

Основные возможные повреждения трансформатора следующие:

- перегрузка;
- короткое замыкание;
- замыкание на корпус.

Перегрузка

Перегрузка может возникнуть вследствие увеличения количества одновременно подключенных нагрузок или увеличения мощности, потребляемой одной или несколькими нагрузками. Перегрузка выражается в длительном сверхтоке, вызывающем повышение температуры до уровня нарушения стойкости электроизоляционных материалов и срока службы трансформатора.

Короткое замыкание

Короткое замыкание может произойти внутри или вне трансформатора.

Внутреннее короткое замыкание – это

замыкание между проводами различных фаз или между витками одной и той же обмотки.

При возникновении дуги замыкания повреждается обмотка трансформатора и может произойти пожар. В масляном трансформаторе под воздействием дуги выделяется газ разложения; при слабом коротком замыкании выделение газа незначительное и накопление газа становится опасным. Сильное короткое замыкание вызывает серьезные повреждения, когда может быть разрушена обмотка, а также бак трансформатора, и воспламенившееся масло выходит наружу.

Внешнее короткое замыкание – это межфазное замыкание в линиях со стороны потребителя.

Ток короткого замыкания со стороны потребителя вызывает в трансформаторе электродинамические усилия, которые могут привести к механическому повреждению обмоток трансформатора и спровоцировать в дальнейшем внутреннее короткое замыкание.

Замыкание на корпус

Замыкание на корпус является внутренним повреждением. Оно может произойти между **обмоткой и баком** трансформатора либо между **обмоткой и магнитопроводом**.

В масляном трансформаторе вызывает выделение газа. Может произойти **разрушение трансформатора и пожар**. Амплитуда тока повреждения зависит от режима работы нейтрали сетей, расположенных со стороны источника питания и со стороны потребителя, а также от места повреждения в обмотке:

- в случае соединения *по схеме "звезда"* значение тока замыкания на корпус изменяется от 0 до максимального значения в зависимости от места локализации повреждения – на выводе нейтрали или фазной обмотки;

- в случае соединения *по схеме "треугольник"* значение тока замыкания на корпус изменяется от 50% до 100% максимального значения в зависимости от места локализации повреждения – в середине или на конце обмотки.

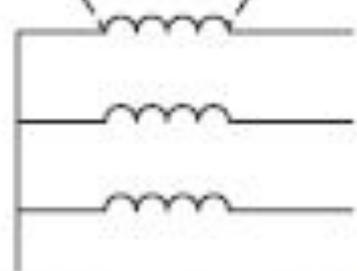
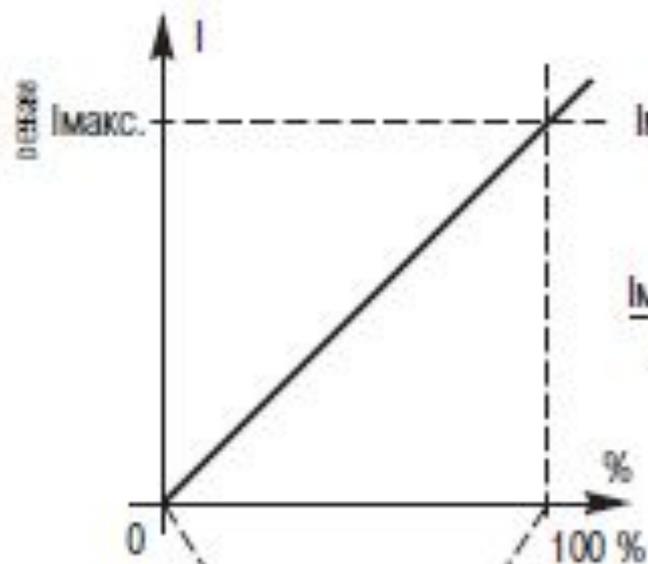


Рис. 1

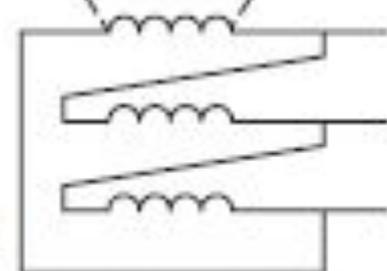
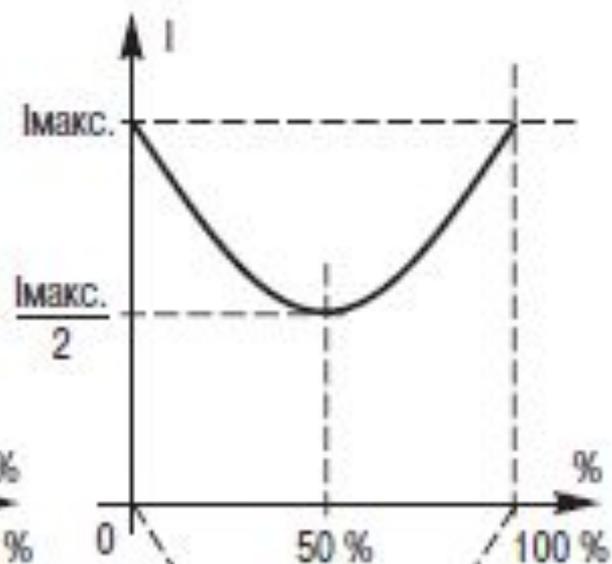


Рис. 2

Диаграммы зависимости тока повреждения от места повреждения в обмотке

Защита трансформаторов должна удовлетворять следующим условиям:

1. Отключать трансформатор от всех источников питания при его **повреждении**.
2. Отключить трансформатор от поврежденной части установки при прохождении через него **сверхтоков** в случаях **повреждения шин или другого оборудования**, связанного с трансформатором, а также **при повреждении смежного оборудования и отказа защиты на нем** или выключателе.
3. Подавать предупредительный сигнал дежурному подстанции при перегрузке трансформатора, выделении газа из масла, понижении уровня масла, повышении его температуры.

Применяются следующие типы защит:

1. **Дифференциальная защита** – для защиты при повреждении обмоток, вводов, ошиновки трансформаторов.
2. **Токовая отсечка** мгновенного действия для защиты трансформатора при повреждении его ошиновки, вводов и части обмоток со стороны источника питания.
3. **Газовая защита** для защиты при повреждениях внутри бака трансформатора, сопровождающихся выделением газа, а также при понижении уровня масла.
4. **Максимальная токовая защита, максимальная направленная защита или МНЗ с пуском минимального напряжения** для защиты от сверхтоков, проходящих через трансформатор при повреждении, как самого трансформатора, так и элементов связанных с ним.
5. **Защита от перегрузки**, действующая на сигнал на подстанции с обслуживающим персоналом и на отключение – без обслуживающего персонала.

Токовая отсечка

На трансформаторах мощностью ниже 6300кВА, работающих единично, и трансформаторах мощностью ниже 4000кВА, работающих параллельно, вместо сложной диф.защиты устанавливается токовая отсечка (ТО).

При К.З. на вводах трансформатора со стороны питания ток К.З. значительно больше, чем при К.З. на стороне нагрузки, т. е. за трансформатором.

Ток срабатывания выбирается таким образом, чтобы она не работала при К.З. за трансформатором:

Дифференциальная отсечка

Дифференциальная отсечка – это диф.защита мгновенного действия, имеющая ток срабатывания больше броска намагничивающего тока. Ток срабатывания диф.отсечки определяется главным образом условием отстройки от броска тока намагничивания.

кн – коэффициент надежности равный 3-4.

Ток срабатывания диф.отсечки определяется также и по условию отсройки от тока небаланса.

Основным достоинством диф.отсечки является простота схемы и быстроедействие.

Недостатком является большой ток срабатывания, вследствие чего защита в ряде случаев оказывается недостаточно чувствительной.

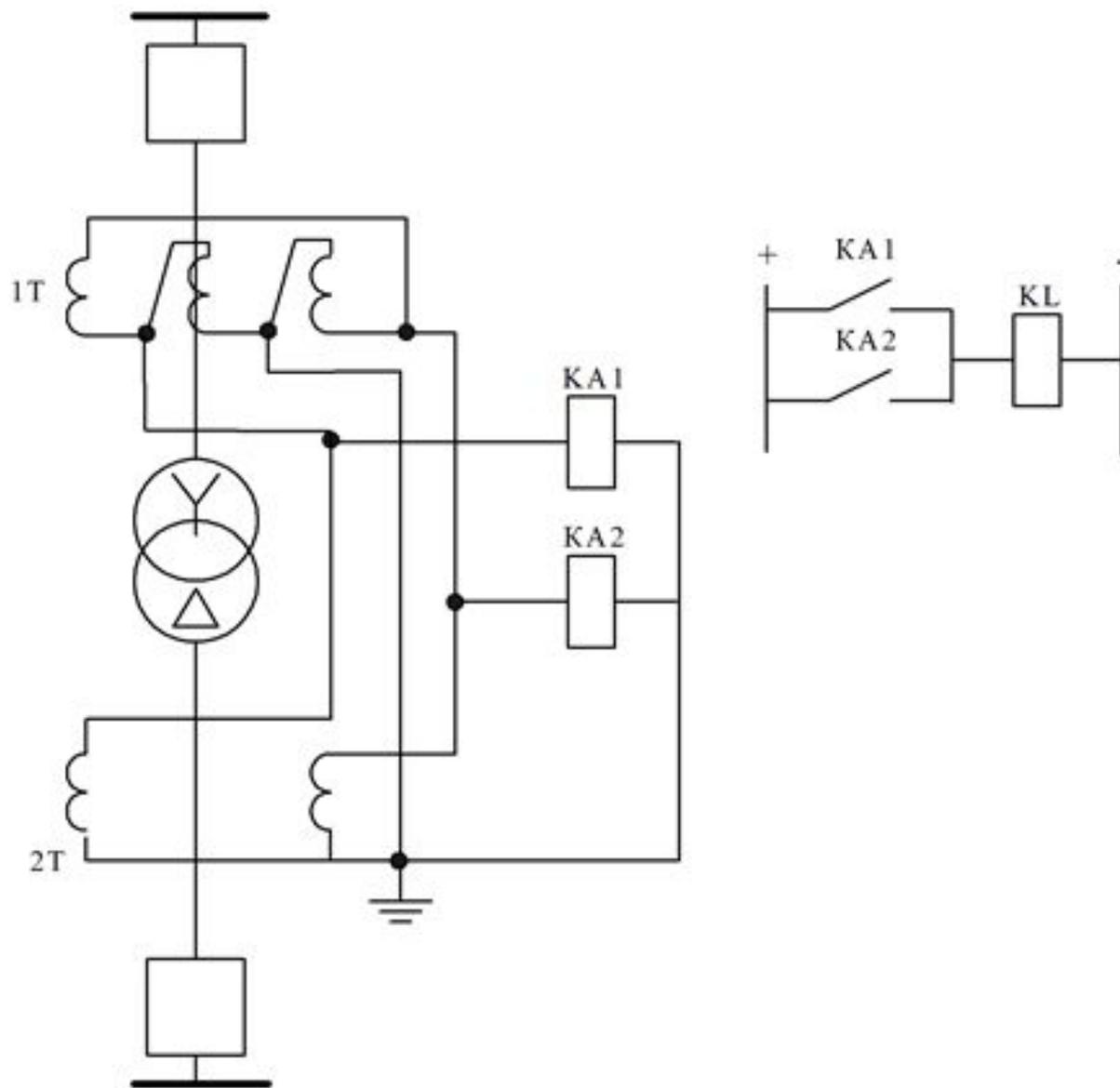


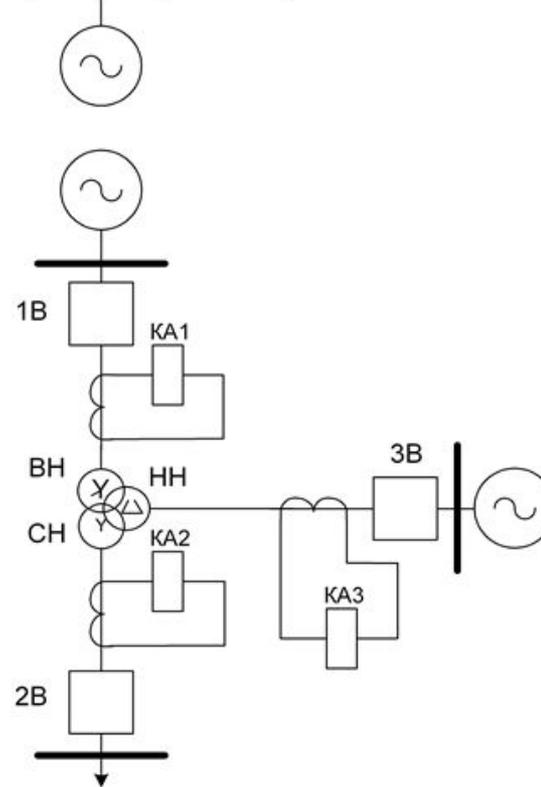
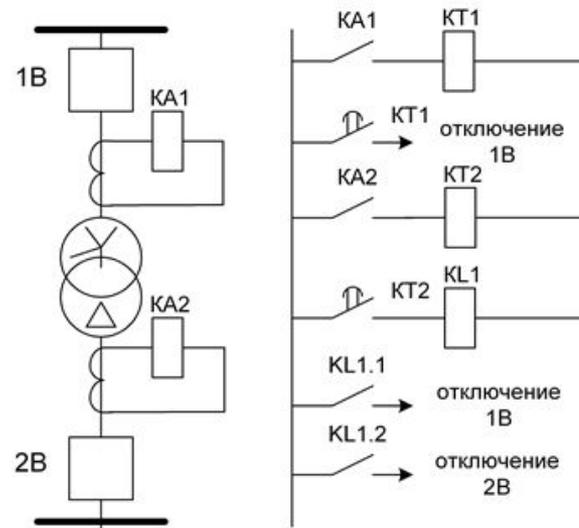
Рис.8.2. Схема диф.отсечки.

Защита трансформаторов от сверхтоков

является резервной защитой, предназначенной для отключения их от источников питания как в случаях повреждения самих трансформаторов и отказа основных защит, так и при повреждениях смежного оборудования и отказах его защиты или выключателей.

При отсутствии специальной защиты шин защита трансформатора от сверхтоков осуществляет также защиту этих шин. На повышающих трансформаторах схемы защиты от сверхтоков могут быть следующими:

- Защита от сверхтоков
на повышающих
трансформаторах



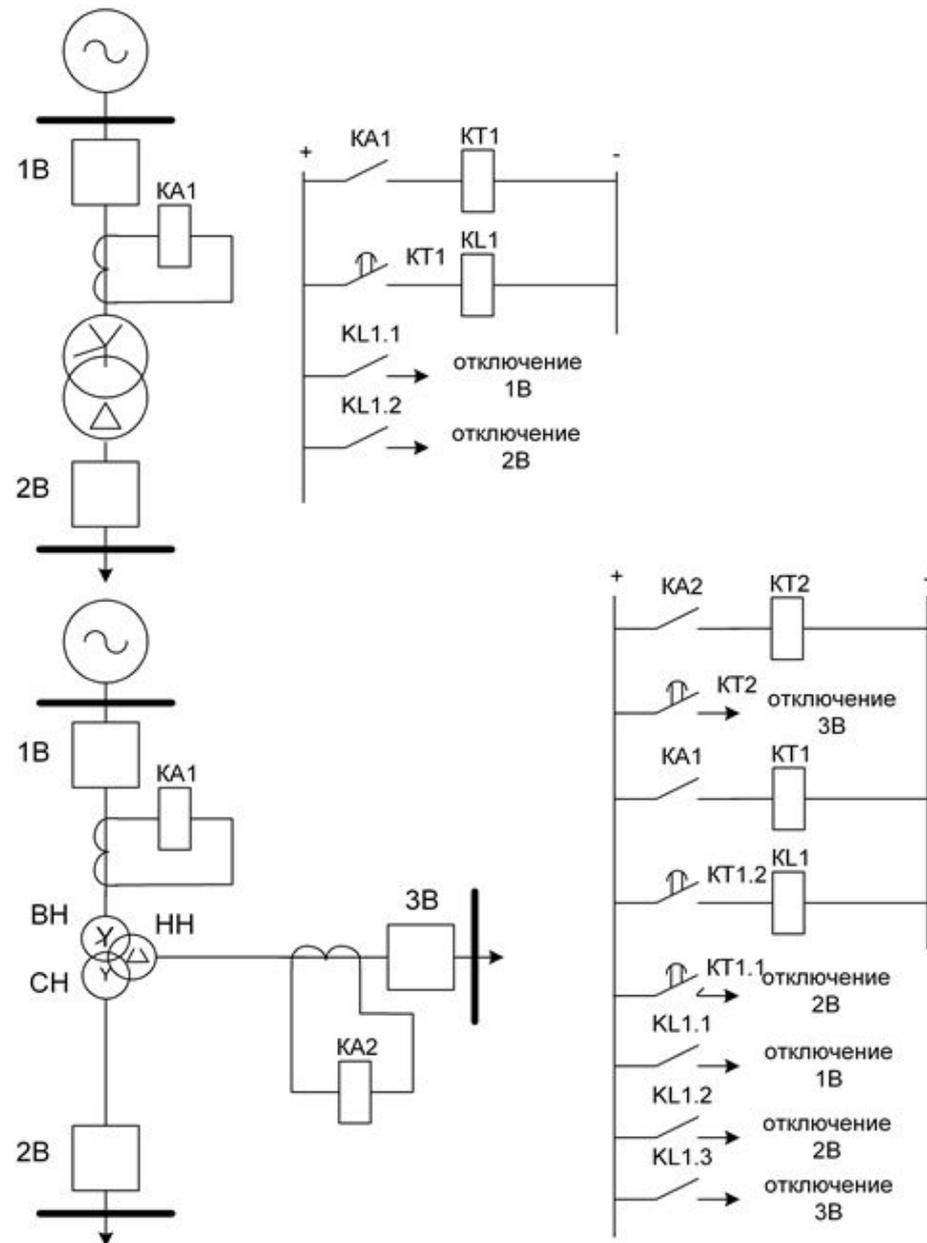
В качестве защиты от сверхтоков при м.ф.К.З. служит обычно **МТЗ**, **МТЗ с пуском минимального напряжения**, **МНЗ**, **МТЗ обратной последовательности (МТЗОП)**.

Для защиты от сверхтоков при **однофазных К.З.** используется **МТЗ** и **МНЗ нулевой последовательности (МНЗНП)**.

Защита от сверхтоков при м.ф.К.З. устанавливается со стороны источника питания, а при нескольких источниках – со стороны главных источников.

Защита от сверхтоков при однофазных К.З. устанавливается со стороны обмоток, соединенных в Y с заземленной нулевой точкой.

- Защита от сверхтоков на понижающих трансформаторах



Для защиты трансформаторов и автотрансформаторов применяется МТЗ с пуском минимального напряжения и МТЗОП.

Как видно из схемы (следующий слайд) плюс оперативного тока подается на контакты токовых реле КА от пускового органа напряжения, который состоит из фильтра напряжения обратной последовательности типа РНФ-1 (KV1 и ФНОП) и реле минимального напряжения KV2. Напряжение на реле KV2 подается через контакты KV1, включенного через ФНОП.

При всех видах 2-х фазных К.З. появляется напряжение обратной последовательности и KV1 срабатывает и снимает напряжение с KV2, которое в свою очередь подает плюс на контакты токовых реле КА. При 3-х фазном К.З. напряжение обратной последовательности отсутствует, но работает реле KV2, включенное на минимальное напряжение.

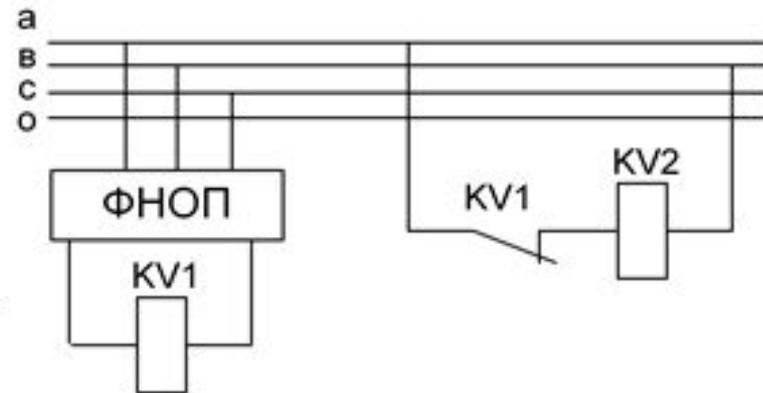
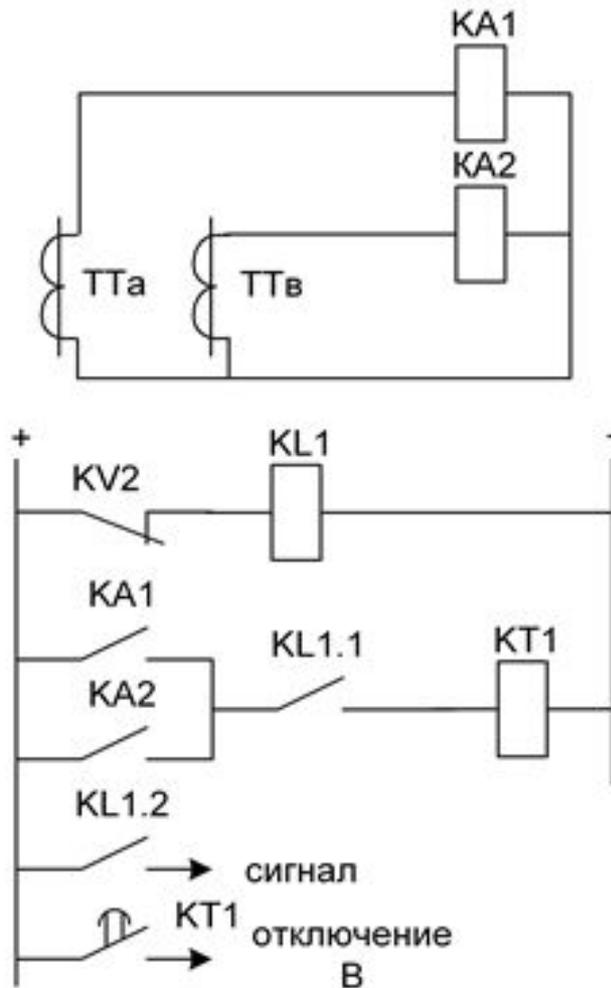


Рис.8.6. Схема МТЗ с пуском минимального напряжения.

Схема МТЗ обратной последовательности состоит из фильтра реле токов обратной последовательности типа РТ-2 (КА2 и ФТОП) и реле времени КТ1. В таком виде защите действует только при несимметричных К.З. Поэтому для обеспечения действия защиты при 3-х фазном К.З. часто токовую защиту обратной последовательности дополняют приставкой, состоящей из одного токового реле КА1 и одного реле минимального напряжения КV1.

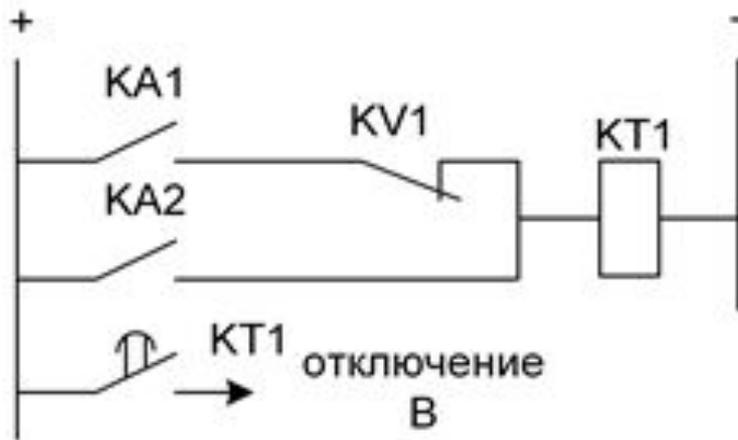
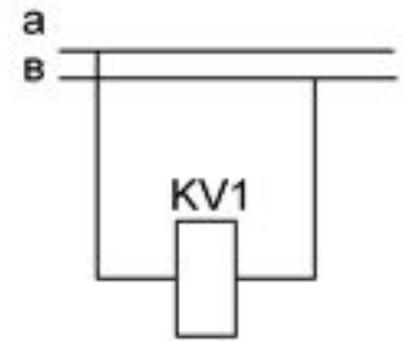
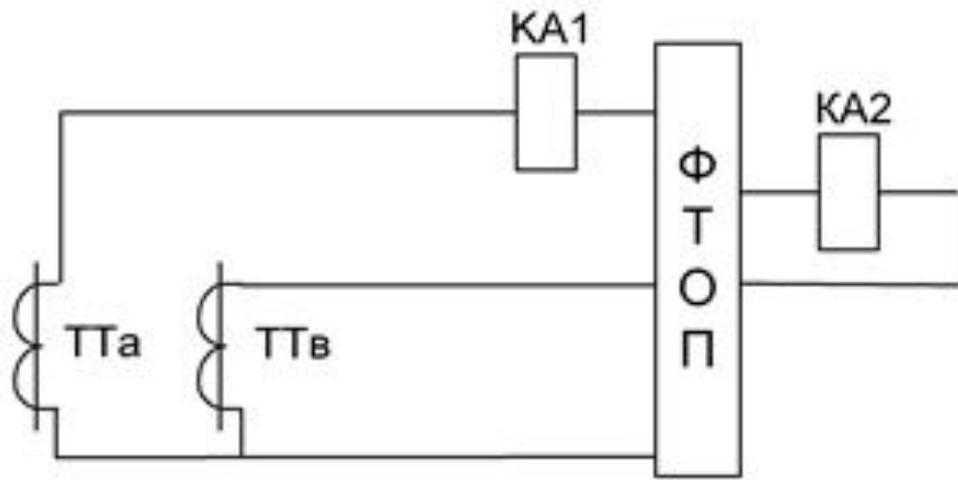


Схема МТЗ
обратной
последовательности

Защита трансформаторов от перегрузки

Перегрузка трансформаторов (автотрансформаторов) обычно бывает симметричной. Поэтому защита от перегрузки выполняется с помощью МТЗ, включенной на ток одной фазы. Защита действует с выдержкой времени на сигнал, а на необслуживаемых подстанциях – на разгрузку или отключение трансформатора. На двухобмоточных трансформаторах защита от перегрузки устанавливается со стороны основного питания. На трехобмоточных трансформаторах при двухстороннем питании – со стороны основного питания и со стороны обмоток, где питание отсутствует, а при трехстороннем питании – со всех трех сторон.

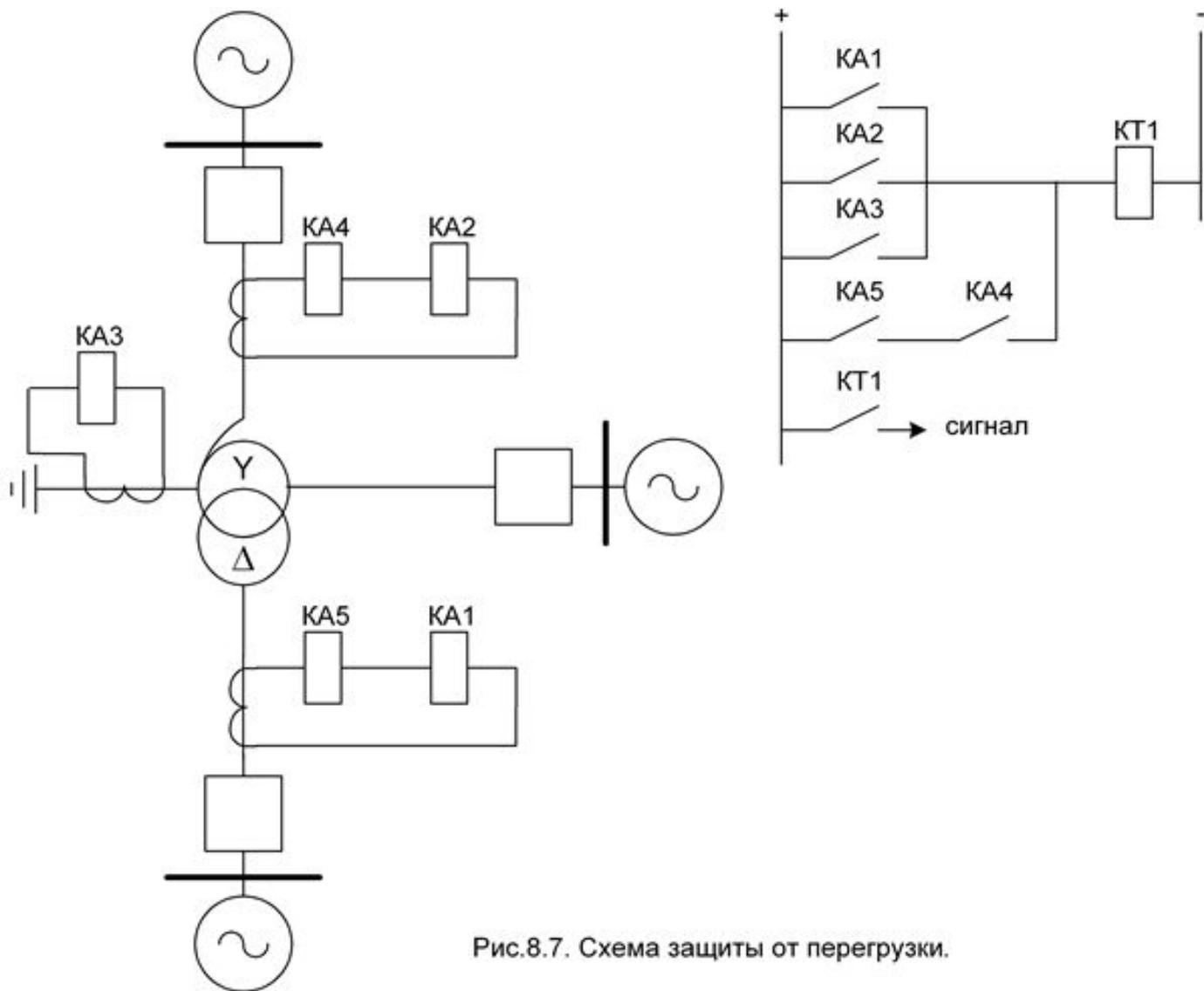
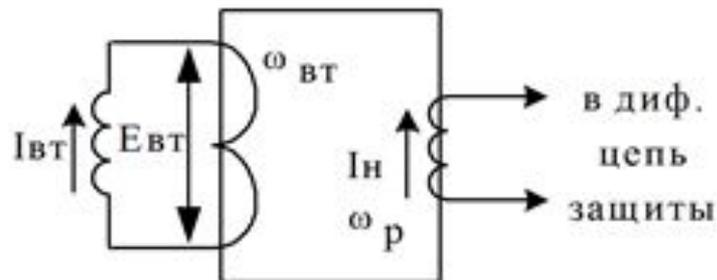


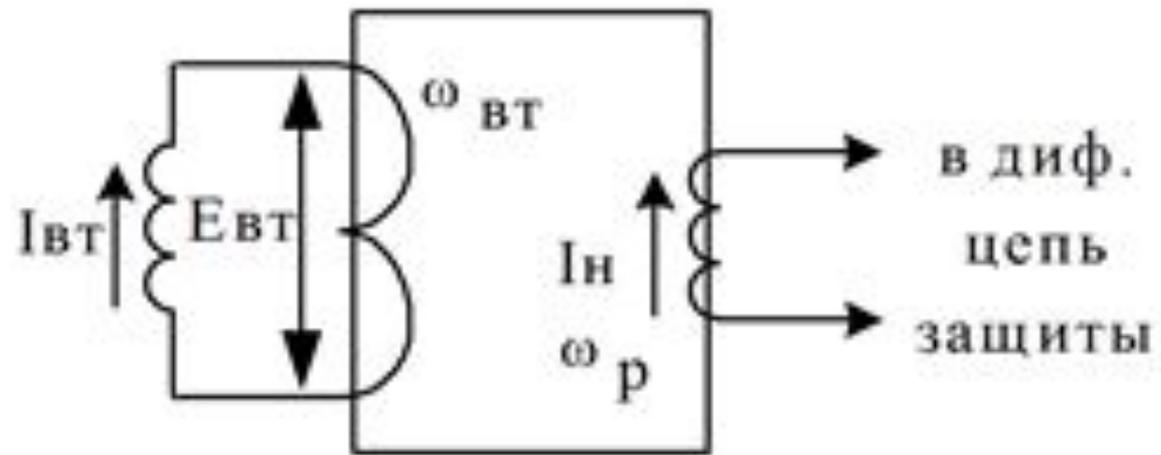
Рис.8.7. Схема защиты от перегрузки.

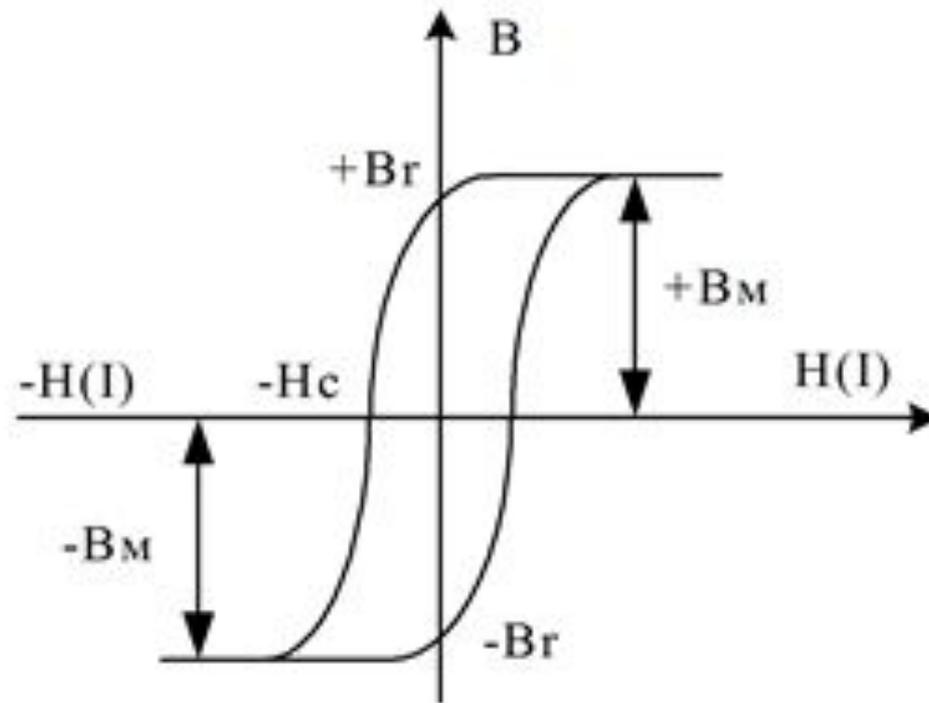
Дифференциальное реле РНТ.

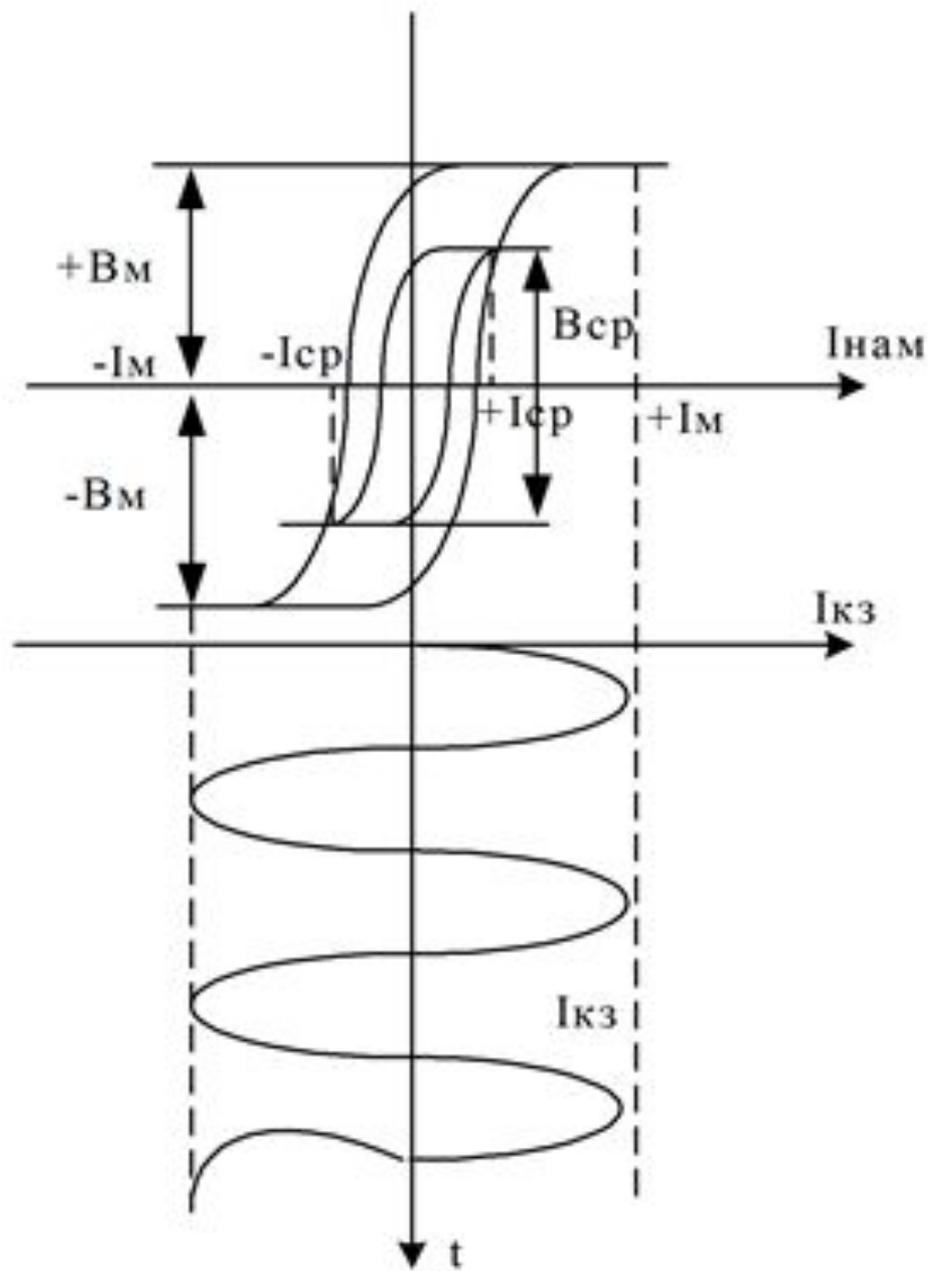
Кривые токов намагничивания и токов небаланса в неустановившемся режиме располагаются в одну сторону оси времен из-за наличия апериодической составляющей. Кривые тока К.З. при повреждении в защищаемой зоне, имеет почти симметричную синусоидальную форму. В момент К.З. на форму кривой тока в реле оказывает некоторое влияние свободная апериодическая составляющая переходного процесса. Однако кривые полного тока К.З. меняет знак каждые полпериода. Применение насыщающихся ТТ основано на отличии формы кривой бросков токов намагничивания и токов небаланса при внешних коротких замыканиях от нормальной синусоиды, расположенной симметрично относительно горизонтальной оси.



Первичные обмотки насыщающегося ТТ включаются в дифференциальную цепь защиты, а от вторичной обмотки питается токовое реле. Сердечник НТТ с специальной сталью с широкой петлей гистерезиса, а сечение сердечника, параметры реле и обмотка подбираются так, что во вторичную цепь хорошо трансформируется только синусоидальный ток. Аperiodический ток практически не трансформируется и реле не работает, а производит лишь подмагничивание. Таким образом, ТТ при наличии в первичной токе аperiodической составляющей автоматически увеличивает ток срабатывания реле (загрубление реле), и диф. защита не реагирует на броски намагничивания тока силовых трансформаторов и на токи небаланса при внешних К.З.







При прохождении по ωt синусоидального тока значением от $+I_m$ до $-I_m$ магнитной индукции от $+B_m$ до $-B_m$ значение ЭДС на ωt , а следовательно $I_{ср}$ получает большее значение (петля гистерезиса соответствует срабатыванию реле).

Если в первичной обмотке проходит апериодический ток перемагничивания сердечника происходит по динамической петле гистерезиса 1-2-1, 3-2-3, так как индукция изменяется в небольших пределах на величину B_a . При таком изменении индукции на ωt наводится меньшая ЭДС.

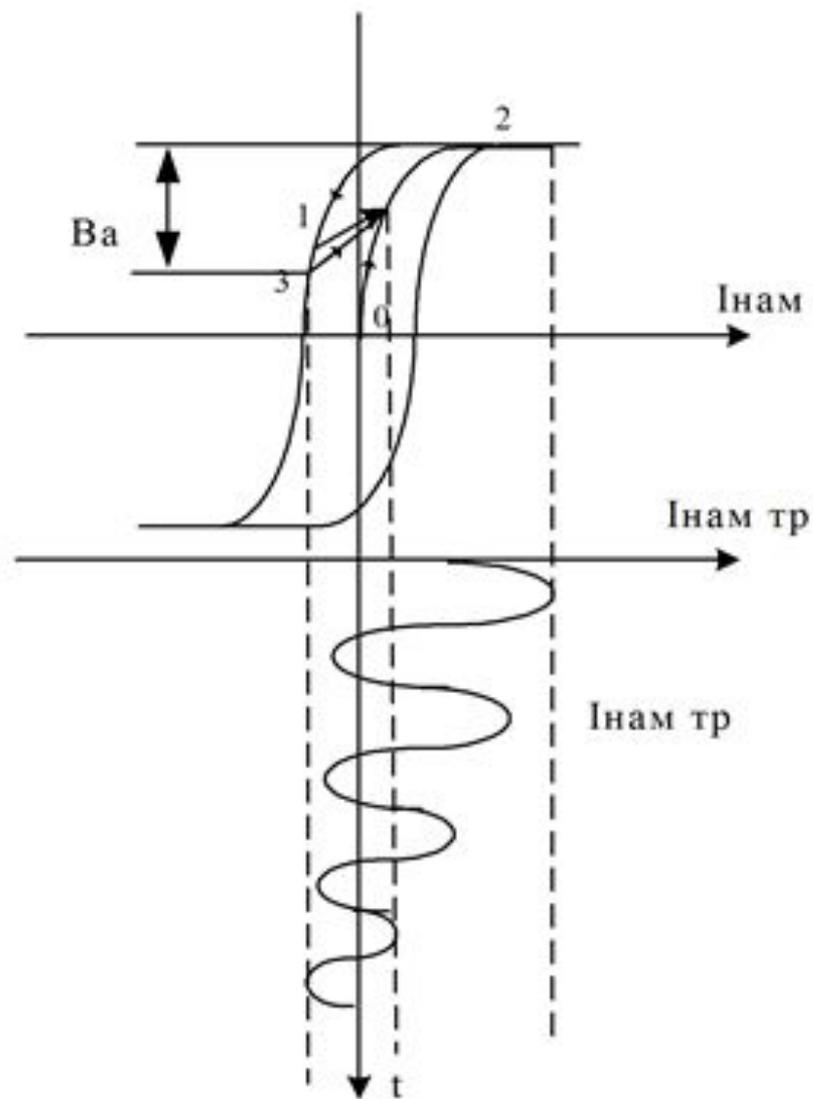


Рис.6.16. Зависимость индукции от тока намагничивания.

Дифференциальная защита трансформаторов с РНТ-565

Быстронасыщающийся трансформатор реле РНТ-565 является одновременно и промежуточным трансформатором для компенсации неравенства вторичных токов в плечах диф. защиты и имеет для этой цели 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. Чтобы при сквозном К.З. не сработала ложно диф.защита нужно правильно включить рабочую и уравнивательные обмотки в схему и так подобрать число витков обмотках, чтобы скомпенсировать неравенство токов в плечах. Токи в обмотках направлены встречно.

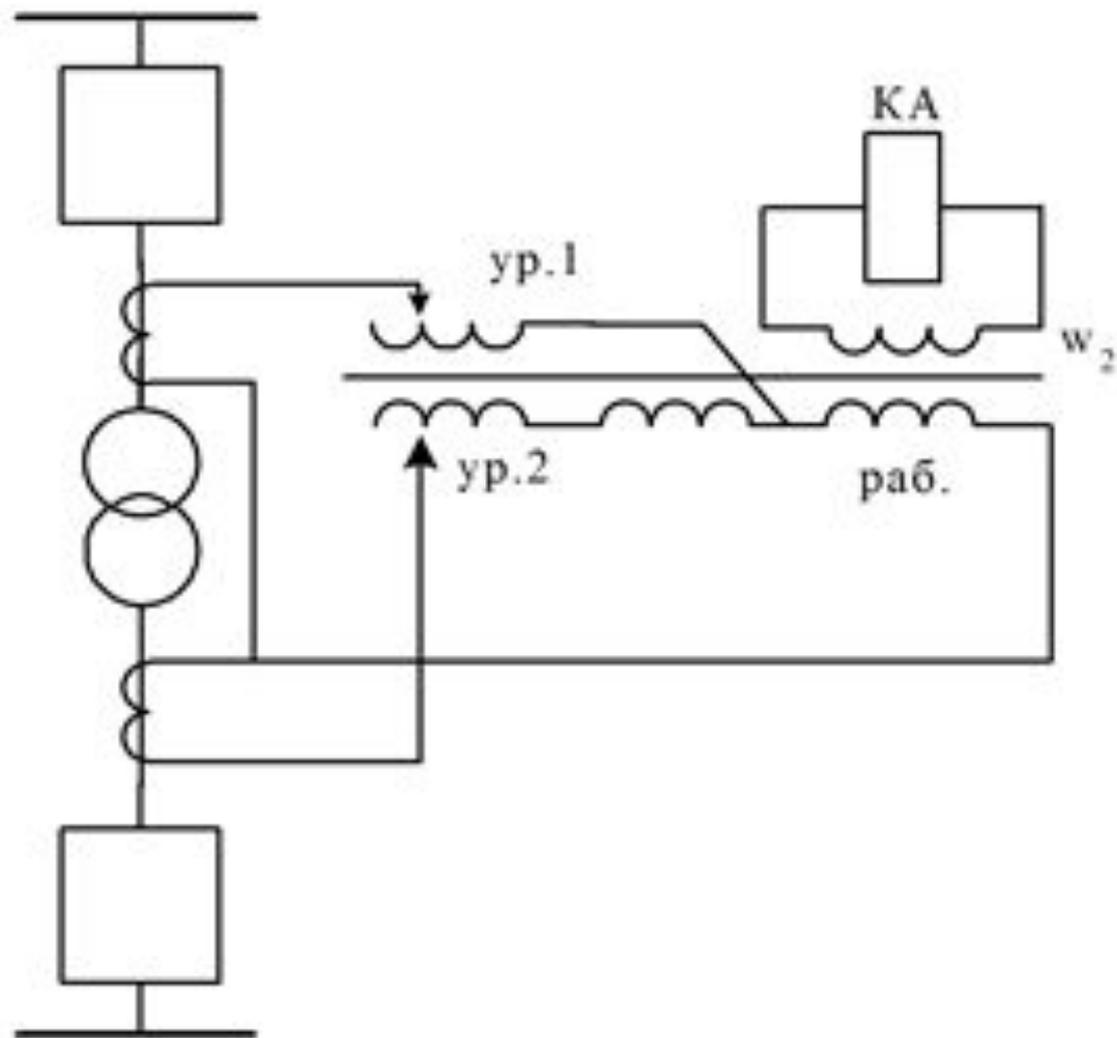
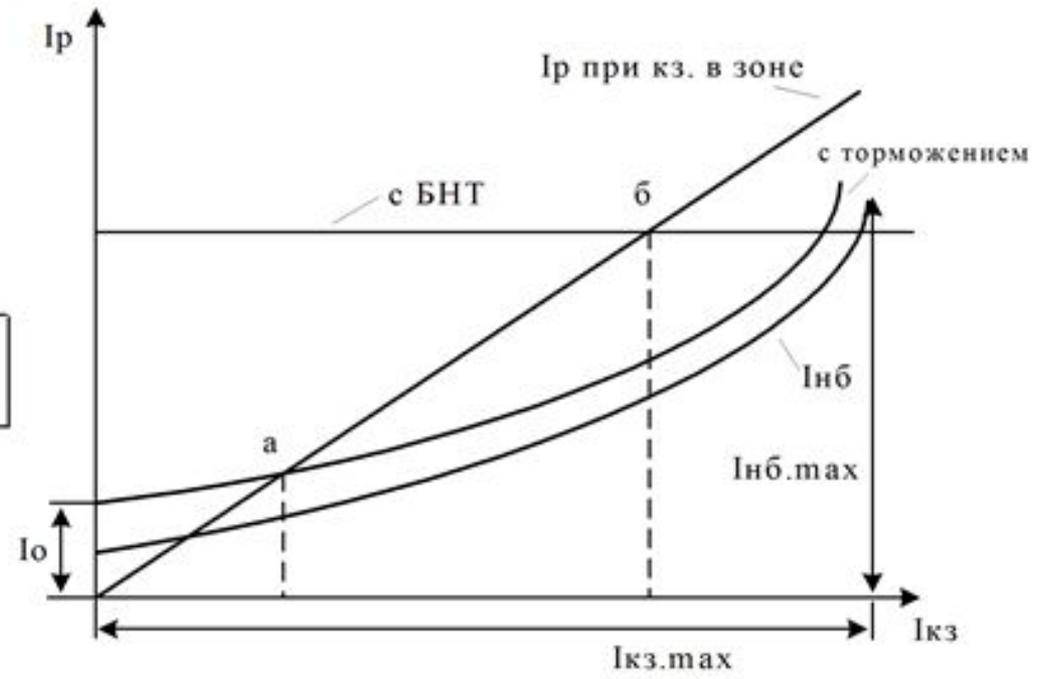
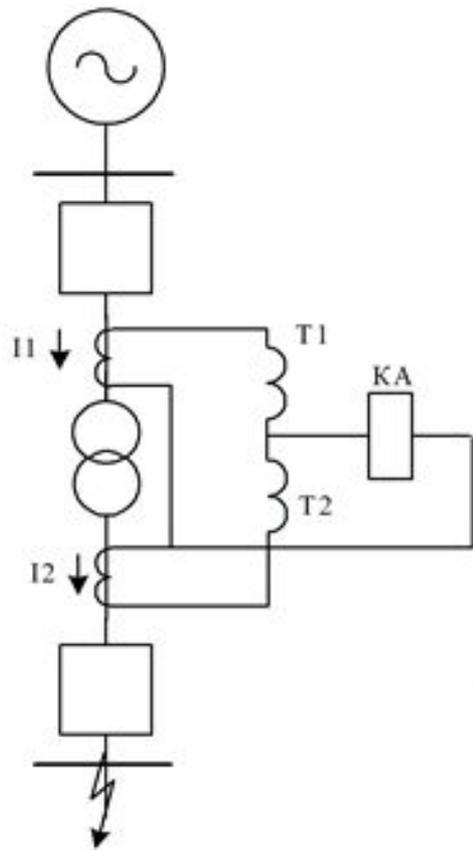


Рис.8.3. Схема диф.защиты с РНТ-565

Дифференциальная защита трансформатора с торможением

В диф.защитах, установленных на трансформаторах с РПН или многообмоточных трансформаторах с несколькими питающими обмотками токи небаланса в уставившемся режиме имеют значительную величину. В этом случае диф. защита с БНТ получается мало чувствительной вследствие того, что ее ток срабатывания приходится увеличивать до (3-4)I_{ном} трансформатора.



Ток $I_{с.з.}$ под влиянием тока, протекающего в тормозной обмотке реле, возрастает, что повышает надежность отстройки защиты от токов небаланса. При К.З. в зоне ток К.З., протекающий по тормозной обмотке, загроубляет реле (увеличивается ток $I_{ср.}$), но несмотря на это чувствительность тормозного реле оказывается выше чем у реле РНТ (точки “а” и “б”). Чувствительность тормозного реле при К.З. в зоне можно повышать, если тормозные обмотки включать не во все плечи, и только там, где это необходимо для торможения при внешнем К.З. Наличие торможения не устраняет возможность срабатывания реле от бросков токов намагничивания, т.к. $I_p = I_{\text{торм.}}$, что соответствует условиям К.З. в зоне защиты.

Ток I_t не создает тока в реле и служит для подмагничивания крайних стержней и насыщая их, ухудшает трансформацию тока из рабочей во вторичную.

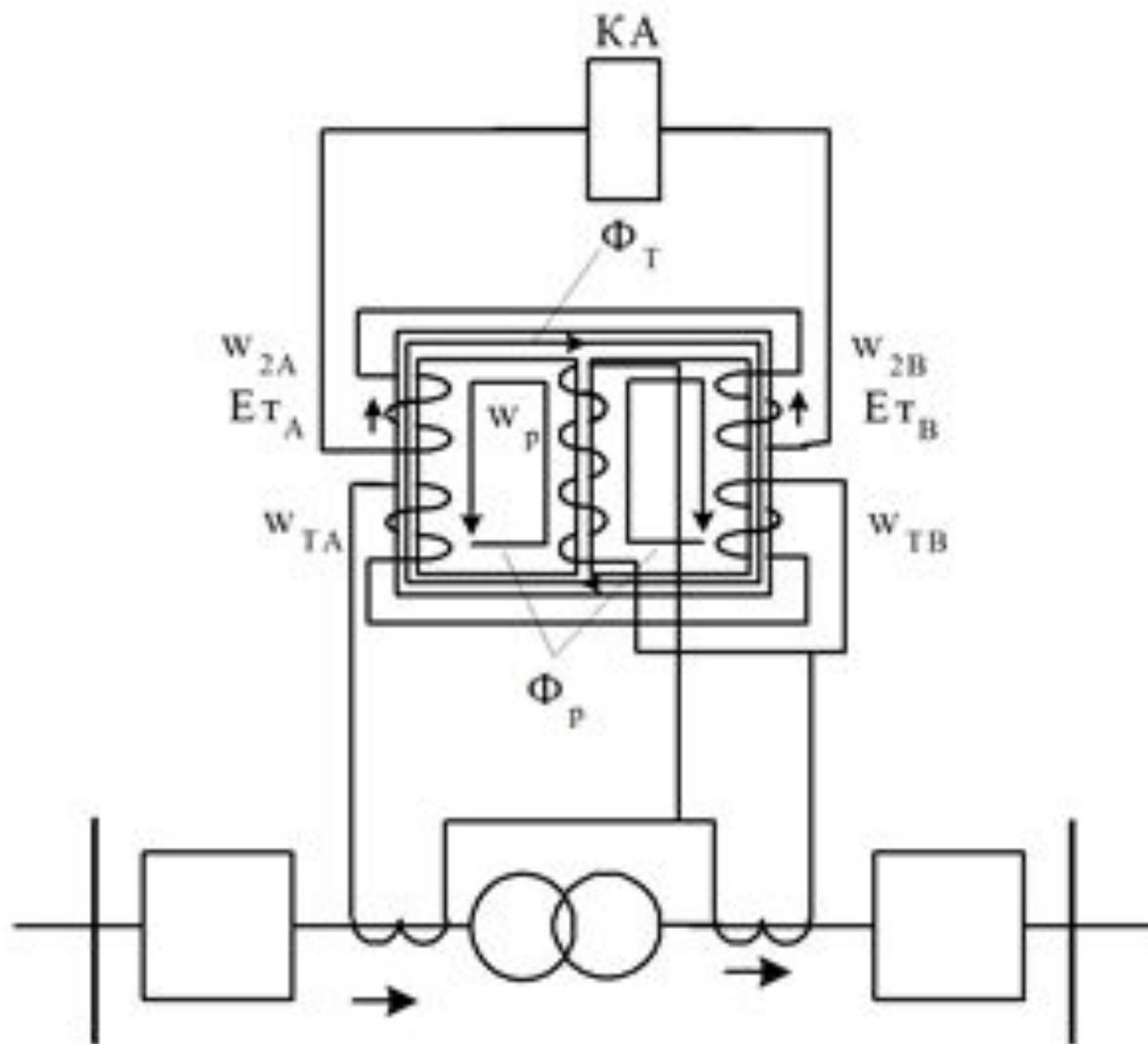
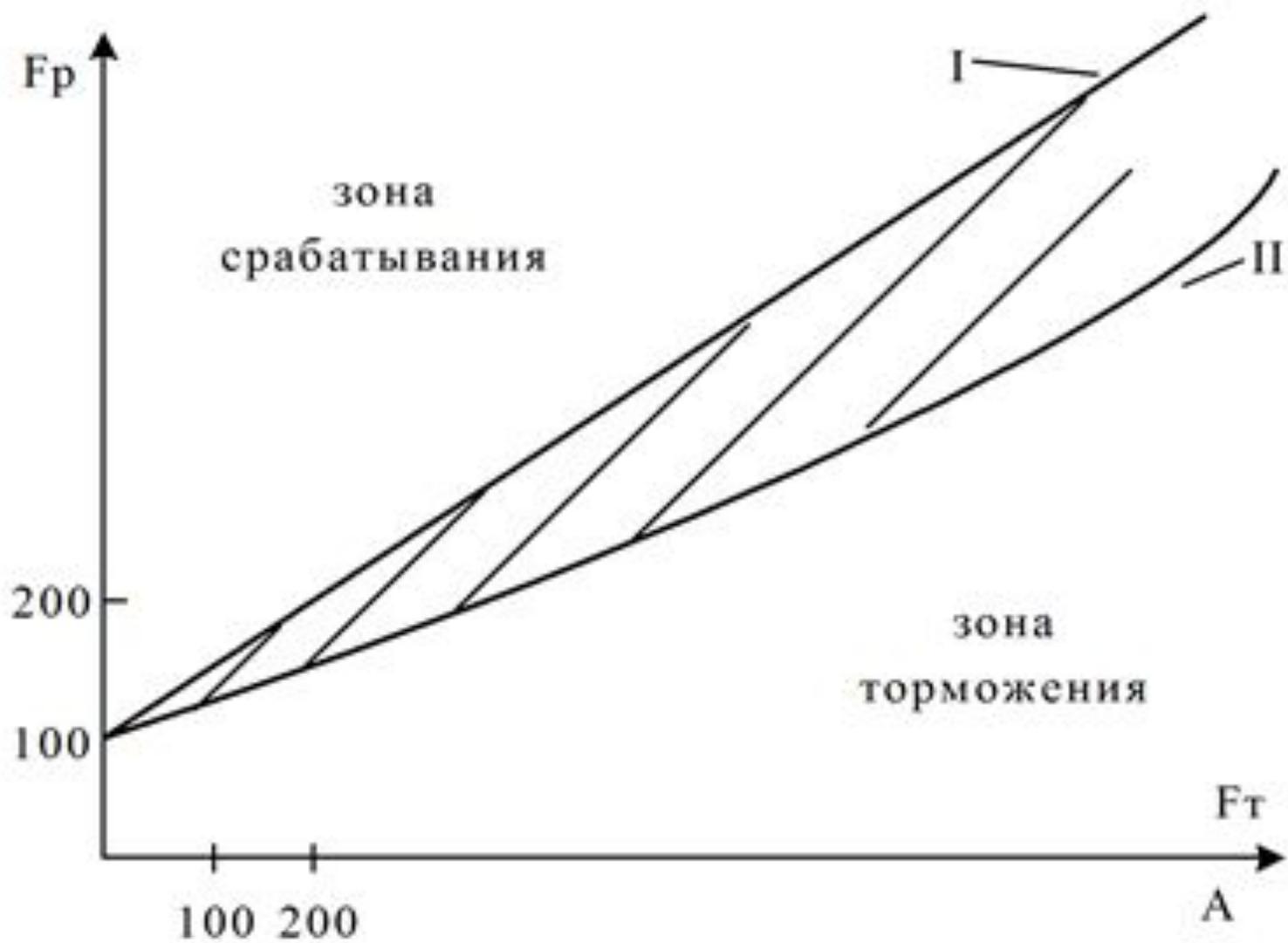


Рис.8.4. Диф.реле с магнитным тормажением.



Газовая защита

Газовая защита (ГЗ) устанавливается на трансформаторах (автотрансформаторах) и реакторах с масляным охлаждением, имеющих расширители. Применение ГЗ является обязательным на трансформаторах (автотрансформаторах) мощностью 6300кВА и более, а также на трансформаторах мощностью 1000-4000кВА, не имеющих диф.защиты или ТО, и если МТЗ имеет выдержку времени 1сек. и более. На трансформаторах мощностью 1000-4000кВА применение ГЗ при наличии другой быстродействующей защиты допускается, но не является обязательным. Применение ГЗ является обязательным также для внутрицеховых трансформаторов мощностью 630кВА и выше, независимо от наличия других быстродействующих защит.

Действие ГЗ основано на том, что всякие, даже незначительные повреждения, а также повышение нагрева внутри бака трансформатора вызывают разложение масла и органической изоляции, что сопровождается выделением газа. Интенсивность газообразования и химический состав газа зависят от характера и размеров повреждения. Поэтому защита выполняется так, чтобы при медленном газообразовании подавался предупредительный сигнал, а при бурном – ГЗ действовала на отключение.

ГЗ осуществляется с помощью специальных газовых реле, которые подразделяются на **поплавковые, лопастные и чашечные**. Газовое реле представляет собой металлический кожух, врезанный в маслопровод между баком трансформатора и расширителем. Реле заполнено маслом. Кожух имеет смотровое стекло со шкалой, с помощью которой определяется объем скопившегося в реле газа. На крышке газового реле имеется краник для выпуска воздуха и взятия пробы газа для его анализа, а также расположены контакты для подключения кабеля.

Поплавковое реле

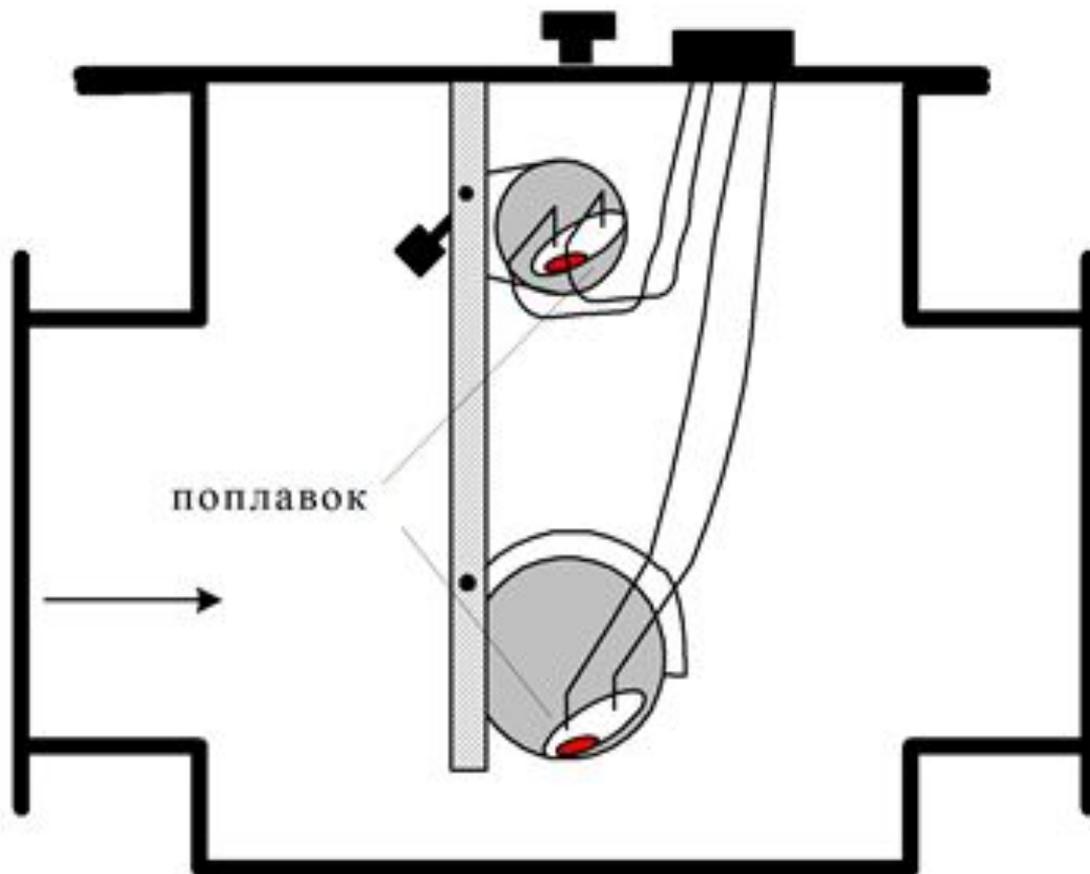
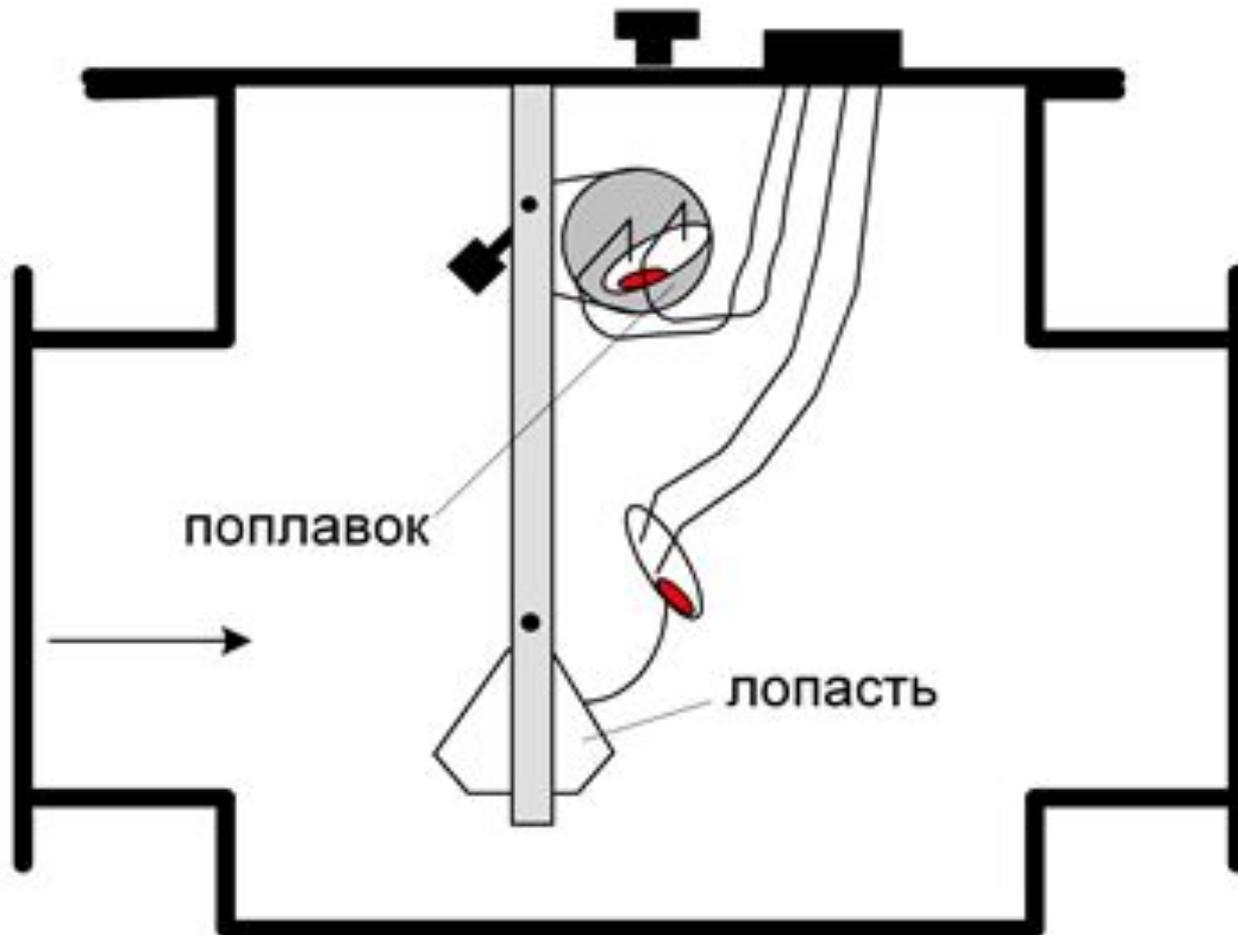


Рис.8.5. Поплавковое газовое реле.

У поплавковых реле внутри кожуха укреплены на шарнирах два поплавка, представляющие собой полые металлические цилиндры. На поплавках укреплены ртутные контакты, соединенные гибкими проводами с выводными зажимами на крышке реле. Ртутный контакт представляет собой стеклянную колбочку с впаянными в ее вертикальную часть двумя контактами. Колбочки содержат небольшое количество ртути, которая в определенном положении колбочки замыкает между собой контакты, чем создается цепь через реле.

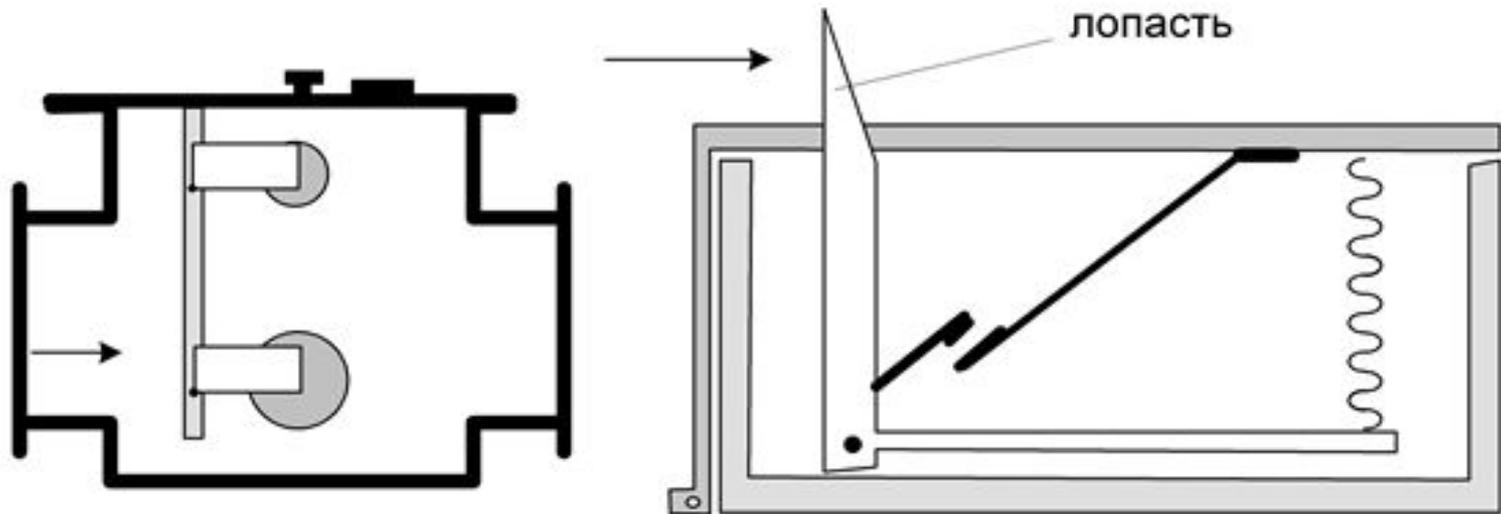
При скорости движении потоков газа и масла порядка 0,5 м/с нижний поплавок, находящийся на пути потока опрокидывается и происходит замыкание его ртутных контактов в цепи отключения. Благодаря тому, что при К.З. в трансформаторе сразу возникает бурное газообразование, ГЗ производит отключение с небольшим временем 0,1-0,3 сек. Отключающий элемент работает также при большом понижении уровня масла в корпусе реле.

Лопастное реле



У лопастных реле сигнальный элемент выполнен также, как у поплавковых, а отключающий состоит из поплавка и поворотной лопасти, механически связанных с общим ртутным контактом, действующем на отключение.

Чашечное реле



У чашечных реле вместо поплавков используется открытые металлические чашки и вместо ртутных контактов обычно открытые контакты, работающие непосредственно в масле

Нормально, когда корпус реле полностью заполнен маслом, при этом верхняя и нижняя чашки тоже заполнены маслом и удерживаются в исходном состоянии пружинами.

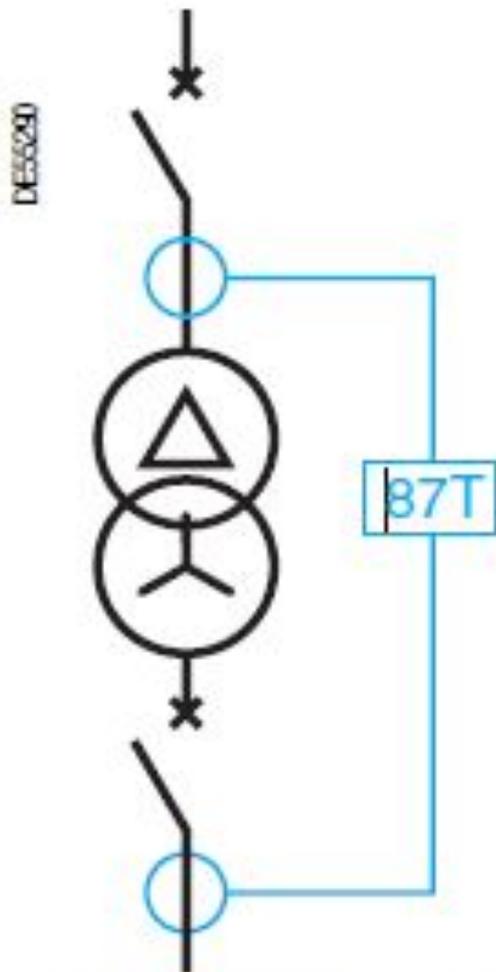
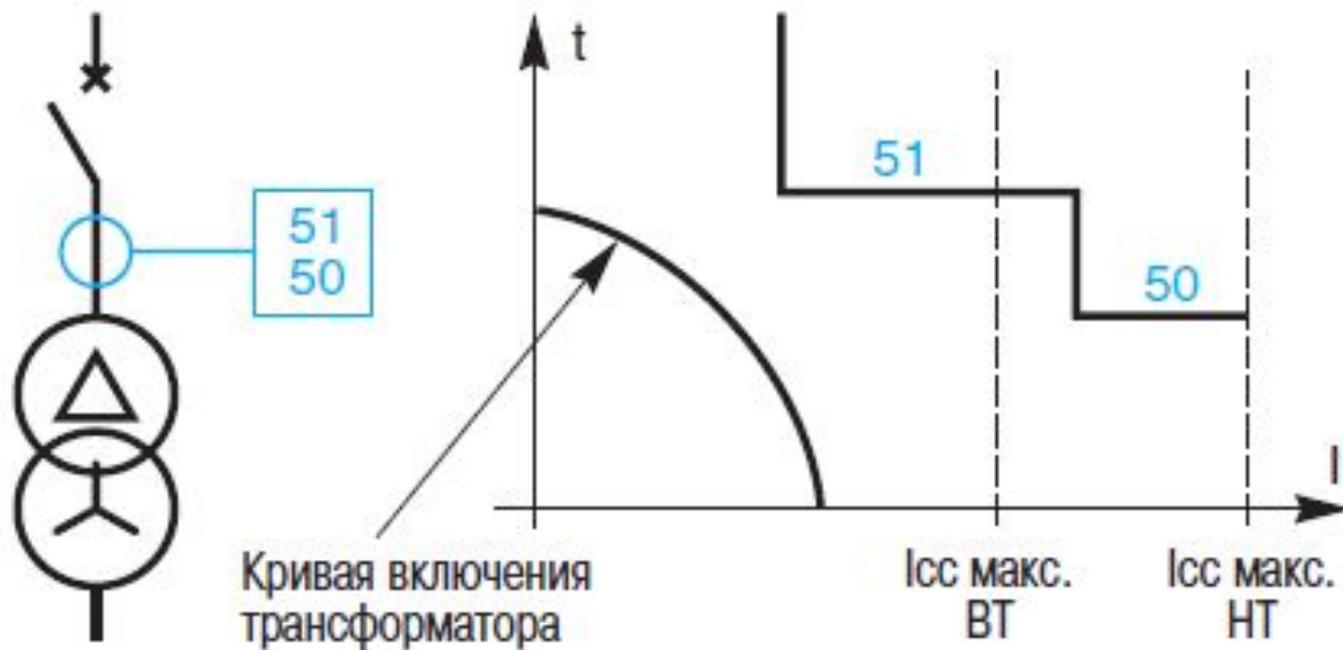


Рис. 1. Дифференциальная защита трансформатора

DE5291



Кривая включения трансформатора

Рис. 2. Максимальная токовая защита трансформатора

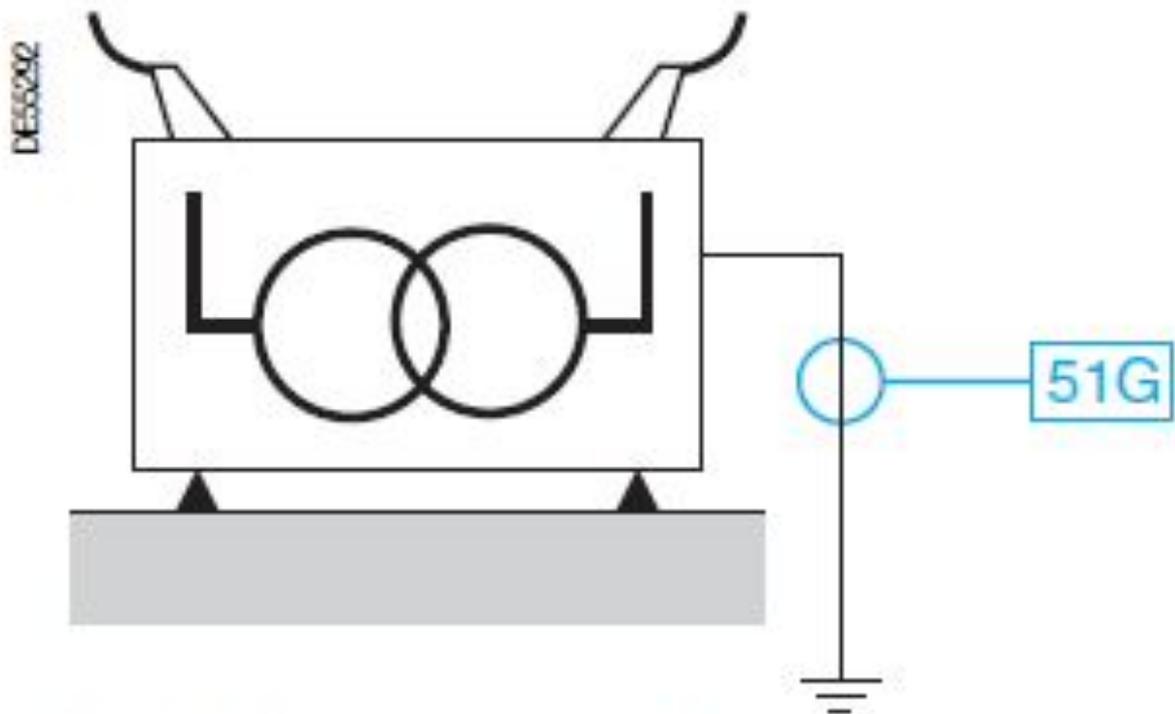


Рис. 3. Защита от замыканий на корпус бака трансформатора

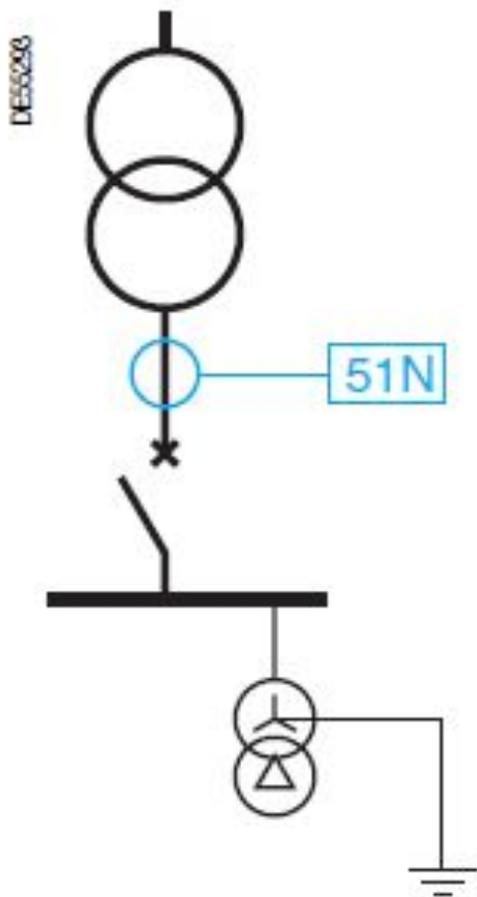


Рис. 4. Защита от замыканий на землю

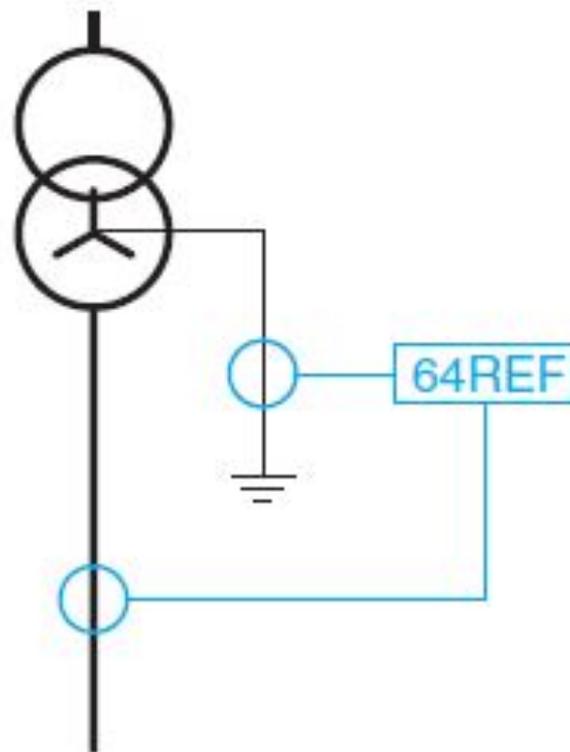


Рис. 5. Дифференциальная защита от замыканий на землю

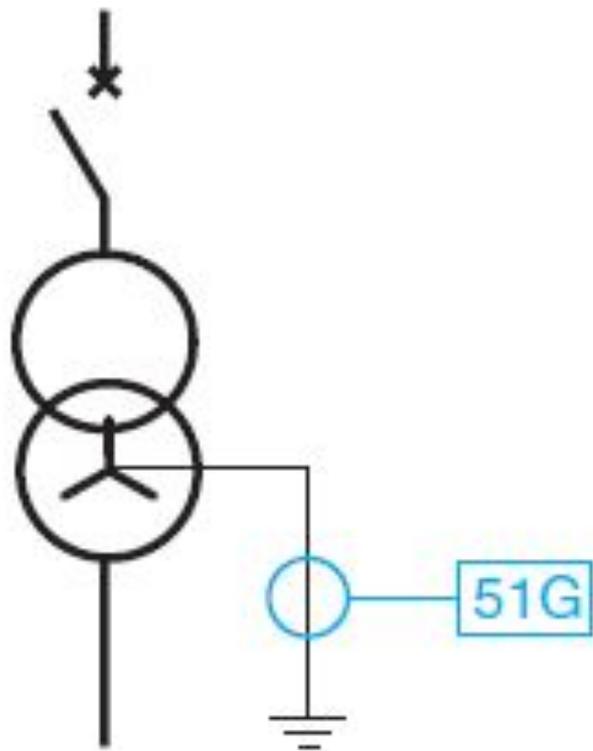


Рис. 6. Защита от замыканий на землю нейтрали

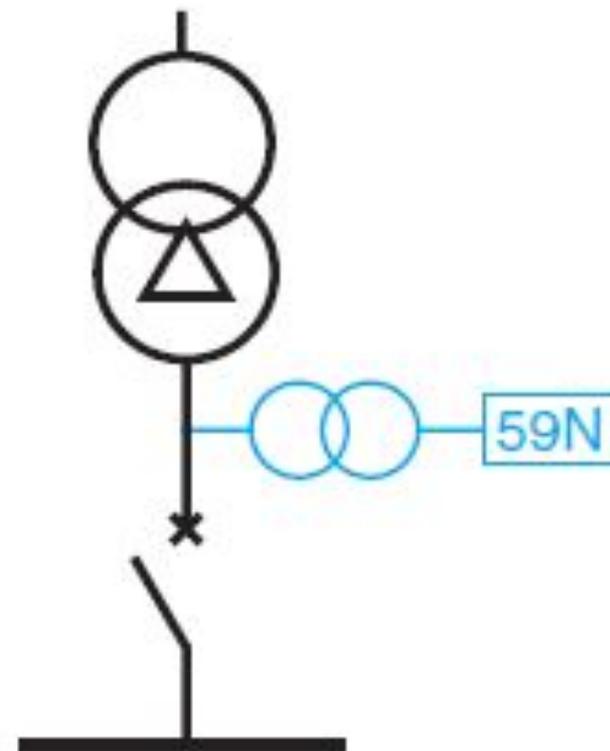
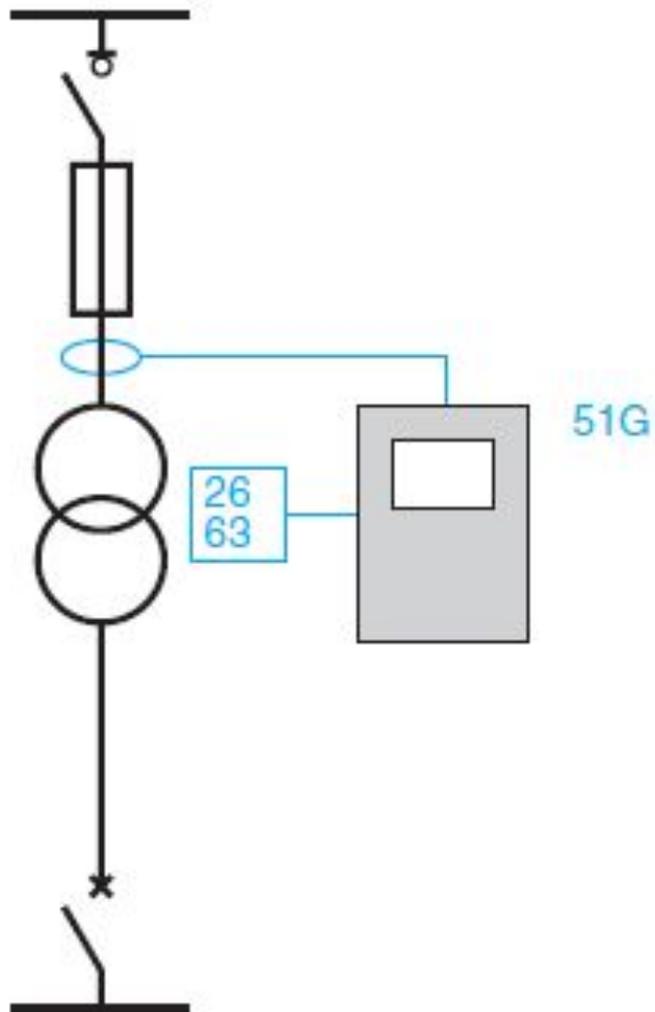
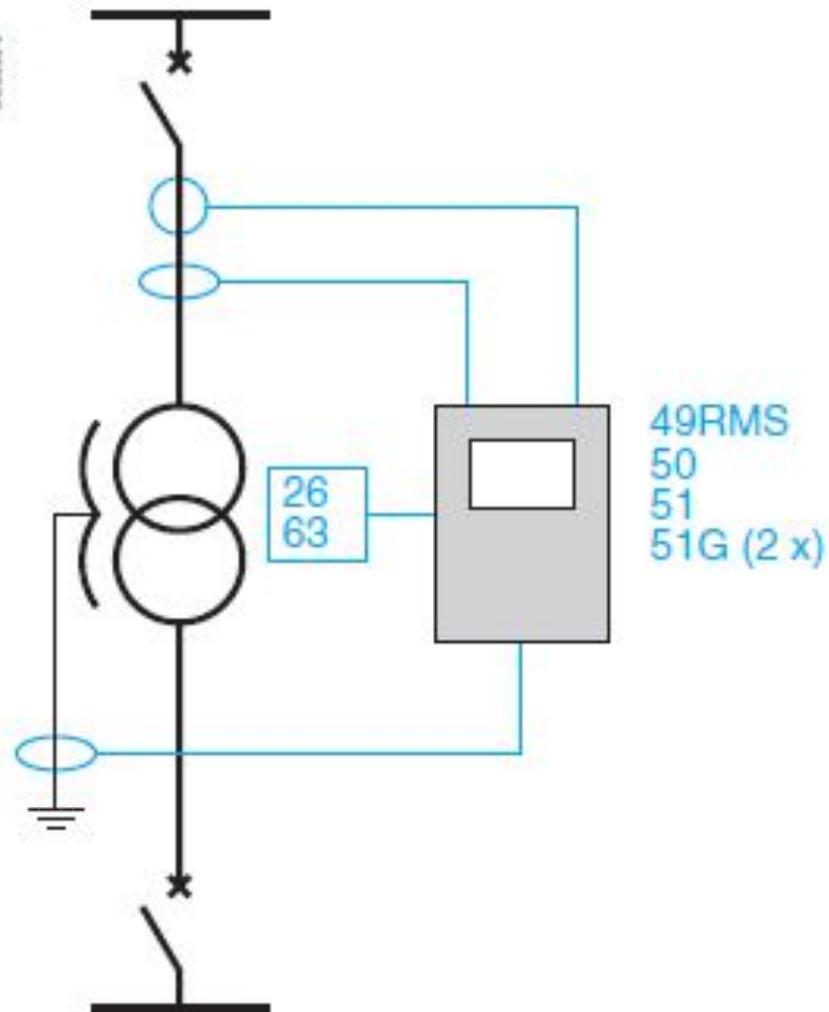


Рис. 7. Защита максимального напряжения нулевой последовательности

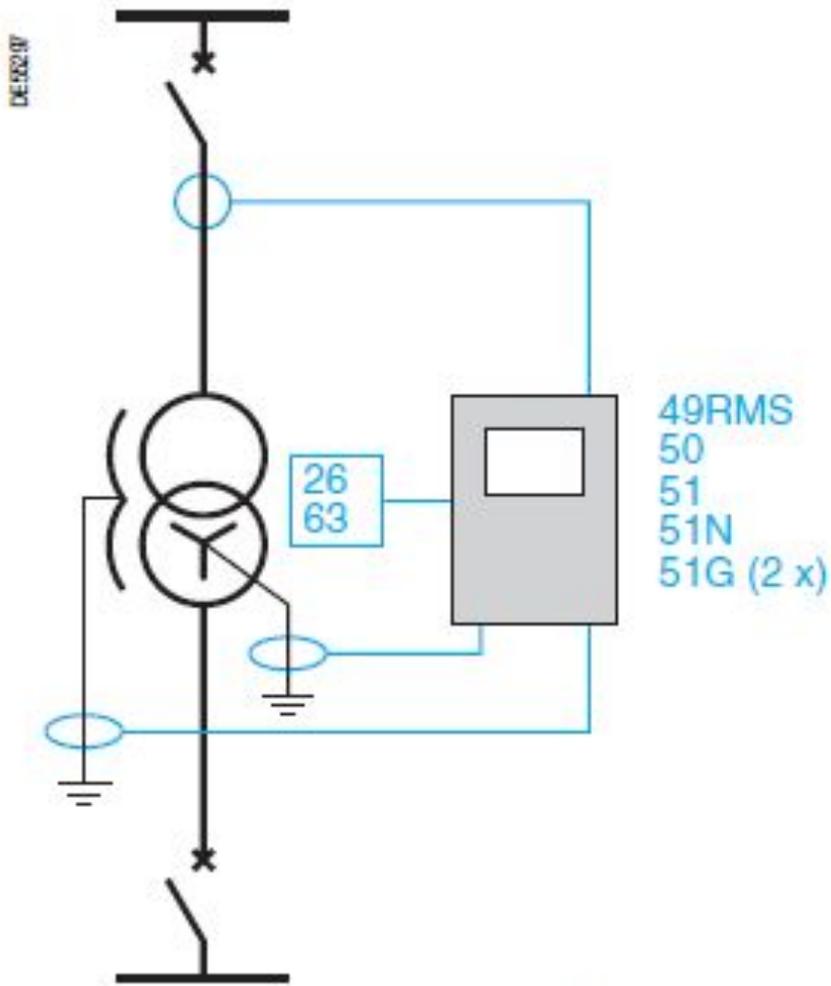
Повреждение	Защита	Код ANSI	Регулировки
Перегрузка			
	Контроль температуры изоляции (масляный трансформатор)	26	Сигнал 95 °C; отключение 100 °C
	Контроль температуры обмоток (сухой трансформатор)	49T	Сигнал 150 °C; отключение 160 °C
	Тепловая защита	49 RMS	Уставка аварийной сигнализации = 100% нагрева Уставка отключения = 120% нагрева Постоянная времени порядка 10 – 30 мин
	Выключатель низкого напряжения		Уставка $\geq I_n$
Короткое замыкание			
	Предохранитель		Выбор ном. тока в соответствии с методикой, используемой Оператором
	Максимальная мгновенная токовая защита в фазах	50	Уставка $> I$ внешн. макс.
	Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени	51	Уставка $< 5 I_n$ Выдержка времени $\geq T$ со стороны потребителя + 0,3 с
	Максимальная токовая защита с зависимой выдержкой времени	51	Уставка с обратно зависимой выдержкой времени селективной с защитой со стороны потребителя, примерно $3 I_n$
	Дифференциальная защита с процентной характеристикой	87T	Угол наклона = 15% + диапазон регулировки Минимальная уставка 30%
	Газовое реле или датчики газа и давления	63	Логика управления
Замыкание на землю			
	Максимальная токовая защита от замыканий на корпус бака трансформатора	51G	Уставка $> 20 A$, выдержка времени 0,1 с
	Максимальная токовая защита от замыканий на землю	51N/51G	Уставка $\leq 20\% I$ макс. от замыканий на землю и $> 10\%$ ном. тока ТТ (для 3 ТТ и при подавлении Н2) Выдержка времени 0,1 с при замыкании в трансформаторе Выдержка времени, селективная, с защитами отходящих присоединений
	Дифференциальная защита от замыканий на землю	64REF	Уставка $10\% I_n$, без выдержки времени
	Максимальная токовая защита от замыканий на землю нейтрали	51G	Уставка максимально допустимого тока через токоограничивающий резистор
	Защита максимального напряжения нулевой последовательности	59N	Уставка = 10% максимального напряжения нулевой последовательности V_{rsd}
Насыщение			
	Контроль насыщения	24	Уставка $> 1,05 U_n/f_n$ Выдержка времени: 1 ч



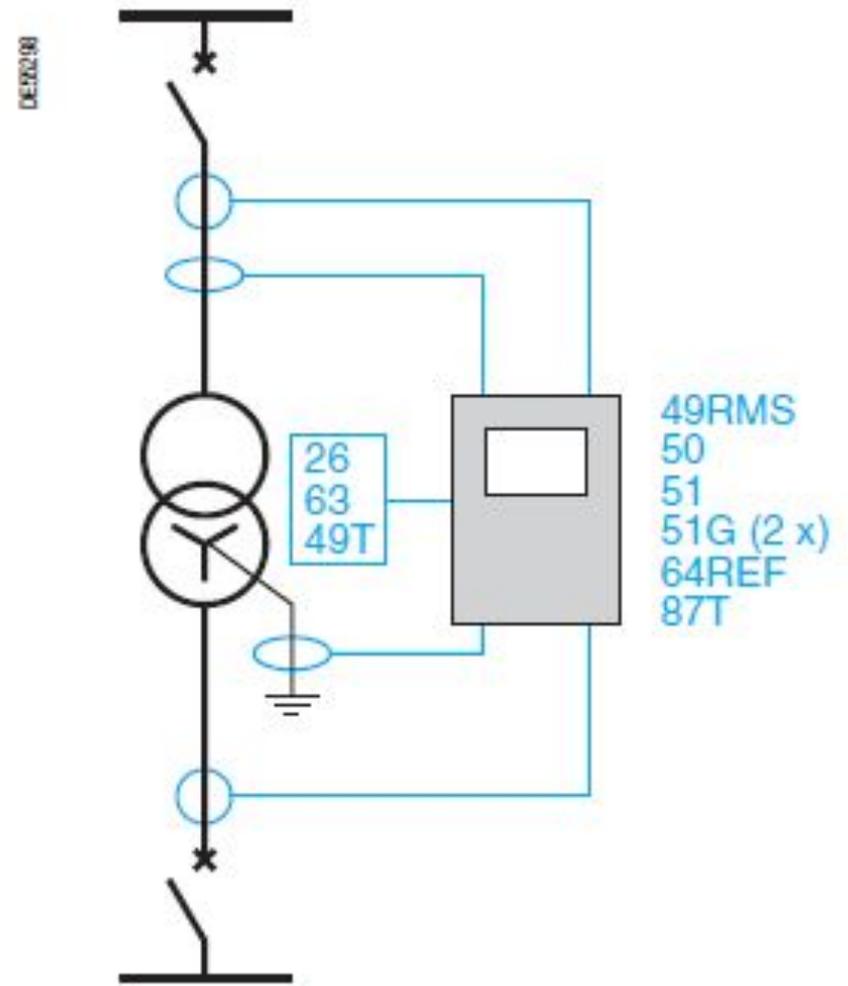
Трансформатор малой мощности НТ/ВТ
(высоковольтный/низковольтный)
Защита предохранителем



Трансформатор большой мощности НТ/ВТ
(высоковольтный/низковольтный)
Защита с помощью выключателя



Трансформатор малой мощности НТ/НТ
(высоковольтный/высоковольтный)



Трансформатор большой мощности НТ/НТ
(высоковольтный/высоковольтный)

Защита сборных шин

Системы сборных шин являются узлами распределения электрической энергии и обычно имеют более двух выводов.

Межфазные замыкания и замыкания фазы на землю

1. Максимальная токовая защита (ANSI 51) и максимальная токовая защита от замыканий на землю (ANSI 51N)
2. Логическая селективность
3. Дифференциальная защита (ANSI 87B)

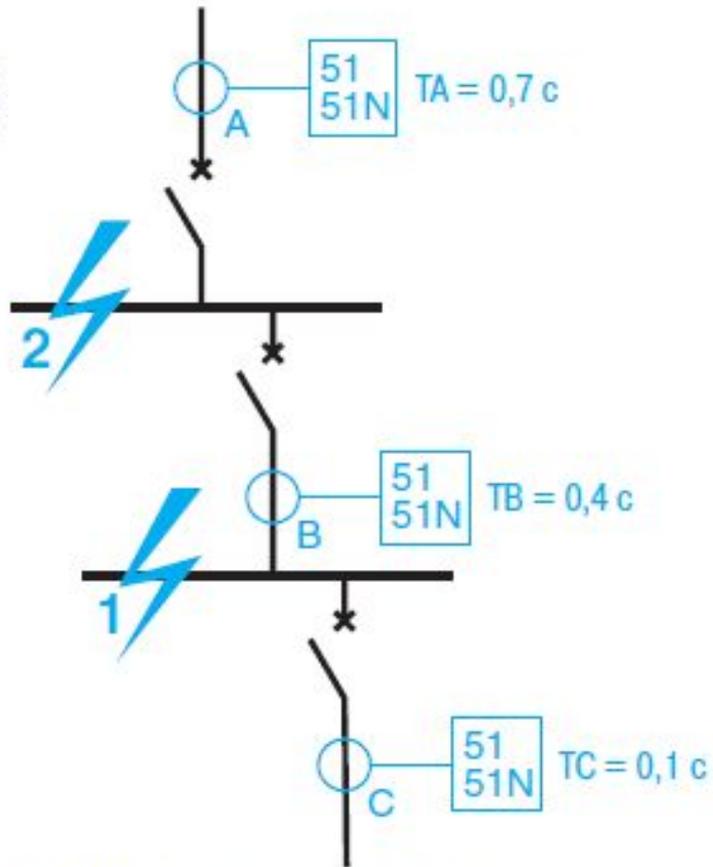


Рис. 1. Временная селективность

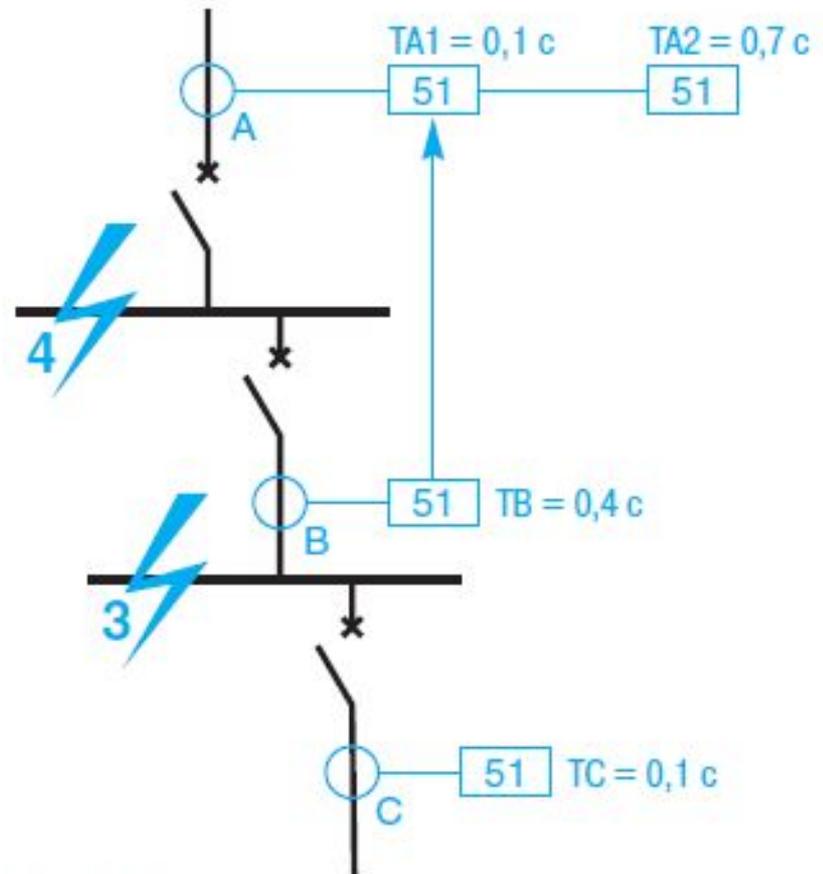


Рис. 2. Логическая селективность

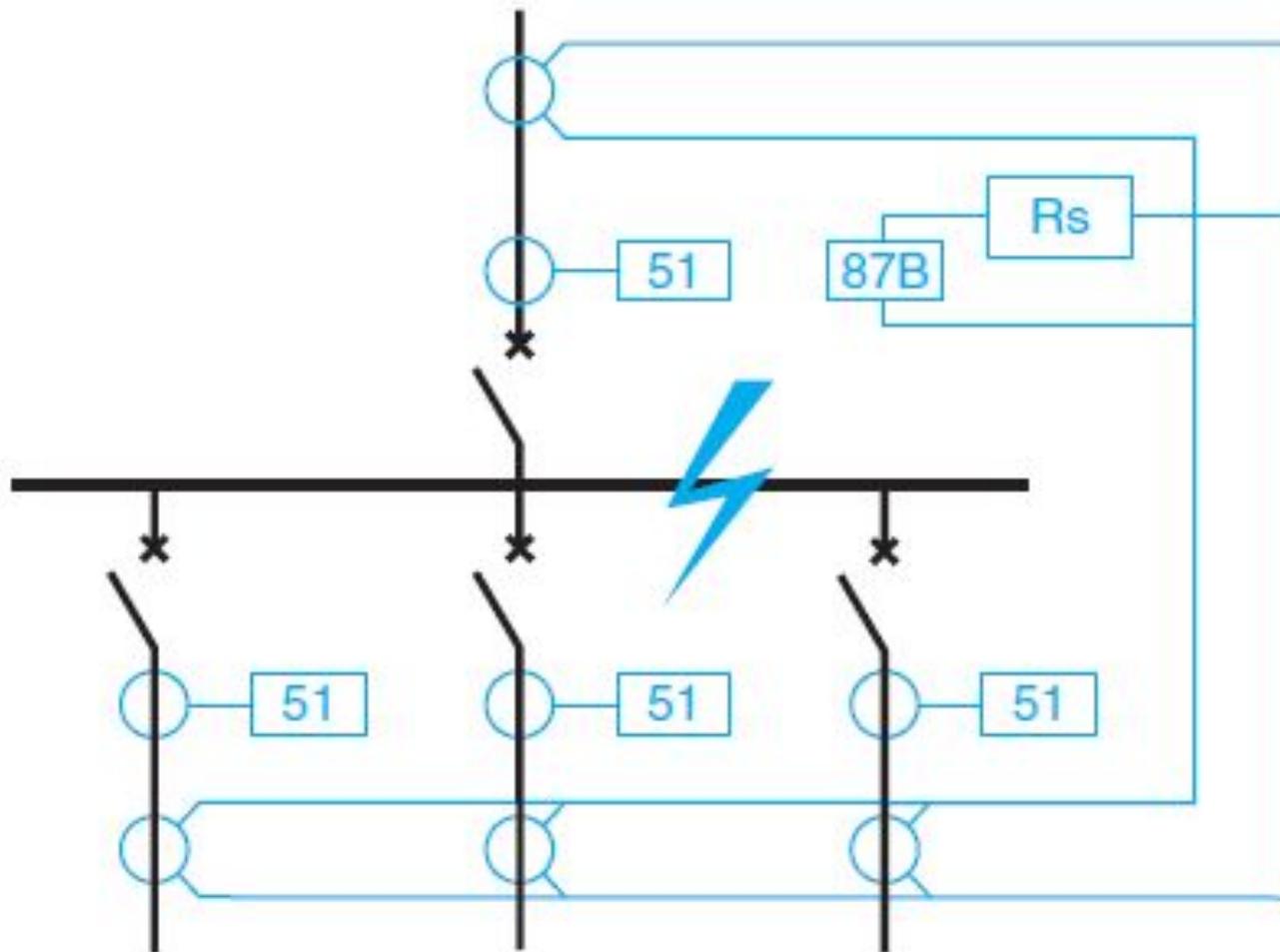


Рис. 3. Дифференциальная защита

Функция разгрузки

Функция разгрузки используется, когда дефицит располагаемой мощности по отношению к мощности, требуемой под нагрузки, вызывает ненормальное снижение напряжения и частоты; в этом случае для восстановления необходимого баланса мощности производится отключение

некоторых отходящих фидеров потребителей по заранее установленной схеме, называемой "планом разгрузки";

разгрузка выполняется по различным критериям:

по минимальному напряжению (ANSI 27);

по минимальной частоте (ANSI 81L);

по производной частоты (ANSI 81R).

Защита от отказов выключателя (ANSI 50BF)

обеспечивается в случае неотключения неисправного выключателя после выдачи команды на отключение: производится отключение смежных с вводами выключателей

DE55284

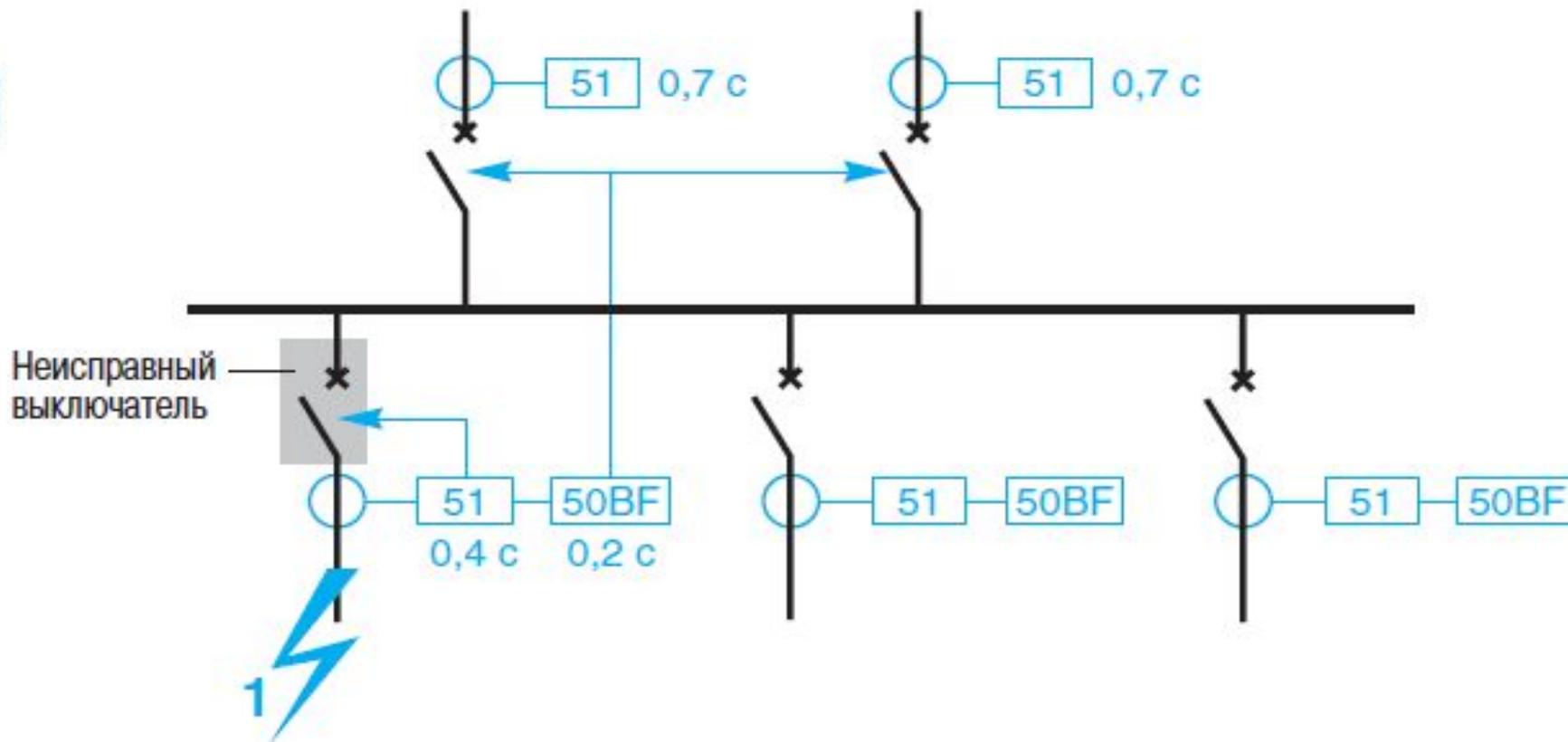


Рис. 1. Защита от отказов выключателя