

Станимир Вичев

РЕЛЕЙНА ЗАЩИТА

Записки за магистри с първо висше образование,
което не е по специалност “Електроенергетика”

София, февруари 2008 г.

1. Въведение в релейната защита

Релейната защита в електроенергийните системи има за задача автоматично да открие наличието на повреда, да определи селективно повреденото съоръжение и да изключи съответния прекъсвач, за да се възстанови нормалната работа на неповредените участъци. Същевременно тя реагира и на появата на ненормални режими на съоръженията. Релейната защита изпълнява задачите си чрез непрекъснато следене на състоянието на контролирания обект: ток, напрежение, мощност, температура и др. При повреда или ненормален режим под въздействие на получената информация за обекта тя реагира по определена, предварително зададена програма. В съвременните релейни защити, изпълнени на базата на цифровата електронна техника, постъпилата информация за обектите се регистрира, обработва, предава на ниво подстанция и диспечерски център и функциите за защита и управление се реализират от едни и същи технически средства. С развитието на този вид техника ще върви напред и реализирането на релейните защити. В електроснабдителните системи, като най-гъвкава част на ЕЕС, такива новости намират приложение с предимство.

Релейната защита изпълнява задачата за осигуряване на непрекъснато и качествено електроснабдяване на потребителите заедно с редица други автоматични устройства като устройствата за автоматично включване на резервата, автоматично повторно включване, автоматичното честотно разтоварване, автоматичното регулиране на честотата и напрежението. Често релейната защита се изгражда заедно с тези устройства и действа съвместно с тях.

1.1. Повреди и ненормални режими

Нормален режим на работа на електрическите съоръжения е този, при който подаваната електрическа енергия е качествена, т.е. напрежението и честотата при консуматорите имат номинални или изменени в допустимите граници стойности, а протичащите токове не превишават допустимите.

Когато при експлоатацията на електрическите съоръжения възникнат режими, при които напрежението, честотата и токът се отклоняват извън допустимите стойности, нормалният режим се нарушава. Достига се до разстройване на производствените процеси в предприятията. Поради това нарушенията на нормалния режим на работа на електрическите съоръжения са нежелателни явления.

Най-често срещаните повреди са к.с. Повредите в мястото на к.с. и опасностите за устойчивата работа на синхронните генератори в системата налагат бързото изключване на повреденото съоръжение.

Освен повреди в електрическата система често се срещат и ненормални режими. Към тях се отнасят всички отклонения от нормалния режим при отсъствие на повреда. Най-често срещан ненормален режим е токовото претоварване. При него протича ток, по-голям от номиналния, който причинява прегряване на съоръженията и стареене на изолацията. Друг характерен ненормален режим е понижаването на честотата. Този режим се предизвиква от недостиг на активна мощност на системата в следствие на внезапни изключване на някои работещи генератори. Останалите генератори се претоварват, честотата на въртенето им намалява, а заедно с това се понижава и честотата на променливия ток. Чувствителното понижаване на честотата (под 47 Hz) може да доведе до разпадане на паралелната работа на цялата електрическа система. Трети характерен ненормален режим е повишаването на напрежението. Той може да възникне при синхронните генератори, когато внезапно се изключи товарът им, както и при работещи на празен ход електропроводи и трансформатори. Повишаването на напрежението е опасно за изолацията на електрическите съоръжения.

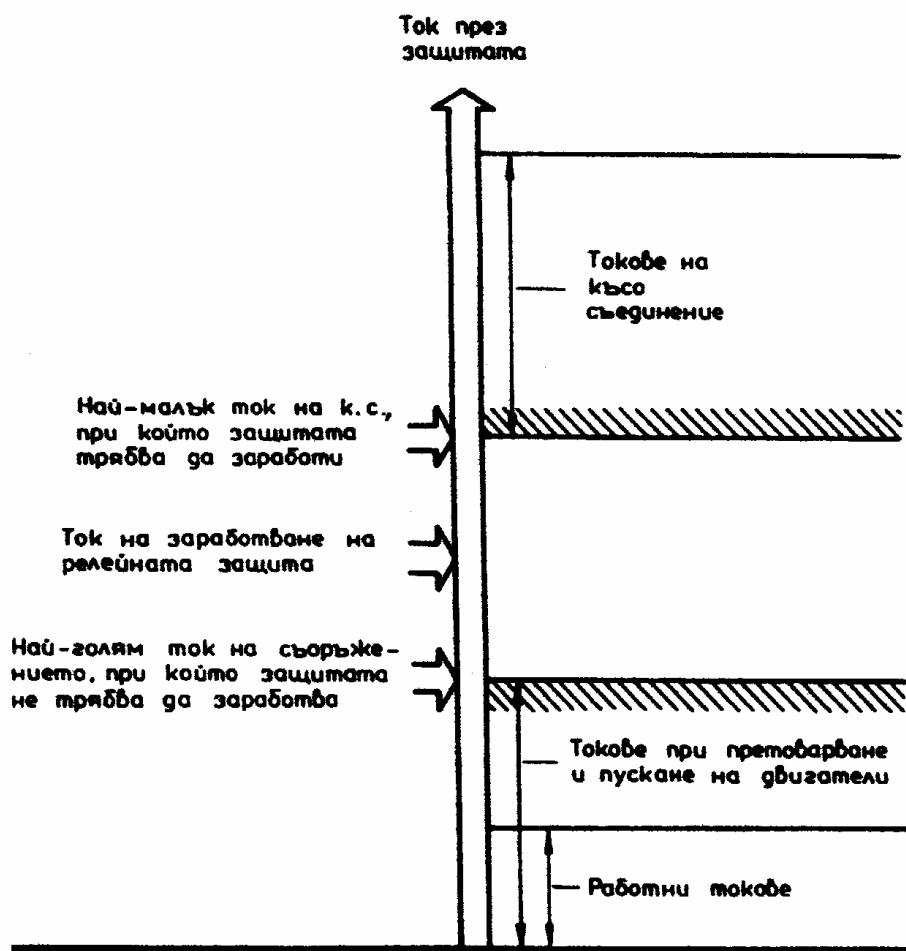
Повредите и ненормалните режими създават неблагоприятни условия за работа на електрическите съоръжения. Процесите протичат много бързо. Тяхното откриване и изключване трябва да стане за части от секундата и може да се реализира само с помощта на автоматични устройства, каквито са релейните защити. В някои случаи релейните защити само сигнализират за наличие на ненормален режим.

1.2. Основни изисквания към релейните защити

Към релейните защити се предявяват изисквания за селективност, чувствителност, бързодействие и надеждност. Автоматиката трябва да гарантира непрекъснатост на електроснабдяването и да поддържа необходимата стойност на напрежението и честотата.

Селективност (избирателност) на релейните защиты означава да бъдат изключвани единствено повредени елементи, а исправните да останат да работят. При съвременните ЕЕС с голям брой и разнообразни съоръжения, които са свързани в сложни схеми, селективност не се постига лесно.

Чувствителността на релейните защиты към зареждане при авария и сигурността да не зареждат излишно се илюстрира чрез фиг. 1.1.



Фиг. 01.1

Разглежда се като пример защита, която реагира на големината на тока през съоръжението.

Най-големите токове, при които защитата не трябва да работва са токовете при ненормалните, но допустими режими като претоварването и самопускането на асинхронни двигатели. Токът, при който защитата работва $I_{зр}$ трябва да бъде по-голям от споменатите ненормални, но допустими токове, а отношението му към най-големия от тях се нарича коефициент на сигурност k_c . Този коефициент трябва да бъде по-голям от единица, а стойността му зависи от грешките на измервателните трансформатори, неточностите при настройване на релетата, точността на самите релета, влиянието на околните условия, неточностите при пресмятане на настройките и т.н.

Защитата трябва да работва гарантирано при токовете на к.с., дори и когато техните стойности са минимални. Тази гаранция се дава от т. нар. коефициент на чувствителност k_u , който се дефинира като отношение на минималния т.к.с. $I_{ксmin}$ и тока на зареждане $I_{зр}$. Коефициентът k_u трябва да бъде също по-голям от единица. Трудно се постига достатъчно висока чувствителност, когато ЕЕС е в минимален режим, при к.с. в края на дълги и натоварени електропроводи, при к.с. през електрическа дъга и др. Има режими, при които параметрите на ЕЕС са близки до случаите на к.с., а в същност не са повреди и защитите не трябва да работва. Такива са например случаите на разлюляване между паралелно работещите генератори.

Коефициентите на сигурност и на чувствителност се разглеждат конкретно при всеки защитаван обект и всеки вид защита.

По бързодействие защитите се делят на мигновени и със закъснение. Стремещт е да се осигури

гурява минимално възможно време на изключване на к.с. Ограничения идват от изискванията за устойчива работа на електрическата система и на електрическите уредби на потребителите при понижените напрежения на к.с.; намаляване на размера на поражението в мястото на аварията; осигуряване на възможност за възстановяване на нормалната работа на потребителите чрез успешно действие на устройствата за автоматично повторно включване автоматично включване на резервното захранване, успешно самопускане на електрическите двигатели и др.

Бързодействието на съвременните защиты се сравнява с продължителността на един период на промишлената честота – 0.020 s. Има и защиты, при които се въвежда нарочно забавяне, за да се постигне селективност. Тогава закъснението достига няколко секунди.

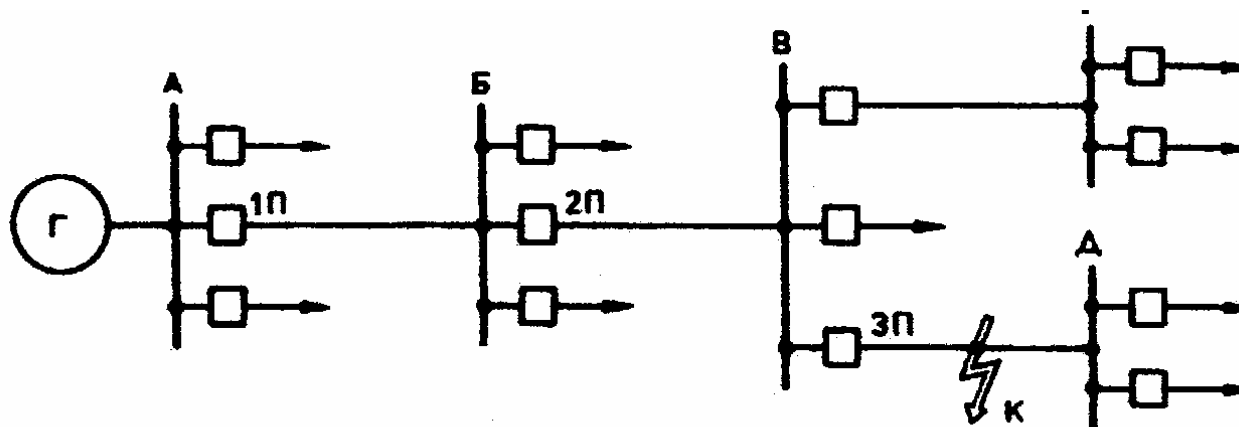
Изискването за надеждност се състои в това, че защитите трябва да работят безотказно при повреди в границите на предвидената за тях зона на действие и не трябва да заработват излишно в режимите, когато това не е предвидено.

На изискването за надеждност на релейните защиты се обръща особено внимание. Отказите да заработи или неправилното действие на всяка защита води винаги до допълнително изключване на прекъсвачи. Например при к.с. в точка К на схемата от фиг. 1.2 трябва да изключи прекъсвача 3П.

Ако релейната му защита откаже да заработи, ще изключи като резервна защитата на прекъсвача 2П, но ще останат без захранване всички потребители към шините В, Г и Д. В случай, че в нормален режим заработи излишно защитата на прекъсвача 1П ще останат без захранване потребителите към шините Б, В, Г и Д. Ненадеждната релейна защита сама става източник на аварии.

Надеждността на защитите се постига чрез използване на прости схеми на свързване, минимален възможен брой на релета, контакти и връзки и качествени релета и друга необходима апаратура. Релейните защиты се изпитват и настройват по специализирани програми поне един път на три години.

За да се изпълнят в необходимата степен изискванията към релейните защиты, на отговорите съоръжения се поставят основни, резервни и допълнителни защиты. Основните защиты изпълняват всички изисквания за селективност, чувствителност и бързодействие. Резервните защиты също са



Фиг. 01_2

избирателни и чувствителни, но могат да имат по-малко бързодействие. Допълнителна защита се поставя с цел да се подобри работата на основната защита, например за да се повиши нейното бързодействие при някои опасни к.с.

Към релейните защиты, действащи на сигнал, се поставят същите изисквания, но те не са така отговорни и изискванията към тях не са така строги.

2. Видове електромеханични релета

Релето е основен елемент в конвенционалните релейни защиты. Според определението на Международната електротехническа комисия МЕК то представлява апарат с автоматично действие, който при определени външни въздействия изменя със скок състоянието на изходната управляваща верига. Например, ако за релето външно въздействие е токът на защитавания обект, то изходните му контакти от отворено положение се затварят, когато токът на входа превиши определена стойност.

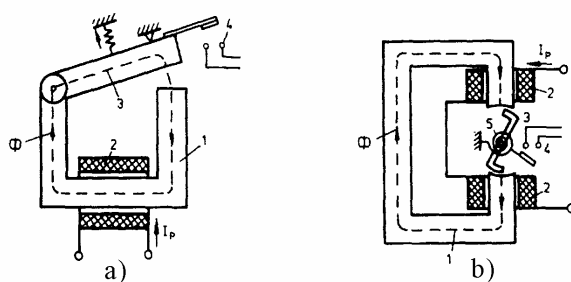
2.1. Според физическата величина, на която реагират, релетата биват:

- а. Токови релета. Те задействуват, когато токът във веригата, в която са включени, превиши предварително зададена стойност.
- б. Напреженови релета. Те задействуват, когато напрежението на веригата, в която са включени, стане по-високо или по-ниско от предварително зададена стойност.
- в. Посочни релета. Те задействуват, когато посоката на мощността във веригата, в която са включени, съвпадне с предварително избрана посока.
- г. Дистанционни релета. Те реагират, когато съпротивлението на веригата, в която са включени, спадне под предварително определена стойност.
- д. Диференциални релета. Тези релета сравняват два тока или две напрежения и реагират на големината на тяхната разлика.
- е. Честотни релета. Те задействуват, когато честотата в ЕЕС спадне под една предварително зададена стойност. Използват се също релета, които реагират при повишаване на честотата.
- ж. Помощни релета. На този вид релета входното напрежение се подава, когато трябва да действат и се прекъсва, когато трябва да се върнат. Те служат за усилване на входния сигнал, като верига с по-малък ток управлява друга верига с по-голям ток, за галваническото разделяне на вериги и за едновременно управление на няколко изходни вериги. Тук могат да се причислят и сигналните релета, които при подаване на входен сигнал изменят цвета на някакво индикаторно поле (блинкер) от бял в черен, от бял в червен или друга забележима промяна в цвета.
- з. Релета за време. Те затварят или отварят контактите си с известно забавяне, което се получава посредством часовников или друг механизъм.
- и. Газови релета. Те задействуват от отделените при к.с. и други повреди газове от трансформаторното масло на силовите трансформатори, стъпалните им превключватели и др.
- к. Термични релета. Те задействуват от тока, който нагрива биметална пластина.

2.2. Според принципа на действие релетата биват:

- а. Електромагнитни релета от клапанен тип (фиг. 2.1а).

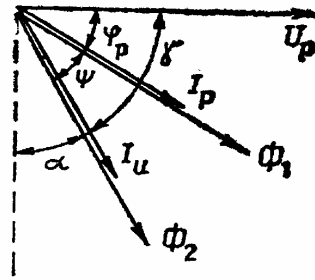
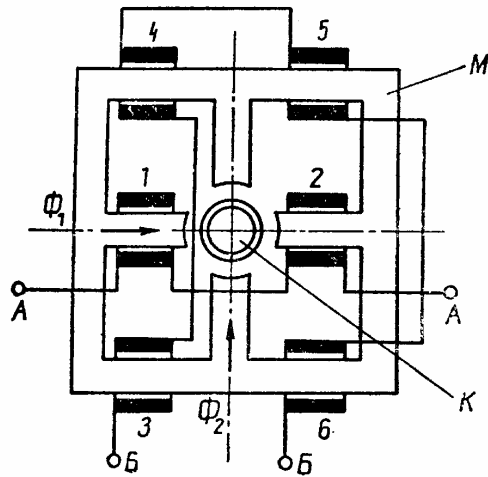
При тях движението се получава чрез привличане на котвата 1 от електромагнит 3, като силата на привличане и въртящият момент са пропорционални на квадрата на тока през бобината. Пригодни са и за постоянен и за променлив ток, имат значителен натиск на контактите, използват се главно за помощни и сигнални релета.



Фиг. 2.1. Електромагнитни релета

- б. Електромагнитни релета със Z-образна котва (фиг.2.1б). При тях въртящият момент също зависи от квадрата на тока през бобината, но магнитният поток е по-малък и натискът на контактите е по-слаб. Нагласяването на тока, при който релето ще задейства се извършва или чрез различно натягане на пружината, или чрез изменение на въздушната междина, или чрез изменение на броя на навивките на бобината.

- в. Индукционни релета. В релейната защита намират приложение както индукционните системи с диск, така и системите с въртящ се цилиндър. Вторият тип е по-застъпен и то като индукционно посочно реле (фиг. 2.2).



Фиг. 2.3. Векторна диаграма на индукционно посочно реле

Фиг. 2.2. Индукционно реле с барабанна котва

Въртящият момент се създава от взаимодействието между магнитните потоци, пресичащи въртящия се цилиндър и вихровите токове, индуцирани от тях в него. Въртящият момент $M_{вр}$ се дава с израза

$$(2.1) \quad M_{вр} = k \cdot U_p \cdot I_p \cdot \cos(\varphi_p + \alpha),$$

където φ_p е ъгълът между напрежението U_p и тока I_p ;

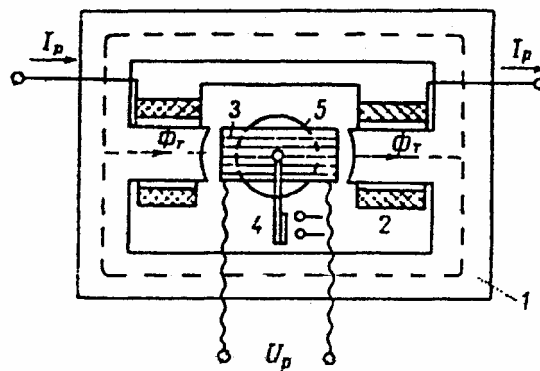
k - коефициент, зависещ от конструкцията на релето;

α - ъгъл, зависещ от параметрите на напрежителната верига.

Въртящият момент на релето променя своя знак според знака на израза $\cos(\varphi_p + \alpha)$. Има положителна стойност при ъгли в интервала $(-90^\circ < 0 < +90^\circ)$ и отрицателна - в интервала $(90^\circ < 180^\circ < 270^\circ)$. Най-голям въртящ момент се получава при ъгъла на максимална чувствителност $\varphi_{м.ч.}$

$$(2.2) \quad \varphi_p + \alpha = 0 \text{ или } \varphi_p = \varphi_{м.ч.} = -\alpha.$$

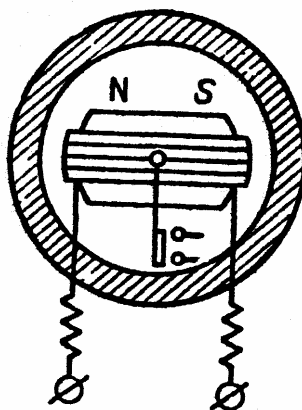
г. Електродинамични релета. Въртящият момент на релето (фиг. 2.4) зависи от взаимодействието на потоците на неподвижната бобина 2 и подвижната - 3. Изразът за въртящия момент, свойс-



Фиг. 2.4

твата и областта на приложение са аналогични на индукционните релета. Токовата бобина на релето се прави неподвижна, а напрежителната - подвижна.

д. Магнитоелектрични релета. При тях въртящият момент се създава от взаимодействието на магнитния поток на постоянен магнит 1 и тока, който протича в подвижната бобинка 2 (фиг.2.5). Понеже магнитният поток е постоянен, въртящият момент зависи само от тока през бобинката и се мени по знак с промяната на посоката на тока. Релето е приложимо само за вериги при постоянен ток. Отличава се с много високата си чувствителност - заработва от мощност няколко μW . Контактната система е нежна и има малка комутационна способност. Магнитоелектричните релета се използват основно като нулеви индикатори. Те затварят контактите си, когато токът през бобинката премине през нулата и смени своя знак от отрицателен в положителен. Прилагат се в балансните схеми.



Фиг. 2.5

2.3. Според начина на присъединяване към защитавания обект релетата биват:

а. Първични. Те се включват последователно във веригата, която защитават. Поради това те са винаги под напрежение и са подложени на термичното и динамичното действие на тока на к.с. Първичните релета са обикновено токови и се прилагат към обектите за ниско напрежение.

б. Вторични. Това са релета, които се включват към защитавания обект посредством измервателни трансформатори за ток и напрежение. Съвременните защити на високоволтовите съоръжения се изпълняват с вторични релета.

2.4. Според начина, по който релетата действат на изключващия механизъм на прекъсвачите, те биват:

а. С директно действие. При тях подвижната част (котвата) на релето е свързана чрез лостова система направо с изключващия механизъм на прекъсвачите. С директно действие могат да бъдат само електромеханичните релета.

б. С индиректно действие. Това са релета за прекъсвачи с изключвателен електромагнит. При тях схемата на релейната защита завършва с изходно помощно реле, което с контакта си подава оперативно напрежение на изключвателната бобина на прекъсвача.

2.5. Контакти на релетата

Контактите на релетата имат голямо разнообразие и биват: нормално отворени (н.о.), нормално затворени (н.з.) и превключващи; с мигновено действие или с нарочно забавяне; със забавено заработване или забавено връщане и др. Понятието "нормално" се отнася за положението на контактите, когато към релето не са подадени никакви сигнали – както са контактите, когато релето е на склад.

2.6. Основни параметри на релетата

а. Стойност на величината на заработване. Това е стойността на контролираната от релето величина, при която то реагира. Релетата, които реагират тогава, когато величината превиши определена, предварително зададена стойност, се наричат максимални. Такива са токовите релета. Онези релета, които задействуват, когато контролираната величина спадне под определена стойност, се наричат минимални. Такива са дистанционните релета и част от напрежителните.

б. Стойност на величината на връщане. Това е стойността на величината, при която релето, след като е задействало, се връща в изходно положение.

Когато релето е максимално, то се връща в изходно положение при стойност, която е по-малка от стойността на задействане. Минималните релета се връщат в изходно положение при стойност, по-голяма от стойността на задействане.

в. Коефициент на връщане. Той се изразява с отношението на стойността на връщане на величината X_{ep} към стойността на задействане X_{zp}

$$(2.3) \quad k_{ep} = \frac{X_{ep}}{X_{zp}}.$$

За максималните релета коефициентът $k_{ep} < 1$ и варира за измервателните релета от 0.8 до 0.95, а за помощните – 0.4 ÷ 0.6. За минималните релета коефициентът $k_{ep} > 1$.

г. Собствено време на задействане. Това е времето от момента на подаване на релето на величина, по-голяма от стойността, при която то заработва до момента, когато то променя състоянието на контактите си. Стремещт е релетата да имат малко собствено време. Най-бързите релета работват за 0.01 ÷ 0.02 s, а обикновените – за 0.04 ÷ 0.10 s.

д. Комутиционна способност на контактите. Регламентира се номиналното напрежение, токът на включване и токът на изключване при постоянен и при променлив ток. Релетата обикновено имат малка комутиционна способност. За комутация на по-големи токове се използват електромагнитни помощни релета.

Освен разгледаните по-горе, релетата се характеризират и с други параметри като консумирана мощност, ток на термичната устойчивост, ток на динамичната устойчивост и др.

2.7. Оперативно захранване

Освен от входните величини от измервателните трансформатори, релетата се нуждаят и от допълнително помощно захранване за реализиране на превключванията и за захранване на изключвателните бобини на прекъсвачите. Допълнителният източник се нарича оперативно захранване, а веригите му – оперативни вериги. Към тези вериги се включват още средствата за управление, автоматика, сигнализация и др. Оперативното захранване трябва да бъде гарантирано при всички режими на работа на съоръженията. Използват се източници на постоянно и на променливо оперативно напрежение.

Постоянното оперативно напрежение се взема от акумулаторни батерии и има предимство като автономен източник на захранване. Най-често се използват батерии с напрежение 220 V, но се прилага също 24, 48 и 110 V. Изискванията за надеждност налагат практически във всички обекти да се използват акумулаторни батерии. Техни недостатъци са високата цена, необходимостта от специално помещение и обслужване, сложни схеми и др.

В по-малките подстанции има стремеж да се използва променливо оперативно напрежение като по-евтино, по-просто и по-лесно за обслужване, макар и с по-малка надеждност. Като източници на променливо оперативно напрежение се използват измервателните трансформатори и трансформаторите за собствени нужди.

2.8. Видове релейни защиты

Релейните защиты се различават по начина, по който разграничават нормалните режими от ненормалните режими и повредите. Те биват:

а. Токови защиты. Големината на тока на защитаващия обект е критерий за откриване на к.с.

б. Посочни токови защиты. Към критерия големина на тока се добавя и неговата посока. Разрешение за задействане на защитата има, когато токът протича в посока от шините към защитаващия обект. Използват се токови и посочни релета.

в. Дистанционна защита. Непрекъснато се контролира отношението на напрежението и тока на защитаващия обект, т.е. непрекъснато се измерва импеданса и когато неговата стойност спадне под определена граница е сигурно, че се е появило к.с. Тези защиты имат също посочни органи, релета за време, редица блокировки и са най-сложните в логическо отношение релейни защиты.

г. Диференциални защиты. В двата края на защитаващия обект се поставят токови трансформатори и се контролира разликата на вторичните им токове. Свързането е такова, че в нормален режим и при външно к.с., когато двата тока са равни, през релето не преминава ток. При вътрешно

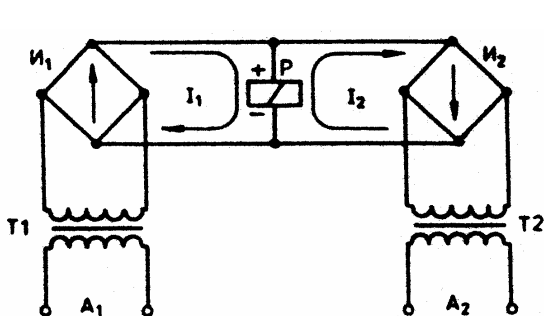
к.с. през релето преминава сумата от токовете и защитата задействува.

д. Специални защити: термични, газови, дъгови и др.

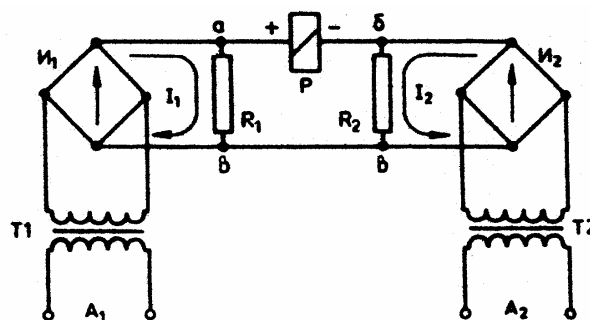
3. Схеми за сравняване на две електрически величини

Изграждат се на базата на полупроводникови изправители и чувствителни магнитоелектрични релета. Служат за сравняване на абсолютните стойности на две или повече електрически величини – токове и напрежения. По този начин могат да се изпълнят посочни, дистанционни и диференциални релета.

Два вида балансни схеми са показани на фиг. 3.1 и фиг. 3.2 – на циркулиращите токове и на уравниените напрежения. Те се състоят от два междинни трансформатора Т1 и Т2, два изправителя И1 и И2 и чувствителното магнитоелектрично реле Р. Схемата на уравниените напрежения има и две баластни съпротивления R_1 и R_2 .



Фиг. 3.1



Фиг. 3.2

На схемата се подават две синусоидални електрически величини A_1 и A_2 , които се преобразуват от междинните трансформатори Т1 и Т2, изправят се от И1 и И2 и се подават за сравняване към магнитоелектричното реле Р. При първата схема (фиг. 3.1) през релето Р протича разликата на два изправени тока I_1 и I_2 и за да се стигне до заработване, е необходимо да се спази условието

$$(3.1) \quad I_1 \geq I_2,$$

т.е. входната величина A_1 по абсолютна стойност да бъде по-голяма или равна на A_2 :

$$(3.2) \quad |A_1| \geq |A_2|.$$

Равенството на величините е граничен случай, който се използва за определяне на вида и формата на характеристиката на релето, разделяща областта на заработване от областта на незарботване.

При втората схема (фиг. 3.2) сравняваните токове I_1 и I_2 преминават през две съпротивления R_1 и R_2 , които имат обща точка θ . Условието за заработване се изпълнява, когато потенциалът на точката a стане по-висок от този на θ , а това се реализира отново при условието $|A_1| \geq |A_2|$.

Високата чувствителност на магнитоелектричните релета прави чувствителна цялата схема, а консумацията ѝ – минимална.

Синусоидалните величини A_1 и A_2 могат да бъдат най-различни и в общия случай се определят с изразите

$$(3.3) \quad \begin{aligned} A_1 &= K_{11} \cdot U + K_{12} \cdot I, \\ A_2 &= K_{21} \cdot U + K_{22} \cdot I. \end{aligned}$$

Тук напрежението U и токът I са от защитавания обект, а коефициентите K са комплексни числа, чиято дименсия е строго определена. Например, ако величините A_1 и A_2 са две напрежения, коефициентите пред напрежението трябва да бъдат бездименсионни, а пред тока – да имат дименсия на съпротивление.

Величината A_1 се нарича работна, защото прокарваният от нея ток съвпада с посоката на тока на заработване на магнитоелектричното реле Р. Величината A_2 се нарича спираща. Обикновено се вземат мерки за изглаждане на токовете след изправянето им, но на фиг. 3.1 и фиг. 3.2 това не е показано.

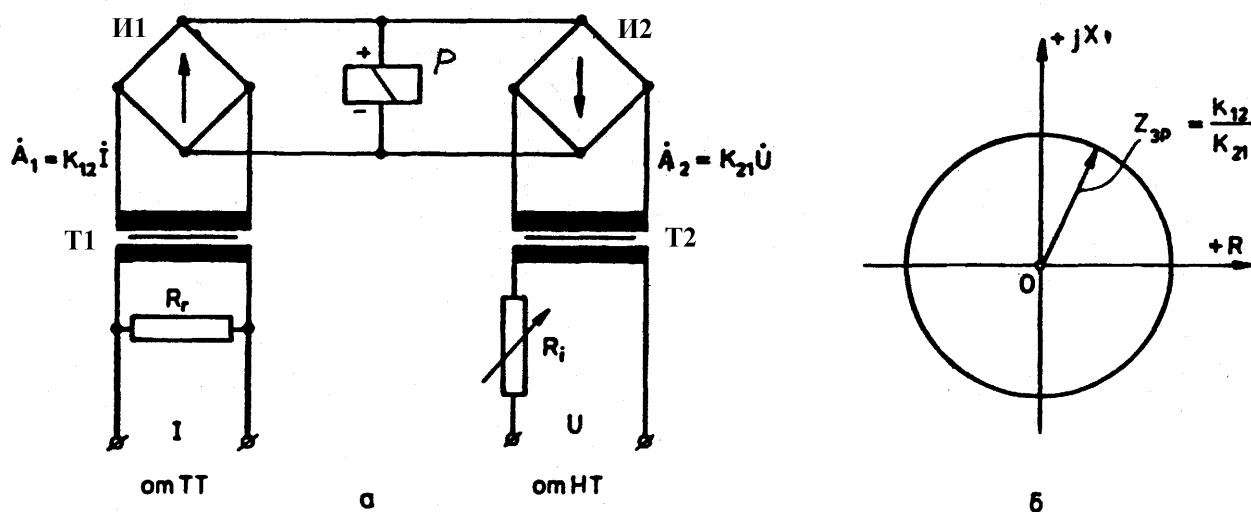
Условието за заработване добива вида

$$(3.4) \quad |K_{11} \cdot U + K_{12} \cdot I| \geq |K_{21} \cdot U + K_{22} \cdot I|$$

или като се разделят двете страни на тока I :

$$(3.5) \quad |K_{11} \cdot Z + K_{12}| \geq |K_{21} \cdot Z + K_{22}|$$

Геометричното място на точките $Z = R + jX$, които изпълняват горното условие, представлява окръжност, чиито диаметър и координати на центъра зависят от коефициентите K . По-долу ще бъдат разгледани два частни случая на стойности на тези коефициенти, които най-често се прилагат в практиката.



Фиг. 3.3

Импедансно реле с централна характеристика. Реле, на което работната величина A_1 зависи само от тока I , а спиращата A_2 – само от напрежението U , е показано на фиг. 3.3а. Токът от токовия трансформатор на фаза R се прокарва през едно неголямо съпротивление R_r ($0,1 \Omega$ при $I_H = 5$ А или $0,5 \Omega$ при $I_H = 1$ А) и към изправителя за работната величина се подава през Т1 напрежение, пропорционално на тока. Напрежението от напреженовия трансформатор през редица съпротивления (обобщено показани с R_i) и Т2 се подава към изправителя за спиращата величина.

Условието за заработване (2.6) добива вида

$$(3.6) \quad |K_{12} \cdot I| = |K_{21} \cdot U|,$$

откъдето

$$(3.7) \quad Z_{zp} = \frac{U}{I} = \frac{|K_{12}|}{|K_{21}|} = const.$$

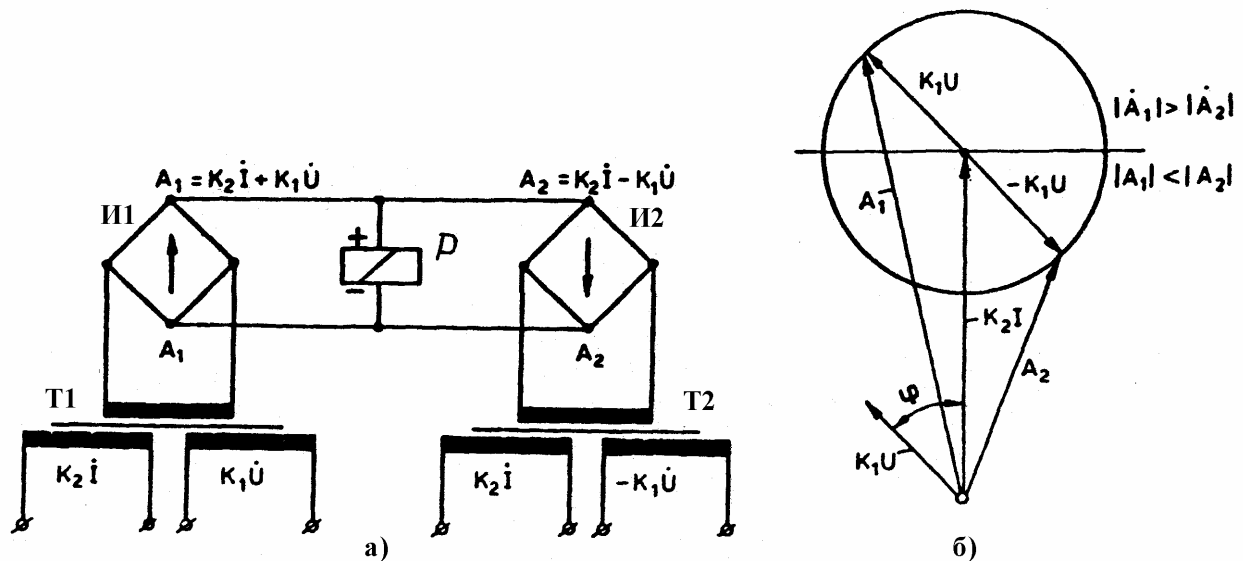
Фазовата разлика между напрежението и тока в този случай няма никакво значение и геометричното място на точките Z_{zp} представлява окръжност с център в началото на координатната система и радиус, равен на големината на отношението K_{12}/K_{21} (фиг. 3.3б).

Регулирането на съпротивлението на зареждане $Z_{зр}$ при това реле става чрез активните съпротивления R_i във веригата на спирачната величина, т.е. чрез големината на коефициента пред напрежението K_{2I} .

Посочно реле. Посочно реле може да се получи, като към балансната схема се подадат величините:

$$(3.8) \quad \begin{cases} A_1 = K_1 \cdot U + K_2 \cdot I, \\ A_2 = K_1 \cdot U - K_2 \cdot I \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} A_1 = K_2 \cdot I + K_1 \cdot U, \\ A_2 = K_2 \cdot I - K_1 \cdot U. \end{cases}$$

Пример за такова реле е даден на фиг. 3.4а. Междинните трансформатори Т1 и Т2 имат по две първични намотки – една за токовата верига (получава от съпротивлението R_r , R_s или R_t напрежение, което е пропорционално и във фаза с тока) и една за напрежението. С подходящо свързване на началата и краищата на намотките с Т1 се получава сбор, а с Т2 – разлика на подаваните величини.



Фиг. 3.4

На фиг. 3.4б е показана векторната диаграма на токовете и напреженията при положение, че коефициентите K_1 и K_2 са реални числа. Вижда се и геометричното място на величините A_1 и A_2 , при условие, че големината на тока и напрежението не се изменя, а се изменя само ъгълът между тях. Това е една окръжност, чиято половина над хоризонталната линия се описва, когато $|A_1| > |A_2|$, а долната половина - когато $|A_1| < |A_2|$. Релето заработва тогава, когато ъгълът φ е в границите от $-\pi/2$ до $+\pi/2$, а най-благоприятни са условията, когато $\varphi = 0$.

4. Максималнотокови защиты

Токовите защиты разчитат на факта, че в нормален режим токът достига до стойности около номиналния, а при к.с. неговата стойност нараства значително. Обикновено разликата между тези два тока е много голяма и токовите защиты лесно ги разграничават. Те са най-разпространените релейни защиты.

4.1. Защита с предпазители

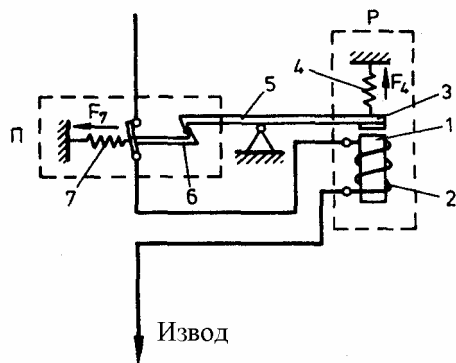
Тя е най-простата и най-евтината токова защита и е основна защита за мрежите н.н. и за електрическите инсталации в сградите.

Основен и единствен елемент на тази защита е стопяемата вложка на предпазителя. Принципът на действие и изборът на предпазители за ниско и средно напрежение са разгледани подробно в литературата по електрооснабдяване на промишлените предприятия и жилищните сгради.

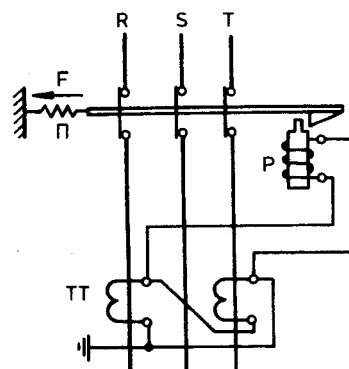
4.2. Токови защиты с директно действие

Токовите защиты с директно действие работят на електромагнитния принцип. На фиг. 4.1 е

показана схемата на първично реле с директно действие. Изпълнителният механизъм Р се състои от електромагнит 1, чиято намотка 2 се свързва последователно в защитаваната верига без токови трансформатори. През нея при всички режими минава токът на уредбата. Положението на котвата 3 се фиксира от пружината 4 в показаната на схемата посока. Когато през намотката 2 премине ток, по-голям от тока на заработване на релето, котвата 3 се привлича от електромагнита, лостът 5 се задвижва и освобождава зъбеца 6 на прекъсвача П. Посредством пружината 7 прекъсвачът изключва. Токът на заработване може да се регулира в известни граници чрез натягането на пружината F4. При необходимост релето може да се снабди със специален закъснителен механизъм и защитата да заработва със забавяне, което може да се настройва.



Фиг. 4.1

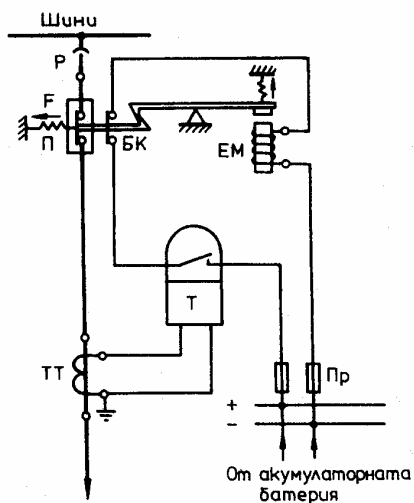


Фиг. 4.2

Предимството на тези релета е, че имат просто устройство и не изискват токови трансформатори и оперативни вериги. Недостатък е директното им включване в първичната верига, поради което намотката им се намира винаги под напрежение и трябва да бъде оразмерена така, че да понесе термичното и динамичното действие на тока на к.с. Механизмът на релето е груб поради големите сили, необходими за освобождаване на зъбеца на прекъсвача.

Употребата на първичните релета с директно действие е целесъобразно при мрежи с ниско напрежение, където токовете на к.с. са малки, липсват източници на оперативното напрежение и няма дежурен персонал.

На фиг. 4.2 е показана схема на вторично реле с директно действие. То представлява електромагнит Р, който действа непосредствено върху зъбеца на прекъсвача и пружината П го изключва. Затова релето е директно. Бобината на електромагнита е свързана към измервателните трансформатори ТТ, а не в първичната верига, поради което релето става вторично. Схемата на свързване на трансформаторите ТТ е специално подбрана да бъде "непълн триъгълник". При нея през намотката на релето протича ток при всички междуфазни к.с.



Фиг. 4.3

4.3. Токова защита с индиректно действие с вторични релета

Такова реализиране на защита е намерило най-широко разпространение в уредбите високо напрежение и се счита за типово. То задоволява всички изисквания към защитите и когато се описват релейни защиты и няма специални уговорки се разбира, че реализирането на схемите е именно по този начин.

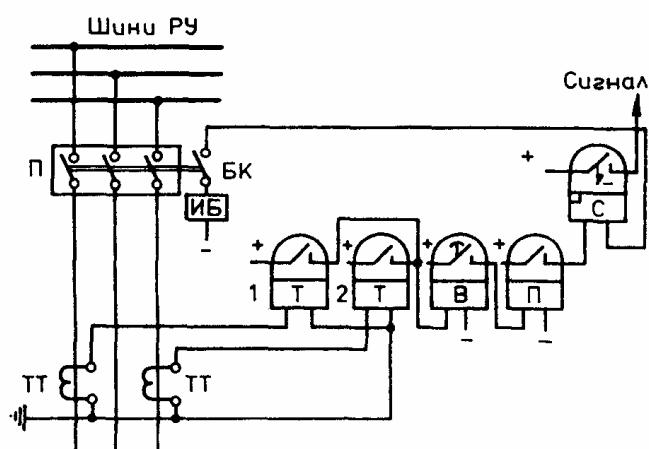
На фиг. 4.3 е показана схема на една фаза от такава защита заедно с оперативното захранване от акумулаторна батерия. В нормален режим на работа на защитавания обект прекъсвачът е включен, но токът през токовото реле Т е по-малък от тока на заработването му и н.о. контакти са отворени. При повреда по защитаваното съоръжение под действие на вторичния ток на к.с. релето Т затваря контакта си. Той включва електромагнита ЕМ (ЕМ символизира бобината за изключване на прекъсвача) към оперативното напрежение и зъбеца се освобождава. Пружината П

на прекъсвача изпълнява две функции: изключва главните контакти на прекъсвача и прекъсва тока на к.с.; отваря блок-контактите БК и прекъсва оперативната верига. Защитата се връща в изходно положение при изключен прекъсвач. Последователното свързване на блок-контакта БК и на контак-

та на релето Р има следното значение. Релето Р е обикновено електромагнитно със Z-образна котва или статично реле. Комутационната способност на контактите им не е голяма и могат да дефектират от прекъсването на сравнително големия ток на електромагнитна ЕМ. Блок-контактите БК имат по-голяма комутационна способност, понеже се задвижват от силната изключвателна пружина на прекъсвача. При зареждане на защитата блок-контактите макар и за малко, но изпреварват отварянето на контакта на релето и облекчават чувствително работата му. Това подобрява надеждността на схемата.

4.4. Максималнотокова защита с независимо от тока забавяне

Разглежда се максималнотокова защита (МТЗ) с независимо от тока забавяне, предназначена да действа при междуфазни к.с. в електрическите мрежи високо напрежение. Схемата на защитата трябва да контролира тока при трифазни и всички двуфазни к.с., да има регулируемо закъснение, да сигнализира при поява на повреда и при подаване на импулс за изключване на прекъсвача, изходът на схемата да има достатъчна комутационна способност, за да подава изключвателен импулс към прекъсвача (фиг. 4.4). Използват се два токови трансформатора (ТТ) и две токови релета (1Т и 2Т) в мрежите с малък ток на земно съединение. Токовите релета трябва да имат собствени блинкери, за



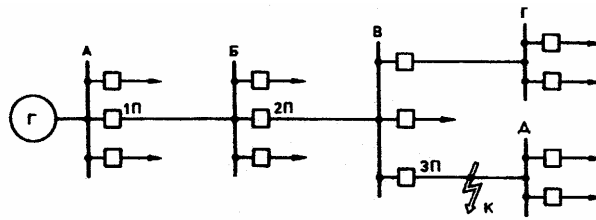
Фиг. 4.4

да сигнализират при зареждане. Това са електромагнитни токови релета със Z-образна котва или статични релета. Релето за време В е общо за двете фази и представлява електромагнитно реле с часовников механизъм или електронно реле за време. Помощното реле П е от клапанен тип, а сигналното реле С има една серийна намотка с малко съпротивление. Оперативното захранване се показва условно със знаците плюс и минус.

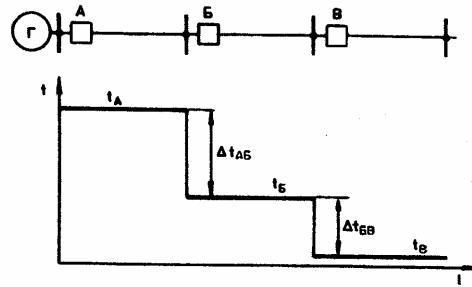
В нормален режим на обекта няма зареждали релета, а прекъсвачът е включен. При к.с. през релетата протича ток според участващите в повредата фази. Контактите на токовите релета са в паралел и захранват релето за време при всяко к.с. Действието на схемата след това зависи от трайността на к.с. Ако повредата е краткотрайна или се изключи от друга защита, релетата се връщат. При трайни повреди релето за време затваря контактите си след изтичане на настроеното закъснение. Токовите релета и релето за време трябва да зареждат едновременно, за да зареждат помощното реле П и през намотката на сигналното реле С се да подаде изключвателен импулс за прекъсвача. Изключването на к.с. води до връщане на защитата в изходно положение и възможност за ново действие без намесата на персонала. Могат да останат не върнати само сигналните блинкери, ако скоро след първото настъпи ново к.с., тъй като те се връщат ръчно. Сигнализацията не пречи на действието на схемата при новото к.с.

Селективността на действието на схемата зависи от настройването на релетата за време В. И действително, при няколко последователно съединени електропровода (фиг. 4.5 и фиг. 4.6) появата на к.с. ще предизвика зареждането на всички токови релета между повреденото място и източника на захранване. Трябва да изключи само прекъсвачът, който е най-близо до повредата. Това ще стане само, ако релетата за време имат стъпално настройване с повишаване на закъснението по посока към източника, така че между к.с. и системата да няма по-бърза защита.

Това настройване на релетата за време се нарича насрещен стъпален принцип. Колкото по-малки са стъпалата Δt , толкова по-малко е закъснението на отделните защиты.



Фиг. 4.5



Фиг. 4.6

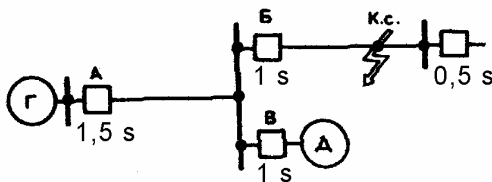
Стъпалото Δt трябва да бъде така избрано, че никога да не се смени предвиденият ред на изключване и по-близка до източника защита да изключи преди по-отдалечената. При защиты с електромеханични релета най-често се приема $\Delta t = 0.5$ s. Тази стойност зависи главно от точността на релетата за време и бързодействието на прекъсвачите, като се предвижда и резерва $t_{резерва}$ от около 0.1 s. Може да се слезе до стойности $\Delta t = 0.3 \div 0.35$ s при по-бързи прекъсвачи и по-точни релета за време. Последната от редицата защита се прави без нарочно забавяне, а предпоследната – със закъснение $\Delta t = 0.4$ s.

Разгледано по-подробно, забавянето Δt се определя чрез сумата:

$$(4.1) \quad \Delta t_{AB} = t_{P3-A} - t_{P3-B} = t_{зр.РВ-A} + t_{зр.РВ-B} + t_{изкл.пр.Б} + t_{соб.РЗ-B} + t_{резерва} \approx 0.5 \text{ s.}$$

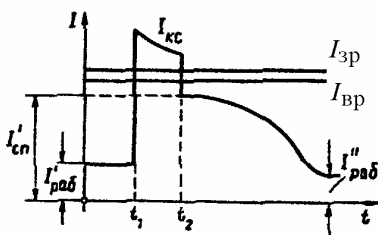
В сумата влизат грешките на релетата за време на МТЗ към прекъсвачите на А и Б (фиг. 4.6) - $t_{зр.РВ-A}$ и $t_{зр.РВ-B}$. Двете грешки се сумират, защото се приема неблагоприятният случай, когато релето за време в А ще избърза, а релето за време в Б ще се забави и ще се стигне до максимално намаляване на разликата Δt_{AB} . Необходимо е да се изчака и

собственото време за изключване на прекъсвача в Б – $t_{изкл.пр.Б}$. Отчита се също собственото време $t_{соб.РЗ-B}$ на релетата в Б между релето за време и прекъсвача в Б.



Фиг. 4.7

Настройката на токовото реле трябва да отговаря на две условия: първо - да не пуска релейната защита в нормален режим, дори да има претоварване или повишаване на тока от самопускане на асинхронни двигатели и второ - да заработва при к.с. в края на защитавания обект и минимален режим на захранващата система. На фиг. 4.7 е показана типична ситуация в мрежите средно напрежение. Всеки от трите прекъсвача има МТЗ с релета за време, настроени по насрещния стъпален принцип. Става к.с. по електропровода Б, заработват токовите релета на защитите на прекъсвачите А и Б.



Фиг. 4.8

$$(4.2) \quad I_{ep} > I_{cn}$$

Асинхронните двигатели към В намаляват честотата на въртенето си, поради спадане на напрежението на шините. Приема се, че двигателите спират. След 1 s изключва прекъсвачът в Б и ликвидира к.с. Напрежението на шините се възстановява и асинхронните двигатели към В минават в режим на самопускане. Защитата на прекъсвача А трябва да се върне преди да са изтекли 1.5 s, въпреки тока на самопускане на двигателите. Това означава, че токът на връщане I_{ep} на токовото реле в А трябва да бъде по-голям от тока на самопускане I_{cn}

или

$$(4.2a) \quad I_{ep} = k_c \cdot I_{cn}$$

където $k_c = 1.05 \div 1.2$ е коефициент на сигурност.

Асинхронните двигатели имат като параметър коефициента на самопускане

$$(4.3) \quad k_{cn} = \frac{I_{cn}}{I_{н.дв}},$$

а токовото реле – коефициент на връщане

$$(4.4) \quad k_{ep} = \frac{I_{ep}}{I_{зр}},$$

така, че

$$(4.6) \quad I_{зр} = \frac{k_c \cdot k_{cn}}{k_{ep}} \cdot I_{н.дв}.$$

В по общия случай изразът (4.6) добива вида

$$(4.7) \quad I_{зр} = \frac{k_c \cdot k_{cn} \cdot k_{cx}}{k_{ТТ} \cdot k_{ep}} \cdot I_{тов. max}.$$

където $k_{ТТ}$ е коефициентът на трансформация на съответния ТТ,

k_{cx} - коефициентът на схемата.

Коефициентът на схемата е отношение на тока през релето и тока през ТТ. Това отношение е единица при ТТ, свързани в звезда, защото през ТТ и през релето протича един и същи ток $k_{cx. \Delta} = 1$. При ТТ, свързани в триъгълник през релето преминава линеен ток, а през ТТ - фазен така, че

$$(4.8) \quad k_{cx. \Delta} = \frac{I_{реле}}{I_{ТТ}} = \sqrt{3}.$$

Поставянето на коефициента $k_{ТТ}$ в (4.7) определя, че пресметнатият ток е вторичен.

Токът на заработване се сравнява с най-малкия ток при к.с. в края на защитавания електропровод чрез пресмятане на коефициента на чувствителност

$$(4.9) \quad k_{ч} = \frac{I_{кс min}}{I_{зр}},$$

където $I_{кс min}$ е минималният ток на двуфазно к.с. в края на защитавания участък.

Коефициентът $k_{ч}$ трябва да бъде по-голям от единица и се нормира за различните защити и защитавани обекти в Наредба №3, 2004 г. на Министъра на енергетиката и енергийните ресурси. Например за МТЗ на електропроводи $k_{ч} \geq 1,5$, когато е основна защита и $k_{ч} \geq 1,2$, когато я разглеждаме като резервна за съседен участък.

Как разглежданата МТЗ удовлетворява основните изисквания към релейните защити?

Селективността се постига чрез въвеждане на нарочно забавяне и настройване на релетата за време по насрещния стъпален принцип.

Чувствителността на защитата се постига с настройване на токовото реле на ток на заработване по-малък от най-малкия ток на к.с., който защитата ще получи при най-неблагоприятни условия - минимален режим на захранване и двуфазно к.с. в края на защитавания електропровод. От дру-

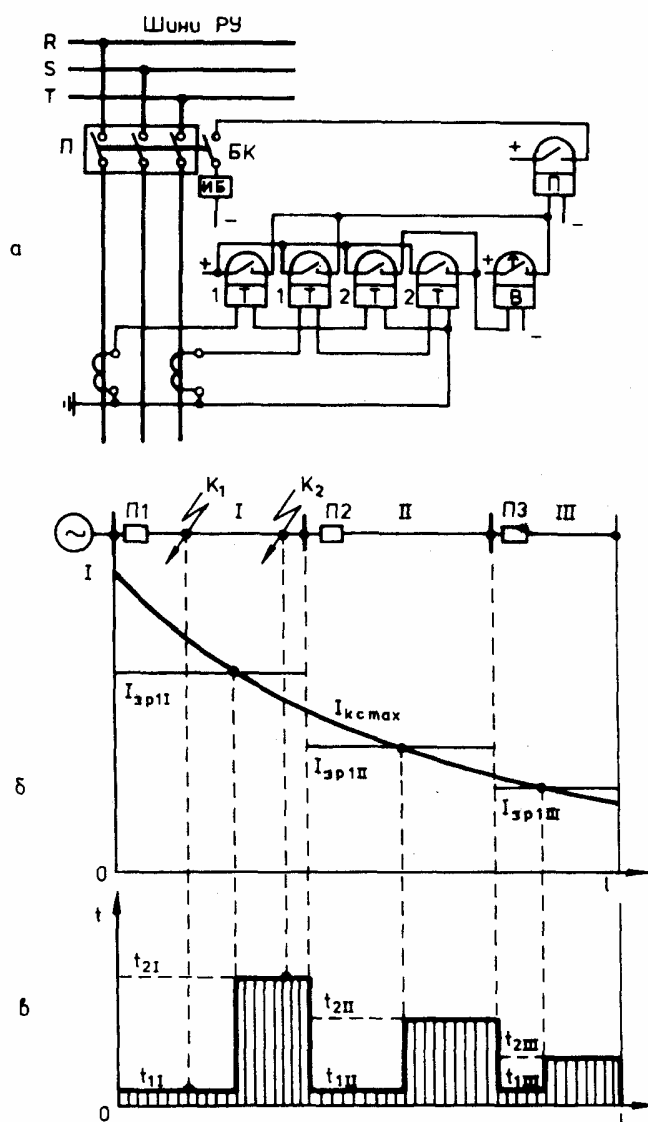
където k_c е по-голям от единица ($k_c = 1.2 \div 1.3$);

$I_{вкс\ max}$ – максимален ток на външното к.с.

Ако не се спазва това правило и токът $I_{зр}$ е по-малък от $I_{вкс\ max}$, ще се получи зареждане на защитата на прекъсвача П1 при к.с. след П2, т.е. ще се наруши селективността, което е недопустимо. От друга страна повишаването на тока на зареждане над тока на външно к.с. създава един участък в края на електропровода, където ТО няма да действа. Създава се т.нар. мъртва зона. Тази зона става още по-голяма, когато режимът е минимален (фиг. 5.2). Този недостатък е основен за ТО и става причина в този вид тя да не може да бъде единствена и основна защита на обекта. Не служи и за резервна защита на съседните обекти.

Обикновено вместо да се пресмята чувствителността на ТО се определят границите на работната зона. Тя не трябва да бъде по-малка от $15 \div 20\%$ от дължината на електропровода при минималния режим на к.с. Понякога чувствителността на ТО се определя с коефициент на чувствителност k_c , пресметнат за к.с. в началото на защитавания електропровод (където е поставена ТО).

Мъртвата зона може да се защити, ако ТО се съчетае с МТЗ или с друга ТО, която има закъснение.



Фиг. 5.3. Съчетаване на МТЗ и ТО

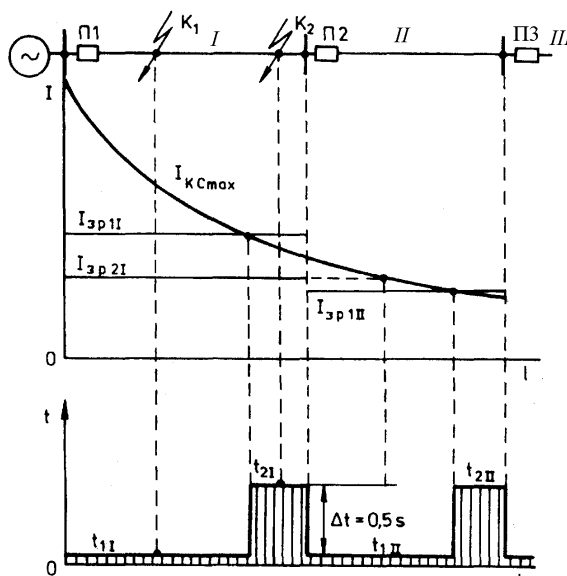
На фиг. 5.3 е показано съчетаване на ТО с МТЗ и зоните на действието им за три последователно свързани електропровода. Релетата 1Т се настройват като отсечка, а 2Т и В - като токова защита с нарочно забавяне. Началото на всеки електропровод се защитава без закъснение от ТО, а

нейната мъртва зона се покрива от МТЗ със съответното закъснение. МТЗ резервира съседните участъци.

Съчетаването на две ТО се нарича многостъпална токова отсечка. Тя се изпълнява по схемата от фиг. 5.3, но токовете релета 2Т се настройват според тока на зареждане на релетата 1Т от ТО на следващия електропровод (фиг. 5.4):

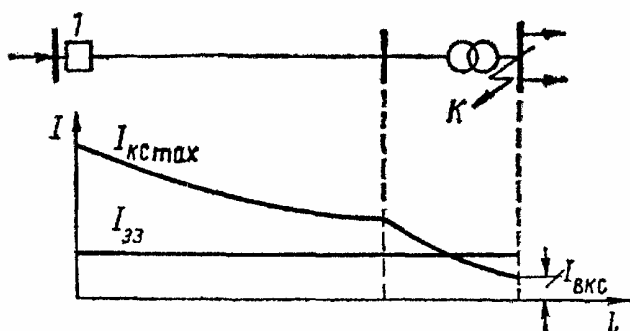
$$(5.2) \quad \begin{aligned} I_{зр\ 2ТI} &= k_c \cdot I_{зр\ 1ТII}; \\ I_{зр\ 2ТII} &= k_c \cdot I_{зр\ 1ТIII}. \end{aligned}$$

Релетата за време винаги имат минималното закъснение $\Delta t = 0.5$ s, защото стъпалата със закъснение не се съгласуват по между си, а се съгласува стъпало със закъснение и стъпало без закъснение.



Фиг. 5.4. Многостъпална токова отсечка

Токовите отсечки имат прости и сигурни схеми. Тяхното поставяне носи предимството на мигновеното изключване на близките к.с., но са ефективни при случаите, когато кривата на тока на к.с. е по-стръмна, както е случаят с токът при еднофазно к.с. в системи с ефективно заземена неутрала.



Фиг. 5.5. Настройване на неселективна токова отсечка

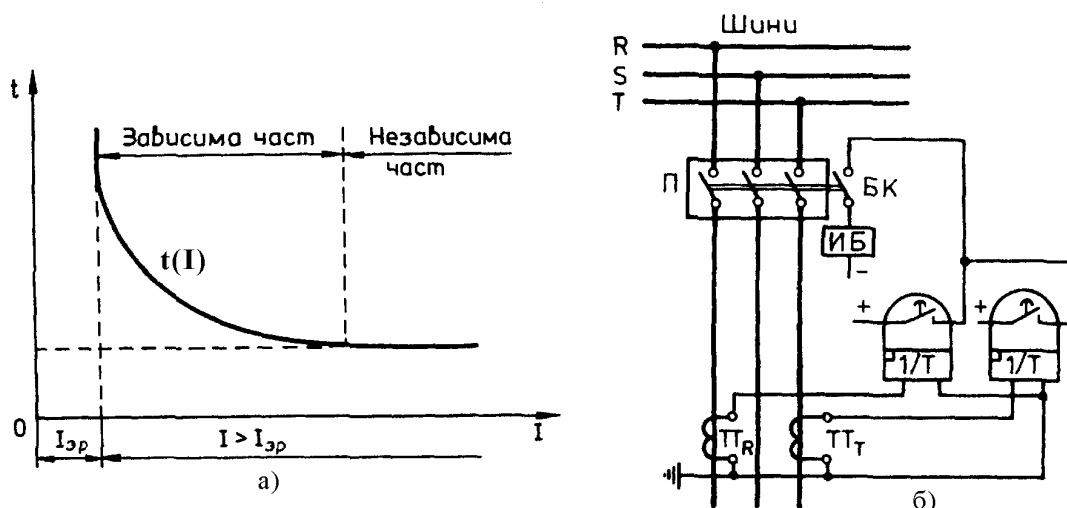
5б. Неселективна токова отсечка

Благоприятен случай на приложение на токовата отсечка е блокът електропровод-трансформатор (фиг. 5.5). Токът на зареждане на токовото й реле се определя от максималния ток при к.с. след трансформатора $I_{вкс}$ (точка К). В този случай мъртвата зона остава извън електропровода – в трансформатора, а който има своя самостоятелна защита, която не е показана на фигурата. Тъй като между електропровода и трансформатора няма прекъсвач, а прекъсвачът в 1 трябва да изключва

при к.с. и в двата обекта, терминът “неселективна” означава само, че не се различава повредата в кой от елементите е станала. Трансформаторните защиты действат на еднополюсен късосъединител, поставен преди трансформатора (не е показан на фигурата), реализират ток над тока на зареждане на ТО и гарантирано изключване на прекъсвача в 1.

5с. Токова защита със зависимо от тока забавяне

При тази защита функциите на токовото реле и релето за време се изпълняват само от едно реле. То не действа мигновено, а със забавяне, което зависи от големината на тока, който преминава през намотката му. В случаите на електромеханично изпълнение се използват индукционни релета с въртящ се диск и термични релета, но широко приложение е възможно само при прилагане на цифрови релета. На фиг. 5.6а е показана характеристика на такова реле. Забавянето на задействането намалява с нарастването на тока, но само до определена стойност (зависима част от характеристиката), след което забавянето остава постоянно (независима част от характеристиката).



Фиг. 5.6. Защита със зависимо от тока забавяне

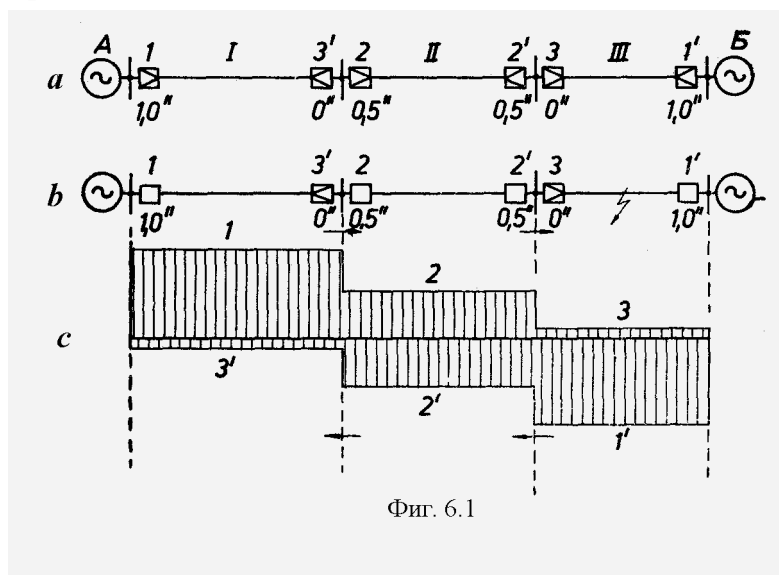
На фиг. 5.6б е показана схемата на защита със зависимо от тока забавяне. Релетата 1/Т имат характеристиката от фиг. 5.6а и съчетават токови релета и релета за време, с което схемата се опростява.

Преимущество на тази защита е, че изключването е толкова по-бързо, колкото т.к.с. са по-големи, за да стане най-бързо при близките к.с. с максимален ток.

Защитите с релета със зависимо от тока забавяне се използват за защита на електропроводи СН, за защита на двигатели и трансформатори и са особено подходящи като защиты от претоварване.

6. Посочна токова защита

Възможностите на токовата защита се разширяват, ако се въведе допълнителен критерий – заработването се разрешава само, ако посоката на тока (на мощността) на к.с. е от шини към елект-



Фиг. 6.1

ропровод. Този критерий е полезен при затворените мрежи: единични електропроводи, захранвани от две страни и паралелни електропроводи, захранени от една страна.

Необходимостта от посочност в действието на токовете защиты е показано с примера от фиг. 6.1. Три последователни електропровода са защитени от двете страни. Защитите трябва да действат селективно, когато работи само източникът А, само източникът Б и двата източника заедно. При действие на източника А се избират закъсненията на защитите 3, 2 и 1, съответно 0; 0.5 и 1 s. Когато действа източника Б се определят закъсненията на защитите 3', 2' и 1', съответно 0; 0.5 и 1 s.

Ако няма посочни релета, селективност не се получава, защото:

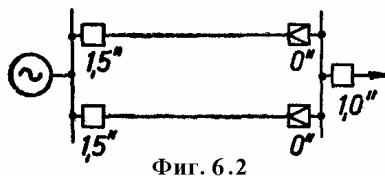
- При к.с. в електропровод I заработват токовете релета на всички защиты. Най-бързи са защитите на прекъсвачите 3 и 3' (0 s) и не се знае, кой от двата ще изключи.
- При к.с. в електропровод II най-бързи са отново 3 и 3' и ще изключат неселективно.
- При к.с. в електропровод III се повтарят проблемите от к.с. в електропровод I.

Посочността на защитите е означена на схемата от фиг. 6.1 като ъгълчета в самите прекъсвачи, показващи разрешената посока на действие – от шини към електропровод.

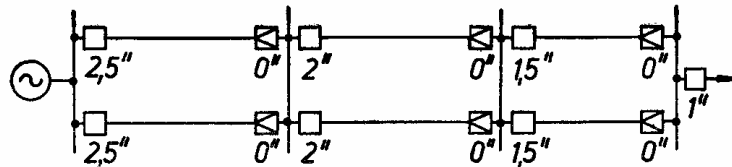
При наличие на посочни релета действието на защитите става селективно:

- При к.с. по електропровод I защитите от дясната страна към прекъсвачите 2 и 3 са блокирани. Остават да действат 3', 2' и 1', като очевидно защитата към 3' ще изключи първа селективно. От лявата страна след 1 s ще изключи прекъсвачът 1.
- При к.с. по електропровод II защитите с най-малко закъснение 3 и 3' са блокирани от посочните релета. Остават да се сравняват защитите към 2 и 1 от ляво и 2' и 1' от дясно. Селективно ще работят 2 и 2' след 0.5 s.
- При к.с. по електропровода III селективно ще изключат прекъсвачите 3 и 1', защото защитите 2' и 3' са блокирани.

По аналогичен начин се показва селективното действие на посочните токови защиты при затворени мрежи, защитени от една страна и при паралелни електропровода или трансформатори, защитени от една страна (фиг. 6.2 и фиг. 6.3).



Фиг. 6.2



Фиг. 6.3

Схемата на разглежданата защита трябва да съдържа токови релета Т, посочни релета М и релета за време В. Принципно свързване за една фаза е показано на фиг. 6.4. Токовото реле играе роля на пусково реле и настройката му се пресмята както при МТЗ по (4.7) и (4.9). Релето за време се настройва по насрещния стъпален принцип. Посочното реле М освен по номинални параметри се избира и по оптимален ъгъл $\varphi_{Mч} = -\alpha$ (2.2).

Фиг. 6.5 показва по-подробно ъглите, които имат значение при избор на едно посочно реле.

Дефинира се “ъгъл на схемата φ_{cx} “, който представлява ъгъла между напрежението и тока, подавани на релето от измервателните трансформатори в една трифазна система, ако веригата има активен характер. Разнообразието на възможни ъгли на схемата е голямо: между фазен ток и фазно напрежение на едноименни фази; между фазен ток и фазно напрежение на различни фази; между линейно напрежение и фазен ток и т.н. На фигурата е показан ъгълът $\varphi_{cx} = +90^\circ$ между линейното напрежение U_{BC} и тока I_A , ако веригата беше активна и той съвпадаше с напрежението U_A . Много често се използва ъгъл $\varphi_{cx} = 0^\circ$ между фазен ток и фазно напрежение на едноименни фази.

Ъгълът на к.с. φ_{kc} е винаги отрицателен при приетата положителна посока, обратна на посоката на часовниковата стрелка. Той има стойности в границите от 60° до 85° в зависимост от номиналното напрежение на електропровода.

Реалният ъгъл между напрежението и тока, подавани при к.с. към посочното реле е φ_p .

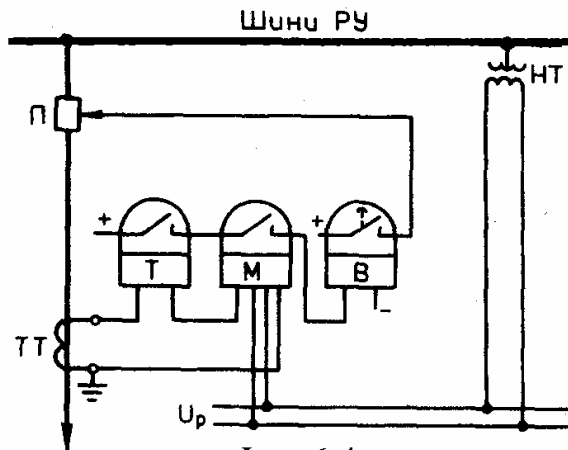
Ъгълът на максималната чувствителност на релето $\varphi_{мч}$ се съгласува с φ_p така, то да работи при оптимални условия. Например, релето е електромеханично и има въртящ момент, описван с израза

$$(6.1) \quad M_{ep} = k \cdot U_p \cdot I_p \cdot \cos(\varphi_p + \alpha),$$

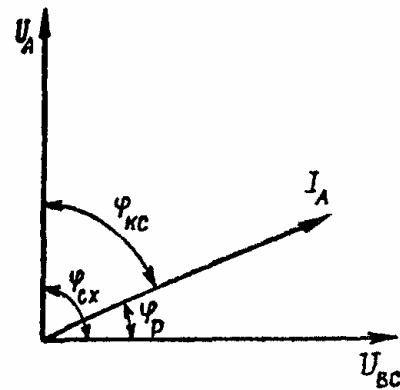
където ъгълът α зависи от конструкцията и параметрите на релето.

Оптималните условия са при $\cos(\varphi_p + \alpha) = 1$ и ще бъдат валидни за реле с ъгъл

$$(6.2) \quad \alpha = -\varphi_p = -\varphi_{мч}.$$



Фиг. 6.4



Фиг. 6.5

Произвеждат се посочни релета с различни ъгли на максимална чувствителност. При електронните релета има възможност за направа на посочни органи с регулируем в широки граници ъгъл на максималната чувствителност. Ъгълът на късото съединение $\varphi_{кc}$ зависи от мястото на защитата в ЕЕС и не може да се избира. Може да се избира комбинацията от ъглите $\varphi_{кc}$, $\varphi_{сх}$ и $\varphi_{мч}$ така, че релето да работи оптимално. Всеки ъгъл има собствен знак, който се отчита при сумирането. Отчита се и фактът, че при к.с. през дъга ъгълът на к.с. намалява.

7. Характеристики на цифровите защиты. Структура

Статичните защиты, базирани на транзистори, операционни усилватели и интегрални схеми имат по-добри качества от електромеханичните, но не се развиха 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.

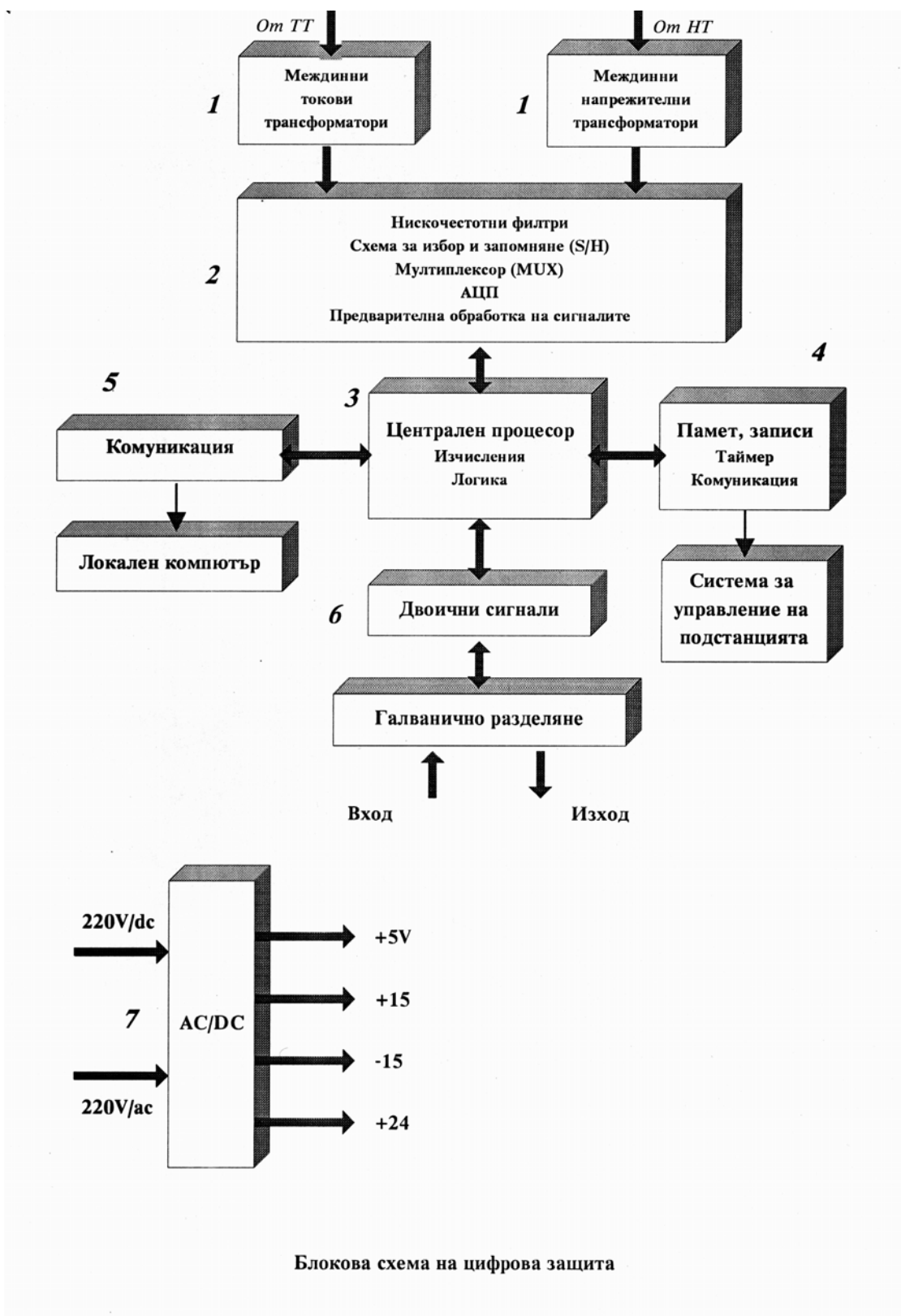
Терминът "РЕЛЕЙНА ЗАЩИТА" остава само поради традицията.

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 сегашно произвеждани 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 съгласувана скорост за обмен на данни и формати за записване с централната информационна система на съответната подстанция.
6. Дигиталните 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, предшествващи 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.
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. РС-та 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
10. **Всеки самостоятелен блок има самостоятелно измерване на входни величини и регистрация на събитията.**
11. **Настройването и проверката в експлоатационни условия може да се извършва с компютъризирана изпитвателна 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.
12. **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.)
13. **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.
14. 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-диоди или течни кристали запомнят информация за състоянието на релето, даже в случай на отпадане на постоянното оперативно напрежение.
15. 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.
16. Всички базирани на микропроцесори релета отговарят на **изискванията на IEC** 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.
17. Необходимостта от **висока квалификация на персонала** се прехвърля към производителя. Експлоатацията е организирана лесно и нагледно.
18. **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.

Структура на цифрова защита



Блокова схема на цифрова защита

Означения в блоковата схема на цифрова релейна защита (фиг. 7.1)

(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

7SJ612^x-*B

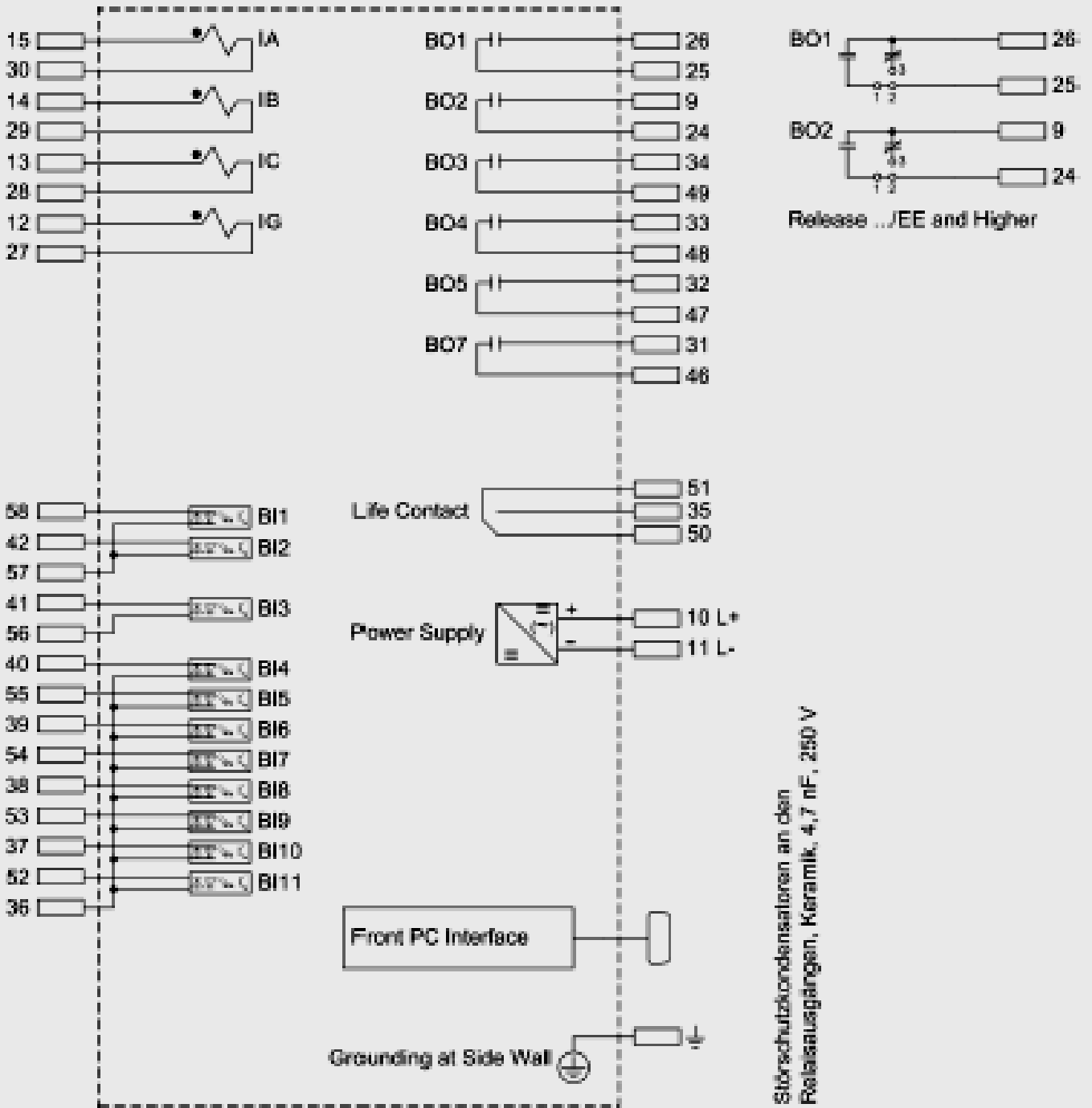


Figure A-6 Connection diagram for 7SJ612^x-*B (panel surface mounted)

Фиг. 7.2. Схема на свързване на цифрова токова защита тип 7SJ61_ на Сименс

Примерен списък на тестове за една цифрова защита

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	Високочестотен 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, $R_i = 150$ до 200Ω
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, двата поляритета; продължителност 2 s, $R_i = 80 \Omega$
12.3.13	Смущения от електромагнитна радиация ANSI/IEEE C37.90.2	35 V/m; 25 до 1000 MHz; амплитудно и импулсно модулирани
12.3.14	Затихваща вълна IEC 60694 / IEC 61000-4-12	2.5kV(макс. стойност, алтернативна поляризация) 100 kHz, 1 MHz, 10 и 50 MHz, $R_i = 200 \Omega$

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 B
12.4.3	Съпротивление на полето на радио смущения	30 до 1000 MHz Граничен клас B

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 to 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 to +85 °C
14.1.2	Временно разрешена работна температура, проверка за 96 h	-20 °C to +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 to +55 °C -25 °C to +55 °C -25 °C to +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

8. Защити срещу еднофазни къси съединения в системи с ефективно заземена неутрала

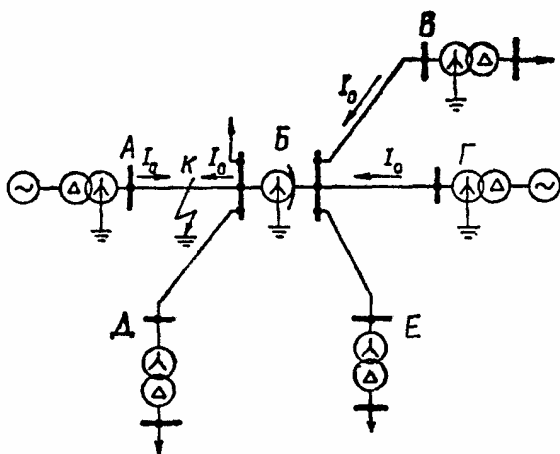
8.1. Земни съединения

При трифазните к.с., както и в нормален режим токовете в трите фази са еднакви по големина и дефазирани симетрично на 120°. Поради това тяхната геометрична сума, т.е. токът с нулева последователност $3I_0$, е равна на нула. При двуфазни к.с. в двете засегнати фази протичат токове, които са еднакви по големина и са дефазирани на 180°. Тяхната геометрична сума също е равна на нула. Следователно при всички междуфазни к.с. геометричната сума на токовете е винаги равна на нула.

При всички з.с. токът на повредата $I_{зс}$ протича само през повредената фаза и се затваря през земята. Неговата стойност представлява тока с нулева последователност:

$$(8.1) \quad I_{зс} = 3I_0.$$

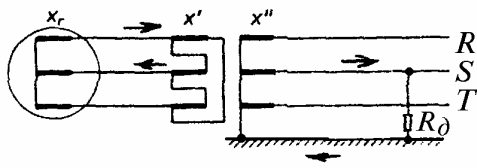
В системите с ефективно заземена неутрала повредите към земя водят до протичане на токове от порядъка на токовете при междуфазни к.с. и затова е прието да се наричат “еднофазни къси съединения – 1 ф.к.с.”. За различаване – повредите към земя в системите с неефективно заземена неутрала, където токовете към земя са значително по-малки, е прието да се наричат “еднофазни земни съединения – 1 ф.з.с.”.



Фиг. 8.1

В трифазните системи пътищата на токовете с нулева последователност се различават от пътищата на токовете с права и обратна последователност. Токовете с нулева последователност се разпростират до заземената страна на трансформаторите, независимо от това, дали от отсрещната страна на трансформаторите има източник на захранване или не (фиг. 8.1). Отделите по режими на ЕЕС определят текущо неутралите на кои трансформатори ще работят заземени. Текущо ще се определят и настройките на земните защиты. Задължително се заземяват например неутралите на блочните трансформатори в централите и всички автотрансформатори. На фиг. 8.1 еднофазното к.с. е в точка K и токове текат към него само от трансформаторите в A , B и G .

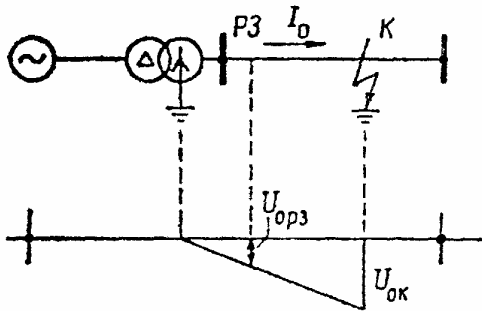
Трансформаторите със схеми на свързване “звезда-триъгълник” и “триъгълник-звезда” променят векторните диаграми преди и след тях. На фиг. 8.2 се вижда, че ако еднофазното к.с. е на



Фиг. 8.2

страната “звезда” и токът там е единичен вектор (права, обратна и нулева последователност), то на страната “триъгълник” токовете са два еднакви по големина и обратни по посока вектора (само права и обратна последователност). Нулевата последователност “не преминава” през такъв трансформатор.

Напрежението с нулева последователност е най-голямо в мястото на повредата (фиг. 8.3) и защитата получава толкова по-малко напрежение $3U_0$, колкото еднофазното к.с. е по-отдалечено от нея, за разлика от остатъчното напрежение при междуфазно к.с.



Фиг. 8.3

8.2. Земна защита

За защита от 1 ф.к.с. се използва многостъпална посочна токова защита на токове и напрежения с нулева последователност (фиг. 8.4). Тя се състои от общо посочно реле $1M$, мигновена токова отсечка ($2T$) – първо стъпало, токова отсечка със забавяне ($3T$ и $5B$) – второ стъпало и токова защита, отстроена от небалансирания ток при симетрично к.с. ($4T$ и $6B$) – трето стъпало. Настройването на

релетата $2T$ и $3T$, както и на релето за време $5B$ е показано на фиг. 8.5.

Релетата $2T$ към защитите на прекъсвачите $П1$ и $П2$ се настройват като ТО по токовете на външно 1 ф.к.с. в края на електропроводите, а означенията са според фиг. 8.5:

$$(8.2) \quad \begin{cases} I_{зр. 2T}^{П1} = k_{cI} \cdot I_{вкс 1}; \\ I_{зр. 2T}^{П2} = k_{cI} \cdot I_{вкс 2}. \end{cases}$$

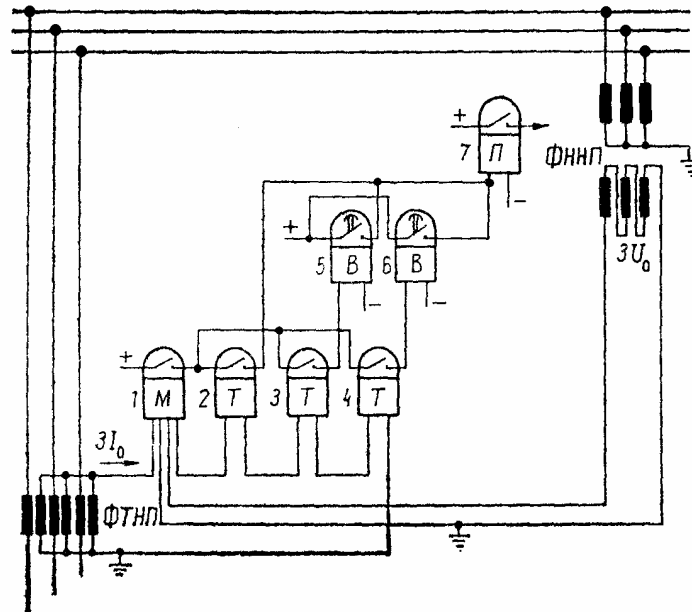
Коефициентът на сигурност за първото стъпало $k_{cI} = 1.2 \div 1.3$ и предпазва релето $2T$ от неселективно действие при 1 ф.к.с. в началото на следващия електропровод. Създават се неизбежните за ТО мъртви зони: AB за релето $2T$ към $П1$ и $ГД$ за релето $2T$ към $П2$.

Основно изискване е първото стъпало да защитава $15 \div 20\%$ от дължината на електропровода. Когато това условие не е изпълнено, първото стъпало не се използва като стъпало без закъснение.

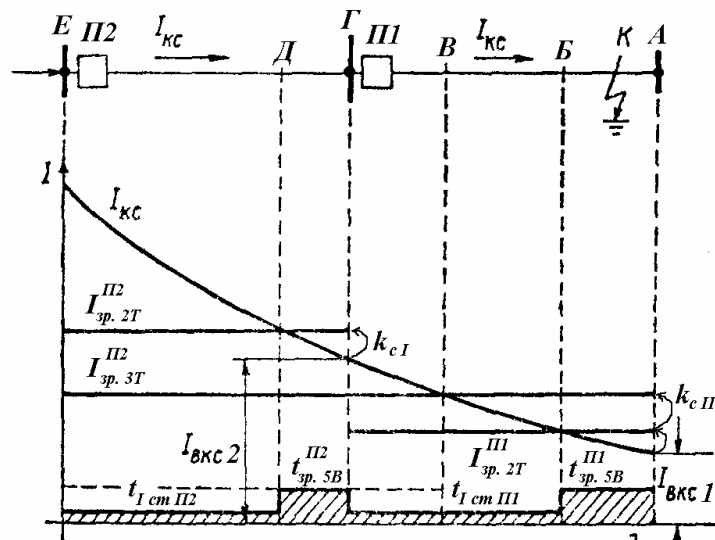
Вторите стъпала на ТО, релетата $3T$ и $5B$, трябва да обхванат мъртвите зони на релетата $2T$ и шините на захранваната от извода подстанция. Отстроят се от първите стъпала на следващите електропроводи. Това се постига като токовото реле $3T$ на прекъсвача $П2$ има ток на заработване

$$(8.3) \quad \begin{cases} I_{зр. 3T}^{П2}, \text{ който е } k_{cII} \text{ пъти по голям от тока } I_{зр. 2T}^{П1}; \\ I_{зр. 3T}^{П2} = k_{cII} \cdot I_{зр. 2T}^{П1}, \end{cases}$$

където $k_{cII} = 1.1 \div 1.2$ е коефициентът на сигурност за второто стъпало.



Фиг. 8.4



Фиг. 8.5

Релето за време $5B$ има минимално забавяне например 0.5 s и предпазва релето $3T$ на $П2$ да не изпревари $2T$ на $П3$ в участъка $ВГ$, където тези две токови релетата са заработили едновременно. Релетата за време $5B$ в различните електропроводи не се съгласуват помежду си и затова винаги имат еднакво минимално закъснение.

Критерий за това дали второто стъпало изпълнява успешно ролята си, според практиката в нашата ЕЕС, е неговият коефициент на чувствителност

$$(8.4) \quad k_{ч II}^{П2} = \frac{I_{вкс \min}^{(1)}}{I_{зр 3T}^{П2}} \geq 1.5.$$

Двете стъпала на токовата посочна защита при 1 ф.з.с. имат добра сигурност и чувствителност, тъй като кривата на тока на 1 ф.к.с като функция на мястото на повреда се спуска стръмно, по-стръмно от аналогичната крива при междуфазни к.с. ($Z_0 \approx 3Z_1$).

Третото стъпало $4T$, $6B$ има резервиращи функции. Токовото реле се отстроява от небалансирания ток при външно трифазно к.с., а релето за време се настройва по насрещния стъпален принцип.

Токът на заработване

$$(8.5) \quad I_{зр.4T} = k_c \cdot I_{нб.мах}$$

където $k_c = 1.3 \div 1.5$;

$I_{нб.мах}$ - максималният небалансиран ток.

Емпиричната формула за небалансирания ток е:

$$(8.6) \quad I_{нб.мах} = k_{зр} \cdot k_{еднаквост} \cdot k_{ан} \cdot I_{вкс.мах}^{(3)}$$

Коефициентът на грешката $k_{зр} = 0.1$ се определя от допустимата 10%-на грешка на ядрата на ТТ, които работят съвместно с релейните защиты. Коефициентът на еднаквост на ТТ се приема сравнително нисък ($k_{еднаквост} = 0.25$), защото трите ТТ, които образуват филтъра за ток на нулевата последователност ФТНП са еднотипни, от един производител, дори от една и съща партида и работят при еднакви условия. Коефициентът на апериодичната съставка се приема $k_{ан} = 1.7$, а не $k_{ан} = 2$, както е при диференциалните защиты. Става така, че

$$(8.7) \quad I_{нб.мах} = 0.1 \cdot 0.25 \cdot 1.7 \cdot I_{вкс.мах}^{(3)} = 0.0425 \cdot I_{вкс.мах}^{(3)}$$

Небалансиран ток от 4.25% и ток на заработване на релето 4Т

$$(8.8) \quad I_{зр.4T} = 1.2 \cdot I_{нб.мах} = 0.051 \cdot I_{вкс.мах}^{(3)}$$

налагат прецизност на изчисленията и настройването при големите кратности $[(20 \div 30) \cdot I_H]$ на токовете при 1 ф.к.с. Посочените коефициенти са според практиката на нашата ЕЕС.

Коефициентът на чувствителност на третото стъпало е

$$(8.9) \quad k_{\chi} = \frac{I_{к.с. \min}^{(1)}}{I_{зр.4T}} \geq 1.5,$$

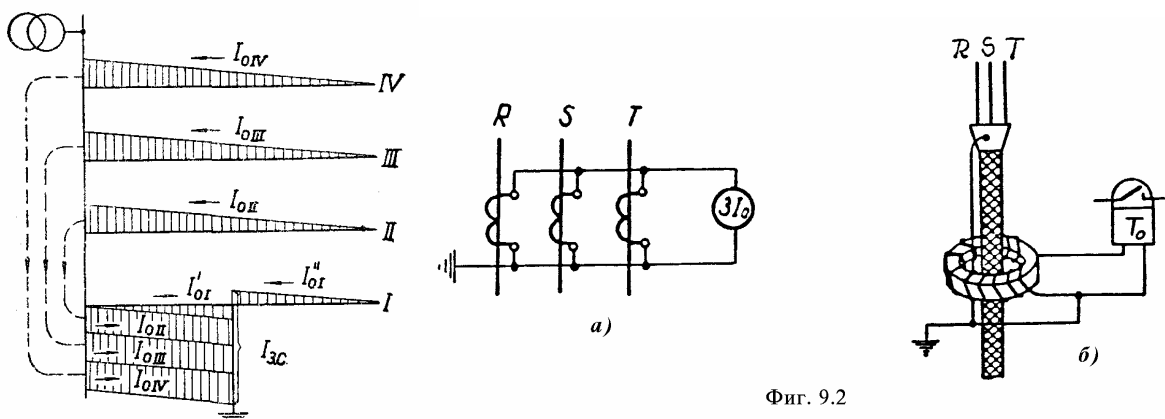
пресметнат за всички следващи електропроводи или поне за по-голяма част от тях.

9. Защити срещу еднофазни земни съединения в системи с неефективно заземена неутрала

Режимът неефективно заземена неутрала се отнася за мрежи с изолирана, заземена през гасителен реактор ГР (компенсирана), заземена през неголяма активно съпротивление или заземена по комбиниран начин неутрала. Токът при еднофазно земно съединение (1 ф.з.с.) е до 500 А. В общия случай такава мрежа може да работи с 1 ф.з.с. до 2 часа. В сравнение с к.с. тези токове са малки и възникват проблеми при селективното откриване на извода с повреда. Основно за земните защиты тук, както и при земните защиты при 1 ф.к.с. е използването на токовете и напреженията с нулева последователност $3I_0$ и $3U_0$.

9.1. Мрежи с изолирана неутрала

В мрежите с изолирана неутрала токът на з.с. се обуславя от капацитивната проводимост на



Фиг. 9.2

Фиг. 9.1

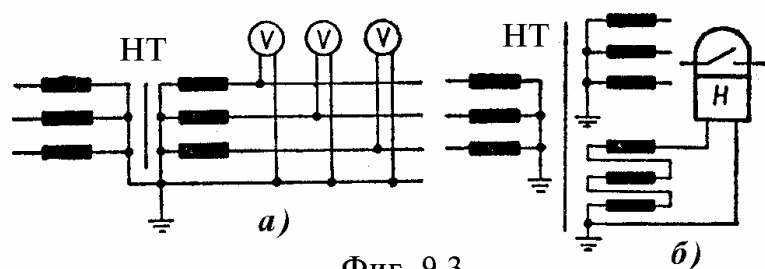
проводниците спрямо земя. Това е един разпределен параметър на линията и графичното му предс-

тавяне се прави както е показано на фиг. 9.1. В здравите присъединения токът $3I_0$ се определя от собствения капацитет, а посоката му е от извод към шинна система (условно отрицателна посока). В повредения извод протича сумата от токовете на здравите, а посоката е от шини към електропровод (условно положителна посока). Такива условия предполагат прилагане на токова или посочна токова защита, използващи като входни величини $3I_0$ и $3U_0$. Токовете и напреженията се получават от филтри за тока (ФТНП) и филтри за напрежението на нулева последователност (ФННП).

На фиг. 9.2 са показани схеми на филтри за нулева последователност, които сумират геометрично токовете в трите фази. Схемата от фиг. 9.2а се състои от три еднакви еднофазни ТТ. Вторичните им намотки са съединени паралелно и през товара им протича геометричната сума на тези токове, която е равна на тока $3I_0$.

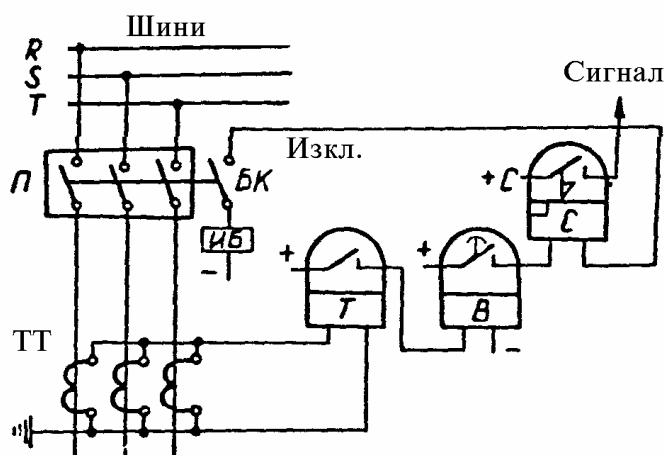
За кабели се използват специални трансформатори за токове с нулева последователност тип Феранти. Магнитопроводът на тези трансформатори обгръща кабела и сумира магнитното поле на кабелните жила (фиг. 9.2б). Първичната намотка на трансформатора има само една навивка и това е самият кабел, а вторичната е навита на магнитопровода.

Както вече бе посочено в практиката е прието за еднофазни к.с. да се говори при повредите към земя в системите с директно заземена неутрала и голям ток при еднофазна повреда (мрежите с напрежение 110 kV, 220 kV, 400 kV и т.н.). Еднофазните повреди към земя в системите с малък ток при еднофазна повреда (изолирани, компенсирани мрежи и мрежи, заземени през неголямо активно съпротивление) се наричат еднофазни з.с.



Фиг. 9.3

Специфичен за земните съединения вид сигнализация е неизбирателната земна контрола (фиг. 9.3). С три волтметра (фиг. 9.3а), три електрически крушки с работна напрежение, равно на линейното или с реле за напрежение, включено към намотката “отворен триъгълник” на напрежителния измервателен трансформатор се получава сигнал при всяко з.с. по обектите, свързани към конкретната шинна система. Персоналът открива присъединението със з.с. чрез последователно изключване и включване на изводите. Известна е повредената фаза, но не е известен изводът със з.с. и това дава наименованието на схемата. Ако се използват електрически крушки между всяка фаза и земя, в нормален режим трите крушки светят еднакво, захранвани от симетричните фазни напрежения. При з.с. в някоя фаза нейното напрежение намалява до нула и съответната крушка изгасва. Две-



Фиг. 9.4

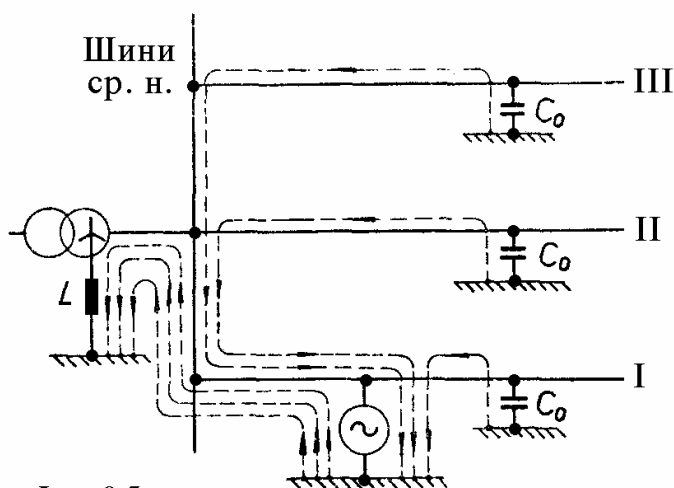
те здрави фази получават линейно напрежение и техните крушки светят по-силно. Крушките могат се заместят с волтметри или релета за напрежение.

На фиг. 9.4 като пример е посочена токова защита срещу еднофазни к.с. Токовото реле T получава тока $3I_0$ само при еднофазно к.с. и играе роля на пусково реле. Ако повредата трае повече от настройката на релето за време B се подава импулс за изключване на прекъсвача. Настройката на токовото реле трябва да бъде по-висока от собствения капацитивен ток на присъединението и по ниска от сумарния капацитивен ток на неповредените присъединения, като се отчита и ударния ток в преходния процес на з.с.

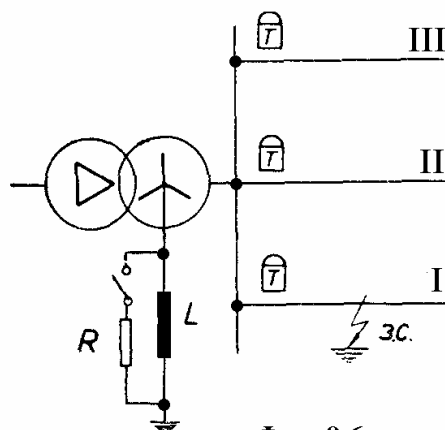
Селективни защиты срещу еднофазни з.с. в мрежите средно напрежение се постигат трудно поради малките токове на з.с. Съществено влияние оказва наличието на преходно съпротивление в мястото на з.с., често променящата се конфигурация на разпределителните мрежи, преходния процес и т.н. Най-добри резултати са постигнати при цифровите защиты, които откриват извода с повреда по посоката на капацитивната компонента на тока на з.с.

9.2. Компенсирани мрежи

Целта на компенсацията – минимизиране на тока в мястото на з.с. чрез гасителен реактор ГР (фиг. 9.5), прави задачата на селективната земна защита по-трудна, в сравнение в тази при мрежите изолирана неутрала. Използва се неизбирателната земна контрола, въпреки недостатъка ѝ. При цифровите защиты се реализира функция на посочна токова защита, която използва активната компонента на тока на з.с. Тази компонента има много малка стойност (4÷6 % от капацитивния ток на з.с.) и се налага защитата да бъде особено чувствителна, а алгоритъмът ѝ да отчита преходните съставки, променливата конфигурация на мрежата и т.н.



Фиг. 9.5



Фиг. 9.6

9.3. Заземяване на неутралата през неголямо активно съпротивление

Големината на активното съпротивление, включено между неутралата и “земя” се подбира според напрежението на мрежата така, че токът при з.с. да бъде достатъчен за селективно действие на токова защита от типа, показан на фиг. 9.4, например 200А. Такъв ток ще протече в извода с повреда, а в здравите присъединения ще протича собственият им капацитивен ток на нулева последователност. По този начин се решава проблемът за селективността на защитата и редица проблеми на пренапреженията при з.с.

9.4. Комбинирано заземяване на неутралата през гасителен реактор и неголямо активно съпротивление

Съчетаване на предимството на компенсацията (възможност за самостоятелно ликвидиране на преходни з.с.) и на заземяването на неутралата през неголямо активно съпротивление (лесно постигане на селективност за земните защиты) се получава чрез схемата от фиг. 9.6.

Нормално резисторът е изключен и мрежата работи като компенсирана. При з.с. са възможни два варианта: а) преходна повреда, изгасване на дъгата и възстановяване на нормалната работа и б)

трайна повреда: изчаква се $0.5 \div 1$ s и резисторът се включва; токът на земно съединение нараства на около 200 A; МТЗ на тока $3I_0$ изключва селективно извода с повреда.

10. Дистанционни защиты

10.1. Импедансно реле с централна характеристика, изпълнено чрез схема за сравняване на две електрически величини

Реле, на което работната величина A_1 зависи само от тока I , а спирачната A_2 - само от напрежението U , е показано на фиг. 10.1а. Токът от токовия трансформатор на фаза R се прокарва през едно неголямо съпротивление R_r (0.1Ω при $I_H = 5$ A или 0.5Ω при $I_H = 1$ A) и към изправителя за работната величина се подава през Т1 напрежение, пропорционално на тока. Напрежението от напреженовия трансформатор през редица съпротивления (обобщено показани с R_i) и Т2 се подава към изправителя за спирачната величина.

Условието за заработване добива вида

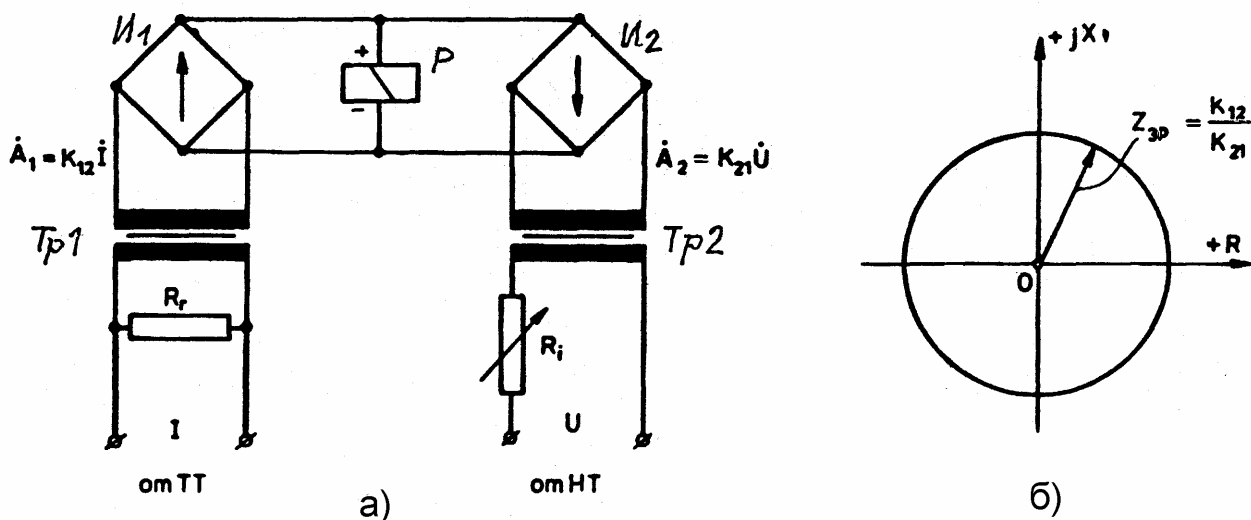
$$(10.1) \quad |K_{12} \cdot I| = |K_{21} \cdot U|,$$

откъдето

$$(10.2) \quad Z_{зп} = \frac{U}{I} = \frac{|K_{12}|}{|K_{21}|} = const.$$

Фазовата разлика между напрежението и тока в този случай няма никакво значение и геометричното място на точките $Z_{зп}$ представлява окръжност с център в началото на координатната система и радиус, равен на големината на отношението K_{12}/K_{21} (фиг. 10.1б).

Регулирането на съпротивлението на заработване $Z_{зп}$ при това реле става чрез активните съпротивления R_i във веригата на спирачната величина, т.е. чрез големината на коефициента пред напрежението K_{21} .



Фиг. 10.1

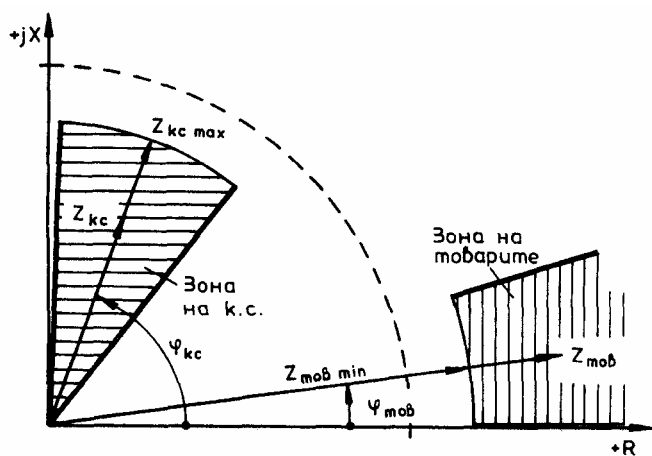
Бележка: Импедансни релета са създавани и на индукционния принцип, както и на базата на аналогова техника. В сегашния етап на развитие на релейните защиты съществуват защиты, чиито импедансни релета са изпълнени чрез схеми за сравняване на две електрически величини, а всички нови решения са цифрови.

10.2. Принцип на дистанционната защита

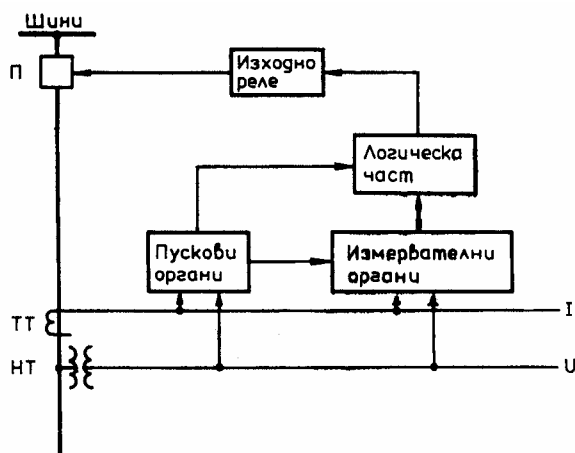
Дистанционната защита дава по-големи възможности от токовата и посочно токовата защита за постигане на селективност и бързодействие при мрежи с всякаква конфигурация, а за разлика от диференциалните защиты може да осъществява далечно резервиране на съседните присъединения.

Основна функция, която осъществява дистанционната защита е непрекъснатото измерване на отношението на напрежението и тока, т.е. на импеданса. Импедансът е пропорционален на разстоянието до мястото на повредата и това дава наименованието на защитата – дистанционна.

Измерваният в началото на линията импеданс характеризира точно нейното състояние. При празен ход на електропровода импедансът клони към безкрайност. В нормален режим се измерва съпротивлението на товара заедно със съпротивлението на захранващата го до мястото на дистанционната защита линия. При к.с. участва само съпротивлението на линията от защитата до к.с. Разликата в големините и фазите на тези вектори е значителна (8.2) и гарантира сигурността и чувствителността на дистанционните защиты.



Фиг. 10.2. Различия между импеданса на максималния товар и импеданса при отдалечено к.с.



Фиг. 10.3. Блокова схема на дистанционна защита

Дистанционните защиты имат сложна схема, която съдържа освен импедансните релета още и релета за посока, за време, редица блокировки и помощни релета. Тук се разглежда една блокова схема (фиг. 10.3), която съдържа:

- Пускови органи.** Това са токови или импедансни релета, чиято задача е да се различи или по нарастване на тока, или по намаляване на големината на непрекъснато измерваното съпротивлението, нормалният режим от късото съединение и да пусне защитата само при авария.
- Измервателни органи.** Това са дистанционни релета, които са настроени да заработят, когато измерваното съпротивление спадне под определена граница – импеданс на заработване $Z_{зр}$.
- Логическа част.** Тя съдържа: реле за време; посочно реле; помощни релета, които извършват редица превключвания и логически функции; блокировка против неправилно действие на защитата при изгаряне на предпазители в напрежителната верига; сигнализация при липса на

оперативно напрежение; блокировка против неправилно действие на защитата при люлеене в ЕЕС; АПВ и др.

- d) **Исходно реле.** Това е обикновено електромагнитно реле от клапанен тип с подходяща комутационна способност на контактите.

Особеност на прилагането на дистанционните защиты е разликата в изпълнението им за прекъсвачи с трифазно и с пофазно действие. В първия случай се използват едносистемни защиты, които изработват един изключвателен сигнал независимо от вида на к.с. и изключват трите фази едновременно. В България такива са прекъсвачите за 110 kV. Прекъсвачите 220kV и по-високите напрежения имат пофазно управление и за всяка фаза има самостоятелен комплект дистанционна защита.

Измереният от дистанционната защита импеданс е различен при междуфазна повреда и при повреда, свързана със земя. Тя обаче трябва да реагира по един и същ начин, когато повреда е на едно и също място независимо от вида на повреда. За целта схемата ѝ се реализира така, че при повреда към земя измервателният орган да получава информация за тока с нулева последователност и за съответния фазен ток, а при междуфазна повреда – само фазните токове на повредените фази. Изгражда се схема за избор на повредената фаза. На фиг. 10.4 е показан изразът за фаза R , доказващ какъв ток и какво напрежение трябва да се подаде на защитата, за да измерва един и същ импеданс, отговарящ на импеданса на правата последователност Z_1 и пропорционален на разстоянието до мястото на повреда. Започва се от възможността всяко от напреженията в трифазната система да се представя като сума от съставките с права (индекс 1), обратна (индекс 2) и нулева (индекс 0) последователност. Използва се и фактът, че при електропроводите импедансите на правата и обратната последователност са еднакви ($Z_1 = Z_2$). Чрез израза за сумата на токовете се елиминира токът с обратна последователност I_{R2} . Изкуствено се извежда пред скоби импедансът на правата последователност Z_1 и в скобите остава израз за тока, който ако се подава на импедансното реле заедно с фазното напрежение U_R ще даде възможност да се изчисли точно търсената стойност за Z_1 . Токът има две съставки: реалният ток на фазата I_R и утроеният ток с нулева последователност $3I_{R0}$, коригиран с така наречения “земен фактор” f_E . Земният фактор държи сметка за съотношението на импедансите с права и нулева последователност на защитавания електропровод.

$$\dot{U}_R = \dot{I}_{R1} \cdot Z_1 + \dot{I}_{R2} \cdot Z_2 + \dot{I}_{R0} \cdot Z_0;$$

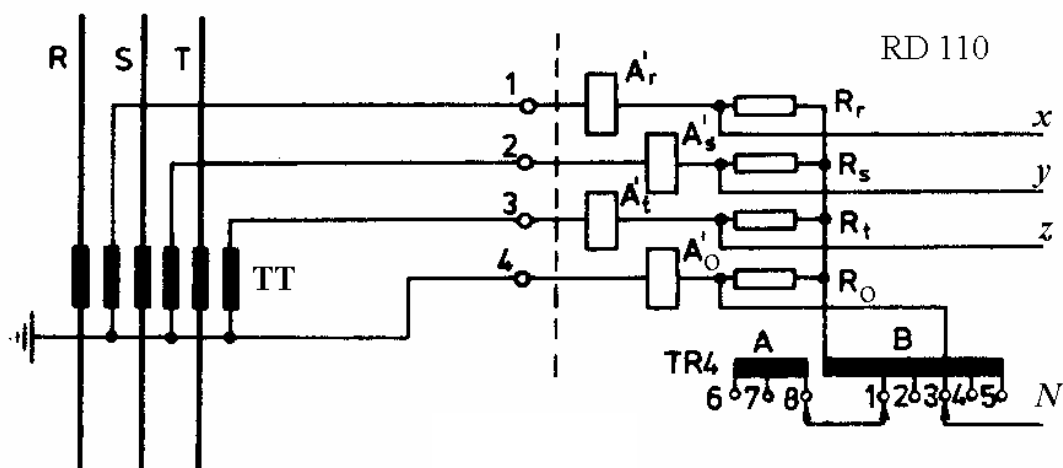
$$Z_1 = Z_2; \quad \dot{I}_R - \dot{I}_{R0} = \dot{I}_{R1} + \dot{I}_{R2};$$

$$\dot{U}_R = Z_1 \left(\dot{I}_R + \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} \cdot 3\dot{I}_{R0} \right) = Z_1 \left(\dot{I}_R + f_E \cdot 3\dot{I}_{R0} \right);$$

$$f_E = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1};$$

$$U_{\text{реле}} = \dot{U}_R; \quad I_{\text{реле}} = \dot{I}_R + f_E \cdot 3\dot{I}_{R0}.$$

Фиг. 10.4. Постигане на точно измерване на импеданса и при междуфазно, и при еднофазно к.с.



Фиг. 10.5. Токови вериги на дистанционната защита RD110

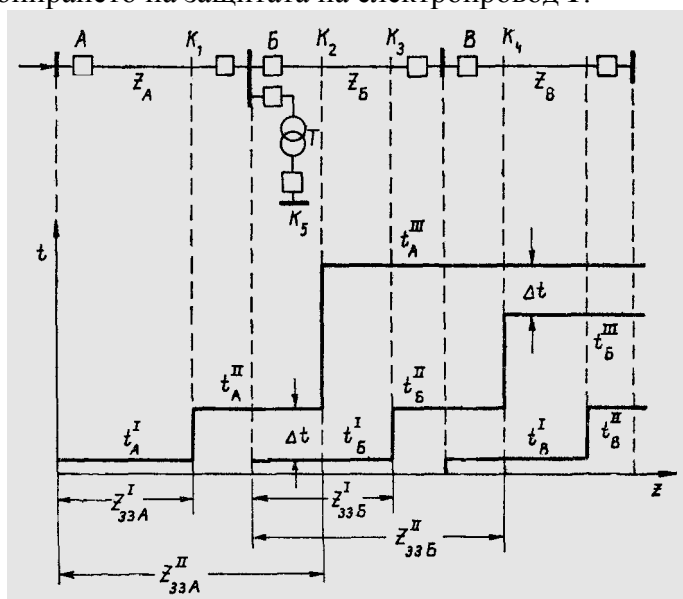
На фиг. 10.5 е показано реализирането на израза $I_{реле} = I_R + f_E \cdot 3I_{R0}$ в дистанционната защита RD110. Токовете се преобразуват в напрежения, пропорционални и във фаза с тях чрез резистори R_r , R_s , R_t и R_0 (стойността им е части от ома). Падът $3I_0 \cdot R_0$ се подава към автотрансформатора TR4, с който се симулира коефициента f_E . Между точките x и N се формира пад, пропорционален на израза $I_{реле} = I_R + f_E \cdot 3I_{R0}$.

Пускови органи

Токовите пускови органи се настройват като токовите релета на МТЗ. Много често те не отговарят на изискванията за сигурност и чувствителност и се преминава към по-сложните импедансни пускови органи. Последните не трябва да заработват и при най-големите, но допустими товари и да имат достатъчна чувствителност при к.с. в края на защитаваната зона и минимален режим на ЕЕС.

Измервателни органи

Настройването и действието на измервателните органи на дистанционната защита се показва за случай на няколко последователно свързани електропровода (фиг. 10.6), снабдени с такива защити. Разглежда се функционирането на защитата на електропровод I.



Фиг. 10.6

Настройката на измервателното реле на дистанционната защита се променя на стъпала под въздействието на програмирано превключване на релето за време. В нормален режим на защитаващия електропровод настройката на релето за време е 0 s, а на измервателното дистанционно реле – 85% от импеданса (дължината) на защитаващия електропровод. Ако к.с. е в тази първа зона, защитата изключва без нарочно забавяне (за около 0.1 s).

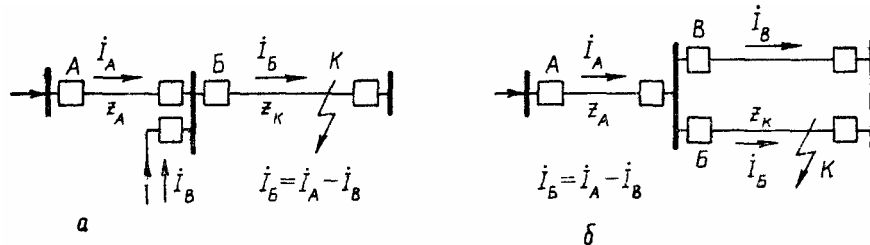
Ако пусковите органи работят, което значи, че някъде има повреда, но защитата не заработи без закъснение, то релето за време след време $\Delta t = 0.6$ s предизвиква превключвания, които увеличават обхвата на измервателното реле. Тази негова втора зона включва вече цялата дължина на защитаващия електропровод, шинната система и част от дължината на следващия. Ако к.с. е в последните 15% от електропровод I , то след 0.6 s неговият прекъсвач ще изключи.

При к.с. в началото на електропровод 2 ще заработят две защиты - на 1 и на 2 . Защитата на електропровода на 2 ще изключи без закъснение с първата си зона, а защитата в 1 ще се върне. Ако защитата в 2 по някаква причина откаже, то след 0.6 s като резервна ще изключи защитата 1 .

Защитата 1 действа като основна само при к.с. в електропровод 1 , изключвайки повредите в първите 85% от дължината без забавяне, а останалите 15% - с минималното забавяне от 0.6 s. За повредите в електропровода 2 и по-нататък защитата 1 играе роля на резервна, като нейните настройки се съгласуват с другите защиты.

Ако к.с. не се изключи и след 0.6 s, а пусковите органи продължават да работят, то след още 0.5 s измервателното реле ще разшири автоматично още един път обхвата си, търсейки повредата. Това е ново резервно действие на защитата 1 . Ако к.с. не е и в тази трета зона, се разчита на обхвата на пусковите органи, които с още по-голямо закъснение ще изключат регистрираната от тях повреда.

Първата зона на дистанционната защита се настройва единствено съобразно защитаващия електропровод и не зависи от конфигурацията на системата, т.е. от присъединенията към следващата подстанция. Втората и следващите зони зависят от конфигурацията на мрежата (фиг. 10.7).



Фиг. 10.7

С помощта на фиг. 10.7а се разглежда поведението на защитата в A при к.с. в т. K . Констанцията е, че защитата измерва по-далечно разстояние от действителното. Дължи се на по-високото измерено напрежение:

$$U_{\text{реле}} = I_A \cdot Z_A + (I_A + I_B) Z_K,$$

$$I_{\text{реле}} = I_A,$$

$$Z_{\text{реле}} = Z_A + \frac{I_A + I_B}{I_A} Z_K$$

ВМЕСТО

$$Z_{\text{реле}} = Z_A + Z_K.$$

Разликата между тока в мястото на късото съединение $I_K = (I_A + I_B)$ и тока през релето $I_{\text{реле}} = I_A$ се дефинира като коефициент на “подпора”:

$$k_p = \frac{I_{\text{к.с.}}}{I_{\text{реле}}} = \frac{I_A + I_B}{I_A} \geq 1.$$

Коефициент на подпора по-малък от единица се получава, когато към следващата шина има паралелни електропроводи и к.с. става по един от тях (фиг. 10.7б). В този случай:

$$U_{\text{реле}} = I_A \cdot Z_A + (I_A - I_B) Z_K,$$

$$I_{\text{реле}} = I_A,$$

$$Z_{\text{реле}} = Z_A + \frac{I_A - I_B}{I_A} Z_K$$

ВМЕСТО

$$Z_{\text{реле}} = Z_A + Z_K.$$

$$k_p = \frac{I_{\text{к.с.}}}{I_{\text{реле}}} = \frac{I_A - I_b}{I_A} \leq 1.$$

При $k_p > 1$ защитата схваща к.с. като по-далечно, няма опасност да се изключи по-далечно к.с. като по-близо и няма опасност да се наруши селективността. Възможно е само да се намали бързодействието.

При $k_p < 1$ защитата схваща к.с. като по-близо и има опасност да се изключи излишно по-далечно к.с. като по-близо и да се наруши селективността.

Коефициентът на подпора се отчита при изчисление на настройките за втора и следващите зони на дистанционните защиты.

Други фактори, които влияят върху настройването и усложняват схемите на дистанционните защиты са:

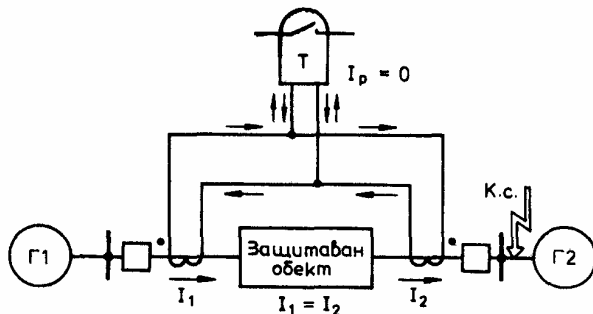
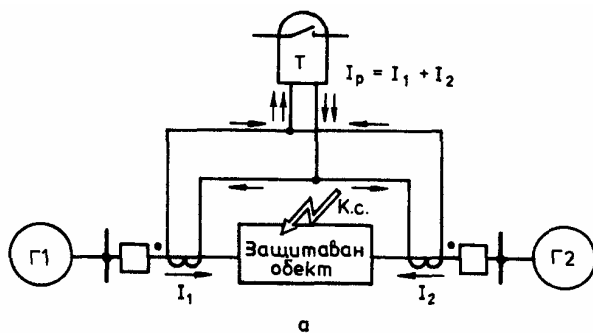
- к.с. през дъга;
- наличие на люлеене в ЕЕС;
- наличие на паралелни електропроводи като по-сложно разклоняване на тока и възможност за проява на взаимната индуктивност между тях при 1 ф.к.с.;
- изгаряне на предпазител или изключване на автомат във веригите на напрежителните измервателни трансформатори;
- наличие на надлъжно компенсиране с кондензатори на дълги преносни електропроводи;
- последователно свързване на много дълги и много къси електропроводи
- наличие на високочестотна връзка между двата края на електропроводите и др.

Дистанционните защиты намират широко приложение срещу всички видове повреди в преносните мрежи с напрежение 110 kV и нагоре. Те изключват селективно и без закъснение близките к.с., със закъснение 0.6 s изключват к.с. в края на защитавания електропровод и резервират защитите на съседните обекти – шини, електропроводи, трансформатори и др. без да имат нужда от информация за тях. Това прави дистанционните защиты незаменими.

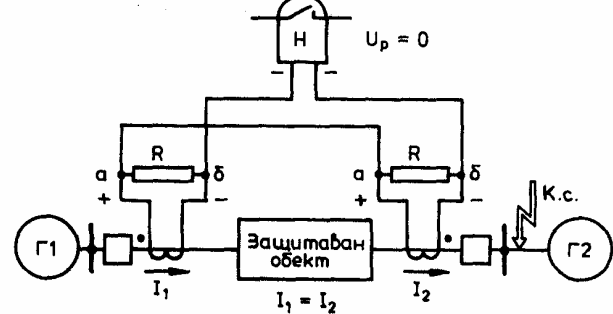
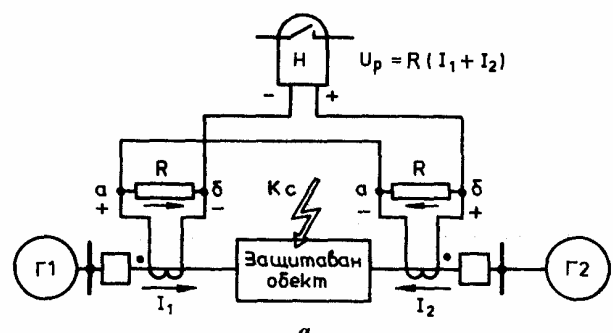
11. Надлъжна диференциална защита

Диференциалната защита реагира на разликата на две еднородни електрически величини (два тока или две напрежения), от където идва и нейното наименование. Разглежда се нейното приложение при защита на електропроводи.

Сравняват се токовете в двата края на защитавания обект, като двата еднакви токови трансформатори (ТТ) и релето се свързват така, че при вътрешно к.с. през релето да преминава сумата от токовете, а при външно к.с. токът през релето (разликата на двата тока) да бъде нула. Получава се т. нар. диференциална схема (фиг. 11.1 и фиг. 11.2). Началата на намотките на трансформаторите са към шините и токовете на вторичната им страна при вътрешно к.с. се сумират в токовото реле Т. Релето заработва и изключва двата прекъсвача. На фиг. 11.1б се вижда, че при външно к.с. двата първични тока са еднакви. Еднакви ще бъдат и вторичните токове, ако ТТ нямат грешки. През релето Т преминават два еднакви тока с обратна посока и резултантният ток I_p е нула. Създава се илюзия, че във вторичната страна на двата трансформатора циркулира един и същи ток, поради което схемата от фиг. 11.1 се нарича "схема с циркулиращи токове".



Фиг. 11.1



Фиг. 11.2

Надлъжна диференциална защита с уравновесени напрежения се получава, ако на всяка фаза в двата края на защитавания обект се поставят ТТ с еднакви преводни отношения и към тях се свържат еднакви неголеми активни съпротивления R (фиг. 11.2). Върху съпротивленията се получат напрежителни падове, пропорционални на вторичните токове. Разглежданата диференциална схема сравнява тези падове. За целта два от краищата на съпротивленията (т. а) се свързват с общ проводник, а другите два края (т. б) се свързват към реле за напрежение H . При вътрешно к.с. това реле се оказва свързано към точки с различен потенциал и заработва, като изключва и прекъсвачите. Напрежението, което се получава е $U_p = R(I_1 + I_2)$, като токовете I_1 и I_2 са токовете на к.с. от двата източника $\Gamma 1$ и $\Gamma 2$. Ако к.с. е външно, то падовете върху съпротивленията R са еднакви и посоката им е такава, че релето за напрежение H се оказва свързано между точки с еднакъв потенциал (фиг. 11.2б) и няма да заработи.

Двата варианта на диференциална защита са равностойни в действието си при вътрешно и при външно к.с. Разликата е в това, че в нормален режим по съединителните проводници при циркулиращите токове винаги тече токът на товара, а при уравновесените напрежения ток не тече. По тази причина втората схема е по-пригодна за защита на електропроводите поради дължината им, а първата - при трансформатори, генератори, шини и двигатели.

В реални условия при еднакви първични токове двата ТТ нямат еднакви вторични токове, особено при к.с. Трансформаторите, макар и еднакви, грешат различно поради различното насищане на магнитопроводите им от тока на к.с. и поради това, че защитата е без закъснение и реагира преди апериодичната съставка на тока на к.с. да е затихнала. Токът през релето, който се получава при еднакви първични токове на ТТ се нарича небалансиран ток $I_{нб}$. Определя се по емпирични формули и зависи от големината на тока на външно к.с. При вътрешно к.с. токовете през релето са достатъчно големи и посочената разлика в ТТ не оказва влияние.

Токът на заработване на надлъжната диференциална защита трябва да бъде по-голям от най-големия очакван небалансиран ток $I_{нб.макс}$

$$(11.1) \quad I_{зр} = k_c \cdot I_{нб.макс},$$

където k_c е по-голям от единица;

$I_{нб.макс}$ - максималният небалансиран ток.

$$(11.2) \quad I_{нб.макс} = k_{зр} \cdot k_{еднаквост} \cdot k_{ан} \cdot I_{вкс\max}^{(3)},$$

където: $k_{зр} = 0.1$ е коефициентът на грешката на ТТ,

$k_{еднаквост}$ – коефициент на еднаквост на ТТ,

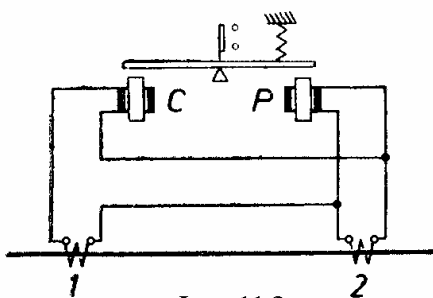
$k_{ан}$ – коефициент на апериодичната съставка.

Небалансираният ток в най-тежките случаи представлява 20% от максималния ток на външното к.с.

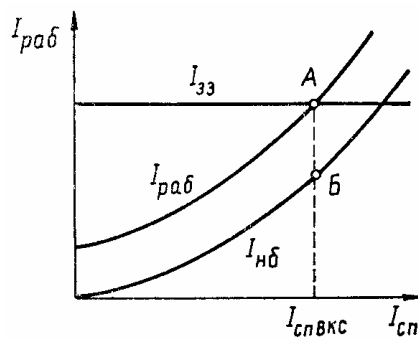
Чувствителността на защитата се проверява при най-малките двуфазни токове на вътрешно к.с.

$$(11.3) \quad k_{ч} = \frac{I_{к.с.\min}^{(2)}}{I_{зр}} > 1.$$

Пресмятането на тока на заработване безусловно по най-големия ток на к.с. пречи на чувствителността на защитата. За постигане на адекватност между големината на тока на заработване и големината на тока на к.с. се прилагат т. нар. релета със спирачни характеристики (фиг. 11.3 и фиг. 11.4).



Фиг. 11.3

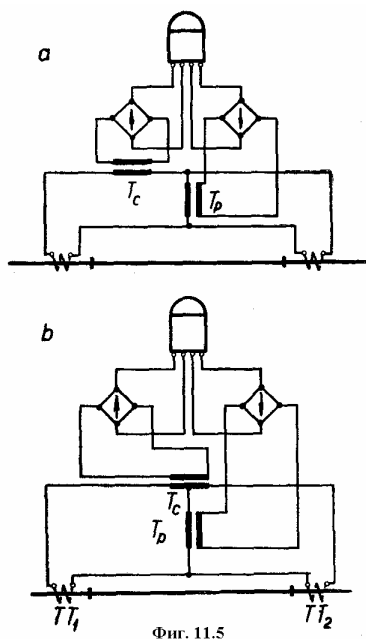


Фиг. 11.4

Пример на такава защита с най-просто електромагнитно балансно реле (кобилица) е показана на фиг. 11.3. Едната намотка се обтича от диференциалния ток и се нарича работна (P), а другата получава токът на единия от ТТ, например от страната на захранването, ако то е едностранно и се нарича спирачна (C). Колкото е по-голям токът на външно к.с., толкова по-голям ще бъде небалансираният ток, но толкова по-голям ток ще бъде необходим за работната намотка, за да затвори контактите на релето. На фиг. 11.4 е показана спирачна характеристика. Спирачен $I_{сп}$ е токът на к.с., а работен $I_{раб}$ – диференциалният ток, т.е. небалансираният ток при външно к.с. $I_{сп.ВКС}$. На базата на този ток $I_{сп.ВКС}$ се пресмята най-големият небалансиран ток (т. Б), а от него и токът на заработване на защитата $I_{зз}$ (т. А). Така е при липса на спирачна намотка C . Ако има спирање, работният ток $I_{раб}$ е функция на спирачния $I_{сп}$ и настройката и адекватна. Работната област е над характеристиката. То-

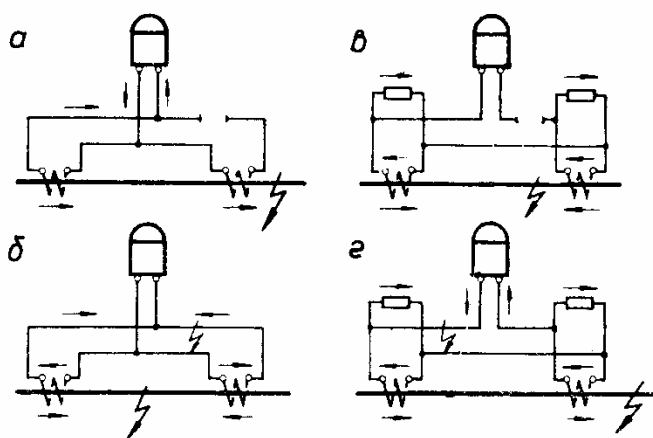
ва са вътрешните к.с., когато $I_{раб} > I_{сн}$. При външно к.с. работният ток е равен на небалансирания, т.е. 20% от т.к.с., а спиращен – самия т.к.с. и защитата гарантирано няма да заработи.

Съвременните електромеханични релета използват балансни схеми и чувствителни магнетоелектрични релета (фиг. 11.5).



Фиг. 11.5

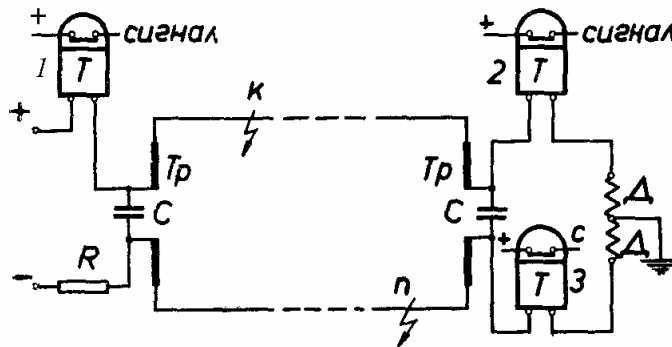
На фиг. 11.6 се илюстрира работата на двете диференциални схеми при повреди в съединителните проводници. Винаги се наблюдава нарушаване на нормалното функциониране на защитата.



Фиг. 11.6

Фигура	Вид повреда	Поведение на защитата
11.6а – схема на циркулиращите токове	Прекъсване на проводник	Излишно заработване в нормален режим или при външно к.с.
11.6б – схема на циркулиращите токове	Късо съединение между проводниците	Отказ на заработване при вътрешно късо съединение
11.6в – схема на уравновесените напрежения	Прекъсване на проводник	Отказ на заработване при вътрешно късо съединение
11.6г – схема на уравновесените напрежения	Късо съединение между проводниците	Излишно заработване в нормален режим или при външно к.с.

Най-често съединителните проводници са чифтове жила от телефонен кабел. Те могат да се контролират с прокаране по тях на постоянен ток от външен източник и релета за постоянен ток T с нормално затворени контакти (фиг. 11.7). В двата края на електропровода се поставят допълнителни трансформатори T_p , вторичните намотки на които са показани на фигурата. Там са прикачени и съединителните проводници. Кондензаторите C са преграда за постоянния ток, но пропускат променливия. Дроселите D пък спират променливия ток, но пропускат постоянния. Диференциалната схема функционира правилно при изправни връзки. При прекъсване на проводник заработват всички релета: $1T$, $2T$ и $3T$. При к.с. между двата проводника заработват релетата $2T$ и $3T$. При заземяване в т. K заработва само релето $2T$, защото се шунтира. При заземяване в т. $П$ се шунтира $3T$ и затваря контактите си.



Фиг. 11.7

Надлъжната диференциална защита реагира при к.с. само в участъка между двата ТТ. Тя не зависи от съседните обекти. Положителните ѝ качества са мигновеното действие (не се налага поставяне на реле за време) и селективността (действа само при повреди в собствения защитаван обект).

Недостатъците на надлъжната диференциална защита са два. Първо. Необходимостта от връзка между двата края на защитавания обект прави защитата скъпа, а вероятността от повреди по тази връзка я прави несигурна. По тази причина в мрежите средно напрежение надлъжната диференциална защита се прилага за електропроводи до 5 km, а при по-високите напрежения се използва високочестотна връзка между двата края на обекта. Този недостатък не се проявява при защитата на трансформатори, генератори, двигатели и шини. Второ. Надлъжната диференциална защита не резервира действието на защитите в съседните участъци. Това налага нейното приложение да се съгласува с други защити - токови, посочни токови и дистанционни, които имат резервно действие.

12. Напречна диференциална защита

Напречната диференциална защита се използва за защита на паралелни обекти с еднакво съпротивление – паралелни електропроводи и паралелни намотки на една фаза на мощни синхронни генератори.

Напречната диференциална защита контролира непрекъснатата разликата на токовете в едноименните фази на паралелните линии. За целта ТТ са свързани по схемата на циркулиращите токове и захранват токовото реле T (На фиг. 12.1 е отбелязано условно с кръгче, а на фиг. 12.2 – с релето $1T$). Такива схеми могат да се поставят в захранващия или в двата края на електропроводите. В нормален режим и при външно к.с. по двете паралелни линии протичат приблизително еднакви токове и през релето T преминава само небалансираният ток $I_{нб}$. В случая той се определя от разликите в характеристиките на ТТ и от естествените различия на съпротивлението на паралелните обекти.

Токът на заработване се определя по израза $I_{зр} = k_c \cdot I_{нб, \max}$, като се отчита небалансираният ток, обусловен от грешката на ТТ $I'_{нб, \max}$ и небалансираният ток, предизвикан от разликата в съпротивлението на паралелните обекти $I''_{нб, \max}$.

$$(12.1) \quad I_{нб, \max} = I'_{нб, \max} + I''_{нб, \max}$$

Първата компонента $I'_{нб, \max}$ се определя както при надлъжните диференциални защити по израза (11.2) от тема 11.

$$(12.2) \quad I'_{нб, \max} = k_{зр} \cdot k_{еднаквост} \cdot k_{ан} \cdot I_{вкс, \max}^{(3)}$$

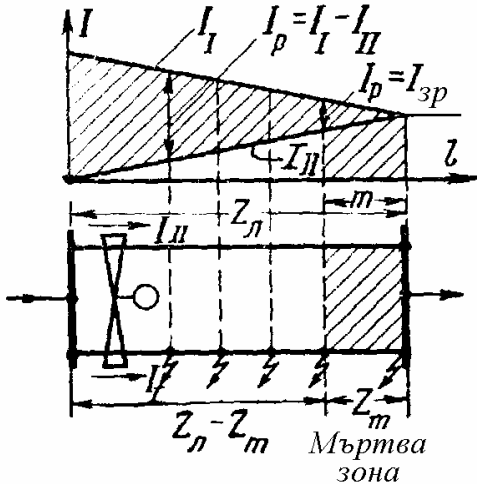
но тук при пресмятането участва половината от тока на външно к.с. $0.5 \cdot I_{вкс}^{(3)}$ max.

Втората компонента на небалансирания ток може да се прецени по формулата

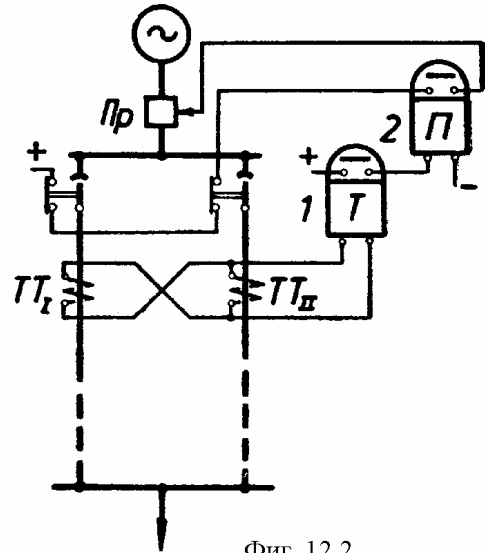
$$(12.3) \quad I_{нб. max}'' = \frac{\Delta Z\%}{100} \cdot k_{ан} \cdot I_{вкс max}^{(3)}$$

където:

$\Delta Z\%$ е разликата в проценти между импедансите на правата последователност на двата електропровода, отнесена към по-големия, а токът е отново половината от тока на външно к.с. $0.5 \cdot I_{вкс}^{(3)}$ max.



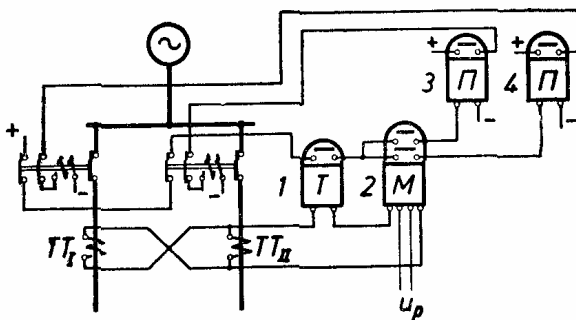
Фиг. 12.1



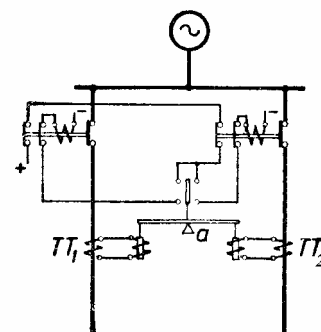
Фиг. 12.2

В случай на повреда по един от паралелните електропровода, посоката на токовете в двата електропровода е еднаква, но техните големина са различни - $I_1 > I_2$. Токът през релето става по-голям от тока на заработване, защитата заработва и изключва прекъсвача Π . При к.с. в отдалечения край на електропроводите разликата в токовете е по-малка от тока на заработване и защитата няма да заработи. Съществува един участък, наречен "мъртва зона", който не се обхваща от защитата. По тази причина защитата не може да се използва като основна. Тя намира приложение като допълнителна защита за бързо изключване на близките к.с., а основна защита може да бъде посочната токова или дистанционната защита.

Напречна диференциална защита на паралелни електропровода с общ прекъсвач е показана на фиг. 12.2. Тази защита има смисъл само, ако двата електропровода са включени. Остане ли само единият, балансът на токовете в нормален режим и при външно к.с. се нарушава и защитата ще заработи излишно. Изключването на единия от електропроводите, независимо от причината, води до отваряне на неговия разединител, прекъсване на оперативната верига чрез блок-контакта и извеждане на напречната диференциална защита. Остава да действа основната защита.

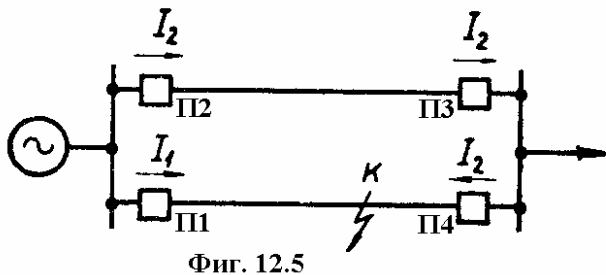


Фиг. 12.3



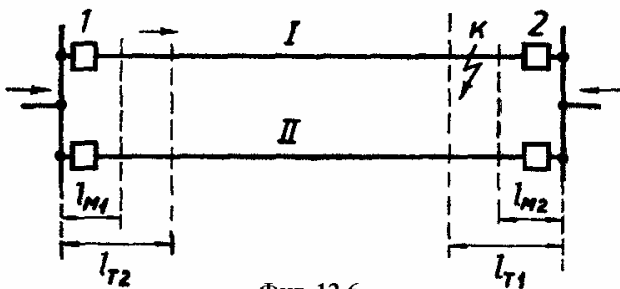
Фиг. 12.4

Когато всеки от паралелните електропроводи има собствен прекъсвач (фиг. 12.3 и фиг. 12.4), напречната диференциална защита трябва да разпознава и по кой от електропроводите е станало к.с. и да изключва само него, като същевременно извежда и оперативното напрежение. В примера от фиг. 12.3 разпознаването става чрез посочно реле *M* с два независими подвижни контакта за всяка от двете посоки на действие. Помощните релета изключват 3П и 4П изключват селективно повредения електропровод, а блок-контакт на задействания прекъсвач прекъсва оперативната верига. На фиг. 12.4 разпознаването става с електромеханично балансно реле. То се наклонява на страната на по-големия ток, т.е. към извода с к.с. Изходните помощни релета не са показани.



Фиг. 12.5

При малка разлика на токовете I_1 и I_2 може първата защита да не заработи. Втората обаче ще получи удвоения ток I_2 и ще изключи селективно прекъсвача П4. Ще настъпи преразпределение на токовете, токът I_2 ще стане нула и ще се създадат условия за чувствителност и на първата защита. Такова последователно изключване се нарича каскадно. Надеждността му не се счита за равностойна на самостоятелното действие на всяка от защитите.



Фиг. 12.6

По-подробният анализ на схемата от фиг. 12.3 при двустранно захранени паралелни електропроводи води до заключение, че съществуват мъртви зони по две причини. Едната е поради малката разлика в токовете на к.с., когато повредата е близо до отсрещния край на електропроводите (фиг. 12.6, дължините l_{T1} и l_{T2}). Втората мъртва зона се причинява от посочните релета, които при много близки к.с. могат да получат толкова ниско остатъчно напрежение, че да не се създаде достатъчен въртящ момент на електромеханичните посочни релета (фиг. 12.6, дължините l_{M1} и l_{M2}). Счита се, съвременните посочни релета имат много висока чувствителност и такава мъртва зона практически не съществува.

Оценка на напречната диференциална защита.

Положителните страни са: простота на схемата; ниска цена в сравнение с надлъжната диференциална защита; липса на нарочно забавяне; не работва излишно при люлеене; настройките се изчисляват лесно по приемливи емпирични формули. Опитът от експлоатацията е положителен.

Недостатъците са: каскадното действие отстъпва по надеждност от нормалното и води до забавяне на изключването в зоната на каскадното действие; наличие на две мъртви зони, въпреки че съвременните посочни релета практически нямат мъртва зона; не може да бъде основна, а само допълнителна защита; след изключване на един от електропроводите надлъжната диференциална защита се извежда от действие.

13. Характеристики на защитите на трансформатори. Токови защиты

Съществува различие в защитаването на понижаващите и на повишаващите трансформатори поради различното ниво на токовете на к.с. Понижаващите трансформатори се захранват обикновено от източниците на цялата ЕЕС и може да се приеме, че са свързани към източник с безкрайна мощност. При напрежение на к.с. от 4 до 10%, токовете на к.с. са от 10 до 25 пъти номиналният им ток. Големите токове на к.с. при понижаващите трансформатори гарантират голяма чувствителност и възможност за защитаване с предпазители и други прости токови защиты. Повишаващите трансформатори се захранват от отделен генератор и трайните токове на к.с. спадат до нивото на номиналните. Вземат се специални мерки за постигане на достатъчна сигурност и чувствителност.

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 и защитите имат достатъчна чувствителност.
- **Брой на работните намотки:** двунамотъчни и тринмотъчни трансформатори.
- **Мощност на трансформатора.**
- **Номинални напрежения на намотките.**
- **Изисквания на ЕЕС** към трансформаторните защиты 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.

13.1. Видове повреди в трансформаторите

Къси съединения в трансформатора. Те биват междуфазни, корпусни и между навивките на една и съща намотка.

Междуфазните к.с. са много рядко явление. Това се дължи на конструктивните особености на трифазните трансформатори, при които фазните намотки са поставени на отделни ядра и са отдалечени една от друга.

Корпусните съединения са съща сравнително редки и са опасни само за трансформаторите, свързани към системи с директно заземен звезден център.

Най-често възникват съединения между навивките на една и съща намотка. Те се дължат на пробив в междунавивковата изолация. Когато накъсо са съединени малка част от навивките, токът в незасегнатата част от намотката не се увеличава чувствително, но повредата може да се разшири, защото в малкото на брой съединени на късо навивки токът е значителен и обратно пропорционален на техния брой.

Почти всички вътрешни к.с. в трансформаторите стават през електрическа дъга. От високата температура на дъгата маслото около нея бързо се разлага и в казана на трансформатора буйно се отделят газове. Това позволява вътрешните к.с. да бъдат откривани освен по увеличението на ток, още и по образуваните газове в казана на трансформатора.

Пожар в магнитопровода на трансформатора. Това е повреда, специфична за трансформаторите. Тя се причинява от големите вихрови токове, които протичат при лоша изолация между стоманените листове на магнитопровода. Пожарът, който се дължи на прегряването на стоманата на трансформатора, не се отразява чувствително върху големината на тока и затова тази повреда не може да бъде открита чрез измерване на електрически величини. За нея се съди само по отделените газове вследствие разлагането на маслото в мястото на пожара.

13.2. Ненормални режими на работа на трансформаторите

Претоварване. Натоварването на трансформаторите се изменя непрекъснато. През време на експлоатацията товарът се колебае както под номиналната мощност на трансформатора, така и над нея. Когато натоварването на трансформатора е по-голямо от номиналната му мощност, той се претоварва. Този режим се характеризира с повишение на температурата на намотките и на маслото на трансформатора над допустимата, което зависи от кратността и продължителността на претоварването. Основна величина, която показва, че трансформаторът се претоварва, е токът, протичащ през неговите намотки. Затова като защита от претоварване се използва токова защита, която действа

на сигнал или на разтоварване на трансформатора. Тази защита действа на изключване само при напълно автоматизираните подстанции.

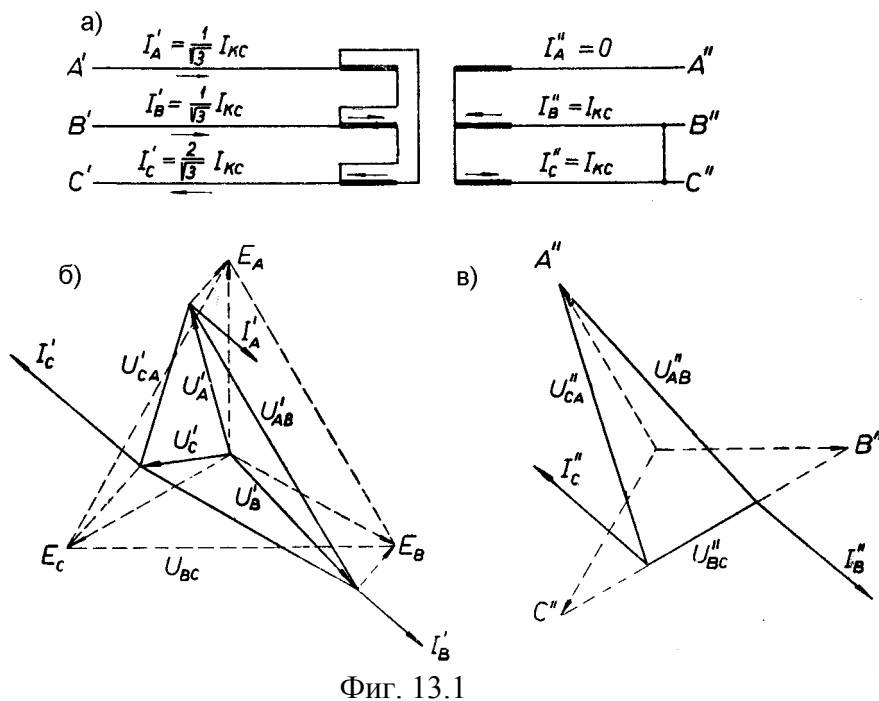
Външни къси съединения. Токовете при външни к.с. могат да предизвикват значително нагряване на намотките на трансформатора и затова са опасни за него. Опасността от прегряването не може да се прецени по температурата на маслото, защото топлината на намотките се предава на маслото бавно. Поради това опасността за трансформатора от външни к.с. се преценява само по големината на тока на к.с.

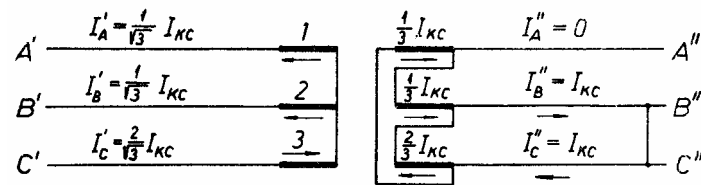
Понижаване на нивото на маслото. Този ненормален режим на работа се среща сравнително рядко. Той може да настъпи при механичен пробив на казана на трансформатора или на неговите охлаждащи ребра. Този случай се характеризира с бързо понижаване на маслото. Това е много опасно, защото се създават условия за вътрешни пробиви с характерните за тях поражения.

Повишаване на индукцията в магнитопровода. Индукцията в магнитопровода е право пропорционална на напрежението и обратно пропорционална на честотата ($B = U/f$). При трансформатори, които са свързани с генератори има опасност от наднормено повишаване на индукцията при пускане, спиране и други преходни режими на генераторите.

13.3. Особености на разпределението на токовете при трансформатори със схема на свързване “звезда / триъгълник”

Съществува разлика между векторните диаграми на токовете и напреженията от двете страни на трансформаторите при к.с. в тях и извън тях. Това прави различно чувствителни и сигурни токовите защиты от двете страни на трансформатора и създава проблеми за баланса при диференциалните защиты. Два примера са показани на фиг. 13.1 и фиг. 13.2. На първата фигура трансформаторът има схема на свързване “триъгълник / звезда”, преводно отношение единица и двуфазно к.с. от страната “звезда”. Където е късото съединение, протичат два право-противоположни тока, а от страната “триъгълник” има ток на к.с. в трите фази, но в едната токът е два пъти по-голям и там например защитата ще има два пъти по-голяма чувствителност. На фиг. 13.2 схемата на трансформатора е “звезда / триъгълник”. Тук също двете страни се обтичат различно и условията за работа на защитите са различни.



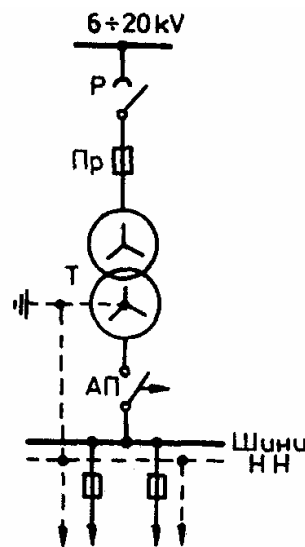


Фиг. 13.2

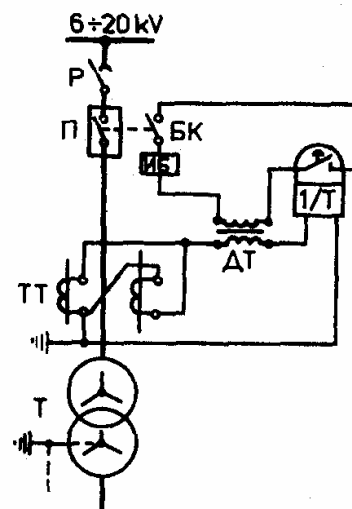
13.4. Защити на трансформатори с вторично напрежение под 1000 V

Тези трансформатори се използват широко в разпределителните мрежи за НН. Поради ограничените преносни възможности на мрежата НН мощността на трансформаторите много рядко надвишава 1000 kVA. Първичните им намотки се изпълняват винаги за средно напрежение (6, 10 и 20 kV). Свързването на намотките, когато вторичното напрежение е 400/230 V, се осъществява по схемата триъгълник / звезда, звезда / звезда или звезда / зиг-заг, като изведеният звезден център на вторичната страна се заземява директно. За защита срещу всички видове повреди в такива трансформатори се използва токова защита. Тя се поставя винаги към първичната (захранващата) намотка. Изпълнява се посредством предпазители със стопяема вложка или релета. На трансформаторите с мощност 400 kVA и повече, когато имат прекъсвач и когато подстанцията е с дежурен персонал се поставя газова защита.

Токова защита с предпазители със стопяема вложка. Това е най-простата и евтина токова защита. Тя се изпълнява с предпазители за съответното номинално напрежение, които се поставят на трите фази откъм захранващата страна на трансформатора така, както е показано на фиг. 13.3. Понякога вместо отделен разединител P и предпазители Πp се използва комбиниран разединител-предпазител.



Фиг. 13.3



Фиг. 13.4

Защитата, изпълнена с предпазители, има недостатъка, че когато изключи само един от предпазителите, трансформаторът остава да работи на две фази на високото напрежение. Това е нежелателно за консуматорите, тъй като съответната фаза на ниската страна получава силно понижено напрежение. Освен това вложката на предпазителя прегаря при ток много по-голям от номиналния ток на предпазителя, което прави защитата доста груба и непригодна за защита срещу претоварване. За защита на трансформаторите срещу претоварване се използват главните предпазители или автоматичният прекъсвач на ниската страна.

Токова защита с вторични релета с индиректно действие. Когато трансформаторът е съоръжен на високата страна с прекъсвач и се налага да се постигне висока чувствителност и селективност в действието на неговата защита, се използват вторични релета с индиректно действие.

На фиг. 13.4 е показана схема на такава защита. Изпълнена е двуфазно, което отговаря на системата 6÷35 kV с неефективно заземен звезден център. Към вторичните намотки на двата токови трансформатора, свързани по схемата на разликата от фазните токове (непълн триъгълник), е

включено едно токово реле със зависимо от тока забавяне. Оперативната верига на защитата в случая е с променлив оперативен ток и се захранва от допълнителния трансформатор *ДТ*. Защитата задействува в зависимост от големината на тока. По такъв начин тя служи едновременно за защита както срещу вътрешни и външни к.с., така и срещу претоварване.

13.5. Защити на трансформатори с вторично напрежение над 1000 V

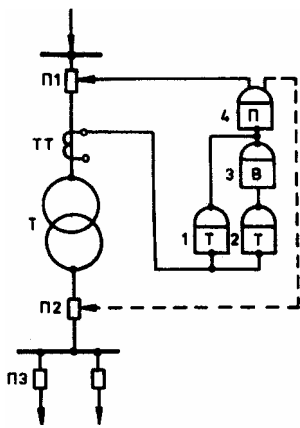
Токовата защита на тези трансформатори във всички случаи се изпълнява посредством вторични релета с индиректно действие. Схемата ѝ се определя в зависимост от мощността, напрежението и конструкцията на трансформатора и вида на мрежата, към която е свързан.

Защита на понижаващи двунамотъчни трансформатори с малка мощност (до 4000 kVA).

Осъществява се посредством комбинация от токова отсечка и токова защита с нарочно забавяне. Токовата отсечка е предназначена за защита срещу вътрешни к.с., а токовата защита с нарочно забавяне - срещу външни к.с. Защитата се поставя откъм страната на високото напрежение.

Опростена принципна схема на токова защита за разглеждания случай е показана на фиг.

13.5. На фигурата са изобразени само основните органи на защитата и са посочени техните функционални връзки. Релетата *1Т* и *4П* образуват токовата отсечка, а релетата *2Т*, *3В* и *4П* - токовата защита с нарочно забавяне.



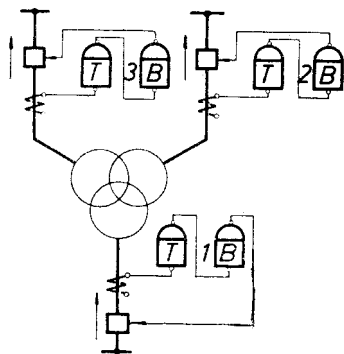
Фиг. 13.5

Когато защитаваният трансформатор е един в подстанцията и е с едностранно захранване, защитата се изпълнява така, че да изключва само прекъсвачът *П1* (откъм страната на захранването). Когато защитаваният трансформатор работи в паралел с други трансформатори, защитата трябва да изключва прекъсвачите от двете му страни. За целта изходното помощно реле *4П* се избира с два контакта, от които единият подава импулс за изключване на прекъсвача *П1*, а другият - на прекъсвача *П2*.

Времето на задействие на токовата защита с нарочно забавяне се избира с една степен по-голямо от най-голямото забавяне на защитите на изводите, свързани към ниската страна на трансформатора. Когато времето на задействие е 1 s или по-малко, токова отсечка може да не се поставя. Описаната защита може да се изпълни както на постоянен, така и на променлив оперативен ток.

Токова защита на понижаващи трансформатори с мощност над 6300 kVA. Токовата им защита е предназначена само срещу външни к.с. и претоварване. Тя се изпълнява като токовата защита, показана на фиг. 13.5, но в случая токова отсечка (релето *1Т*) липсва, тъй като нейната роля се изпълнява от диференциалната защита.

Токови защити на тринамотъчни трансформатори. Тези трансформатори са обикновено със значителна мощност, имат сложни връзки с ЕЕС и се защитават срещу вътрешни к.с. с диференциални, газови и други защити.

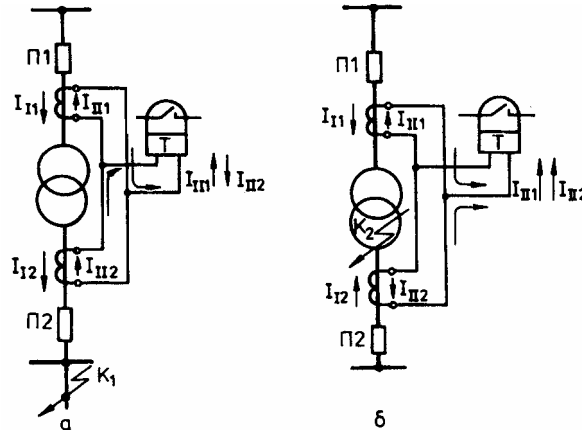


Фиг. 13.6

Токовите защити са резервни защити при вътрешни повреди, основни защити при външни к.с. и защити при претоварване (зависими характеристики). Както е показано на фиг. 13.6, на всяка страна се поставя МТЗ и понякога ТО (ТО не е показана на схемата). Настройването на токовите релета се съобразява във всеки конкретен случай с посоката и големината на токовете, а настройките на релетата за време, отново според конкретния случай, се правят по насрещния стъпален принцип.

14. Диференциални защиты на трансформатори

Защитата на трансформатори с мощност над 6000 kVA срещу вътрешни к.с. се осъществява посредством надлъжна диференциална защита с циркулиращи токове. За осъществяването ѝ към двете страни на защитавания трансформатор се поставят токови трансформатори, вторичните намотки на които се свързват последователно помежду си, а паралелно към тях се включва токовото реле, така както е показано на фиг.14.1. По този начин в защитаваната зона влизат както трансформаторът, така и тоководещите части между токовите трансформатори.



Фиг. 14.1

Действието на диференциалната защита на трансформаторите при външни и вътрешни повреди (фиг.14.1) е като при диференциалните защиты на електропроводи.

За да не задействува диференциалната защита от тока на товара или при външни к.с. е необходимо двата вторични тока да бъдат равни по големина и да съвпадат по фаза. Ако това условие не е спазено, ще протече небалансираният ток $I_{нб}$, който ако не се вземе под внимание може да предизвика излишно действие на защитата. Поради това токът на задействование на защитата се избира в зависимост от максималния небалансиран ток при външно к.с., т.е.

$$(14.2) \quad I_{зр} = k_c \cdot I_{нб. макс}$$

където k_c е по-голям от единица ($k_c = 1.2 \div 1.4$);

$I_{нб. макс}$ - максималният небалансиран ток.

$$(14.3) \quad I_{нб. макс} = k_{зр} \cdot k_{еднаквост} \cdot k_{ап} \cdot I_{вкс}^{(3) макс}$$

където: $k_{зр} = 0.1$ е коефициентът на грешката на ТТ,

$k_{еднаквост}$ – коефициент на еднаквост на ТТ ($k_{еднаквост} = 1$),

$k_{ап}$ – коефициент на аperiодичната съставка ($k_{ап} = 2$).

$$(14.4) \quad k_{ч} = \frac{I_{к.с. мин}^{(2)}}{I_{зр}} > 1.$$

Максималният небалансиран ток представлява 20% от максималния ток на външното к.с.

Чувствителността на защитата се проверява за токовете на вътрешно к.с. в минимален режим на ЕЕС

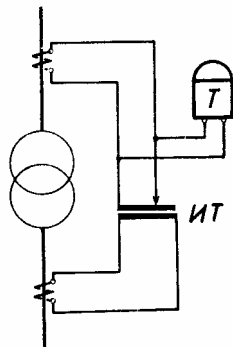
Пресмятането на тока на зареждане по най-големия ток на к.с. пречи на чувствителността на защитата. За постигане на адекватност между големината на тока на зареждане и големината на тока на к.с се прилагат т. нар. релета със спирачни характеристики.

Затрудненията при прилагане на диференциалните защиты за трансформатори са четири вида.

Първо. Нееднакъв коефициент на трансформация на ТТ от двете страни на трансформатора.

При нормални товари или при външни к.с. токовете от двете страни на защитавания трансформатор не са еднакви поради различните напрежения. За да могат за нуждите на диференциалните защиты тези токове да бъдат сравнявани, би трябвало преводните отношения на ТТ на диференциалната защита $k_{ТТ, I}$ и $k_{ТТ, II}$, поставени от двете страни на защитавания трансформатор, да бъдат различни. Би трябвало да се изберат ТТ с такова преводно отношение, че при външни к.с. вторичните им токове да бъдат еднакви:

$$(14.5) \quad \frac{I_I}{k_{ТТ, I}} = \frac{I_{II}}{k_{ТТ, II}}$$



Фиг. 14.2

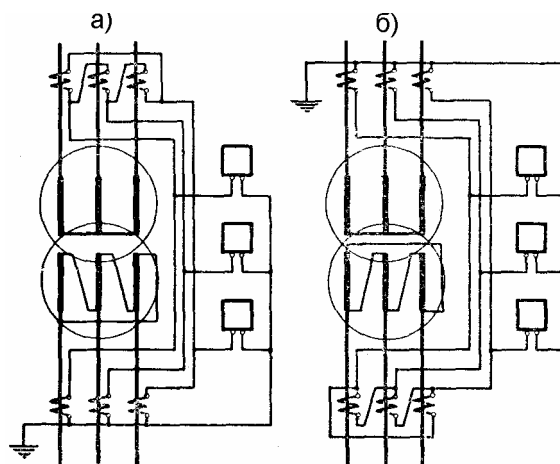
(14.6)

$$k_{ИТТ} = \frac{I_I}{I_{II}} \cdot \frac{k_{ТТ, II}}{k_{ТТ, I}}$$

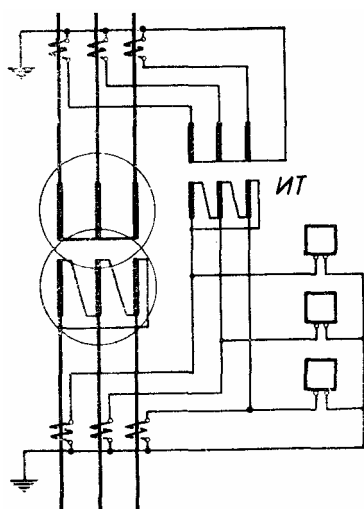
Това може много рядко да се постигне с разполагаемите типове ТТ. Прилагат се изравнителни ТТ (ИТТ) с преводно отношение:

На фиг. 14.2 е показана схема с изравнителен ток трансформатор **ИТ**. Второ. Различни групи на свързване на намотките от първичната и вторичната страна.

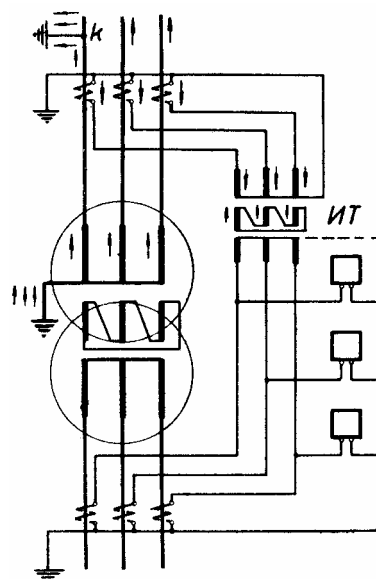
В резултат на това токовете откъм едната страна на трансформатора са изместени по фаза спрямо токовете от другата страна. За да се сравнят те през диференциалната защита, би трябвало да се изравнят и по фаза. Това затруднение се преодолява чрез подходящо свързване на вторичните намотки на ТТ (фиг. 14.3) или чрез поставяне на допълнителни изравняващи фазата на тока ИТ (фиг. 14.4 и фиг. 14.5). Тези допълнителни ИТ изравняват и големината на тока.



Фиг. 14.3



Фиг. 14.4

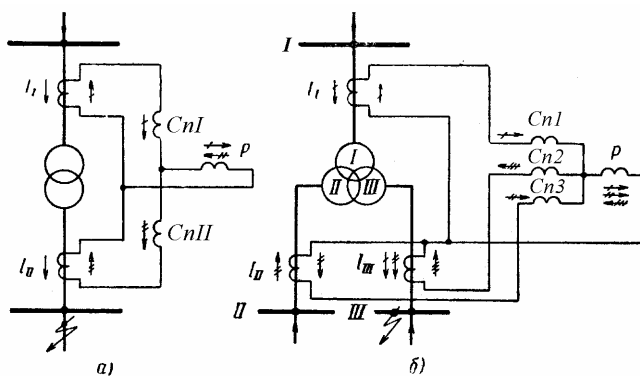


Фиг. 14.5

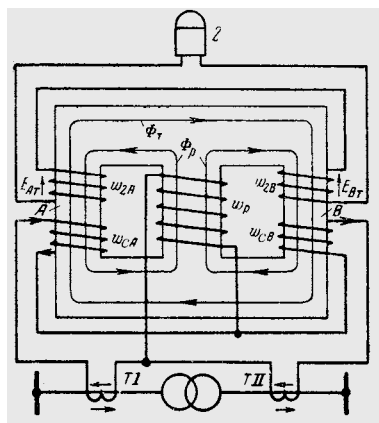
Трето. Група обективни фактори:

- От двете страни на трансформатора се използват ТТ от различен тип (поради различните напрежения), производител и магнитни характеристики на материала на магнитопровода.
- Двата вида ТТ са натоварени различно.
- Различна е кратността на тока при к.с. за различните ТТ, особено при тринамотъчните трансформатори.
- Напрежението на трансформаторите бива регулирано под товар ($\pm 15\%$). Тази група фактори се отчитат чрез въвеждане на диференциални защиты със спирачни характеристики (фиг. 14.6), използвани и при надлъжните диференциални защиты на електропроводи.

Принцип на диференциално реле със спиране чрез насищане от спирачен магнитен поток е показан на фиг. 14.7. Работната намотка w_p и вторичните (w_{2A} и w_{2B}) са свързани върху Ш-образния магнитопровод като обикновен трансформатор с първична и вторична намотки. Спирачните намотки са две (w_{cA} и w_{cB}), разположени са на страничните ядра и са свързани така, че създават циркулиращ по външната част на магнитопровода поток Φ_T , който индуктира във вторичните намотки w_{2A} и w_{2B} две противоположни по знак напрежения, които се анулират и не въздействат на релето 2. Потокът Φ_T само насища магнитопровода пропорционално на големината си, т.е. пропорционално на спирачния ток. Насищането влошава трансформирането на тока от работната във вторичната намотка пропорционално на спирачния ток.



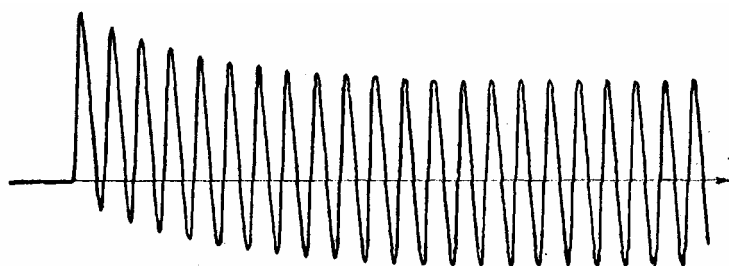
Фиг. 14.6



Фиг. 14.7

Четвърто. Намагнитващи токове на защитавания трансформатор при включването му на празен ход или при внезапни изменения на напрежението.

Токът на включване на празен ход преминава през диференциалната защита така, както и токът на вътрешно к.с. Ударната му стойност достига 3÷5 пъти номиналния ток на трансформатора и може да предизвика излишно изключване. Защитата трябва да различи ударния ток на празен ход от т.к.с. При първия ток тя трябва да се блокира, а при втория да работи селективно. На фиг. 14.8 са показани типични форми на двата тока. Разликите между тях определят и принципите на блокиране на диференциалната защита при включване на трансформатор на празен ход.



а) Типична форма на ток на к.с. с аperiodична компонента

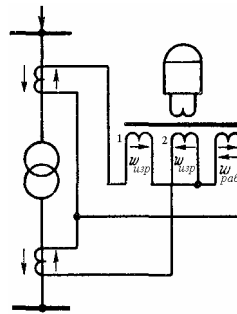


б) Типична форма на преходен ток на включване на трансформатор на празен ход

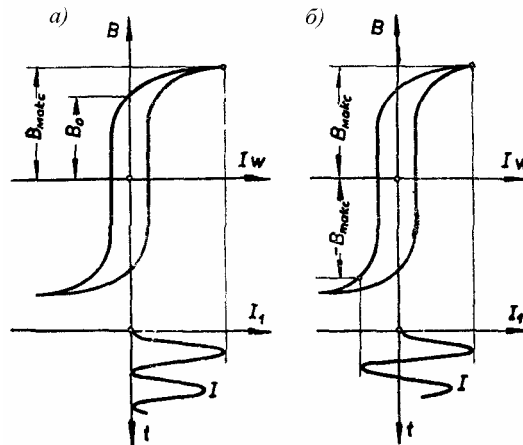
Фиг. 14.8

- А) Диференциалната защита се загрубвява по ток толкова, че да не заработва от ударния ток при включване ($3\div 5$ пъти номиналният ток), като се разчита, че минималният ток на вътрешно к.с. е доста по-голям ($8\div 10$ пъти номиналният ток). Така се губи от чувствителността на защитата.
- В) Въвежда се нарочно забавяне на диференциалната защита около 0.5 s. Така се изчаква затихването на ударния ток на включване и спадането му до установените стойности, които са няколко процента от номиналният ток и защитата вече не може да заработи от тях.
- С) Поставяне на бързонасищаш се трансформатор между диференциалната верига и релето (фиг. 14.9).

Силното изместване на намагнитващия ток от едната страна на оста на времето води до намагнитване по частни хистерезисни цикли и малка промяна в магнитната индукция от B_{\max} до B_0 (фиг. 14.10а). В релето протича незначителен ток, по-малък от тока на заработването му. При вътрешно к.с. изместването на тока е само за няколко периода в началото на преходния процес. После затихва (фиг. 14.8а). Намагнитването включва двете посоки на изменение на индукцията (фиг. 14.10б) от $-B_{\max}$ до $+B_{\max}$, в релето се индуцира значителен ток и то заработва.



Фиг. 14.9

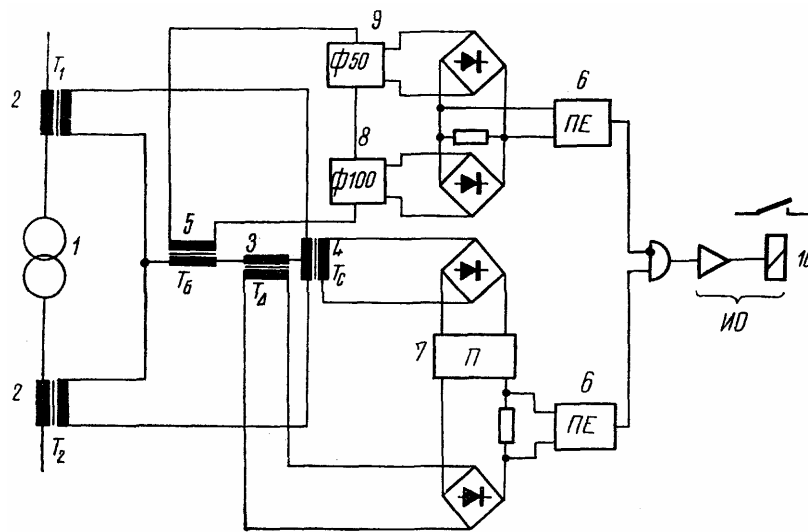


Фиг. 14.10

- Д) Използване на наличието на значителен втори хармоник (100 Hz) в тока на празен ход и незначителното участие на този хармоник, и то само в началото на преходния процес, в тока на к.с. (Блокировка по втори хармоник).

На фиг. 14.11 е показана реална схема на диференциална защита на трансформатор, която има реле със спирачна характеристика. Работната страна T_A е към междинния трансформатор 3. Спирачната T_C има две части, за да се обтича от токовете на двата ТТ. Свързана е към междинния трансформатор 4. Праговият елемент **6ПЕ** на схемата за сравняване на работния и спирачния ток дава на изхода си единица, когато работният ток е по-голям от спирачния. В диференциалната верига е поставен и още един междинен трансформатор 5, който захранва филтър за основния Φ_{50} и филтър за втория Φ_{100} хармоник. Праговият елемент **10ПЕ** дава на изхода си единица, когато работното въздействие на втория хармоник е по-голямо от спирачното на основния. Схемата **11** е логически елемент “И” с един прав и един инвертиран вход. Тя заработва и изходният орган **12ИО** изключва трансформатора, когато липсва сигнал от **10ПЕ** и когато има сигнал от **6ПЕ**, т.е.,

когато има вътрешно к.с. в трансформатора. При включване на празен ход **10ПЕ** дава единица, схемата **11** е блокирана и дори да е заработил **6ПЕ** няма да се стигне до изключване на трансформатора.



Фиг. 14.11

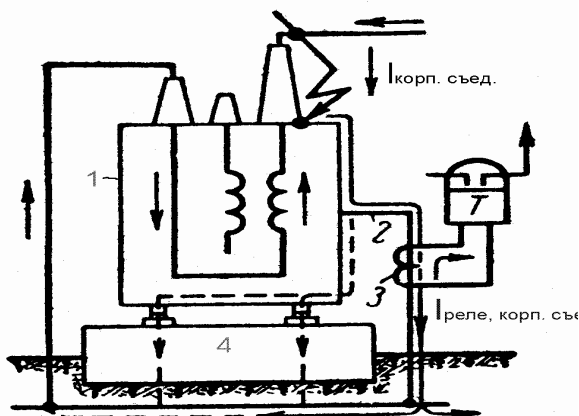
Посочените проблеми са преодолени и диференциалната защита е основна при вътрешни повреди на всички големи трансформатори.

15. Корпусна и газова защита на трансформатори

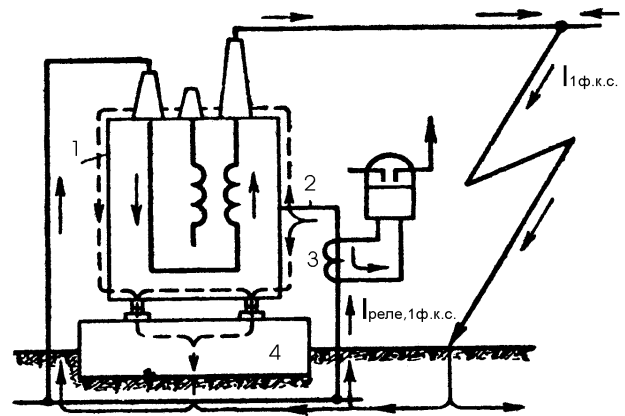
15а. Корпусна защита на трансформатори

Корпусната защита се поставя на трансформатори, които имат намотка със заземена неутрала (фиг. 15.1). Предназначението ѝ е да заработи при корпусно съединение (еднофазно к.с.) вътре в трансформатора или на изводите му и да изключи прекъсвачите му. Защитата изисква корпусът на трансформатора **1** да се заземи през специална заземителна шина **2** към заземителния контур на уредбата. За правилното действие на защитата корпусът на трансформатора не трябва да има други връзки със земя.

На заземителната шина се поставя токов трансформатор **3**, а към него се свързва токово реле **Т**.



Фиг. 15.1а



15.1б

Принцип на работа. Действието на защитата се основава на разликата в токовете, които протичат през заземителната шина и релето при вътрешно корпусно съединение в трансформатора $I_{\text{реле корп. съед.}}$ и при външно еднофазно к.с. $I_{\text{реле 1ф.к.с.}}$.

В първия случай токът през релето е почти целият ток на корпусното съединение $I_{\text{корп. съед.}}$ с изключение на малка част от него (показана с пунктир), която преминава през фундамента **4** поради несъвършенството на изолацията му спрямо казана на трансформатора ($15 \div 20 \Omega$). Преходното съпротивлението на заземителната шина спрямо земя също не е нула, а $0.5 \div 1 \Omega$.

За да бъде релето чувствително трябва

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{реле корп. съед.}}}{I_{\text{зр}}} > 1.$$

Приема се, че $I_{\text{реле корп. съед.}} \approx I_{\text{корп. съед.}}$, защото отклоненият през фундамента ток е незначителен – хилядни части от тока през заземителната шина. Пробивите между шапката на проходния изолатор и казана на трансформатора са относително често явление. По прецизно разгледано, токът на корпусното съединение има две части: едната от системата, а другата идва от неутралата на трансформатора според коефициента на разпределение на тока в съответното място на електроенергийната система.

При външно еднофазно к.с. през релето не би трябвало да протича никакъв ток и то да не работва. Несъвършенството на изолацията води до отклоняване на част от тока през казана, шината и заземлението и попада в релето **T**

$$I_{\text{реле, 1ф.к.с.}} = k_{\text{откл.}} \cdot I_{\text{1ф.к.с.}},$$

където $k_{\text{откл.}}$ е коефициентът на отклонение. Определя се опитно.

Токът на заработване на релето се пресмята традиционно чрез коефициент на сигурност $k_{\text{с}} > 1$ и токът през релето в най-неблагоприятния случай на опасност от излишно заработване

$$I_{\text{зр}} = k_{\text{с}} \cdot I_{\text{реле, 1ф.к.с.}} = k_{\text{с}} \cdot k_{\text{откл.}} \cdot I_{\text{1ф.к.с.}}$$

За да отстрои защитата от случайни токове, прокарани от допълнителни източници, работата ѝ може да се направи зависима от наличието на напрежение с нулева последователност.

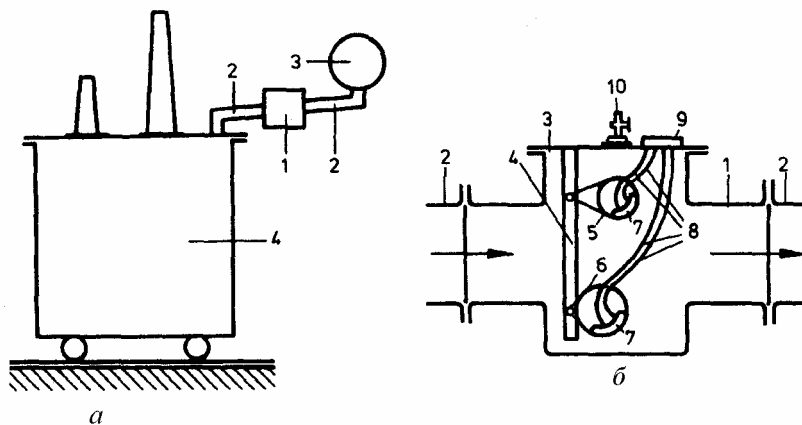
Приложение на защитата. Защитата е проста и сигурна. Не се съгласува с други защиты и няма нужда от нарочно забавяне и реле за време. Широко се прилага в страни като Франция и САЩ. Има нужда от оценяване и по-широко прилагане в нашата електроенергийна система.

Корпусната защита на трансформатори се нарича още “защита Шевалие” (Франция). Тя се прилага и при земни съединения към носещите конструкции на шинни системи в уредби с директно заземена неутрала под името “защита Хауърд (Howard)” (Великобритания).

15b. Газова защита на трансформатори

При някои от повредите в трансформаторите често протичат незначителни токове, на които диференциалната и токовата защита не реагират. Така например при к.с. между навивките на една и съща намотка, което е сравнително честа повреда, ако са засегнати малък брой навивки, тези защиты не действуват, макар че в трансформатора има повреда. Същото се отнася и за случая на пожар на магнетопровода или пробив на казана и изтичане на маслото. Ето защо възниква необходимостта от използването на специални защиты, предназначени срещу вътрешни повреди в трансформатора. При маслените трансформатори такава е газовата защита. Принципът на действие на газовата защита се основава на обстоятелството, че при повечето от вътрешните повреди, станали в казана на маслените трансформатори, се отделят газове, които са продукт от разлагането на трансформаторното масло.

Основен елемент на газовата защита е газовото реле **1** (фиг. 15.2a). То се монтира на тръбопровода **2**, който свързва казана на трансформатора **4** с разширителя за масло **3**. По този начин при повреда в трансформатора през газовото реле преминава смес от газове и масло с посока към маслоразширителя. За да се улесни движението на газовете към релето, капакът на казана и тръбата на маслоразширителя трябва да имат наклон около 2%.

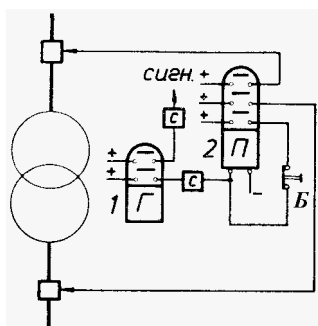


Фиг. 15.2

Принципното устройство на газово реле е показано на фиг.15.2б. Състои се от чугунен корпус *1*, свързан към тръбопровода *2* с фланци. Отгоре е капакът *3*, на който е закрепена рейката *4*. На рейката са окачени двата плавока *5* и *6* така, че да могат свободно да се движат нагоре и надолу. Плавоците са кухи метални съдове, обикновено във форма на цилиндър. На тях са закрепени живачни контакти *7*. Техните изводи *8* излизат на капака в клемната кутия *9*. За изпускане на събраните в релето газове на капака е монтирано кранчето *10*. При липса на масло в релето плавоците увисват надолу под действието на собственото си тегло, а живачните им контакти остават затворени. При нормална работа на трансформатора неговият казан е пълен с масло, което заема и част от обема на маслоразширителя. Поради това корпусът на газовото реле е запълнен с масло, а плавоците заемат своето горно положение, при което контактите им са отворени.

Когато в защитавания трансформатор някои части са прегрети или на определено място гори дъга, от маслото му се отделят газове във вид на мехурчета. Тези мехурчета се придвижват към маслоразширителя и като достигнат газовото реле, се задържат в горната му част. С увеличаването на количеството на газовете маслото се изтласква от съда на релето. Заедно с понижаването на нивото на маслото постепенно увисва и горният плавок *5*, който затваря контактите си и с това подава сигнал. Газовото реле действа аналогично и при понижаване на маслото по други причини, например изтичане на маслото от казана на трансформатора.

Когато повредата на трансформатора е голяма, тя се съпътствува буйно отделяне на голямо количество газове, които поради създаденото налягане се насочват с голяма скорост към маслоразширителя. В този случай движещият се с голяма скорост поток от масло и газове притиска плавока *6* надолу. При това положение живачният контакт на плавока се затваря и за време $0.1 \div 0.2$ s подава импулс за изключване на трансформатора.



Фиг. 15.3

Принципната схема на газова защита с постоянен оперативен ток е показана на фиг.14.3. Тя се състои от газовото реле *1*, сигналното реле *С* и помощното реле *2*. Горните контакти на газовото реле подават оперативното напрежение за сигнализация, а долните му контакти през намотката на сигналното реле *С* подават напрежение към помощното реле *2*. Последното се самозадържа, за да осигури правилно действие на защитата, когато струята от газове и масло, излизаща от казана на трансформатора, действа на тласъци и долните контакти на газовото реле затварят оперативната верига с прекъсване. Още при първия, макар и краткотраен, тласък на струята и първото затваряне на долните контакти на газовото реле помощното реле *2* затваря контактите си и се задържа до мо-

мента на ръчно натискане на бутона **Б**, независимо от положението на долните контакти на газовото реле.

Предимствата на газовата защита се състоят в нейната простота и голяма чувствителност. Газовото реле не само че реагира на всички повреди в казана на трансформатора, но при това реагира, докато те са още в начален стадий на развитие. Ето защо газовата защита се поставя на всички трансформатори с мощност 400 kVA и повече при условие, че те са присъединени чрез прекъсвачи и подстанцията има дежурен персонал.

По свойствата на газовете в газовото реле (цвет, мирис и способност да горят) може да се съди за вида на повредата. По количеството на отделения газ може ориентировъчно да се прецени големината на повредата. Цветът на газа трябва да се проверява незабавно след изключването, тъй като след време газът се обезцветява. Бяло-сив газ, който не гори, но е с остра миризма, показва, че има повреда на изолационни материали, като хартия, картон и др. Жълт, трудно възпламеняващ се газ показва повреда на дървени части, а тъмносив или черен свидетелствуват за разлагане на маслото от електрическа дъга. Безцветен газ без миризма показва, че е отделен въздух. Паленето на газовете за проверка става на кранчето на релето, като се внимава да не се предизвика случаен пожар от лесно горими материали или масло по капака на трансформатора. На същото кранче се проверява миризмата, а цветът – на прозорчето на релето.

16. Защити на генератори

При експлоатацията на генераторите възникват повреди в статора или във възбудителните вериги на ротора. Повредите в статора най-често биват: еднофазно земно (корпусно) съединение, междуфазни к.с., к.с. между навивките на една и съща фаза, а в ротора - земно съединение на едно или две места на възбудителната намотка. Освен вътрешните повреди за генераторите са недопустими продължителни отклонения от нормалния режим, като: претоварване, токове на външни к.с., несиметрия в натоварването на фазите, превишаване на напрежението над номиналното. В зависимост от характера на повредите или отклоненията от нормалните режими на генераторите се прилага някоя от следните защиты:

Токова защита от претоварване. Поради това, че генераторите могат да издържат определени кратковременни претоварвания, тази защита се настройва по номиналния им ток и действа на сигнал за дежурния обслужващ персонал. Използува се схема с еднофазно изпълнение поради това, че товарите при генераторите нормално са симетрични по фази.

Токова защита срещу външни к.с. Използува се токова защита с независимо от тока забавяне, но в трифазно изпълнение. Времето на забавяне се приема с 1 до 2 s по-голямо от най-голямото забавяне на защитите на изходящите от генераторните шини електропроводи. За да бъде по-чувствителна срещу външните к.с. и да ги отличава от претоварвания, тази защита се прави с т.нар. напреженова блокировка. Това означава, че за да се стигне до заработване на защитата, трябва едновременно и токът да нарасте, и напрежението да спадне, както се случва само при к.с. Токът на заработване на токовото реле в този случай има по-малка стойност и затова защитата става по-чувствителна..

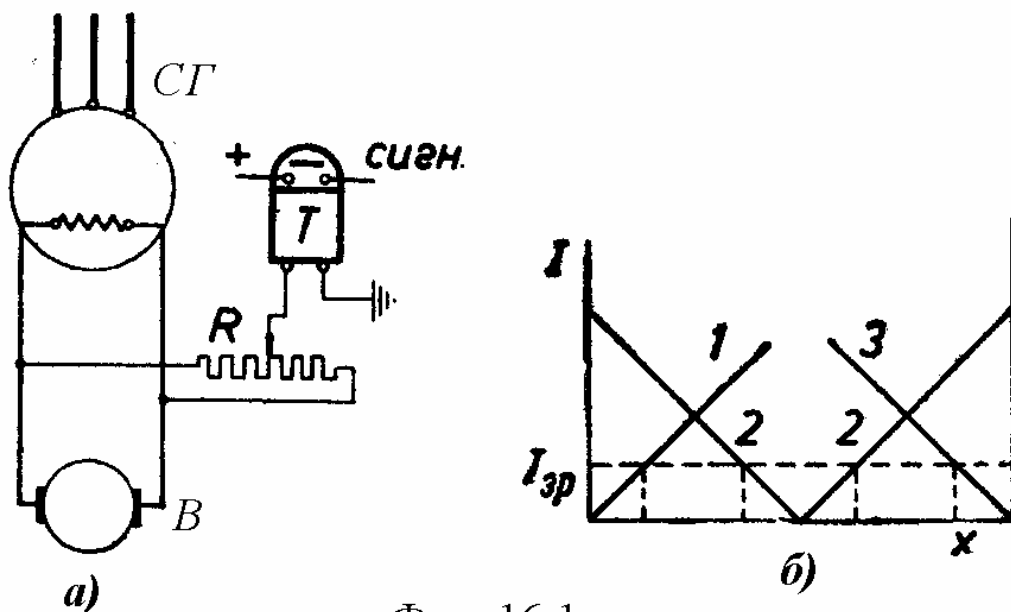
Защита срещу еднофазни земни (корпусни) съединения в статора. Използуват се защиты на тока $3I_0$ и напрежението $3U_0$ с нулева последователност. Генераторите работят с изолирана неутрала, токовете при повреди към земя са малки и трудно се постига сигурна и чувствителна земна защита.

Диференциална защита. Използува се надлъжна диференциална защита с циркулиращи токове срещу междуфазните к.с. в статора. Тази защита е бързодействаща, проста и сигурна. Поставя се на всички генератори с мощност над 2000 kW.

Защити срещу к.с. между навивките на една и съща фаза. Когато генераторите имат по две паралелни намотки на една фаза (такова са някои големи генератори), се използва напречна диференциална защита. За всяка фаза към края на двата паралелни клона се поставят ТТ, свързани по схемата с циркулиращи токове. При генератори с една намотка на фаза се поставят специални защиты, които използват изместването на потенциала на звездния център на генератора спрямо този на системата в случаите, когато има к.с. между навивките на една и съща фаза.

Защита срещу земни съединения във веригата на възбудянето. При изправен генератор възбудителната верига няма заземени точки. Ако се получи земно съединение само в една точка, не се нарушава нормалната работа на генератора и затова се използва само защита, действаща на сиг-

нал. Принципна схема на такава защита е показана на фиг. 16.1. Между двата края на възбудителната намотка ВНГ на генератора се включва високоомен реостат R . Между плъзгача му и земя се включва токово реле. В нормален режим през релето T не протича ток, тъй като заземената точка е само една. При з.с. във възбудителната верига се появява втора заземена точка, през релето протича ток и се появява сигнал за земно съединение.



Фиг. 16.1

Земното съединение в две точки на възбудителната намотка е опасна авария, която нарушава симетрията в магнитното поле на ротора и води до вибрации и големи механични разрушения. Срещу този вид повреда се поставя специална релейна защита, действаща на изключване.

Други защиты. На синхронните генератори се поставят редица допълнителни защиты: защита срещу повишаване на напрежението на статора (особено за хидрогенераторите); защита против продължително форсиране на възбудяването; защита срещу повишаване на честотата на въртене над номиналната; защита срещу продължителен асинхронен режим; защита срещу претоварване на възбудителната верига и др. Съществува цяла система от защиты, контролиращи механически величини: вибрации, охлаждане, изместване на вала и др.

17. Защити на събирателни шини

17.1. Повреди на събирателните шини

Събирателните шини се повреждат относително често. Спрямо генераторите и трансформаторите те имат 3 - 4 пъти по-голяма специфична повреждаемост. Типични повреди са междуфазните и земните съединения, а причините - замърсяване и овлажняване, комутационни и атмосферни пренапрежения, повреди в токовите и напрежителните измервателни трансформатори, счупване на изолатори, грешки на оперативния персонал при манипулации с разединители и др.

При проектиране на шините се предвижда те да издържат претоварването и външните къси съединения (к.с.), така че защиты срещу тези ненормални режими не се предвиждат.

Токовете при к.с. на шините са големи и тяхното бързо изключване има голямо значение за щетите от аварията и устойчивата работа на електроенергийната система (ЕЕС). Разчита се на защиты на присъединенията към шините или се изграждат специални защиты на шини.

17.2. Защиаване на шините чрез защитите на присъединенията

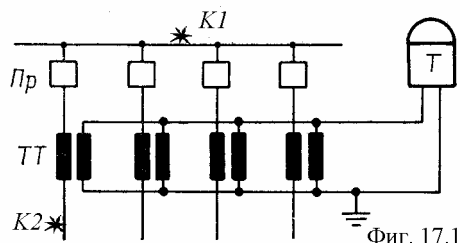
При к.с. на някоя шинна система към нея ще протекат токове от всички генератори. Ще стартират защитите на присъединенията към нея откъм захранващата страна. За тях обаче разглежданото к.с. е външна повреда и те ще го изключат със закъснение поне от 0.5 s. Ако такова закъснение е допустимо и няма да настъпят смущения в устойчивата работа на системата и разглежданата шина може да остане без специална защита. Такива са обикновено шинните системи, които са електрически отдалечени от мощните електрически централи.

Не е оправдано да се поставят специални защити на шини на понижаващи подстанции, които захранват електропроводи с токови защити или несекционирани шини на малки централи.

17.3. Диференциални защити на единични шини

Към шините могат да се приложат токови, дистанционни и диференциални защити. Диференциалните защити са най-чувствителни и бързи и се използват главно те.

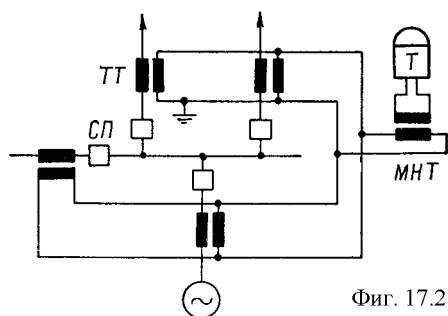
На фиг. 17.1 е разгледан най-прост пример на диференциална защита на единична шина, която



Фиг. 17.1

то обхваща всичките присъединения. Прието е, че всички изводи са свързани с източници.

При к.с. в точка *K1* вторичните токове на токовите трансформатори (ТТ) ще се сумират и релето ще заработи, изключвайки всички прекъсвачи. Такова вътрешно к.с. не води до ненормално насищане на ТТ и до опасност от неправилно действие на защитата. Сумарният ток е по-голям от тока на отделните присъединения и защитата е чувствителна.

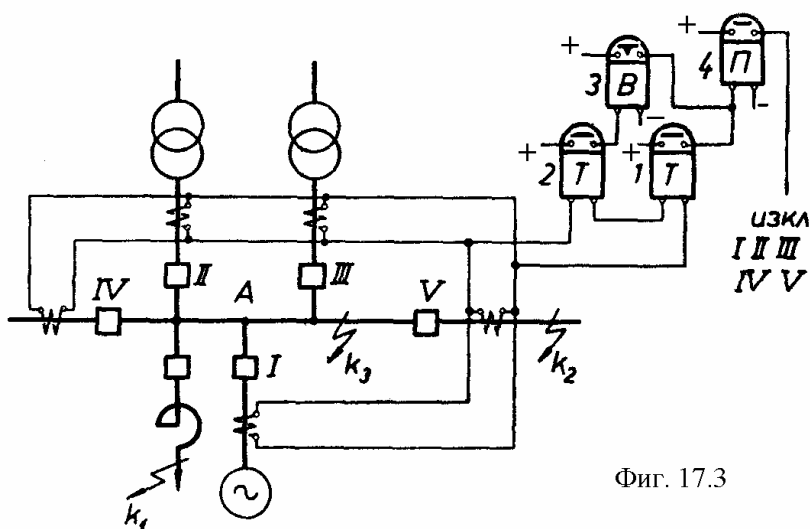


Фиг. 17.2

При външно к.с. например в точка *K2* през здравите присъединения протичат само собствените им токове на к.с., а през повреденото - сумата от тези токове. Неговият ТТ има условия да се насити, да увеличи грешката си и сумата от вторичните токове на всички ТТ да не бъде нула, а да даде един значителен небалансиран ток. Има опасност от излишно действие на диференциалната защита. Вземат се специални мерки като бързонасещащи се трансформатори, релета със спирални характеристики и др.

На фиг. 17.2 е показана принципна схема на пълна диференциална защита на една секция на генераторни шини. За да се намали влиянието на небалансирания ток, към токовото реле се поставя междинен насищащ се трансформатор *МНТ*. Този трансформатор практически не трансформира аperiодичната съставка на тока на к.с. и намалява небалансирания ток.

На фиг. 17.3 е дадена опростена съединителна схема на непълна диференциална защита за едната секция от събирателни шини. На всяко захранващо присъединение към защитаваната секция и към шиносъединителните прекъсвачи *IV* и *V* се поставят ТТ за диференциалната защита. Липсват ТТ за незахранените присъединения и това чувствително опростява схемата. Вторичните им намот-



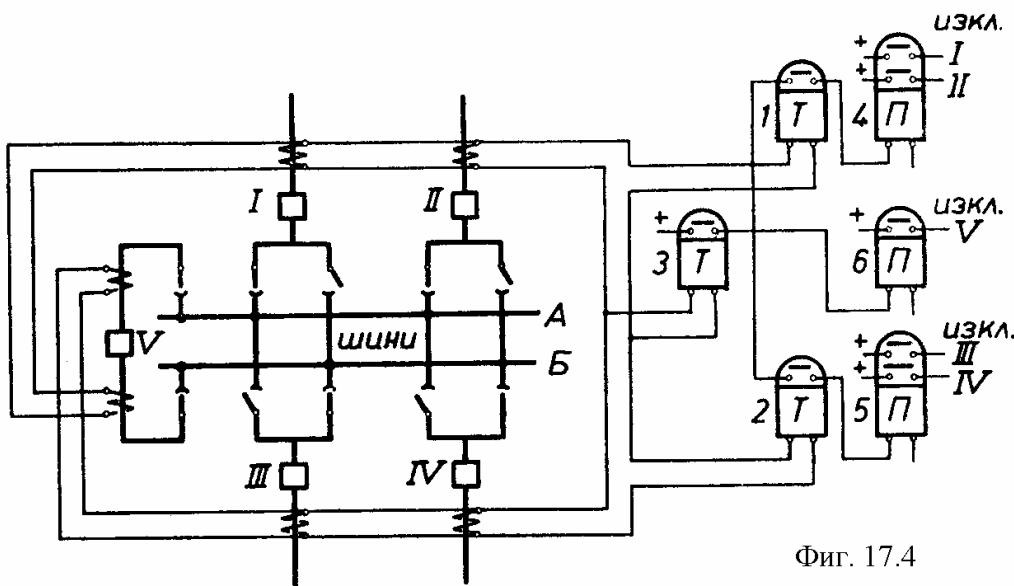
Фиг. 17.3

ки са свързани паралелно и към токовите релета *1Т* и *2Т*. Релето *1Т* действа без забавяне като токова отсечка, а *2Т* и *3В* формират МТЗ. Защитата може да работи селективно само, ако изводите, които не са обхванати от ТТ са с реактори или захранват трансформатори. Такива случай се явяват при централи със шини на 6 kV и при схемите за собствени нужди. Реле *1Т* се настройва да работи по тока на к.с. след реактора на същата секция. Реле *2Т* се настройва по сумарния ток на товара на всички захранвани присъединения. Нарочното забавяне на *3В* е с едно стъпало по-голямо от най-

голямото забавяне на защитите на изводите към съответната секция. МТЗ се поставя като резервна защита на ТО.

При к.с. в точката K_2 , както и при другите к.с. след токови трансформатори, релетата $1T$ и $2T$ не работват, защото през тях преминава само небалансиран ток. При к.с. на защитаваната шина например в точка K_3 релето $1T$ заработва мигновено, а $2T$ и $3B$ го резервират.

На фиг. 17.4 е показана двойна шинна система с неизменен ред на разпределяне на изводите между двете шини. ТТ са разположени според фигурата, а вторичните им намотки са свързани като две диференциални защиты. ТТ към изводите I и II и вторичната намотка на един от ТТ към шиносъединителния прекъсвал V се съединяват паралелно и образуват заедно с токовото реле $1T$ диференциална защита на шина A . ТТ към изводите III и IV и вторичната намотка на другия ТТ към шиносъединителния прекъсвал V се съединяват паралелно и образуват заедно с токовото реле $2T$ диференциална защита на шина B . Двете диференциални защиты се съединяват заедно към токовото реле $3T$ и образуват диференциална защита, която заработва при к.с. на едната или другата шинна система. Тя не работва при външно к.с. Релето $3T$ изключва винаги шиносъединителния прекъсвач и служи за пускане на двете отделни диференциални защиты.



Фиг. 17.4

Прехвърлянето на извод от едната към другата шинна система, за да не смути работата на защита, трябва да бъде съпроводено с прехвърляне на вторичните намотки на токовите му трансформатори от едната диференциална защита към другата.

18. Защита на двигатели

18.1. Видове повреди в двигателите

Междуфазни къси съединения. Те биват най-често двуфазни. Обикновено к.с. между двете фазни намотки се осъществява през корпуса. При голяма мощност на захранващата мрежа токът на к.с. може да бъде много голям. В някои случаи поради голямото съпротивление от мястото на к.с. до захранващите източници този ток може да бъде сравнително малък.

Къси съединения между навивките на една и съща фаза. При тях токът нараства само в заземяната фаза. Обикновено тази повреда прераства в междуфазно к.с.

Еднофазни земни (корпусни) съединения. Тази повреда е опасна за двигателите, които работят към система с директно заземен звезден център. Към тях спада трифазната четирипроводна мрежа 380/220 V. Токът на корпусното съединение в двигателите за ниско напрежение зависи от мощността на захранващата мрежа и от съпротивлението на веригата от мястото на к.с. до захранващия източник.

Звездният център на мрежите 6 kV обикновено е изолиран или заземен през гасителен реактор и затова токът на корпусното съединение е малък. Приема се при ток на земно съединение, по-

голям от 10 А да се поставя защита на двигателите и срещу корпусни повреди, а ако токът е по-малък от 10 А – да не се поставя.

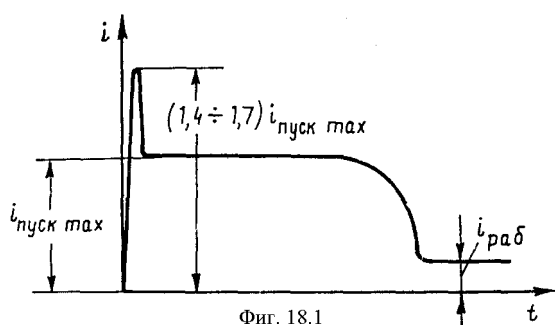
18.2. Ненормални режими на работа на двигателите

Претоварване. Претоварването на електрическите двигатели е резултат от претоварване на работните машини, които те задвижват. При претоварване протичащият ток в двигателите е по-голям от номиналния им ток, от което намотките им се загряват над допустимите граници. Този процес протича бавно и затова двигателите могат да издържат краткотрайни претоварвания. Това позволява защитата им срещу претоварване да задействува със сравнително голямо забавяне, като времето на задействане на тази защита трябва да зависи от степента на претоварването, т.е. да се използват защиты със зависимо от тока забавяне.

Работа на две фази. Този режим е особено характерен за двигатели, които са защитени с предпазители със стопяеми вложки или са присъединени към линии, защитени с такива предпазители. Режимът на работа на две фази се характеризира с това, че двигателите променят малко честотата на въртенето си, но продължават да изпълняват пълноценно ролята си като двигатели. През двете фазни намотки, от които двигателят продължава да се захранва, протичат токове, които надвишават със 70 - 80% номиналния ток. Ако двигателят преди режима на две фази е бил натоварен под 0.60 – 0.65 от номиналния му товар, той може да работи продължително време на две фази, без каквато и да е опасност от повреда.

Работа при понижаване на напрежението на захранващата мрежа. Такъв режим се получава при к.с. в мрежата или при пускане на големи двигатели. Понижаването на напрежението се отразява чувствително на работата на двигателите. Това се дължи на обстоятелството, че въртящият момент на асинхронните двигатели зависи от квадрата на напрежението. Работата на двигателя със същия момент при понижено напрежение е съпроводена с увеличаване на хлъзгането, консумираната реактивна мощност и тока в намотките.

Ако понижаването на напрежението е чувствително, въртящият момент на двигателя може да стане недостатъчен за задвижване на работната машина и двигателят ще спре. Ако спрелите по тази причина двигатели не са изключени от мрежата, след възстановяване на напрежението всички едновременно се самопускат. Този режим също не е нормален, защото големият ток (фиг. 18.1), който протича през намотките на двигателите по време на самопускането, затруднява процеса на бързо възстановяване на напрежението и с това се удължава и процесът на самопускането. За по-бързото възстановяване на напрежението при самопускането се налага да се изключват част от неотговорните двигатели.



Особености на ненормалните режими при синхронните двигатели. Претоварването на синхронните двигатели се дължи на претоварване на работната машина. Прекъсването на една от фазите обаче не само увеличава тока на неповредените фази, но създава възможност при определен товар двигателят да отпадне от синхронизъм. Синхронните двигатели не намаляват скоростта си при понижаване на напрежението, но въртящият момент намалява, а това създава възможност за отпадане от синхронизъм и преминаване в асинхронен режим на работа.

При този режим през намотките на двигателя протичат значителни токове, поради което той не трябва да се допуска.

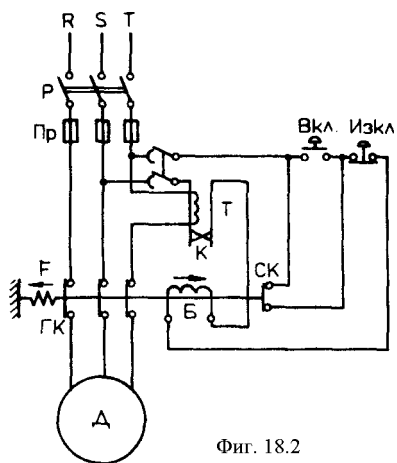
18.3. Защити на двигатели с напрежение до 1000 V

Асинхронните двигатели за напрежение до 1000 V и мощност от 0.05 до 260 kW се използват най-често в различните стопански отрасли. Тяхната сигурна и непрекъсната работа зависи от подходящия им избор по номинална мощност, режим на работа и експлоатационни условия. Но това все пак не изключва възможността за възникване на повреди и ненормални режими на работа. Затова всички двигатели се защитават срещу междуфазни к.с., срещу претоварване и срещу понижаване на напрежението.

Защита с предпазители със стопяема вложка. Тя е най-простата и най-евтина защита. За да не прегорят при пускането на двигателя, вложките на предпазителите трябва да се оразмерят така, че да

издържат пусковия ток. Това изискване обаче довежда до загрубване на защитата и затова тя не е чувствителна при претоварване. При това, ако прегори вложката на един от предпазителите, двигателят ще остане да работи на две фази и е възможно да се повреди. Поради това само с предпазители могат да се защитават неотговорни двигатели с малка мощност.

Областта на приложение на предпазителите със стопяеми вложки се разширява при използването им в комбинация с магнитни пускатели, които имат вградена токова защита срещу претоварване, изпълнена с термично реле с биметална пластинка. Принципната схема на магнитен пускател в комбинация с предпазители със стопяеми вложки е показана на фиг. 18.2. Предпазителите *Пр* се поставят на трите фази непосредствено след лостовия прекъсвач *Р*. Магнитният пускател се състои от главни контакти *ГК*, които се задвижват от включвателна бобина *Б* и термично реле *Т*, чиито контакти *К* са изключващи и са свързани последователно в оперативната верига. Последната се захранва с междуфазното напрежение на двигателя. Управлението му се осъществява чрез бутоните "Вкл" и "Изкл" и спомагателните контакти *СК*. Предпазителите служат като сигурна и бързодействаща защита само срещу вътрешни к.с., а термичното реле на магнитния пускател и термичното реле - срещу претоварване. Включвателната бобина на магнитния включвател се използва за защита срещу понижаване или изчезване на захранващото напрежение. В тези случаи тя освобождава лоста, който под действие на пружината *Ф* изключва двигателя и посредством контакта *СК* прекъсва оперативната верига.



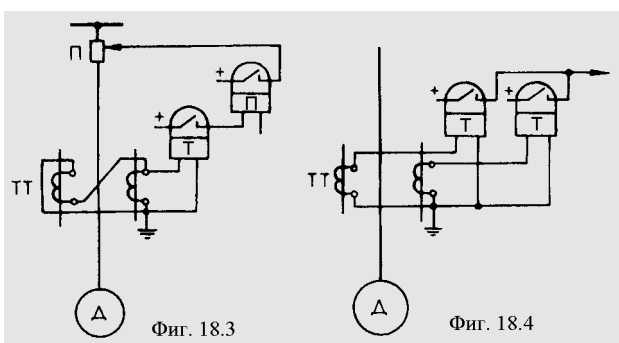
Фиг. 18.2

Защита с автоматични прекъсвачи. Тази защита е значително по-съвършена, но същевременно и по-скъпа. Затова тя се прилага при големите и отговорни двигатели. По своето устройство автоматичните прекъсвачи представляват комбинация от трифазен прекъсвач и защитни устройства (срещу к.с., претоварване и др.).

18.4. Защити на двигатели с напрежение над 1000 V

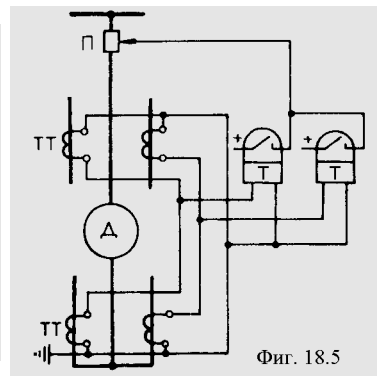
Защита срещу вътрешни междуфазни к.с. За ограничаване на пораженията от тези повреди се налага защитата да действа без забавяне. Затова се използва токова отсечка. За двигателите с мощност до 2000 kW тя се изпълнява с едно реле, през намотката на което протича разликата от токовете на две от фазите така, както е показано на фиг. 18.3. Когато с тази схема не се удовлетворяват изискванията за чувствителност при двуфазни к.с., а също и за двигатели с мощност

над 2000 kW, токовата отсечка се осъществява с две токови релета (фиг. 18.4). При двигатели с мощност на 2000 kW, ако и токовата отсечка не удовлетворява изискванията за чувствителност, се използва надлъжна диференциална защита (фиг. 18.5). При двигатели с мощност над 5000 kW е за-



Фиг. 18.3

Фиг. 18.4

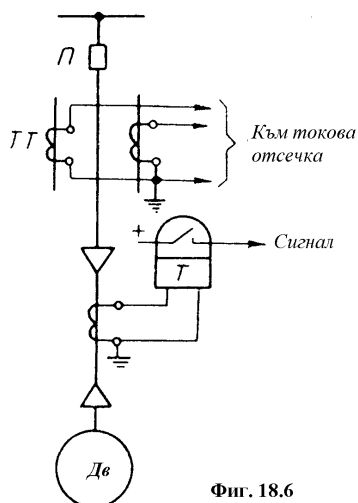


Фиг. 18.5

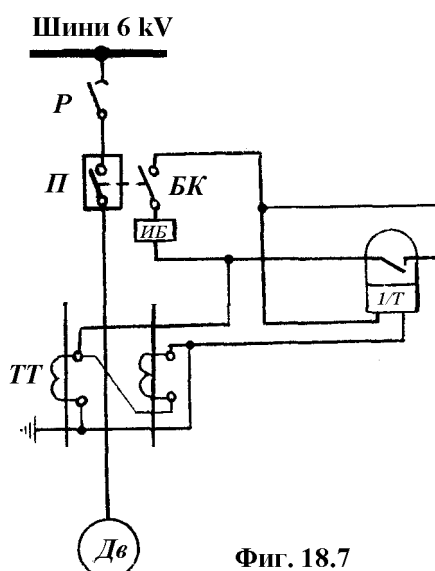
дължително използването на диференциална защита. Показаните схеми могат да се изпълнят и с променлив оперативен ток.

Защитата на двигателите срещу вътрешни междуфазни к.с. се настройва така, че да не действа от пусковите токове и от токовете при самопускане.

Защита срещу еднофазни земни (корпусни) съединения. Такава защита е прието да се поставя само на двигатели, чийто ток на земно съединение надвишава 10 A. Обикновено тя задействува на сигнал и по-рядко на изключване. Защитата реагира на токовете с нулева последователност (фиг. 18.6). Към кабелен филтър за токове с нулева последователност е присъединено токово реле, което сигнализира при възникване на земно съединение.



Фиг. 18.6



Фиг. 18.7

ка или с токови релета със зависимо от тока забавяне. На фиг. 18.7 е показана схема на защита с токово реле със зависимо от тока забавяне и с променлив оперативен ток.

Защита срещу понижаване на напрежението. Тази защита се изпълнява с напреженово реле с нормално затворени контакти, намотката на което е свързана към междуфазното напрежение посредством напреженов трансформатор. Релето се настройва така, че да предизвика изключване на двигателя, когато напрежението спадне под $0.5 \div 0.7$ от номиналното.

Защита на синхронни двигатели. При тях се използват същите защиты, както и при асинхронните двигатели, с тази разлика, че те действуват не само на изключване на двигателя, но и на спиране на възбудането му. За големите и отговорни синхронни двигатели се предвижда още и защита от изчезване на тока във възбудителната намотка, което довежда до тежък асинхронен режим и до повреда в ротора. Освен това се предвижда и защита срещу земно съединение във възбудителната намотка.

Защита срещу претоварване. Такава защита се поставя обикновено само на двигатели, при които е възможно претоварване на работната машина по технологични причини. Тази защита обикновено действа на сигнал или управлява други устройства, чрез които задвижваната машина се разтоварва. В случаите, когато няма дежурен персонал и е невъзможно да се отстранят причините за претоварването, тя се прави да действа за изключване на двигателя.

Защитата срещу претоварване може да се изпълни с термично реле с биметална пластинка

Релейна защита

Конспект

№	Тема	Стр.
1	Въведение в релейната защита	2
2	Видове електромеханични релета	4
3	Схеми за сравняване на две електрически величини	9
4	Максималнотокови защиты	11
5	Токова отсечка	16
6	Посочна токова защита	19
7	Характеристики на цифровите защиты. Структура	21
8	Защити срещу еднофазни къси съединения в системи с ефективно заземена неутрала	29
9	Защити срещу еднофазни къси съединения в системи с неефективно заземена неутрала	32
10	Дистанционна защита	35
11	Надлъжна диференциална защита	41
12	Напречна диференциална защита	44
13	Характеристики на защитите на трансформатори. Токови защиты	47
14	Диференциални защиты на трансформатори	51
15	Газова защита на трансформатори	56
16	Генераторни защиты	59
17	Защити на събирателни шини	60
18	Защита на двигатели	62

Литература:

1. Аврамов Н.Н. Основи на релейната защита. Техника, София, 1984
2. Нанчев Н.С. Релейна защита. Техника, София, 1957

Съставил:
(доц. дтн Станимир Вичев)