



Релейная защита и автоматика систем электрообеспечения

Лекция №__

Защиты силовых трансформаторов

Составил: Кузнецов Д. Б.





Повреждения и ненормальные режимы работы трансформатора

Повреждения:

- междуфазные КЗ;
- КЗ одной или двух фаз на землю;
- КЗ между витками одной фазы (межвитковое);
- замыкание между обмотками разных напряжений;
- КЗ на вводах, ошиновке и в кабелях (междуфазное и на землю);
- «пожар стали».

Ненормальные режимы:

- внешнее КЗ;
- перегрузка;
- понижение уровня масла в баке;
- недопустимые повышения напряжения.

«Пожар» стали, повреждение изоляции стяжных болтов, замыкание листов магнитопровода, касание в двух местах магнитопровода каких-нибудь металлических частей, в результате чего

образуются замкнутые контуры для вихревых потоков. Признаки повреждения —повышение температуры трансформатора, появление газа черного или бурого цвета в газовом реле, воспламеняющегося при поджоге.

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

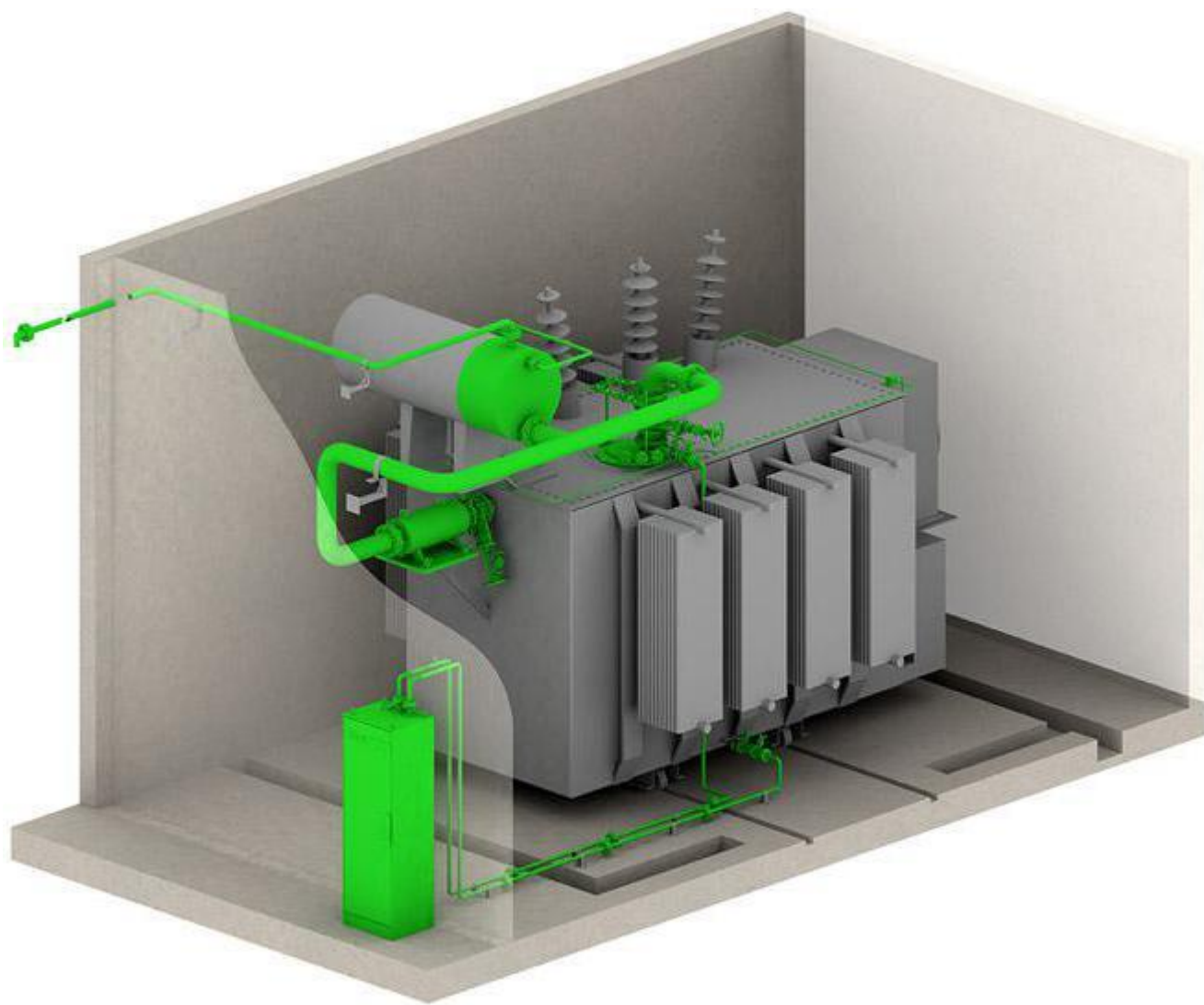
Согласно ПУЭ, для трансформатора требуются следующие защиты:

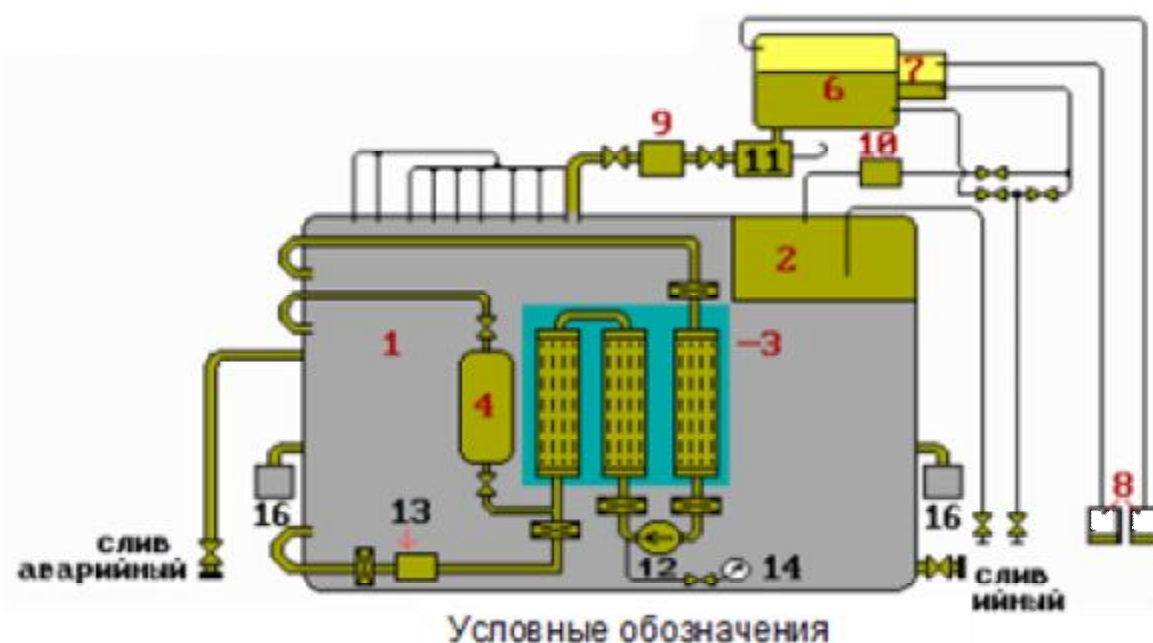
- Защита от внутренних повреждений для трансформаторов менее 4 МВА - максимальная защита и токовая отсечка, для трансформаторов большей мощности -дифференциальная защита.
- Защита от повреждения внутри бака трансформатора или РПН - газовая защита трансформатора и устройства РПН с действием на сигнал 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.

Газовая защита трансформатора.

При слишком большой температуре в любом месте внутри трансформатора, масло будет газогенерировать. Газы, образовавшиеся в результате этого, будут стремиться попасть в расширительный бак устройства, а для того чтобы проникнуть туда, они будут проходить через корпус газового реле. Именно через него и осуществляется газовая защита трансформатора. При слишком большом давлении газов в корпусе реле, уровень масла начнет неизбежно падать, что, в свою очередь, вызывает опрокидывание чашек. В этот момент газовое реле и срабатывает.





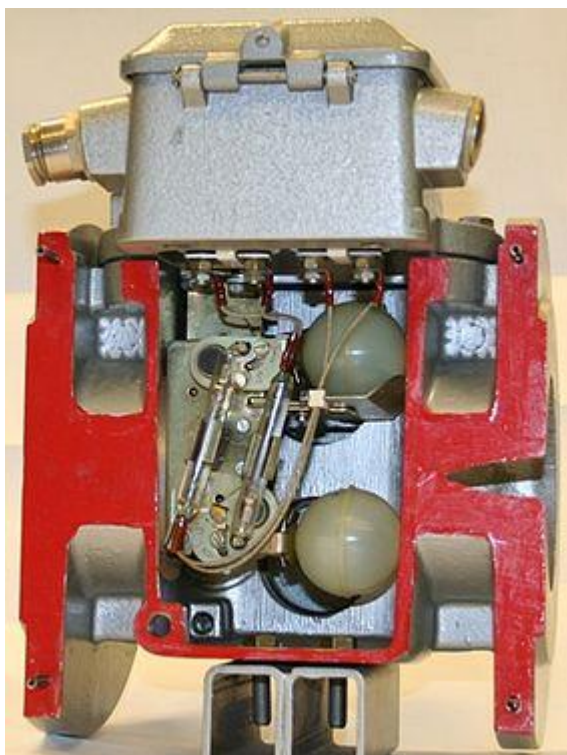
- 1 Основной бак трансформатора.
- 2 Бак РПН (погруженный).
- 3 Теплообменник маслоохладителя (мн+2в/а) 4шт.
- 4 Адсорбционный фильтр (на 1^м и 3^м охладителе).
- 6 Расширитель основного бака.
- 7 Расширитель РПН.
- 8 Воздухоосушитель с масляным затвором.

- 9 Газовое реле основного бака.
- 10 Газовое реле РПН.
- 11 Отсечной клапан.
- 12 Маслонасос.
- 13 Механический щелевой фильтр.
- 14 Манометр.
- 16 Предохранительный клапан (с двух сторон, т.е. два клапана).



Газовое реле

Одним из основополагающих элементов защиты выступают алюминиевые чашки плоскодонного типа, которые осуществляют вращательное движение в такт с контактами подвижного типа,



вокруг оси чашки. Данные провода могут замыкаться с
недвижущимися в том случае, если чашки начнут опускаться. А
во время правильного процесса эксплуатации (когда объем масла в
кожухе реле находится на приемлемом уровне) эти основные
элементы защиты удерживаются в определенном положении, при
котором они не замыкают ни один из контактов. При понижении
уровня масла в кожухе чашки также начинают опускаться вместе с
контактами, которые замыкаются с другими, неподвижными.
Причем при небольших повреждениях будет опускаться лишь
верхняя чашка, и замыкание ее контактов приведет к тому, что
устройство газовой защиты трансформатора подаст лишь сигнал о

поломке. Если интенсивность газообразования высока, то поток масла и газа будут также
воздействовать и на лопасть, которая при замыкании контактов вместе с опущенной чашкой
вызовет отключение, работающего трансформатора. При нормальной работе агрегата, скорость
масла внутри имеет значения - 0,6/0,9/1,2 м/с. Данный показатель зависит от качества охлаждения
объекта. При возникновении неполадки, скорость отклика газовой защиты трансформатора
занимает от 0,05 с до 0,5 с. Можно добавить, что на территории Российской Федерации наиболее
распространение получило газовое реле с двумя шарообразными пластмассовыми поплавками

BF80/Q. Важно заметить, что по своему принципу действия газовая защита многогранна. Она реагирует не только на образование газов, но и на наличие в трансформаторе атмосферного воздуха, на движение или толчки масла внутри кожуха, а также на механические повреждения, которые могут возникать из-за вибрации корпуса агрегата. Для того чтобы избежать ложного срабатывания газовой защиты и ненужного отключения трансформатора, нижний поплавок газового реле чаще всего выставляют так, чтобы он реагировал на скорость движения масла в пределах от 50 до 160 см/с.

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.

Среди основных преимуществ газовой защиты трансформатора можно выделить следующие пункты: Простота устройства данной защиты, а также высокая чувствительность реле. Количество времени, которое необходимо защите для принятия решения, очень мало. Присутствует возможность выбора между сигналом и отключением, в зависимости от информации о

повреждении внутри объекта. Именно газовая защита считается наиболее чувствительной при защите обмоток трансформатора, а также при замыкании его витков. Кроме сказанного, можно добавить, что все трансформаторы, мощность которых 1 000 кВт и более, поставляются уже с наличием данного типа защиты. Однако есть небольшой минус, который заключается в том, что газовая защита никак не реагирует на повреждения выводов агрегата, а потому должна комплектоваться второй защитой от внутренних неполадок. К примеру, в трансформаторах малой мощности, такой системой защиты стали МТЗ и токовые отсечки.

Газовая защита переключателя РПН

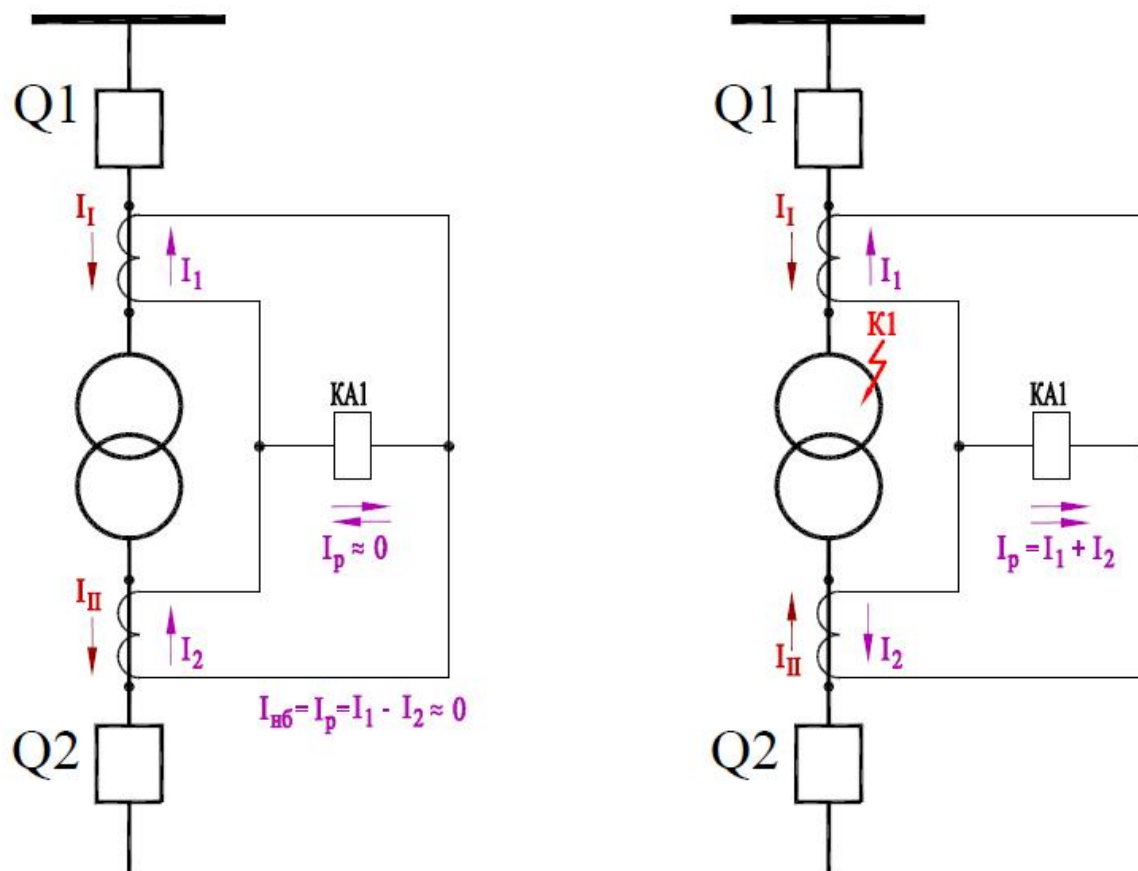
Газовая защита РПН трансформатора выполнена на струйном реле и действует на отключение трансформатора при интенсивном движении потока масла из бака РПН в сторону расширителя.

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 контакторов, 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 сработанном 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 1/2 хода вызывает срабатывание реле, а нажатие до упора - возврат. Кнопка опробования исправности реле может использоваться для опробования отделителя и короткозамыкателя, и были случаи, когда после опробования, реле оставляли в сработанном 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 сработанное положение струйного реле РПН по отсутствию красного флажка в смотровом окошке реле.



Основная защита трансформатора - продольная дифференциальная защита

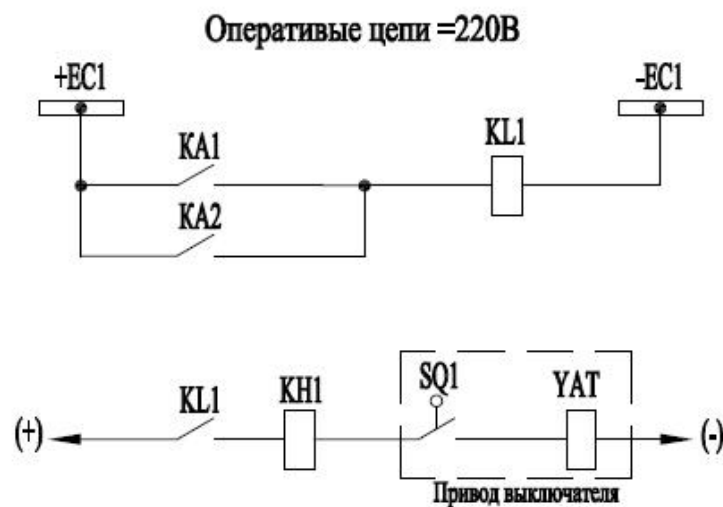
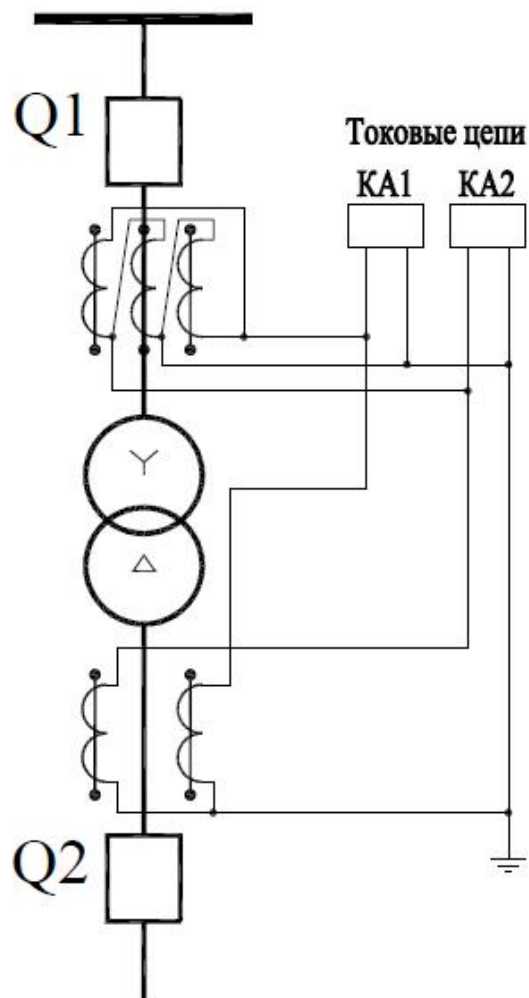


К пояснению принципа действия

Особенности выполнения дифференциальных защит трансформаторов обусловлены:

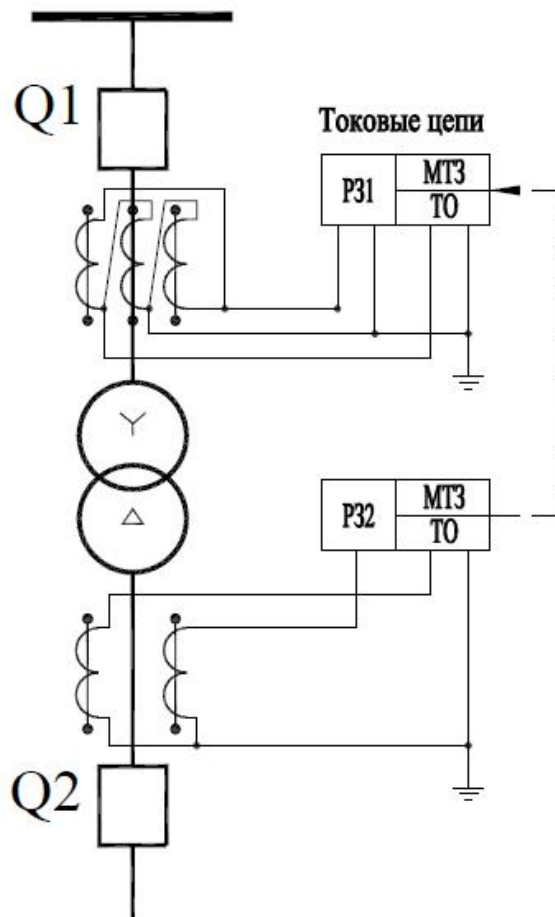
1. Различием номинальных напряжений и токов сторон трансформатора;
2. Фазовым сдвигом между токами отдельных сторон трансформатора из-за различия схем соединения его обмоток;
3. Броском тока намагничивания при включении Т или при восстановлении напряжения после отключения близкого КЗ;
4. Небалансом в дифференциальной цепи при внешних однофазных КЗ.

Дифференциальная токовая отсечка



Шинки управления
Цепи дифференциальной токовой отсечки
Цепи отключения выключателя

Логическая дифференциальная защита

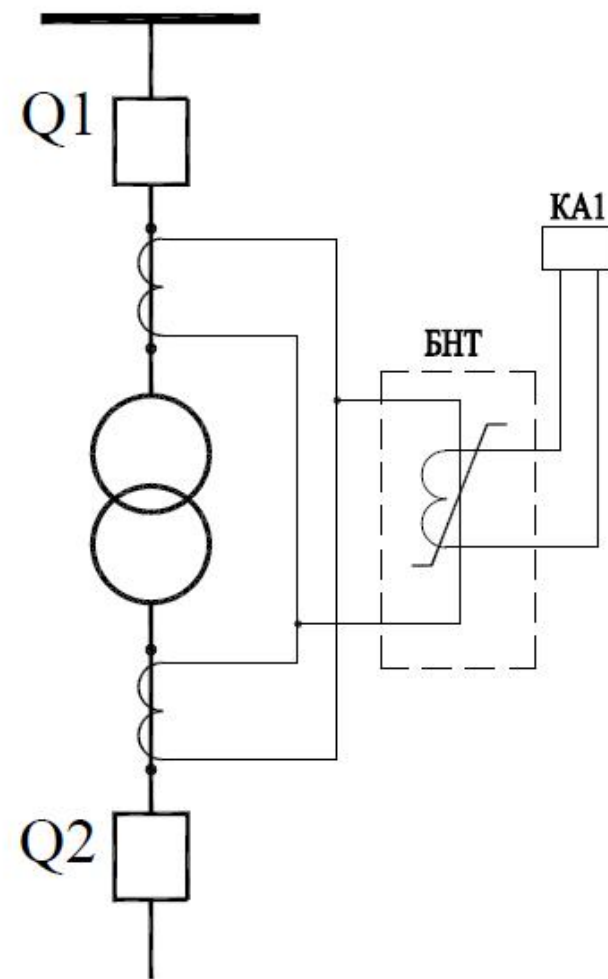


Токовый орган защиты (ТО), установленный на стороне НН (Р32), блокирует отсечку (О) на стороне ВН (Р31). При внешнем КЗ отсечка блокируется и не работает. При КЗ в зоне блокировка на вход отсечки на стороне ВН не поступает, и она отключает трансформатор с временем отсечки.

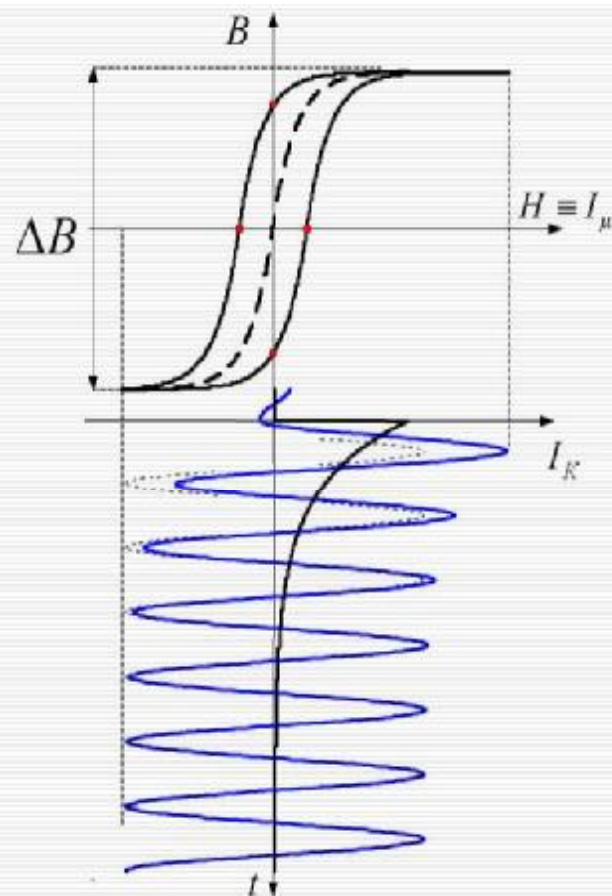
Дифференциальная токовая защита с промежуточными быстронасыщающимися трансформаторами тока, реле РНТ-565

Принцип торможения реле РНТ-565:

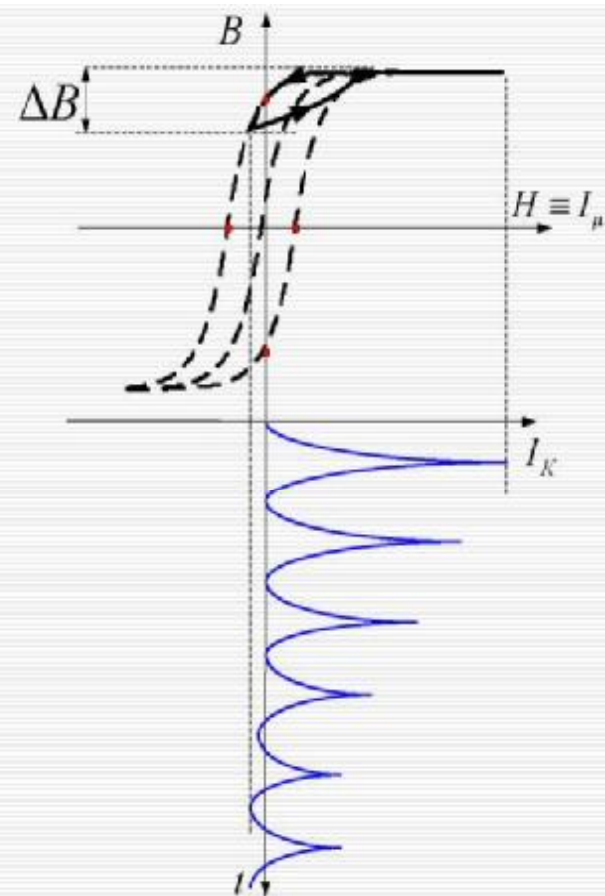
1. В токе появляется апериодическая составляющая;
2. Магнитопровод БНТ сильно насыщается. Сопротивление ветви намагничивания резко падает. Весь первичный ток замыкается через эту ветвь. Чувствительность защиты уменьшается.
3. Нормальная работа БНТ восстанавливается, как только исчезает апериодическая составляющая.
4. При синусоидальном токе БНТ не оказывает влияния на работу реле.



Ток во вторичной обмотке БНТ, к которой подключено реле, определяется суммарным магнитным потоком в сердечнике, который создается как рабочей, так и уравнительными 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 уравнительные 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.



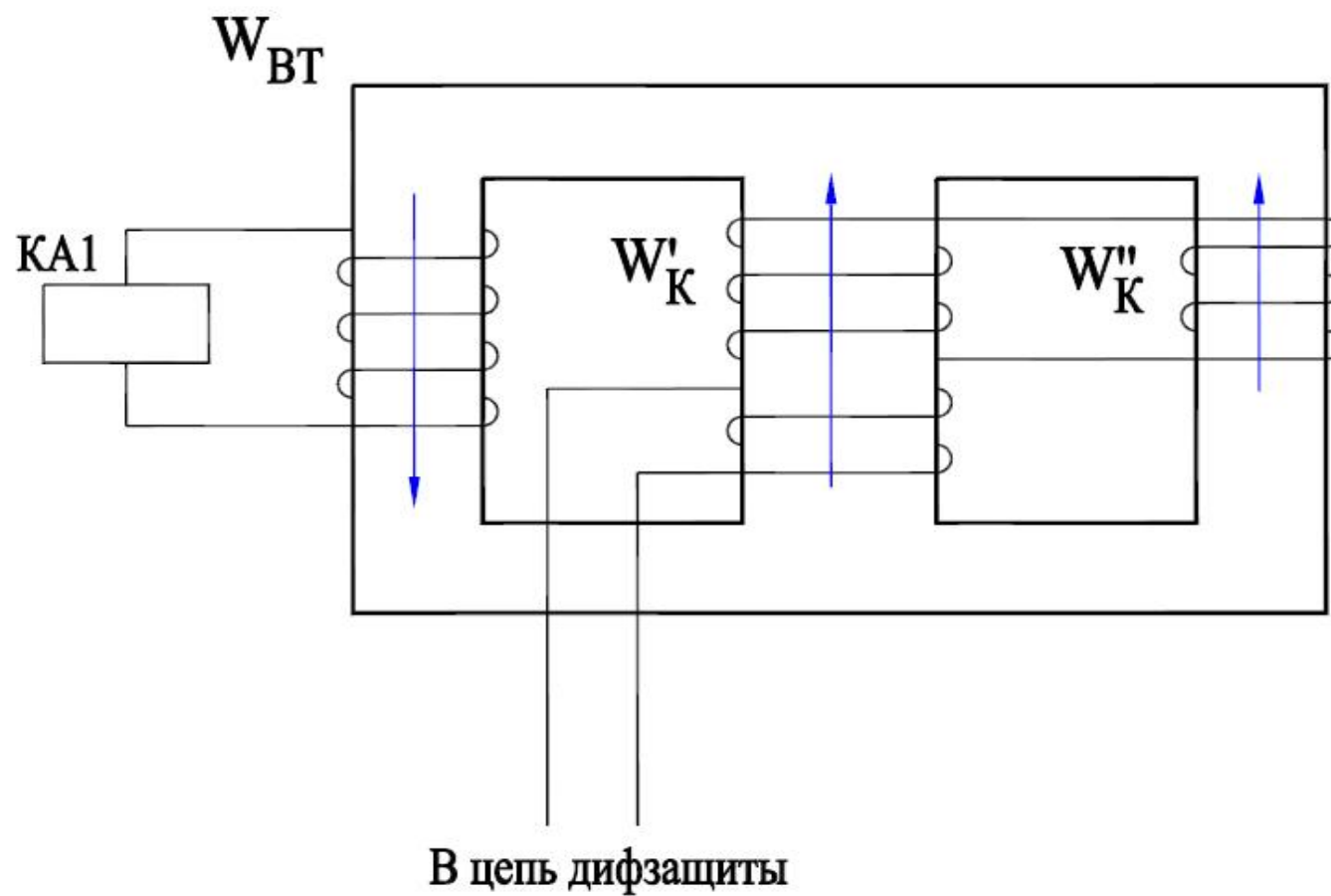
При КЗ в защищаемой зоне



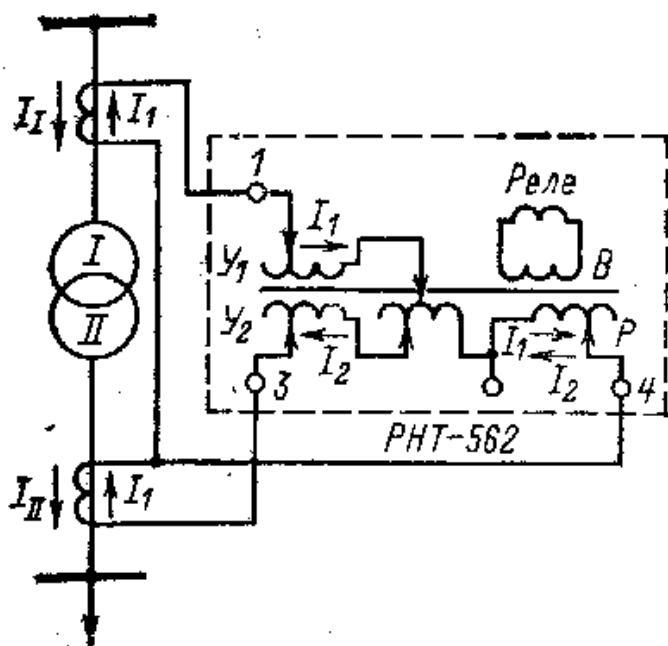
При включении под напряжение

Принцип действия быстронасыщающихся трансформаторов тока (процессы перемагничивания)

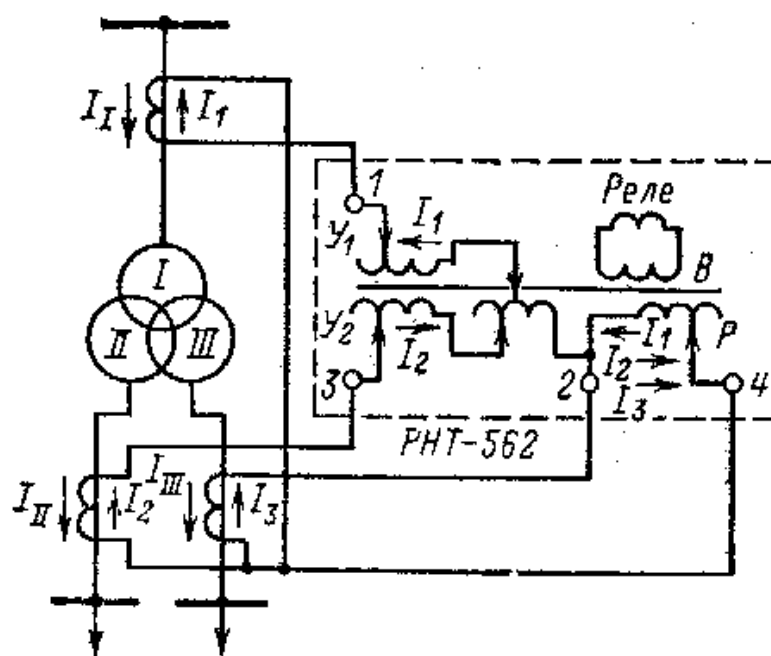
Принцип выполнения реле РНТ



Принципиальная схема токовых цепей дифференциальной защиты трансформатора с реле РНТ-565



Принципиальная схема токовых цепей дифференциальной защиты двухобмоточного трансформатора с реле типа РНТ-565 (РНТ-562)



Принципиальная схема токовых цепей дифференциальной защиты трехобмоточного трансформатора с реле типа РНТ-565 (РНТ-562)

Внешний вид РНТ-565



**Структура условного обозначения
РНТ XXX Х4**

РНТ – реле с насыщающим
трансформатором ;

XXX - условный номер разработки
(565, 566, 566/2, 567, 567/2)

Х4 - климатическое исполнение (УХЛ
0) и категория размещения (4) по
ГОСТ 15150-69

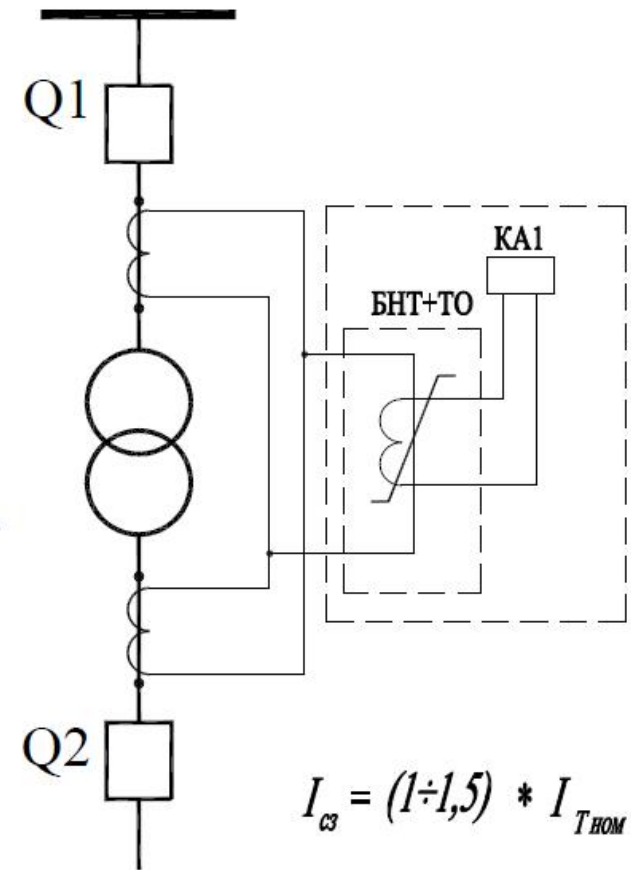


Дифференциальная токовая защита с реле, имеющими торможение ДЗТ-11

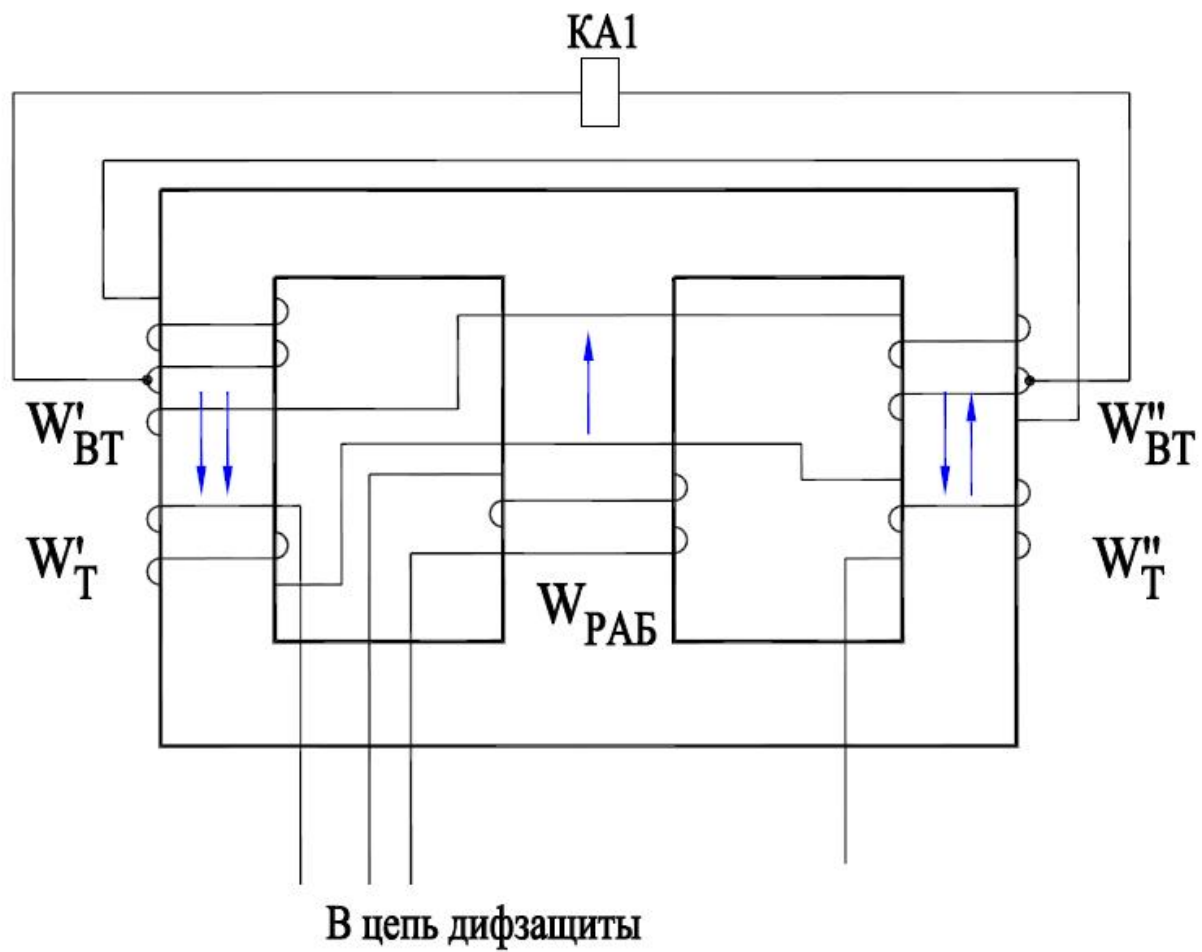
Принцип торможения реле ДЗТ-11:

В тормозных обмотках создается дополнительный поток, который насыщает сталь сердечника и загроубляет защиту.

Реле серии РНТ не всегда может быть выполнено достаточно чувствительным из-за необходимости отстройки от периодического тока небаланса. Этот недостаток устранен в реле серий ДЗТ, в которых использован принцип магнитного торможения в сочетании с промежуточным насыщающимся трансформатором, аналогичным реле РНТ, но без короткозамкнутой обмотки.



Принцип выполнения реле ДЗТ-11





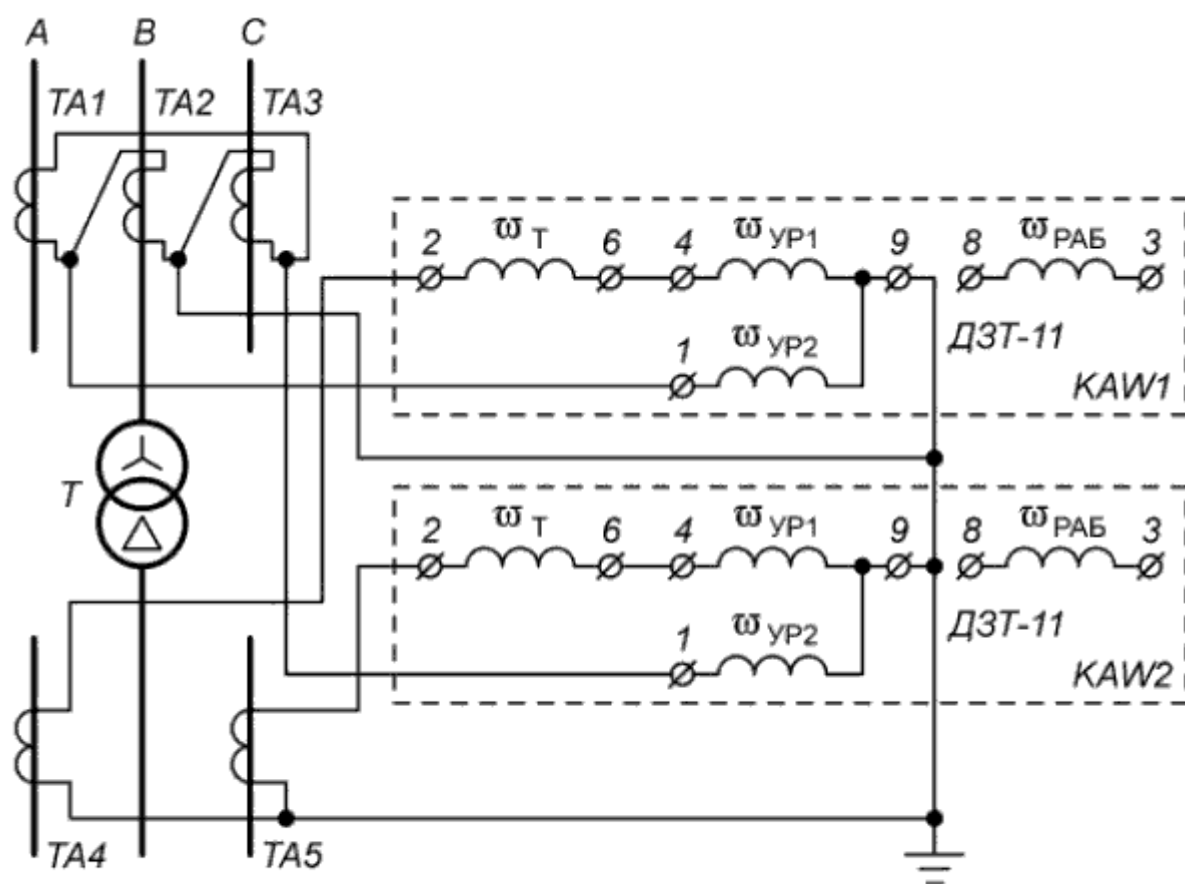
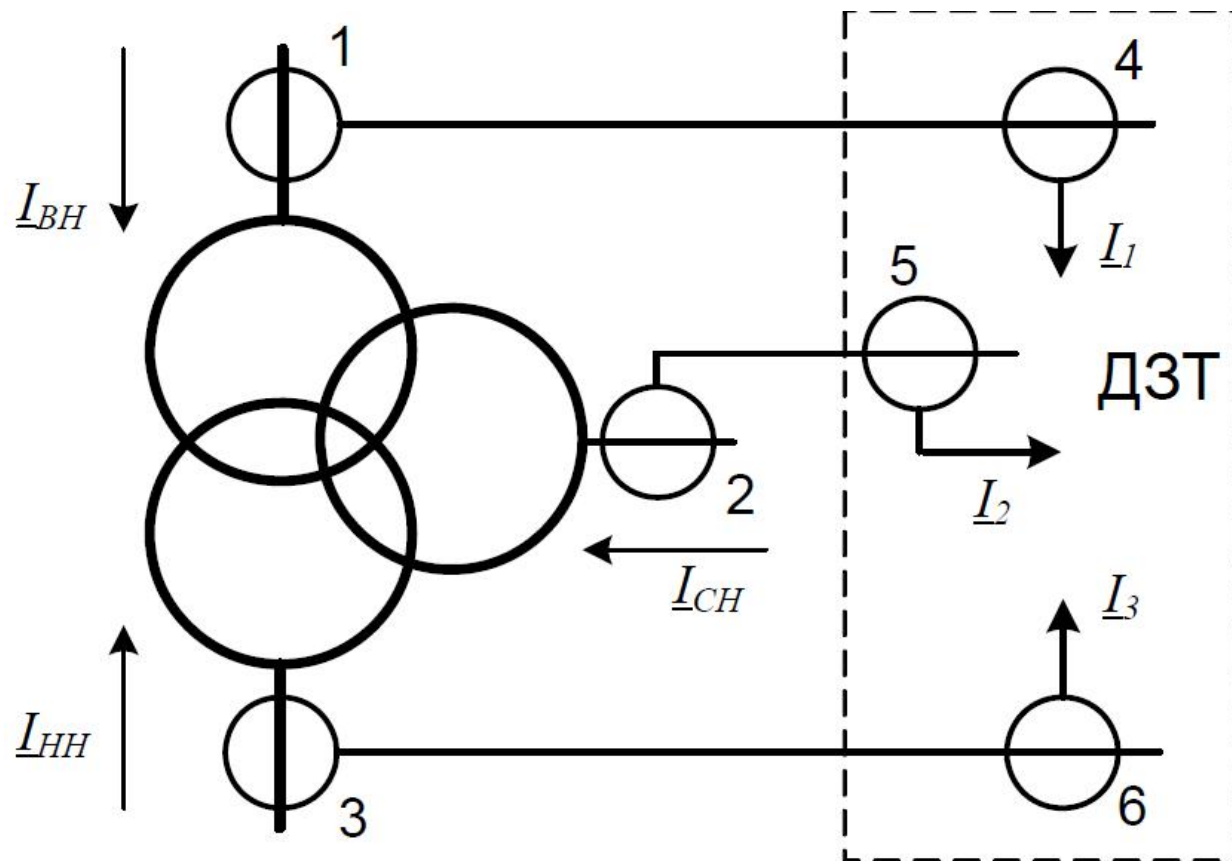


Рис. 2.28. Схема дифференциальной защиты двухобмоточного трансформатора на реле ДЗТ-11

Цифровые дифф. защиты трансформаторов с торможением от сравниваемых токов.

В устройстве формируются дифференциальные и тормозные токи (с учетом принятых положительных направлений токов в трансформаторе):



Дифференциальный ток рассчитывается по выражению:

$$I_{\text{ДИФ}} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3.$$

Также рассчитывается тормозной ток, который формируется с учетом реального направления протекания токов в защищаемом трансформаторе. Такой способ формирования тормозного тока называется «направленным торможением». Расчет производится на основе соотношений :

$$\underline{I}_1' = \text{МАКСИМУМ}(\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_3);$$

$$\underline{I}_2' = I_{\text{ДИФ}} - \underline{I}_1' = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 - \underline{I}_1';$$

$$\varphi = \arg(\underline{I}_1'; -\underline{I}_2');$$

$$\text{для } \cos \varphi > 0 \quad I_{\text{ТОРМ}} = \sqrt{\underline{I}_1' \times \underline{I}_2' \cos \varphi};$$

$$\cos \varphi \leq 0 \quad I_{\text{ТОРМ}} = 0.$$

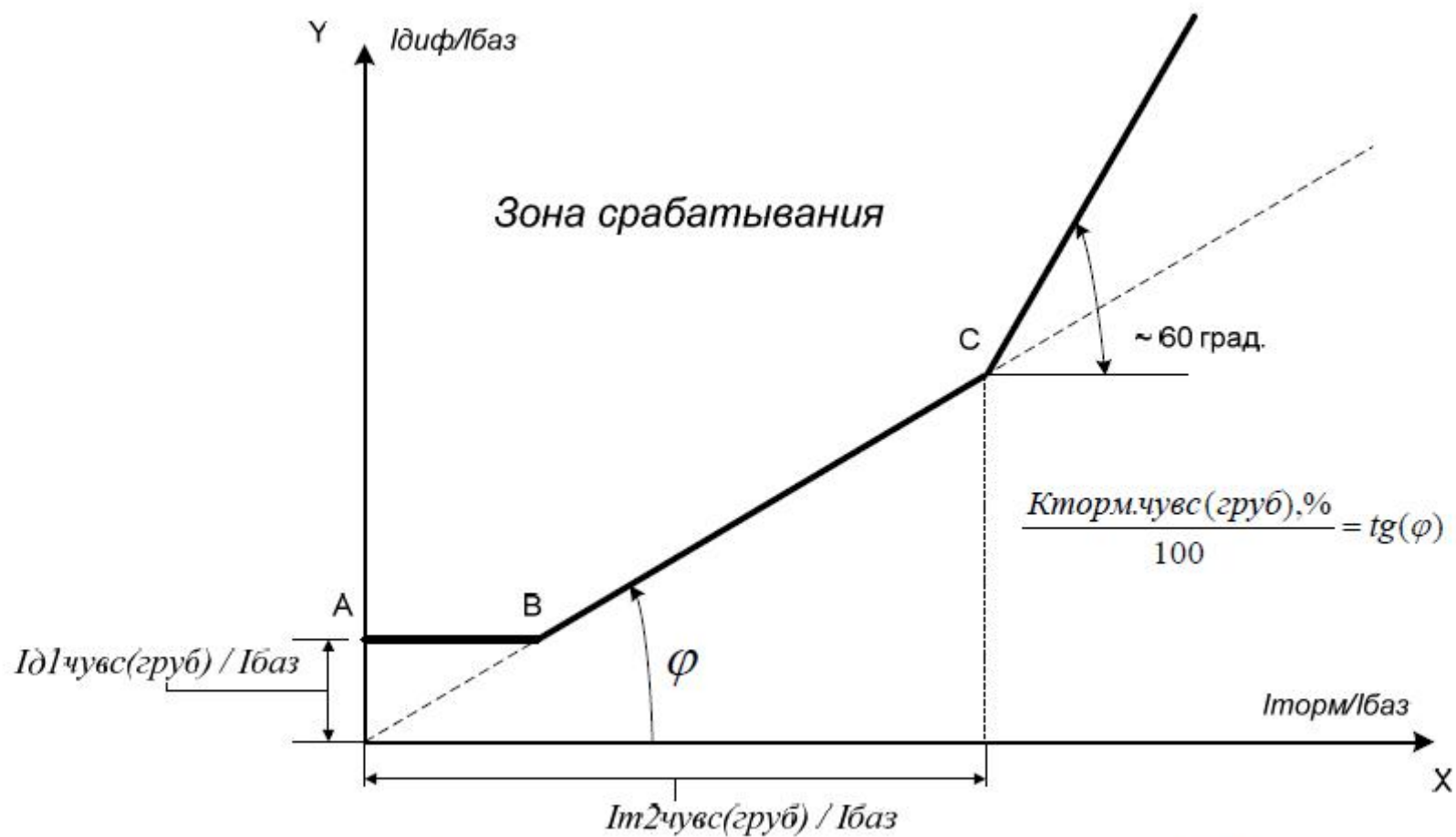
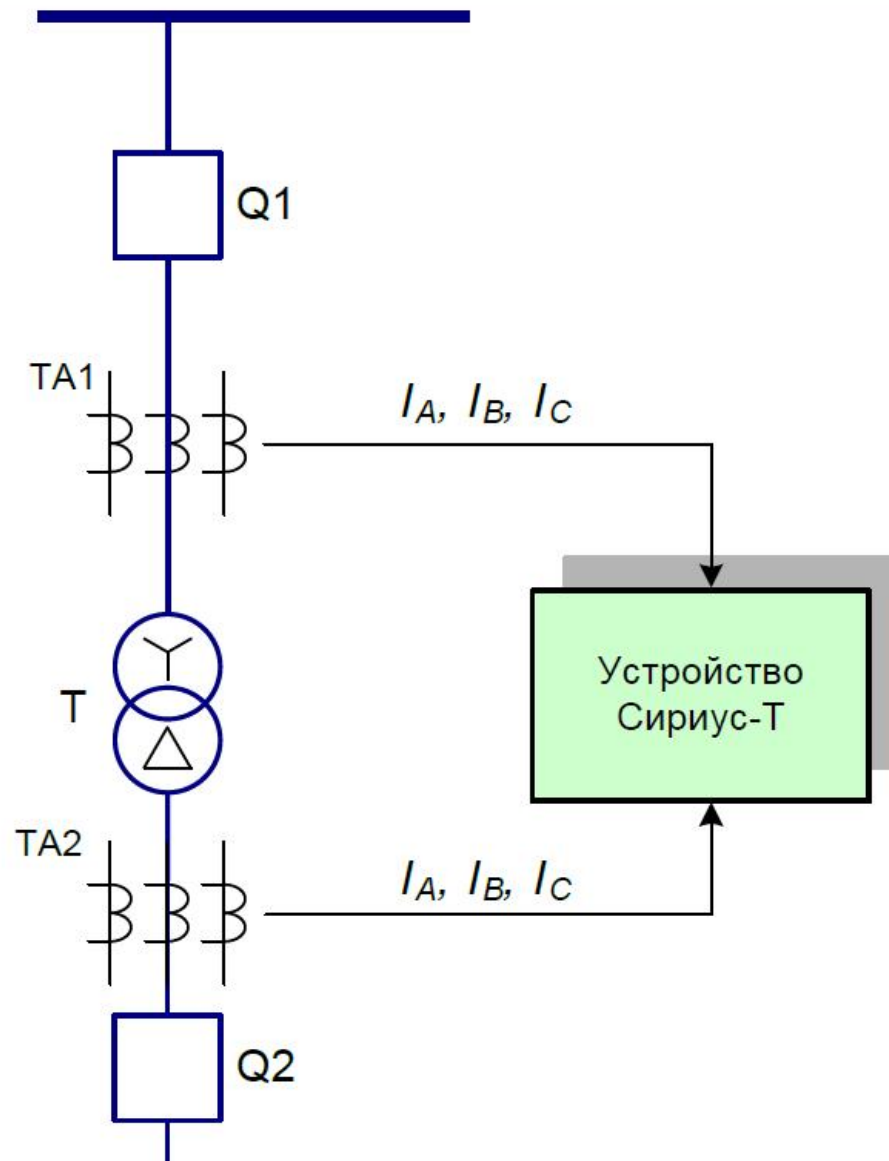


Рисунок 2 – Тормозная характеристика ступени ДЗТ–2



Подключение внешних цепей



Двухступенчатая дифференциальная токовая защита трансформатора (токовая отсечка и защита с торможением от сквозного тока и отстройкой от бросков тока намагничивания);

Защита от перегрузки по каждой стороне напряжения с действием на сигнализацию;

Контроль состояния трансформатора по ряду входных, дискретных сигналов;

Управление схемой обдува по двум критериям - ток нагрузки и сигналы от датчиков температуры;

Возможность подключения внешних защит, например, газовой защиты трансформатора;

Контроль на "затягивание" команды на отключение;

Контроль наличия питания терминала и его работоспособности;

Наличие регистратора событий;

Оперативный ввод или вывод некоторых функций с помощью тумблеров на передней панели устройства вместо традиционных накладок;

Наличие двух независимых интерфейсов связи RS232C и токовой петли RS485 для связи с компьютером;

Встроенные часы-календарь;

Устройство имеет каналы связи для передачи на компьютер данных аварийных отключений, просмотра и изменения уставок, контроля текущего состояния устройства.

Токовая ступенчатая защита трансформаторов.

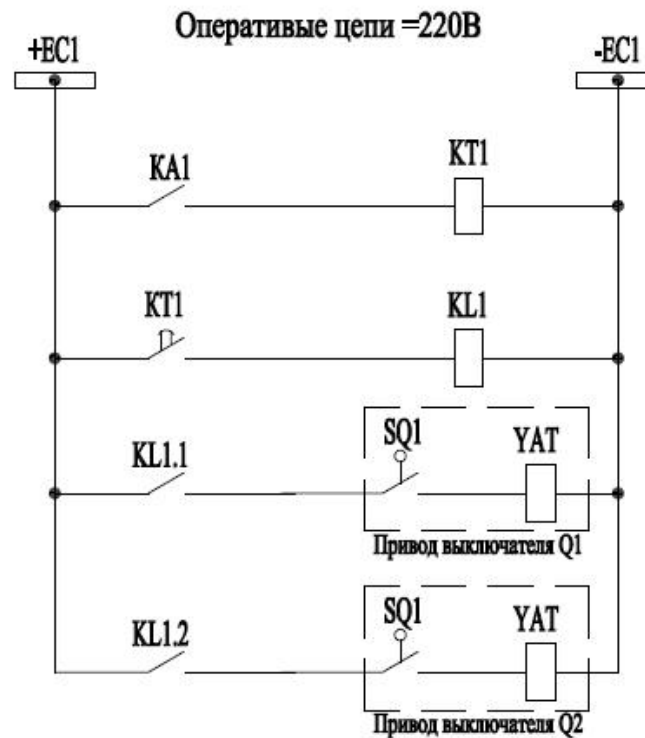
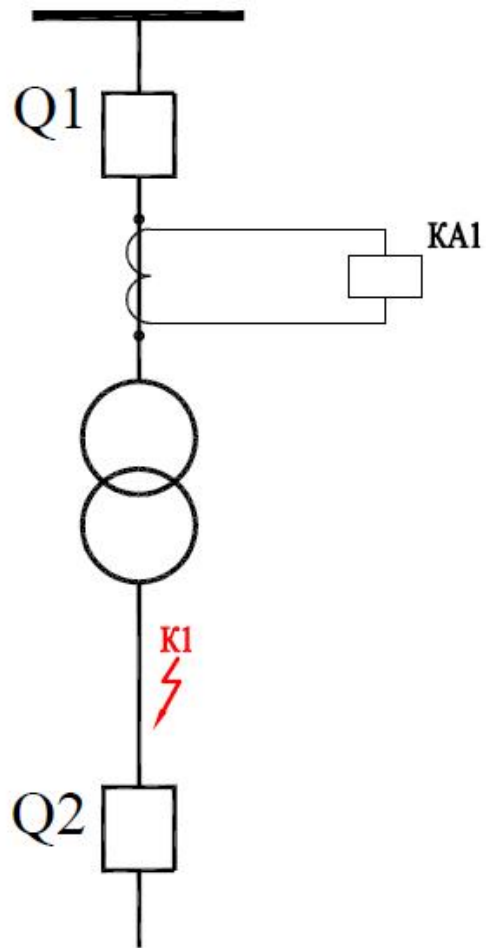
Первая ступень – токовая отсечка без выдержки времени.

Вторая ступень – МТЗ с блокировкой по напряжению или без нее.

МТЗ устанавливается на каждой стороне трансформатора. Со стороны питания (110кВ, 220кВ) МТЗ, как правило, действует с двумя выдержками времени.

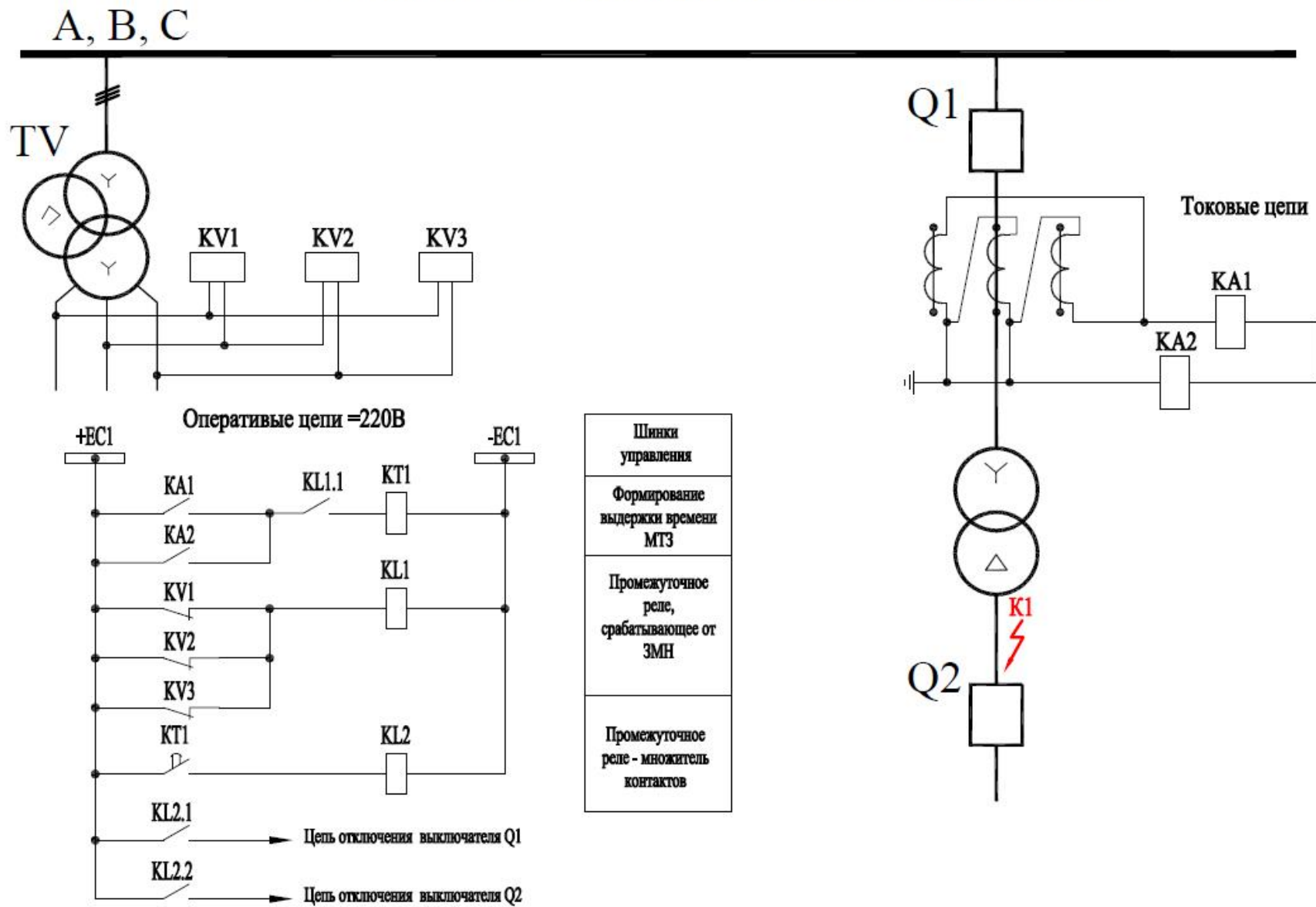
С меньшей выдержкой времени на отключение ввода низшего напряжения, а с большей – на отключение трансформатора со всех сторон.

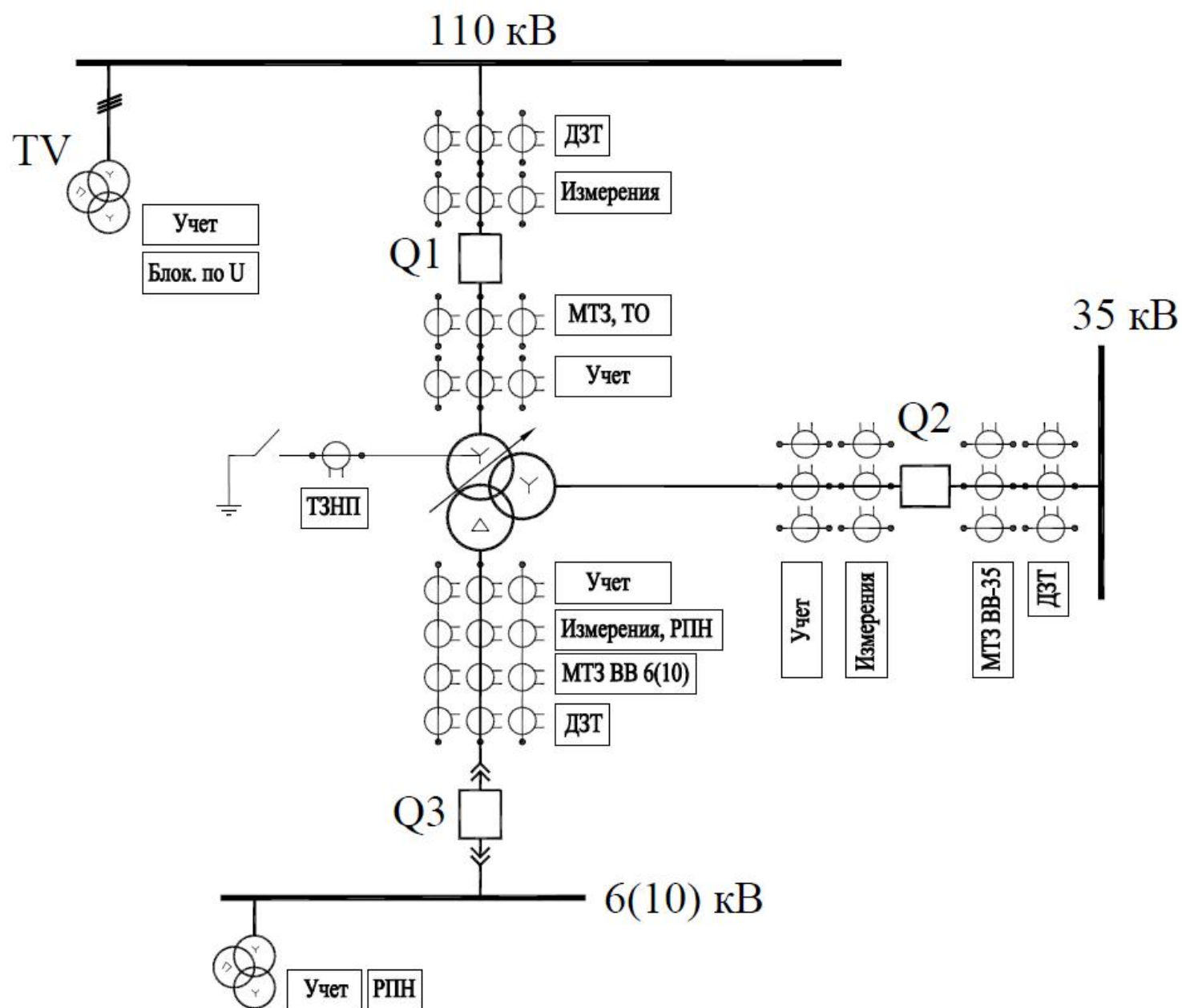
Схемы МТЗ силовых трансформаторов



Шинки управления
Формирование выдержки времени МТЗ
Промежуточное реле - множитель контактов
Цепи отключения выключателя Q1
Цепи отключения выключателя Q2

Схема МТЗ с блокировкой по напряжению

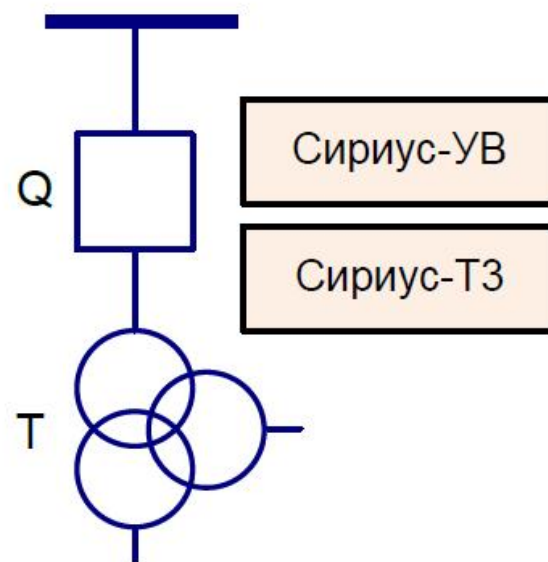
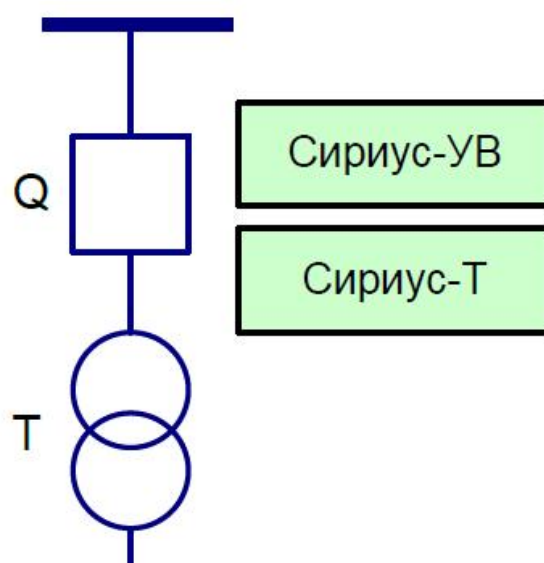




Устройства защиты силовых трансформаторов



«Сириус-УВ» + «Сириус-Т»
двухобмоточный трансформатор



«Сириус-УВ» + «Сириус-Т3»
трехобмоточный трансформатор

«Сириус-УВ»

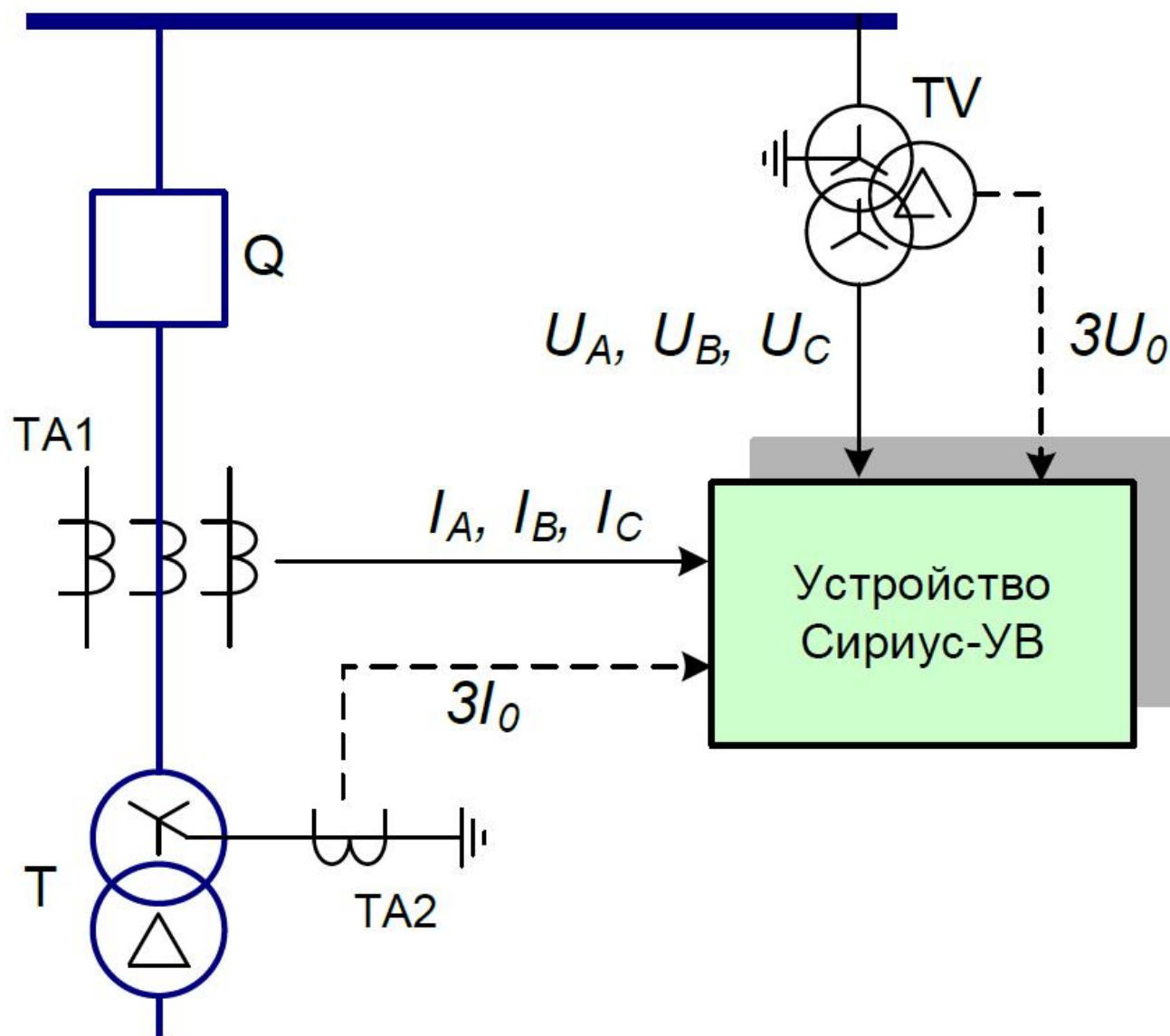
Устройство управления высоковольтным выключателем и резервных защит силового трансформатора

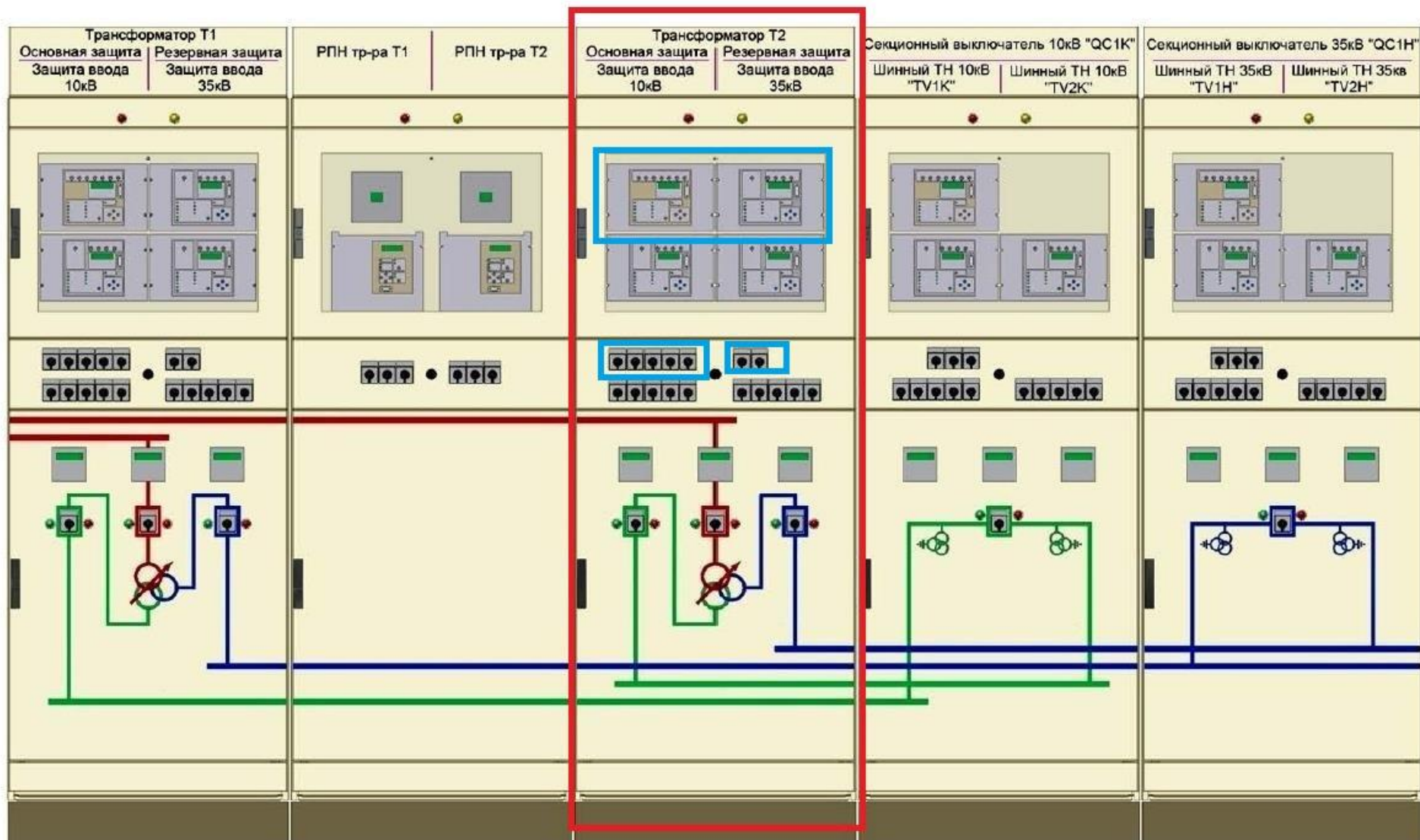
Устанавливается на:

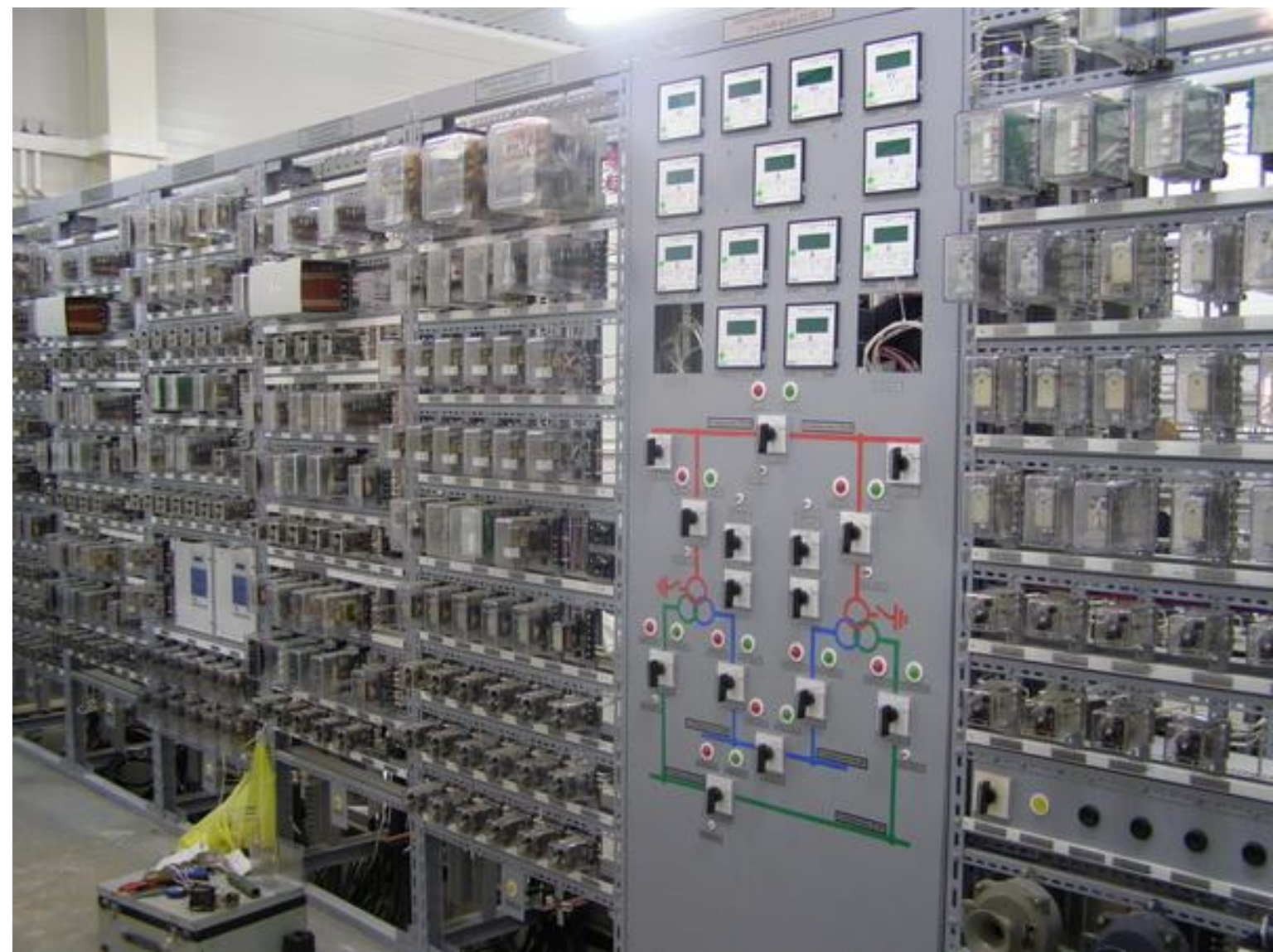
- ✓ стороне ВН трансформатора
- ✓ линейном выключателе



Подключение внешних цепей







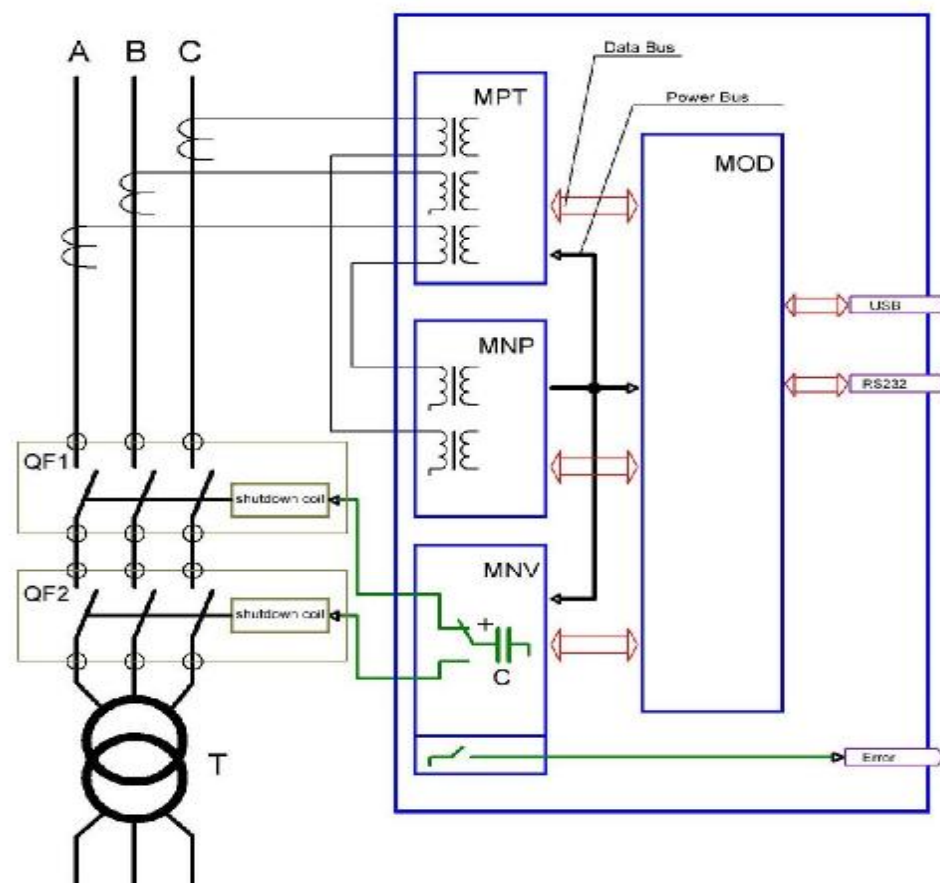
Независимая резервная защита трансформатора

Предназначена для предотвращения развития аварий на высоковольтных станциях и подстанциях, вызванных нарушениями технологических режимов при которых основное защитное оборудование по разным причинам не обеспечило своевременное отключение силового трансформатора.

Как правило, следствием развития указанных аварий являются возгорания, взрывы и выход из строя, как самого силового трансформатора, так и остального силового станционного оборудования, в том числе и на низкой стороне.



Структурно устройство состоит из четырех функционально законченных модулей.



МПТ(MPT) – модуль преобразования тока, обеспечивает сопряжение контролируемых токовых цепей с портами контроллера МОД(MOD);

МНП(MNP) – модуль независимого питания, обеспечивает преобразование входного тока в напряжения для питания всех схем устройства;

МНВ(MNV) – модуль независимого воздействия, обеспечивает необходимый заряд выходного конденсатора и выходные сигналы внутренней диагностики и диагностики исправности цепей катушки отключения;

МОД(MOD) – модуль обработки данных, обеспечивает управление всеми модулями и выполнение алгоритмов работы устройства в целом.



ШЭРА-НВ-БРТ-1051
шкаф наружной установки
навесного исполнения

Шкафы ШЭРА-Н-БРТ-1051 и ШЭРА-НВ- БРТ-1051

Шкафы обеспечивают функцию ближнего резервирования защит силового трансформатора с напряжением 35-220 кВ и предусматривают наружную установку *около агрегатного шкафа силового трансформатора*. Шкафы обеспечивают трехфазную ненаправленную максимальную токовую защиту стороны ВН трансформатора при питании устройства ближнего резервирования от вторичных цепей трансформаторов тока и трансформаторов напряжения, установленных на стороне ВН, а также питание выходных цепей отключения выключателя трансформатора от предварительно заряженных конденсаторов.