

## 8 ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

### 8.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В процессе эксплуатации в обмотках трансформаторов могут возникать КЗ между фазами, замыкание одной или двух фаз на землю, замыкание между витками одной фазы и замыкания между обмотками разных напряжений. На вводах трансформаторов и автотрансформаторов, ошиновке и в кабелях могут также возникать КЗ между фазами и на землю. В эксплуатации могут происходить нарушения нормальных режимов работы трансформаторов, к которым относятся: прохождение через трансформатор или автотрансформатор сверхтоков при повреждении других связанных с ними элементов, перегрузка, выделение из масла горючих газов, понижение уровня масла, повышение его температуры. В зависимости от опасности повреждения для нарушения нормального режима трансформатора, защита, фиксирующая нарушение, действует на сигнал, разгрузку или отключение трансформатора.

По количеству обмоток трансформаторы делятся на двух и трехобмоточные. Весьма часто используются трансформаторы с расщепленной вторичной обмоткой – для уменьшения токов КЗ, вместо одной вторичной обмотки на полную мощность, наматываются 2, или даже 3 обмотки НН меньшей мощности.

Обмотки трехфазных трансформаторов соединяются в схему звезды (Y) или треугольника (Δ). В схеме звезды кроме фазных выводов обычно выводится нейтраль. Вывод нейтрали либо заземляется наглухо, либо заземляется через разрядник или дугогасящий реактор в сетях с компенсированной нейтралью. Иногда вывод нейтрали остается незаземленным.

Каждая пара обмоток трансформатора образует группу соединения, основные из них: Y/Y-12, Y/Δ-11. Кроме схемы соединения, в названии группы указывается число, показывающее сдвиг напряжения (или тока) по фазе между вторичной и первичной обмотками. Число, показывающее сдвиг по фазе вторичной обмотки соответствует положению часовой стрелки (нижнее напряжение) относительно минутной (высшее напряжение) установившейся в положении 12 часов. Наиболее часто используется группа Y/Y-12, в этой группе вторичное напряжение совпадает по фазе с первичным – часовая и минутная стрелки на 12 часов, или Y/Δ-11 – часовая стрелка находится в положении 11 часов, а минутная – на 12. Вторичное напряжение опережает первичное на угол  $30^\circ$ .

Трансформаторы могут присоединяться к сети с помощью:

- выключателей;
- плавких предохранителей или открытых плавких вставок;
- автоматических отделителей или выключателей нагрузки, предназначенных для отключения трансформатора в бестоковую паузу.

Присоединение трансформаторов к сети через плавкие предохранители используется в схемах упрощенных подстанций 6-35 кВ при отсутствии аппаратуры на стороне высокого напряжения трансформатора.

Имеются предохранители ПК-10, ПКТ-10, ПКИ-10, ПСН-10., ПСН-35. Ток плавкой вставки зависит от мощности трансформатора, например: см. таблицу 8.1.

Предохранители ПСН-35 применяются для трансформаторов напряжением 35 кВ малой мощности (до 1 мВА), обычно на передвижных подстанциях. С помощью таких предохра-

лей практически невозможно обеспечить селективность защиты трансформатора с защитой ввода, поэтому они согласовываются непосредственно с защитой отходящих от шин линий 6-10 кВ. Были также разработаны, но не нашли применения, стреляющие предохранители 110 кВ типа ПС-110У1.

Плавкие предохранители рассчитаны на отключение тока КЗ в трансформаторе, поэтому они проверяются по номинальному отключаемому току КЗ. Номинальный ток отключения для предохранителей 6-10кВ может быть в пределах 2,5÷40 кА. Кроме того, требуется выбрать номинальное напряжение предохранителя. Одинаково недопустимо устанавливать предохранитель напряжением 6 кВ на трансформатор 10 кВ, и предохранитель 10 кВ на трансформатор напряжением 6 кВ. В первом случае может произойти перекрытие предохранителя по поверхности, а во втором может не погаснуть дуга внутри предохранителя.

**Рекомендуемые значения номинальных токов плавких вставок  $I_{ном.вс}$  предохранителей для трехфазных силовых трансформаторов 6/0,4 и 10/0,4 кВ**

Таблица 8.1

Мощность трансформатора, кВА	Номинальный ток, А					
	трансформатора на стороне			плавкой вставки на стороне		
	0,4 кВ	6 кВ	10 кВ	0,4 кВ	6 кВ	10 кВ
25	36	2,40	1,44	40	8	5
40	58	3,83	2,30	60	10	8
63	91	6,05	3,64	100	16	10
100	145	9,60	5,80	150	20	16
160	231	15,40	9,25	250	32	20
250	360	24,00	14,40	400	50	40
400	580	38,30	23,10	600	80	50
630	910	60,50	36,40	1000	160	80

Кроме рассмотренных выше предохранителей, которые обеспечивают отключение короткого замыкания, ранее применялись открытые плавкие вставки для трансформаторов напряжением 110 кВ. Трансформатор подключался к линии через тонкие алюминиевые провода, при перегорании которых возникала электрическая дуга. Открытые плавкие вставки не могли отключить ток КЗ, после их перегорания возникало короткое замыкание на стороне ВН, которое должно было отключаться защитой питающей линии.

При высшем напряжении 35 кВ и более, наиболее распространенным для трансформаторов мощностью более 1,0 МВА способом подключения трансформатора отпаечной и тупиковой подстанции к линии является подключение через автоматический отделитель (ОД) с установкой короткозамыкателя (КЗ) (рис. 8.1 б, в). Короткозамыкатель устанавливается в 2-х фазах при напряжении 35 кВ, и в одной фазе при напряжении 110 кВ и выше. В этом случае при повреждении в трансформаторе его релейная защита дает команду на включение КЗ, после чего срабатывает релейная защита питающей линии, и отключается выключатель (В) этой линии. Наступает *бестоковая пауза*, во время которой автоматика дает команду на отключение ОД, а линия включается снова от устройства АПВ.

Наиболее предпочтительным является присоединение трансформатора через выключатель (рис.8.1, а). На рисунке показан выключатель со встроенными в него трансформаторами тока (ТВ). При наличии у защищаемого трансформатора встроенных трансформаторов тока (ТВТ) требуется установить более дешевый выключатель без встроенных ТТ, стоимость установки которого может оказаться соизмеримой с установкой короткозамыкателя и отделителя. Большинство строящихся в настоящее время подстанций комплектуются именно выключателями на стороне ВН.

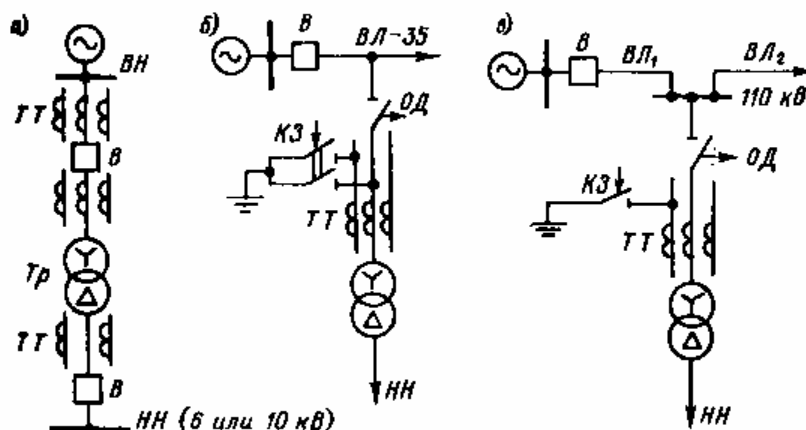


Рис. 8.1 Схемы присоединения понижающего трансформатора к питающей сети: с помощью выключателя (а) и отделителя с короткозамыкателем (б и в)

При подключении трансформатора по схемам рис. 8.1, можно полностью реализовать требования к защита трансформатора, указанным в п. 8.2.

## 8.2 ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Согласно ПУЭ, для трансформатора требуются следующие защиты:

- Защита от внутренних повреждений для трансформаторов менее 4 МВА – максимальная защита и токовая отсечка, для трансформаторов большей мощности – дифференциальная защита.
- Защита от повреждения внутри бака трансформатора или РПН – газовая защита трансформатора и устройства РПН с действием на сигнал и отключение.
- Защита от внешних коротких замыканий – максимальная защита с блокировкой по напряжению или без нее. Она же используется как резервная защита трансформаторов от внутренних повреждений.
- Защита от однофазных коротких замыканий на сторонах трансформатора с глухозаземленной нейтралью.
- Защита от перегрузки с действием на сигнал. В ряде случаев, на ПС без обслуживающего персонала, защита от перегрузки выполняется с действием на разгрузку или на отключение.

Кроме непосредственно защит, требуются дополнительные токовые органы, например для автоматики охлаждения, блокировки РПН.

### 8.3 ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА

#### *Область применения и принцип действия*

Дифференциальная защита, выполненная на принципе сравнения токов на входе и выходах, применяется в качестве основной быстродействующей защиты трансформаторов и автотрансформаторов. Защита абсолютно селективна, реагирует на повреждения в обмотках, на выводах и в соединениях с выключателями, и действует на отключение трансформатора со всех сторон без выдержки времени. Зона действия дифференциальной защиты трансформатора (ДЗТ) ограничивается местом установки трансформаторов тока, и включает в себя ошиновку СН, НН и присоединение ТСН, включенного на шинный мост НН. Ввиду ее сравнительной сложности, дифференциальная защита устанавливается в следующих случаях (Л1):

- на одиночно работающих трансформаторах (автотрансформаторах) мощностью 6300 кВА и выше;
- на параллельно работающих трансформаторах (автотрансформаторах) мощностью 4000 кВА и выше;
- на трансформаторах мощностью 1000 кВА и выше, если токовая отсечка не обеспечивает необходимой чувствительности при КЗ на выводах высшего напряжения ( $k_q < 2$ ), а максимальная токовая защита имеет выдержку времени более 0,5 сек.

При параллельной работе трансформаторов (автотрансформаторов) дифференциальная защита обеспечивает не только быстрое, но и селективное отключение поврежденного трансформатора (автотрансформатора), что поясняется на рис. 8.2. Если параллельно работающие трансформаторы  $T1$  и  $T2$  оснащены только максимальными токовыми защитами, то при повреждении на вводах низшего напряжения трансформатора, например в точке К, действуют максимальные токовые защиты обоих трансформаторов, а так как их выдержки времени одинаковы, отключатся оба трансформатора. Дифференциальная защита, действующая без выдержки времени, обеспечивает в рассмотренном случае отключение только поврежденного трансформатора. Для выполнения дифференциальной защиты трансформатора (автотрансформатора) устанавливаются ТТ со стороны всех его обмоток, как показано на рис. 8.2 для двухобмоточного трансформатора. Вторичные обмотки ТТ соединяются в дифференциальную схему и параллельно к ним подключается токовое реле. Аналогично выполняется дифференциальная защита автотрансформатора. При рассмотрении принципа действия дифференциальной защиты условно принимается, что защищаемый трансформатор имеет коэффициент трансформации, равный единице, одинаковое соединение обмоток и одинаковые ТТ с обеих сторон.

При прохождении через трансформатор сквозного тока нагрузки или КЗ ток в реле равен:

$$I_p = I_1 - I_2$$

При принятых выше условиях и пренебрегая током намагничивания трансформатора, который в нормальном режиме имеет малое значение, можно считать, что первичные токи равны ( $I_I = I_{II}$ ) и, следовательно, вторичные токи  $I_1 = I_2$ .

С учетом этого:

$$I_p = I_1 - I_2 = 0$$

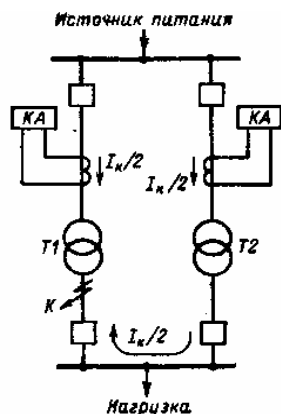


Рис. 8.2 Прохождение тока КЗ и действие максимальной токовой защиты при повреждении одного из параллельно работающих трансформаторов.

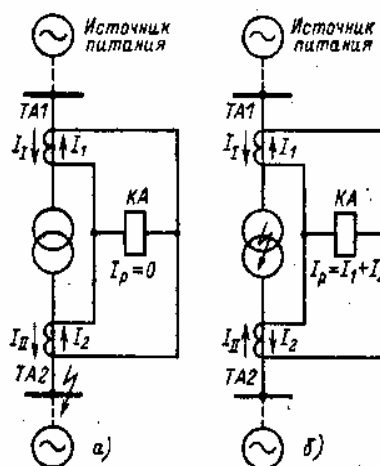


Рис. 8.3 Принцип действия дифференциальной защиты трансформатора:  
а – токораспределение при сквозном КЗ;  
б – то же при КЗ в трансформаторе (в зоне действия дифференциальной защиты).

Таким образом, если схема дифференциальной защиты выполнена правильно и ТТ имеют точно совпадающие характеристики, то при прохождении через трансформатор тока нагрузки или внешнего КЗ ток в реле отсутствует, и дифференциальная защита на такие режимы не реагирует.

Практически вследствие несовпадения характеристик ТТ вторичные токи не равны  $I_1 \neq I_2$  и поэтому в реле проходит ток небаланса, т. е.  $I_p = I_1 - I_2 = I_{p.нб}$

Для того чтобы дифференциальная защита не подействовала от тока небаланса, ее ток срабатывания должен быть больше этого тока, т. е.

$$I_{CЗ} = k_n I_{p.нб} \quad (8.1)$$

При КЗ в трансформаторе, или любом другом месте между ТТ, направление токов  $I_1$  и  $I_2$  изменится на противоположное, как показано на рис. 8.3, б. При этом ток в реле станет равным

$$I_p = I_1 + I_2 \text{ или } I_p = I_1/k_I + I_2/k_I = I_p/k_I.$$

Таким образом, при КЗ в зоне дифференциальной защиты в реле проходит полный ток КЗ, деленный на коэффициент трансформации трансформаторов тока. Под влиянием этого тока защита срабатывает и производит отключение поврежденного трансформатора.

### Особенности, влияющие на выполнение дифференциальной защиты трансформаторов:

– Наличие намагничивающего тока, проходящего только со стороны источника питания

Даже в том случае, когда трансформатор имеет коэффициент трансформации, равный единице, и одинаковое соединение обмоток, ток со стороны источника питания больше тока со стороны нагрузки на значение намагничивающего тока. Намагничивающий ток в нормальном режиме составляет примерно 1÷5% номинального тока трансформатора и поэтому вызывает лишь некоторое увеличение тока небаланса. Иные явления происходят при включении холодного трансформатора под напряжение, или при восстановлении напряжения после отключе-

ния КЗ. В этих случаях в обмотке трансформатора со стороны источника питания возникает бросок намагничивающего тока, который в первый момент времени в 5÷8 раз превышает номинальный ток трансформатора, но быстро, в течение времени менее 1 сек, затухает до значения порядка 5-10% номинального тока. Для предотвращения ложного срабатывания дифференциальной защиты от броска намагничивающего тока ток срабатывания защиты должен быть больше максимального значения намагничивающего тока, т. е.

$$I_{CЗ} = k_n \cdot I_{нам\max} \quad (8.2)$$

Ток  $I_{нам\max}$  зависит от конструкции трансформатора, момента его включения под напряжение и ряда других условий, трудно поддающихся учету. Поэтому при расчетах дифференциальной защиты ток срабатывания определяется по формуле:

$$I_{CЗ} = k_n \cdot I_{ном} \quad (8.3)$$

где

$I_{ном}$  — номинальный ток обмотки, имеющей наибольшую мощность;

$k_n$  — коэффициент надежности отстройки, принимаемый равным 1÷4 в зависимости от типа реле, используемых в схеме дифференциальной защиты.

#### – Неравенство вторичных токов и разнотипность трансформаторов тока

Поскольку у трансформаторов токи со стороны обмоток высшего, среднего и низшего напряжений не равны, трансформаторы тока, выбираемые по номинальным токам обмоток, имеют разные коэффициенты трансформации и различное конструктивное выполнение. Вследствие этого они имеют различные характеристики и погрешности.

Номинальные токи обмоток трансформаторов, как правило, не совпадают со шкалой номинальных токов ТТ. Поэтому при выборе ТТ принимается трансформатор тока, номинальный ток которого является ближайшим большим по отношению номинальному току обмотки трансформатора. Иногда и этого сделать не удастся, так как на выбор трансформаторов тока влияют и другие соображения. Таким образом, вследствие неравенства вторичных токов в плечах дифференциальной защиты в дифференциальном реле при номинальной нагрузке трансформатора проходит ток небаланса, равный:

$$I_{нб} = I_{ВН} / K_{II\ ВН} - I_{НН} / K_{II\ НН} \quad (8.4)$$

При сквозном КЗ этот ток возрастает пропорционально току КЗ, а также увеличивается вследствие возрастания погрешностей ТТ, имеющих неодинаковые характеристики, что может вызвать ложное действие дифференциальной защиты.

Поэтому для снижения тока небаланса, вызванного неравенством вторичных токов ТТ дифференциальной защиты, производится выравнивание этих токов путем включения специальных промежуточных автотрансформаторов тока, или путем использования выравнивающих обмоток дифференциальных реле. В цифровых реле такое выравнивание производится математическим путем.

## – Неодинаковые схемы соединения обмоток трансформаторов

При неодинаковых схемах соединения обмоток, например звезда-треугольник, токи со стороны обмотки, соединенной в звезду, и токи со стороны обмотки, соединенной в треугольник, оказываются сдвинутыми относительно друг друга на некоторый угол, который зависит от схемы соединения обмоток. Как уже говорилось в разделе 8.1, для обычно применяемой группы  $Y/\Delta$  -11 вторичный ток опережает первичный на угол  $30^\circ$ . Угловой сдвиг токов создает небаланс в реле дифференциальной защиты, который нельзя компенсировать подбором витков. Компенсация углового сдвига производится путем специального соединением вторичных обмоток трансформаторов тока. Для этого на стороне звезды трансформаторы тока соединяются в треугольник, а на стороне треугольника – в звезду (см. рис. 8.4).

При таком соединении вторичных обмоток ТТ, как показано на рис. 8.4, в трансформаторах тока ТА1, вторичные обмотки которых соединены в треугольник, создается сдвиг токов на такой же угол, как и в соединенной в треугольник обмотке НН трансформатора, что и обеспечивает совпадение фаз вторичных токов.

Современные цифровые защиты (фирм ABB, SIEMENS, ALSTOM, GE) получают разность фазных токов математическим путем. У таких защит трансформаторы тока со всех сторон соединяются в звезду, а группа соединений трансформатора и полярность ТТ вводится в реле в виде уставки. Соединение в звезду выгоднее в части величины нагрузки на трансформаторы тока (как указывалось в гл. 4, при соединении трансформаторов тока в треугольник нагрузка на трансформаторы тока вырастает в 3 раза).

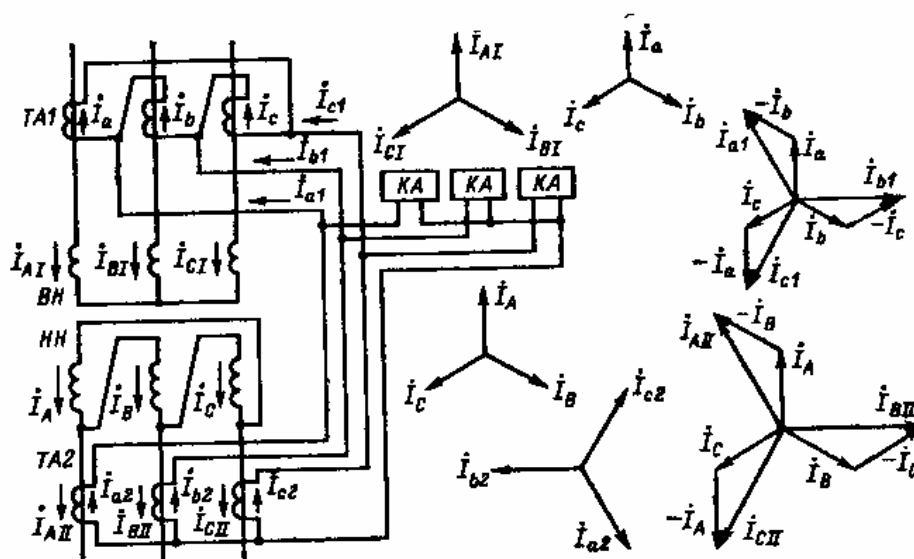


Рис. 8.4 Прохождение токов и векторные диаграммы токов в схеме дифференциальной защиты трансформатора с соединением обмоток по схеме звезда-треугольник, поясняющие принцип компенсации углового сдвига

Соединение трансформаторов тока в треугольник на стороне трансформатора, где первичные обмотки соединены в звезду, имеет и преимущество. Если нейтраль трансформатора заземлена, то при замыкании на землю протекает ток от заземленной нейтрали к месту КЗ. При установке трансформаторов тока только на выводах и схеме соединения трансформаторов тока – звезда протекает несбалансированный ток нулевой последовательности, который при схеме соединения ТТ – треугольник замыкается внутри треугольника и в реле не попадает. Таким образом, состояние нейтрали соединенной в звезду обмотки трансформатора не влияет на работу дифзащиты. Цифровые защиты исключают влияние тока нулевой последовательности математическим путем, поэтому, трансформаторы тока можно соединить в звезду.

## Выбор уставок дифференциальной защиты

Выбор уставок дифференциальной защиты производится по 2 условиям: отстройка от тока намагничивания и тока небаланса.

**Ток намагничивания** трансформатора достигает 5-6 величины номинального тока трансформатора. В схеме дифференциальной защиты он не компенсируется, и дифзащита должна отстраиваться от него для исключения ложной работы при включении трансформатора. Отстройка производится по ранее приведенной формуле (8.3):

$$I_{CЗ} = k_n I_{ном}$$

Коэффициент надежности  $k_n$  определяется в основном типом примененного реле и наличием в нем специальных мер отстройки от броска тока намагничивания.

**Ток небаланса в схеме дифференциальной защиты.** Токи небаланса в схеме дифференциальной защиты трансформаторов и автотрансформаторов имеют место из-за погрешностей ТТ, из-за изменения коэффициента трансформации защищаемого трансформатора (при регулировании напряжения), из-за неточного выравнивания вторичных токов.

Для отстройки дифференциальной защиты от тока небаланса при сквозном КЗ, ее ток срабатывания должен удовлетворять условию:

$$I_{CЗ} = k_n \cdot I_{нб.рас.} \quad (8.5)$$

где

$k_n$  – коэффициент надежности отстройки, принимаемый равным 1,3.

Расчетный ток небаланса, определяемый погрешностями ТТ, вычисляется по формуле:

$$I_{нб.рас.} = k_a \cdot k_{одн} \cdot f \cdot I_{КЗmax} \quad (8.6)$$

где

$k_a$  – коэффициент, учитывающий влияние на быстродействующие защиты переходных процессов при КЗ, которые сопровождаются прохождением апериодических составляющих в токе КЗ; принимается  $k_a = 1$  для реле, имеющих БНТ с короткозамкнутыми обмотками или других средств отстройки от переходных процессов при КЗ, и  $k_a = 2$  для реле без таких средств; Для микропроцессорных защит также можно принять  $k_a = 1$ .

$k_{одн}$  – коэффициент однотипности условий работы ТТ, принимаемый равным 0,5 в тех случаях, когда ТТ обтекаются близкими по величине значениями токами, и равным 1 в остальных случаях, для трансформаторов  $k_{одн}$  принимается равным 1 ;

$f = 0,1$  – погрешность ТТ, удовлетворяющих 10 %-ной кратности (см. п. 4);

$I_{КЗmax}$  – наибольший ток при сквозном КЗ.



Вторая составляющая тока небаланса определяется изменением коэффициента трансформации защищаемого трансформатора при регулировании напряжения, вычисляется по формулам:

- при регулировании на одной стороне трансформатора

$$I_{2нб.рас.} = \Delta N \cdot I_{K3max} \quad (8.7)$$

- при регулировании с двух сторон трансформатора

$$I_{2нб.рас.} = \Delta N_{BH} \cdot I_{K3max} + \Delta N_{HH} \cdot I_{K3max} \quad (8.8)$$

где

$\Delta N$  – половина регулировочного диапазона, для которого производится выравнивание вторичных токов (например, при половине регулировочного диапазона  $N = \pm 10\%$ ,  $\Delta N = 0,1$ ).

Третья составляющая расчетного тока небаланса определяется неточностью выравнивания вторичных токов вычисляется по формуле:

$$I_{3нб.рас.} = \frac{w_{I рас.} - w_I}{w_{I рас.}} \cdot I_{IK3max} + \frac{w_{II рас.} - w_{II}}{w_{II рас.}} \cdot I_{IIK3max} \quad (8.9)$$

где

$w_{I рас.}, w_{II рас.}$  – расчетные числа витков выравнивающих обмоток трансформаторов реле для неосновных сторон (сторон с меньшим вторичным током);

$w_I, w_{II}$  – принятые числа витков обмоток;

$I_{IK3max}, I_{IIK3max}$  – наибольшие токи КЗ соответствующих сторон.

Для двухобмоточного трансформатора формула упрощается:

$$I_{3нб.рас.} = \frac{w_{II рас.} - w_{II}}{w_{II рас.}} \cdot I_{IIK3max} \quad (8.10)$$

для стороны трансформатора принятой за основную.

Суммарный расчетный ток небаланса состоит из этих трех составляющих

$$I_{нб.рас.} = I_{1нб.рас.} + I_{2нб.рас.} + I_{3нб.рас.} \quad (8.11)$$

Обычно при расчете дифференциальной защиты трансформаторов вначале определяется ток небаланса как сумма первых двух составляющих:

$$I_{нб.рас.} = I_{1нб.рас.} + I_{2нб.рас.} \quad (8.12)$$

Затем после выбора тока срабатывания и определения расчетных чисел витков определяется дополнительно суммарный ток небаланса по формуле (8.10) и производится уточнение ранее выбранного тока срабатывания по формуле 8.10.

Ток срабатывания защиты по условию отстройки от тока небаланса:

$$I_{CЗ} = k_n \cdot I_{нб.рас.} \quad (8.13)$$

где

$k_n$  — коэффициент надежности, который можно принять равным 1.3.

### Некоторые схемы дифзащиты

**Дифференциальная отсечка.** В схеме дифотсечки отсутствуют какие либо специальные средства для отстройки от броска тока намагничивания и выравнивания вторичных токов (см. рис. 8.4).

Ток срабатывания дифференциальной отсечки определяют условием отстройки от броска намагничивающего тока согласно формуле (8.3), принимая  $k_n = 3 \div 4$  для электромеханических реле. Броски намагничивающего тока в первый момент включения трансформатора могут превышать ток срабатывания дифференциальной отсечки, выбранный с указанным коэффициентом надежности отстройки. Однако эти токи очень быстро затухают, что дает возможность отстроиться от них за счет собственного времени действия реле дифференциальной отсечки. Для этого в схеме дифференциальной отсечки применяют выходное промежуточное реле (реле  $KL$  на рис. 8.5) которое имеет время срабатывания 0,07–0,08 с. Для измерения тока используется обычное токовое реле. При правильном подборе трансформатора тока и такой уставке удастся отстроиться и от тока небаланса без выравнивания токов плеч — второе условие выбора уставок, что и дает возможность использовать для дифотсечки простое токовое реле.

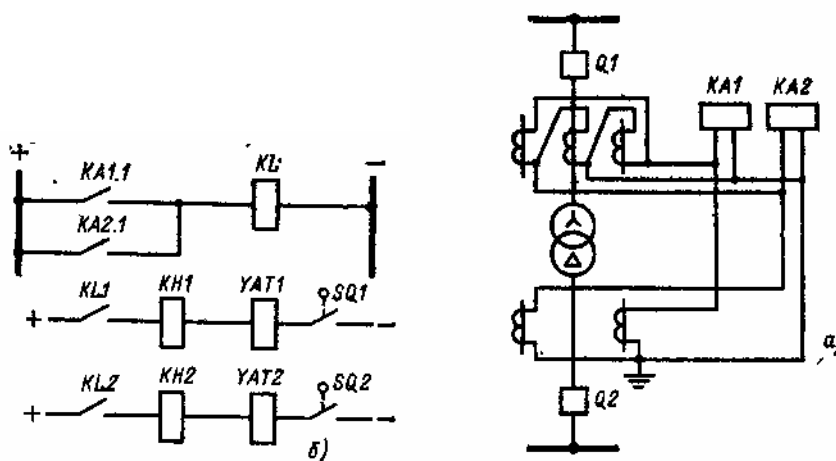


Рис. 8.5 Принципиальная схема дифференциальной отсечки двухобмоточного трансформатора

а — схема токовых цепей;

б — схема цепей оперативного тока

В сложных устройствах дифзащиты, например ДЗТ-21, РЗІРТ, МІСОМ Р630 и других микропроцессорных защитах, имеется дополнительный элемент, именуемый отсечкой. Этот элемент не имеет дополнительной задержки и специальных средств отстройки от броска тока намагничивания. Поэтому он должен отстраиваться от бросков тока намагничивания с большим коэффициентом равным  $6-8 I_{ном}$ . Зато такая отсечка, не имеющая никаких задержек по сравнению с основной, более чувствительной дифзащитой, обеспечивает очень быстрое отключение большого тока короткого замыкания.

### Логическая дифференциальная защита трансформатора

Подобно тому, как выполнялась логическая защита шин (см. п. 6), можно выполнить и логическую дифзащиту трансформатора. Для этого необходимо установить 2 защиты: на вводе ВН и НН и связать их схемой блокировки таким образом, чтобы мгновенный токовый орган на вводе НН блокировал токовую отсечку на вводе ВН (рис.8.5).

Токовый орган защиты (ТО), установленный на стороне НН (Р32), блокирует отсечку (О) на стороне ВН (Р31). При внешнем КЗ отсечка блокируется и не работает. При КЗ в зоне блокировки на вход отсечки на стороне ВН не поступает, и она отключает трансформатор с временем отсечки.

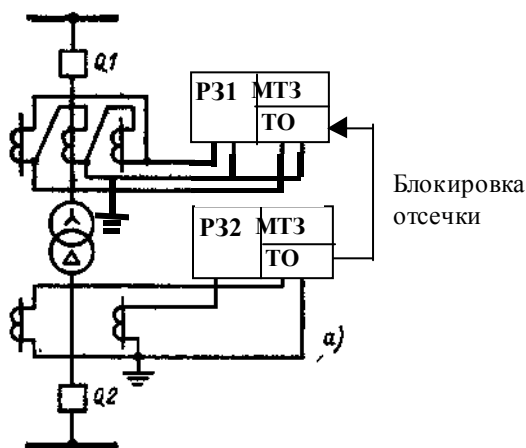


Рис.8.6 Выполнение логической дифзащиты с использованием ТО вводов.

В качестве таких защит можно применить защиту РС81 или УЗА-АТ. Эти устройства имеют мгновенный токовый орган и 2 степени защиты: токовую отсечку и МТЗ. Токовая отсечка защиты стороны НН (Р32) используется в логической защите шин НН, МТЗ стороны НН выполняет функции максимальной защиты, а токовый элемент блокирует отсечку стороны ВН, образуя логическую дифзащиту. Отсечка стороны ВН должна быть согласована по току с токовым органом защиты стороны НН. Для получения одинаковых токов в фазах защиты Р31 и Р32 при двухфазном КЗ, защита Р31 должна включаться на трансформаторы тока ВН, включенные по схеме треугольника.

Согласование производится по формуле:

$$I_{сз\text{ ВН}} = k_n I_{сз\text{ НН}} \quad (8.14)$$

где

$k_n$  – коэффициент надежности, принимается равным 1,3 для учета регулирования коэффициента трансформации.

Второе условие выбора отстройка от броска тока намагничивания, при выполнении отсечки указанных устройств с выдержкой времени 0,15 сек. Ток срабатывания может быть принят равным:

$$I_{CЗ\ BH} = (2 \div 2,5) I_{ном}, \quad t_{CЗ\ BH} = 0,15 \text{ сек}$$

г. Журавский В.И. (Хмельницкоблэнерго) предложил использовать в качестве такой защиты токовые реле РТ-40 производства ЧЭАЗ. Для отстройки от броска тока намагничивания, как показали испытания на ряде трансформаторов, можно также выполнить уставку, равную  $2,5I_{ном.}$ , не выполняя дополнительной задержки защиты, кроме использования обычного выходного реле. Пока нет достаточного опыта применения логических дифзащит трансформатора. Поэтому, целесообразно при выполнении такой защиты производить опытную проверку отстройки защиты от броска тока намагничивания.

### **Дифференциальная защита с быстронасыщающимися трансформаторами (БНТ) (реле РНТ-562, 565)**

Схема защиты показана на рис. 8.7.

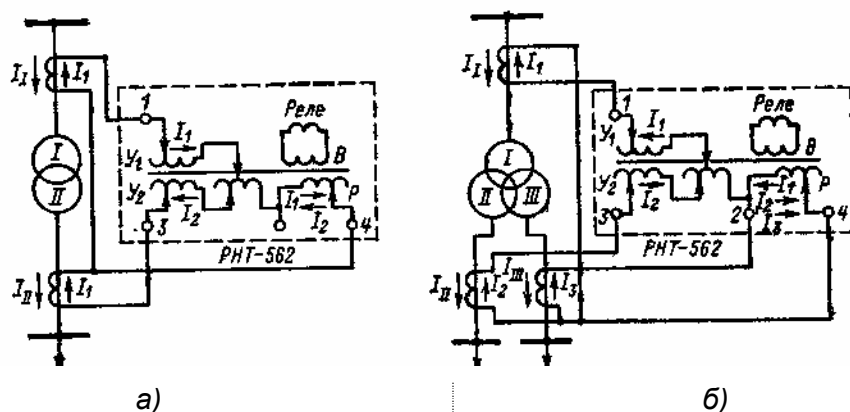


Рис. 8.7 Схема защиты на реле РНТ- 562(565)

а) для двухобмоточного трансформатора;

б) для трехобмоточного.

Реле серии РНТ-565 предназначены для дифференциальной защиты одной фазы силового трансформатора или шин. Быстронасыщающийся трансформатор реле РНТ-565 является одновременно и промежуточным трансформатором для компенсации неравенства вторичных токов в плечах дифференциальной защиты, и имеет для этой цели рабочую и две специальные уравнивательные обмотки. Ток во вторичной обмотке БНТ, к которой подключено реле, определяется суммарным магнитным потоком в сердечнике, который создается как рабочей, так и уравнивательными обмотками. Для того чтобы при прохождении через трансформатор сквозного тока нагрузки или КЗ ток во вторичной обмотке был равен нулю, необходимо правильно включить рабочую и уравнивательные обмотки в дифференциальную схему и так подобрать числа витков обмоток, чтобы компенсировать неравенство вторичных токов ТТ и установить необходимый ток срабатывания. При броске тока намагничивания БНТ насыщается постоянной составляющей тока намагничивания и ухудшает трансформацию переменной составляющей в реле. За счет применения БНТ, можно выполнить уставку по условию отстройки от броска тока намагничивания, равной  $1 \div 1,3$  номинального тока трансформатора. Ток срабатывания реле рассчитываются по числу витков, обтекаемых током, исходя из того, что м.д.с. срабатывания реле равна 100А/витков.

### **Реле для дифференциальной защиты типа РСТ-15 (ЧЭАЗ)**

Дифференциальные реле тока серии РСТ-15 (для сетей 50 Гц) применяются в качестве измерительных органов дифференциальной защиты понижающих трансформаторов и мощных двигателей. Реле выполнены на интегральных микросхемах и питаются от постоянного оперативного тока. В состав реле входят (рис. 8.8):

- датчик тока – трансреактор ТАВ, содержащий три первичных обмотки: основную (дифференциальную), имеющую 30 витков с отводами от 12, 16, 20, 25-го витков и две дополнительные (уравнительные) по три витка в каждой с отводами от 1-го витка;
- узел формирования реле, состоящий из нагрузочного моста ( $VD1$ ,  $VD2$ ,  $R2$ ,  $R1$ ); делителя  $R3$ ,  $R4$  и активного фильтра нижних частот (ФНЧ)  $A1$ ;
- узел сравнения, состоящий из компаратора  $A2$  и элемента выдержки времени  $A3$  с установленным на нем временем 22 мс;
- узел выхода УВ;
- узел питания УП.

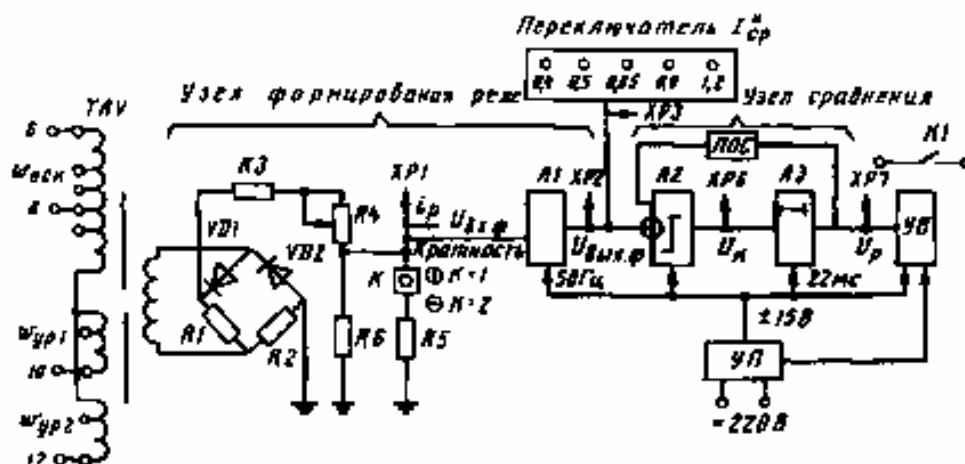


Рис. 8.8 Функциональная схема дифференциального реле типа РСТ-15

Переключатель  $K$  позволяет исключить резистор  $R5$  из схемы делителя. При этом значение выходного сигнала, подаваемого на  $A1$ , изменяется в отношении 1:2. Переключатель  $K$  служит для ступенчатого изменения уставки реле по току срабатывания в 2 раза.

Формы сигналов, образующихся на выходе узла формирования при появлении повышенного дифференциального тока, резко различаются в зависимости от того, является он током КЗ или током включения. Это позволяет получать управляющий сигнал на выходе сравнения только при КЗ в зоне защиты. Для обеспечения релейного эффекта выход элемента времени  $A3$  соединен положительной обратной связью с входом компаратора  $A2$ . Реле РСТ-15 характеризуется высокой степенью отстройки от переходных токов небаланса, возникающих при включении трансформаторов и двигателей под напряжение, за счет того, что постоянная составляющая тока намагничивания не трансформируется трансреактором, а из переменной составляющей отфильтровывается только 1 гармоника. Вследствие этого, ток срабатывания дифференциальной защиты при использовании реле РСТ-15 можно устанавливать порядка  $0,5 \cdot I_{ном}$ . Ток срабатывания реле может быть установлен в пределах  $(0,4 \div 1,2) \cdot I_{ном}$  при  $K = 1$  и  $(0,8 \div 2,4) \cdot I_{ном}$  при  $K = 2$ . Выставление уставки осуществляется установкой штекера в соответствующее гнездо на лицевой плате реле.

### Использование торможения

Условие отстройки от тока намагничивания не является определяющим условием выбора уставок дифзащиты. Обычно таким условием является отстройка от тока небаланса. Для трансформаторов с РПН и многообмоточных трансформаторов токи небаланса в установившемся режиме КЗ имеют значительную величину. Действительно, если предположить по-

грешность ТТ равной 10%, а диапазон регулирования напряжения 16% и кратность тока КЗ за трансформатором равной  $10 I_{ном}$ , то уставку защиты по условию отстройки от небаланса составит по формулам (8.12), (8.13):

$$I_{CЗ} = 1,3(0,1 + 0,16) \cdot 10 I_{ном} = 3,4 I_{ном}$$

Учет токов небаланса является определяющим для выбора уставок дифзащиты. Защита трансформатора на реле с БНТ становится очень грубой и для многих режимов недостаточно чувствительной. Значительно улучшает чувствительность применение процентного торможения.

При применении такого торможения ток срабатывания дифзащиты увеличивается с ростом сквозного тока короткого замыкания, что позволяет понизить уставку по току срабатывания, и защита во всех режимах остается чувствительной к КЗ. Уставка защиты для данного режима определяется по формуле:

$$I_{CЗ} = I_{y.бт} + k_m I_m \quad (8.15)$$

где

$k_m$  – коэффициент торможения принимается равным:

$$k_m = k_n I'_{нб.рас.} = k_n (I'_{1нб.рас.} + I'_{2нб.рас.} + I'_{3нб.рас.}) \quad (8.16)$$

где

$k_n$  – принимается равным 1,3.

$I'_{нб.рас.}$ ;  $I'_{1нб.рас.}$ ;  $I'_{2нб.рас.}$ ;  $I'_{3нб.рас.}$  – полный ток небаланса и его составляющие в относительных единицах

Для вышеприведенного случая коэффициент торможения можно принять равным

$$k_m = 1,3 \cdot 0,26 = 0,34.$$

. Следует учитывать, что тормозная обмотка включается не на дифференциальный ток, а на ток сторон НН и СН. Если включить ее на сторону НН при питании со стороны ВН, то при коротком замыкании в трансформаторе, тормозной ток в дифзащите отсутствует и защита не загрубляется. При сквозном КЗ на стороне НН (СН), дифзащита автоматически загрубляется с ростом тормозного тока, и уставка отстает от отстроенной от небаланса при любом токе короткого замыкания

### **Дифференциальное реле с торможением типа ДЗТ-11 (ЧЭАЗ)**

Реле типа ДЗТ-11 предназначены для дифференциальной защиты одной фазы силовых трансформаторов, и получили широкое распространение в сетях. На базе реле ДЗТ-11 выполнена дифференциальная защита большинства трансформаторов 110кВ и выше. У реле типа ДЗТ-11 на БНТ кроме рабочей и двух уравнивающих обмоток, аналогичных тем, что имеются у реле типа РНТ, выполнена одна дополнительная тормозная обмотка, обеспечивающая получение тормозных характеристик от одной группы ТТ. Тормозная обмотка обычно включается на ТТ стороны НН (или НН+СН). Расчетные уставки на реле выставляются выбором количества витков обмоток в каждом из плеч дифзащиты. Ток срабатывания для каждой обмотки реле  $I_{с.р.}$  рассчитывается по числу витков  $\varpi$  обтекаемых током, исходя из того, что магнито-

движущая сила срабатывания реле  $F_{c.p.}$ , при исключении тормозной обмотки, составляет 100 А • витков.

$$I_{c.p.} = \frac{F_{c.p.}}{\omega} = \frac{100}{\omega}$$

Пример схемы выполнения дифференциальной защиты двухобмоточного трансформатора на реле типа ДЗТ-11 показан на рис. 8.9 а).

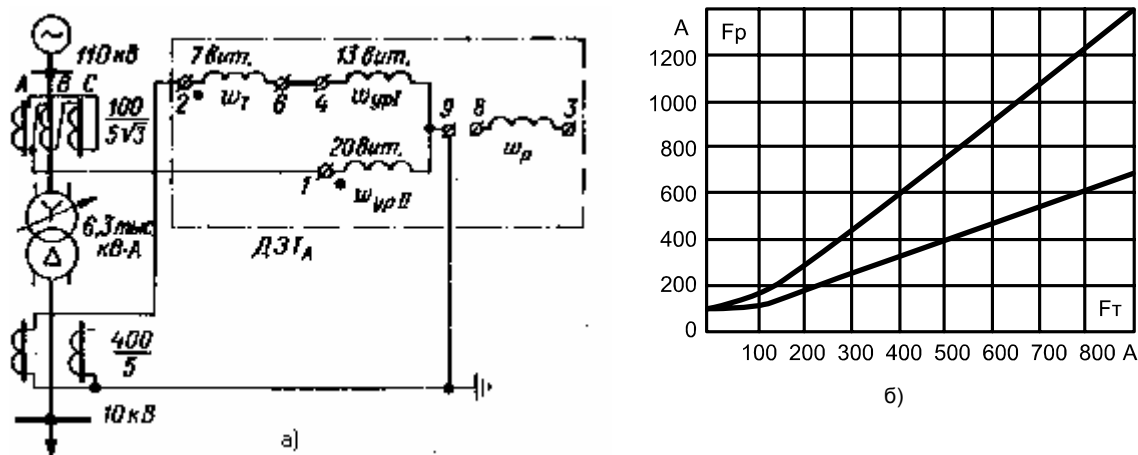


Рис. 8.9 Принципиальная схема токовых цепей дифференциальной защиты двухобмоточного трансформатора 110/10кВ на реле ДЗТ-11:

а) – схема включения реле; б) – тормозная характеристика (зависимость м.д.с. срабатывания  $F_{cp}$  от м.д.с. тормозной обмотки  $F_{mo}$

).

По тормозной обмотке  $\omega_r$ , включенной в плечо стороны НН дифференциальной защиты, проходит ток сквозного КЗ и подмагничивает сердечник БНТ, что приводит к ухудшению трансформации, а значит к увеличению тока срабатывания реле. Зависимость магнитодвижущей силы ( $F_{c.p.}$ ) срабатывания реле ДЗТ-11 от м.д.с. тормозной обмотки, показана на рис. 8.9, б.

Эта зависимость, называемая тормозной характеристикой, показывает, что при увеличении тока сквозного КЗ, ток срабатывания реле также возрастает, что обеспечивает отстройку от увеличивающегося тока небаланса. Кривая 1 соответствует максимальному торможению, а кривая 2 – минимальному. Область, расположенная ниже характеристики 2 является областью надежного несрабатывания, а область, расположенная выше характеристики 1 – областью надежного срабатывания.

Дифференциальная защита трансформатора, как правило, должна выполняться в трехфазном трехрелейном исполнении. Для двухобмоточных трансформаторов допускается выполнение дифзащиты в двухрелейном исполнении. Пример подключения реле ДЗТ-11 для трехобмоточного трансформатора показан на рис.8.10, а). Вторичные обмотки всех трансформаторов тока дифференциальной защиты трансформатора объединены в общую схему и заземлены в одной точке – нулевой точке звезды трансформаторов тока стороны НН. Появление второго заземления в схеме дифференциальной защиты (при повреждении изоляции токовых цепей), и оттекание части тока по «земле», как и обрыв токовых цепей, приводит к нарушению баланса токов и к ложной работе защиты.

Правильность сборки схемы дифференциальной защиты трансформатора оценивается по векторной диаграмме токов, и по токам (напряжениям) небаланса, измеренным на исполнительном органе каждого из дифференциальных реле при проверке защиты под нагрузкой. При отсутствии нагрузки, достаточной для проверки дифзащиты (не менее 20% от номинального тока нагрузки), и при наличии на подстанции двух силовых трансформаторов, их можно нагрузить при параллельной работе на общие шины и рассогласовании положений РНП.

Проверить правильность сборки цепей ДЗТ до включения трансформатора под нагрузку можно косвенным методом (рис. 8.10, б): при опыте короткого замыкания и подаче пониженного напряжения от постороннего источника (например,  $\sim 3 \times 380 \text{ В}$  от ТСН). Для двухобмоточного трансформатора закорачивается сторона ВН, а испытательное напряжение подается со стороны обмотки НН. Для трехобмоточного трансформатора испытательное напряжение подается на обмотку СН, так, чтобы обтекались трансформаторы тока стороны СН, а обмотки НН и ВН по очереди закорачиваются вне зоны действия дифзащиты. (точки КЗ 1 и КЗ 2 на рис. 8.10, б). Получаемые при этом токи позволяют снять векторные диаграммы токовых цепей, измерить токи (напряжения) небаланса реле дифзащиты, и однозначно оценить правильность сборки схемы защиты.

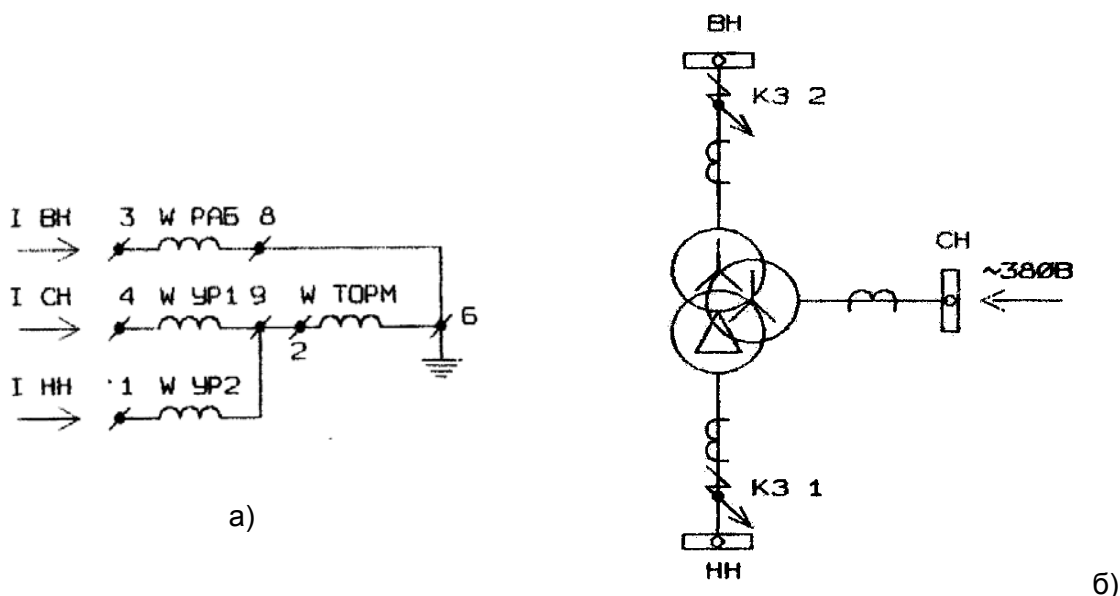


Рис. 8.10 Дифзащиты трансформатора на реле типа ДЗТ-11:  
а) пример подключения реле для трехобмоточного трансформатора;  
б) схема проверки дифзащиты косвенным методом.

### **Дифференциальная защита с торможением РС83-ДТ**

Устройство было представлено в главе 3. Дифференциальная защита имеет постоянный коэффициент торможения равный 0.5, который надежно перекрывает все возможные погрешности при внешних КЗ, а от переходных режимов она отстраивается по времени.

Дифзащита не отстраивается по величине тока от броска тока намагничивания (имеет специальный встроенный фильтр второй гармоники), и должна иметь задержку по времени для обеспечения дополнительной отстройки от переходных процессов. Ток и задержка по времени определяются параметрами питающей сети и трансформатора, и подбираются опытным путем, при подаче напряжения на трансформатор от сети.

В первом приближении можно считать, что при токе срабатывания равном 0.5 номинального тока трансформатора, задержку по времени необходимо установить порядка 0.05 с.

Дифференциальная отсечка не имеет фильтра 2 гармоники и должна быть отстроена от броска тока намагничивания трансформатора по току. Можно принять уставку по току равной  $5 I_{\text{ном. т-ра}}$  при напряжении 35 кВ или  $6 I_{\text{ном. т-ра}}$  - при напряжении 110 кВ. Целесообразно выполнить задержку по времени порядка 0.05 с. Как и в случае дифзащиты, уставка дифотсечки должна быть проверена при подаче напряжения на ненагруженный трансформатор.

Выравнивание токов производится подбором коэффициентов выравнивания с обеих сторон. Наиболее удобно коэффициенты выравнивания можно подобрать по формулам:

$$k_1 = I_{1\text{нт}} / I_{1\text{тт}}, k_2 = I_{2\text{нт}} / I_{2\text{тт}}$$

В этих выражениях:

$k_{1(2)}$  - коэффициент выравнивания соответствующей стороны,

$I_{1(2)\text{нт}}$  - ток в реле при номинальном токе нагрузки на соответствующей стороне трансформатора,

$I_{1(2)\text{тт}}$  - номинальный ток соответствующего трансформатора тока.



При таком выборе уставок, номинальные вторичные токи трансформатора приводятся к номинальному вторичному току трансформатора тока. Поэтому уставка 5 А дифзащиты при пятиамперных трансформаторах тока равна по величине номинальному току трансформатора. При расчете  $I_{1(2)нт}$  необходимо учитывать коэффициент схемы, умножив токи со стороны, которая собрана в треугольник, на  $\sqrt{3}$ .

### Реле ДЗТ-21 (ЧЭАЗ)

Для защиты трансформаторов и автотрансформаторов большой мощности ЧЭАЗ выпускает реле дифференциальной защиты с торможением типов ДЗТ-21 и ДЗТ-23, в которых применен новый принцип отстройки от бросков тока намагничивания и токов небаланса. Защита выполнена на микроинтегральном принципе.

На дифференциальных защитах с реле ДЗТ-21 и ДЗТ-23 может быть выполнена минимальная уставка по току срабатывания  $0,3 \cdot I_{ном}$  трансформатора. Для отстройки от бросков намагничивающего тока силовых трансформаторов и переходных токов небаланса используется время-импульсный принцип блокирования защиты в сочетании с торможением от составляющих второй гармонической тока, содержащихся, как показывает анализ, в токах намагничивания.

Время-импульсный принцип основывается на анализе длительности пауз, появляющихся в кривой дифференциального тока (рис. 8.11). При апериодическом броске тока намагничивания паузы  $t_n$  между моментами, когда мгновенные значения тока намагничивания превышают ток срабатывания реагирующего органа защиты (РО), велики (рис 8.11, а и б).

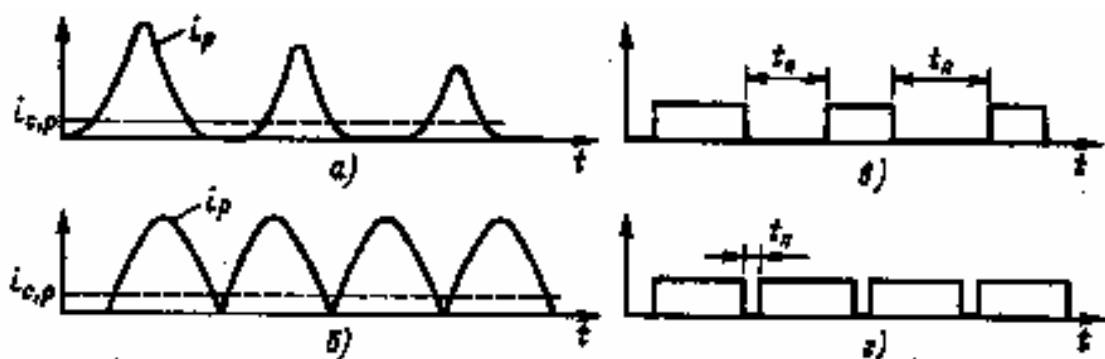


Рис. 8.11 Временные диаграммы, поясняющие принцип действия дифференциальной защиты с реле типа ДЗТ-21:

- а)– выпрямленный рабочий ток в реле при броске тока намагничивания;
- б)– то же при симметричном токе КЗ;
- в)– импульсы и паузы на выходе органа, формирующего импульсы при броске тока намагничивания;
- г)– то же при симметричном токе КЗ.

При синусоидальном токе (режим КЗ в защищаемой зоне): паузы между мгновенными значениями выпрямленного тока КЗ, превышающими ток срабатывания РО, малы (рис. 8.11, б и г). Таким образом, оценивая с помощью специальной схемы (см. ниже) продолжительность пауз, защита может отличить режим броска тока намагничивания (блокировка защиты) от режима КЗ в зоне (срабатывание защиты).

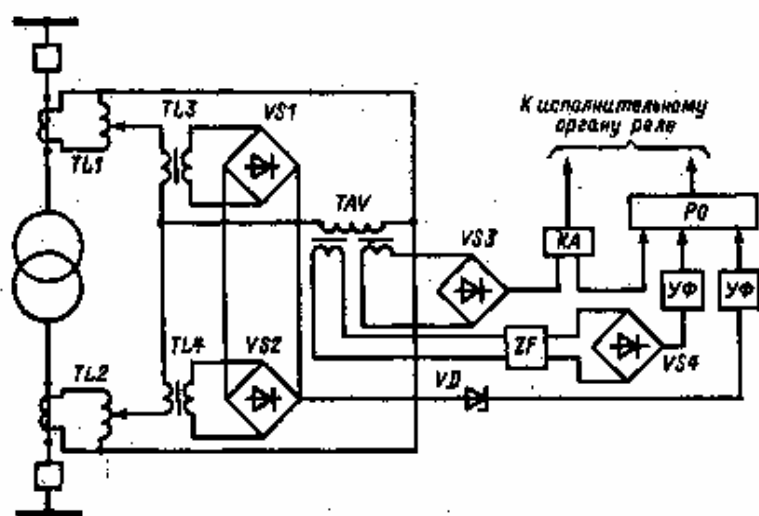
Сочетание в ДЗТ-21 (ДЗТ-23) двух указанных способов позволяет обеспечить отстройку защиты от бросков тока намагничивания при необходимом быстром действии и чувствительности.

В защите предусмотрено также торможение от фазных токов в двух плечах защиты, улучшающее отстройку от установившихся и переходных токов небаланса. Характеристика срабатывания реле в зависимости от тормозного тока приведена на Рис.8.12, б).

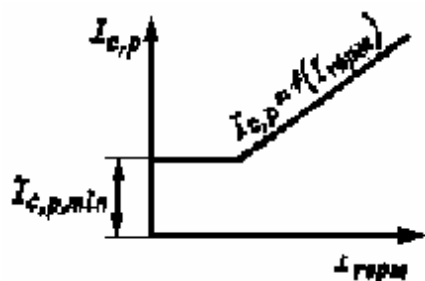
При больших кратностях тока в защищаемой зоне, особенно при наличии апериодической составляющей, может наступить насыщение ТТ защиты. При этом во вторичных токах ТТ появляются паузы, которые могут вызвать замедление или отказ защиты. Для обеспечения надежности и быстродействия защиты в этих режимах в схеме предусмотрена дополнительная отсечка.

Однолинейная структурная схема защиты приведена на рис. 8.12,а), она содержит: промежуточные автотрансформаторы  $TL1$  и  $TL2$  для выравнивания вторичных токов.

Промежуточные трансформаторы  $TL3$ ,  $TL4$  и выпрямители  $VS1$ ,  $VS2$ , через которые формируется тормозной ток плечей защиты, подаваемый к реагирующему органу  $PO$ ; стабилитрон  $VD$ , включенный последовательно в тормозную цепь и обеспечивающий при небольших токах работу защиты без торможения (рис, 8.12); трансреактор,  $TAV$ , к вторичным обмоткам которого подключено через выпрямитель  $VS3$  реле дифференциальной отсечки  $KA$  и цепь торможения от тока второй гармоники; фильтр тока второй гармоники  $ZF$  и выпрямитель  $VS4$ , через которые подается к  $PO$  тормозной ток второй гармоники; устройства формирования, подготавливающие токи смещения, подаваемые в  $PO$ , пропорциональные тормозным токам.



а)



б)

Рис. 8.12 Дифференциальное реле ДЗТ-21:  
а) однолинейная структурная схема защиты трансформатора;  
б) характеристика срабатывания защиты в зависимости от тормозного тока.

### Дифзащита устройств R3IPT и MX3DPT3A фирмы ALSTOM

Реле имеют тормозную характеристику пропорционального типа (процентное торможение) – ток срабатывания защиты увеличивается пропорционально увеличению тока короткого замыкания. Тормозным током является самый большой ток среди подводимых к реле, по каждой фазе отдельно. Дифзащита использует 3 или 2 комплекта трансформаторов тока, расположенных с трех сторон трансформатора. Выравнивание вторичных токов по величине и по фа-

зе производится защитой автоматически расчетным путем, для чего при задании общих характеристик задаются параметры трансформатора и трансформаторов тока. При этом возникает возможность собрать трансформаторы тока со всех сторон в «звезду» что снижает нагрузку вторичных цепей. Ток нулевой последовательности, при этом, устраняется программно, что делает характеристики независимыми от режима нейтрали трансформатора.

Участок АВ – начальный, на этом участке ток срабатывания не зависит от торможения. В точке В характеристика начального участка пересекается с первой тормозной характеристикой. Она имеет наклон Р1 и начинается от начала координат. Эта характеристика работает при малых токах короткого замыкания, когда погрешность трансформаторов тока невелика. При токах, больших  $2,5I_n$  начинается вторая тормозная характеристика, которая пересекается с первой в точке С и имеет более крутой наклон – Р2 учитывая большую погрешность трансформаторов тока при больших ТКЗ. И последний участок – DE, где ток срабатывания опять не зависит от тормозного тока. Ломаная линия ABCDE представляет общую характеристику дифференциальной защиты.

Для обеспечения отстройки дифзащиты от броска тока намагничивания при подаче напряжения применяется блокировка второй гармоникой тока КЗ. Блокировка по току пятой гармоники, предназначена для предотвращения ложной работы дифзащиты от повышенного тока намагничивания при перевозбуждении (подачи напряжения на обмотку трансформатора значительно выше номинального). Она работает совместно с предыдущей, и нормально должны быть введены обе блокировки.

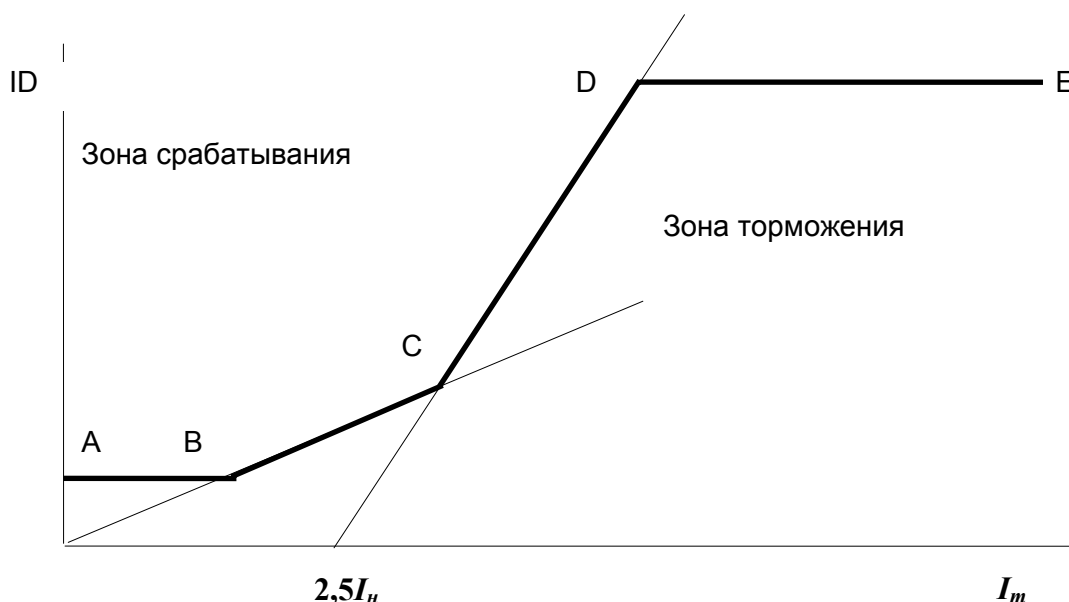


Рис.8.13 Характеристика дифференциальной защиты R3IPT.

$ID$  – дифференциальный ток;

$I_m$  – тормозной ток равен наибольшему из трех вторичных токов.

Благодаря наличию блокировок, ток срабатывания дифзащиты может быть выполнен значительно меньшим номинального тока трансформатора.

При выборе уставок следует исходить из таких соображений:

- Уставки дифреле выбираются без расчета.
- Реле градуировано в относительных единицах к базисному току (номинальному току трансформатора). Вторичные токи пересчитываются автоматически исходя из введенных

ранее коэффициентов трансформации трансформаторов тока и параметров трансформатора.

- Ток срабатывания 1 участка характеристики (AB) принимается равным 0,4 номинального тока трансформатора.
- Коэффициент торможения P1 первого участка тормозной характеристики в зоне малых токов КЗ, принимается равным 0,4.
- Коэффициент торможения P2 второго участка тормозной характеристики в зоне больших токов КЗ принимается равным 1.
- Для отстройки от броска тока намагничивания ток срабатывания отсечки должен быть равен 6.
- Ток блокировки по 2 гармонике принимается равным – 10%.
- Ток блокировки по 5 гармонике принимается равным – 10%.
- Группа соединений трансформатора, выравнивание вторичных токов по величине и фазе учитывается программным путем. Можно учесть программно и полярность трансформаторов тока.

### **Устройство дифзащиты на реле MiCOM P632-633 фирмы ALSTOM**

Реле имеет немного отличающиеся характеристики (см. рис. 8.14). Реле MiCOM P632-633 имеет торможение арифметической полусуммой токов.

Участок II – начальный. На этом участке ток срабатывания не зависит от торможения. Характеристика начального участка пересекается с первой тормозной характеристикой в точке, где сходится линия тормозной характеристики при одностороннем питании КЗ. Она имеет наклон P1 (участок III). Эта характеристика работает при малых токах короткого замыкания, когда погрешность трансформаторов тока невелика. Ток начала второго участка торможения III задается уставкой. Имеется еще 2 уставки: при токе  $I_{d>>}$  прекращается действие блокировки по 2 гармонике, и при токе  $I_{d>>>}$  прекращается действие тормозной характеристики.

Для обеспечения отстройки дифзащиты от броска тока намагничивания при подаче напряжения применяется блокировка второй гармоникой тока КЗ. Блокировка по току пятой гармоники, предназначена для предотвращения ложной работы дифзащиты от повышенного тока намагничивания при перевозбуждении (подачи напряжения на обмотку трансформатора значительно выше номинального). Она работает совместно с предыдущей и нормально должны быть введены обе блокировки.

Благодаря наличию блокировок, ток срабатывания дифзащиты может быть выполнен значительно меньшим номинального тока трансформатора.

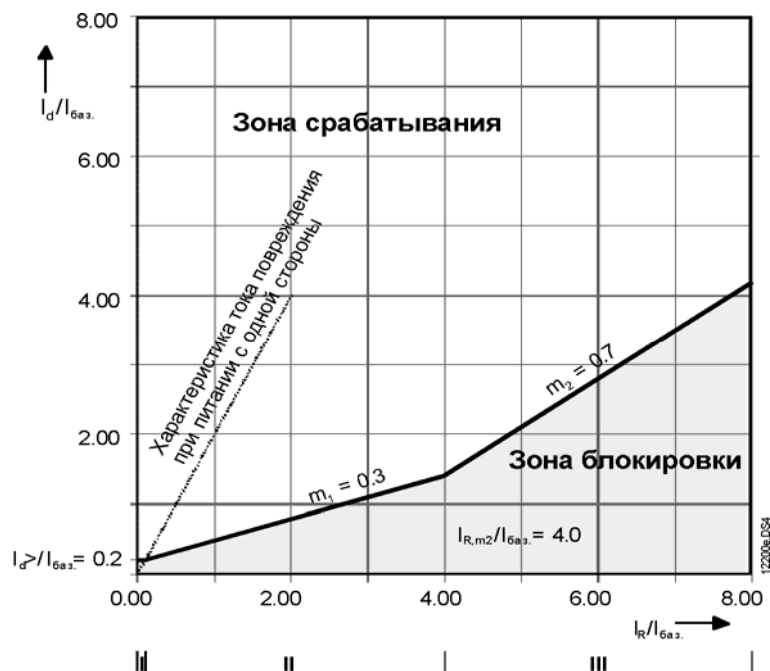


Рис.8.14 Характеристики срабатывания дифференциального органа.

При выборе уставок следует исходить из таких соображений:

- Уставки выполняются без расчетов.
- Реле градуировано в относительных единицах к базисному току (номинальному току трансформатора). Вторичные токи пересчитываются автоматически исходя из введенных ранее коэффициентов трансформации трансформаторов тока и параметров трансформатора.
- Ток срабатывания 1 участка характеристики ||| принимается равным 0,35 номинального тока трансформатора.
- Коэффициент торможения  $m_1$  первого участка тормозной характеристики ||| в зоне малых токов КЗ, принимается равным 0,4.
- Ток начала второго участка торможения равен 1,5 номинального тока.
- Коэффициент торможения  $m_2$  второго участка тормозной характеристики |||| в зоне больших токов КЗ принимается равным 1.
- Уставки  $I_{d>>}$  и  $I_{d>>>}$  принимаются одинаковыми и равными 6.
- Ток блокировки по 2 гармонике принимается равным – 10%.
- Ток блокировки по 5 гармонике принимается равным – 15%.
- Группа соединений трансформатора, выравнивание вторичных токов по величине и фазе учитывается программным путем. Можно учесть программно и полярность трансформаторов тока.

### **Дифференциальная защита от замыканий на землю**

Входит в состав защиты MiCOM P632, P633, работает на фильтрах тока нулевой последовательности и защищает обмотку трансформатора с заземленной нейтралью. Включается на трансформаторы тока со стороны вводов защищаемой обмотки и на трансформатор тока ус-

тановленный со стороны заземленной нейтрали. Дифзащита также имеет процентное торможение. Характеристику см. ниже рис 8.15. Защита более чувствительная, чем основная дифзащита, которая не реагирует на ток нулевой последовательности. Она достаточно четко реагирует на витковые замыкания обмотки трансформатора.

Начальная точка характеристики  $I_{d>}$  регулируется в пределах  $0,1 \div 1,0 \cdot I_{ном}$ .

Коэффициент торможения не регулируется и равен  $m=1,005$ .

Ток прекращения действия торможения  $I_{d>>>}$  регулируется в пределах  $5 \div 10 \cdot I_{ном}$ .

Рекомендуемые уставки:

$$I_{d>} = 0,2 \cdot I_{ном};$$

$$I_{d>>>} = 5 \cdot I_{ном};$$

$$m=1,005.$$

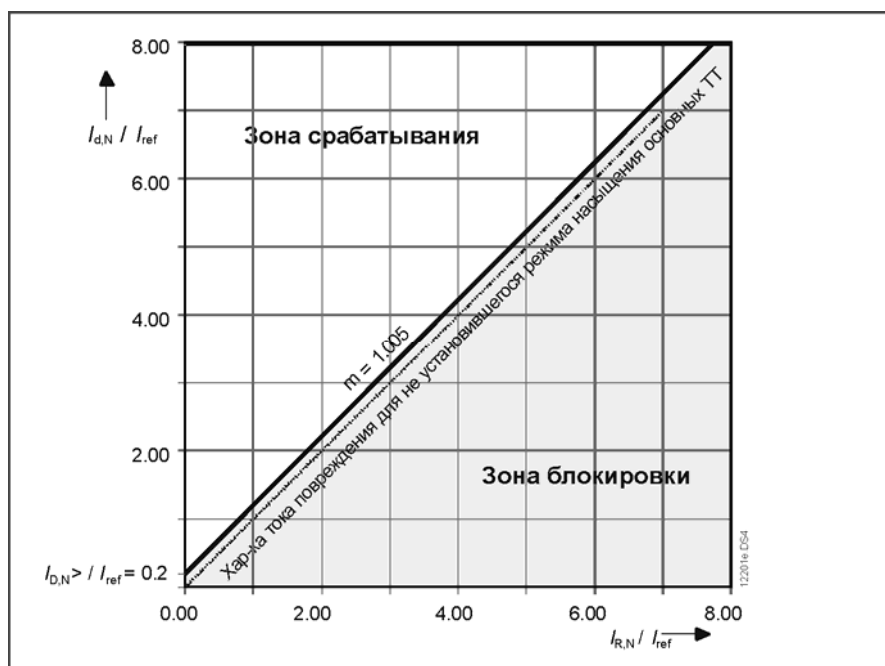


Рис. 8.15 Характеристика срабатывания дифференциального органа от замыканий на землю.

## Дифференциальные защиты трансформаторов других фирм

Они имеют подобные характеристики:

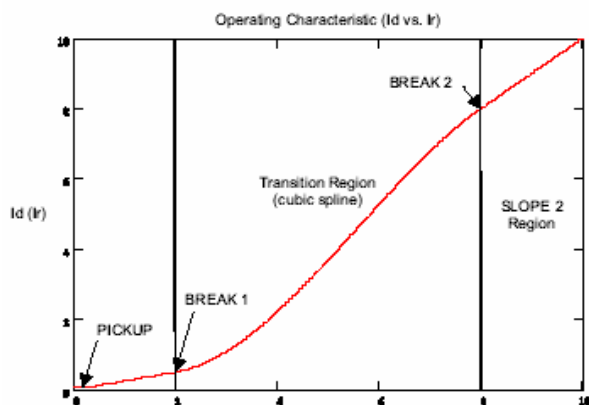


Рис. 8.16. Тормозная характеристика дифзащиты t35 и t60 фирмы GE.

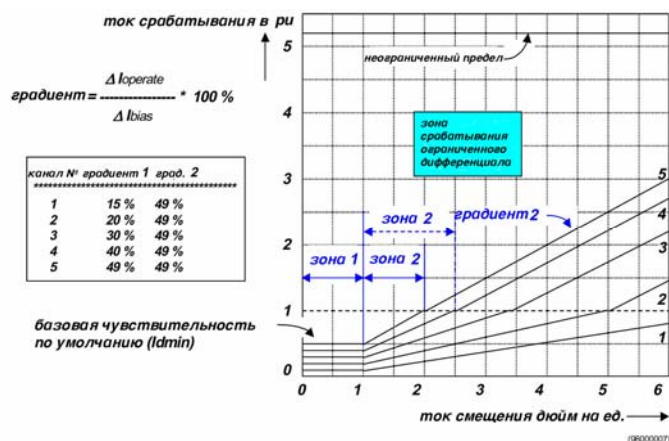


Рис. 8.17. Набор тормозных характеристик дифзащиты RET 521 фирмы ABB.

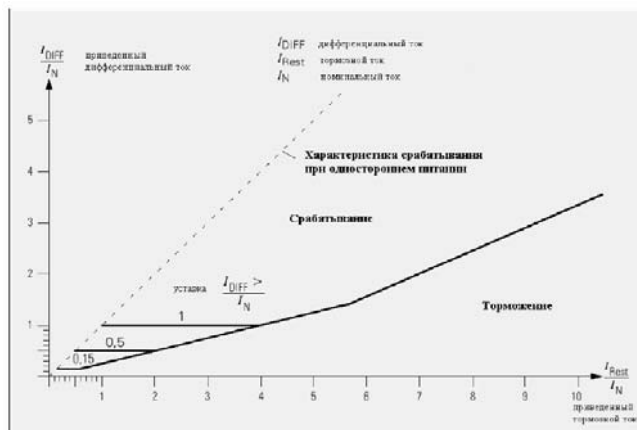


Рис. 8.18. Тормозная характеристика дифзащиты 7UT513 и 7UT612 фирмы SIEMENS.

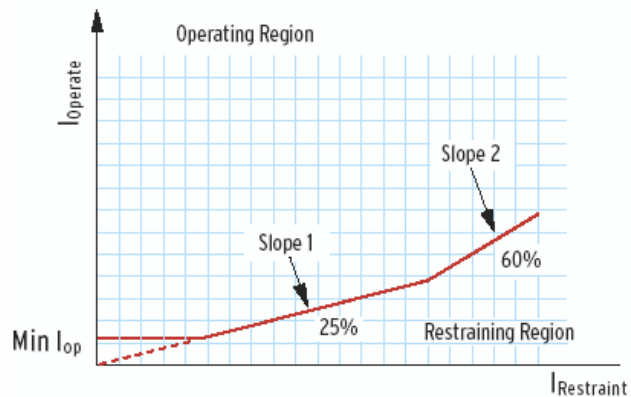


Рис. 8.19. Тормозная характеристика дифзащиты SEL 387 фирмы SEL.

Из приведенных на рисунках 8.16 – 8.19, тормозных характеристик дифференциальных реле различных фирм видно, что они похожи друг на друга, и принципы на которых они выполняются одинаковы. Имеется начальный ток срабатывания значительно меньший номинального тока трансформатора, участок с малым торможением для малой величины тока, участок с большим торможением для больших токов, при которых погрешность трансформаторов тока существенно возрастает. Как правило, в состав дифзащиты входит дифотсечка, которая обеспечивает быстрое отключение КЗ при больших токах, когда торможение может замедлить срабатывание защиты. Отстройка от броска намагничивающего тока трансформатора производится за счет торможения второй гармоникой тока намагничивания.

## 8.4 ГАЗОВАЯ ЗАЩИТА

**Газовая защита (ГЗ)** – это защита от внутренних повреждений трансформатора, сопровождающихся выделением газа, понижением уровня масла в газовом реле, или интенсивным движением потока масла из бака трансформатора в расширитель. Для правильной работы ГЗ корпус трансформатора устанавливается с наклоном 1,5-2% в сторону расширителя. Газовое реле устанавливается в рассечку трубопровода от корпуса трансформатора к расширителю. Газовая защита абсолютно селективна и не реагирует на повреждения вне бака трансформатора. Газовая защита трансформатора выполняется двухступенчатой:

**Первая ступень ГЗ** срабатывает при не значительном выделении газа, или понижении уровня масла в газовом реле, и с выдержкой времени действует на сигнал.

**Вторая ступень ГЗ** срабатывает при значительном выделении газа, понижении уровня масла в газовом реле, или при интенсивном движении потока масла из бака трансформатора в расширитель, и действует на отключение трансформатора со всех сторон без выдержки времени.

Образующиеся при местном перегреве или при дуговом замыкании внутри бака трансформатора газы выталкивают масло из трубопровода и газового реле, а затем прорываются в расширитель, заполняя по пути газовое реле. При незначительном выделении газа, он через трубу заполняет верхнюю часть газового реле, а излишек проходит в расширитель. Таким образом, в газовом реле скапливается газ, который можно выпустить через кран, или набрать в специальную емкость и направить на анализ. Внутри объема, где скапливается газ, находится поплавков, который при появлении газа опускается и замыкает контакты, действующие на сигнал (сигнальный элемент газового реле). При срабатывании сигнализации, необходимо отключить трансформатор, взять пробы газа; состав газа, затем анализируется. Для отбора пробы газа реле оснащено специальным краном, а для наблюдения за количеством газа имеется специальное окно с делениями. Простейшим способом анализа является проверка газа на горючесть и цвет. Горючие газы образуются в масле под действием электрической дуги и свидетельствуют о ее появлении внутри бака трансформатора. Окрашивание газа происходит при горении твердой изоляции внутри трансформатора. Химический анализ дает более точные сведения о характере повреждения. Следует иметь в виду, что в газовом реле может оказаться и воздух, который был растворен в масле и начал выделяться после его нагрева. Инструкциями запрещается отбор газа на трансформаторе, находящемся под напряжением, из соображений безопасности – незначительное вначале повреждение может перерасти в большое повреждение с разрывом бака и пожаром, вследствие чего пострадает персонал, отбирающий пробу газа. Второй элемент (поплавок) газового реле расположен внутри реле прямо на пути потока масла из трубы в расширитель, он может опуститься под давлением масла при его выбросе или при заполнении реле газом. Для четкой работы при выбросе масла в современных реле поплавков дополнительно соединяется со специальной заслонкой (см. рис. 8.20.).

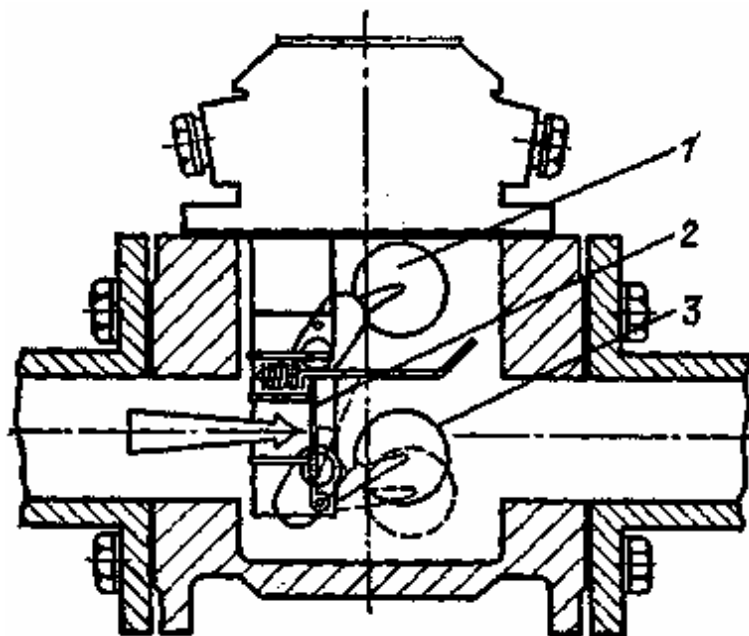


Рис. 8.20. Газовое реле типа BF-80.

- 1 – верхний (сигнальный) поплавок;
- 2 – заслонка;
- 3 – нижний поплавок;
- стрелка – направление струи масла и газа.

Сверху на корпусе реле находятся кран для отбора проб газа и выпуска воздуха, и под защитным колпачком, - кнопка опробования исправности газового реле. Нажатие кнопки на  $\frac{1}{2}$  хода вызывает срабатывание сигнального контакта реле. Нажатие кнопки опробования до упора вызывает срабатывание отключающего контакта газового реле. Возврат реле проис-



ходит автоматически после освобождении кнопки опробования. Кнопку опробования ГЗ удобно использовать при опробовании работы короткозамыкателя и отделителя.

Выброс масла или выделение сразу большого объема газа происходит при серьезном повреждении внутри бака, поэтому, вторая ступень ГЗ действует на отключение без выдержки времени. Отключающий элемент срабатывает также при отсутствии масла в газовом реле. Обычно это происходит при течи из бака, когда масло целиком ушло из расширителя и газового реле. Но существует и другая возможность: между газовым реле и расширителем имеется кран, перекрывающий выход масла из расширителя.

Если этот кран оставить в закрытом состоянии, то при понижении температуры масла в трансформаторе уровень его понизится и масло уйдет из газового реле. Трансформатор отключится. Поэтому оперативный персонал обязан проверить положение крана перед включением трансформатора.

Новый трансформатор должен включаться с введенным на отключение сигнальным поплавком газовой защиты, который может сработать и при начинающемся повреждении трансформатора, до короткого замыкания в нем.

При включении нового трансформатора по мере его нагрева происходит выделение воздуха, растворенного в масле. Он заполняет газовое реле и его необходимо время от времени выпускать. Выводить действие отключающего элемента на отключение до прекращения выделения воздуха не разрешается. Струйный элемент газовой защиты имеет уставку срабатывания по скорости масла (диаметр отверстия в заслонке).

Величина уставки определяется по заводской инструкции и может корректироваться в зависимости от состояния трансформатора. Дело в том, что бросок масла происходит не только при повреждении внутри трансформатора, но и при внешних коротких замыканиях.

При КЗ динамическим воздействием тока обмотки трансформатора сжимаются и посылают толчком масло в расширитель. Сжатию препятствуют клинья которые раскрепляют обмотку. Однако со временем клинья усыхают и деформируются, а витки обмотки получают возможность некоторого перемещения. При этом бросок масла становится сильнее и скорость потока масла увеличивается. В какой то степени срабатывания газовой защиты можно избежать путем загробления уставки по скорости масла, если срабатывание газовой защиты происходит при толчке масла. Но лучше выполнить капитальный ремонт трансформатора с укреплением обмоток.

### ***Газовая защита переключателя РПН***

Газовая защита РПН трансформатора выполнена на струйном реле и действует на отключение трансформатора при интенсивном движении потока масла из бака РПН в сторону расширителя.

Контакты переключателя РПН находятся в отделенном от бака трансформатора отсеке. Поскольку при переключении контактов дуга горит в масле, то масло постепенно разлагается с выделением газа и других компонентов. Это масло не смешивается с остальным маслом в баке и не ухудшает его качество. Бак РПН так же соединяется с расширителем (отдельный отсек) и в соединительной трубе устанавливается специальное реле, например, типа URF-25. Это реле называется струйным и работает только при выбросе масла. Реле не имеет крана для спуска воздуха (нормально в смотровом окошке может быть воздух), и имеет только один отключающий элемент – заслонка вместо поплавка. Газ, выделяющийся при переключении контактов, свободно выходит в расширитель и не вызывает срабатывания реле. Срабатывание реле вызывает выброс масла, происходящий при перекрытии внутри отсека РПН. При срабатывании струйного реле РПН в его смотровом окошке появляется красный сигнальный флажок. После срабатывания струйное реле остается в рабочем положении

и должно возвращаться в исходное положение нажатием кнопки на реле. Реле снабжено также кнопкой опробования, нажав на которую можно отключить трансформатор. У струйных реле немецкого производства на корпусе имеется всего одна кнопка проверки исправности и возврата реле. Нажатие ее на  $\frac{1}{2}$  хода вызывает срабатывание реле, а нажатие до упора - возврат. Кнопка опробования исправности реле может использоваться для опробования делителя и короткозамыкателя, и были случаи, когда после опробования, реле оставляли в сработавшем состоянии и, при включении трансформатора, он сразу же отключался. Струйное реле РПН может так же сработать при доливке масла в бак РПН снизу. Поэтому, при вводе трансформатора в работу, необходимо проверить не сработавшее положение струйного реле РПН по отсутствию красного флажка в смотровом окошке реле.

Примечание.

1. *Есть еще один элемент на трансформаторе, положение которого нужно проверить перед включением: отсечной клапан. Он стоит на мощных трансформаторах и при его срабатывании перекрывается выход масла из расширителя в трансформатор. На закрытие отсечного клапана действует защита от внутренних повреждений трансформатора. Его также нужно взвести перед включением, иначе будет нарушена связь между трансформатором и расширителем, и впоследствии, может произойти ложная работа газовой защиты.*
2. *На трубопроводах расширителя трансформатора имеются краны, позволяющие переливать масла из объема расширителя трансформатора в отсек расширителя РПН. Необходимо следить за тем, чтобы через них масло с сажей из отсека РПН **никогда** не попало в расширитель трансформатора.*

## **8.5 ЗАЩИТА ОТ СВЕРХТОКОВ ПРИ ВНЕШНИХ КЗ (МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА)**

Максимальная токовая защита (МТЗ) является резервной защитой трансформатора, и служит для отключения трансформатора при его повреждении и отказе основных защит, а так же при КЗ на сборных шинах или на отходящих от них присоединениях, если РЗ или выключатели этих элементов отказали в работе. По условиям селективности МТЗ должна иметь выдержку времени и, следовательно, не может быть быстродействующей. По этой причине в качестве основной РЗ от повреждений в трансформаторах она используется лишь на мало-мощных трансформаторах.

### ***Защита двухобмоточных понижающих трансформаторов.***

Схема МТЗ трансформатора с односторонним питанием приведена на рис. 8.21. Чтобы включить в зону действия защиты сам трансформатор, РЗ устанавливается со стороны источника питания и должна действовать на отключение выключателя Q1. Токовые реле МТЗ включаются на ТТ, установленные у выключателя Q2

На рис. 8.21, а приведена схема РЗ трансформатора, выполненная с двумя токовыми реле KA1 и KA2, которые, сработав, с выдержкой времени одновременно действуют на отключение выключателей Q1 и Q2. При этом в случае внешних КЗ на стороне низшего напряжения (НН) трансформатора отключение выключателя Q2 резервирует действие выключателя Q1. Часто РЗ выполняют с двумя выдержками времени; с первой  $t_1$  на отключение выключателя Q1 со стороны НН, а со второй  $t_2 = t_1 + \Delta t$  на отключение Q2 со стороны ВН. ТТ, установлены у выключателя Q2.

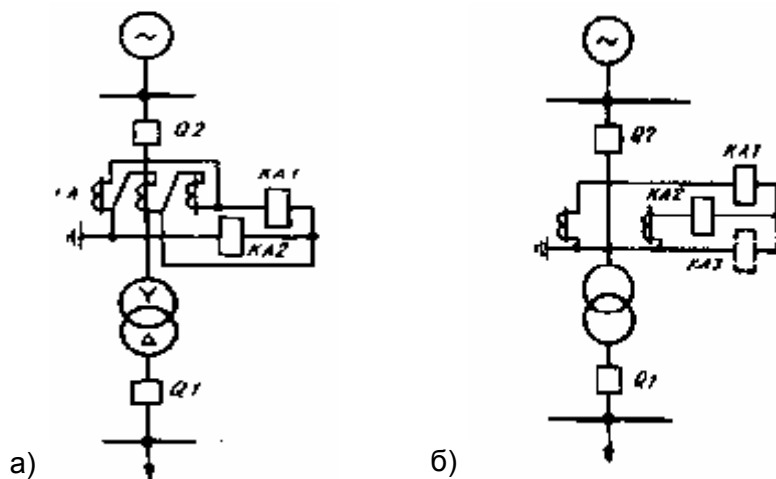


Рис. 8.21 Максимальная токовая защита двухобмоточного понижающего трансформатора:

а – схема токовых цепей с тремя ТТ      б – схема токовых цепей с двумя ТТ

В случае неотключенного внешнего КЗ на стороне НН МТЗ с выдержкой времени  $t_1$  отключит выключатель  $Q_1$ , трансформатор при этом останется под напряжением со стороны ВН. В случае же повреждения в трансформаторе и отказе его основных быстродействующих РЗ, МТЗ с выдержкой времени отключит выключатель  $Q_2$ .

Токовые реле  $KA1$  и  $KA2$  в схеме МТЗ трансформаторов с ВН 110-220 кВ подключены к ТТ, соединенным в треугольник (рис. 8.17, а). Такое выполнение токовых цепей МТЗ предотвращает возможное неселективное ее действие при КЗ на землю: в сети 110-220 кВ (в случае, когда нейтраль трансформатора заземлена). Защита может действовать при всех видах междуфазных КЗ на сторонах как ВН, так и НН трансформатора со схемой соединения обмоток  $Y/\Delta$ . При этом, однако по сравнению с МТЗ, содержащей три токовых реле, подключенных к ТТ, соединенным в полную звезду, имеет место снижение чувствительности на 15% при двухфазном КЗ на стороне НН 6-10 кВ. При двухфазном КЗ за трансформатором со схемой  $Y/\Delta$  токи в фазах на стороне ВН равны  $\frac{1}{2}I^{(3)}$ ,  $\frac{1}{2}I^{(3)}$ ,  $I^{(3)}$  см. п. 4. Такие же токи будут в реле. Если трансформаторы тока на стороне ВН собрать в треугольник, то ток в реле равен по величине току двухфазного КЗ и соотношение между ними будет равно 1 / 0,876.

Для трансформаторов со схемой соединения обмоток  $Y/Y$  или  $\Delta/\Delta$  и не связанных с сетью с заземленной нейтралью, МТЗ выполняется двумя токовыми реле  $KA1$  и  $KA2$ , ТТ при этом соединяются в неполную звезду (см. рис. 8.21, б). Подобная схема МТЗ может применяться и на трансформаторах со схемой соединения обмоток  $Y/\Delta$ . При этом для повышения чувствительности МТЗ к двухфазным КЗ за трансформатором с такой схемой соединения, устанавливается дополнительное реле в обратном проводе токовых цепей  $KA3$  (показано пунктиром на рис. 8.21, б). Аналогичная схема применяется и на трансформаторах со схемой соединения обмоток треугольник-звезда с заземленной нулевой точкой (обычно питающих сеть 0,4 кВ).

Для выполнения защиты с 2 токовыми органами, можно применить комплектное устройство УЗА-10 или УЗА-АТ-Т. Если требуется использование трех измерительных органов, то можно использовать реле УЗА-10А.2-3.

### Выбор уставок МТЗ

Ток срабатывания МТЗ определяется из условия возврата токовых реле при максимальной нагрузке.

$$I_{C3} = k_n \cdot k_{c.з.} \cdot I_{\text{раб.маx}} / k_\epsilon \quad (8.17)$$

где

$k_n$  – коэффициент надежности – 1,2 для микропроцессорных защит и 1,3–для УЗА-АТ и РС80Мх;

$k_{c.з.}$  – коэффициент самозапуска, можно принять равным 2,5 для городских сетей общего назначения и 2 для сельских сетей.

*Примечание.* Указанный коэффициент нельзя применять для трансформатора, питающего сосредоточенную двигательную нагрузку. Для такого трансформатора необходимо стандартными методами определить общий пусковой ток и подставить в формулу взамен  $k_{c.з.} \cdot I_{\text{раб.маx}}$ ;

$I_{\text{раб.маx}}$  – максимальный рабочий ток трансформатора;

$k_\epsilon$  – коэффициент возврата защиты: он составляет 0,85 для устройства УЗА-АТ и 0,95 для РС83. Для микропроцессорных защит зарубежных фирм он равняется 0,95.

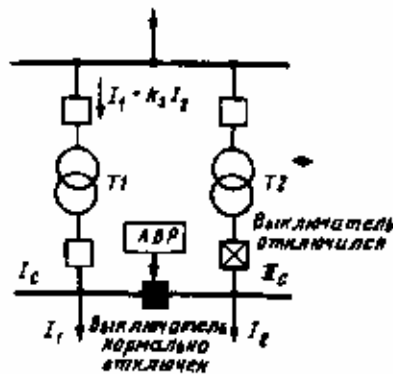


Рис. 8.22 При отключении трансформатора  $T2$  и включении от АВР секционного выключателя возникает перегрузка трансформатора  $T1$ .

Максимальный ток нагрузки с учетом самозапуска, от которого необходимо отстроить МТЗ, обычно определяется из рассмотрения трех видов нарушения: отключение параллельно работающего трансформатора, включение трансформатора от АПВ на неотключенную нагрузку, автоматическое подключение нагрузки при действии АВР в случае исчезновения напряжения на соседней секции (рис. 8.22). В двух первых случаях  $I_{c.з.}$  определяется по (8.17). В третьем случае  $I_{c.з.}$  определяется по выражению:

$$I_{c.з.} = k_n \cdot (I_{I \text{ раб.маx}} + k_{c.з.} \cdot I_{II \text{ раб.маx}}) / k_\epsilon \quad (8.18)$$

где

$I_{I \text{ раб.маx}}$ ,  $I_{II \text{ раб.маx}}$  – максимальные значения токов нагрузки секций:  $I$  – от которой при действии АВР подается напряжение и  $II$  – на которую подается напряжение.

Коэффициент чувствительности при КЗ в конце защищаемого участка определяется по формуле:

$$k_{\text{ч}} = I_{\text{кmin}} / I_{\text{с.з.}} \quad (8.19)$$

где

$I_{\text{кmin}}$  – минимальное значение тока при КЗ на стороне НН трансформатора; вид КЗ определяется в соответствии с табл. 8.2.

Значение  $k_{\text{ч}}$  должно быть не менее 1,5 при выполнении МТЗ функций основной защиты шин и не менее 1,2 при выполнении функций резервирования. Если чувствительность МТЗ оказывается неудовлетворительной, то применяются другие, более чувствительные РЗ: ДЗ, МТЗ НП и ОП.

Выдержка времени выбирается из условий селективности на ступень выше наибольшей выдержки времени  $t_n$  РЗ присоединений, питающихся от трансформатора:

$$t_I = t_n + \Delta t \quad (8.20)$$

Выдержка времени МТЗ с ограниченно зависимой характеристикой выбирается из условия (8.20) в предположении, что ток в реле равен току КЗ, проходящему через трансформатор в случае повреждения в начале ЛЭП, питаемой трансформатором. Защиту с ограниченно зависимой характеристикой следует применять в тех случаях, когда посредством ее удастся ускорить отключение повреждения в трансформаторе или на шинах.

Таблица 8.2

Схема соединения		Вид КЗ для расчета чувствительности
обмоток трансформатора	ТТ, к которым подключена МТЗ	
$Y/\Delta$	треугольник	Двухфазное
$Y/Y$	Неполная звезда	То же
$\Delta/\Delta$	То же	То же
$Y/\Delta$	Неполная звезда с дополнительным реле в обратном проводе	Трехфазное
$Y/\Delta$	Полная звезда	Трехфазное

### **Максимальная токовая защита с пуском по напряжению**

В ряде случаев не удастся выполнить достаточно чувствительную защиту только по току, особенно на подстанциях, питающих двигательную нагрузку. Для повышения чувствительности можно применить защиту с блокировкой по напряжению.

Первичный ток срабатывания МТЗ с пуском по напряжению определяется по условию отстройки от номинального тока  $I_{\text{ном}}$  трансформатора:

$$I_{\text{с.з.}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{ном}} / k_{\text{в}} \quad (8.21)$$

Уставка срабатывания реле минимального напряжения выбирается исходя из следующих условий:

- возврата после отключения внешнего КЗ

$$U_{cp} \leq U_{\min} / k_{omc} k_{\epsilon} k_U \quad (8.22)$$

- отстройки от остаточного напряжения самозапуска после действия АПВ или АВР

$$U_{cp} \leq U_{c.з.} / k_{omc} k_U \quad (8.23)$$

где

$U_{\min}$  – междуфазное напряжение в месте установки МТЗ в условиях самозапуска после отключения внешнего КЗ, может быть принято равным  $(0,9 \div 0,85)U_{ном}$ ;

$U_{c.з.}$  – междуфазное напряжение в месте установки МТЗ в условиях самозапуска после действия АПВ или АВР заторможенных электродвигателей, может быть принято равным  $0,7U_{ном}$ ;

$k_{omc}$  – коэффициент отстройки, равный 1,2;

$k_{\epsilon}$  – коэффициент возврата, равный 1,1 для реле УЗА-АН и РС82.

*Чувствительность* для токового реле определяется по выражению (8.18); для реле минимального напряжения по формуле

$$k_q = U_{c.з.} k_{\epsilon} / U_{\max}^{(3)} \quad (8.24)$$

где

$U_{\max}^{(3)}$  – первичное значение междуфазного напряжения в месте установки МТЗ при металллическом трехфазном КЗ между фазами в расчетной точке в режиме, обуславливающим максимальное значение этого напряжения.

В соответствии с ПУЭ, для реле тока и напряжения необходимо обеспечить следующие коэффициенты чувствительности: 1,5 – при выполнении МТЗ функций основной РЗ шин; 1,2 – при выполнении МТЗ функций резервирования.

Для выполнения защиты двухобмоточного трансформатора вполне достаточно установки на обеих сторонах двухэлементной токовой защиты. При этом для защиты трансформатора со схемой соединения  $Y/\Delta$ , реле на стороне ВН должны быть включены на три ТТ собранные по схеме треугольника. Для такой защиты можно применить реле УЗА-АТ или РС81, РС83-А2. Отсечка стороны НН используется в качестве логической защиты шин (см. п. 6). Максимальная защита используется в качестве максимальной защиты ввода, а дополнительный токовый орган блокирует логическую дифзащиту трансформатора стороны ВН. На стороне ВН максимальная защита выполняет свои функции, а токовая отсечка – логическую дифзащиту трансформатора.

### **Расстановка защит на трехобмоточных трансформаторах**

На двухобмоточных трансформаторах с расщепленными обмотками НН (обычно 6-10 кВ) по условию селективности (при КЗ на шинах или ВЛ НН) в цепи каждой обмотки, питающей соответствующую секцию шин, необходимо устанавливать МТЗ (рис. 8.23) с двумя токовыми реле, подключенными к ТТ, соединенным по схеме неполной звезды.

Защиты стороны НН, расположенные в шкафах КРУ выключателей вводов 6-10 кВ, с первой выдержкой времени действуют на отключение своих выключателей ( $Q1$  и  $Q2$ ), а со второй (на ступень селективности большей) – на отключение выключателя ВН ( $Q3$ ).

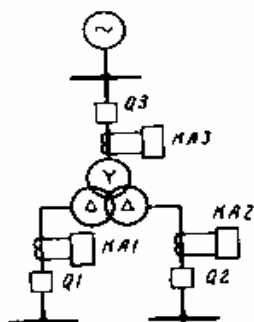


Рис. 8.23 Размещение максимальных токовых защит (КА) на сторонах ВН и НН двухобмоточного понижающего трансформатора с расщепленными обмотками.

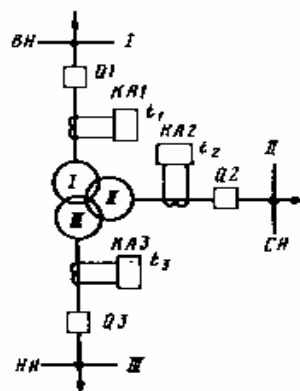


Рис. 8.24 Размещение максимальных токовых защит (КА) на сторонах ВН и НН трехобмоточных понижающих трансформаторов с односторонним питанием.

МТЗ на стороне ВН действует на выходные промежуточные реле РЗ трансформатора с выдержкой времени, равной второй выдержке времени МТЗ ответвлений к секциям I (II) шин 6-10 кВ. Таким образом, МТЗ стороны ВН осуществляет резервирование основных РЗ трансформатора и МТЗ стороны НН.

Предусматривается автоматическое ускорение МТЗ, установленных на ответвлениях к шинам НН, при включении соответствующего выключателя 6-10 кВ, благодаря чему ускоряется его отключение в случае подачи напряжения на поврежденные шины. Ускорение выполняется с выдержкой времени 0,3-0,5 сек для отстройки от броска пускового тока.

Защита трехобмоточных понижающих трансформаторов при внешних КЗ должна обеспечивать селективное отключение только той обмотки трансформатора, которая непосредственно питает место повреждения. Так, например, при КЗ на шинах III (рис. 8.24) должен отключаться выключатель  $Q3$ , обмотки трансформатора I и II должны остаться в работе.

На трехобмоточных трансформаторах с односторонним питанием (например, от шин I) на обмотках II и III устанавливаются самостоятельные комплекты МТЗ ( $КА2$  и  $КА3$  на рис. 8.20), действующие на соответствующие выключатели. На обмотке I, питающей трансформатор, устанавливается третий комплект МТЗ  $КА1$ , предназначенный для отключения трансформатора при КЗ в нем и резервирования МТЗ и выключателей обмоток II и III. Выдержка времени  $t_1$  выбирается больше  $t_2$  и  $t_3$ . Токвые РЗ на сторонах НН и СН выполняются в двухрелейном исполнении и подключаются к ТТ, соединенным по схеме неполной звезды. Для увеличения защищаемой зоны  $КА2$  питается от ТТ, встроенных во втулки изоляторов СН (35 кВ) трансформатора.

Для выполнения защиты на трансформаторе с расщепленной обмоткой стороны НН вполне достаточно установки на стороне ВН и обеих сторонах НН двухэлементной токовой защиты. При этом, для защиты трансформатора со схемой соединения  $Y/\Delta$ , реле на стороне ВН должны быть включены на три ТТ собранные по схеме треугольника. Для такой защиты можно применить реле УЗА-АТ или УЗА-10. Отсечка сторон НН используется в качестве логической защиты шин (см. п. 6). Максимальная защита используется в качестве максимальной защиты ввода, а дополнительный токовый орган обеих комплектов блокирует логическую дифзащиту

трансформатора стороны ВН. На стороне ВН максимальная защита выполняет свои функции, а токовая отсечка – логическую дифзащиту трансформатора.

Для трехобмоточного трансформатора со стороны ВН необходимо применить трехфазную защиту, включенную на трансформаторы тока собранные в звезду или треугольник. Обычно предпочтительна схема звезды, так как эта схема более чувствительна к КЗ на стороне НН трансформатора собранной по схеме треугольника, обычно сопротивление трансформатора в сторону НН больше, чем на сторону СН и токи КЗ на стороне НН меньше. На стороне НН и СН достаточно двухэлементной защиты. На стороне ВН целесообразно установить защиту РЗТ, а также РС83-А2 а на сторонах НН и СН можно применить вышеупомянутые защиты УЗА-АТ или РС81. Использование защит такое же, как и для трансформатора с расщепленной обмоткой. Вполне очевидно, что при применении защит фирмы Areva, защиты серии MiCOM P121-124 можно применить на всех трех сторонах трансформатора. Оставшиеся в этих устройствах ступени защиты можно использовать для сигнализации перегрузки, блокировки РПН, пуска автоматики охлаждения. Если требуется блокировка по напряжению, то необходимо использовать устройство УЗА-АН, которое заодно будет выполнять функцию ЗМН в схеме АВР. Аналогичным образом могут быть применены устройства и всех других производителей.

## 8.6 ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА

Токовая отсечка - простая быстродействующая РЗ от повреждений в трансформаторе. Зона действия отсечки ограничена, она не действует при витковых замыканиях и замыканиях на землю в обмотке, работающей на сеть с малым током замыкания на землю. Отсечка устанавливается с питающей стороны трансформатора и выполняется без выдержки времени.

На трансформаторах в сети с глухозаземленной нейтралью отсечка устанавливается в трех фазах, а в сети с изолированной нейтралью на двух. Ток срабатывания отсечки отстраивается от максимального тока КЗ при повреждении за трансформатором.

$$I_{CЗ} = k_{омс} I_{кmax} \quad (8.25)$$

где

$k_{омс} = 1,25 \div 1,5$  – (последнее для реле типа РТ-90 и РТ-80). Кроме того, токовая отсечка должна отстраиваться от броска намагничивающего тока однако уставка выбранная по первому условию, как правило, больше.

В зону действия отсечки входят ошиновка, выводы и часть обмотки трансформатора со стороны питания. Отсечка, являющаяся РЗ от внутренних повреждений, должна отключать трансформатор со всех сторон, имеющих источники питания. Достоинством отсечки являются ее простота и быстродействие. Отсечка в сочетании с МТЗ и газовой защитой обеспечивает хорошую защиту для трансформаторов малой мощности. Таким образом, трансформатор напряжением 35 кВ и мощностью до 4 МВт вполне можно защитить одним устройством УЗА-АТ, УЗА-10 установив его на стороне ВН трансформатора и включив на трансформаторы тока, соединенные в треугольник.

## 8.7 ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

Трансформаторы допускают перегрузку в течение значительного времени. Поэтому при наличии оперативного персонала защита от перегрузки трансформатора действует на сигнал. При его отсутствии на объекте, контроль за перегрузкой трансформатора может осуществляться средствами телемеханики. Защита от перегрузки на объектах без постоянного дежурного персонала может действовать на разгрузку или отключение (при невозможности ликвидации перегрузки другими средствами). Защита от перегрузки согласно ПУЭ устанавливается на



трансформаторах мощностью 0,4 МВТ и более. Защита от перегрузки при симметричной нагрузке может осуществляться реле, установленным в одной фазе.

Для обеспечения защиты от перегрузки всех обмоток трансформатора следует руководствоваться таким размещением устройств сигнализации перегрузки.

- На двухобмоточных трансформаторах – с одной любой стороны.
- На трехобмоточных трансформаторах с обмотками одинаковой мощности – со стороны питания (обычно ВН). На трансформаторах с возможным питанием с 2 сторон – со всех трех сторон.
- На трансформаторах, имеющих обмотки разной мощности, со всех трех сторон.

Таким образом, для того, чтобы охватить все возможные режимы и параметры трансформатора, целесообразно установить сигнализацию перегрузки на всех трех сторонах трехобмоточного трансформатора.

Ток срабатывания защиты от перегрузки с действием на сигнал определяется по условию возврата защиты при номинальном токе нагрузки трансформатора.

$$I_{с.з.п} = k_{отс} \cdot I_{ном} / k_6$$

где

$k_{отс}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,05;

$I_{ном}$  – номинальный ток стороны трансформатора, где установлена защита, с учетом регулирования на данной стороне, принимается равным номинальному току от ветвления с наибольшим током;

$k_6$  – коэффициент возврата устройства.

Для реле УЗА-АТ имеющего измерительный орган перегрузки в одной фазе, коэффициент возврата принимается равным 0,85, для микропроцессорных защит может быть принят равным 0,95.

Время срабатывания защиты от перегрузки, во избежание ложных сигналов, должно превышать время работы защиты и восстановления нормального режима действием автоматики снижения пускового тока нагрузки до номинального. Общепринятая в ряде энергопредприятий выдержка времени: 9 сек. Она устанавливается одинаковой на всех устройствах сигнализации, не имеющих специальных требований к выдержке времени.

В состав специализированных устройств защиты трансформаторов, а также вводов входят защиты от перегрузки, имеющие тепловую характеристику, включающую постоянные времени нагрева и охлаждения трансформатора. Таким образом, можно выполнить защиту от перегрузки, учитывающую предварительный нагрев трансформатора и максимально использующую его перегрузочную способность.

Формула, по которой производится расчет перегрузки, для реле разного типа отличается. Для устройства R3IPT фирмы ALSTOM защита от перегрузки рассчитывается, исходя из наибольшего значения фазного тока среди трех измеренных величин:  $I = \max(I_A, I_B, I_C)$ .

Защита от перегрузки характеризуется кроме константы нагрева  $T$ , также (равной ей по значению) константой охлаждения  $T_2$ .

Действующие характеристики защиты от перегрузки определяются по формуле:

$$t = T \times 60 \times \log \frac{(I / I_b)^2}{(I / I_b)^2 - (DT / DT_n)}$$

где

- $T$  – установленная для реле термоконстанта нагрева, выраженная в минутах;
- $I_b$  – базисный ток реле, определенный как симметричный и сбалансированный фазный ток в устойчивом состоянии, принимается равным номинальному;
- $DT$  – нагрев трансформатора в предшествующем режиме, принимаем = 1;
- $DT_n$  – нагрев при длительно допустимый токе нагрузки; можно принять 1.1 номинального;
- $\log$  – десятичный логарифм.

Защита от перегрузки характеризуется двумя степенями перегрузки  $DT>$  и  $DT>>$ , указываемыми в % от номинального  $DT_n$ .

Первая степень  $DT>$  должна быть использована для сигнализации или для разгрузки, вторая степень  $DT>>$  действует на отключение выключателя.

Сброс ступеней  $DT>$  и  $DT>>$  происходит при снижении нагрева трансформатора, однако можно мгновенно сбросить защиту от перегрузки, используя, предназначенный для этой цели, дискретный вход. Таким образом, трансформатор может продолжать работу в опасном режиме, или при отсутствии блокирующего сигнала, отключаться от защиты.

Такая защита не требуется нормами ПУЭ, однако может использоваться в особых случаях и действовать на разгрузку трансформатора или его отключение.

## 8.8 СПЕЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОТ ОДНОФАЗНЫХ КЗ НА СТОРОНЕ НН (0,4 кВ)

Специальная токовая защита нулевой последовательности от однофазных КЗ на землю устанавливается на трансформаторах с соединением обмотки НН в звезду с заземленной нейтралью. Измерительным органом защиты является одно максимальное реле тока  $T_0$ , включенное через трансформатор тока в заземленную нейтраль. В нормальном режиме работы трансформатора с симметричной нагрузкой в заземленной нейтрали проходит только ток небаланса, меньший, чем рабочие токи в фазах. От этого тока рассматриваемая защита должна быть надежно отстроена. При КЗ на землю на шинах или в сети НН через заземленную нейтраль проходит ток однофазного КЗ ( $I_k^{(1)} = 3I_0$ ), вызывающий срабатывание этой защиты. По сравнению с максимальной токовой защитой эта защита всегда имеет более высокую чувствительность к однофазным КЗ, поскольку их не нужно отстраивать от сверхтоков при самозапусках и перегрузках, которые являются симметричными режимами и не сопровождаются появлением токов обратной и нулевой последовательностей.

Специальная защита нулевой последовательности устанавливается в соответствии с ПУЭ в тех случаях, когда максимальная токовая защита на стороне *ВН* недостаточно чувствительна к однофазным КЗ на землю за трансформатором. Практически это имеет место на трансформаторах со схемой соединения обмоток *Y/Y<sub>0</sub>*, у которых  $I_K^{(1)} \ll I_K^{(3)}$ . На трансформаторах со схемой соединения обмоток  $\Delta/Y_0$ , для которых  $I_K^{(1)} = I_K^{(3)}$  максимальная токовая защита на стороне *ВН*, как правило, имеет достаточную чувствительность к однофазным КЗ на выводах *НН*. Однако и на этих трансформаторах целесообразно устанавливать специальную токовую защиту нулевой последовательности в качестве резервной для максимальной токовой защиты трансформатора (ближнее резервирование), и защитных аппаратов элементов сети *НН* (дальнее резервирование). Такое решение применяется, например, Теплоэлектропроектом для трансформаторов собственных нужд 6/0,4 кВ. При применении реле УЗА-АТ или УЗА-10 для этой цели можно использовать свободный элемент  $3I_0$ , который можно подключить к нейтрали 0,4 кВ трансформатора. Если этот элемент занят для защиты от замыканий на землю стороны *ВН* трансформатора, можно применить для этой цели устройство РС-40М, содержащее токовое реле и элемент выдержки времени.

Расчет уставок состоит из выбора тока срабатывания защиты  $I_{сз}$ , тока срабатывания реле  $I_{ср}$  и времени срабатывания защиты  $t_{сз}$ .

Ток срабатывания защиты выбирается по следующим условиям, обеспечивающим:

- несрабатывание (отстройку) от токов, которые могут проходить по заземленной нейтрали обмотки *НН* трансформатора при несимметрии нагрузки в нормальном режиме;
- согласование по току и по времени с защитами элементов, отходящих от сборки *НН*;
- необходимые значения коэффициента чувствительности при однофазном КЗ в основной зоне действия (на сборке *НН*) и в зоне резервирования (на элементах сети *НН* при отказе их собственной защиты).

Максимально допустимый в нормальном режиме ток в заземленной нейтрали обмотки *НН* для трансформаторов *Y/Y<sub>0</sub>* равен  $0,25 I_{ном. тр.}$ , для трансформаторов  $\Delta/Y_0$  –  $0,75 I_{ном. тр.}$ . Для обеспечения несрабатывания защиты при появлении таких токов в нейтрали, ток срабатывания должен быть примерно в 1,5—2 раза выше.

$$I_{с.з.} = 1,5 \cdot 3I_{0дон}$$

Согласование рассматриваемой защиты трансформатора с защитами элементов, отходящих от сборки на стороне *НН*, по ПУЭ не считается обязательным. Это объясняется тем, что выполнение условия согласования с защитными характеристиками автоматов и предохранителей относительно мощных элементов 0,4 кВ приводит к загромождению защиты трансформатора. Однако отсутствие согласования по чувствительности между последующей защитой трансформатора и предыдущими защитами отходящих элементов достаточно часто вызывает неселективное отключение питающего трансформатора при таких КЗ, когда защита предыдущего элемента оказывается недостаточно чувствительной. Наилучшие условия для согласования обеспечиваются в тех случаях, когда на относительно мощных элементах 0,4 кВ устанавливается дополнительная токовая защита нулевой последовательности без выдержки времени, действующая на отключение автомата. Такая защита предусматривается, например, Теплоэлектропроектом для электродвигателей 0,4 кВ начиная с мощности примерно 100 кВт. При токе срабатывания, выбранном только по первому условию, рассматриваемая защита всегда имеет достаточный коэффициент чувствительности при однофазных КЗ на сборке *НН* и, как правило, в зоне резервирования, если, разумеется, первичная схема сети *НН* создана с учетом требований дальнего резервирования.

Время срабатывания защиты нулевой последовательности от КЗ на землю выбирается по возможности минимальным. Если на элементах сети 0,4 кВ имеется дополнительная защита

нулевой последовательности без выдержки времени то защиты нулевой последовательности на вводах 0,4 кВ трансформатора могут иметь  $t_{cz} = 0,4$  сек, а в нейтрали – на ступень селективности выше, т. е. 0,8 с.

## 8.9 РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА

Практика эксплуатации защит трансформатора показывает, что эти защиты при теперешнем их построении могут отказать независимо от того, выполнена ли эти защиты на постоянном или переменном оперативном токе. Может быть потерян источник оперативного тока - если это аккумуляторная батарея, то она единственная, а защиты на переменном токе сходятся на один комплект соленоидов отключения, и эти цепи также могут повредиться. Может отказать выключатель или короткозамыкатель. Как правило, защиты питающих линий не резервируют коротких замыканий за трансформатором, и повреждение на шинах НН отключится только после того, как короткое замыкание перейдет на сторону ВН после повреждения питающих трансформаторов. Хотя такие случаи и не слишком частые, однако тяжесть последствий заставляет релейщиков различных предприятий искать способы выполнения автономной защиты, не зависящей от состояния опертока и аппаратов на подстанции. Одно из таких устройств, РЗТ, выпускается фирмой «Системы РЗА» и уже нашло применение на ряде энергетических предприятий.

Работа устройства основана на ряде соображений, получивших подтверждение при эксплуатации.

- Источником оперативного тока может быть только трансформатор тока, по возможности не имеющий длинных цепей, которые могут быть повреждены электрической дугой. Для этого устройство должно располагаться вблизи трансформатора и связываться с трансформатором тока и отключаемым аппаратом короткими кабелями.
- Устройство должно действовать на отдельный электромагнит отключения и на другой коммутационный аппарат. В качестве его при схеме короткозамыкатель–отделитель взят отделитель. Безусловно, отделитель, при его отключении под током короткого замыкания, будет поврежден возникающей дугой, но зато его отключение вызовет короткое замыкание на стороне ВН, которое почувствует защита отключающей линии и отключит КЗ. Практика показала, что возникающие при этом повреждения таковы, что отделитель может быть отремонтирован.
- Зачастую, аппарат, не отключившийся при первой подаче напряжения на его соленоид отключения, может отключиться при повторной или даже третьей подаче напряжения на него.

Учитывая все эти соображения, и разработана конструкция реле РЗТ.

- Устройство выполнено для наружной установки и располагается непосредственно на ОРУ.
- РЗТ подключается к трансформатору тока, короткозамыкателю и отделителю короткими кабелями.
- Источником оперативного тока РЗТ является энергия конденсатора, заряжающегося от тока защищаемого присоединения. Потребление тока для заряда конденсаторов невелико, и эти трансформаторы тока можно одновременно использовать для питания других защит, хотя для надежности лучше использовать отдельный комплект трансформаторов тока.
- РЗТ поочередно действует на включение короткозамыкателя и отключение отделителя.

- Для отключения выключателя с соленоидным приводом, имеющего один соленоид отключения имеется диодная развязка, позволяющая подключить РЗТ совместно с другими защитами на один соленоид отключения.
- Если в результате первого срабатывания аппарат не отключится, то после повторного заряда конденсатора устройство опять подействует, и так будет продолжаться до тех пор, пока не исчезнет ток КЗ и защита не вернется.
- РЗТ для резервирования отказа выключателя, при 2 выключателях на линиях, питающих секцию, может действовать на эти 2 выключателя, резервируя, таким образом, отказ выключателя на трансформаторе. Имеются варианты для действия на три выключателя.
- Изменение уставок устройства, учитывая ее наружную установку, производится не переключением переключателей, а пайкой; при заводской поставке все переключатели запаяны и выполнение нужной уставки в первый раз производится выкусыванием переключателей.

### **Выбор уставок устройства**

Ток срабатывания РЗТ согласовывается с током срабатывания максимальной защиты трансформатора.

$$I_{ср РЗТ} = 1,1 \cdot I_{ср МТЗ}$$

Проверка достаточности тока для заряда конденсаторов не производится, так как его хватает при любой уставке по току РЗТ.

Выдержка времени на включение короткозамыкателя, принимается на ступень большей МТЗ стороны ВН, для учета возможной погрешности РЗТ.

$$t_{ср РЗТ} = t_{ср МТЗ} + \Delta t$$

где  $\Delta t = 0,5$  сек – ступень селективности.

Выдержка времени на отключение отделителя выбирается таким образом, чтобы обеспечить отключение питающей линии, если сработает ее защита, до отключения под током отделителя.

**1 условие:** должны успеть включиться короткозамыкатель действием штатной МТЗ трансформатора и отключиться питающая линия действием ее защиты до того, как отключится отделитель.

$$t_{ср РЗТ} = t_{ср МТЗ} + t_{вкл КЗ} + t_{ср РЗ} + \Delta t$$

где

$t_{вкл КЗ}$  – время включения короткозамыкателя можно принять равным 0.3 сек;

$t_{ср РЗ}$  – время срабатывания защиты питающей линии, чувствующей ток включения короткозамыкателя;

$\Delta t = 0,5$  сек – время запаса.

**2 условие:** Если короткозамыкатель не включился, то вторая ступень должна переждать работу наиболее чувствительной защиты питающей линии, чтобы обеспечить отключение питающей линии до отключения отделителя.

$$t_{cp P3T} = t_{cp \text{ чybP3}} + \Delta t$$

где

$t_{cp \text{ чybP3}}$  – уставка защиты питающей линии с наибольшей выдержкой времени;

$\Delta t = 0,5$  сек – время запаса.

Выбирается уставка по времени большей величины.

Для схемы подстанции с подключением трансформатора через 1 выключатель–отпайка – защита РЗТ действует на отключение того же выключателя что и основная защита трансформатора:

$$t_{cp P3T} = t_{cp MT3} + \Delta t$$

Для схемы подстанции с подключением трансформатора через 2 выключателя – схема мостика – защита РЗТ действует на отключение этих 2 выключателей, как и основная защита трансформатора с дополнительной выдержкой времени.

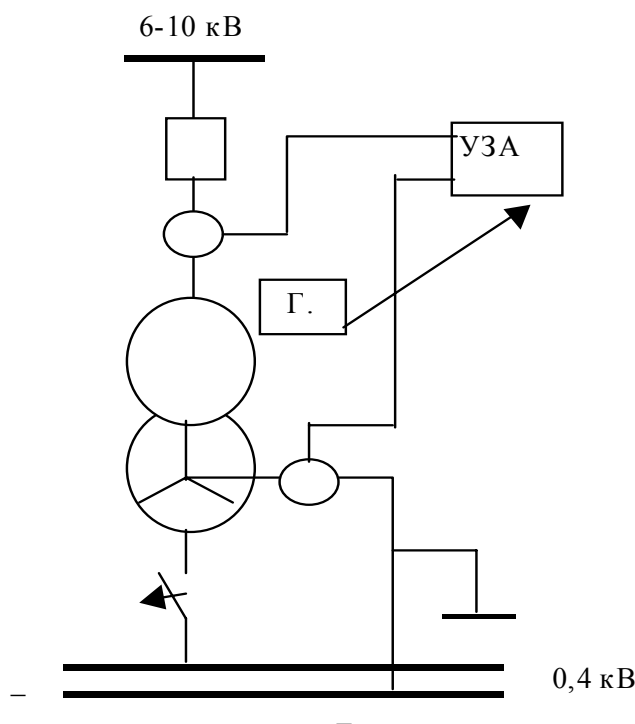
Для схемы подстанции с подключением трансформатора к секции с 2-мя питающими линиями с выключателями, защита РЗТ действует на отключение этих 2 выключателей, даже если трансформатор имеет собственный выключатель.

## 8.10. ПРИМЕРЫ РАССТАНОВКИ ЗАЩИТ НА ТРАНСФОРМАТОРАХ

### 8.10.1. Трансформатор 6-10/0.4 кВ с выключателем на стороне ВН

Такие трансформаторы используются для питания собственных нужд подстанций, для подключения в нейтраль ВН дугогасящих катушек или резисторов. Необходимые для трансформатора защиты Для:

- Трансформаторы тока собираются в неполную звезду.
- Токовая отсечка без выдержки времени, отстраивается по току от КЗ на стороне НН.
- Максимальная защита, согласованная с защитой на автоматах 0,4 кВ. Вид характеристики МЗ (зависимая или независимая) определяется, по удобству согласования с автоматом НН.
- Учитывая, что ток однофазного КЗ за трансформатором с группой соединений **Y/Yo** примерно в 3 раза меньше трехфазного, целесообразно для защиты трансформатора выполнить дополнительную защиту от замыканий на землю на стороне НН, используя имеющийся в дополнительный вход  $3I_0$ , подключив его к трансформатору тока установленному в нейтрали 0.4кВ. Газовая защита, при ее наличии, должна подключаться к устройству защиты через дискретный вход или напрямую. Если трансформатор имеет схему  **$\Delta/Yo$** , то токи однофазного КЗ будут примерно равны трехфазному, зато при двухфазном КЗ, вследствие того, что защита установлена в 2 фазах, возможно, что в обе фазы попадет только половина тока КЗ, поэтому ток расчетный ток КЗ нужно уменьшить в 2 раза. Если чувствительности защиты в этом случае будет недостаточно, следует включить дополнительно в обратный провод реле РС-40М1, с уставками теми же, что и МТЗ. Подключение дополнительного входа по  $3I_0$  и в этом случае целесообразно, так как повышает чувствительность защиты при однофазных КЗ.



– Рис. 8.25 Расстановка защиты на трансформаторе 6-10/0.4 кВ.

- Учитывая, что защита питающих линий (трансформаторов), как правило, не резервирует указанные трансформаторы, рекомендуется применение УРОВ, которое должно организовываться на внешних реле, и действовать на отключение питающего ввода и секционного выключателя.
- Для сигнализации перегрузки целесообразно использовать защиту от перегрузки, имеющуюся в некоторых модификациях устройства УЗА-АТ.

#### 8.10.2. Защита трансформатора 35/6-10 кВ мощностью менее 6 300 кВА

Защита трансформатора может быть выполнена на 2 реле УЗА-АТ или РС81, РС83. Газовая защита действует на отключение непосредственно. Трансформаторы тока стороны ВН собраны в треугольник, на стороне НН в неполную звезду.

Устройство УЗА-АН, РС82, РС83-В2 используется для схемы АВР шин 10 кВ, и может быть использовано для блокировки по напряжению максимальных защит трансформатора.

Токовые отсечки используются в качестве логических защит (ввод НН – защита шин, ввод НН-дифзащита трансформатора). Имеющиеся в составе устройств входы защиты нулевой последовательности, включены в обратные провода токовых цепей и используются в качестве защиты от перегрузки и автоматики охлаждения трансформатора.

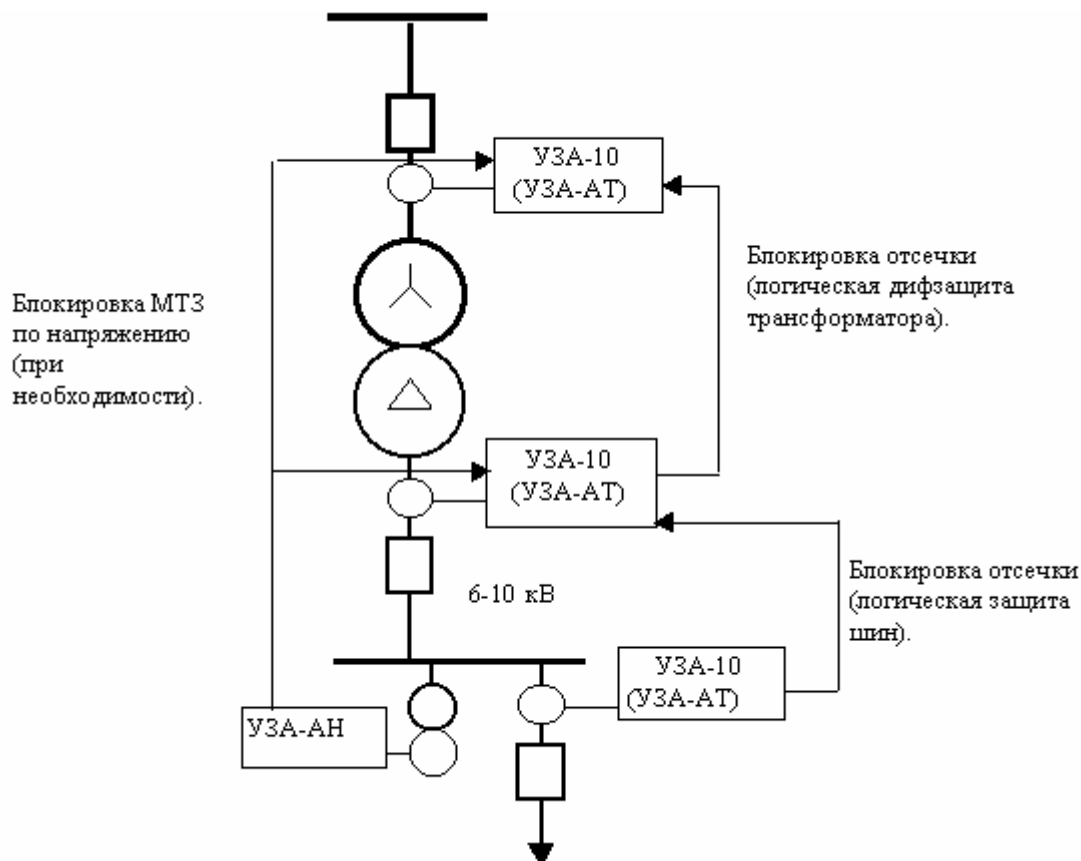


Рис. 8.26. Защита трансформатора 35/6-10 кВ мощностью менее 6 300 кВА.

### 8.10.3. Двухобмоточный понижающий трансформатор повышенной мощности (более 4 МВА)

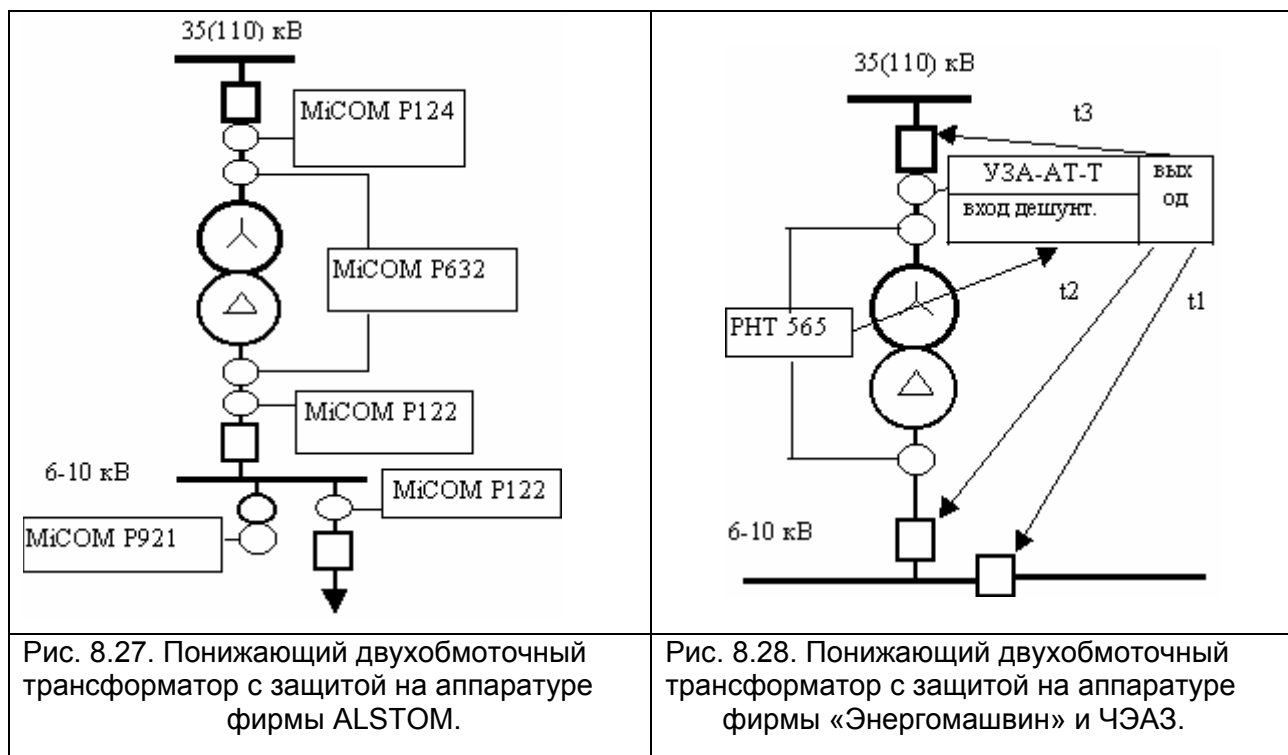
Для трансформаторов напряжением 35кВ нами предлагаются простые решения:

- Дифзащита выполнена на простых электромеханических реле РНТ 565 (ДЗТ-11) производства ЧЭАЗ. Для резервной защиты (МТЗ) используется реле УЗА – АТ-Т или РС83 имеющее три ступени выдержки времени: первая ступень действует на отключение СВ 6-10кВ, вторая отключает ввод 6-10 кВ, третья отключает выключатель (включает короткозамыкатель) на стороне 35кВ. Сторона 35кВ использует дешунтирование, предусмотренное в устройстве УЗА-АТ-Т, а дифзащита действует на дешунтирование через дискретный вход того же реле см. рис.8.27.

На рис. 8.28. показана защита трансформатора, выполненная на аппаратуре ALSTOM (AREVA): реле MiCOM P124 на вводах ВН и P122 – на вводе НН. Дифзащита выполнена на реле MiCOM P632 или MX3DPT3A. Газовая защита подключается на дискретный вход устройства MiCOM P124. Взамен MiCOM P122 могут быть использованы реле MiCOM P123 или реле серии MODULEX3: MX3AMD30A, MX3AM30A. Для ввода ВН во всех случаях целесообразно применить устройство MiCOM P124, имеющее автономное питание, независимое от наличия опертока на ПС. Дополнительные токовые органы, входящие в состав MiCOM P632 используются для дублирования резервных защит, а свободные токовые органы – для блокировки РПН, сигнализации перегрузки, автоматики охлаждения и т.д.

Взамен MiCOM P921 может быть использовано MiCOM P922, при этом появляется возможность выполнить блокировку по напряжению МТЗ дополнительно по U2. Можно использовать также реле MX3VIR30A или MX3VIC30A соответственно.





Распределение функций см. табл. 8.3.

Таблица 8.3.

<p><b>MiCOM P124</b> включена на трансформаторы тока выключателя со стороны ВН. Токовые органы защиты нулевой последовательности могут быть включены на фазный ток ТТ и использоваться для пуска охлаждения и блокировки РПН.</p>	<p>Первая ступень - токовая отсечка, отстроена от КЗ на стороне НН.</p> <p>Вторая ступень – выполнена без выдержки времени и блокируется устройством защиты стороны НН.</p> <p>Третья ступень – обычная максимальная защита с выдержкой времени.</p>	<p>Дублирующая логическая дифзащита трансформатора. (см. примечание 1).</p> <p>Дублирует вторую ступень на случай отказа цепей блокировки 2 ступени.</p> <p>Обеспечивает резервирование защит подстанции при потере на ПС постоянного оперативного тока.</p>
<p><i>Примечание 1. Для отстройки от броска <math>I_{нам}</math>, уставку ступени с логической блокировкой у реле MiCOM должна составить не менее <math>2I_n</math>, при ее выполнении без выдержки времени. Для реле серии MODULEX 3 при уставке порядка <math>2I_{ном}</math> необходимо ввести выдержку времени порядка 0,2сек.</i></p>		
<p><b>MiCOM P632 (MX3DPT3A)</b> целесообразно включить на трансформаторы тока встроенные на стороне ВН трансформатора и ТТ выключателя стороны НН.</p>	<p>Продольная дифзащита трансформатора повышенной чувствительности.</p>	

<b>MiCOM P122</b> включен на трансформаторы тока выключателя со стороны НН.	Первая ступень выполнена без выдержки времени и блокируется устройствами защиты отходящих фидеров.  Вторая ступень выполняется с выдержкой времени селективной с фидерами.  Третья ступень – защита от перегрузки трансформатора .	Логическая дифзащита шин.  Дублирует вторую ступень на случай отказа цепей блокировки.
<b>MiCOM P921 (MX3VIR30A)</b> включена на ТН стороны НН.	Может быть использована для блокировки защит трансформатора по напряжению.	

При использовании аппаратуры других фирм можно рекомендовать, табл. 8.4

Таблица 8.4

Фирма	Защита ввода ВН	Дифзащита и дополнительные защиты	Защита ввода НН, дополнительные токовые органы, АВР, АПВ	Защита фидеров
GE	F650	T60	MIF, F650	MIF, F35*, F650
ABB	REF 543	RET 521	REF 543	REF 541
SIEMENS	7SJ511	7UT513	7SJ511	7SJ511
SEL	SEL551	SEL387A	SEL 351	SEL 551

*Примечание\*: F35\* -групповое устройство защиты рассчитанное на подключение до 5 фидеров и 1 ТН.*

#### 8.10.4. Трансформатор с расщепленной обмоткой НН

При использовании аппаратуры ALSTOM защита трансформатора выполняется на реле MiCOM P124 на вводе ВН, P122 на вводах НН1 и НН2. Дифзащита выполнена на реле MiCOM P632 или MX3DPT3A. Газовая защита подключается на дискретный вход первого устройства MiCOM P122. Использование функций см. таблицу 8.5.

Взамен MiCOM P122 могут быть использованы реле MiCOM P123 или реле серии MODULEX3: MX3AMD30A, MX3AM30A. Для ввода ВН во всех случаях целесообразно применить устройство MiCOM P124, имеющее автономное питание и независящее от наличия опертока на ПС.

Взамен MiCOM P921 может быть использовано MiCOM P922, при этом появляется возможность выполнить блокировку по напряжению МТЗ дополнительно по U2. Можно использовать также реле MX3VIR30A MX3VIC30A, соответственно.

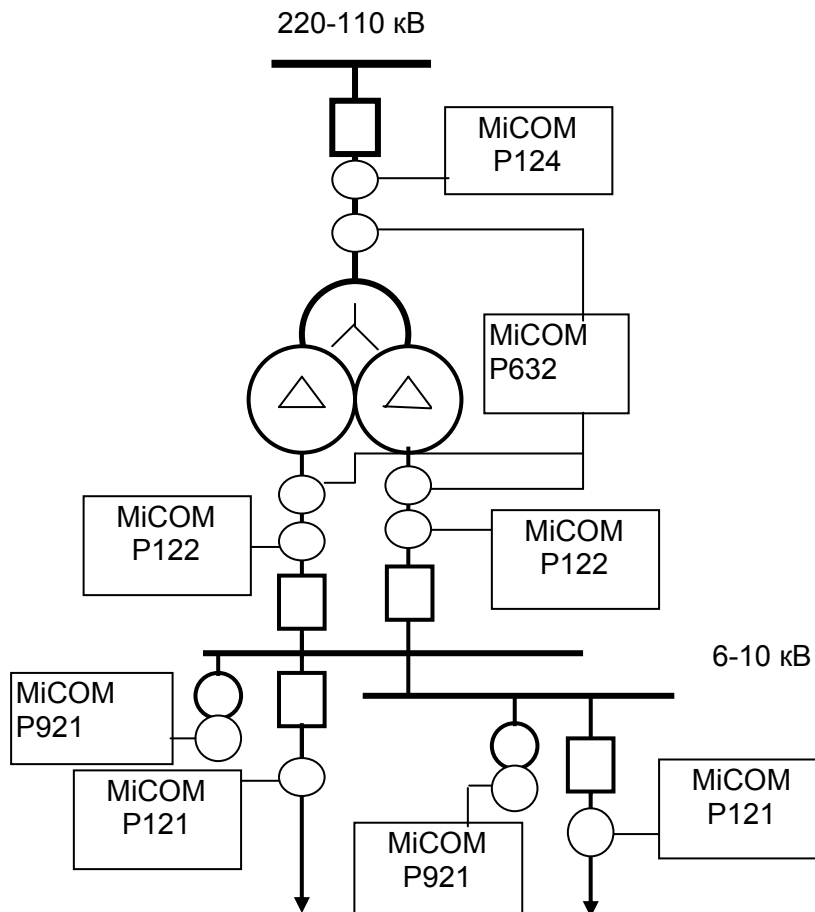


Рис. 8.29 Расстановка аппаратуры на трансформаторе с расщепленной обмоткой НН.

Таблица 8.5

<p><b>MiCOM P124</b> включена на трансформаторы тока выключателя со стороны ВН. Ток-вые органы защиты нулевой последовательности могут быть включены на фазный ток ТТ и использоваться для пуска охлаждения и блокировки РПН.</p>	<p>Первая ступень- токовая отсечка, отстроена от КЗ на стороне НН.</p> <p>Вторая ступень – выполнена без выдержки времени и блокируется устройством защиты сторон НН1 и НН2.</p> <p>Третья ступень – обычная максимальная защита с выдержкой времени .</p>	<p>Дублирующая логическая дифзащита трансформатора см. примечание 1.</p> <p>Дублирует вторую ступень на случай отказа цепей блокировки 2 ступени.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Примечание 1.

Для отстройки от броска  $I_{нам.}$  уставку ступени с логической блокировкой у реле **MiCOM** должна составить не менее  $2 I_{нм.}$  при ее выполнении с выдержкой времени 0.1 сек. Для реле серии **MODULEX 3** при уставке порядка  $2 I_{ном}$  необходимо ввести выдержку времени порядка 0,2сек.

<b>MiCOM P632 (MX3DPT3A)</b> целесообразно включить на трансформаторы тока встроенные на стороне ВН трансформатора и сумму токов ТТ выключателей стороны НН1 и НН2.	Продольная дифзащита трансформатора повышенной чувствительности.	
<b>MiCOM P122-1 и 2</b> включена на трансформаторы тока выключателей на сторонах НН1 и НН2.	<p>Первая ступень выполнена без выдержки времени и блокируется устройствами защиты отходящих фидеров.</p> <p>Вторая ступень выполняется с выдержкой времени, селективной с фидерами.</p> <p>Третья ступень – защита от перегрузки трансформатора.</p>	<p>Логическая дифзащита шин.</p> <p>Дублирует вторую ступень на случай отказа цепей блокировки.</p> <p>Должна быть выполнена отдельной для каждой обмотки НН.</p>
<b>MiCOM P921 1 и 2 (MX3VIR30A 1 и 2)</b> включена на ТН стороны НН.	Может быть использована для блокировки защит трансформатора по напряжению.	

При использовании аппаратуры других фирм можно рекомендовать, табл. 8.6

Таблица 8.6

Фирма	Защита ввода ВН	дифзащита и дополнительные защиты	Защита вводов НН, дополнительные токовые органы, АВР, АПВ	Защита фидеров
GE	F650	T60	F650	MIF, F35*, F650
ABB	REF 543	RET 521	REF 543	REF 541
SIEMENS	7SJ511	7UT513	7SJ511	7SJ511
SEL	SEL551	SEL387E	SEL 351	SEL 551
PA	Сириус -УВ	Сириус ТЗ	Сириус 2В	Сириус 2Л

*Примечание\*: F35\* -групповое устройство защиты рассчитанное на подключение до 5 фидеров и 1 ТН*

### 8.10.5. Понижающий трехобмоточный трансформатор

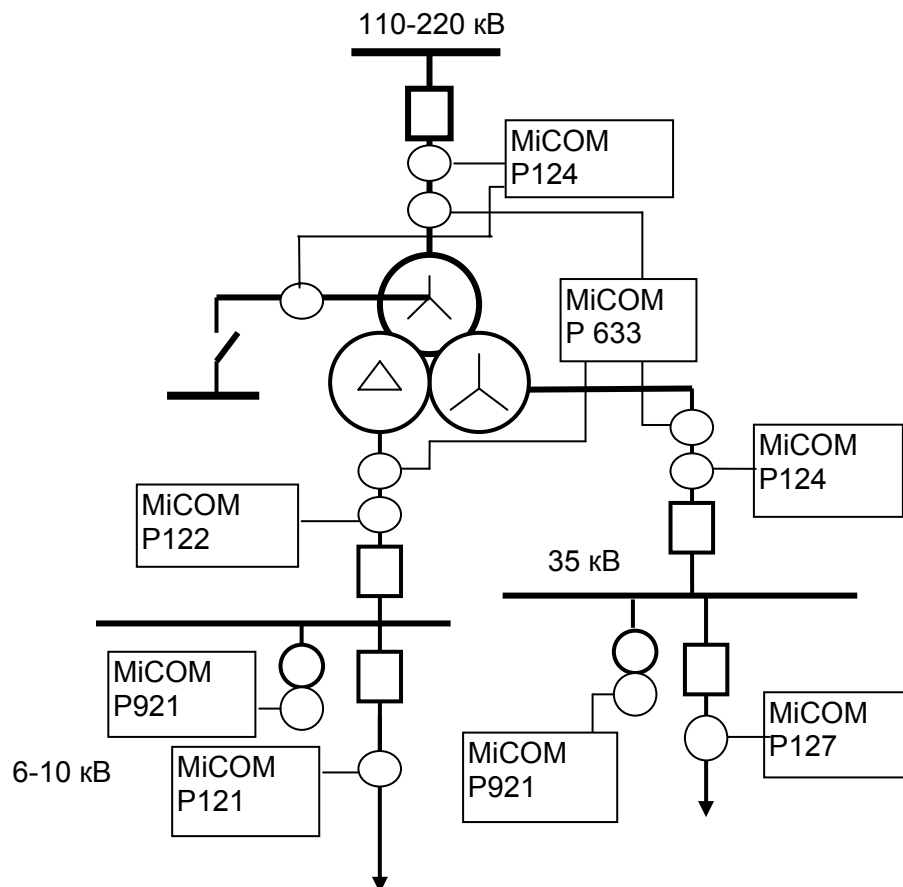


Рис. 8.24. Расстановка аппаратуры на трехобмоточном трансформаторе.

Предусматривается возможность резервного питания по стороне СН. В этом режиме нейтраль трансформатора должна быть заземлена. Защиты трансформатора и отходящих линий выполнены целиком на реле серии MiCOM. Дифзащита выполнена на реле MiCOM P633. На вводах СН и НН установлена защита MiCOM P122, ВН и СН – P124. Газовая защита подключается на дискретный вход устройства MiCOM P122 стороны ВН и должна действовать на MiCOM P124 стороны СН. Для выполнения защиты от замыканий на землю стороны ВН, в режиме питания трансформатора со стороны СН, используется трансформатор тока со стороны нейтрали трансформатора, подключенный к устройству MiCOM P124 стороны ВН. Использование функций см. таблицу 8.7. Взамен MiCOM P122 могут быть использованы реле MiCOM P123. Защита линии 35 кВ, которая может быть питающей, выполнена направленной с помощью устройства MiCOM P127.

Взамен MiCOM P921 может быть использовано MiCOM P922, при этом появляется возможность выполнить блокировку по напряжению МТЗ дополнительно по U2.

Таблица 8.7

<p><b>MiCOM P124-1</b> включено на трансформаторы тока выключателя со стороны ВН. Токовые органы защиты нулевой последовательности включены на ток ТТ в нейтрали.</p>	<p>Первая ступень - токовая отсечка, отстроена от КЗ на стороне НН.</p> <p>Вторая ступень выполнена с выдержкой времени 0,2 с и блокируется устройством защиты сторон НН и СН.</p> <p>Третья ступень используется для пуска охлаждения и блокировки РПН.</p> <p>Защита от перегрузки с тепловой характеристикой</p>	<p>Дублирующая логическая дифзащита трансформатора см. примечание 1.</p>
<p><u>Примечание 1.</u></p> <p>Для отстройки от броска <math>I_{\text{ном}}</math> уставка ступени с логической блокировкой у реле MiCOM должна составить не менее <math>2 I_{\text{н}}</math>, при ее выполнении с выдержкой времени 0.1 сек.</p>		
<p><b>MiCOM P124-2 и P122</b> включены на трансформаторы тока выключателя со стороны СН и НН соответственно. Токовые органы защиты нулевой последовательности могут быть включены на фазный ток ТТ, и использоваться для пуска охлаждения и блокировки РПН.</p>	<p>Максимальная защита шин СН и НН.</p> <p>На второй ступени выполнена логическая защита шин СН и НН, которая блокируется устройством защиты фидеров сторон СН и НН.</p> <p>Дублирующая дифзащита трансформатора блокируется устройствами СН и ВН.</p>	<p>Дублирующая логическая дифзащита трансформатора.</p> <p>Резервирует защиты ПС при потере оперативного тока и питания по стороне 35 кВ.</p>
<p><b>MiCOM P633</b> целесообразно включить на трансформаторы тока встроенные на стороне ВН трансформатора и отдельно на токи ТТ выключателей стороны СН и НН. Комплект защиты от замыканий на землю подключается к тр-ру тока нейтрали 110 кВ.</p>	<p>Продольная дифзащита трансформатора повышенной чувствительности. Защиты от замыкания на землю на стороне ВН.</p> <p>На сторонах НН и СН выполняются дополнительные максимальные защиты.</p> <p>Защита от перегрузки.</p>	
<p><b>MiCOM P921 1 и 2</b> включено на ТН стороны НН и СН.</p>	<p>Может быть использована для блокировки максимальных защит трансформатора по напряжению.</p>	

При использовании аппаратуры других фирм можно рекомендовать, табл. 8.8

Таблица 8.8

Фирма	Защита ввода ВН	дифзащита и дополнительные защиты	Защита вводов НН, дополнительные токовые органы, АВР, АПВ	Защита фидеров
GE	F35	T60	F35, F60	MIF, F35*, F650
ABB	REF 543	RET 521	REF 543	REF 541
SIEMENS	7SJ511	7UT513	7SJ511, 7SJ531	7SJ511, 7SJ531
SEL	SEL551	SEL387E	SEL551, SEL 351	SEL551, SEL 351
РА	Сириус УВ	Сириус Т3	Сириус 2В	Сириус 2Л

*Примечание\*:* F35\* -групповое устройство защиты рассчитанное на подключение до 5 фидеров и 1 ТН.

Указанной аппаратурой не исчерпывается возможный перечень аппаратуры. Номенклатура фирм производителей значительно шире. Исходя из конкретных требований к защите, автоматике и управлению можно подобрать и другую аппаратуру, часто более простую и дешевую.