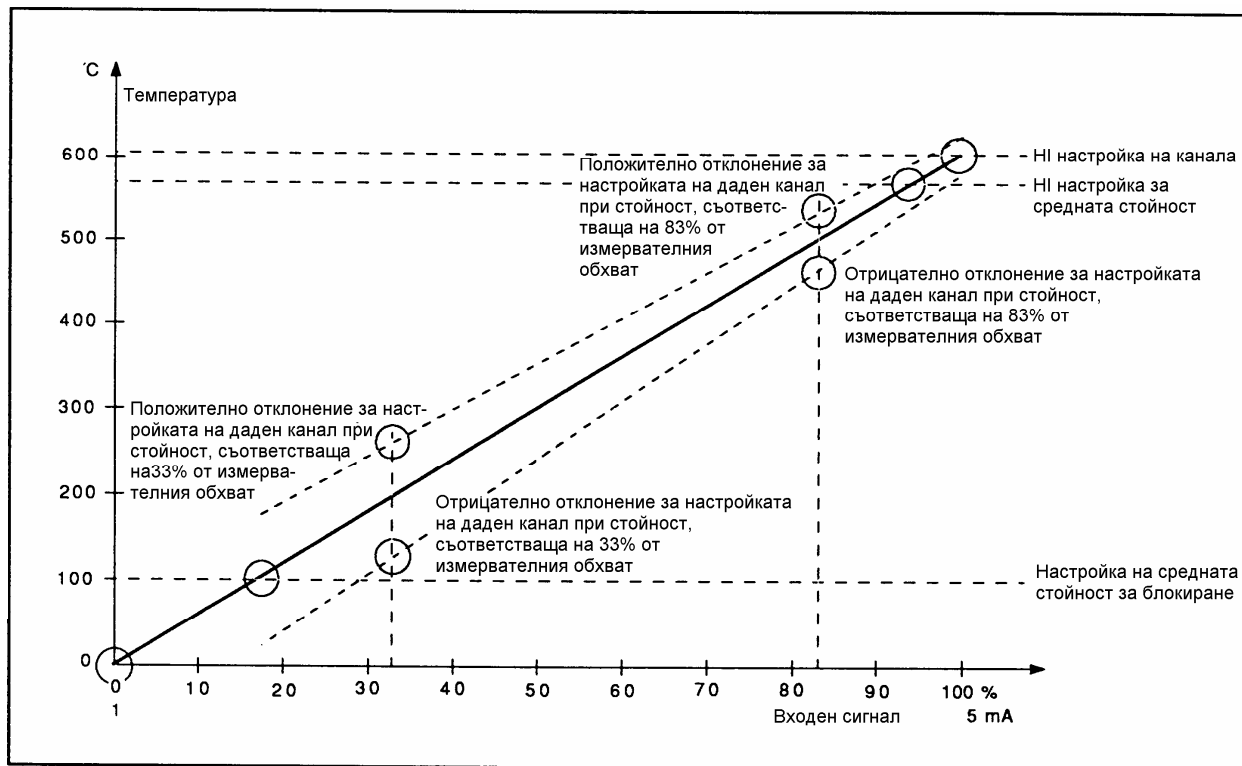
Блокът за мониторинг притежава функция за измерване на средна стойност, която е свързана с канал 0. Функцията за средна стойност е програма, която пресмята мащабираната средно аритметична стойност за каналите, които са включени в това измерване.

Често срещано приложение на функцията за измерване на средната стойност е при наблюдението на температурата на изхвърляните газове от дизелов двигател. Средната стойност осигурява индикация за условията на натоварването на двигателя. За всеки цилиндър може да се определи отклонението на температурата спрямо средната стойност, до което е допустимо да нараства температурата на цилиндъра при различни условия на натоварване на двигателя.

26.9.a. Настройки на средната стойност

За средната стойност могат да се направят две настройки. Едната настройка е “горна настройка”, която може да се отнесе към една или две групи програмируеми изходи за сигнализация. Другата настройка е “долна настройка”, чийто сигнал се използва за блокиране на сигнализацията при отклонения за канали, свързани с функцията за измерване на средна стойност.

Функция за средна стойност: използване за наблюдение на температурата на изхвърляните газове от



дизелов двигател.

26.10. Протокол за обмен

Протоколът за обмен по шината е от типа ASCII.

26.10.a. Пренасяне на данни

Чрез серийния интерфейс от блока за мониторинг може да бъде прочетена следната информация:

- данни от регистъра за събития със съответните времена на събитията. Събитията могат да представляват превишавания на настройки или промени на измерваните величини извън зададения обхват
- стойности на измерваните величини
- настройки на стойности и настройки на параметри
- активиране на настройките

До блока за мониторинг може да се предаде следната информация:

- стойности на настройки и стойности на параметри
- управляващи команди за изходните релета
- сигнали за синхронизиране на часовника

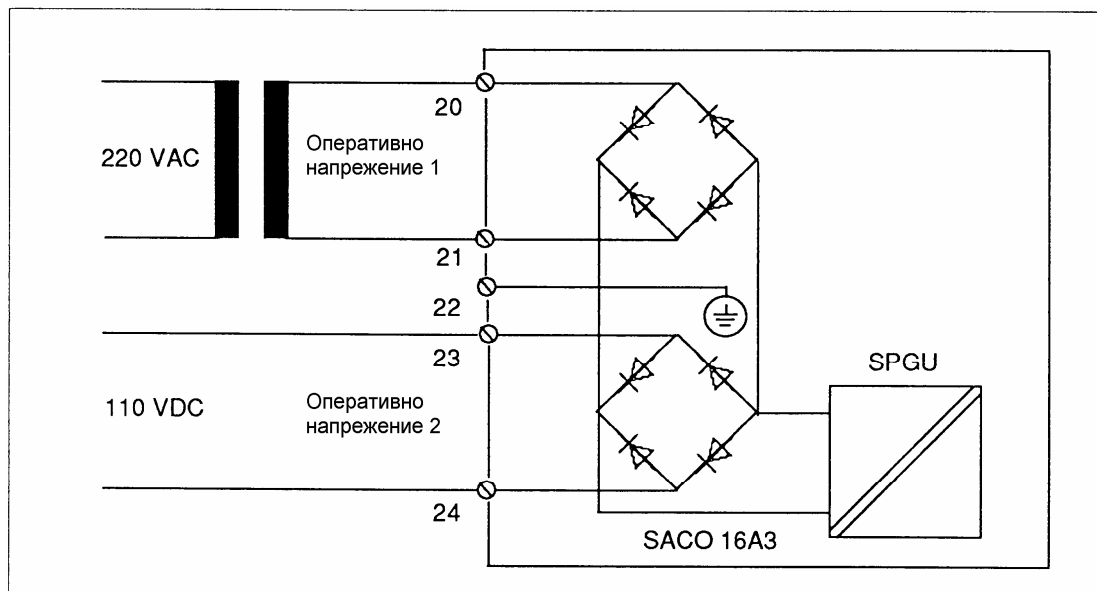
26.10.b. Скорост на пренасяне на данни

Нормалната скорост за пренасяне на данни по SPA-шината е 9600 Bd. Скоростта на пренасяне при необходимост може да бъде намалена на 4800 Bd, 2400 Bd, 1200 Bd и 300 Bd.

26.11. Дублирано оперативно захранване

Когато блокът за мониторинг е предназначен да се захранва от два източника, трябва да е озна-

чено, че двата входа за захранване на модула за оперативно захранване са галванически разделени. По тази причина един от източниците на захранване трябва да е снабден с галванически разделител. Галваническото разделяне може да се изпълни чрез разделителен трансформатор в променливотоковите вериги или чрез DC/DC-преобразувател в постояннотоковите вериги. Най-често срещаното решение е един от тези входове да се захранва от променливотоков източник и това захранване да е снабдено с разделителен трансформатор с мощност ≥ 30 VA и вторично напрежение в обхвата 80...265 V. Другият вход може да бъде свързан към постояннотоков източник, например акумулаторната батерия на електрическа централа или подстанция, също в обхвата 80...265 V dc.



Принципна схема на дублирано оперативно захранване:

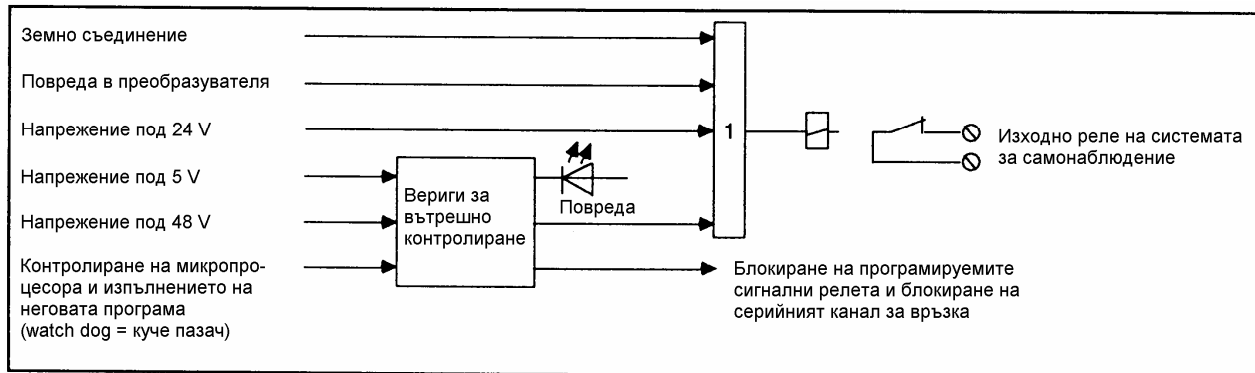
В горната фигура оперативното напрежение 1 е 220 V ac, подавано чрез разделителен трансформатор с коефициент на трансформация 1:1, оперативното напрежение 2 е постояннотоково, получавано от акумулаторната батерия 110 V на електрическата централа или подстанция. По този начин в примера показан по-горе нормално енергията се получава от променливотоковото захранване, а постояннотоковото захранване поема товара веднага, щом постояннотоковото захранване отпадне.

26.12. Самонаблюдение

Блокът за мониторинг е снабден с вградена система за самонаблюдение, която управлява едно нормално захранено изходно реле на което нормално затворените контакти са отворени. При откриване на вътрешна повреда или при загуба на оперативно захранване сигналното изходно реле се връща и нормално затворените му контакти се затварят.

Вградената система за самонаблюдение контролира непрекъснато вътрешните напрежения на устройството за мониторинг, работата на програмите на микропроцесора и действието на електрониката. При откриване на вътрешна неизправност се извършва автоматичното връщане и започване отново. Ако повредата изчезне продължава нормалната работа.

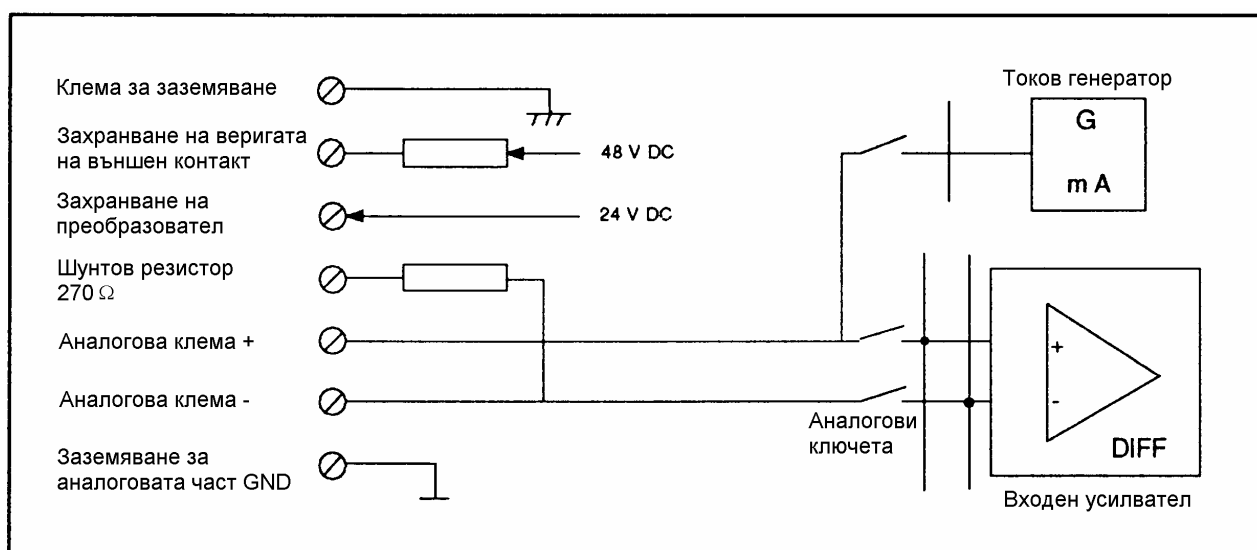
Системата за самонаблюдение управлява два светодиода (LED-индикатора), означени на лицевата плоча с ON (РАБОТИ) и FAULT (ПОВРЕДА). Ако се открие нередност в изпълнението на програмата, във функционирането на електрониката или в нивата на оперативното напрежение индикаторът FAULT (ПОВРЕДА) светва. Изходното реле на системата за самонаблюдение заработва и нормално отвореният контакт се затваря. Ако изчезне оперативното захранване, индикаторите ON (РАБОТИ) и FAULT (ПОВРЕДА) угасват едновременно.



Принципна схема на системата за самонаблюдение

26.12. Входи от преобразователите

26.12.a. Принципна схема за свързването на преобразовател

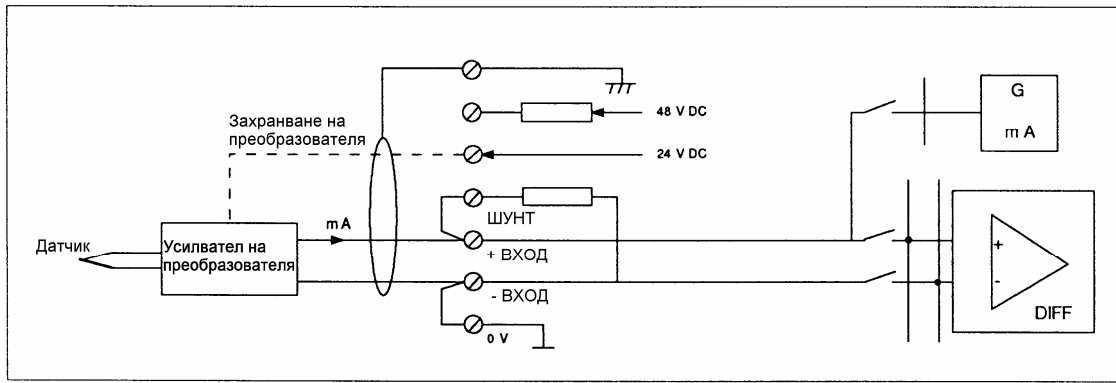


Клемата за заземяване е свързана към ширмовката на входните кабели от преобразователите. Когато входните кабели са екранирани поотделно, към една клема за заземяване са свързани две ширмовки. Ширмовката на кабела се заземява обикновено само в единия край на кабела.

26.12.b. Свързване на преобразователите

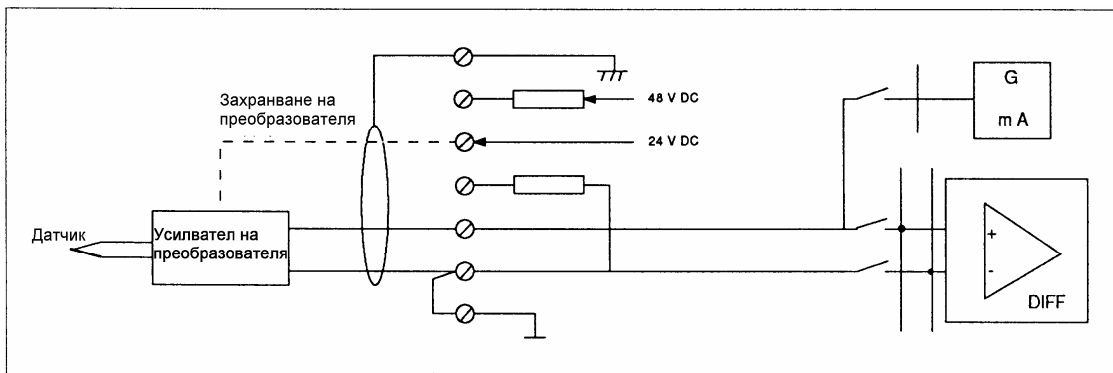
Блокът за мониторинг може да се свърже към голямо разнообразие от различни типове измервателни преобразователи, не само стандартизирани, но и други типове, определени от потребителя. Различните преобразователи са свързани към входовете на каналите както следва.

Токови преобразователи



Принципна схема за свързване на токови преобразователи

Напрежителни преобразователи

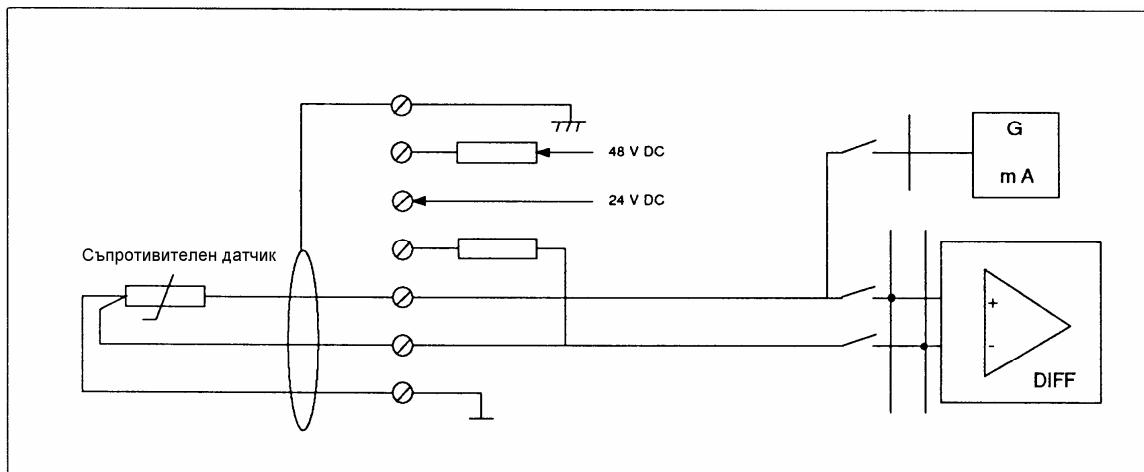


Принципна схема за свързване на напрежителни преобразователи

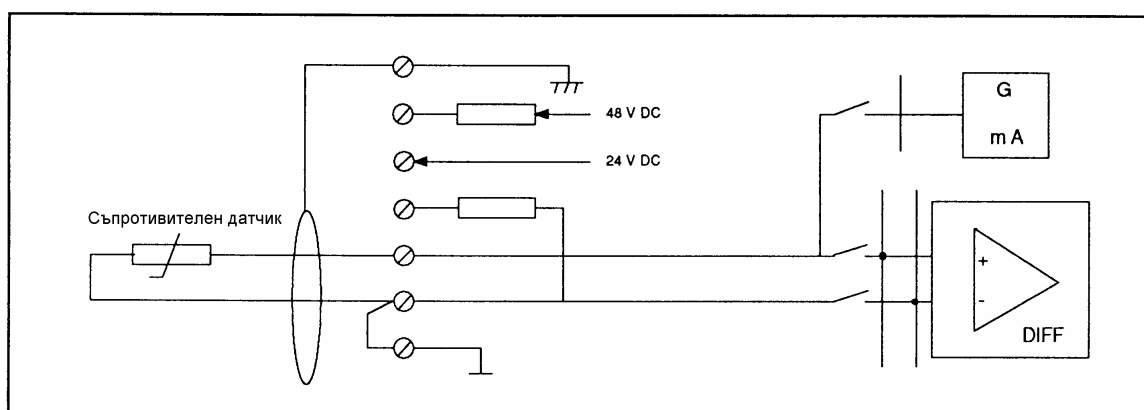
Съпротивителни преобразователи

Съпротивителните преобразователи могат да бъдат свързани към вход на канал както по три-проводен, така и по дву-проводен принцип. При три-проводния измервателен принцип се осъществява автоматично компенсиране на съпротивлението на проводника, свързващ преобразователя. Когато се използва дву-проводният измервателен принцип, компенсацията на съпротивлението на проводника трябва да се извърши ръчно, като първо се изчисли температурната промяна на съответният преобразовател като функция на съпротивлението на проводника. След това мащабирането се променя така, че величината се намалява със стойност, съответстваща на съпротивлението на проводника. Мащабирането се намалява както в края 0%, така и в края 100% на измервателния обхват.

Пример: Съпротивлението на проводник на датчик Pt 100 е 1,2 Ω , съответстващо на изчислена температурна промяна от 3°. Тогава мащабирането се определя така, че вместо обхватът -20...230°C стойността -23°C се въвежда за края на скалата 0%, а стойността 227°C - за края на скалата 100%.



Принципна схема на три-проводно свързване

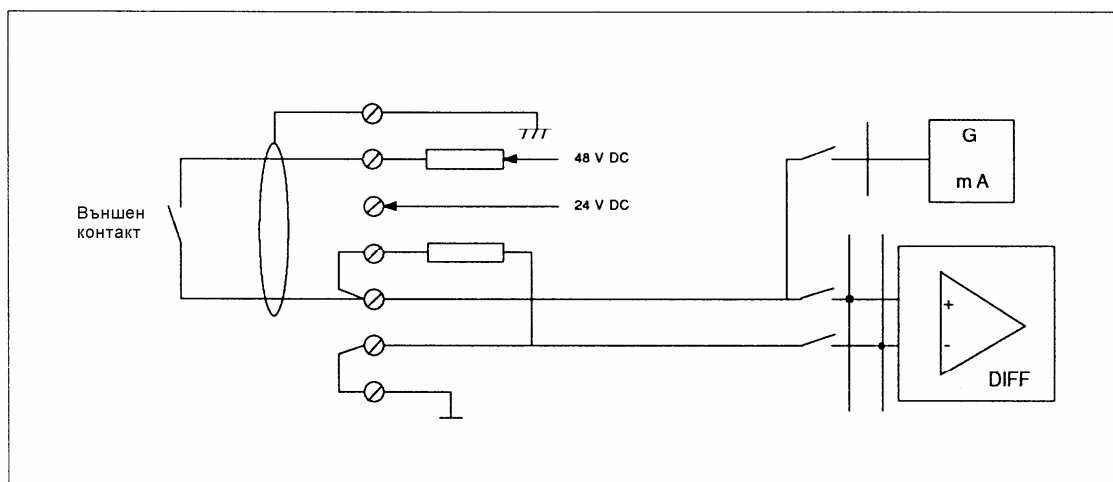


Принципна схема на дву-проводно свързване

Сигнали от външни контакти

Входът на канала е програмиран да приема:

- за затворящ се външен контакт - настройването на високата HI-настройка в средата на измервателния обхват,
- за отварящ се външен контакт - ниската LO-настройка, въведена в средата на измервателния обхват.



Принципна схема на сигнали от външни контакти

26.13. Технически данни

Брой на каналите на всеки блок за мониторинг	16
Избираем тип на сигнали от преобразователи	0...5 mA, 1...5 mA, 0...20 mA, 4...20 mA 0...1 V, 0...5 V, 1...5 V, 0...10 V, 2...10 V, Pt 100, Pt 250, Pt 1000 Ni 100, Ni 120, Ni 250, Ni 1000 Един избираем Pt или Ni сигнал в обхвата 65...1000 Ω, сигнал от потенциометър в обхвата 0...200 Ω, 0...500 Ω 0...1 kΩ, 0...2 kΩ, 0...2.5 kΩ, 0...10 kΩ, контактна функция
Типове мащабиране	линейно или нелинейно
Филтриране на сигнала, избираемо базово време за 0...90 % стъпална характеристика	0,3 s, 1 s или 5 s
Брой на настройките за всеки канал	две HI- и две LO-настройки или една HI- и една LO-настройки плюс една настройка за скорост на нарастване и една за скорост на намаляване
Забавяне на пускането при пресичане на настройката на канал	0...255 s
Забавяне на връщането след пресичане на настройката на канал	0...255 s
Настройване на обхвата за зоната на нечувствителност за всеки канал	0...100 ‰ (на хиляда)
Точност на измерването	0,5 % от обхвата на скалата
Захранване на преобразователите	24 V dc ± 10 %, max. 320 mA
Контролиране на преобразователите, измервателен обхват	Напълно избираеми горна и долна граница за ниво на сигнал от преобразовател
Контролиране на веригата на преобразовател срещу земно съединение	Вградено, с чувствителност при 5...10 kΩ
Контролиране на колебанията от преобразователя	Избираеми 1...255 събития/секунда. Може да бъде и изведено от употреба
Функция на канал за сравняване	Всеки канал може да бъде определен като канал за сравняване. Стойността за сравняване може да бъде средната стойност на измерваната величина на всеки от каналите 2...16
Настройки на отклоненията на стойността за сравняване	Две избираеми настройки, една горна и една долна, отделно задавани като 33% и 83% от измервателния обхват. Настройките между тези зададени стойности се получават чрез интерполиране, а извън тях - чрез екстраполиране.

Регистриране на измененията на измерваната величина

Избираема настройка за големината на изменението, която ще се съхранява като събитие в регистъра за последователността на събитията

27. Намаляване на цените и по-високи експлоатационни качества чрез модернизация [1]

Въведение

Релейните защиты на електроенергийните системи представляват многообразно предизвикателство за инженерите. Защитните устройства се прилагат към екстремалните напрежения и токове, които са по принцип неблагоприятна околна среда за електронните устройства. Докато задачата за намаляване на опасността при повреда е елементарна за решаване, то настройките на устройствата е голямо предизвикателство.

Исторически технологиите на защитите се развиват паралелно с електронната и електрическата индустрия, която винаги осигурява съответстващи инструменти, за да може да се работи. Краткият анализ на електроснабдяването на промишлеността за периода от 1960 до 1980 г. показва, че сигурността на захранващите и защитните съоръжения е била приемлива. Движеща сила към електронните и цифровите защиты са производителите. Това движение към обновяване на продукцията и създаване на нови защитни релета първоначално не се свързва с подобряване на основните защитни функции на релетата. Намаляване на стойността, обновяване на комутационните характеристики и подобряване на обработването на сигналите са в центъра на новите разработки. Клиентът има незначителна директна полза.

Истинската промяна настъпва с появата на микропроцесорите, които осигуряват не само изпълнение на основните функции на защитите, но също и на широк диапазон от допълнителни функции и печели одобрение в обкръжението на конвенционалните защиты. Колко съществени са тези допълнителни функции потребителите могат да разберат само с натрупване на собствен опит.

Международната тенденция към приватизация поставя фокуса от технологията към стойността. Болшинството от електроснабдителните предприятия акцентират на това. Не рядко бизнесмените, свързани с конвенционалните защиты се опитват да пропуснат този процес. Оправдаването на разходи за защиты се прави трудно, защото те не допринасят директно за продажбата на електроенергия, даже обратното, когато защитите заработват често потребителите остават без електроенергия. Връщането на направените инвестиции за защиты е непосредствено свързано с готовността предприятието да бъде запазено от прекъсване на електроснабдяването. От тази гледна точка една система за защита може да бъде избрана чрез оценка на класическото изпълнение на защитата по отношение на готовност за работа и информационна прозрачност. Определянето на стойността на защитата трябва да бъде разширено, за да се включи цената на обслужването и на срока на работа.

Могат да се обобщят факторите, които мотивират модернизацията поради възможност за подновяване, модифициране или подмяна чрез въвеждане на нови технологии. Факторите са следните [1, 4]:

- Потребителите са заинтересовани от много високо качество на електроснабдяването в съответствие със стандартите.
- По-ниска квалификация на обслужващия персонал при въвеждане в експлоатация и обслужване.
- Голям набор от програми за подновяване
- Гъвкави технологии за създаване на голям брой опции с различни цени и функции.
- Старееене на съществуващите системи
- Изменение на конфигурацията на мрежите в ЕЕС
- Намаляване на сложността, което ще причинява подобряване на надеждността и сигурността
- По-голяма достъпност и лесно обслужване

Видове модернизация

Модифициране (retrofit) дефиницията за *модифициране* е приспособяване на устройства към съществуваща система, за да се променят (обикновено модернизират) техническите й характеристики [3].

Подновяване (Refurbishment) дефиницията за *подновяване* е заменянето на остарели компоненти в една съществуваща система без промяна на нейните технически характеристики или функции.

Заменяне (Replacement) дефиницията за *заменяне* е да се промени цялостно една система с друга по съвършена.

Горните дефиниции изясняват главните различия между модифициране, подновяване и заменяне.

Заменяне: комплексно или по части ? (АЕЦ ЕП-2)

По части:

- + Средствата за апаратура ще останат спестени по-дълго време
- По-високи разходи за инженеринг
 - многократни усилия за инженеринг, чертане, въвеждане в експлоатация и др.
 - съчетаването на нови и стари системи трябва да бъде описано
- Бавен преход (обвързването към старото е толкова по-здраво, както е по-слаб интересът и познаването на новото)

Комплексно:

- + По-ниски разходи за инженеринг
- + Бизнес контакти с една фирма за една система
- + По-благоприятна ситуация за операторите, гаранция, по-надеждна работа
- + Пълно използване на предимствата на модерната техника
- По-високи разходи в началото

За да се проведе модифициране, подновяване или заменяне е важно да се знае сегашната и бъдещата ситуация в електроенергийната система, сегашните и предстоящите да се въведат закони, личната сигурност, цената, достъпността и резервирането на системата и бъдещите доставки на енергия и резервни части.

Закони	Промени на закони и правилници
Сигурност	Сигурност на всички хора Сигурност за персонала
Разходи	Проверки Обслужване
Достъпност	Доставяне на електроенергия
Сигурност на:	Технологията Икономика

Фиг. 1. Критерии за модернизация

Технология

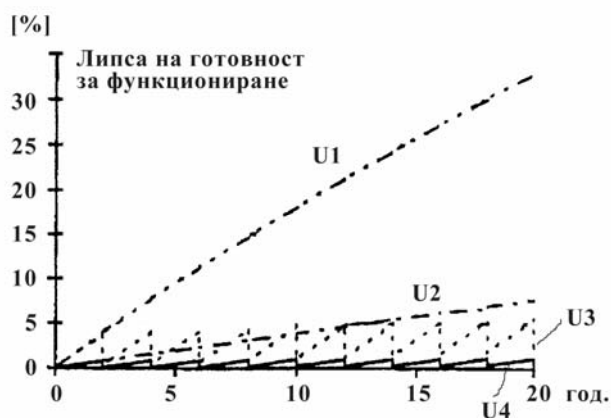
Електромеханични релета. Те са 100% целево ориентирани. Информацията се получава директно от измервателните системи и директно се изключват прекъсвачите. Минималният брой компоненти осигурява функциониране по много директен начин. Като резултат системата е оптимална по отношение на надеждност (здравина).

Аналогови статични релета. Електронните статични защиты нямат дълъг технологичен живот. Има различни фактори, които довеждат до развитие на тези изделия, например когато се срещат сложни изисквания към измерването при защиты за свръх високите напрежения или да се намали цената на производството им в страни с висока цена на работната сила. Най-често тези релета са електронни модели на електромеханичните системи за защита. От гледна точка на надеждността тези релета могат да съперничат на електромеханичните.

Цифрови защиты. Хардуерът и изчисленията се разглеждат комплексно. Задачата на защитата е вложена в програмното осигуряване и коректната ѝ работа зависи от редица процедури. Погледнато повърхностно такава система не е оптимална по отношение на надеждността. Цифровите релейни защиты обаче се “самоизкупуват” чрез своята обширна “самопроверка”. Презумпцията е, че устройството само по себе си не е много надеждно, но това няма да доведе до нарушаване на функциите му без да се разпознае повредата и да се съобщи за нея, за да се облекчи коректното действие.

Експлоатация

Конвенционалните защиты трябва да бъдат подлагани на периодично или рутинно обслужване, за да се достигне минималното ниво на липса на готовност за работа (фиг. 2). В случай на цифрова защита интервалът между проверките може да бъде увеличен, за да съвпадне с други задачи, като например подмяна на вътрешните батерии на защитите или обслужване на уредбата високо напрежение.



Фиг. 2. Липса на готовност за функциониране [%] при различен период на рутинни проверки [години]

U1 – без изпитване и самонаблюдение

U2 – със самонаблюдение

U3 – с рутинно изпитване

U4 – със самонаблюдение и рутинни проверки

За множество работещи релейни защиты съществува възможност за повреди, които не са разпознати. За цифровите защиты такава вероятност е много малка, защото хардуерът се наблюдава комплексно и всички повреди се сигнализируют мигновено. При аналоговите статични защиты готовността им за работа може само да бъде проверявана при изпитване. Ако устройството се намира с експлоатация, вероятността за поява на неразпознати повреди нараства във времето. От данните на фиг. 2 е очевидно, че на аналоговите защиты трябва да се проведат по-голям брой рутинни проверки, за да се постигне готовността за работа на цифровите защиты.

4
Кривите от фиг. 2 се описват със следните уравнения:

$$U1 = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$U2 = 1 - e^{-\lambda(1-\alpha)t}$$

$$U3 = 1 - e^{-\lambda(1-\gamma)t} \cdot e^{-\lambda \cdot \gamma \cdot (1-nT)}$$

$$U4 = 1 - e^{-\lambda \cdot (1-\alpha) \cdot (1-\gamma)t} \cdot e^{-\lambda(1-\alpha) \cdot \gamma \cdot (1-nT)}$$

където:

λ - норма за повредите (2%),

γ - норма за откриване на повреди чрез рутинна проверка (95%),

α - норма за откриване на повреди чрез самонаблюдение (80%),

T - интервал между проверките (2 години).

Разходи

За снабдяването с електричество се изискват голямо количество капитални разходи. В крайна сметка годишните капитални разходи са от порядъка на $\frac{1}{3}$ от оборота на капитала (обслужване на заеми и т.н.). Използването на голяма част от ангажирания капитал има влияние върху годишния баланс на фирмата.

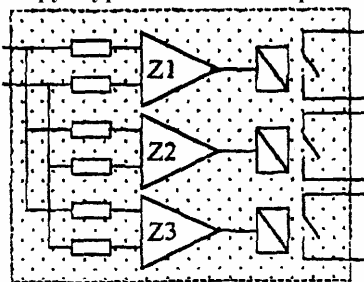
Устройствата за защита и управление ангажират относително малка част от директните капитални разходи. Първичните съоръжения, които съставляват голямата част от капиталните разходи, обаче са напълно зависими от защитата и управлението и тяхното добро обслужване и голям срок на работа. Усъвършенстване на работата на цялото предприятие може да се постигне само при подобро управляване, защитата и информационната система. Обширно обработване на информация е необходимо и за да се оцени, че предприятието работи оптимално.

Разходната част за обслужване и въвеждане в експлоатация са основна част от цялостните разходи за всяко конкретно устройство. Разходите за обслужване нарастват при голям брой отделни устройства, размер на труда, обучение и приспособяване на персонала и резервните части. Добре провежданата счетоводна отчетност ще определи количествено разходите по тези точки, за да бъде установена истинската стойност на работния цикъл на всяко конкретно устройство.

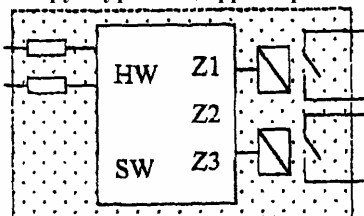
Факторите, които нанасят поражение на работата на предприятието и налагат модернизация са:

- В резултат на забавено изключване настъпват термични и механични удари в предприятието
- Неселективното изключване води до излишно изключване на обекти и излишни загуби от произведена продукция.
- Неправилното повторно включване води до излишни операции на изключване и излишни загуби от произведена продукция.
- Отказ или излишно действие на защитата причинява продължителни паузи и възможност за престой на предприятието.

Структура на аналогово реле



Структура на цифрово реле



Фиг. 3. Сравняване на структурата на аналогово и цифрово реле

Изпитване

Аналоговите устройства (фиг. 3) изискват отделен хардуер за всяка самостоятелна функция. Обработването на сигналите става с аналогови стойности и отклоненията в параметрите поради стареене може да стане след време нетърпимо.

По тази причина изпитването на аналоговите устройства става по отделно за всяка функция и така се проверява дали компонентите все още функционират в предвидения диапазон.

Цифровите устройства (фиг. 3) включват всички свои функции в общия хардуер и заложения софтуер. Отклонението на параметрите поради стареене се избягва, защото обработването на сигналите се провежда изключително в цифрова форма.

Изпитването на цифровите релета се свежда до няколко теста, които доказват връзките с други устройства, както и със сигналните и изключвателни релета.

Въвеждането в експлоатация на едно цифрово реле може да стане с минимум проверки на физическите връзки. Ако проводниците са проверени цялостно и системата е запазена, може връзките да се проверят по начините от установената практика. Логическите

взаимодействия между защитата и първичните устройства могат да се проверят чрез активиране на бинарните входове и изходи. Към този подход има много голяма степен на доверие.

Пълни данни от изпитването се прочитат директно от релето, където се правят записи без грешки. Ограничен е във висока степен достъпа до данни за пригодността за работа на релето.

За персонала с разрешен достъп настройките са прости, ясни и в съответствие с цифровото устройство. Грешките са силно намалени, ако не са въобще отстранени.

Изследване след изключване на обекта

Достойна задача за инженерите по релейна защита е анализирането на смущенията в системата по данни от цифровите защиты. Това естествено предполага, че всички достъпни данни са записани.

Цифровите защиты нямат тайни. Всяко логическо събитие по време на смущението е записано. Регистрираните аналогови криви всеотрядно детайлизират типа на смущението и чрез съответните програмни средства реконструират самото смущение. Реконструираните сигнали с помощта на усилватели могат да се “инжектират” в защитата. Ако защитата не е реагирала както трябва, могат да се направят проверки. Със старателен анализ се елиминира повтарянето на грешката.

Маргинално (гранично) действие. При много практически случаи защитата представлява компромис между селективност, бързодействие и сигурност [2]. Информацията относно реалната система е също ограничена от резултатите на теоретичните изчисления, компютърното моделиране и записаните осцилограми. За цифровите защиты границата на действие може да се предскаже от подробната информация и програмите за анализ.

При изменение на конфигурацията (или настройката) в защитното устройство (изменението може да стане автоматично), за да се удовлетворят измененията в състоянието на системата се извършва по-добра селективност и време на изключване по време на ситуация, налагаща маргинално (гранично) действие. Тези функции се поддържат от цифровите защиты, които имат специален набор от настройки, блокирани динамично.

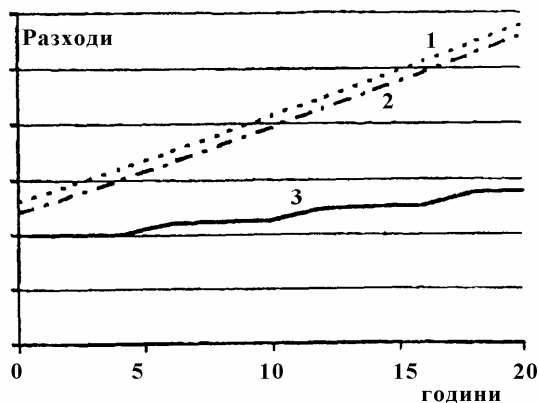
Обучение от повредите. Има добре познато правило “да се учим от своите грешки”. При релейните защиты не се чака те да направят “грешка”, а маже да се проведе обучение на базата на повредите в ЕЕС.

Ако се използва като пример дистанционната защита, трябва да се отбележи, че за да се пресметнат настройките са необходими много данни за ЕЕС. Често данните се получават от изчисления, базирани на геометрията на мрежата и моделиране на системата с компютри. Грешки в тези

параметри могат да компрометират работата на защитата. Ако повредата стане вътре в обхвата на цифровата защита, записаните данни могат да се използват за проверка на данните за системата, които са необходими за изчисляване на настройките. Сравняването на данните от основната и резервната защита и от защитата в отсрещния край на електропровода подобрява приспособяването към обекта и точността.

Следаварийният анализ в случай на аналогови защиты често въвлича в голямо количество предположения. Точно определен анализ е невъзможен, защото данните за повредата са ограничени.

Относителната цена на различните видове технологии е показана графично на фиг. 4. Първоначално има разходи за закупуване и инсталиране, включващо въвеждането в експлоатация. В последствие



Диаграма на разходите за поддръжане по години
1 - електромеханични; 2 - аналогови; 3 - цифрови

Фиг. 4

има разходи за поддръжане и с увеличавани на възрастта има разходи за подмяне на повредените устройства. Косвените разходи от типа на обучение, изпитвателни устройства и резервни части се оценяват субективно и не могат да се класифицират пълно.

Представянето на електромеханичните технологии е само с цел за сравняване, защото вече е невъзможно да се купи на приемлива цена пълна гама от такива изделия. Графиката от фиг. 4 ясно илюстрира, че цифровите защиты имат отличаващо се предимство по разходи за поддръжане.

След отказ или излишно заработване на защита може да се проведе анализ на финансовите загуби от това, че смущението в системата не е изолирано коректно.

Стойността на вредата (обезщетението) за предприятието заради некоректното действие на защитата може да се

определи точно. Статистически могат да се определят “разходи / повреда” за различни категории защиты. Но независимо от това, всяко продължително отпадане на напрежението или люлеене в ЕЕС е провокирано от предшестваща повреда. Да се определи стойността на тези загуби е почти невъзможно. В добрия случай може да се установят тенденции и да се учим от историята, но да се стигне до това е необходимо регистриране на събитията и анализ на записите. В крайна сметка е неоспоримо, че високата надеждност на защитите е огромно финансово предимство.

Цифровата защита има двойни функции в изпълнение на изискването за надеждност. Преди всичко това е осигуряване на надеждност чрез обширно наблюдение (мониторинг) и адаптиране към състоянието на системата. Второ – осигурява широк запис на информация и помага при идентифицирането на областта на проблемите, за да повиши по-широко надеждността в бъдеще.

Данните за повредите от своя страна идентифицират “дремещите” проблеми. Анализът и последвалите коригиращи действия могат да доведат до изясняване на неселективните повреди. Без да има допълнителни разходи се избягват неселективните повреди и това по същество води до повишаване на значимостта на въведената цифрова защита.

Характеристики и преимущества

Характеристика	Преимущество
Самонаблюдение	Постоянна висока готовност за работа (функциониране)
Превключване на параметрите и възможност за промяна на блокировките	По-добра работа на предприятието и откриване на повредата за по-малко време
Запис на информация	Рационализиране на задачите по обслужването и предсказване (диагностика) на повредите в предприятието
Запис на повреди	По-евтин и по-цялостен анализ на смущенията

Технологията на цифровите защиты представлява произведение на изкуството. От гледна точка на цената и характеристиките на работа няма кой да бие цифровите защиты. Изгодната цена се простира извън направените разходи през целия очакван живот.

Случай на подновяване

Разходите за обслужване на съществуващото устройство спрямо цифровата защита при съпоставима пригодност за работа са по-високи (фиг. 4). При горната дискусия за директните и косвените разходи преимуществото на цифровата технология е очевидно. Базирайки се само на съображенията за разходите старите не-цифрови защиты трябва да се подменят.

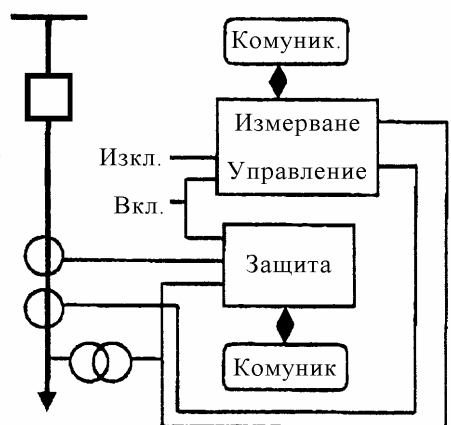
Практически има няколко технически или апаратни фактори, които позволяват гъвкаво прилагане на цифровите устройства в съществуващите системи:

Уплътнява пространството (Compact Housing) – гарантирано е, че новото устройство ще се помести в мястото, заемано от съществуващото устройство.

Програмируеми входове и изходи – новият продукт може да бъде програмиран да подхожда на съществуващата схема.

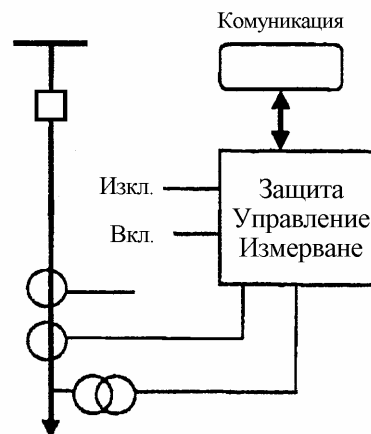
Допълнителни характеристики – в много случаи допълнителните характеристики (функции), осигурени от цифровите защиты могат да бъдат въведени без допълнителни външни проводници. Например допълнителна функция като посочна земна защита, в границите на дистанционна защита, използва същите измервателни входове и изключвателни изходи като функцията дистанционна защита.

Граници между защита и управление – в миналото ясно се разграничава защита от управление. Тогава защитните устройства са напълно отделно. Само сигналите от защитата и управлението към прекъсвача се събират заедно, за да задействат бобините за включване или изключване. Функцията АПВ обаче се разглежда в повечето случаи като защитна функция. В този случай не само изключването на повредения обект е в обсега на защитата, а също и опита за възстановяване на захранването на обекта. АПВ представлява твърде уникален пример, тъй като това е фактически функция от автоматизираното управление.



Конвенционална защита и управление

Фиг. 5



Интелигентна защита и управление

Фиг.6

С появата в подстанциите на цифрови системи за управление, прилагането на други автоматизирани системи се използва често. Автоматичното включване на кондензаторни батерии или шунтови реактори при надвишаване на допустимото напрежение или АВР са също точни примери за автоматично управление, базирано на състоянието на подстанцията при модерните системи за управление. Съгласуването на автоматичното превключване може да се стартира от оператора, като например променянето на свързването на един извод от шинна система 1 към шинна система 2.

Новата технология разруши граничната линия между защита и управление. Когато се задава

следният въпрос: “Може ли този вход или изход да бъде разделен ? Може ли да се осъществи с един хардуер ?” отговорът много често не е “Да !”. Обвързването на много функции в едно интелигентно електронно устройство (Intelligent Electronic Device IED) осигурява на инженера от практиката голяма област на действие за неговия проект без да се усложни физическата конструкция. Това директно влияе на надеждността на окончателната система, защото е общоприето, че по-малката сложност води до по-висока надеждност.

За да получи всички преимущества на цифровата защита, инженерът-проектант трябва да изучава новите концепции.

- a. Защитата и управлението поделят един и същи прекъсвач, така че те могат да поделят едни и същи токови трансформатори, напрехителни трансформатори, състояние на разединителя и оперативно напрежение.
- b. Всяка система е дотогава добра, докато отслабнат нейните връзки. За да се оптимизира надеждността на системата, връзките трябва да се минимизират.
- c. Повреда на функция, която не е сигнализирана и коригирана представлява потенциална опасност. Наблюдаването на системата и сигнализирането трябва да бъдат всеотранни.
- d. Компромисите трябва да се избягват. Защитата може да се адаптира към промените в състоянието на системата чрез промяна на параметрите на настройките или блокиране на специфични функции.

Обединяването на управлението със защитата е мотивиращ фактор не само за нови подстанции, но осигурява ефективна възможност за разходи при интегриране на съществуващи подстанции към модерни “Управление на подстанции” или концепцията SCADA (*Supervisory control and data acquisition system – Система за контрол на управлението и събиране на информация*).

Заключение

Производството и използването на защиты се сблъсква с призива за осигуряване на оптимално решение. Заради обширната приватизация и отменянето на държавното управление в сферата на обслужването, тази оптимизация има много силна финансова оценка. В случай на избор на технология за защита, оценката на стойността е усложнена от много фактори, но е ясно, че цифровата технология притежава определен потенциал за икономия.

Препоръчаните функции и характеристики трябва да се използват така, че по време на периода на експлоатация да се достигне оптимална работа. “Прецизното регулиране” и сервизното обслужване подобрява пълноценното функциониране и води директно до финансови икономии.

Влиянието на защитата върху пълноценното функциониране на ЕЕС може да бъде огромно. Началните разходи за нова защита може, ако се използват по правилен начин, да стане добра инвестиция за бъдещето с положително влияние върху финансовия баланс на компанията.

Литература:

1. G. Steynderg, A. Meyer, Dr. Hübner. Cost reduction and higher performance due to modernization. Siemens AG, Protection and Substation Control
2. Dick A. J. A new look at opportunities for implementation of DA in the UK. Distribution 2000 Brisbane Australia, Session paper
3. Laycock W. J, I. P. Gardiner, J. McDonald, C. Booth. The effect of deregulation on the performance of protection systems. Session paper, CIGRE 1998
4. Clay A., T. R. Khan, R. Blakeley. Retrofit in asset life management. London Electricity Plc.
5. Molkov A. N., G. Koch, Th. Liebach. Refurbishment scheme for transmission line protection relay.

29. Вентилни отводи за ниско напрежение (ВОНН)

Вентилните отводи се използват за защита на съоръженията, които по икономически причини не е нецелесъобразно да се проектират с по-висока електрическа якост. Те ограничават атмосферните пренапрежения предавани по мрежата така, че да не се надхвърля издържимото импулсно напрежение на апаратурата и инсталацията. Вентилните отводи са предназначени да ограничават както атмосферните така и комутационните пренапрежения. Независимо от това, че не са предназначени да ограничават установени пренапрежения при комбинацията на вентилен отвод и предпазител, апаратурата монтирана след тях е защитена, като в този случай е застрашен вентилният отвод.

Непосредствено свързано с координация на изолацията в системите за напрежения до 1000 V е понятието “инсталационна категория по пренапрежение”. Инсталационната категория нормира условия на работа, свързани с очаквани пренапрежения от различен произход и ограничаващи защитни устройства, монтирани в електрическите инсталации и присъединените към тях съоръжения. Инсталационната категория класифицира, аналогично на номиналното изолационно ниво, зони от електрически уреди и вериги посредством стандартизирани издържими (импулсни и с индустриална честота) напрежения

29.1. Видове пренапрежения

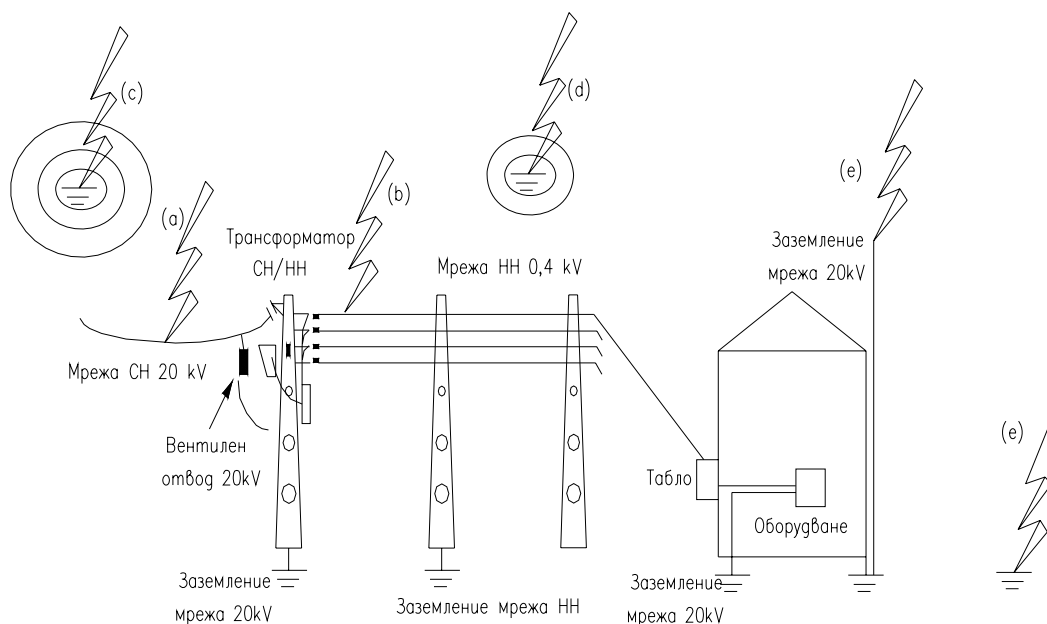
Пренапрежение е всяко напрежение, чиято максимална стойност превишава максимално допустимата стойност на най-високото напрежение за дадено съоръжение. Големината на пренапрежението обикновено се дава в кратност, спрямо максимално допустимата стойност на напрежението. Според продължителността и формата на пренапреженията е възприета следната класификация:

Атмосферни пренапрежения – възникват при попадения от мълнии. Те са различни в зависимост от мястото на попадение на мълнията. Максималната кратност на тези пренапрежения може да достигне 5.5.

Комутационни пренапрежения – възникват при промяна конфигурацията на схемата на електроенергийната система (ЕЕС) с комутационна апаратура. Кратността на тези пренапрежения зависи от конфигурацията на мрежата, типа на използваната комутационна апаратура, също така и от момента на комутация. Комутационните пренапрежения имат форма на затихваща косинусоида.

Установени (временни) пренапрежения – възникват най-често при еднофазни повреди към земя. Кратността им зависи от начина на заземяване на неутралата и може да достигне до $\sqrt{3}$. Ако честотата на установените пренапрежения се повиши или понижи няколко пъти от нормалната промишлена честота те се наричат резонансни. Установените пренапрежения имат синусоидална форма и продължителността им зависи от времето за действието на релейната защита.

29.1.1. Атмосферните пренапрежения в мрежи ниско напрежение възникват от пряко попадение на мълния или в следствие на разпространението на електромагнитни вълни породени от мълнии, както по фазовите проводници така и по заземените контури и подземната комуникация (фиг. 1):



Фиг. 1. Възникване на атмосферни пренапрежения в мрежи ниско напрежение

Означения на фиг. 1:

- Директно попадение на мълния в мрежа средно напрежение. Чрез индукция през намотките на трансформатора СН/НН пренапрежението частично се предава в мрежа НН.
- Директно попадение на мълния в мрежа ниско напрежение.
- Попадение на мълния в близост до мрежа средно напрежение. В този случай пренапрежението се индуцира в мрежа ниско напрежение, то е по-малко енергично от директното попадение.
- Попадение на мълния в близост до мрежа ниско напрежение. В мрежата НН се индуцира пренапрежение.
- Попадение на мълния на земната повърхност в близост до здание или върху здание защитено от мълниеотвод. В този случай се повишава потенциалът на земята.

29.1.2. Комутационни пренапрежения

В мрежи НН комутационни пренапрежения могат да се генерират от апаратурата в сградата или те да възникнат в близост. Характерна особеност на мрежите НН е разпространението на пренапреженията, както по галваничен така и по електромагнитен път.

Препоръчва инсталиране на апаратура за защита от комутационни пренапрежение независимо дали има вероятност от възникване на атмосферни пренапрежения. Ако е избрана апаратура за защита от атмосферни пренапрежения, то трябва да бъде съгласувана с тази за защита от комутационни пренапрежения, като често първата се налага да бъде преоразмерена.

29.1.3. Установени (временни) пренапрежения

Установените пренапрежения се дължат на повреди на изолацията към мрежа с по-високо напрежение, на повреди в мрежа НН и на комутации.

Тези пренапрежения могат да доведат до намаляване защитната способност на вентилните отводи (ВО), предназначени да защитават обектите от пренапрежения. Вентилните отводи трябва да се изпитват с напрежение $1500 V_{\text{eff}}$ с продължителност 5 s. Приема се че това изпитване покрива всички установени пренапрежения в мрежи НН.

29.2. Основни характеристики на вентилни отводи за ниско напрежение

Вентилните отводи за ниско напрежение (ВОНН) трябва да удовлетворяват изискванията на международните и европейски норми: IEC 61643-1, IEC 61643-21, IEC 61643-311, IEC 61643-321, DIN VDE 0185-1, DIN V ENV61024-1 (VDE 0185-100).

А. Нормални работни параметри

Параметрите на средата за нормална работа на вентилните отводи са:

- честота на напрежението на електрическата мрежа: между 48 и 52 Hz;
- напрежение на електрическата мрежа: по-ниско от максималното работно напрежение на вентилния отводи за непрекъснат режим;
- надморска височина: под 2000 m;
- околна температура: - 25 до +55 °C за външен монтаж;
-5 до +40 °C за вътрешен монтаж;
- относителна влажност: от 5 до 95 %;
- В общия случай степента на защита на вентилните отводи е най-малко IP2X. Други степени на защита са също възможни.

В. Електрически параметри:

- Максимално работно напрежение в непрекъснат режим - U_C .

Това е характеристичен показател на вентилните отводи и отразява възможностите му да работи нормално в непрекъснат режим в дадена електрическа мрежа. Този показател трябва да е по-висок от напрежението на мрежата, включително допустимите отклонения, както и от предвидимите установени пренапрежения.

- Максимален работен ток в непрекъснат режим - I_C .

Това е токът, който протича през вентилните отводи при напрежение U_C и зависи от технологията на изработването ѝ. Този ток трябва да бъде възможно най-малък и да не предизвиква зареждане на дефектно-токовата защита и комутационната апаратура в мрежата при нормален режим.

Токът I_C има преобладаващ капацитивен характер, зависи от температурата и при нормални експлоатационни условия е по-малък от 1 mA.

- Клас на защита по напрежение (остатъчно напрежение) - $U_P (U_{RES})$

Остатъчно напрежение е максималната стойност на напрежението, която се появява на изводите на вентилния отвод при преминаване на разрядния ток. Параметърът характеризира защитните възможности на вентилния отвод. Използва се за координация на нивата на защита и определя коефициента на сигурност по отношение на класа на напрежение на защитаваното оборудване. Силно зависи от стръмността на мълнията. Най разпространените стойности за U_{RES} в мрежа 0.4 kV са: 2.5; 2.0; 1.8; 1.5; 1.2 и 1.0 kV.

- Номинален импулсен (8/20 μ s) ток от мълния (разряден ток) - I_N . Този показател дава импулсния ток с вълна 8/20 μ s, който вентилният отвод многократно (обикновено 10 пъти) може да отведе без да се повреди. При този ток се провеждат изпитания на защитите. Най разпространените стойности в мрежа 0.4 kV са: 20; 10; 5; 2.5; 2 и 1.5 kA.

- Максимален импулсен (8/20 μ s) ток от мълния (разряден ток) - I_{MAX} . Този показател дава импулсния ток с вълна 8/20 μ s, който вентилният отвод може да отведе еднократно без да се повреди. Стойностите на този ток се дават от производителите, като обикновено е $(1.5 - 2) I_N$

- Максимален ток на вътрешно късо съединение (к.с.) - I_{CC} . Тази стойност също се дава от производителя на вентилни отводи и дефинира токът на късо съединение (т.к.с.), който протича вследствие на вътрешна повреда в отвода.

- Максимален допустим ток на външно к.с. Стойността се дава от производителя и дефинира т.к.с., който може да протече през вентилния отвод без да го повреди. Този пока-

зател не се отнася за конструкции на вентилни отводи, чиито входни и изходни клеми са физически или галванично свързани.

С. Начин на монтаж

Защитата от пренапрежение може да се монтира като защита от пренапрежения към земя, защита от пренапрежения между фазите или и двете в зависимост от вида на мрежата.

Д. Защита на самата мълниезащитата и веригата ѝ

Вентилните отводи трябва автоматично да се изключат в следните случаи:

- при термично претоварване;
- при късо съединение;
- при късо съединение към земя.

Апаратурата, която осигурява горните функции в повечето случаи е вградена във вентилните отводи или се включва последователно във веригата им – предпазители, прекъсвачи, прекъсвачи с диференциални защиты.

29.3. Класификации на вентилни отводи за ниско напрежение

29.3.1. Класификация според принципните различия на вентилните отводи

Съгласно IEC 61643-1 може да се направи следната класификация на вентилните отводи за ниско напрежение:

А. Според броя на входовете:

- С един вход – вентилният отвод е свързан в паралел на веригата, която защитава. При няколко паралелно свързани вентилни отвода с един вход, не се монтира специален разкоплиращ дросел между клемите им;
- С два входа – при няколко паралелно свързани вентилни отвода между тях се монтиран специален дросел.

В. Според функционалното им особености:

● Вентилни отводи изключващи напрежението – Те имат голяма стойност на импеданса си, когато няма пренапрежението. При поява на вълна на пренапрежението тези вентилни отводи мигновено променят големината на импеданса си до много ниски стойности. Конструктивните елементи, които ги изграждат могат да бъдат:

- искрови междини;
- газоразрядна лампа;
- тиристор;
- симетричен тиристор (триак).

● Вентилни отводи ограничаващи напрежението – Имат висока стойност на импеданса, когато няма пренапрежение и могат продължително време да подържат ниска стойност при поява на пренапрежение, независимо от увеличаването на големината му. Конструктивните им елементи са:

- варистори;
- стабилитрони;
- ценер диоди.

● Вентилни отводи от комбиниран тип – Представяват комбинация между вентилни отводи ограничаващи пренапрежението и вентилни отводи изключващи пренапрежението, като могат да преобладават конструктивните елементи на единия или другия вид

С. Според класа на изпитване, на който са били подложени:

- Клас I – Тези изпитвания се провеждат с номинален разряден ток I_N (вълна 8/20 μ s), импулсен ток с вълна 1.2/50 μ s и максимален импулсен ток;
- Клас II – Тези изпитвания се провеждат с номинален разряден ток I_N (вълна 8/20 μ s), импулсен ток с вълна 1.2/50 μ s и максимален ток I_{max} (вълна 8/20 μ s);

- Клас III – Изпитвания с комбинирана вълна (1.2/50 μ s, 8/20 μ s). Комбинираната вълна се създава от генератор и има стойност 1.2/50 μ s при отворена верига (празен ход на линията) и 8/20 μ s при затворена верига (с товар в края).

D. Защитни функции:

- термична;
- късо съединение;
- късо съединение към земя.

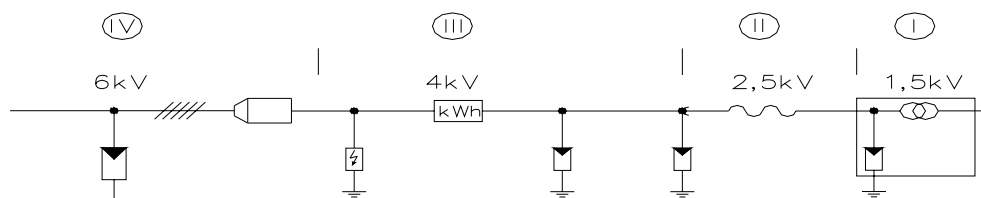
29.3.2. Класификация в зависимост от устойчивостта на пренапрежения:

Съгласно IEC 60664-2 са определени 4 категории оборудване по клас на устойчивост на пренапрежения (вълна 1.2/50):

- Оборудване с нисък клас на устойчивост – 1.5 kV. Този клас на устойчивост на пренапрежения е за оборудване, което в по-голямата си част или изцяло е конструирано от електронни елементи;
- Оборудване със среден клас на устойчивост – 2.5 kV. За домакински електрически приспособления, подвижни или преносими съоръжения, дълги връзки или разклонения, намиращи се на повече от 10 m от съоръжения, издържащи 4 kV или на повече от 20 m от съоръжения, издържащи 6 kV;
- Оборудване с висок клас на устойчивост – 4 kV. Този клас на устойчивост на пренапрежения се отнася за разпределителни електрически табла и силови разпределителни секции в индустриални зони.
- Оборудване с много висок клас на устойчивост – 6 kV. За измервателни уреди и съоръжения за токова защита в трансформаторни постове.

Според класа на електрическата якост на оборудването са стандартизирани по IEC три, а според VDE - четири класа на вентилните отводи (фиг. 2):

Класификация на електрическата якост на оборудването според IEC 60664-1



Класификация на вентилните отводи според VDE

(A) (B) (C) (D) (D)

Класификация на вентилните отводи според IEC

(I) (I, II) (II) (III) (III)

Фиг. 2. Класове на електрическа якост на изолацията

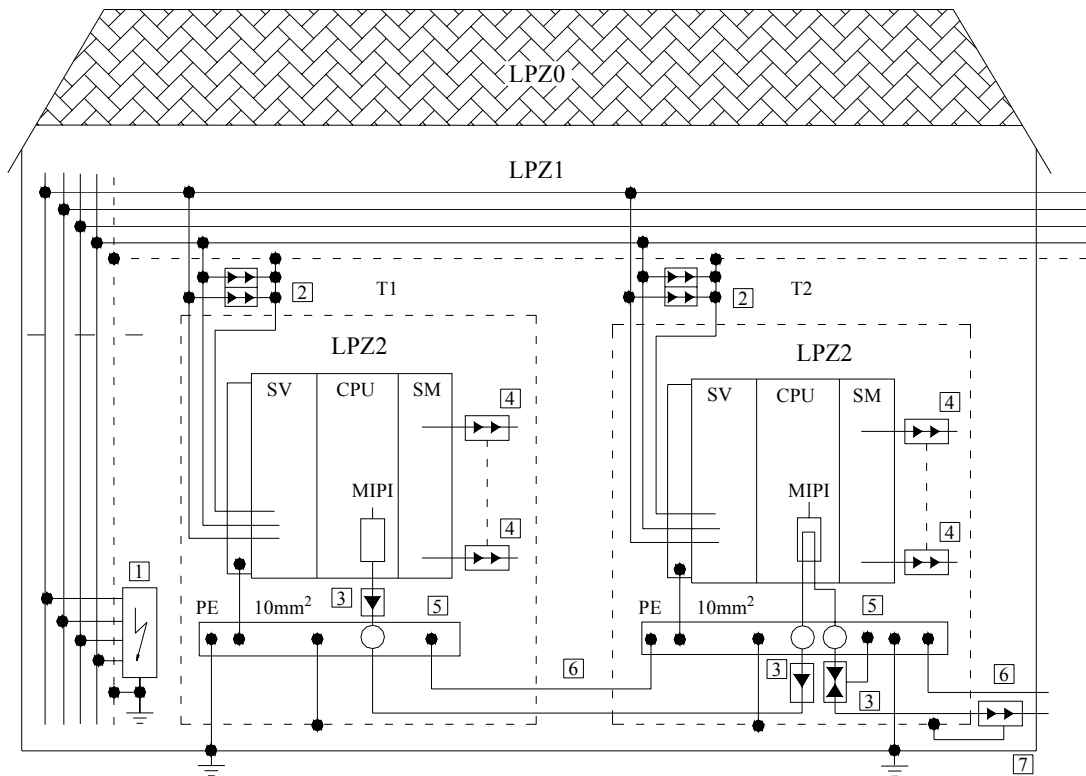
29.3.3. Според мястото на монтаж:

а. Според разполагането на открито или закрито:

- За открит монтаж;
- За закрит монтаж.

б. Според местоположението:

- вградени;
- външни;
- комбинирани.



Фиг. 3.

Означения на фиг. 3:

1. ВОНН клас I (B) за мрежа тип TN-S. Разполагат се в зоната на прехода LPZ 0-LPZ 1, в главно разпределително табло (ГРТ);
 2. ВОНН клас II (C). Разполагат се в прехода LPZ 1-LPZ 2, в РТ;
 3. ВОНН за защита на мрежа за данни RS 485 в зоната на прехода LPZ 1-LPZ 2;
 4. Фина защита на цифрови и аналогови входове и изходи в зоната на прехода LPZ 1-LPZ 2;
 5. Включване на екран към шината за потенциално изравняване;
 6. Присъединяване на общите потенциали с проводник – минимум 16 mm²;
 7. Груба защита на мрежа за данни RS 485 в зоната на прехода LPZ 0-LPZ 1;
- LPZ – гръмозащитна зона, съответно 0, 1 и 2.

Стандарти за монтаж:

А. Монтаж на ВОНН клас I (B) (съобразно VDE 0675/T 6-11:2002:12; EN 64643 – 11:2002 – 06; IEC 63643 – 1:1988 – 02) в ГРТ (намиращо се в преход от зона 0 към зона 1) или захранващо РТ от което е реализирано захранването на контролерите.

В. Монтаж на ВОНН клас II (C) (според EN 64643 – 11 : 2002 – 06, IEC 63643 – 1:1988 – 02) в РТ (намиращо се в прехода от LPZ1 към LPZ2) и захранващо контролерите.

С. Препоръчителен вариант – монтаж на комбинирани ВОНН клас I + II (B + C), изградени по технология, използваваща мощни цинк-окисни варистори, позволяващи пълното ограничаване на пренапрежителните импулси, съобразно VDE 0675 / T 6-11:2002:12; EN 64643 – 11:2002 – 06; IEC 63643 – 1:1988 – 02.

29.4. Критерий за избор на ВОНН в системите за измерване, контрол и управление

Основните критерии за избор на ВОНН в системите за измерване, контрол и управление са следните :

А. Максимално работно (оразмерително) напрежение U_c

Ефективната стойност на напрежението на входния сигнал на устройството, при което то работи нормално в непрекъснат режим.

Максимално работно напрежение U_c на входния сигнал трябва да бъде по-малко или равно от номиналното напрежение U_n на избрания ВОНН $U_c \leq U_n$.

Максимално работно напрежение U_c на входния сигнал е номиналното напрежение U_n на системата плюс възможните толеранси.

При токови сигнални вериги напр. 4-20 mA, максимално работно напрежение U_c е напрежението на празен ход на съответния модул на системата.

В. Обявен (номинален) ток I_n

Това е най-големият допустим работен ток, който може да протича продължително време през ВОНН.

При избор на ВОНН трябва да се спазва условието: работния ток на ВОНН I_n да бъде по-голям или равен на най-големия допустим работен ток $I_{раб.}$ на защитаваната сигнална верига, т.е. $I_{раб.} \leq I_n$.

С. Номинален разряден импулсен (8/20 μ s) ток I_n

Максималната стойност на импулсен ток с форма 8/20 μ s, служещ за оразмеряване на защитното ниво, който ВОНН може да издържи многократно (обикновено 10 пъти) без повреда.

При избора на ВОНН по отношение на номинален разряден импулсен (8/20 μ s) ток I_n трябва допълнително да се отчетат следните условия :

- LPZ зоните на защитаваните датчици и апаратура;
- LPZ зоните, през които минава сигналният кабел;
- Наличието на мълниезащитна инсталация на обекта, в който е разположена защитаваната апаратура.

Д. Честота на входния сигнал

Граничната работна честота f_G (затихване 3 dB) на ВОНН трябва да бъде по-голяма от честотата на предаваният сигнал $f_{сигнал}$ ($f_G > f_{сигнал}$).

За импулсни сигнали е в сила правилото $f_G > 5 \cdot f_{импулсен\ сигнал}$.

За импулсни сигнали със стръмен фронт, е задължително ВОНН да не филтрира честотно сигнала.

Е. Вид на входния сигнал

Според вида на сигнала (симетричен, несиметричен, т.е. сигналът е между жило/жило или жило/маса(земя)), ВОНН трябва да ограничава пренапреженията съответно $U_{раб} < U_{жило / жило}$ или $U_{раб} < U_{жило / маса}$.

Ф. Максимално допустими реактанс (L), активно съпротивление (R) и капацитет (C) на сигналната линия

За сигнални линии, работещи с близки до гранично допустими стойности на L , R и C е необходимо да се обърне особено внимание на параметрите (L , R и C) за избрания ВОНН, така че да не се надвишат регламентираните максимални стойности за защитаваната верига.

Основните изисквания, технически данни на ВОНН за защита на входните модули на контролерите и датчиците в системите за измерване регистрация и контрол са посочени, по-долу като са класифицирани според техническите им параметри и технологичното им предназначение.

29.5. Процедура за избор на ВОНН

Разглежда се като пример изборът на комбиниран ВОНН с вградена груба и фина защита. ВОННът има вградена груба защита (на базата на капсулован газоразрядник), основа за шинен монтаж на стандартна шина 35 mm (по DIN или EN 50022) и сменяем елемент с вградена фината защита на базата на разкуплиращи елементи и мощни варистори.

1. Място на монтаж

Поради необходимостта от изграждането на двустепенна (груба и фина защита) е възможно включването на два отделни ВОНН на линия, като грубата защита се монтира първа в зоната на преход LPZ 0 - LPZ 1 в непосредствена близост (< 1 m) до мястото на влизане на сигналния кабел в сградата, а фината защита се монтира непосредствено преди защитаваното оборудване (< 1 m).

Мястото на комбинираните ВОНН е в шкафа за управление, в който се намира защитаваното оборудване, като дължината на свързващите проводници между изхода на ВОНН и входния модул на защитаваното оборудване трябва да бъде < 1 m.

2. Условия за опроводяване:

- Необходимо е да се спазват минималните и максимални сечения на свързващите проводници, обикновено $0.2 - 4 \text{ mm}^2$ за плътни и $0.2 - 2.5 \text{ mm}^2$ за многожилни проводници, които се посочват от фирмата производител на ВОНН.
- Непресичане на защитени и незащитени сигнални вериги. Ако не е възможно да се спаси това условие, то тогава е необходимо пресичането да става под 90° .
- Разстояния между защитени и незащитени сигнални вериги при паралелен монтаж да бъде минимум 0.25 m.

3. Заземления:

- За правилната работа на ВОННте е необходимо включването им към заземление, свързано с екипотенциалната среда, като препоръчителната стойност на съпротивлението по заземлението е $\leq 1\Omega$.
- Ако сигналните проводници са с екрани, тогава е необходимо екраните да се включат по най-къс и нискоомен път към заземлението, непосредствено преди ВОНН.
- Задължително е условието за заземяване или свързване на сигналния кабел само в единия край при разделени заземителни контури !

4. Номинално напрежение U_n

5. Максимално работно (оразмерително) напрежение U_c

6. Номинален ток I_c

7. Номинален разряден импулсен (8/20 μ s) ток I_n

8. Максимален отвеждан ток I_{max}

9. Защитно ниво (остатъчно напрежение) – $U_P (U_{RES})$

10. Максимален ток на вътрешно късо съединение – I_{CC}

11. Максимален допустим ток на външно късо съединение

12. Температурен диапазон θ

Температурна област, при която ВОННът функционира с номиналните си параметри.

13. Време за реакция t_a

Характеризира способността за активиране на устройства с многоелементна конструкция.

14. Скорост на пренасяне на данни v_S .

Определя колко Bit/s могат да бъдат пренасяни по защитаваната от пренапрежения информационна мрежа.

15. Изолационно съпротивление R_{isol}

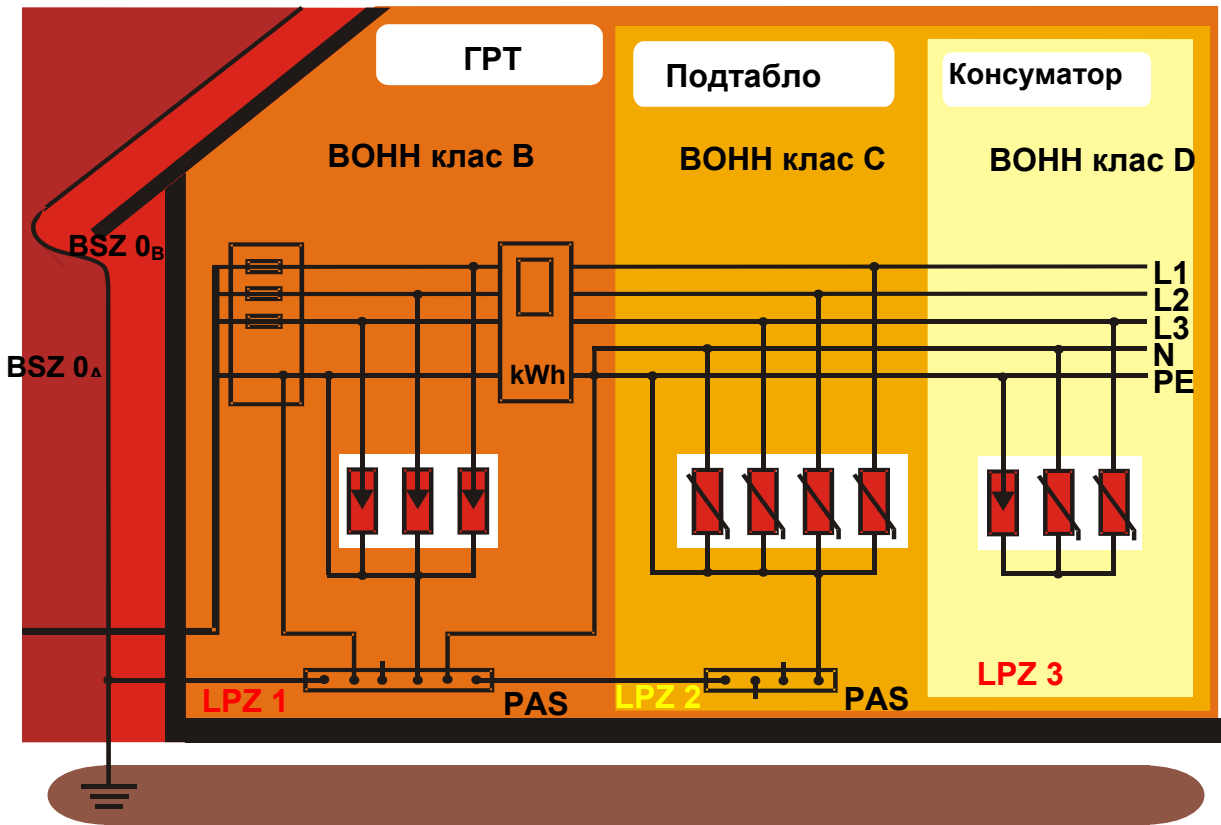
Характеризира тока на проводимост.

29.6. Процедура за избора на ВОНН в електрически и информационни мрежи до 1000 V

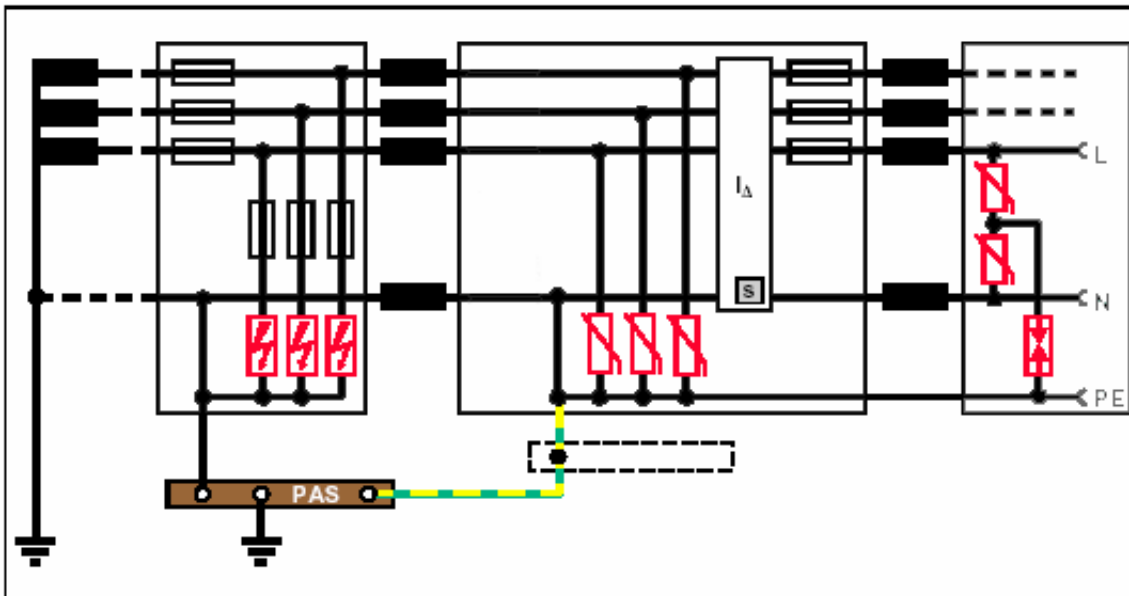
29.6.1. Общи характеристики

- Уточняване на системните параметри:
 - начин на заземяване на неутралата,
 - система на заземителния контур;
 - максимално напрежение,
 - клас на електрическа якост на защитаваното оборудване.
- Интензивност на мълниеносната дейност в разглежданият район, топография на местността,
- Определяне на риска и необходимостта от поставянето на ВОНН
- Избор на тип ВОНН по:
 - Максимално напрежение в работен режим U_c ;
 - Максимален ток в непрекъснат режим I_c ;
 - Номинален импулсен ток от мълнията (разряден ток) I_{max} ;
 - Остатъчно напрежение $U_{ост}$;
 - Максимален ток на вътрешно късо съединение I_{cc} ;
 - Максимален допустим ток на външно късо съединение
- Избор на мястото на монтаж (разстоянието между вентилния отвод и защитаваното съоръжение).
- Проверка и коо за различни класове на електрическа якост.
- Оценка за състоянието на параметрите на мрежата след поставянето на вентилен отвод.
- Техничко-икономична оценка.

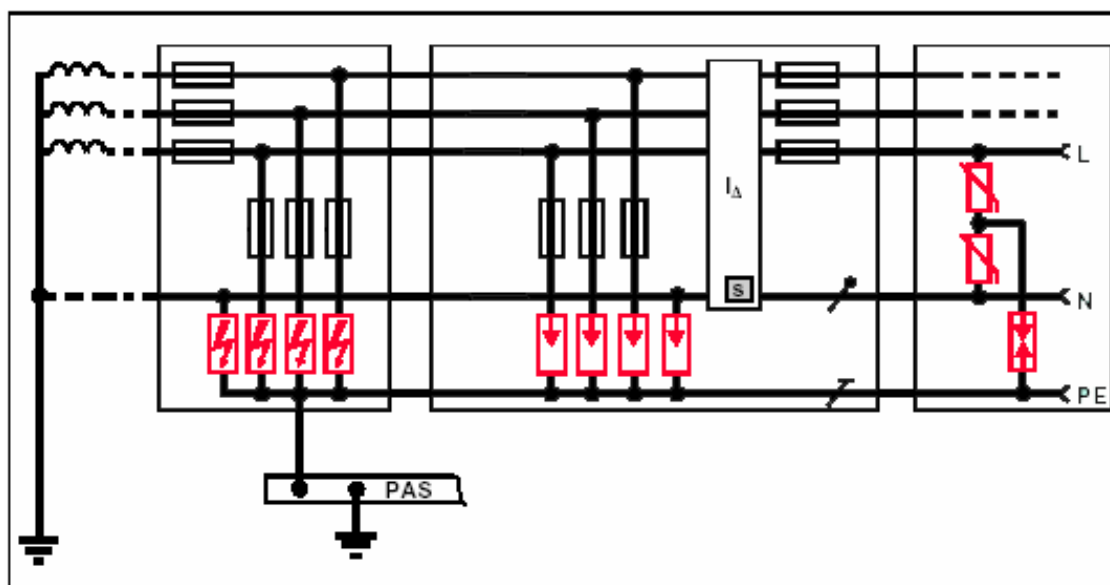
29.6.2. Примерни схеми на разположение на различните нива на защита в обекта:



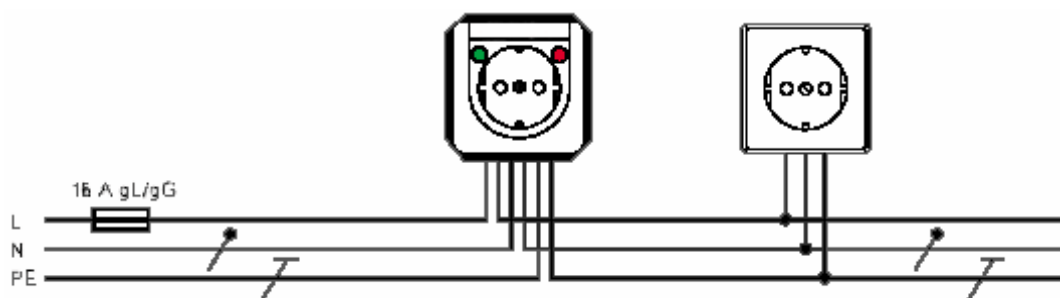
Фиг. 4



Фиг. 5. Мрежи тип TN-C-S



Фиг. 6. Мрежи тип TN-S

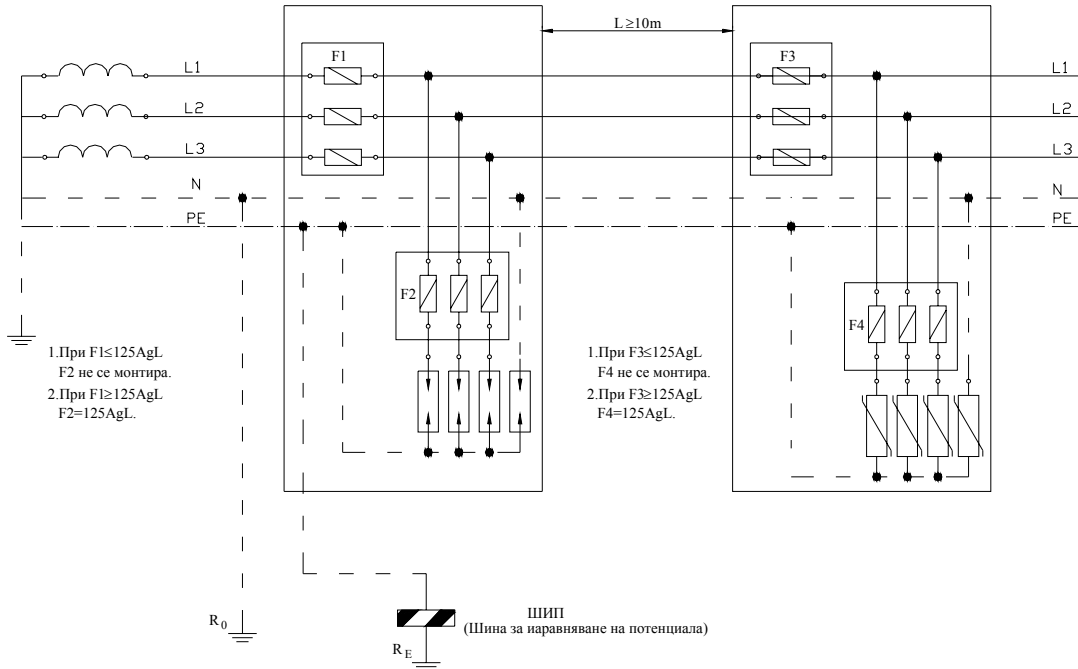


Фиг. 7 Монтиране на D ниво (клас III) – фина защита

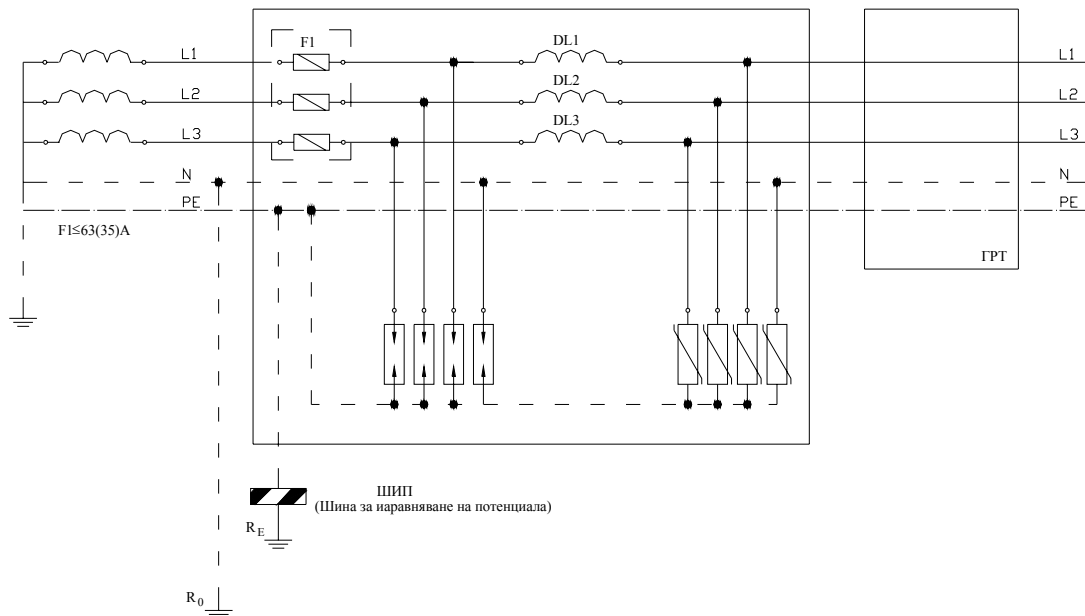
29.6.3. Избор на елементи от защитата в зависимост от типа на захранващата система:

А. TN-S захранваща система:

На фиг. 5 и фиг. 6 са показани схемите за монтаж на ВОНН в TN-S захранваща система със и без индуктивни елементи.



Фиг. 8



Фиг. 9

Схемите съдържат:

- четири броя ВОНН за груба защита, свързани към отделните фази и нулевият проводник, спрямо защитния проводник;
- стояеми предпазители във веригите на ВОНН във фазовите проводници, ако въводните предпазители на инсталацията надвишават 125 A gL (бавнодействащи).

Монтажът на ВОНН ниво В (клас I) се извършва в главното разпределително табло, максимално близо до входящата точка, с използването на максимално къси свързващи кабели на ВОНН към линиите, нулевия проводник и защитния проводник. Сечението на проводниците се подбира съгласно

техническата документация на ВОНН, като до 35 mm^2 , то не може да бъде по-малко от сечението на фазовите захранващи линии.

При избора на ВОНН за груба защита трябва да се отчита фактът, че има и такива, които при задействане (запалване) отделят газове с висока температура, поради което трябва да се спазват минимални разстояния ($\geq 10 \text{ cm}$) до кабели и друга арматура, освен ако производителят не е предписал друго. От този клас се произвеждат и ВОНН с капсуловани ампули в които протича процесът на горене на дъга.

Друг вариант:

- четири броя ВОНН за средна защита ниво *C* (клас II), монтирани към отделните фази и нулевият проводник спрямо защитния проводник (PE);
- стопяеми предпазители във веригите на ВОНН във фазовите проводници, ако главните предпазители на съответното табло надвишават 125 A gL .

Монтажът на ВОНН клас II се извършва в подтаблото, с използване на максимално къси свързващи кабели на ВОНН към линиите, нулевият проводник и защитния проводник. Сечението на проводниците се подбира съгласно техническата документация за ВОНН, като до 25 mm^2 , то не може да бъде по-малко от сечението на фазовите захранващи линии.

При разстояние между таблата за монтаж на грубата и средната защита по-малко от 10 m трябва да се приложи един от следните методи на защита:

- Използване на *B* ниво и *C* ниво на защита с отделни ВОНН.

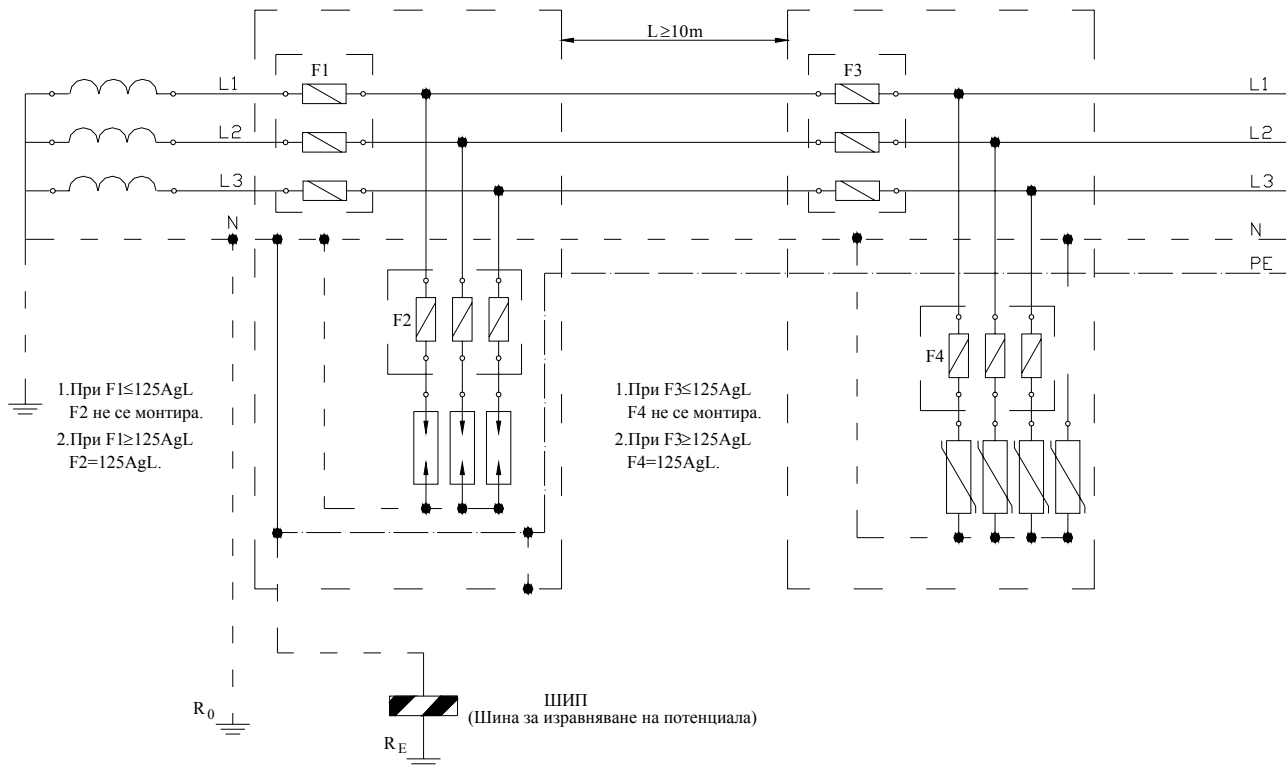
При това техническо решение е **задължително да се монтират** четири броя **разделителни дросели** (фиг. 6) – на фазовите и нулевия проводник, оразмерени за токовото натоварване. Тези индуктивни елементи трябва да бъдат оригинални и от същата фирма производител на ВОНН. Недопустимо е използването на самоделни индуктивности, както и имитирането им с не положен по трасето кабел;

- Използване на ВОНН *B+C* ниво в общ корпус.

Двете нива на защита са в общ корпус. Не е необходимо монтирането на разкупляваща индуктивност.

В. TN-C-S захранваща система:

На фиг. 7 е показана схемата за монтаж на ВОНН в TN-C-S захранваща система.



Фиг. 10

Схемата съдържа:

- три броя ВОНН за груба защита - В ниво (клас I), свързани към отделните фази спрямо нулевият проводник;
- стопяеми предпазители във веригите на ВОНН във фазовите проводници, ако въводните предпазители на инсталацията надвишават 125 A gL.

Монтажът на ВОНН В ниво (клас I) се извършва в главното разпределително табло, максимално близо до входящата точка, с използването на максимално къси свързващи кабели на ВОНН към линиите, нулевият проводник и защитния проводник. Сечението на проводниците се подбира съгласно техническата документация на ВОНН, като до 35 mm^2 , то не може да бъде по-малко от сечението на фазовите захранващи линии.

При избора на ВОНН за груба защита трябва да се отчита фактът, че има и такива, които при задействане (запалване) отделят газове с висока температура, поради което трябва да се спазват минимални отстояния ($\geq 10 \text{ cm}$) до кабели и друга арматура, освен ако производителя не е предписал друго. От този клас се произвеждат и ВОНН с капсуловани ампули в които протича процеса на горене на дъга.

Друг вариант:

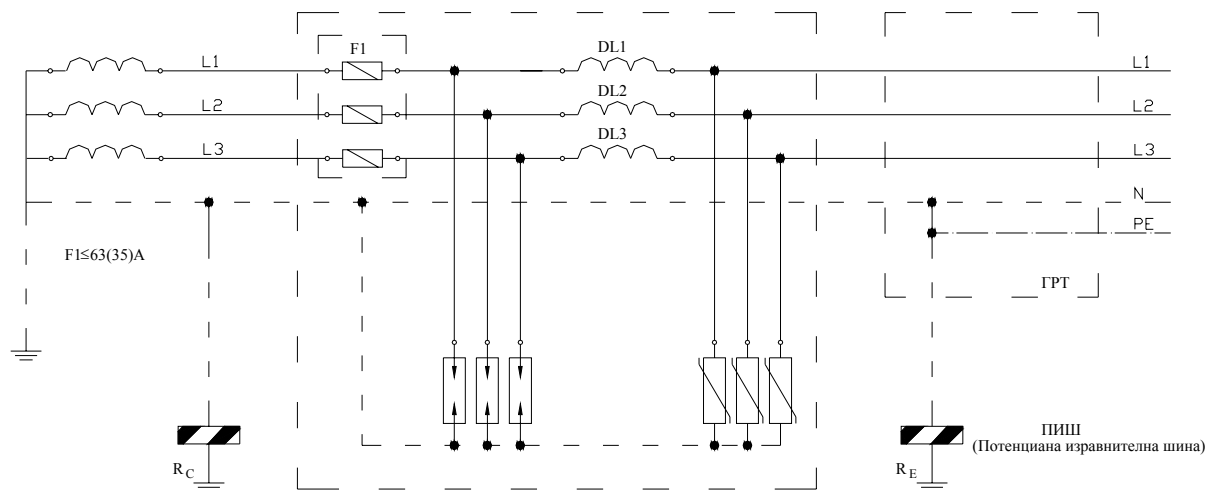
- Четири броя ВОНН за средна защита – С ниво (клас II), свързани към отделните фази и нулевият проводник, спрямо защитния проводник (PE);
- стопяеми предпазители във веригите на ВОНН във фазовите проводници, ако главните предпазители на съответното табло надвишават 125 A gL.

Монтажът на ВОНН клас II се извършва в подтаблото, с използване на максимално къси свързващи кабели на ВОНН към линиите, нулевият проводник и защитния проводник. Сечението на проводниците се подбира съгласно техническата документация за ВОНН, като до 25 mm^2 , то не може да бъде по-малко от сечението на фазовите захранващи линии.

ВОННте притежават контактна система за дистанционна сигнализация, която задейства при недопустимо претоварване. Необходимо е тези сигнали да бъдат изведени за контрол на състоянието на защитната система.

В малки обекти и невъзможност за разделно полагане на отделните групи от ВОНН е възможно обединяване на грубата и средна защита, заедно с индуктивните елементи в отделно (преди наличното)

табло, като групи от по три елемента (три предпазителя, три ВОНН *B* ниво, три разкупляващи дросела, три ВОНН *C* ниво или след предпазителите три ВОНН *B+C* ниво без разкупляващи дросели). Това решение има предимството, че ВОННте работят директно между фазите и нулевият проводник, така че потенциалното изравняване посредством металната връзка между защитния проводник и земята е гарантирана. Това е едно препоръчително решение за защита на малки обекти, разположени в райони с голяма интензивност на мълнии. На фиг. 11 е показано свързването на защитите при тези схеми.



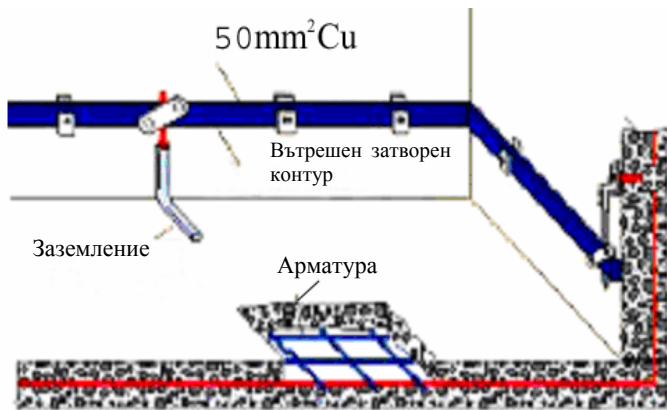
Фиг. 11

С. Създаване на еквипотенциална среда

За сигурната и безаварийна работа на апаратурата, свързана към системите за измерване, регистрация и контрол е необходимо да бъдат изпълнени условията за изпълнение на заземителния контур и потенциалното изравняване на работната среда.

За устройствата с по-нисък клас на изолация (трансмитери, датчици, контролери, релета и др.) в помещението, в което са разположени е необходимо да се изгради еквипотенциална екранирана среда за работа, с цел изолиране от външни смущаващи я въздействия.

Начинът за изпълнение на еквипотенциална среда и екранирането на залите с КИП апаратура е показан на фиг. 12. Условията за изпълнение са описани след фигурата.



Фиг. 12

Към екраниращата шина (вътрешен затворен контур, присъединен към заземителната инсталация на обекта или ШИП (шина за изравняване на потенциала). За създаване на еквипотенциална работна среда е необходимо към ШИП да се присъединят:

- всички метални шкафове, екрани на кабели, метален под и др. токопроводими метални елементи от вътрешността на помещението;
- всички метални, електропроводими входящи и изходящи комуникации като водопроводи, кабелни канали и скари, метални тръби на парно отопление и др. чрез директна нискоомна връзка, напр. проводник тип NYU – минимум 16 mm²;
- всички входящи и изходящи електрозахранващи линии, преминаващи от по-висока LPZ към по-ниска LPZ (в местата на преход LPZ 3-2; LPZ 2-1 и особено при прехода LPZ 1-0).

Свързването се осъществява индиректно, по-възможност в близост до местата на преход, чрез подбор на подходящи по параметър ВОНН, т.е. ВОНН предназначени за т.к.с., отговарящи на изчислителните токове за съответната LPZ, всички комуникационни, контролно-измервателни, кабели за данни, както и кабелите за управление, антени и др. Предлага се свързване през ВОНН, които е необходимо да се монтира в зоната на преход, чрез подбор на подходящи по параметър ВОНН, т.е. ВОНН предназначени за т.к.с., отговарящи на изчислителните токове за съответната зона.

Условието за **заземяване** или свързване на сигналния кабел **само в единия край** при **разделени заземителни контури** е **задължително!**

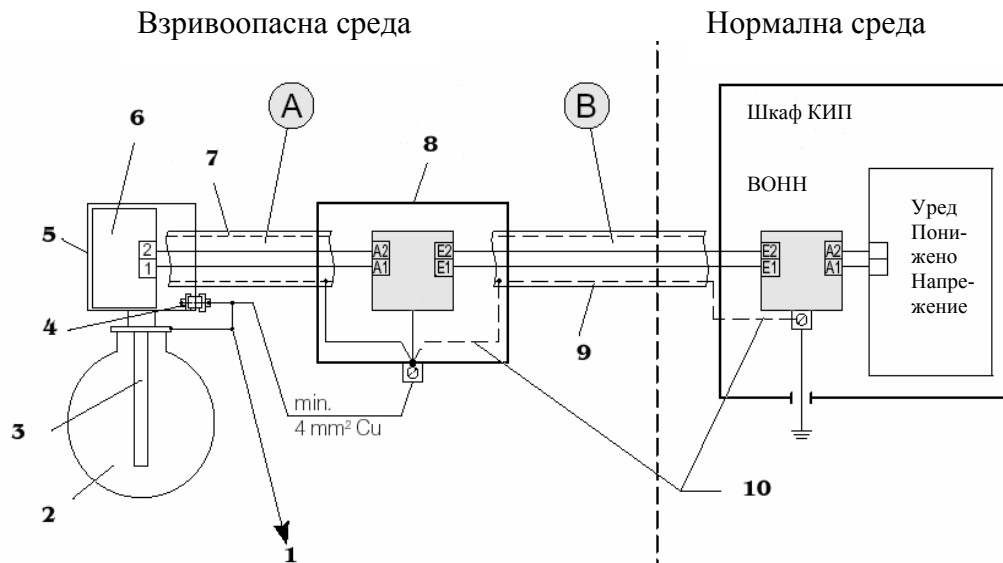
При разглеждане на защитите от пренапрежение за линиите на контролерите и датчиците (независимо от типа им) е необходимо да се обърне сериозно внимание на следното:

- преход на сигнални кабели от взривоопасна зона в зона с нормална експлоатационна среда;
- наличие на катодна защита в местата на монтаж на датчиците и взривоопасната категория;
- преход през различни LPZ;
- използвани типове кабели;
- места на заземяване на кабелите;
- начин на екраниране на сигналната линия.

29.7. ПРИМЕРИ ЗА ПОСТАВЯНЕ НА ВОНН

29.7.1. Монтиране на ВОНН при преход между взривоопасна среда и среда с нормални работни условия

А. Без наличие на катодна защита:



Фиг. 13

Легенда за фиг. 13:

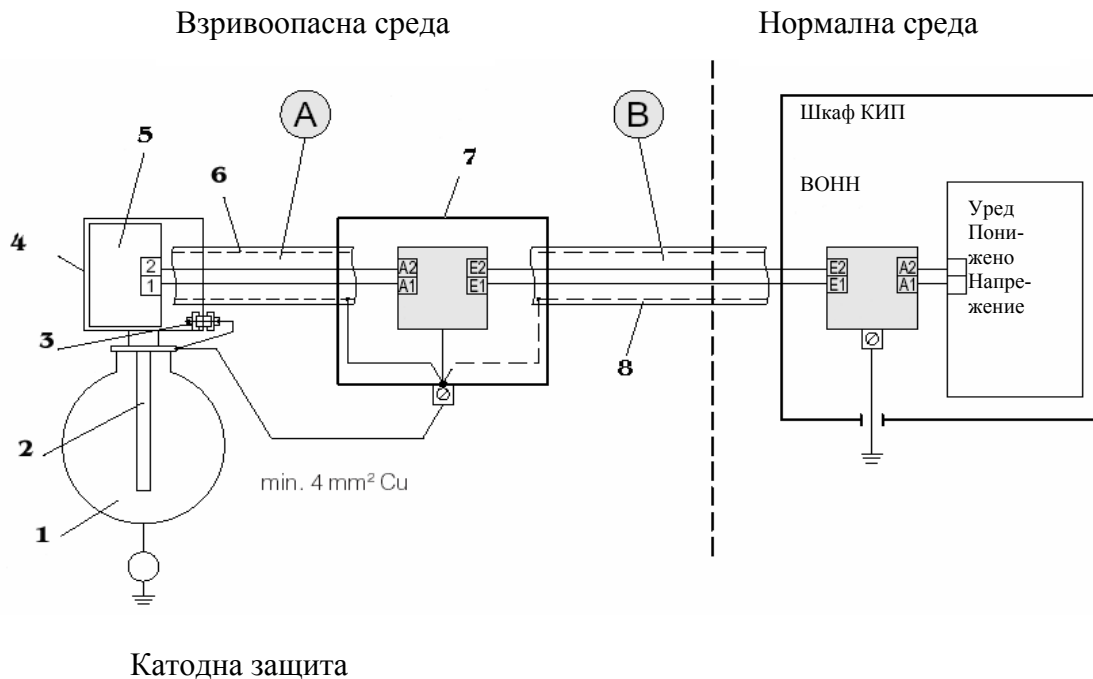
А – Между ВОНН и защитаваните устройства (5, 6) в *Ex* зоната трябва да се използва кабел с мантия, екран или кабел в метална защитна тръба (мантията, екрана или защитната тръба да бъдат свързани към *PAS* шината). Изпитателното напрежение на кабела $\geq 1500 V_{AC}$.

В – Между ВОНН и защитаваната апаратура в нормална среда, трябва да се използва кабел, при необходимост с мантия или екран. Изпитателното напрежение на кабела $\geq 500 V_{AC}$.

1. Потенциално изравняване;
2. Газопровод LPZ 0;
3. Измервателна сонда;
4. Външна заземителна клемма;
5. Датчик;
6. Трансмитер;
7. Екран;
8. ВОНН (в ВОНН табло);
9. Екран;
10. Връзка на екрана със земя.

Точки за заземяване екрана. При необходимост заземяването се извършва само от едната страна на кабела – от към защитаваното оборудване.

В. При наличие на катодна защита:



Фиг. 14

Легенда за фиг. 14:

А – Между ВОНН и защитаваните устройства (5, 6) в *Ex* зоната трябва да се използва кабел с мантия, екран или кабел в метална защитна тръба (мантията, екрана или защитната тръба да бъдат свързани към *PAS* шината). Изпитателното напрежение на кабела $\geq 1500 \text{ V}_{AC}$.

В – Между ВОНН и защитаваната апаратура в нормална среда, трябва да се използва кабел, при необходимост с мантия или екран. При необходимост кабела се свързва към *PAS* шина или земя от страна на ВОНН. Изпитателното напрежение на кабела $\geq 0.5 \text{ kV}_{AC}$.

1. Газопровод LPZ 0;
2. Измервателна сонда;
3. Външна заземителна клемма;
4. Датчик;
5. Трансмитер;
6. Екран;
7. ВОНН (в ВОНН табло);
8. Екран;

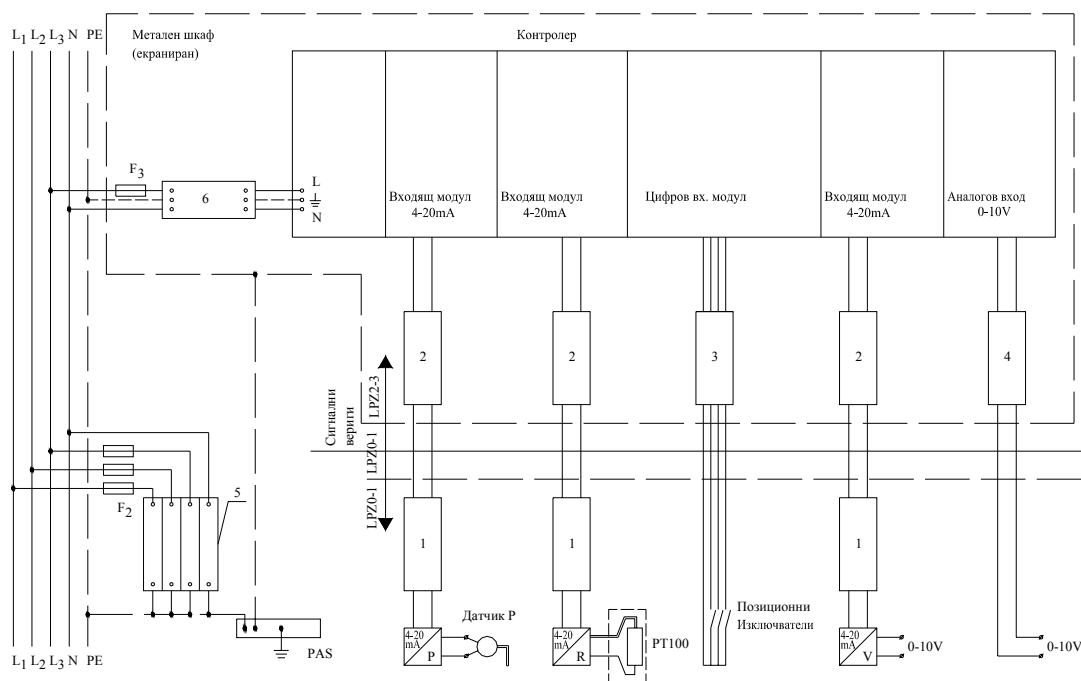
Ex – взривоопасна зона.

Избор на *Ex* или нормално изпълнение на ВОНН (ВОНН):

В зависимост от това къде се намира защитаваното оборудване и мястото на монтаж на ВОНН (ВОНН) изпълнението трябва да бъдат съответно:

- *Ex* - за оборудване с взривоопасно изпълнение и намиращо се във взривоопасна зона,
- нормално изпълнение.

29.7.2. Блокова схема за защита на контролер: защита на токови, напрежени и цифрови входове, входни модули и датчици, входове за хранване 220 V_{AC}



Фиг. 15

Легенда за фиг. 15:

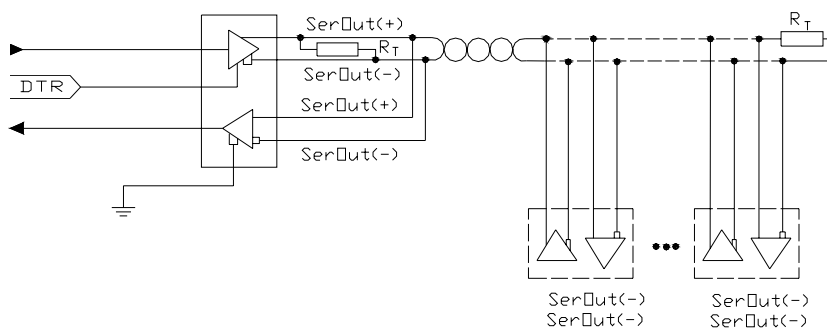
- 1 и 2 ВОНН за защита на токов трансмитер и вход (4-20 mA);
- 3 ВОНН за защита цифров входен модул на трансмитер;
- 4 ВОНН за защита на аналогов входен модул (0-10 V) на трансмитер;
- 5 ВОНН за защита В+С ниво (клас I+II) по хранване 220V_{AC};
- 6 ВОНН за защита D ниво (клас III) по хранване 220V_{AC}.

Класовете защита (I, II, III, IV, A, B, C, D) са според фиг. 2.

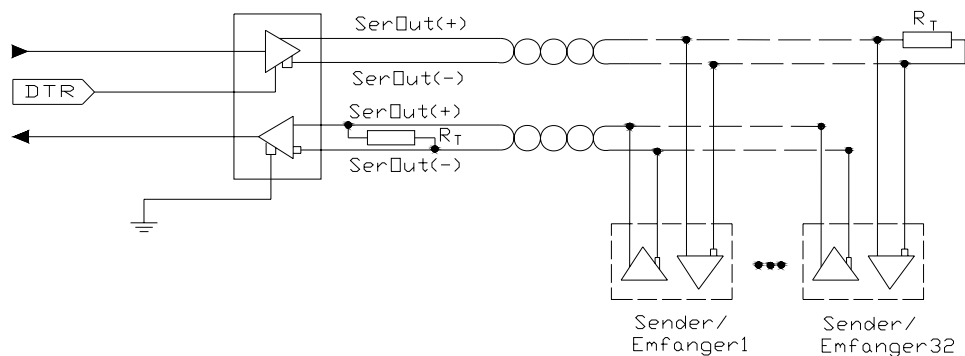
29.7.3. Защита от пренапрежения на апаратура, свързана към мрежи за данни по стандарт RS485

RS485 стандарт, познат още и като V.11/X.27, представлява дву- или четири-проводна (усукани проводници) серийна връзка с максимална дължина един километър. Честотата на обмен е до 1.5 MBit/s. Броят на включените приемо-предаватели в мрежата може да бъде максимално 32 броя. За пренос на данни тези мрежи използват усукани двойки, които са устойчиви на индуцирани пренапрежения.

Примерни блокови схеми на мрежа RS485 са показани на фиг. 16.

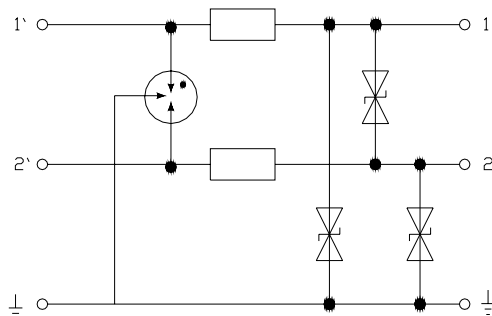


Фиг. 16.а. Мрежа стандарт RS-485 (полу-дуплекс)

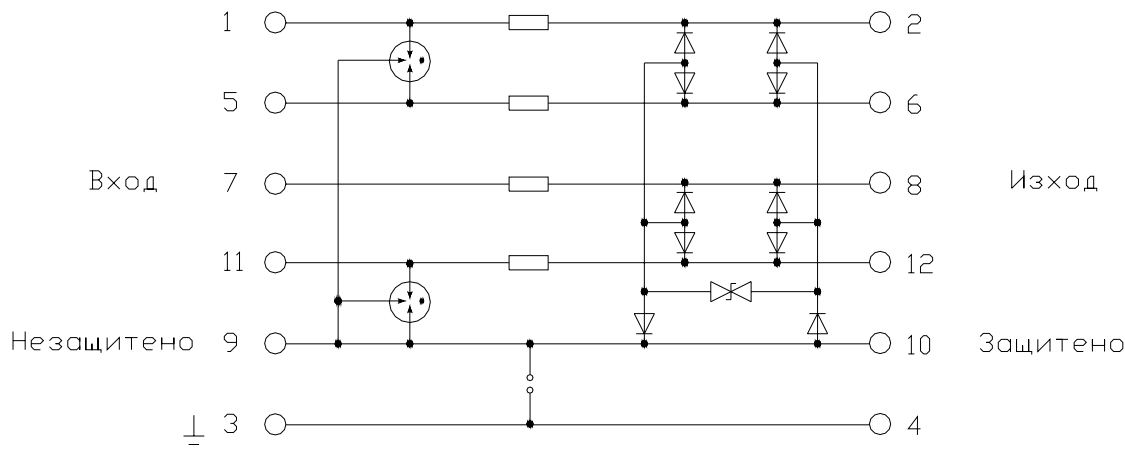


Фиг. 16b. Мрежа стандарт RS-485 (пълен дуплекс)

За тези мрежи опасност представляват надлъжните пренапрежения (пренапрежения от тоководящо жило към земя). За защита от пренапрежения трябва да се използват схемни решения, отговарящи на принципната електрическа схема, показана на фиг. 14 и фиг. 15.



Фиг. 17



Фиг. 18

За мрежи с оборудване, разположено в LPZ 1/LPZ 0 или преминаващи през LPZ1/LPZ0, е необходимо изграждането на двустепенна (груба и фина) защита от пренапрежения на мрежата.

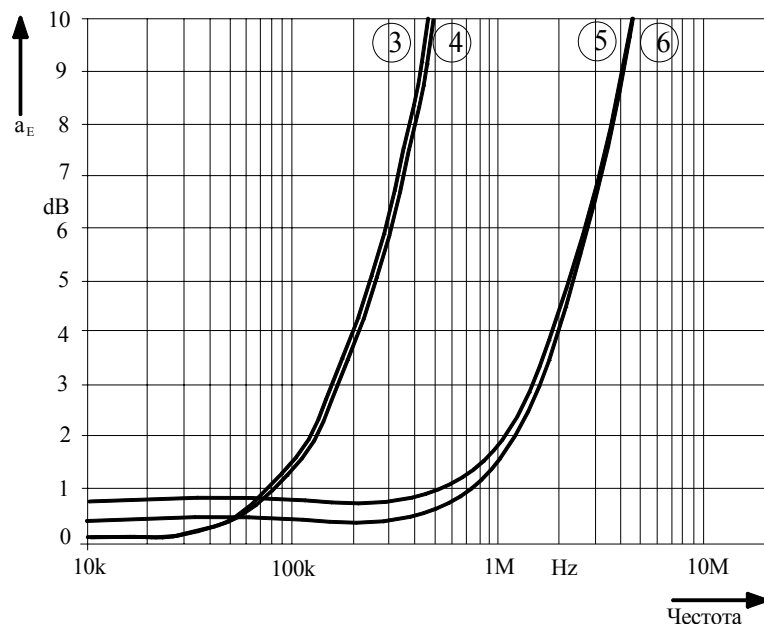
А. Избор на ВОИИ за защита от пренапрежения на мрежи за данни RS 485

1. Защита по захранване ($220 V_{AC}$) на апаратурата за регистрация, управление и контрол, намираща се в залата за управление ;
2. Защита по захранване ($220 V_{AC}$) на приемо-предавателите включени в мрежата;
3. Защита по захранване ($220 V_{AC}$) на трансмитерите/датчиците включени към приемо-предавателите;
4. Защита на приемо-предавателите от страна на кабела за данни.
5. При избора на защита и защитно ниво на приемо-предавателната апаратура включена във веригата на RS485, трябва да се вземат под внимание следните особености:

- LPZ зоните в които е разположена апаратурата,

- LPZ зоните през които минава кабелът за данни, при преминаването му през LPZ0 защитата трябва да бъде двустепенна (груба и фина), като отговаря на следните параметри:

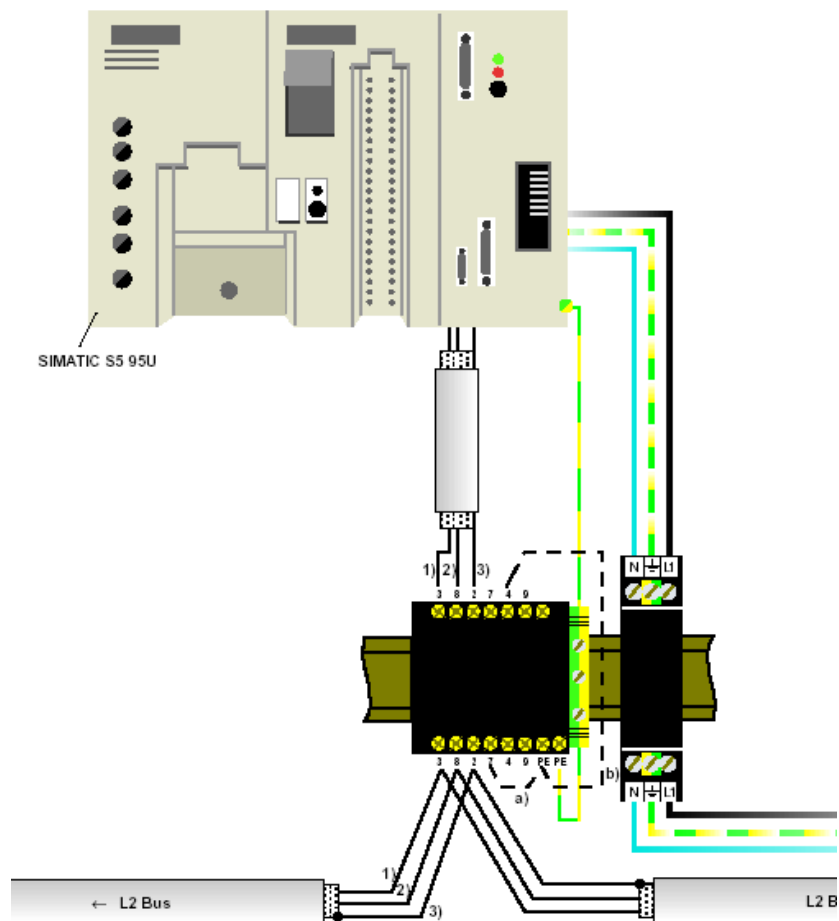
Изпитателен клас по IEC ири VDE	C ₁ , C ₂ , C ₃ , D ₁
Съответствие на	IEC 61643-21:2000-09; E VDE 0845 T.3-1: 1999-07
Номинален разряден импулсен (8/20) ток I_n (жило/жило; жило/земя)	10kA/10 kA
Сумарен разряден импулсен (8/20) ток (жила/земя):	20 kA
Максимално работно напрежение U_c :	14 V DC / 9.8 V _{AC}
Номинален (работен) ток I_N :	450 mA
Защитно ниво U_p при I_n	≤ 25 V
Време на действие t_A	≤ 500 ns
Вътрешно съпротивление на линия (за чифт)	2.2 Ω
Гранична работна честота f_g (3dB) в 50/600 Ω - система**	70 MHz
Затихване на сигнала a_E в 50/600 Ω - система**	0.2 dB до 5 MHz
Изпълнение Ех, отговарящо на EN 50 020 / DIN EN 50 020 / VDE 0171 T7:1996-04, както и DIN VDE 0165 и TRbF 100 (изолационна якост -500 V, спрямо всички метални части на оборудването и електрически вериги), нормално	
** Диаграма на затихване на сигнала (dB) във функция от честота на сигнала – фиг. 16.	



- ③ Симетрична графика за линия с импеданс 600 Ω
- ④ Несиметрична графика за линия с импеданс 600 Ω
- ⑤ Симетрична графика за линия с импеданс 50 Ω
- ⑥ Несиметрична графика за линия с импеданс 50 Ω

Фиг. 19

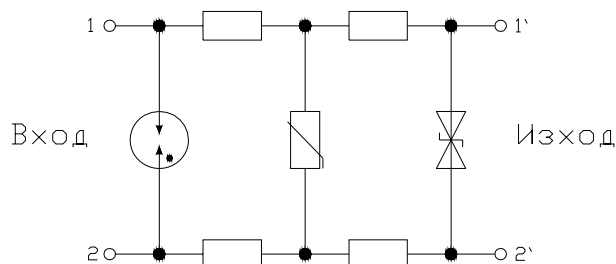
Примерно включване на защита от пренапрежение в мрежа за данни по стандарт RS485 със защита на контролера от страна на мрежа по стандарт RS 485 и захранване 220V_{AC}, фиг. 17.



Фиг. 20

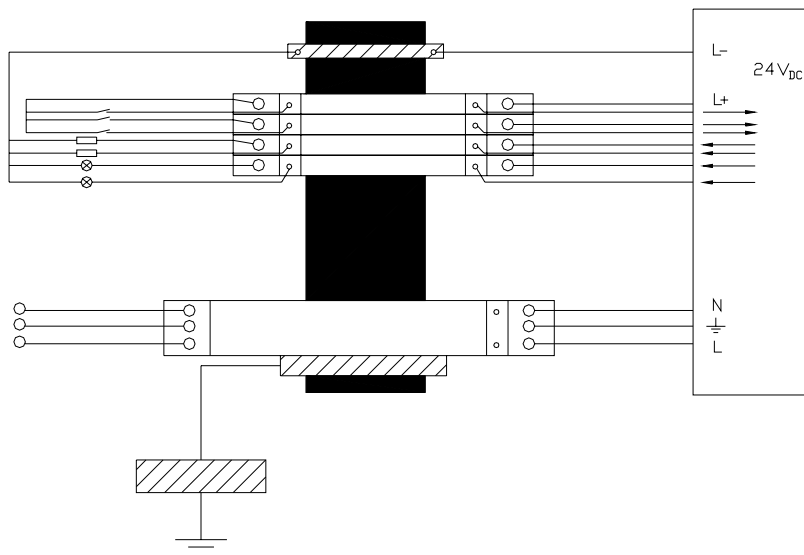
В. Защита на цифрови входове и изходи

Цифровите (бинарни) сигнали са комутируеми напрежения. Те са най-често спрямо основния потенциал на управляващия блок (масата), който от своя страна може да бъде свързан или не към земя. Появата на пренапрежения между сигнални проводници и основния потенциал - маса, трябва да бъдат ограничени до номиналното входно ниво на защитаваното оборудване. Примерна схема на защита е дадена на фиг. 21.



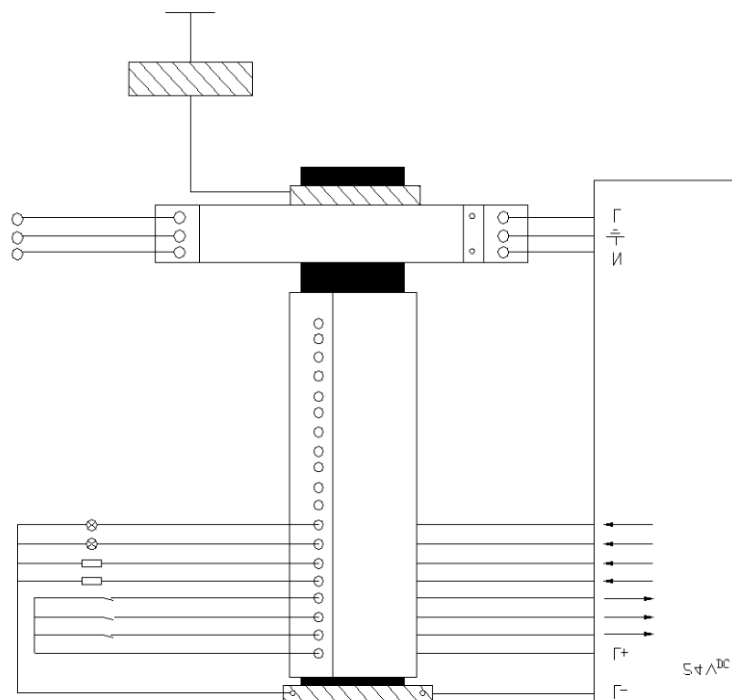
Фиг. 21

На фиг. 19 е показана блокова схема на защита на цифрови входове и изходи и защита по захранващото напрежение на модула, изградена от дискретни елементи и предназначена за общ шинен монтаж.



Фиг. 22

На фиг. 23 е показана блокова схема за защита на цифрови входове и изходи и защита по захранващо напрежение на модула, изградена чрез общ модул предназначен за шинен монтаж.



Фиг. 23

С. Избор на ВОНН за защита от пренапрежения на цифрови входове и изходи на системи за управление:

Изпитателен клас по IEC ири VDE	C ₁ , C ₂ , C ₃ , D ₁
Номинален разряден импулсен (8/20) ток I_n (жило/жило; жило/земя)	10 kA
Сумарен разряден импулсен (8/20) ток (жила/земя)	20 kA
Максимално работно напрежение U_c	28 V DC
Номинален (работен) ток I_N	300 mA
Защитно ниво U_p при I_n	≤ 40 V
Време на задействане t_A	≤ 1 ns
Вътрешно съпротивление на линия (за чифт)	$< 5 \Omega$

Изпълнение:

Ex, отговарящо на EN 50 020 / DIN EN 50 020 / VDE 0171 T7:1996-04, както и DIN VDE 0165 и TRbF 100 (изолационна якост -500 V, спрямо всички метални части на оборудването и електрически вериги), нормално

С1. Избор на ВОНН:

Поради необходимостта от изграждането на двустепенна (груба и фина защита) е възможно включването на два отделни ВОНН на линия, като грубата защита се монтира първа в зоната на преход LPZ 0 - LPZ 1 в непосредствена близост (< 1 m) до мястото на влизане на сигналния кабел в сградата, а фината защита се монтира непосредствено преди защитаваното оборудване (< 1 m).

Препоръчителен е вариантът на избор на комбиниран ВОНН, с вградена груба и фина защита, например с основа (с вградена груба защита – на базата на капсулован газоразрядник) за монтаж на шина 35 mm по стандарта DIN или EN 50022 и сменяем елемент (с вградена фината защита на базата на разкупляващи елементи и мощни варистори).

Мястото на монтаж на комбинираните ВОНН е в шкафа за управление, в който се намира защитаваното оборудване, като дължината на свързващите проводници между изхода на ВОНН и входния модул на защитаваното оборудване трябва да бъде < 1 m.

С2. Условия за опроводяване:

- Необходимо е да се спазват минималните и максимални сечения на свързващите проводници, обикновено $0.2 - 4$ mm² за плътни и $0.2 - 2.5$ mm² за многожилни проводници, които се посочват от фирмата производител на ВОННте.
- Да не се пресичат защитени и незащитени сигнални вериги. Ако не е възможно да се спаси това условие, то тогава е необходимо пресичането да става под 90° .
- Разстоянията между защитени и незащитени сигнални вериги при паралелен монтаж да бъде минимум 0.25 m.

С3. Заземления

За правилната работа на ВОННте е необходимо включването им към заземление, свързано с еквивалентната среда, като препоръчителната стойност на заземлението е $\leq 1\Omega$.

Ако сигналните проводници са с екрани, тогава е необходимо екраните да се включат по най-къс и нискоомен път към заземлението, непосредствено преди ВОНН.

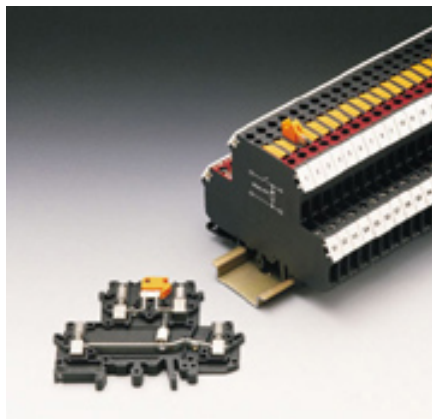
Задължително е условието за заземяване само в единия край на сигналния кабел или свързване при **разделени заземителни контури е!**



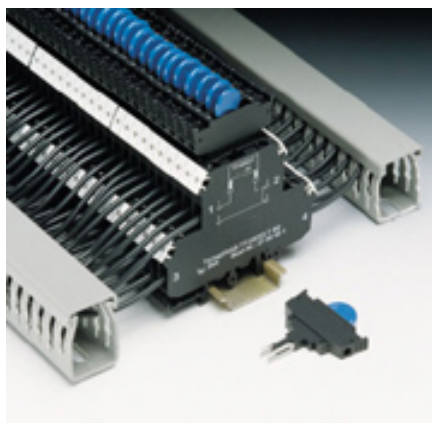
Фиг. 24. Група ВОНН: 10 входа и 10 изхода



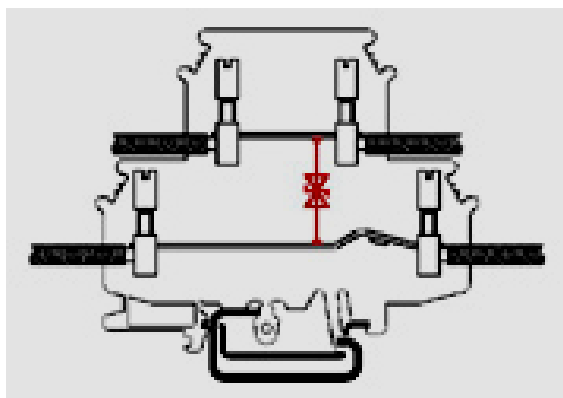
Фиг. 25. Клеми с вградени ВОНН



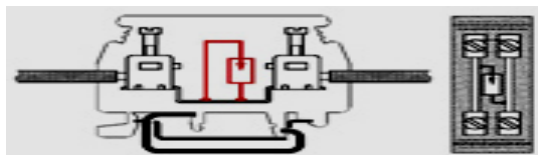
Фиг. 26. Клеми с вградени ВОНН и една извадена клема



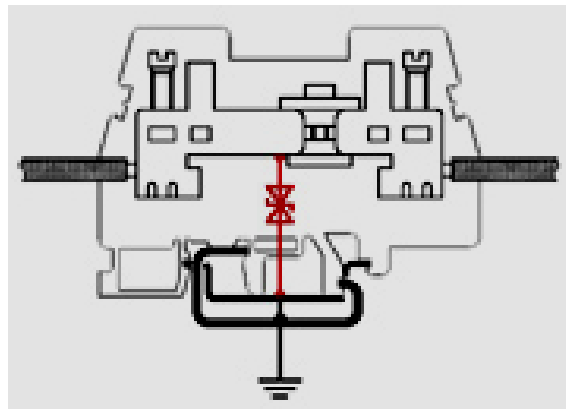
Фиг. 27. Клеми с вградени ВОНН и опроводяване



Фиг. 28. Вътрешна схема на клема с ВОНН. Вариант с варистор, напречна защита.



Фиг. 29. Вътрешна схема на клема с ВОНН, надлъжна защита.



Фиг. 30. Вътрешна схема на клема с ВОНН. Вариант с варистор, надлъжна защита.

30. Приложение на микроконтролери в релейните защиты

I. Необходимост

Използването на микроконтролерите в релейните защиты (РЗ) се обосновава с необходимостта от едновременната обработка в реално време на ограничен брой сигнали с голяма динамика на амплитудата.

Както в повечето автоматични системи в електроенергийната система и тук събитията са със спорадичен характер. В различни ситуации информация за събитието и за състоянието на обекта дават различни хармонични съставящи. Обикновено те са различни за отделните сигнали (токове и напрежения).

Обработката на сигналите трябва да се извършва в реално време с максимална скорост. В общият случай е добре защитата да има формирано селективно изходно управляващо въздействие за време по-малко от собственото време на изпълнителния механизъм (реле).

Нивото на шумовете понякога е съизмеримо с нивото на полезният сигнал, като спектърът е неравномерен. Това налага използване на мощни средства за филтрация на сигналите.

Като елемент на цялостната система за управление на електроенергийният обект (подстанция, електрическа централа) е необходимо да се извършва регистрация на събитията и състоянията, като се осигури възможност за:

- предаване на информацията към устройства от по-високо ниво;
- визуализация на статуса;
- диагностика и настройка на защитата.

Така формираните изисквания определят еднозначно средствата за реализация на съвременните релейни защиты – цифрови системи за обработка на сигнали.

II. Математическа и апаратна база

Типът на средствата за цифрова обработка на сигналите се определя от **честотната лента на информативните сигнали** и необходимостта от **работа в реално време**.

За Релейните защиты спектърът се ограничава до 20^{-ти} хармоник (max 40^{-ти}), т.е. до 1kHz (max 2.0kHz).

Три са основните компоненти, които може да съдържа една система за обработка на цифрови сигнали:

A. Преобразувател на непрекъснатият сигнал в цифров. Това конвертиране се реализира чрез Т/Н и ADC. От голямото разнообразие на ADC най-често се използват:

0. Аналогово-Цифров преобразувател работещ по метода на последователното приближение (successive approximation). Този тип ADC се използват при сигнали с честота до няколко стотици kHz при 8- до 16-битово РСМ кодиране (равномерно квантуване по амплитуда и време – *импулсно-кодозна модулация*). Основното им предимство е, че времето за преобразуване не зависи от амплитудата на входния сигнал.

0. Паралелни ADC. Използват се при обработка на радиотехнически и видео и сигнали. Чрез тях е възможно да се дискретизират сигнали с честоти до 3GHz. Най-често резултатът се кодира с 6 до 12 бита.

0. Сигма-делта ADC. Този тип ADC се използват основно при обработка на аудио сигнали. Честотата на дискретизация е до 1 MHz при кодиране с 16 до 24 бита. Произвеждат се с паралелен и сериен изход.

B. Микропроцесорна система за реализация на цифровия алгоритъм.

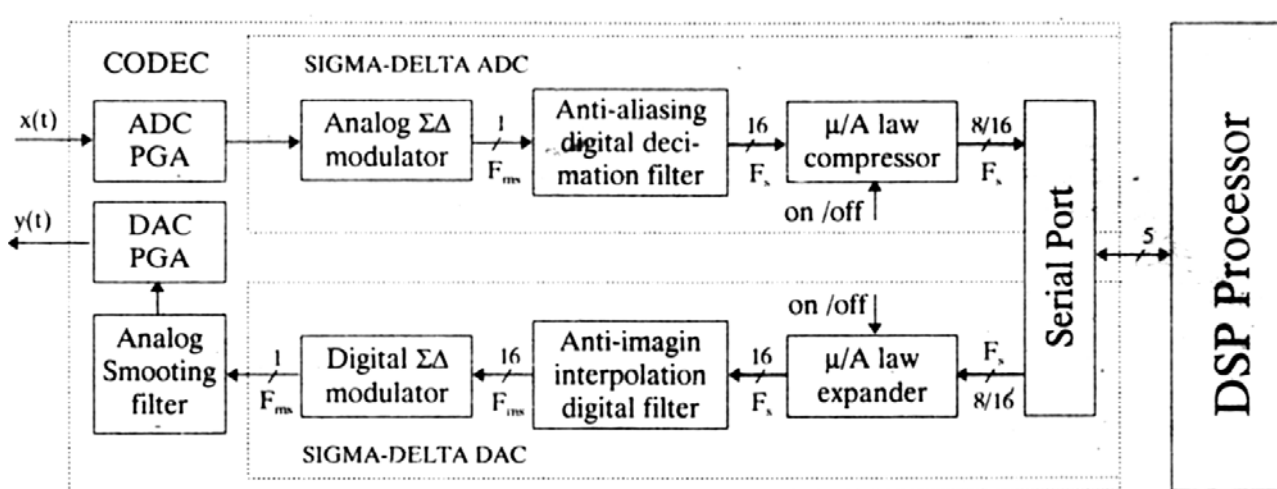
В зависимост от сложността на алгоритъма и изискванията за бързодействие е възможно да се използва персонален компютър, *микронтролер или специализиран сигнален контролер*.

С. Преобразувател на цифровият сигнал в непрекъснат.

Апаратно това конвертиране се реализира чрез цифрово-аналогов преобразувател и нискочестотен аналогов филтър. Чрез DAC от дискретния сигнал се получава импулсна поредица. След интерполация на моментните стойности на импулсите чрез нискочестотна филтрация се получава непрекъснат сигнал. При обработка на аудио сигнали основно се работи със сигма-делта DAC с последователен или паралелен вход, а при видео сигнали - DAC с паралелен вход и обхват на изменение на изходния сигнал $\pm 1V$ RMS AC.

На фиг.1 е показана обобщената блокова схема на система за обработка на нискочестотни (аудио) сигнали. Тя е реализирана на базата на $\Sigma\Delta$ ADC, $\Sigma\Delta$ DAC и DSP процесор. В повечето практически реализации се използва схемно решение при което функциите на ADC и DAC се реализират чрез една интегрална схема, т.н. кодек (codec). Това води до намаляване на размерите на системата и повишаване на надеждността и.

Съществуват специализирани контролери, които съдържат CODEC и DSP процесор, т.н. MSP-процесори. Първият MSP контролер за обработка на **телефонни** сигнали е ADSP 21MSP50 на ADI.



Фиг.1 Блок-схема на цифрова система за обработка на нискочестотни сигнали

Входният сигнал $x(t)$ може да бъде усилен чрез програмируемия усилвател PGA. След това той постъпва на входа на $\Sigma\Delta$ модулатор. Последният генерира еднобитов сигнал (най-често $+1,-1$) с честота F_{ms} , многократно по-висока от необходимата честота на дискретизация. Средната стойност на изходния сигнал е пропорционална на моментната амплитуда на $x(t)$. DAC генерира едно от две еталонни напрежения, които във всеки момент се сравняват с амплитудата на входния сигнал. Амплитудата на V_{REF} зависи от нивото на входния шум и максималната амплитуда на $x(t)$.

Модулаторите с честота на дискретизация много по-висока от оптималната се наричат *oversampling modulators*. Две са причините за тяхното широко използване:

- лесна апаратна реализация, което води до понижаване на цената на ADC, DAC или кодека;
- Възможност за цифрова реализация на anti-aliasing филтъра.

(В резултат с взаимодействието на някои от хармониците на линейно нарастващото напрежение на преобразувателя със сигнал, който е с честотата на отчетите, може да се получи изместване във времето на спектралната функция – ефект известен като **aliasing**. Като мярка, сигналът от управляемия ВЧ-генератор чрез апроксимация се свежда до синусоида).

Сигналът с честота F_{ms} (няколко MHz) трябва да се преобразува така, че да се получава лесно:

- конвертиране на 1-битовия сигнал в n-битов чрез усредняване;
- филтрация на резултата с нискочестотен филтър със сръзваща честота $f_c=f_b$, където f_h е честотата на най-високия хармоник на $x(t)$;
- намаляване на честотата на дискретизация от F_{max} до желаната F , чрез децимация.
- Филтрирането и децимацията могат да се реализират по цифров път чрез структура, наричана филтър-дециматор.

На фиг.2 е показан спектъра на входния сигнал $x(t)=\sin(2\pi f_x t)$ преди и след филтриране и децимация.

Някои $\Sigma\Delta$ ADC притежават вграден μ/A law компресор. Ако е разрешена неговата работа към DSP процесора се предава 8-битов код. В противен случай 16-, 18- или 24-битов линейен PCM код. Тази информация се предава към DSP процесора в паралелен или последователен формат.

По-голямо практическо приложение имат ADC с последователен изход, тъй като се използват само пет линии за връзка.

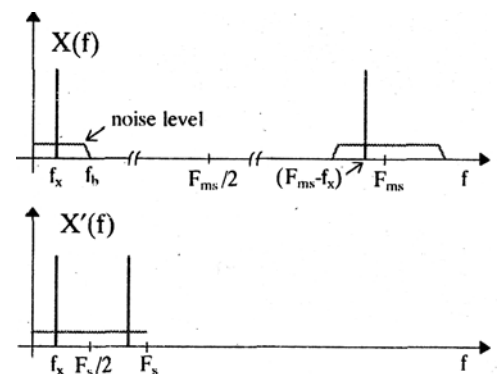
Повечето сигнални процесори притежават поне един високоскоростен синхронен сериен интерфейс, чрез който се реализира двупосочния обмен на информация. След като цифровите данни се запишат в RAM (най-често се работи в режим на генериране на прекъсване след запълване на RAM буфер) се реализира и заложения цифров алгоритъм.

Ако е наложително възстановяване на обработените цифрови данни по сериен или паралелен канал те се предават към $\Sigma\Delta$ DAC. Ако се предава 8-битов μ/A law код той се преобразува до n-разряден линейен PCM код чрез експандиране. Получената цифрова редица трябва да се преобразува така, че:

- да се повишава честотата на дискретизация до тази на $\Sigma\Delta$ модулятора чрез цифрова интерполация;

- да се премахват спектралните съставлящи над f_h (възможно е да се получат след цифровата обработка) чрез филтрация с нискочестотен anti-imagin филтър с аналогична характеристика на anti-aliasing филтъра от ADC.

Филтрирането и интерполацията се реализират по цифров път чрез филтър-интерполатор. На изходът му се получава n-битов цифров сигнал с честота на дискретизация F_{ms} . Следва преобразуването му до 1-битов импулсен сигнал чрез цифров $\Sigma\Delta$ модулатор. Изглаждането на полученият импулсен сигнал се реализира чрез аналогов, възстановяващ (изглаждащ) нискочестотен филтър със сръзваща честота $f_b < f_c < F_s - f_b$. След усилване/затихване, което се реализира чрез програмируем усилвател се получава и възстановения сигнал $y(t)$.



Фиг.2. Спектр на сигналите преди и след децимация

КОГАТО Е НАЛОЖИТЕЛНО ЗАЛОЖЕНИЙТ АЛГОРИТЪМ ДА СЕ РЕАЛИЗИРА В РЕАЛНО ВРЕМЕ НАЙ-ДОБРИЯТ ВАРИАНТ Е ДА СЕ ИЗПОЛЗВА СИГНАЛЕН ПРОЦЕСОР/КОНТРОЛЕР.

Първият DSP процесор TMS32010 бе произведен през 1982 година от фирмата Texas Instruments. В табл.1.2 са описани основните характеристики на по-голяма част от DSP и MSP процесорите на TI. Основният конкурент на TI в областта на производството на DSP продукти е Analog Devices Inc. Първият сигнален процесор на ADI , ADSP 2100 бе пуснат на пазара през 1986 година.

Таблица 1

Fixed point DSP/MSP	Cicle	MiPS	RAM	ROM	EEPROM	External Memory	Parallel ports	Serial ports	Remarks
TMS 320C25	80 ,	12.5	544B	4K	по	128K	16x16	1	68 PLCC
'320E25	100	10	544B	по	4K	128K	16x16	1	68 PLCC
'320C26	100	10	1.5K	256B	по	128K	16x16	1	68 PLCC
'320C50	25	40	10K	2K	по	192K	64Kx16	2	132 PQFP
'320C51	25	40	2K	8K	по	192K	• 64Kx16	2	132 PQFP
'320C52"	25	40	1K	4K	по	192K	64Kx16	1	100 PQFP

Производителността на една DSP система зависи основно от архитектурата на процесора. Тя трябва да бъде съобразена със спецификата на цифровите алгоритми. Въпреки че TI произвежда по-голямо разнообразие от сигнални контролери, тези на ADI са по-добри от архитектурна гледна точка. Като пример за потвърждение на това твърдение в табл.2 е показано времето за реализация на 1024-точково комплексно бързо преобразуване на Фурие за някои DSP контролери с подобна тактова честота.

Таблица 2

DSP контролер	cycle, ns	MIPS	брой цикли за реализация	време за реализация
TMS 320C50	25	40	84833	2.12 ms
OSP2181	30	33	34625	1.04 ms
'/S320C40	25	40	38945	0.97 ms
.DSP 21060 SHARC	25	40	18 221	0.46 ms

III. Сигнален контролер ADSP 2181

Сигналните процесори на ADI използват модификация на т.н. *архитектура 'Харвард'* (Harvard Architecture). Традиционната *архитектура 'Харвард'* се характеризира с две напълно независимо работещи вътрешни магистрала, което позволява извличането на инструкция и операнд в рамките на един цикъл. ADI използва модифицирана архитектура, която дава възможност за извличане на една инструкция и два операнда в рамките на един цикъл при ADSP21xx. Тази идеология е доразвита при ADSP2106x контролерите, т.н. SHARC архитектура. В този случай благодарение на асоциативната избирателна кеш памет в рамките на един цикъл е възможно извличането на инструкция и два до три операнда.

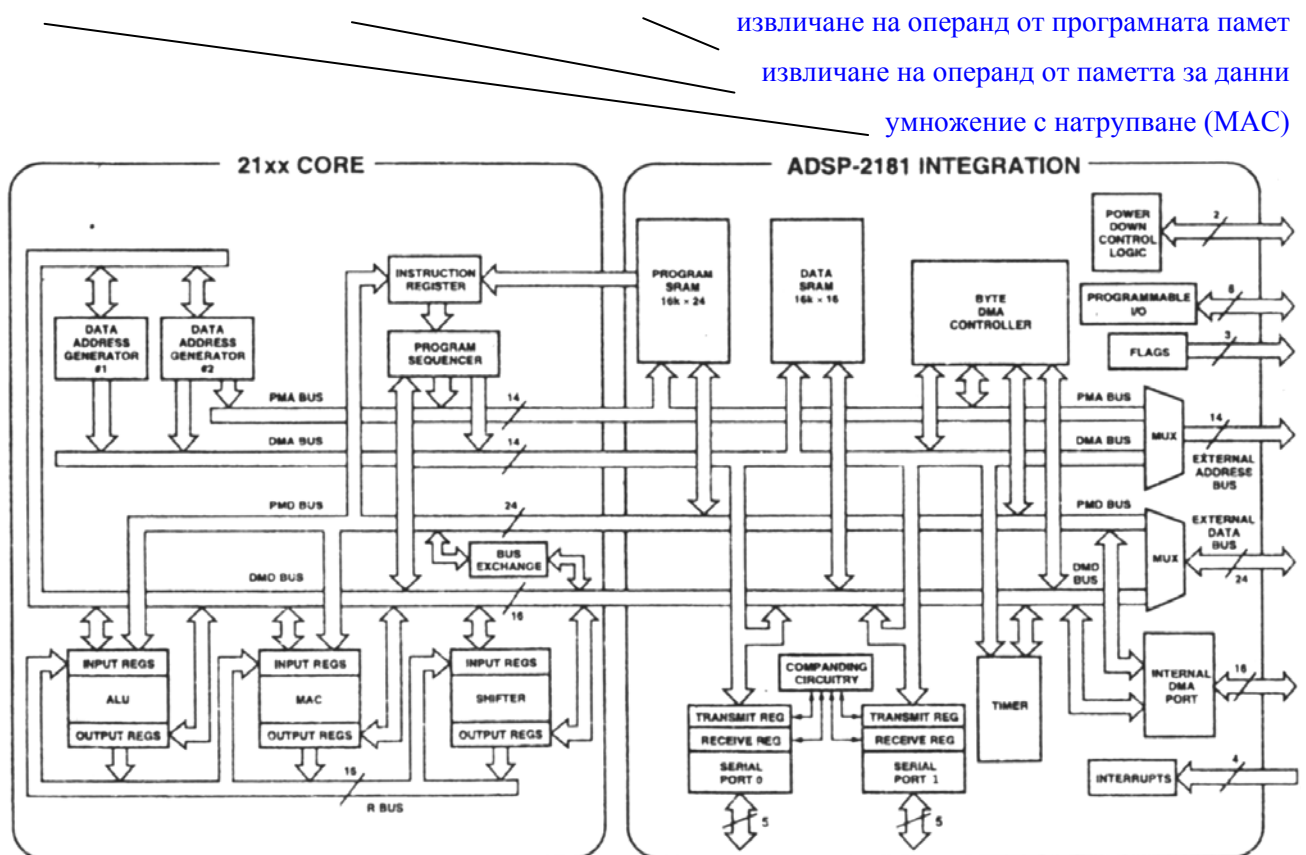
На фиг.3 е показана блок-схемата на вътрешната архитектура на един от най-новите сигнални контролери на ADI, ADSP 2181.

1. Ефективният обмен на данни се реализира благодарение на петте независими вътрешни магистрала:

- PMA bus е шина за адресиране на програмната памет;
- DMA bus е шина за адресиране на паметта за данни;
- PMD bus е шина за данни от програмната памет;
- DMD bus е шина за данни от паметта за данни;
- R bus е шина за резултата от математическа или логическа операция.

Благодарение на това разделяне на магистралите е възможно извличането на инструкция и два операнда в рамките на един цикъл:

$MR=MR+MXO*MYO$, $MXO=DM(IO, MI)$, $MYO=PM(I5, M5)$;



Фиг.1.9. Блок-схема на вътрешната архитектура на ADSP 2181

2. Три паралелно работещи изчислителни устройства:

- ALU реализира аритметични и логически операции;
- MAC, реализира умножение с възможност за натрупване на резултата;
- Barrel Shifter, реализира бързо L/R преместване в рамките на един цикъл независимо от броя на преместваните битове.

Характерното тук е, че всички 19 регистри от изчислителните устройства имат свои алтернативни копия. Това позволява главната програма да работи с основните регистри, а процедурите и ISR да работят с алтернативните регистри. Така значително се ускорява бързодействието (не се използва стека), а превключването на регистрите се реализира с една инструкция: ENA/DIS SEC_REG.;

2. Двата независимо работещи адресни генератора, DAG#1 и DAG#2 позволяват:

- възможност за извличане на една инструкция и два операнда за един цикъл;
- реализация на осем апаратни циклични буфера;
- реализация на режим побитово реверсиране на адресите чрез DAG#1 което ускорява изчисляването на FFT.

3. Program Sequencer служи за оптимизация на изпълнението на инструкциите за условен и безусловен преход – съгласуване на времената; Връщане от процедура и прекъсване; реализация на условни вложени цикли. Блокът определя и буферира адреса на следващата инструкция по време на изпълнение на текущата (DO UNTIL, JUMP, CALL, RTS, RTI, IDLE). Това позволява тези инструкции да се реализират в рамките на един цикъл.

4. Контролерът притежава два двупосочни серийни канала, SPORT#0 и #1. С тях е възможно да се реализира обмен с периферни схеми като DAC и ADC, а също така и междуконтролерни комуникации. SPORT#0 може да поддържа многоканален серийен интерфейс чрез мултиплексиране с деление във времето, TI-style multichannel communications. Всички контролери на ADI поддържат апаратно препоръката G.711 за реализация на μ A law компандиране.

5. Контролерът ADSP 2181 притежава и два DMA канала:

- BDMA е канал, чрез който е възможно да се адресират до 4MB RAM/ROM, организирани в 256 страници всяка по 16Kx8;
- IDMA е 16-битов канал, чрез който може да се реализира връзка с микроконтролер, хост-компютър или PC чрез ISA bus.

IV. Сигнален контролер MSP 430

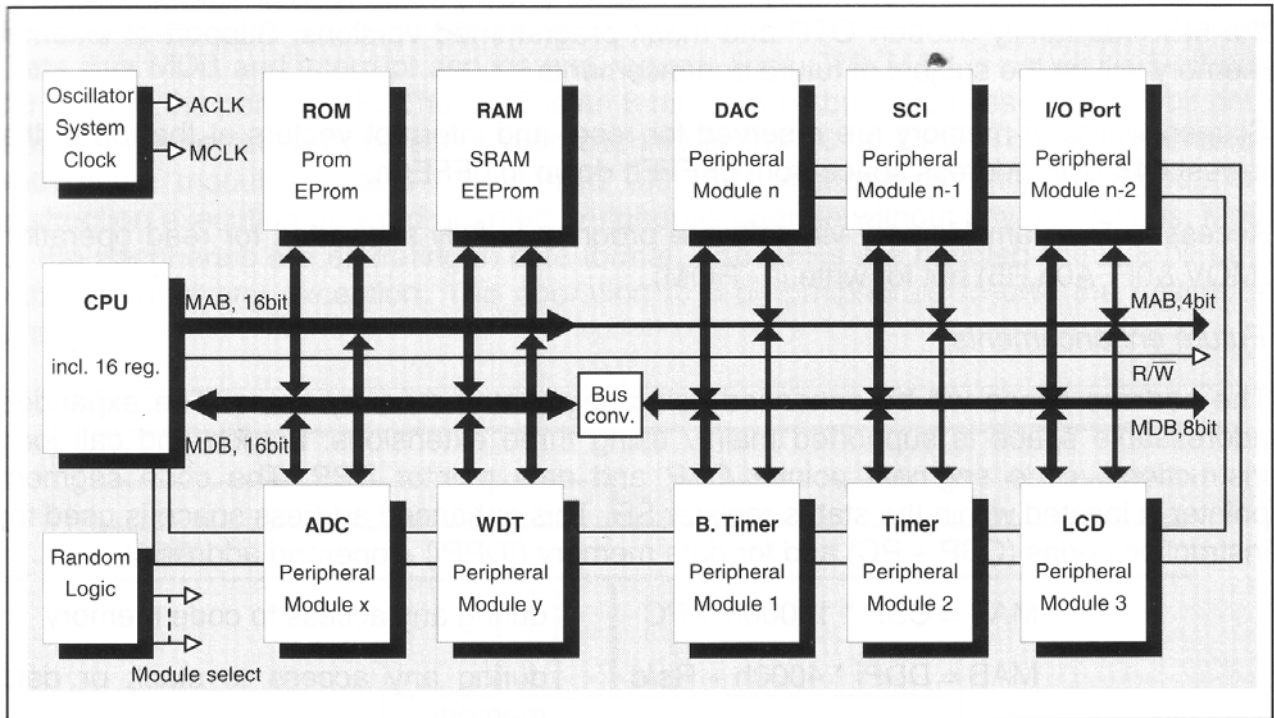
Друга серия MSP контролери с много подходящи за функциите на Релейната защита структура и функционални характеристики е MSP430xx на Texas Instruments.

Той се характеризира със следните основни параметри:

- 16-bits CPU
- Програмна памет (ROM или EPROM)
- Памет за данни (RAM или EEPROM)
- Логика за контрол на операциите
- Силно развита структура от периферни модули

- Вграден осцилатор с умножител на честотата.

Структурата на MPS430 е базиран на архитектурата от тип ‘памет-памет’ от вътрешното адресно пространство и редуциран набор от инструкции за всички функционални блокове. Вътрешната архитектура на контролера е показана на фиг.4.



фиг.4. Вътрешна структура на MPS430.

1. Регистри на CPU

Съдържа 16-битово ALU, шестнадесет регистъра (16-bits) - за данни и логика за контрол на инструкциите.

Program Counter PC	R0
Stack Pointer SP	R1
Status Register SR	R2
Constant Generator CG1	
Constant Generator CG2	R3
Working Register R4	R4
Working Register R5	R5
:	:
:	:
Working Register R13	R13
Working Register R14	R14
Working Register R15	R15

Четиринадесет от регистрите (R0, R1, R4...R15) се използват за данни и адреси. Те са работни за CPU и дават възможност за адресиране на цялото адресно пространство от 64Kbytes (ROM, RAM, EERAM, Peripherals,...) без да се използва сегментация.

Първите пет регистъра (R0, R1, R3, R4 и R5) имат и специални функции засягащи управлението на програмата в нормален режим и при обработка на прекъсвания - Program Counter PC, Stack Pointer SP, Status Register SR and Constant Generator CG1, 2. Всички регистри с изключение на CG2 и отчасти CG1 могат да се използват като универсални при изпълнение на инструкциите. Constant Generator CG1, 2 се използват за задаване на константи и не могат да се използват за съхранение на текущи променливи.

2. Памети

Паметта е програмна и за данни (оперативна RAM) с организация 16^{-bits} или $2 \times 8bytes$.

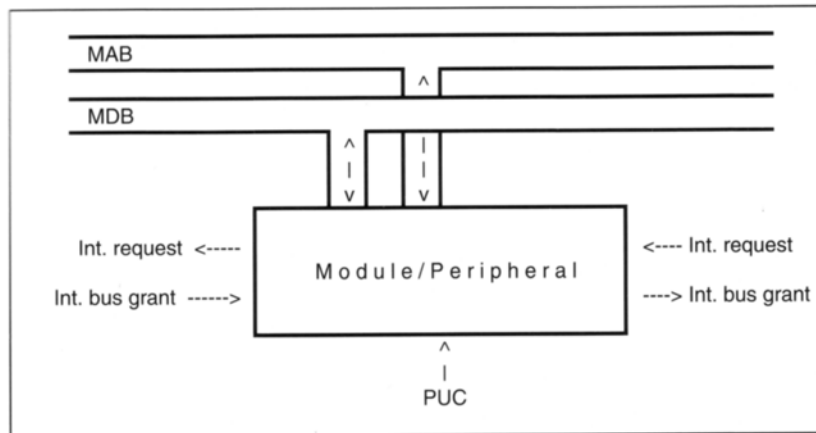
■ Програмна памет – Code Memory

Достъпът до програмната памет е винаги на ниво ‘word’ и то само при операции за четене или проверка на данни или инструкции. Това е програмируем или ‘фирме-

но програмиран ROM (х.х.ROM, 64KB). Старшите 16 байта са отделени за векторите на началното установяване и прекъсванията.

▪ Оперативна памет – Data Memory (RAM)

Управлението се извършва по две отделни високоскоростни шини за данни (MDB) и адреси (MAB) - фиг.5. Достъпът е на ниво word или byte.



фиг.5. Организация на вътрешния обмен - Memory bus –за адреси и за данни.

3. Контрол на операциите.

Изпълнението на операциите се осъществява изцяло от информацията (алгоритъма) заложена в специалните регистри **SFRs**. Отделните битове от тези регистри са флагове на прекъсванията, флагове на логическите условия за състоянието или определят оперативните режими на периферните модули. Неизползваните подсистеми автоматично се изключват с което се намалява консумацията.

4. Периферия.

Периферните модули са:

- ADC - 14- 12-bits преобразувател с осем аналогови входа;
- DAC - 16-bits преобразувател код в аналогов сигнал с програмируемо усилване/затихване
- В Timer - базов таймер;
- Timer - таймер (8 bits) със стандартните режими на работа с опции за режим на ADC и UART комуникация;
- LCD - вграден програмно управляем контролер за управление на теч-но-кристален седем-сегментен 8 разряден дисплей;
- WDT - 'watchdog timer' - подсистема за контрол на нормалната работа на микроконтролера;
- SCI - сериен комуникационен интерфейс;
- I/O ports - входно – изходни портове с общо предназначение

Всички подсистеми са свързани към MAB и MDB. Организацията на обмена се редуцира до 8 бита на MDB за повечето подсистеми. От MAB се използват младшите пет адресни шини.

Организацията и принципът на действие на повечето подсистеми е аналогичен на тези от стандартния тип микроконтролери. По-специални функции са предвидени в модулите за обработка на аналогови сигнали, както и при системния осцилатор.

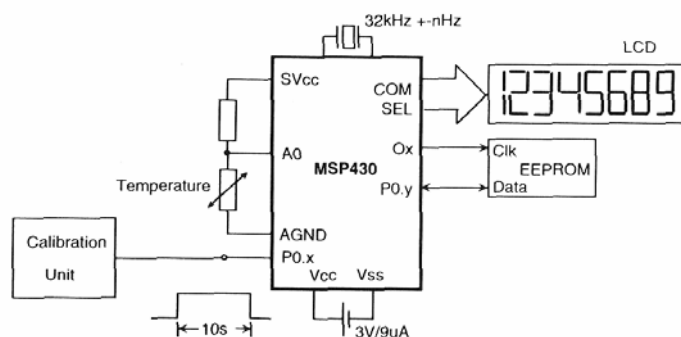
5. Осцилатор, честотен умножител и тактов генератор (ТГ).

Осцилаторът е проектиран специално за работа с кварцов резонатор 32,768 kHz с цел по-

нижаване на консумацията. Интегрирани са всички допълнително необходими аналогови елементи. Генераторът е непосредствен източник на тактов сигнал за подсистемите, които допускат работа с по-ниска честота. За CPU и останалите подсистеми честотата се умножава и стабилизира (захваща) от система FLL (frequency lock-loop circuit). Коефициента на умножение се задава програмно и необходимата висока честота се поддържа от управляемия по цифров път генератор DCO. Девияцията на честотата е малка и за продължителен период от време. Това гарантирана необходимата точност на всички процедури свързани с цифровата обработка на аналоговите сигнали, Прецизно е фиксиран и цикълът на тактовата поредица за паметта MCLK, кратен на честотата на кварцовия резонатор.

- **Допълнителни мерки за повишаване на температурната стабилност на ТГ.**

Надеждна работа се гарантира чрез допълнителна корекция (добавяне или отнемане на цикли) на сигнала от осцилатора. MSP430 измерва отклонението (сравнението е с еталонен генератор) и внася необходимата корекция.



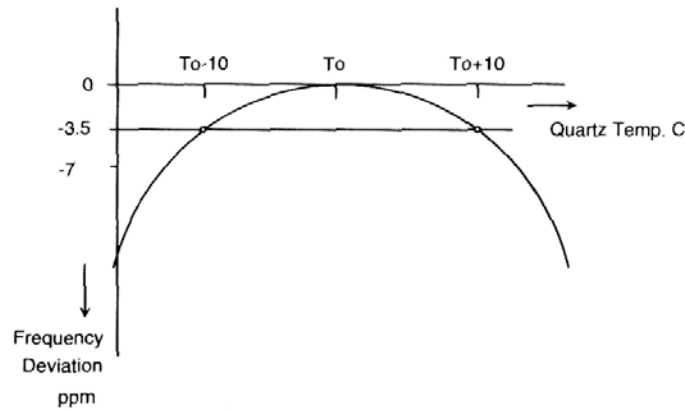
фиг.6 Калибриране на кварцовия резонатор

В повечето случаи се прави температурна компенсация по таблични данни заложиени в корекционна таблица (Data Memory). Девияцията на честотата нараства в квадратична зависимост по отношение на отклонението на температурата от фиксираната оптимална стойност – фиг.7. Типична стойност е: $-0.035 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}^2$)

Зависимостта се описва със следната апроксимация: ($T_0 = +19^{\circ}\text{C}$)

$$\Delta f = -0.035 \times (T - 19)^2$$

където: Δf девиация на честотата в ppm
 T температура на кристала в $^{\circ}\text{C}$



фиг.7 Девияция на честотата на кварцовия кристал във функция на температурата

V. Типични мерки за усредняване на сигнала и намаляване влиянието на шума

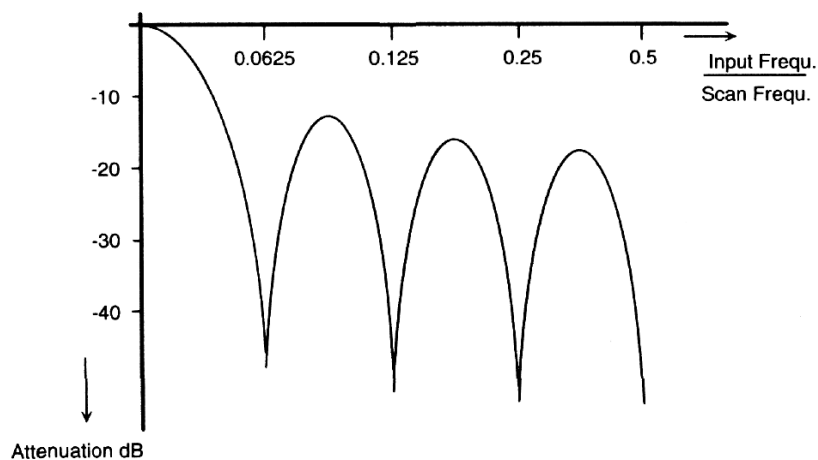
Ако измереният сигнал съдържа шум въпреки естествената филтрация от преобразуването, обикновено се използват някои от следните методи за последваща филтрация:

1. **Over-sampling:** Добавят се няколко допълнителни измервания (преобразувания на ADC) и натрупаната сума от стойности се използва за изчисленията. По-долу е показано как се модифицира обработката при еднократно измерване.

$$V_{normal} = Slope \times ADC + Offset \rightarrow V_{oversample} = \frac{\sum(Slope \times ADC + Offset)}{N}$$

2. **Непрекъснато усредняване (Continuous Averaging):** за текущите отчети се използва цикличен буфер. За всяка нова стойност се изчислява новата средна стойност.

Характеристиката на това усредняване е подобна на 'Гребенчат Филтър' (Comb Filter) със сравнително добро подтискане на честотите, интегрална сума на честотата на сканиране. Честотната характеристика е показана на фиг.8.



фиг.8 Честотна характеристика при метода на непрекъснато усредняване

3. 'Сумиране по тегло' (**Weighted summation**): вариант на рекурсивната филтрация.

Сумират се стойностиите на старата изчислена и новата измерена величини и резултатът се дели на две. По такъв начин всяко измерване има свое 'тегло':

Measurement at t_0 : 0.5 Actual measurement

Measurement $t_0 - \Delta t$: 0.25 Last measurement

Measurement $t_0 - 2\Delta t$: 0.125

Measurement $t_0 - 3\Delta t$: 0.0625

Measurement $t_0 - 4\Delta t$: 0.03125

Measurement $t_0 - n\Delta t$: $2^{-(n+1)}$

etc.

4. **Wave Digital Filtering (WDFs)**

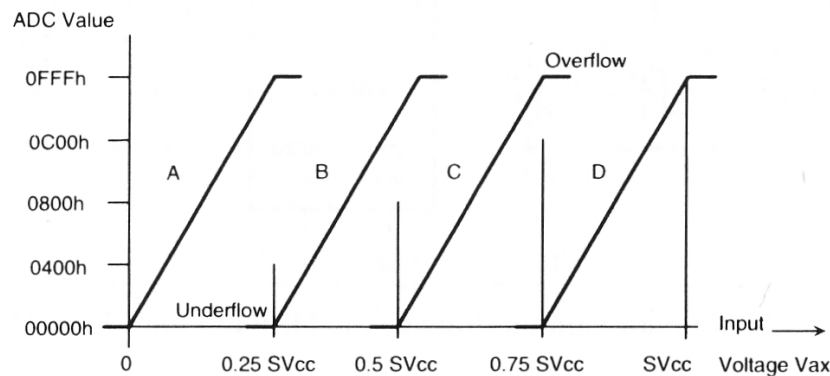
Алгоритъм на комплексна цифрова филтрация. Има равномерна характеристика при работа с нелинейни величини. Изисква малко памет при висока скорост на обработката и добър динамичен обхват. Разработен е специално за този клас контролери, но се използва и от редица други фирми.

5. Пренебрегване на двете гранични стойности (**Rejection of Extremes**).

Осредняващ метод, при който се извършват (N+2) измервания. Най-голямата и най-малката стойности се пренебрегват.

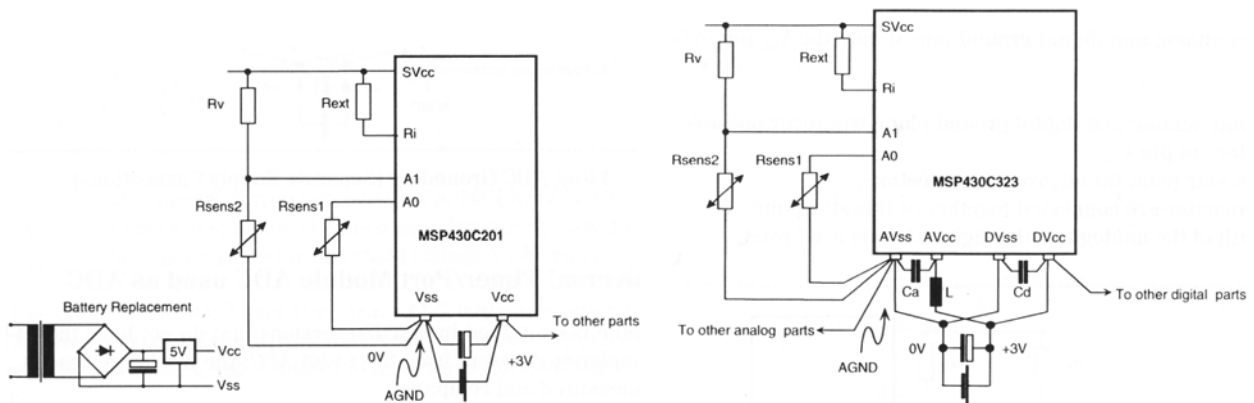
6. Промяна на разрядността на ADC

Способ прилаган за ускоряване на преобразуването, като същевременно се намалява внесеният шум и се уплътняват заетите от различните сигнали нива (фиг.9).



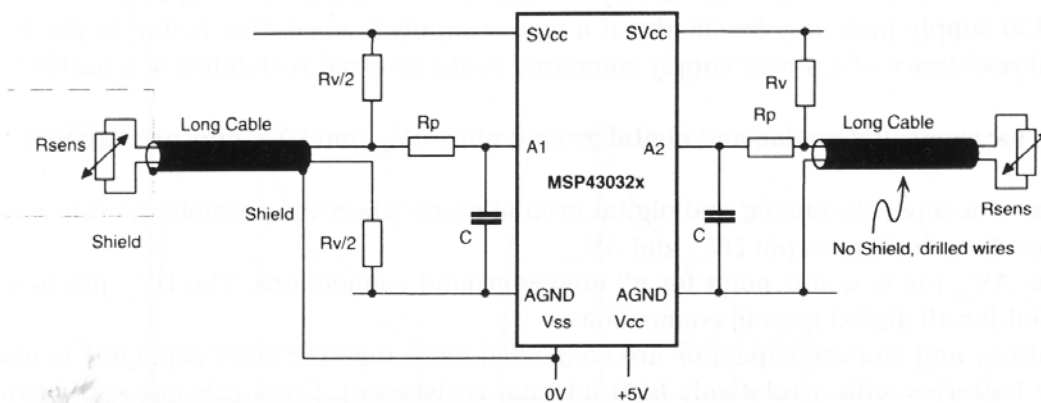
фиг.9. ADC : 14->12 –bits. Четири самостоятелни обхвата.

7. Специални мерки при свързване на аналоговата ‘земя’.



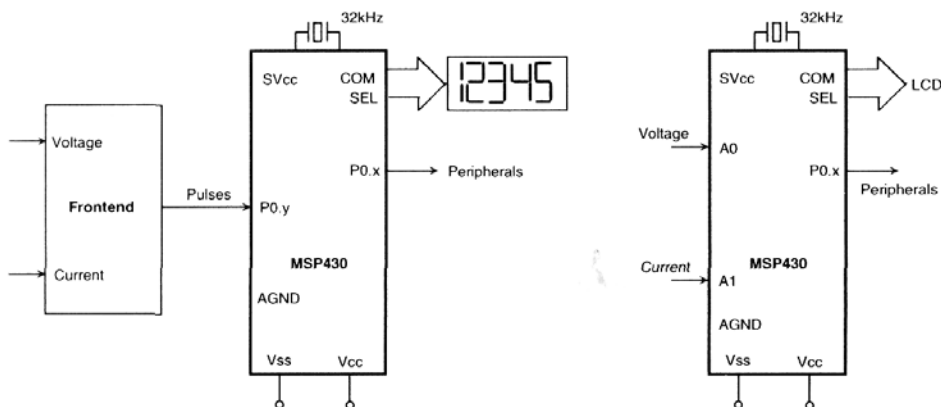
фиг.10. 14-бит ADC обща аналогова ‘земя’ при общо и при разделено захранване.

8. Специални мерки при работа с отдалечени източници на сигнали

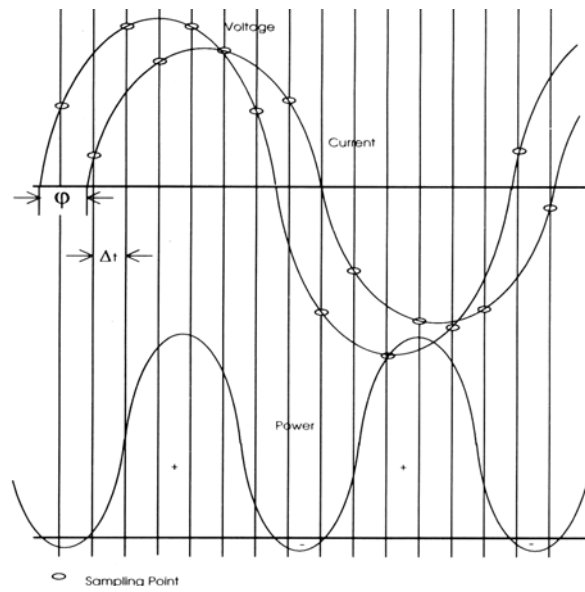


фиг.11. Свързване на сензор с дълъг кабел. Заземяване на екранировката.

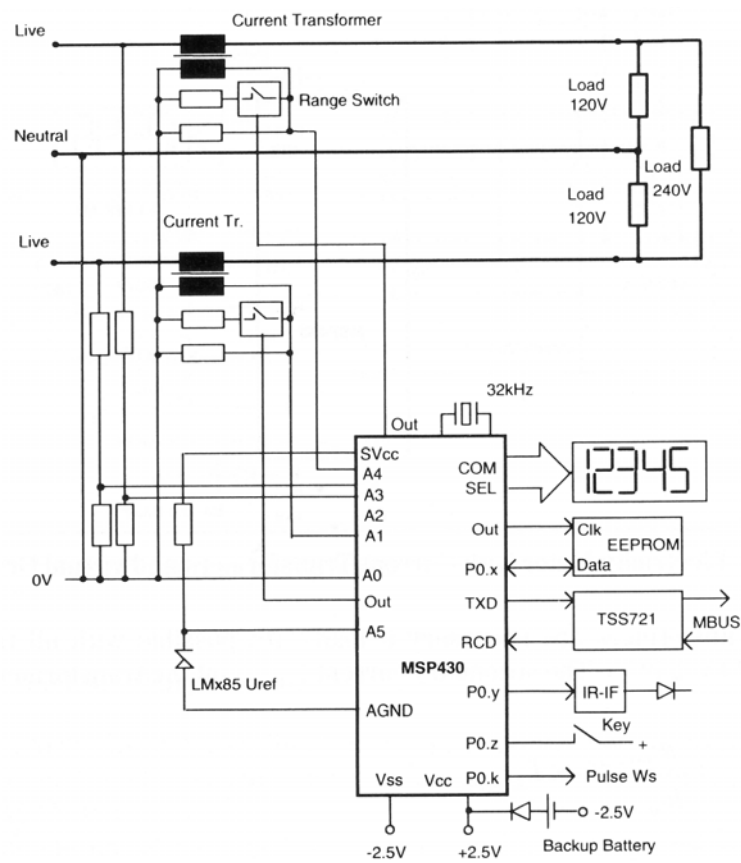
VI. Някои примерни (и типични) схеми при обработка на електрически величини



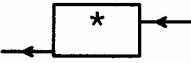


фиг.12. Два метода за електрически измервания










фиг.13. Принцип на измерване на електрическа енергия



фиг.14. Измерване на електрическа енергия

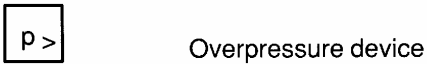
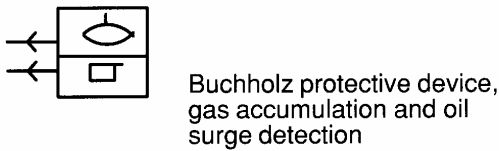
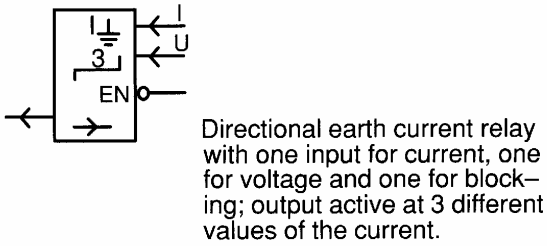
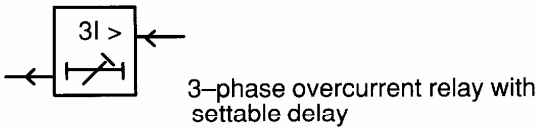
Relay symbols and device numbers; selection from IEC 617- and ANSI/IEEE C37.2-1991	Означения на релета и номера на устройства, според IEC 617- и ANSI/IEEE C37.2-1991																																		
<p>Block symbols and qualifying symbols</p> <p><u>1 General block symbols</u></p>  <p>Protection relay The asterisk must be replaced by one or more letters or qualifying symbols indicating the parameters of the device</p> <hr/>  <p>Protection relay with enabling input</p> <hr/>  <p>Protection relay with blocking input</p> <hr/> <p><u>2 Parameters and functions</u></p> <table border="1"> <tr> <td>I</td> <td>Current</td> </tr> <tr> <td>\overleftarrow{k}</td> <td>Reverse current</td> </tr> <tr> <td>I_d</td> <td>Differential current</td> </tr> <tr> <td>I_d/I</td> <td>Percentage differential current (current restraint)</td> </tr> <tr> <td>I_{nf}</td> <td>Current of n^{th} harmonic</td> </tr> <tr> <td>$I_1, (I_p)$</td> <td>Positive sequence current component</td> </tr> <tr> <td>$I_2, (I_n)$</td> <td>Negative sequence current component</td> </tr> <tr> <td>$I_0, (I_h)$</td> <td>Zero sequence current component</td> </tr> <tr> <td>I_{rsd}</td> <td>Residual current</td> </tr> <tr> <td>I_{\perp}</td> <td>Earth fault current</td> </tr> <tr> <td>I_{\rightarrow}</td> <td>Current to frame</td> </tr> <tr> <td>I_N</td> <td>Current in the neutral conductor</td> </tr> <tr> <td>I_{N-N}</td> <td>Current between neutrals of two polyphase systems</td> </tr> <tr> <td>I_{ub}</td> <td>Current unbalance</td> </tr> <tr> <td>I_{thermal}</td> <td>Thermal effect by current</td> </tr> <tr> <td>U</td> <td>Voltage</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>Active power</td> </tr> </table>	I	Current	\overleftarrow{k}	Reverse current	I_d	Differential current	I_d/I	Percentage differential current (current restraint)	I_{nf}	Current of n^{th} harmonic	$I_1, (I_p)$	Positive sequence current component	$I_2, (I_n)$	Negative sequence current component	$I_0, (I_h)$	Zero sequence current component	I_{rsd}	Residual current	I_{\perp}	Earth fault current	I_{\rightarrow}	Current to frame	I_N	Current in the neutral conductor	I_{N-N}	Current between neutrals of two polyphase systems	I_{ub}	Current unbalance	I_{thermal}	Thermal effect by current	U	Voltage	P	Active power	
I	Current																																		
\overleftarrow{k}	Reverse current																																		
I_d	Differential current																																		
I_d/I	Percentage differential current (current restraint)																																		
I_{nf}	Current of n^{th} harmonic																																		
$I_1, (I_p)$	Positive sequence current component																																		
$I_2, (I_n)$	Negative sequence current component																																		
$I_0, (I_h)$	Zero sequence current component																																		
I_{rsd}	Residual current																																		
I_{\perp}	Earth fault current																																		
I_{\rightarrow}	Current to frame																																		
I_N	Current in the neutral conductor																																		
I_{N-N}	Current between neutrals of two polyphase systems																																		
I_{ub}	Current unbalance																																		
I_{thermal}	Thermal effect by current																																		
U	Voltage																																		
P	Active power																																		

P_{α}	Power at phase angle α
dP/dt	Power derivative
Q	Reactive power
R	Resistance
X	Reactance
Z	Impedance
f	Frequency
n	Rotational speed
Φ	Magnetic flux
ϕ	Phase angle
Θ	Temperature
	Thermal effect
	Flash-over, Fault
	Delay
	Delay at transition to ON-state, pick-up delay
	Delay at transition to OFF-state, drop-out delay
	Inverse time-lag characteristic
	Step or steps
<i>SYNC</i>	Synchronizing (check)
<i>BLOCK</i>	Blocking device
<i>LO</i>	Lock-out
<i>TCS</i>	Trip circuit supervision
$O \rightarrow I$	Transition from off to on position, e.g. auto-reclosing
$I \rightarrow O$	Tripping
X/Y	Translation of signal
A/D or $\Pi / \#$	Analog to digital conversion
$>$	Operation above a set value, e.g. overcurrent
$<$	Operation below a set value, e.g. underimpedance

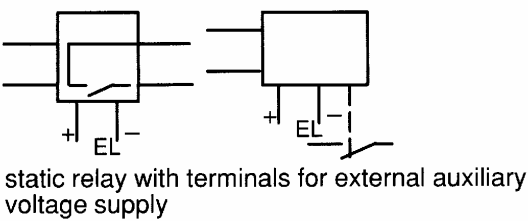
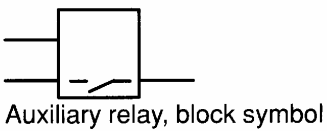
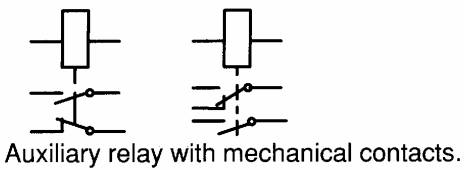
<>
 Operation outside set limits,
 e.g. voltage regulation

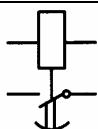
>>
 Operation above a high set
 stage

Examples of protective relays, etc.

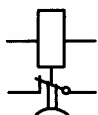


Relays and relay parts

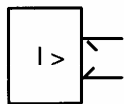




Relay with make contact, delayed when the relay is energized. Pick-up delay



Relay with break contact, delayed when the relay is deenergized. Drop-out delay



Current relay with short circuiting connector

Coils



Relay coil with one winding



Relay coil with two windings



Operate and reset coil

Relay contacts



Normally-open (no) contact
Make contact



Normally-closed (nc) contact
Break contact



Transfer contact
Change-over contact
(Break before make)



Transfer contact with time-delay on dropout Change-over contact, delayed when releasing



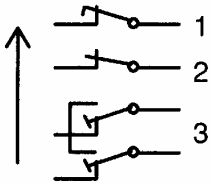
Transfer contact with time-delay on pickup Change-over contact, delayed when operating

Switch contact



Pushbutton operated contact
with automatic return

Test Switch contacts



1. Break-before contact (voltage supply circuits), late opening and early closing upon insertion and withdrawal, respectively, of the test handle

2. Break-after contact (trip circuits), early opening and late closing upon insertion and withdrawal, respectively, of the test handle

3. Make before break contacts with shorting connection (CT secondary circuits), late opening and early closing upon insertion and withdrawal, respectively, of the test handle.

Indication



Indicator with self reset, indicates when coil is energized
Annunciator element (target)

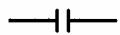


Indicator light, lamp or LED

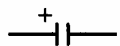


Hand reset indication. Indicates when the coil is energized and remains visible even when the coil is not energized

Components







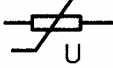
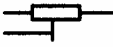
Capacitor, general symbol



Polarized capacitor



Resistor, general symbol

	Potentiometer Resistor with two fixed end terminals and a terminal which is movable
	Diode, semiconductor
	Reference diode Zener diode Voltage regulator diode
	Single-phase transformer with two windings
	Varistor, Voltage dependent non linear resistor
	Fixed trimming resistor Resistor with two fixed end terminals and a movable terminal for fixed setting (trimming)
Designations	
I_N, U_N	Rated current, voltage
I_n, U_n	Nominal current, voltage
I_b, U_b	Base current, voltage
I_s, U_s	Set current, voltage
L1 L2 L3 N R S T N	Phase designations
~	Alternating current, ac
—	Direct current, dc
UL	Auxiliary tripping voltage
EL	Auxiliary electronic supply

<p>2. time-delay starting or closing relay is a device that functions to give a desired amount - of time delay before or after any point of operation in a switching sequence or protective relay system, except as specifically provided by device functions 48, 62, and 79.</p> <p>3. checking or interlocking relay is a relay that operates in response to the position of a number of other devices (or to a number of predetermined conditions) in an equipment, to allow an operating sequence to proceed, or to stop, or to provide a check of the position of these devices or of these conditions for any purpose.</p> <p>12. overspeed device is usually a direct-connected speed switch which functions on machine overspeed.</p> <p>14. underspeed device is a device that functions when the speed of a machine falls below a predetermined value.</p> <p>21. distance relay is a relay that functions when the circuit admittance, impedance, or reactance increases or decrease beyond a predetermined value.</p> <p>25. synchronizing or synchronism-check device is a device that operates when two ac circuits are within the desired limits of frequency, phase angle, and voltage, to permit or to cause the paralleling of these two circuits.</p> <p>26. apparatus thermal device is a device that functions when the temperature of the shunt field or the amortisseur winding of a machine, or that of a load limiting or load shifting resistor, or of a liquid or other medium exceeds a predetermined value; or if the temperature of the protected apparatus, such as a power rectifier, or of any medium decreases below a predetermined value.</p> <p>27. undervoltage relay is a relay which operates when its input voltage is less than a predetermined value.</p> <p>30. annunciator relay is a nonautomatically reset device that gives a number of separate visual indications upon the functioning of protective devices, and which may also be arranged to perform a lockout function.</p> <p>32. directional power relay is a relay which operates on a predetermined value of power flow in a given direction, or upon reverse power such as that resulting from the motoring of a generator upon loss of its prime mover.</p> <p>36. polarity or polarizing voltage device is a device that operates, or permits the operation of, another device on a predetermined polarity</p>	<p>2. реле за време</p> <p>14. Устройство, реагиращо при понижена честота на въртене (Защита при блокирал ротор на двигател)</p> <p>21. дистанционно реле</p> <p>27. минимално-напреженово реле</p> <p>30. сигнално реле</p> <p>32. посочно реле</p>
--	---

<p>only, or verifies the presence of a polarizing voltage in an equipment.</p> <p>37. undercurrent or underpower relay is a relay that functions when the current or power flow decreases below a predetermined value.</p> <p>38. bearing protective device is a device that functions on excessive bearing temperature, or on other abnormal mechanical conditions associated with the bearing, such as undue wear, which may eventually result in excessive bearing temperature or failure.</p>	<p>37. МИНИМАЛНО-ТОКОВО ИЛИ МИНИМАЛНО-МОЩНОСТНО</p>
<p>39. mechanical condition monitor is a device that functions upon the occurrence of an abnormal mechanical condition (except that associated with bearings as covered under device function 38), such as excessive vibration, eccentricity, expansion, shock, tilting, or seal failure.</p> <p>40. field relay is a relay that functions on a given or abnormally low value or failure of machine field current, or on an excessive value of the reactive component of armature current in an ac machine indicating abnormally low field excitation.</p> <p>46. reverse-phase or phase-balance current relay is a relay that functions when the polyphase currents are of reverse-phase sequence, or when the polyphase currents are unbalanced or contain negative phase-sequence components above a given amount.</p> <p>47. phase-sequence voltage relay is a relay that functions upon a predetermined value of polyphase voltage in the desired phase sequence.</p> <p>48. incomplete sequence relay is a relay that generally returns the equipment to the normal, or off, position and locks it out if the normal starting, operating, or stopping sequence is not properly completed within a predetermined time. If the device is used for alarm purposes only, it should preferably be designated as 48A (alarm).</p> <p>49. machine or transformer thermal relay is a relay that functions when the temperature of a machine armature or other load-carrying winding or element of a machine or the temperature of a power rectifier or power transformer (including a power rectifier transformer) exceeds a predetermined value.</p>	<p>46. реле за тока на обратна последователност или реле за баланса на токовете</p> <p>47. реле за фазовия ред на напреженията</p>

<p>50. instantaneous overcurrent relay. A relay that functions instantaneously on an excessive value of current.</p> <p>51. ac time overcurrent relay. A relay that functions when the ac input current exceeds a predetermined value, and in which the input current and operating time are inversely related through a substantial portion of the performance range.</p> <p>52. ac circuit breaker is a device that is used to close and interrupt an ac power circuit under normal conditions or to interrupt this circuit under fault or emergency conditions.</p> <p>55. power factor relay is a relay that operates when the power factor in an ac circuit rises above or falls below a predetermined value.</p> <p>56. field application relay is a relay that automatically controls the application of the field excitation to an ac motor at some predetermined point in the slip cycle.</p> <p>59. overvoltage relay is a relay which operates when its input voltage is more than a predetermined value.</p> <p>60. voltage or current balance relay is a relay that operates on a given difference in voltage, or current input or output, of two circuits.</p> <p>62. time-delay stopping or opening relay is a time-delay relay that serves in conjunction with the device that initiates the shutdown, stopping, or opening operation in an automatic sequence or protective relay system.</p>	<p>50. токово реле с мигновено действие. Реле, което функционира мигновено при превишаването на една определена големина на тока.</p> <p>51. максималнотоково реле за променлив ток. Реле, което задейства, когато неговият входен променлив ток превиши една определена стойност и на което входният ток и времето на заработване са обратно зависими през една съществена част от обхвата на действие.</p> <p>52. прекъсвач за променливо напрежение</p> <p>55. реле за фактора на мощността</p> <p>59. максимално-напреженово реле</p> <p>60. балансно реле за токове или напрежения</p> <p>62. реле за време</p>
--	---

<p>63. pressure switch is a switch which operates on given values, or on a given rate of change, of pressure.</p> <p>64. ground detector relay is a relay that operates on failure of machine or other apparatus insulation to ground. NOTE: This function is not applied to a device connected in the secondary circuit of current transformers in a normally grounded power system, where other device numbers with a suffix G or N should be used, that is, 51 N for an ac time overcurrent relay connected in the secondary neutral of the current transformers.</p> <p>67. ac directional overcurrent relay is a relay that functions on a desired value of ac overcurrent flowing in a predetermined direction.</p> <p>68. blocking relay. A relay that initiates a pilot signal for blocking of tripping on external faults in a transmission line or in other apparatus under predetermined conditions, or cooperates</p>	<p>63. реле за налягане</p> <p>67. посочна токова защита (променлив ток)</p> <p>68. блокиращо реле</p>
---	---

<p>with other devices to block tripping or to block reclosing on an out-of-step condition or on power swings.</p> <p>74. alarm relay is a relay other than an annunciator, as covered under device function 30, that is used to operate, or to operate in connection with, a visual or audible alarm.</p> <p>76. dc overcurrent relay is a relay that functions when the current in a dc circuit exceeds a given value.</p> <p>77. pulse transmitter is used to generate and transmit pulses over a telemetering or pilot-wire circuit to the remote indicating or receiving device.</p> <p>78. phase-angle measuring or out-of-step protective relay is a relay that functions at a predetermined phase angle between two voltages or between two currents or between voltage and current.</p> <p>79. ac reclosing relay is a relay that controls the automatic reclosing and locking out of an ac circuit interrupter.</p> <p>80. flow switch is a switch which operates on given values, or on a given rate of change, or flow.</p> <p>81. frequency relay is a relay that responds to the frequency of an electrical quantity, operating when the frequency or rate of change of frequency exceeds or is less than a predetermined value.</p> <p>84. operating mechanism is the complete electrical mechanism or servomechanism, including the operating motor, solenoids, position switches, etc, for a tap changer, induction regulator, or any similar piece of apparatus which otherwise has no device function number.</p> <p>85. carrier or pilot-wire receiver relay is a relay that is operated or restrained by a signal used in connection with carrier-current or dc pilot-wire fault relaying.</p> <p>86. lockout relay is a hand or electrically reset auxiliary relay that is operated upon the occurrence of abnormal conditions to maintain associated equipment or devices inoperative until it is reset.</p>	<p>74. сигнално реле</p> <p>76. токово реле за постоянен ток</p> <p>79. АПВ</p> <p>81. честотно реле</p> <p>84. задвижване (за прекъсвачи и др.)</p>
<p>87. differential protective relay is a protective relay that functions on a percentage or phase angle or other quantitative difference of two currents or of some other electrical quantities.</p> <p>90. regulating device is a device that functions to regulate a quantity, or quantities, such as voltage, current, power, speed, frequency, temperature, and load, at a certain value or</p>	<p>87. диференциално реле</p> <p>90. регулатор (за напрежение и др.)</p>

<p>between certain (generally close) limits for machines, tie lines, or other apparatus.</p> <p>94. tripping or trip-free relay is a relay that functions to trip a circuit breaker, contactor, or equipment, or to permit immediate tripping by other devices; or to prevent immediate reclosure of a circuit interrupter if it should open automatically even though its closing circuit is maintained closed.</p> <p>95-99. Used only for specific applications in individual installations where none of the assigned numbered functions from 1 to 94 are suitable.</p>	<p>94. изключвателно реле (за прекъсвач и др.)</p>
<p>Suffix Letters</p> <p>Suffix letters may be used with device function numbers for various purposes. They permit a manifold multiplication of available function designations for the large number and variety of devices used in the many types of equipment covered by this standard. They may also serve to denote individual or specific parts or auxiliary contacts of these devices or certain distinguishing features, characteristics, or conditions which describe the use of the device or its contacts in the equipment.</p> <p>A Alarm or auxiliary power B Bus or battery or blower BL Block (valve) BP Bypass BT Bus tie C Capacitor or condenser or compensator or carrier current or coil CC Closing coil F Feeder of field or filament or filter or fan G Generator or ground¹⁾ H Heater or housing L Line or logic M Motor or metering N Neutral¹⁾ or network SI Seal-in TC Trip coil X Auxiliary relay Y Auxiliary relay Z Auxiliary relay</p> <p>¹⁾Suffix N is generally used in preference to G for devices connected in the secondary neutral of current transformers, or in the secondary of a current transformer whose primary winding is located in the neutral of a machine or power transformer, except in the case of transmission line relaying, where the suffix G is more commonly used for those relays that operate on ground faults.</p>	
<p>Other Suffix Letters</p> <p>A Accelerating or automatic B Blocking or backup C Close or cold E Emergency or engaged F Failure or forward</p>	

<p> H Hot or high HR Hand reset HS High speed L Left or local or low or lower or leading M Manual O Open OFF Off ON On P Polarizing R Right or raise or reclosing or receiving or remote or reverse S Sending or swing T Test or trip or trailing TDC Time-delay closing TDO Time-delay opening U Up </p>	
<p>All auxiliary contacts and position and limit switches for such devices and equipment as circuit breakers, contactors, valves and rheostats, and contacts of relays:</p> <p>a-Contact that is open when the main device is in the standard reference position, commonly referred to as the nonoperated or deenergized position, and that closes when the device assumes the opposite position</p> <p>b-Contact that is closed when the main device is in the standard reference position, commonly referred to as the nonoperated or deenergized position, and that opens when the device assumes the opposite position</p> <p>The simple designation a or b is used in all cases where there is no need to adjust the contacts to change position at any particular point in the travel of the main device or where the part of the travel where the contacts change position is of no significance in the control or operating scheme.</p>	

Приложение А

Стандарт IEEE 91-1984

Мощният символен език, представен в стандарта **IEEE 91-1984**, е разработен и публикуван от **International Electrotechnical Commission (IEC)**. Той предлага лесен и удобен начин за описване на връзките между входовете и изходите на цифровата логическа схема, без да се показва конкретната вътрешна логика.

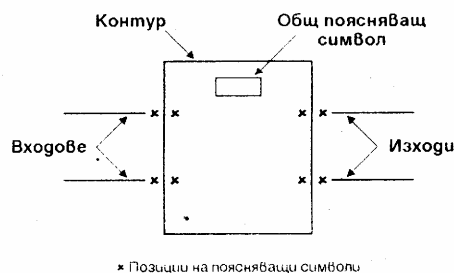
Настоящото изложение има за цел да изясни основните принципи на изграждане на логическите символи по стандарта **IEEE 91-1984**, както и да покаже връзките между символите и конкретните функционални особености на описваните цифрови интегрални схеми (ЦИС).

ПА.1. Съдържание на логическите символи

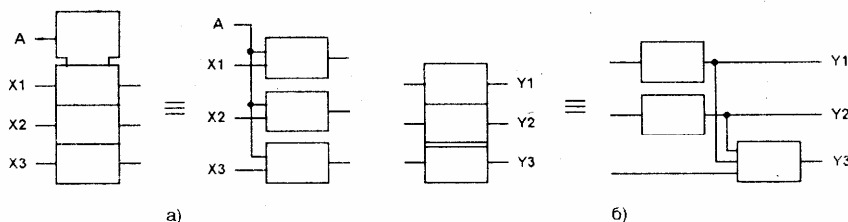
Всеки логически символ съдържа контур или комбинация от контури, входни и изходни линии, както и един или няколко поясняващи символа (фиг. 1). Входните линии са поставени вляво, а изходните вдясно. Когато има изключение от тези позиции, посоката на сигнала се означава със стрелка, сочеща отгясно наляво.

Контурите на логическия символ обикновено го разделят на няколко обособени вътрешни блока, между които съществуват вътрешни логически връзки. Контурите на блоковете могат да се допират или да са въградени един в друг. Няма логическа връзка между блокове с обща контурна линия, успоредна на посоката на сигналите. За блоковете с обща контурна линия, перпендикулярна на посоката на сигналите, съществува поне една логическа връзка. Броят на вътрешните логически връзки се означава с поясняващи символи, а при липса на такива логическата връзка е само една.

Когато ЦИС съдържа два или повече еднотипни елемента с общи управляващи входове, може да бъде използван общ контролен блок (фиг. 2.а). В този случай общите входове на елементите се поставят на общия контролен блок.








Фиг. 1. Общ вид на логическия символ



Фиг. 2. Общ контролен блок и елемент „общ изход“

Таблица 1. Общи поясняващи символи

Символ	Описание	Пример
&	Логическа функция И	'00
≥ 1	Логическа функция ИЛИ	'02
$=1$	Логическа функция „изключващо ИЛИ“	'86
=	Логическа функция „изключващо ИЛИ-НЕ“	'180
$2k$	Трябва да са активни четен брой входове	'280
$2k + 1$	Трябва да са активни нечетен брой входове	-
1	Входът трябва да бъде активен	'04
▷ или ◁	Елемент с изходи с повишена товароспособност (символът е ориентиран по посока на сигнала)	'240
\overline{I}	Вход с тригер на Шмит	'132
X/Y	Преобразувател на код (BCD/DEC, BCD/7-SEG, BIN/OCT и др.)	'154
MUX	Мултиплексор	'150
DMUX или DX	Демултиплексор	'138
Σ	Суматор	'283
P - Q	Схема за изваждане	'385
CPG	Схема за генериране на пренос	'182
π	Умножител	'384
COMP	Цифров компаратор	'85
ALU	Аритметично логическо устройство	'181
	Чакащ мултивибратор с многократно пускане	'123
	Чакащ мултивибратор с еднократно пускане	'121
	Астабилен елемент	'320
	Астабилен елемент със синхронно пускане	'624
	Астабилен елемент със синхронно спиране	-
SRGm	m – разреден преместващ регистър	'164
CTRm	m – разреден брояч	'592
CTR DIVm	Брояч с коефициент на деление m	'160
RCTRm	Асинхронен брояч с продължителност на цикъла 2 ^m	-
ROM	Памет само за четене (постоянна)	-
RAM	Памет с произволен достъп (оперативна)	'170
FIFO	Памет от типа „първи влязъл – първи излязъл“	'229
i = 0	Автоматично нулиране при включване на захранването	'866
i = 1	Автоматично установяване в 1 при включване на захранването	-
Φ	Висококомплексна функция	'2238

Ако ЦИС съдържа два или повече елемента с общ изход, то може да бъде използван елемент „общ изход“ (фиг. 2.6). Той се отделя от останалите елементи с двоина линия, като функцията му задължително се указва с поясняващ символ. Елементът „общ изход“ може да притежава и допълнителни входове.

ПА.2. Поясняващи символи

ПА.2.1. Общи поясняващи символи

Тези символи (табл. 1) се поставят близо до центъра на горната част на логическия символ или в самия му център и дефинират основната функция на описвания елемент.

Таблица 2. Поясняващи символи за входове и изходи

Символ	Описание											
	Логическо отрицание на входния сигнал. Външно състояние 0 поражда вътрешно състояние 1 (старо означение)											
	Логическо отрицание на изходния сигнал. Вътрешно състояние 1 поражда външно състояние 0 (старо означение)											
	Вход с активно ниско ниво. Еквивалентен е на при положителна логика											
	Изход с активно ниско ниво. Еквивалентен е на при положителна логика											
	Вход с активно ниско ниво при посока на сигнала отгясно наляво											
	Изход с активно ниско ниво при посока на сигнала отгясно наляво											
	Посоката на сигнала е отгясно наляво. Ако липсва такава стрелка, посоката на сигнала е отляво надясно											
	Сигналят се пренася двупосочно											
	Динамични входове, активирани от указаните преходи											
		<table border="0"> <tr> <td>Положителна логика</td> <td>Отрицателна логика</td> <td>Индикация на полярността</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td rowspan="3">Не се използва H L</td> </tr> <tr> <td>Не се използва</td> <td>Не се използва</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Положителна логика	Отрицателна логика	Индикация на полярността			Не се използва H L	Не се използва	Не се използва		
Положителна логика			Отрицателна логика	Индикация на полярността								
			Не се използва H L									
Не се използва	Не се използва											
	Нелогически вход. Типът на входа се уточнява с допълнителен етикет											
	Аналогов вход на цифров логически символ											
	Цифров вход на аналогов логически символ											

Таблица 3. Поясняващи символи за вътрешни връзки

Символ	Описание
	Вътрешна връзка. Състояние 1 отляво, поражда състояние 1 отгясно
	Вътрешна връзка с инверсия. Състояние 1 отляво поражда състояние 0 отгясно
	Динамична вътрешна връзка. Преход от 0 в 1 отляво поражда състояние 1 отгясно
	Вътрешен вход (виртуален вход). Винаги е в състояние 1, освен ако не се намира под друга зависимост
	Вътрешен изход (виртуален изход). Ефектът му върху даден виртуален вход се показва с допълнително означение

ПА.2.2. Поясняващи символи за входове и изходи

Новото, което донесе стандартът **IEEE 91-1984**, са индикаторите за означаване на изходите с активно ниско ниво. При старите индикатори за логическо отрицание външно състояние 0 води до вътрешното активно състояние 1. При тях свързването на външните логически състояния 1 и 0 с нивата H (високо) и L (ниско) изисква определяне на типа на използваната логика (при положителна логика 1 = H, 0 = L, а при отрицателна – 1 = L, 0 = H). Използваните в **IEEE Std. 91-1984** триъгълни индикатори () премахват тази необходимост. Присъствието на такъв индикатор означава, че ниско входно ниво (L) поражда вътрешно

Таблица 4. Символи вътре в контура

Символ	Описание
	Тригерен изход с „отложена реакция“. Промяната на този изход се отлага, докато входът, когото я предизвиква, се върне в неактивно състояние
	Вход с хистерезис
	Изход с отворен колектор на NPN транзистор или подобен. Нуждае се от външно свързан резистор към Vcc
	Изход с отворен колектор на NPN транзистор или подобен. Притежава вграден резистор, свързан към Vcc
	Изход с отворен емитер на NPN транзистор или подобен. Нуждае се от външно свързан резистор към GND
	Изход с отворен емитер на NPN транзистор или подобен. Притежава вграден резистор, свързан към GND
	Изход с три състояния
	Изход с повишена товароспособност
	Разрешаващ вход. Вътрешно състояние 1 разрешава изходите, а вътрешно състояние 0 ги забранява
J, K, R, S	Указват типа на тригера
	Вход на T-тригер
	Информационен вход на запамятаващ елемент
	Преместване надясно ($m = 1, 2, 3, \dots$). m не се изписва, ако има стойност 1
	Преместване наляво ($m = 1, 2, 3, \dots$). m не се изписва, ако има стойност 1
	Броење нагоре ($m = 1, 2, 3, \dots$). m не се изписва, ако има стойност 1
	Броење надолу ($m = 1, 2, 3, \dots$). m не се изписва, ако има стойност 1
	Символ за „двоично групиране“. m е номера на най-старшия вход
	Вход за установяване в m
	Изходът се активира, ако съдържанието на регистъра или брояча е m
	Групиране на входни линии. Показва, че две или повече връзки образуват един логически вход
	Изход с фиксирано вътрешно състояние 1

състояние 1 (активно състояние), или че вътрешно състояние 1 довежда до ниско изходно ниво (L). Поясняващите символи за входове и изходи са показани в табл. 2.

ПА.2.3. Поясняващи символи за вътрешни връзки

Означенията на вътрешните логически връзки са показани в табл. 3. На всяка вътрешна връзка могат да се поставят допълнителни поясняващи символи. Те се разполагат от едната или от двете страни на общата за двата елемента линия.

ПА.2.4. Символи вътре в контура

Табл. 4 показва символите, използвани в самия контур. Предвидени са отделни символи за изходи с отворен колектор (отворен дрейн), с отворен емитер (отворен сорс), с три изходни състояния, входове с хистерезис, информационни входове на D-тригери, разрешаващи входове (EN) и др. Входът EN обикновено въздейства върху всички изходи на елемента, на който принадлежи, плюс изходите на всеки елемент, който е под влияние на първия. Всяко изключение от това правило задължително се показва с допълнителни означения. Символите за „двоично групиране“ са разгледани в т. ПА.4.

Стандартът IEEE 91-1984 допуска употребата и на всякакви други нестандартни означения, които задължително се заграждат в квадратни скоби.

ПА.3. Зависимости

При изясняването на зависимостите за определяне на ролята на входовете и изходите ще бъдат използвани два основни термина – „въздействащ“ и „под въздействие“. При равноправни входове изборът на „въздействащи“ входове и такива „под въздействие“ не е от значение и може да бъде направен по всеки удобен начин.

Дефинираните в IEEE Standard 91-1984 единадесет типа зависимости са описани по-долу.

ПА.3.1. G (И) зависимост

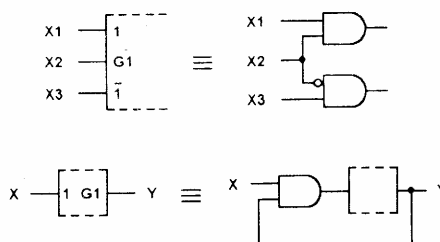
Една основна зависимост е логическото умножение (операция И). На фиг. 3 са показани примери за означаване на логическо умножение чрез G зависимост.

Когато вход (изход), означен с Gm, се установи във вътрешно състояние 1, то всички входове и изходи, намиращи се под въздействие на Gm, се установяват в техните нормално дефинирани вътрешни логически състояния.

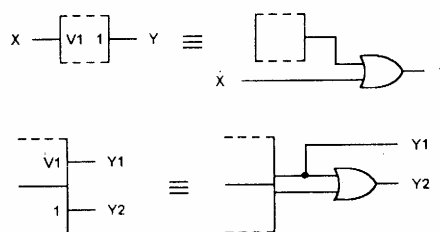
Когато входът (изходът) Gm се установи във вътрешно състояние 0, то всички входове и изходи, намиращи се под въздействие на Gm, се установяват също във вътрешно състояние 0.

ПА.3.2. V (ИЛИ) зависимост

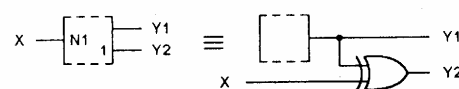
На фиг. 4 са показани примери за означаване на V зависимостта.



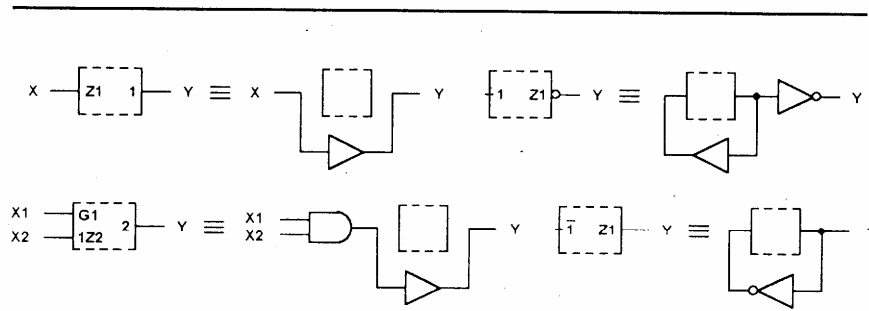
Фиг. 3 G (И) зависимост



Фиг. 4 V (ИЛИ) зависимост



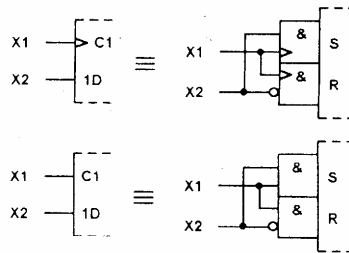
Фиг. 5 N („изключващо ИЛИ“) зависимост



Фиг. 6 Z (вътрешни връзки) зависимост

Когато вход (изход) **Vm** се установи във вътрешно състояние 1, то всички входове и изходи, намиращи се под въздействие на **Vm**, се установяват също във вътрешно състояние 1.

Когато входът (изходът) **Vm** се установи във вътрешно състояние 0, то всички входове и изходи, намиращи се под въздействие на **Vm**, се установяват в техните нормално дефинирани вътрешни логически състояния.



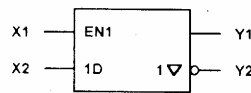
Фиг. 7 C (контрол) зависимост

ПА.3.3. N (⊕) зависимост

Със символ **N** се означава зависимостта „изключващо ИЛИ“ (фиг. 5).

Когато вход (изход) **Nm** се установи във вътрешно състояние 0, то всички входове и изходи, намиращи се под въздействие на **Nm**, се установяват в техните нормално дефинирани вътрешни логически състояния.

Когато входът (изходът) **Nm** се установи във вътрешно състояние 1, то всеки вход (изход), намиращ се под въздействие на **Nm**, се установява в състояние, инверсно на нормално дефинираното си вътрешно състояние.



Фиг. 8 EN (разрешение) зависимост

ПА.3.4. Z (вътрешни връзки) зависимост

Вътрешното логическо състояние на вход (изход), намиращ се под въздействие на вход (изход) **Zm**, ще бъде същото като логическото състояние на **Zm**, освен ако не се намира под друга зависимост (фиг. 6).

ПА.3.5. C (контрол) зависимост

Контролните входове обикновено се използват за забрана или разрешение на входовете **D**, **J**, **K**, **R** или **S** на запамятаващи елементи (фиг. 7). Те се установяват във вътрешно състояние 1 статично или динамично. При втория случай се използва символ за динамичен вход.

Когато вход (изход) **Ст** се установи във вътрешно състояние 1, входовете под въздействие на **Ст** изпълняват своя нормално дефиниран ефект върху функцията на елемента.

Когато вход (изход) **Ст** се установи във вътрешно състояние 0, входовете под въздействие на **Ст** са забранени.

ПА.3.6. EN (разрешение) зависимост

ENm вход (фиг. 8) има същия ефект върху изходите като **EN** вход (вж. т. ПА.2.4), но въздействия само върху тези, означени с **m**. Въздействието на **ENm** върху входове, означени с **m**, е аналогично на това на **Ст**.

Когато вход **ENm** се установи във вътрешно състояние 1, то входовете под въздействие на **ENm** изпълняват своя нормално дефиниран ефект върху функцията на елемента. Изходите под въздействие на **ENm** се установяват в тяхното нормално дефинирано вътрешно състояние.

Когато входът **ENm** се установи във вътрешно състояние 0, то входовете и изходите под въздействие на **ENm** са забранени. Изходите с отворен колектор са изключени, изходите с три състояния са във високоимпедансно състояние, а всички останали изходи са във вътрешно състояние 0.

ПА.3.7. S (установяване) и R (нулиране)

Използват се, когато е необходимо уточняване на ефекта от комбинацията $R = S = 1$ върху елемент с две стабилни състояния (фиг. 9).

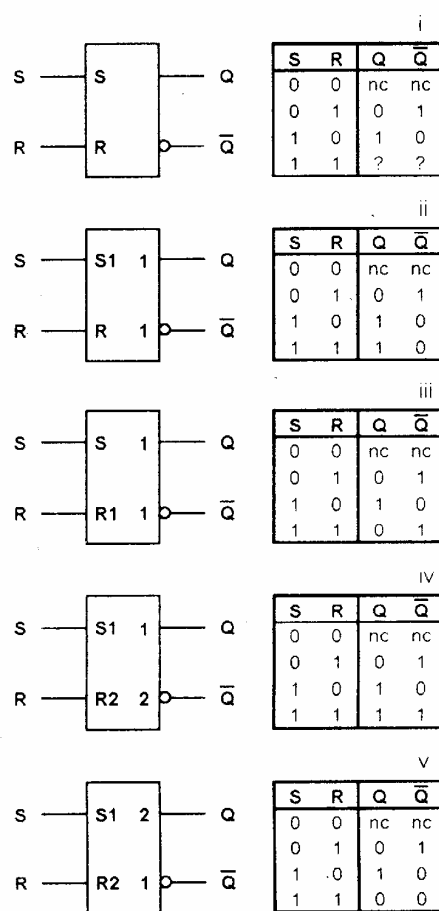
Когато вход **Sm** се намира във вътрешно състояние 1, изходите под въздействие на **Sm** ще реагират така, както биха реагирали при комбинация $S = 1, R = 0$, независимо от състоянието на входа **R**.

Когато вход **Rm** се намира във вътрешно състояние 1, изходите под въздействие на **Rm** ще реагират така, както биха реагирали при комбинация $R = 1, S = 0$, независимо от състоянието на входа **S**.

Когато входът **Rm (Sm)** е във вътрешно състояние 0, то той не въздейства.

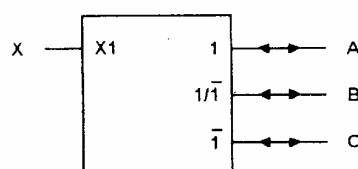
ПА.3.8. X зависимост

Чрез тази зависимост се означават контролирани двупосочни връзки между входно-изходни портове (фиг. 10). Намира приложение основно при CMOS ЦИС.

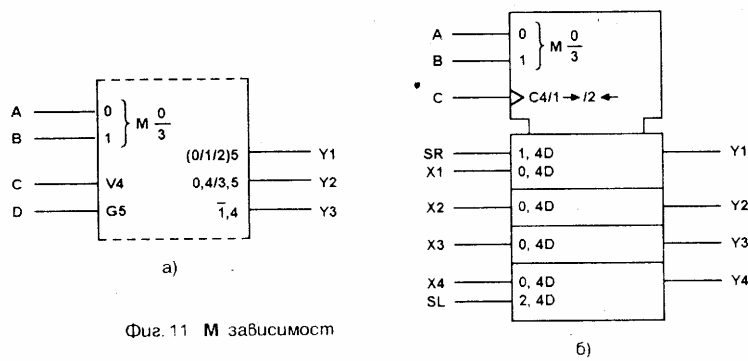


nc – без промяна ? – неопределено

Фиг. 9. S и R зависимости



Фиг. 10. X зависимост



Фиг. 11 М зависимост

Когато входът (изходът) Xm се установи във вътрешно състояние 1, то всички входно-изходни портове, намиращи се под въздействие на Xm , са свързани двупосочно един с друг.

Когато вход (изход) Xm се установи във вътрешно състояние 0, връзката вече не съществува.

Връзката по подразбиране е двупосочна. При едностранна връзка стрелките, показани на фиг. 10, се премахват.

ПА.3.9. М (режим) зависимост

Тази зависимост се използва, когато действието на някои входове и изходи зависи от режима. Ако входът (изходът) има едно и също действие при различните режими, то номерата на съответните въздействащи Mm входове се записват в скоби, разделени един от друг с наклонена черта (вж. фиг. 11.а).

Когато входът (изходът) Mm се установи в своето вътрешно състояние 1, то входовете и изходите, намиращи се под въздействието му, са разрешени.

Когато входът (изходът) Mm се установи в състояние 0, тогава:

- ☒ Входовете с етикет, съдържащ номера на Mm входа (изхода), нямат ефект върху действието на елемента и етикета се игнорира. Ако даден вход има няколко етикета, разделени с наклонена черта (напр. $C4/1 \rightarrow /2 \leftarrow$), то се игнорират само тези, които съдържат номера на Mm входа (изхода).
- ☒ На изходите с етикет, съдържащ номера на Mm входа (изхода), няма никакъв ефект и етикетът се игнорира. Ако даден изход има няколко етикета (напр. $0,4/3,5$), разделени с наклонена черта, то се игнорират само тези, които съдържат номера на Mm входа (изхода). Ако в даден момент всички етикети на някои изход са игнорирани, то този изход остава без въздействие и запазва предишното си състояние.

На фиг. 11.а е показано въздействието на М зависимостта върху логическите връзки. На изход $Y1$ етикетът на G зависимостта (5) е валиден само в режими 0, 1 и 2. Изходът $Y2$ се намира във V (ИЛИ) зависимост само в режим 0 и в G (И) зависимост само в режим 3. Етикетът 4 на изход $Y3$ е валиден, само когато режимът не е 1, т.е. при режими 0, 2 и 3. В този случай $1,4$ е еквивалентно на $(0/2/3)4$.

На фиг. 11.6 е показан примерен символ на реверсивен преместващ регистър с паралелни входове и изходи. Входовете **X1 - X4**, **SR** и **SL** са от D-тип и се намират под динамичното въздействие на тактовия вход **C**. Етикетът **C4/1 →/2 ←** определя три различни функции на този вход:

- i. такт за паралелно зареждане (режим 0);
- ii. такт за преместване надясно (режим 1);
- iii. такт за преместване наляво (режим 2).

X1 - X4 са разрешени само в режим 0, при които става паралелното зареждане на регистъра. Входът **SR** е разрешен в режим 1 (серино въвеждане с преместване надясно), а входът **SL** – в режим 2 (серино въвеждане с преместване наляво).

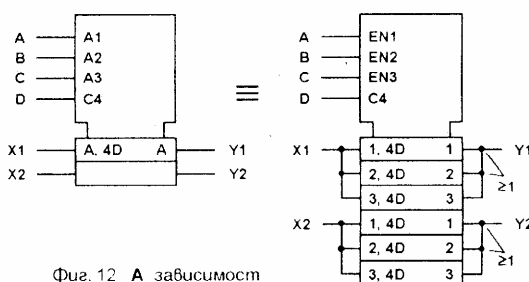
ПА.3.10. А (адресна) зависимост

Адресната зависимост позволява ясно представяне на елементите, използващи адресни контролни входове за избиране на определени секции от многомерна матрица. Целта на **A** зависимостта е да осигури символично представяне на цялата матрица (фиг. 12).

Входовете, които не са под въздействие на някои адресен вход, запазват своя нормално дефиниран ефект върху всички секции на матрицата. Входовете, които са под въздействие на адресен вход, имат ефект само върху избраната от този вход секция.

Въздействащият адресен вход се означава с буква **A**, следвана от номер, който съответства на адреса на определена секция от матрицата. Входовете и изходите под въздействие на вход **A_n** се означават с буква **A**, заместваща адресите на отделните секции.

Ако съществуват различни набори от въздействащи **A_n** входове за осигуряване на независим и вероятно едновременен достъп до секциите на матрицата, буквата **A** се модифицира на **1A**, **2A** и т.н.



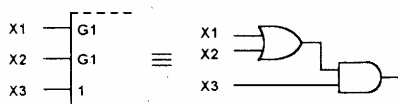
Фиг. 12 А зависимост

ПА.3.11. Общи правила за означаване на зависимостите

Общите правила са следните:

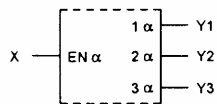
- ☒ На всеки въздействащ вход или изход се поставя етикет, съдържащ буквата на зависимостта, и подходящо избран идентификационен номер.
- ☒ Всеки вход (изход), намиращ се под въздействие, се бележи с номера на въздействащия върху него вход или изход. Ако въздейства отрицанието на вътрешното състояние на даден вход (изход), то над номера се поставя черта (фиг. 3).
- ☒ Ако два въздействащи входа (изхода) имат еднакви букви и номера, то те са свързани с логическо ИЛИ (фиг. 13).

☒ Ако входът (изходът) под въздействие изисква етикет за означаване на логическата му функция (напр. D), то този етикет се предхожда от идентификационния номер на въздействащия вход или изход (фиг. 7).



Фиг. 13 Въздействащи входове, свързани с ИЛИ

☒ Ако вход (изход) е под въздействие на два или повече входа (изхода), то техните номера се записват в етикета, разделени със запетая. Редът на записване на тези номера се определя от последователността на въздействащите логически връзки.



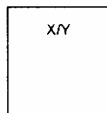
Фиг. 14 Замяна на номерата с други символи

☒ Ако етикетите, означаващи функциите на входовете (изходите) под въздействие, трябва да са числа, то номерата на въздействащите входове (изходи) могат да бъдат заменени от други символи за избягване на объркването (фиг. 14).

ПА.4. Преобразуватели на код

При означаването на преобразувателите на код в стандарта **IEEE 91-1984** е прието следното правило:

☒ Вътрешните логически състояния на входовете в зависимост от входния код определят т.нар. „вътрешна стойност“. Тази стойност се възпроизвежда от вътрешните логически състояния на изходите в зависимост от изходния код.



Фиг. 15 Преобразувател на код (общ символ)

Общият символ за преобразувател на код е показан на фиг. 15. Етикетът **X** показва входния код, а етикетът **Y** – изходния.

Стандартът **IEEE 91-1984** предлага два различни начина за означаване на връзката между вътрешните логически състояния на входовете и вътрешната стойност:

- i. начин: Всеки вход се означава с число, съответстващо на неговото тегло. Така вътрешната стойност на преобразувателя се определя като сума от теглата (числата) на входовете, установени във вътрешно логическо състояние 1.
- ii. начин: **X** се замества с подходящ индикатор на входния код, а входовете се означават с цифри (букви), характерни за този код.

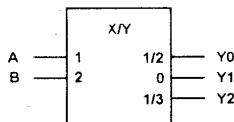


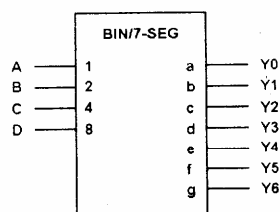
Таблица на истинност

A	B	Y0	Y1	Y2
0	0	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	0
1	1	0	0	1

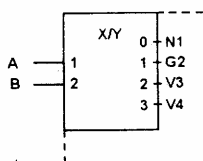
Фиг. 16 X/Y преобразувател на код

Начините за показване на връзката между вътрешната стойност и вътрешните логически състояния на изходите са също два:

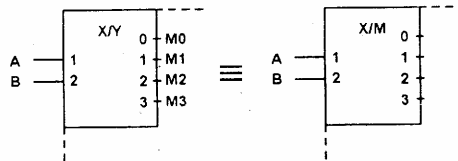
- i. начин: Всеки изход се означава със списък от числа, разделени с наклонена черта (фиг. 16). Този списък съдържа вътрешните стойности, при които състоянието на съответния изход е 1. При голям интервал от стойности, водещи до вътрешно състояние 1 на даден изход, в списъка се записват само първото и последното число от интервала, разделени с три точки (напр. $2/3/4/5/6/7/8 = 2 \dots 8$).
- ii. начин: Y се замества с подходящ индикатор на изходния код, а изходите се означават с цифри (букви), характерни за този код (фиг. 17).



Фиг. 17. Преобразувател на двоичен в седемсегментен код



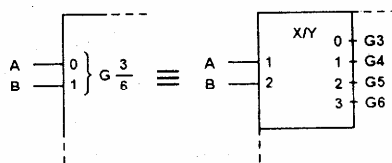
Фиг. 18. Взаген преобразувател на код



Фиг. 19. Изработване на еднотипни въздействащи входове

Когато някои от въздействащите входове се получават след декодиране на определени сигнали, се препоръчва използване на символ за взаимен преобразувател на код (фиг. 18). За постигане на кратко и ясно описание на този символ са предвидени следните опростявания:

- ☒ Ако изработваните от преобразувателя на код въздействащи входове са от един и същи тип и техните номера съвпадат с тези на изходите му, то символът Y може да бъде заменен от буквата, означаваща типа зависимост (фиг. 19).
- ☒ Ако всички изработвани въздействащи входове са от един и същи тип и имат последователни номера, които не е задължително да съответстват на номерата на изходите на преобразувателя, то може да бъде използван символът за „двоично групиране“ (фиг. 20). От m външни линии се генерират 2^m вътрешни въздействащи входа. След скобата се поставя буква, показваща типа зависимост, следвана от отношение. В числителя на отношението стои най-малкият идентификационен номер, а в знаменателя – най-големият.

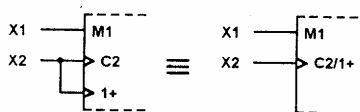


Фиг. 20. Символи за „двоично групиране“

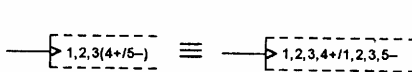
ПА.5. Правила за разполагане на етикетите на входовете и изходите

Разполагане на етикетите на входовете:

- ☒ Ако вход с единично функционално действие е под въздействие на други входове, то поясняващият символ за това действие се предшества от етикетите на въздействащите входове. Подреждането отляво надясно на тези етикети съответства на реда, в който въздействията трябва да се прилагат.
- ☒ Ако даден вход има няколко различни функционални действия или различни набори от въздействащи входове (в зависимост от режима), то е възможно поставянето на толкова входни линии, колкото е необходимо. Линиите се свързват извън контура, а съответните набори от етикети се поставят срещу тях. Ако този метод е неподходящ, то наборите от етикети се поставят срещу една входна линия и се разделят с наклонена черта (фиг. 21). Подреждането на наборите от етикети е без значение.
- ☒ Етикетите на входовете могат да бъдат разложени на множители или групирани чрез използване на правила, подобни на алгебричните (фиг. 22).



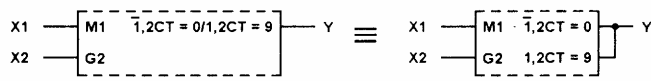
Фиг. 21. Етикети на входовете



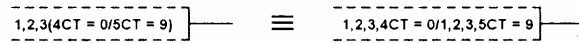
Фиг. 22. Групиране и разлагане на множители на входни етикети

Разполагане на етикетите на изходите:

- ☒ Приоритетът за разполагане на етикетите на изходите отляво надясно е както следва:
 - i. Символи на тригерни изходи с „отложена реакция“ (—), предхождани (ако е необходимо) от указатели на входовете, предизвикващи реакцията.
 - ii. Етикети за модификация на вътрешното логическо състояние на изхода. Подреждането отляво надясно на тези етикети съответства на реда на прилагането им.
 - iii. Етикети за въздействието на изхода върху входове или други изходи на елемента.
 - iv. Символи за отворен колектор (емитер) или три състояния. Поставят се точно до контура на символа, в съседство с изходната линия.
- ☒ Ако изходът е с няколко функции (в зависимост от режима), то е възможно поставянето на толкова изходни линии, колкото е необходимо. Линиите се свързват извън контура, а съответните набори от етикети се поставят срещу тях. Ако този метод е неподходящ, наборите от етикети се разполагат срещу една изходна линия и се разделят с наклонена черта (фиг. 23).
- ☒ Два съседни номера от въздействащи входове в набор от етикети задължително се разделят със запетая. Това правило не се прилага в случаите, когато между тях стои буква.
- ☒ Етикетите на изходите могат да бъдат разложени на множители или групирани чрез използване на правила, подобни на алгебричните (фиг. 24).


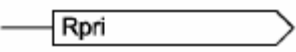


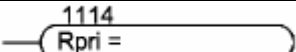
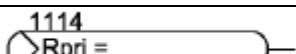
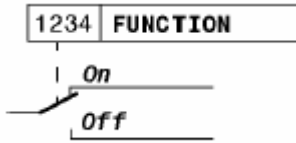


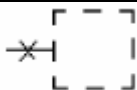

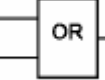
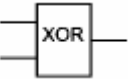
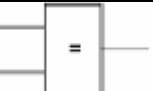
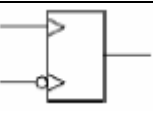
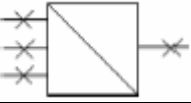
Фиг. 23. Етикети на изходите

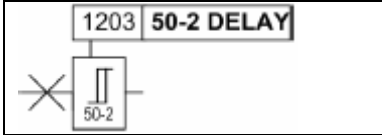
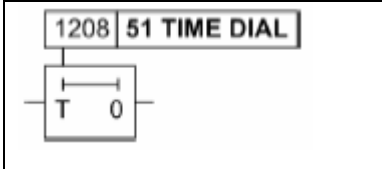
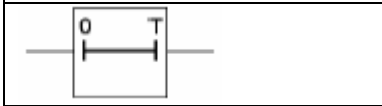

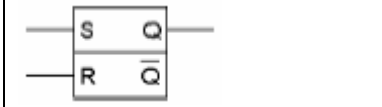


Фиг. 24. Групиране и разлагане на множители на изходни етикети

СИМВОЛИ НА ЛОГИЧЕСКИ СХЕМИ

	The following symbols are used in drawings:	Най-често използвани логически символи
	Device-internal logical input signal	Входен сигнал, формиран от вътрешно логическо устройство
	Device-internal logical output signal	Изходен сигнал, формиран от вътрешно логическо устройство
	Internal input signal of an analog quantity	Вътрешен входен сигнал, формиран от аналогова величина
	External binary input signal with number (binary input, input indication)	Идващ отвън двоичен входен сигнал с номер (2701) (двоичен вход, съобщение за вход)
	External binary output signal with number (device indication)	Излизащ навън двоичен изходен сигнал с номер (1114) (съобщение от устройството)
	External binary output signal with number (device indication) used as input signal	Идващ отвън двоичен изходен сигнал с номер (1114) (съобщение за устройството), използван като входен сигнал.
	Example of a parameter switch designated FUNCTION with the address 1234 and the possible settings ON and OFF	Пример за параметризиращ ключ, наречен FUNCTION , с адрес 1234 и възможно настройване за състояние ON и OFF.

	Besides these, graphical symbols are used according to IEC 60617-12 and IEC 60617-13 or symbols derived from these standards. Some of the most frequently used are listed below:	Други символи от стандартите IEC 60617-12 и IEC 60617-13
	Input signal of an analog quantity	Входен сигнал от една аналогова величина
	AND gate	Логическо „И“
	OR gate	Логическо „ИЛИ“
	Exclusive-OR gate (antivalence): output is active, if only one of the inputs is active	Изключващо „ИЛИ“. Изходът е „1“, дори ако само един от входовете е „1“.
	Equivalence: output is active, if both inputs are active or inactive at the same time	Еквивалентност. Изходът е „1“, ако двата входа са едновременно или „единици“, или „нули“.
	Dynamic inputs (edge-triggered) above with positive, below with negative edge	Динамични входове (пускане от фронт). горе – нарастващ фронт; долу – спускащ се фронт.
	Formation of one analog output signal from a number of analog input signals	Формиране на един изходен аналогов сигнал от няколко входни аналогови сигнала.

	Limit stage with setting address and parameter designator (name)	Стъпало на защитата с адрес (1203) и параметър за означаване (име) (50-2 DELAY)
	Timer (pickup delay T, example adjustable) with setting address and parameter designator (name)	Реле за време със забавено заработване (примерът е с настройване) с адрес (1208) и параметър за означаване (име) (51 TIME DIAL)
	Timer (dropout delay T, example non-adjustable)	Реле за време със забавено връщане (примерът е с настройване)
	Dynamic triggered pulse timer T (monoflop)	Моновибратор с импулсно пускане
	Static memory (RS-flipflop) with setting input (S), resetting input (R), output (Q) and inverted output (\bar{Q})	RS-тригер с вход за пускане (S), вход за връщане (R), изход (Q) и инвертиран изход (\bar{Q})