

Новосибирский государственный технический университет

Релейная защита и автоматика

Анатолий Анатольевич Осинцев, к.т.н., доцент

Кафедра электрических станций



Литература

1. **Примеры расчета релейной защиты** : [учебное пособие для 4 курса ФЭН дневной и заочной форм обучения / В. А. Давыдов и др.] ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2011. - 63 с.
2. **Релейная защита и автоматизация ЭЭС** : методические указания к выполнению расчетно-графических и контрольных работ для ФЭН всех форм обучения по программе подготовки бакалавров по направлению "Электроэнергетика и Электротехника" / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: А. В. Белоглазов, В. А. Давыдов, А. И. Щеглов]. - Новосибирск, 2014. - 50, [1] с. : ил..
3. Андреев В. А. **Релейная защита и автоматика систем электроснабжения** : [учебник для вузов по специальности "Электроснабжение" направления подготовки "Электроэнергетика"] / В. А. Андреев. - М., 2008. - 639 с. : ил.

Литература (лабораторные работы)

1. Испытание токовых реле / 4 часа. / методические указания к лабораторным работам для 4 курса направления 140200 "Электроэнергетика" факультета энергетики всех форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. А. В. Виштинев]. - Новосибирск, 2005. - 31 с., №2975.
2. Трехступенчатая токовая защита / 4 часа. / Релейная защита линий электропередачи : методические указания к лаб. работам для IY курса ФЭН всех форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; сост. : В. А. Давыдов и др. - Новосибирск, 2004. - 32 с. : ил., №2736.
3. Испытание токовой защиты нулевой последовательности в сети с малыми токами замыкания на землю / 4 часа. / методические указания к лабораторным работам для 4-5 курсов ФЭН всех форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. А. И. Щеглов, А. С. Трофимов]. - Новосибирск, 2006. - 27, с., №3076.
4. Испытание дифференциальной защиты трансформатора с реле типа ДЗТ-11 / 4 часа. / методические указания к лабораторным работам / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: В. А. Давыдов, О. В. Танфильев]. - Новосибирск, 2016. - 33 с., №2163.

Литература (лабораторные работы)

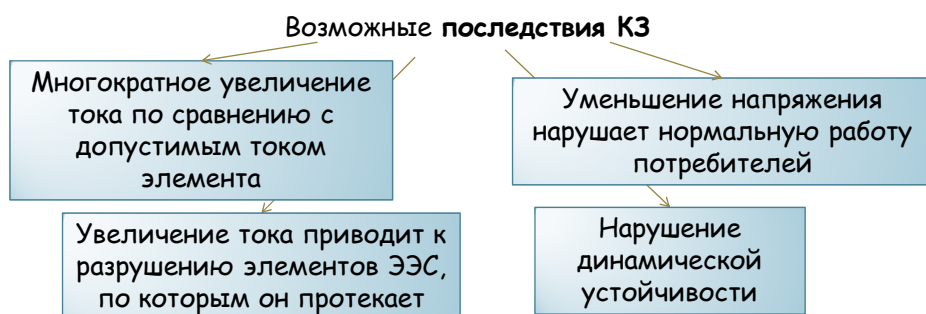
5. Автоматическое повторное включение линий электропередач / 4 часа. / методические указания к лабораторной работе для 4 и 5 курсов ФЭН всех форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. И. П. Тимофеев]. - Новосибирск, 2008. - 30 с., №3590.
6. АВР трансформаторов собственных нужд электростанций / 4 часа. / методические указания к лабораторной работе по курсу "Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем" для ФЭН по направлению 140400.62 - Электроэнергетика и электротехника / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. И. П. Тимофеев]. - Новосибирск, 2011. - 17 с.
7. Испытание статических реле, реагирующих на две электрические величины / 4 часа. / методические указания к лабораторным работам для 4-5 курсов ФЭН всех форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: В. А. Давыдов, А. И. Щеглов]. - Новосибирск, 2003. - 31 с.
8. Испытание поперечной дифференциальной направленной защиты параллельных линий от междуфазных КЗ / 4 часа. / см. п.2

Повреждения в ЭЭС и их последствия

Повреждения в ЭЭС возникают из-за:

- старения изоляции,
- человеческого фактора,
- внешних воздействий.

Наиболее опасные повреждения - это различного рода **КЗ** (трёхфазные, двухфазные, двухфазные на землю, однофазные).



Назначение РЗ

Развитие аварии может быть предотвращено быстрым отключением поврежденного участка при помощи специальных автоматических устройств - **релейной защиты**.

Реле - электромеханическое устройство (переключатель), предназначенное для коммутации электрических цепей при заданных изменениях электрических или неэлектрических входных величин.

Назначение:

- обнаружение повреждения, выявление поврежденного элемента и быстрое его отключение от неповрежденной части с помощью выключателей;
- выявление нарушений нормального режима и подача предупредительных сигналов или проведение операций, необходимых для восстановления нормального режима.

Функции РЗ и требования предъявляемые к ней

РЗ работает в тесной связи с устройствами ТПА, например:

- ✓ АПВ - автоматическое повторное включение;
- ✓ АВР - устройство автоматического включения резерва;
- ✓ АЧР - устройство автоматической частотной разгрузки.

Функции РЗ:

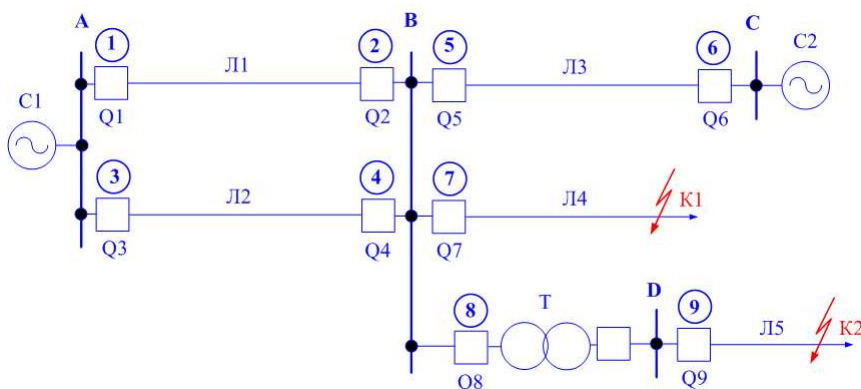
- Срабатывание при КЗ на защищаемом элементе (при внутреннем КЗ);
- Несрабатывание при КЗ вне защищаемого элемента (внешнем КЗ);
- Несрабатывание при отсутствии повреждения.

Требования, предъявляемые к РЗ



Селективность

Селективность (избирательность) - это такое действие РЗ, при котором отключается только поврежденный элемент системы.



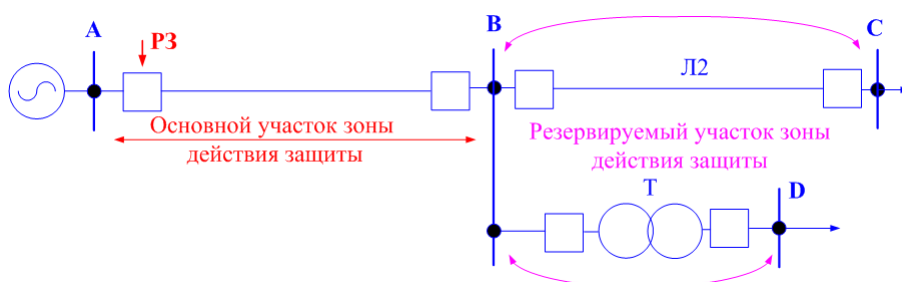
Чувствительность

Чувствительность РЗ оценивается количественно через $K_{\text{ч}}$.

Формула расчета	Тип реле
$K_{\text{ч}} = \frac{P_{\text{мин}}}{P_{\text{ср}}}$	Для реле максимального действия
$K_{\text{ч}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{макс}}}$	Для реле минимального действия

Чувствительность

Величина $K_{\text{ч}}$ нормируется ПУЭ для каждого типа защиты не только на контролируемом элементе, но и на смежных элементах.



$K_{\text{ч}}$ должен быть заведомо больше 1, так как при определении расчётных параметров не учитывается:

- ✓ искажение информации от первичных преобразователей (ТТ, ТН);
- ✓ пренебрежение сопротивлением дуги при расчётах;
- ✓ ошибки (погрешность) измерительного органа РЗ и др.

Быстродействие

Быстрое отключение приводит к:

- уменьшению размеров разрушений в месте повреждения;
- уменьшению влияния снижения напряжения на работу потребителей;
- обеспечению термической стойкости оборудования;
- сохранению устойчивости параллельно работающих генераторов электростанций;
- повышению эффективности АПВ.

Для сохранения устойчивости требуется весьма малое время, например, для ЛЭП 330-500 кВ КЗ необходимо отключать не более чем за 100-120 мс. Однако стоит учесть, что

$$t_{о.к.} = t_3 + t_с,$$

где $t_с = 40-60$ мс.

Надежность

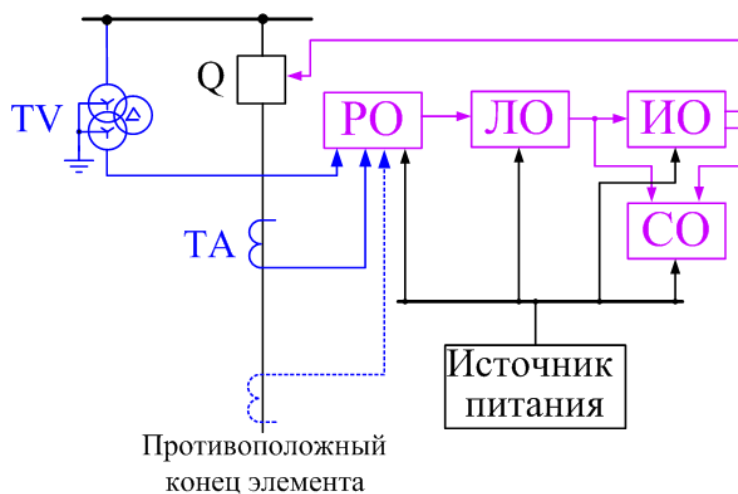
Надежность – свойство РЗ выполнять заданные функции в заданном объёме в течение всего срока эксплуатации при соблюдении технических регламентов эксплуатации.

Надежность устройств РЗ обеспечивается:

- простотой схемы РЗ;
- уменьшением количества элементов, реле, контактных соединений;
- качеством изготовления аппаратуры и монтажных материалов
- качеством самого монтажа;
- периодической проверкой исправности РЗ в процессе эксплуатации;
- наличием автоматических устройств (функций) диагностики целостности всех цепей.

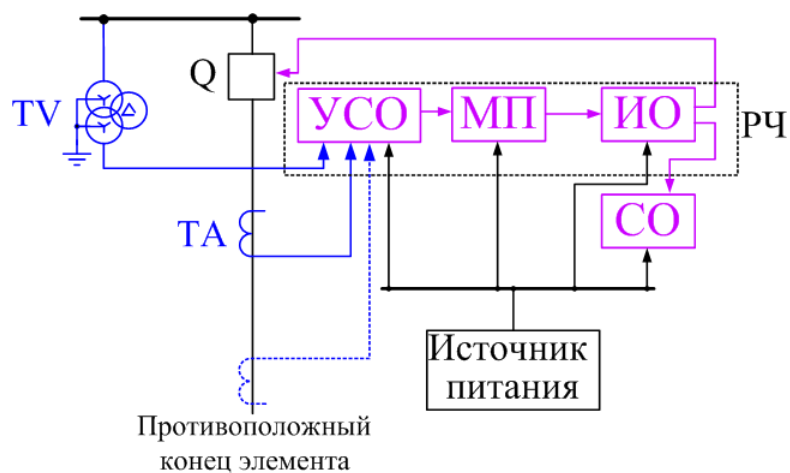
Структурные части и основные элементы РЗ

- Для защит на электромеханической и микроселектронной базе



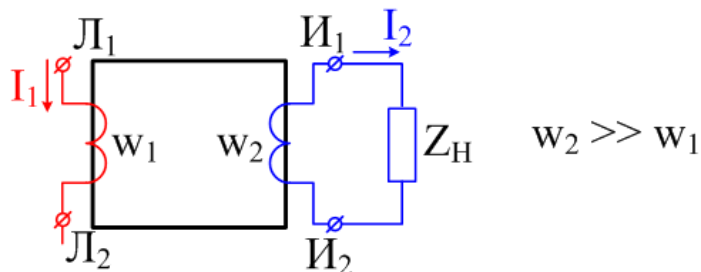
Структурные части и основные элементы РЗ

- Для защит на микропроцессорной базе





Трансформаторы тока в схемах релейной защиты



Для идеального ТТ (без погрешностей) справедливо следующее:

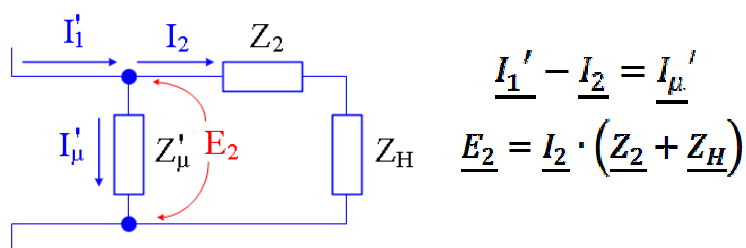
$$\underline{I}_1 \cdot w_1 - \underline{I}_2 \cdot w_2 = 0 \Rightarrow \underline{I}_1 = \underline{I}_2 \cdot \frac{w_2}{w_1}, \text{ где } \frac{w_2}{w_1} = K_T$$

Работа реального ТТ отличается от идеального :

$$\underline{I}_1 \cdot w_1 - \underline{I}_2 \cdot w_2 = \underline{I}_\mu \cdot w_1$$



Трансформаторы тока в схемах релейной защиты

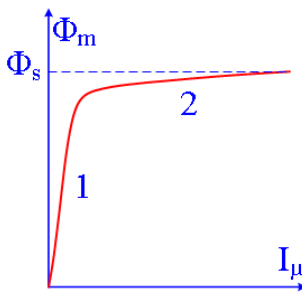


Виды погрешностей ТТ:

- токовая $\Rightarrow f_i = (I_2 - I_1') / I_1' \cdot 100$
 - полная $\Rightarrow \varepsilon = |I_2 - I_1'| / I_1' \cdot 100 = I_\mu' / I_1' \cdot 100$
 - угловая
- $\varepsilon > f_i$

Полная и токовая погрешность всегда ведёт к уменьшению вторичного тока.

Трансформаторы тока в схемах релейной защиты



При работе ТТ на:

- **линейном участке (1)** - токовая и полная погрешности малы,
- **на нелинейном участке (2)** - резко возрастает I_μ и пренебрегать им нельзя

Погрешность ТТ зависит от:

1. кратности первичного тока;
2. величины сопротивления нагрузки.

В РЗ принято считать, что ТТ работает как источник тока, если его полная погрешность в расчетном режиме не превышает 10% от величины первичного тока. Поэтому ТТ для РЗ выбирают не по классу точности, а по кривым предельной кратности.

Трансформаторы тока в схемах релейной защиты

Для использования кривых предельной кратности необходимо уметь определять $Z_{\text{нагр.расч.}}$ на ТТ, которое зависит от:

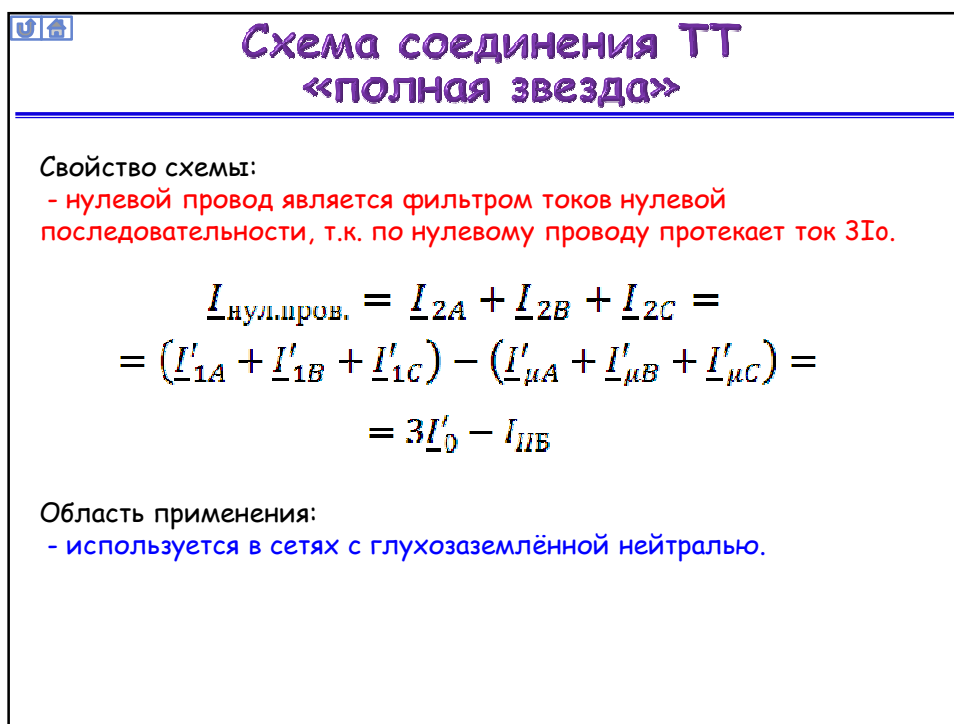
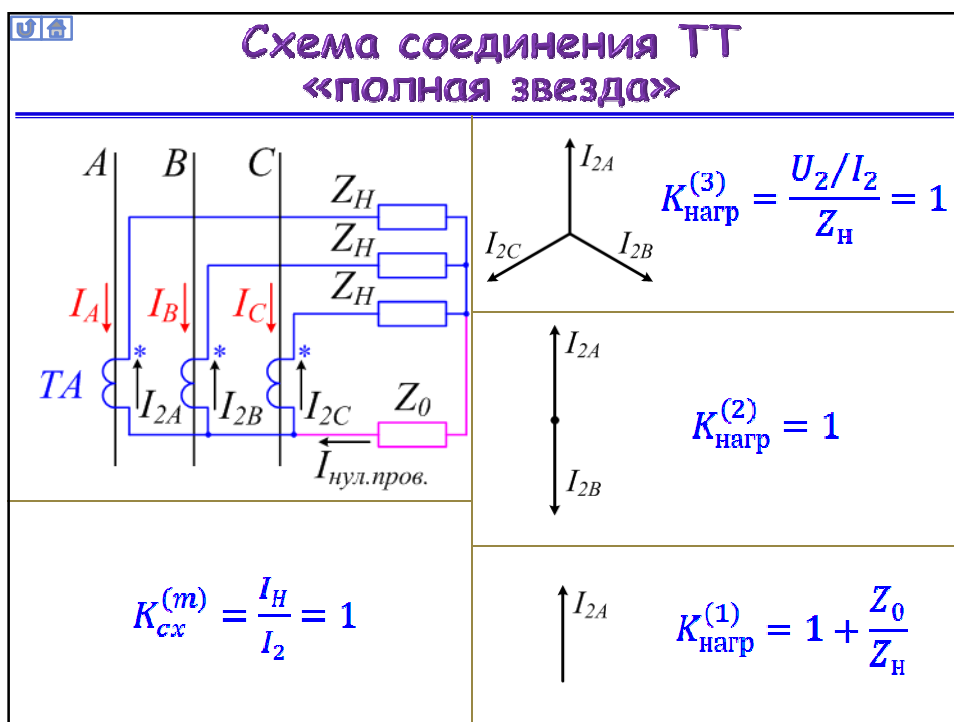
- **схемы соединения ТТ;**
- **вида КЗ;**
- **сочетания поврежденных фаз.**

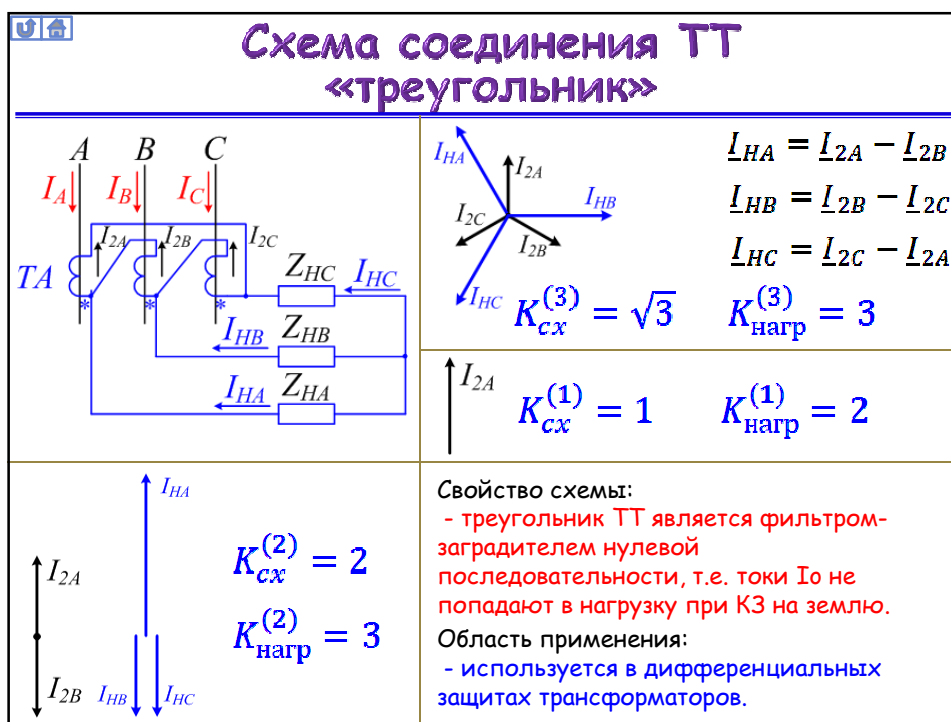
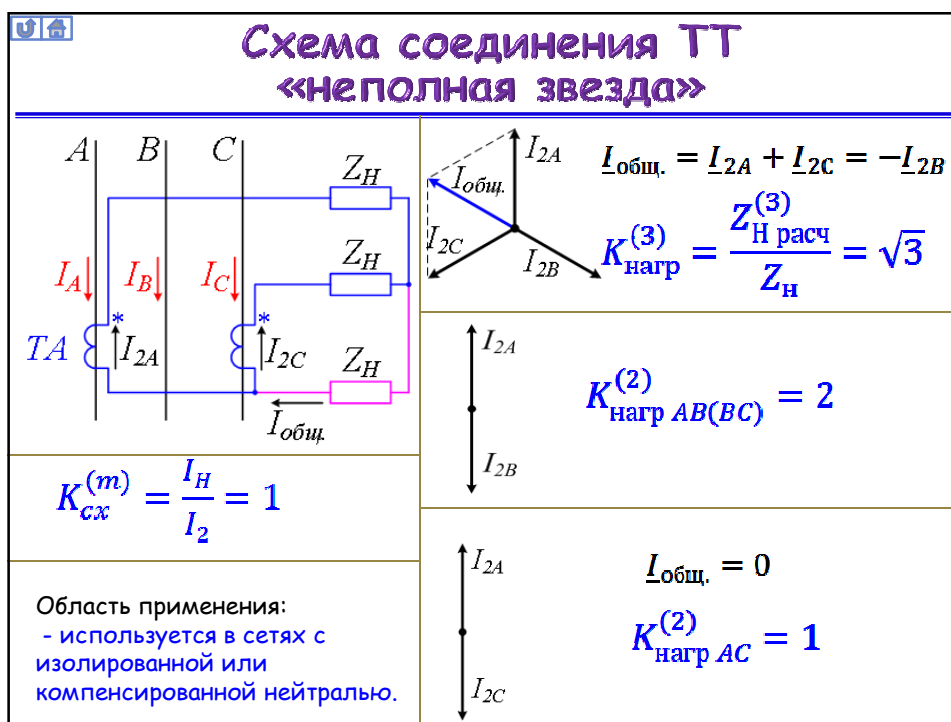
Различают 4 схемы соединения ТТ:

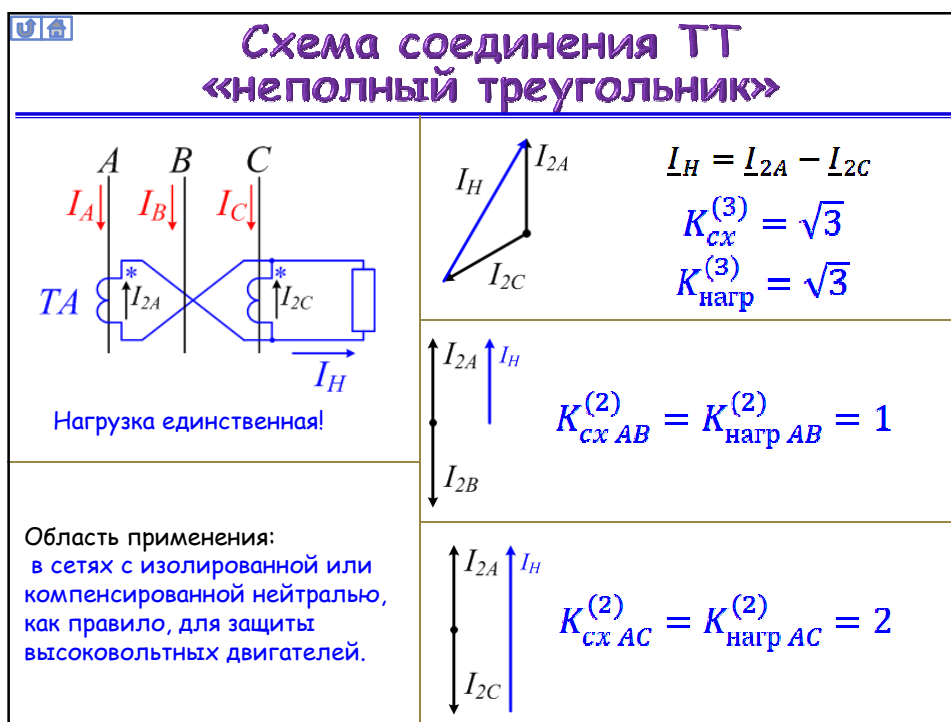
- **полная звезда** (нагрузка соединяется в полную звезду);
- **неполная звезда** (нагрузка соединяется в полную/неполную звезду);
- **треугольник** (нагрузка соединяется в полную/неполную звезду);
- **неполный треугольник.**

Каждая схема соединения ТТ характеризуется следующими параметрами:

$$K_{\text{сх}}^{(m)} = \frac{I_H}{I_2} \quad K_{\text{нагр}}^{(m)} = \frac{Z_{\text{н расч}}}{Z_H}$$





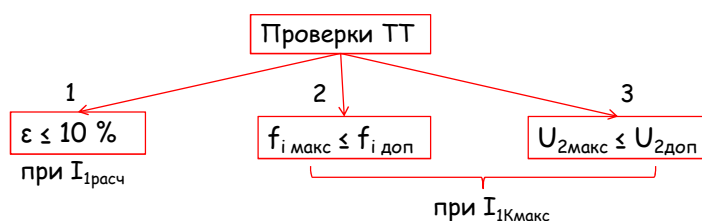




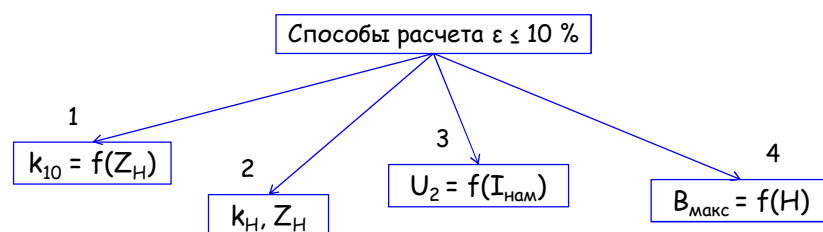
Выбор ТТ для релейной защиты

В соответствии с ПУЭ ТТ для РЗ должны обеспечивать:

1. точную работу измерительных органов РЗ при КЗ в расчетной точке в установившемся режиме, для чего полная погрешность ТТ не должна превышать 10% в рассматриваемом случае;
2. надежную (без вибрации контактов) работу измерительных органов защиты при близких к месту установки ТТ КЗ, когда возможны повышенные погрешности ТТ и искажение формы кривой вторичного тока;
3. отсутствие опасных перенапряжений на зажимах вторичной обмотки ТТ при максимальных токах КЗ (см. п.2).



Выбор ТТ для релейной защиты



1. по кривым предельной кратности (КПК);
2. по паспортным данным ТТ;
3. по действительным ВАХ, полученным для ТТ при его проверке;
4. По типовой кривой намагничивания (КН) электротехнической стали, которая применяется для изготовления ТТ.



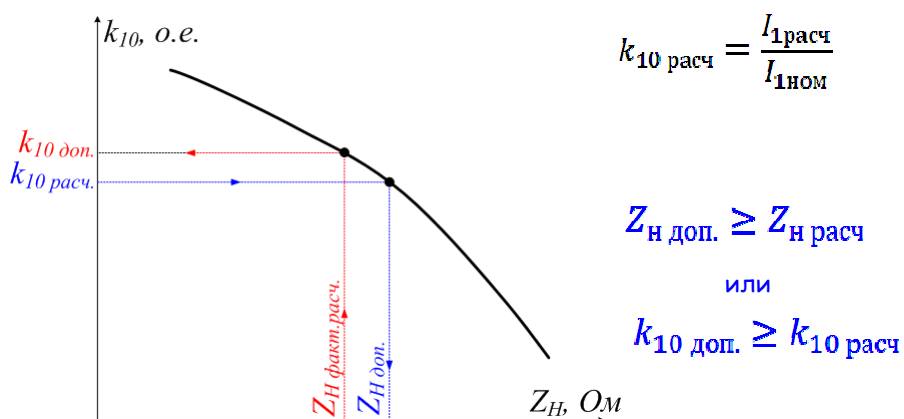
Определение расчетного тока $I_{расч}$

$I_{расч}$ для разных типов защит имеет различные значения:

- ✓ для токовой отсечки и максимальной токовой защиты с независимой характеристикой $I_{расч} = 1,1 \cdot I_{с.з.}$;
- ✓ для продольных дифференциальных защит (трансформаторов, генераторов, шин, линий) $I_{расч}$ принимается наибольшему его значению при КЗ вне зоны действия защиты;
- ✓ для направленных токовых и дистанционных защит $I_{расч}$ определяется при КЗ в конце зоны действия первой ступени защиты. Если согласование защит смежных элементов с первой ступенью данной защиты не производится, то расчетная точка КЗ может приниматься в конце зоны действия 2-й ступени.



Проверка ТТ по кривым предельной кратности



Проверка ТТ по паспортным данным

Необходимые данные:

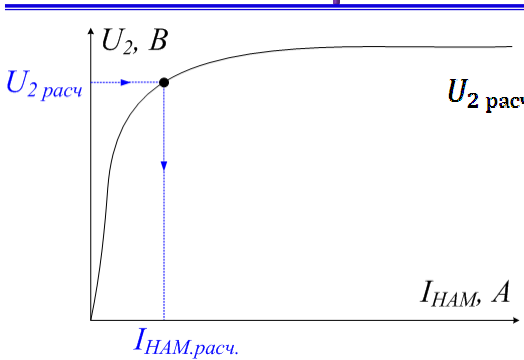
- ✓ Номинальная кратность тока $k_{НОМ}$ ($m_{НОМ}$ или $n_{НОМ}$), при которой допускается сопротивление нагрузки $Z_{НОМ}$ и обеспечивается работа ТТ с погрешностью, меньше 10 %;
- ✓ $Z_{Н.ФАКТ.РАСЧ.}$;
- ✓ Полное сопротивление вторичной обмотки ТТ Z_2 .

$$k_{10 \text{ доп.}} = k_{НОМ} \frac{Z_2 + Z_{НОМ}}{Z_2 + Z_{Н.ФАКТ.РАСЧ.}} \Rightarrow k_{10 \text{ доп.}} \geq k_{10 \text{ расч}}$$

Задача:
 Для ТТ типа ТПЛ-10 (обмотка класса «Р», $n_T = 100/5$) известны
 $k_{НОМ} = 13$; $Z_{НОМ} = 0,6 \text{ Ом}$; $Z_2 = 0,22 \text{ Ом}$.
 Для проверяемой защиты известны $Z_{Н.ФАКТ.РАСЧ.} = 0,31 \text{ Ом}$ и $I_{1расч} = 1800 \text{ А}$.

Проверить ТТ на 10%-ую токовую погрешность.

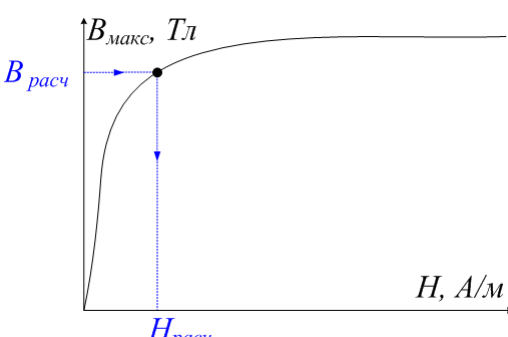
Проверка ТТ по фактической ВАХ



$U_{2 \text{ расч}} = I_{2 \text{ расч}} (Z_2 + Z_{Н.ФАКТ.РАСЧ.})$
 $I_{2 \text{ расч}} = I_{1 \text{ расч}} / n_T$
 $I_{НАМ. \text{ доп.}} = 0,1 I_{2 \text{ расч}}$
 $I_{НАМ. \text{ расч.}} \leq I_{НАМ. \text{ доп.}}$

$$\varepsilon = \frac{I_{НАМ. \text{ расч.}}}{I_{2 \text{ расч}}} \cdot 100 \leq 10 \%$$

Проверка ТТ по типовой кривой намагничивания



$$B_{\text{расч}} = \frac{U_{2\text{расч}}}{4.44 \cdot f \cdot W_2 \cdot \Omega}$$

$$I_{\text{НАМ.расч.}} = \frac{H_{\text{расч}} \cdot L_{\text{CP}}}{W_2}$$

$$\varepsilon = \frac{I_{\text{НАМ.расч.}}}{I_{2\text{расч}}} \cdot 100 \leq 10 \%$$

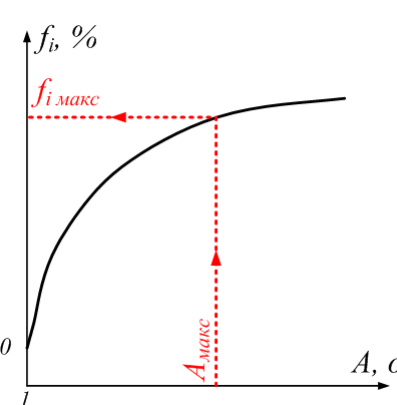
Необходимы доп. данные:

- ✓ Ω - сечение магнитопровода, м²;
- ✓ W_2 - число витков вторичной обмотки ТТ;
- ✓ L_{CP} - длина средней линии магнитопровода, м.

Проверка ТТ по условию 2-му условию

Условие будет выполнено, если: $f_{i \text{ доп}} \geq f_{i \text{ макс}}$

	Тип реле	$f_{i \text{ доп}}$
Реле тока	РТ-40	50
	РТ-80	50
	Статические реле РСТ	80
Реле сопротивления всех типов		50
Реле направления мощности	РБМ-171, 172	30
	РБМ-177, 178	20
	Статические реле РМ	50



$$A_{\text{макс}} = \frac{k_{\text{макс}}}{k_{10 \text{ доп}}}, \text{ где } k_{\text{макс}} = \frac{I_{1\text{К макс}}}{I_{1\text{ном}}}$$



Проверка ТТ на допустимый уровень напряжения

Условие будет выполнено, если: $U_{2 \text{ макс}} \leq U_{2 \text{ доп}}$

$$U_{2 \text{ макс}} = k_{\text{макс}} \cdot I_{2 \text{ ном}} \cdot Z_{\text{н.факт.расч.}}$$

Источники оперативного тока

Оперативный ток -

ток, при помощи которого производится управление первичной коммутационной аппаратурой (выключателями, отделителями, короткозамыкателями), а также питание цепей РЗА, сигнализации и других цепей.

Источники оперативного тока должны обеспечивать надёжное действие РЗ даже при КЗ на элементах защищаемой установки при просадке напряжения до нуля.

Виды оперативного тока

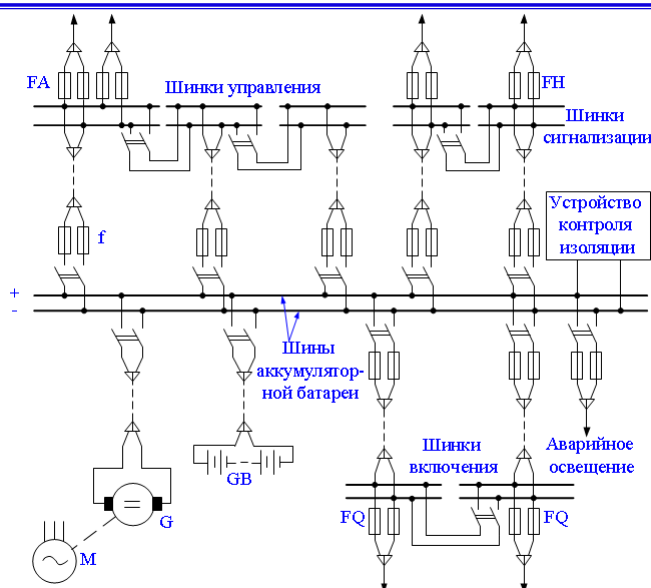
Переменный оперативный ток

Постоянный оперативный ток

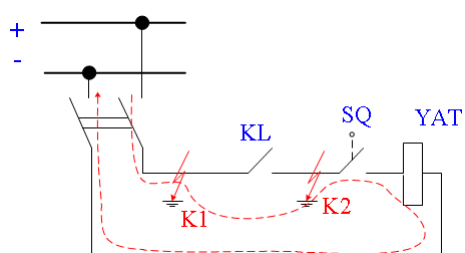
Выпрямленный оперативный ток



Постоянный оперативный ток



Постоянный оперативный ток



Чтобы предупредить подобные отключения, считается обязательной установка устройства контроля изоляции, действующего на сигнал при замыкании в одной точке.

Преимущества АКБ:

- ✓ Надежные источники питания, работа которых не зависит от состояния основной системы.
- ✓ Имеется возможность снять любую требуемую мощность.

Недостатки АКБ:

- ✓ Они значительно дороже других источников питания.
- ✓ Требуют специального отапливаемого и вентилируемого помещения.
- ✓ Требуют квалифицированного обслуживания.
- ✓ Централизация питания приводит к сложной, протяженной, дорогостоящей сети постоянного тока, которая сама должна иметь защиту.

Постоянный оперативный ток

Область применения постоянного оперативного тока с АКБ:

- ✓ на электрических станциях (обычно 2 АКБ);
- ✓ на подстанциях с высшим напряжением 110-750 кВ (1 АКБ).



Переменный оперативный ток

Источники переменного тока

ТТ



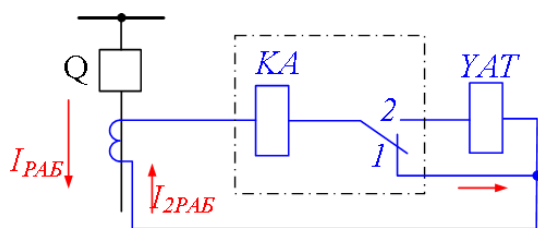
ТН



ТСН



Питание оперативных цепей с использованием ТТ

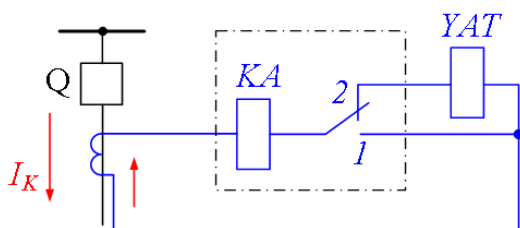


Преимущества:

✓ Относительная простота.

Недостатки:

✓ Приваривание контакта может привести к отказу защиты, а его разрушение - к повреждению ТТ.

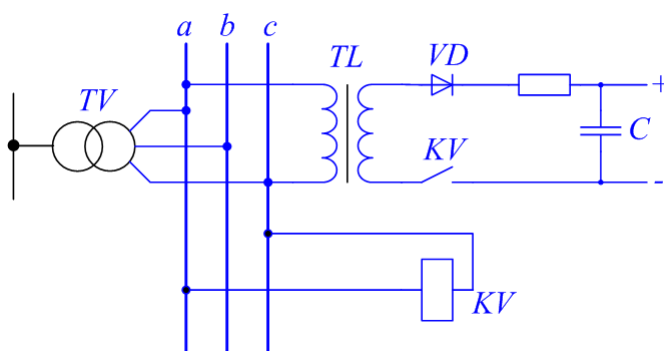


Область применения:

✓ На подстанциях до 35 кВ с использованием выключателей с пружинным приводом.

✓ На подстанциях 110-220 кВ с короткозамыкателями и отделителями

Питание оперативных цепей с использованием конденсаторов



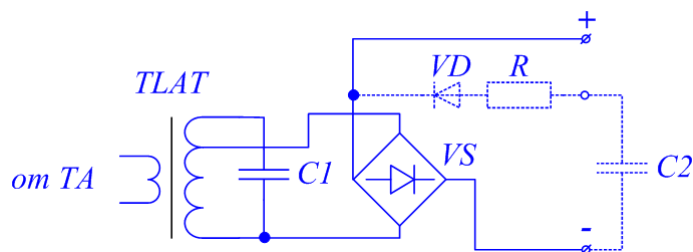
TL - промежуточный трансформатор;

C - блок конденсаторов;

R - токоограничивающий резистор;

VD - выпрямитель.

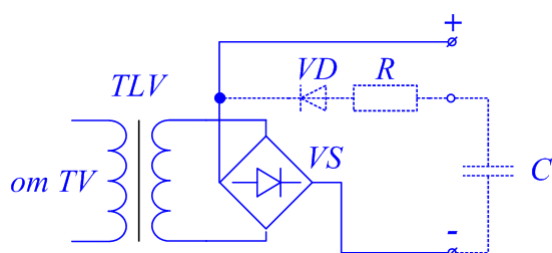
Блоки питания. БПТ



TLAT - промежуточный
насыщающийся трансформатор тока



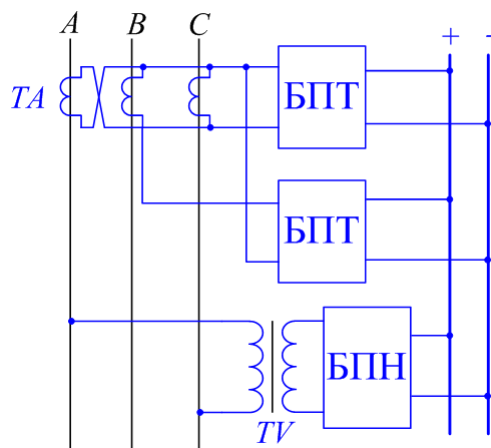
Блоки питания. БПН



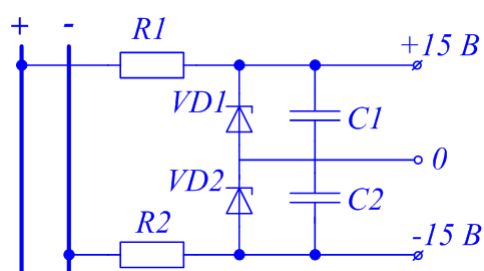
TLAT - промежуточный
трансформатор напряжения



Схема комбинированного БП



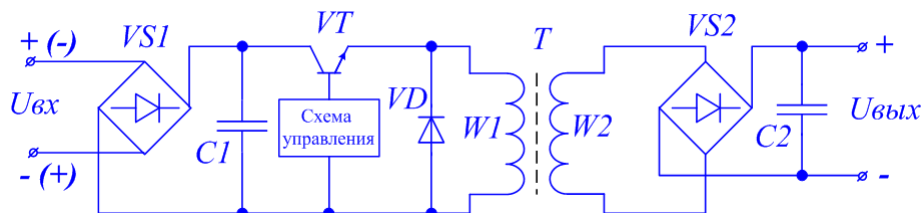
Питание отдельных реле, выполненных на интегральных микросхемах



Недостатки:

- ✓ относительно большое постоянное потребление мощности, которая в основном рассеивается на резисторах R1, R2.
- ✓ Конденсаторы C1 и C2 защищают от высокочастотных составляющих, но плохо.

Источники оперативного тока для защит на полупроводниковой элементной базе



VS1 – выпрямитель (защита инвертора от перепутывания полярности $U_{вх}$);

C1 – конденсатор (защита от высокочастотных помех);

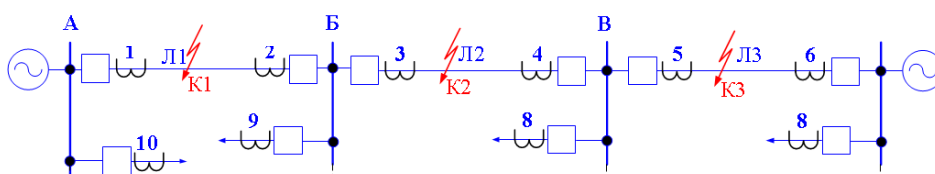
VT – одноктактный инвертор (преобразование постоянного напряжения в переменное);

VD – диод (защита воздушного трансформатора T от перенапряжений);

VS2 – выпрямитель;

C2 – конденсатор (сглаживает выходной сигнал).

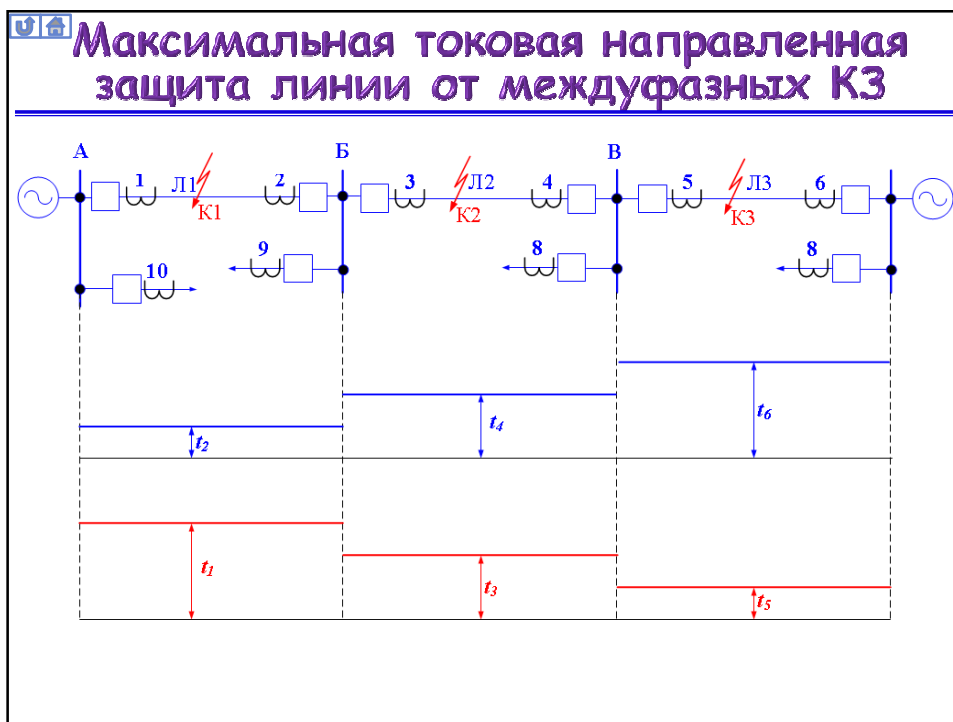
Максимальная токовая направленная защита линии от междуфазных КЗ



- $K1: t_2 < t_3$
 $K2: t_3 < t_2$
1. Одновременность выполнения условий невозможна
 2. Селективность невозможна

Направленная защита – это защита, которая реагирует не только на величину тока, но и на фазу этого тока по отношению к напряжению на шинах подстанции, где стоит эта защита.

1. Защита должна устанавливаться с обеих сторон и действовать на отключение при КЗ, если мощность направлена от шин в линию.
2. Выдержки времени РЗ, работающих в одном направлении, должны согласовываться по ступенчатому принципу, нарастая к источнику питания.



Максимальная токовая направленная защита линии от междуфазных КЗ

- ✓ Защиту следует выполнять направленной только в том случае, если невозможно обеспечить селективность её действия при направлении мощности КЗ к шинам подстанции, где стоит защита.
- ✓ Защита с меньшей выдержкой времени должна быть направленной.

Структурная схема

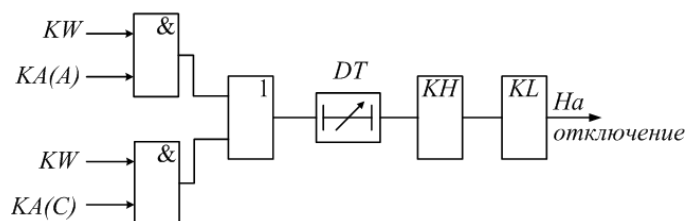
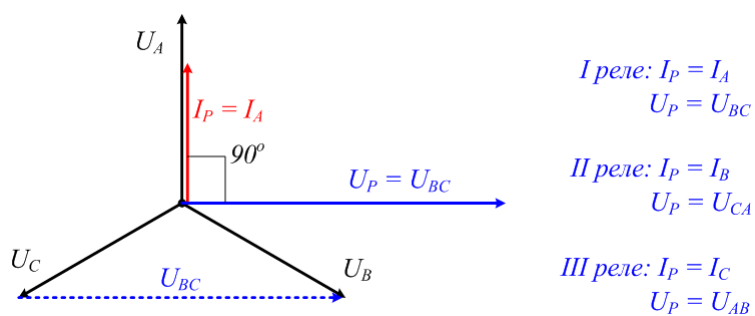


Схема включения органа направления мощности

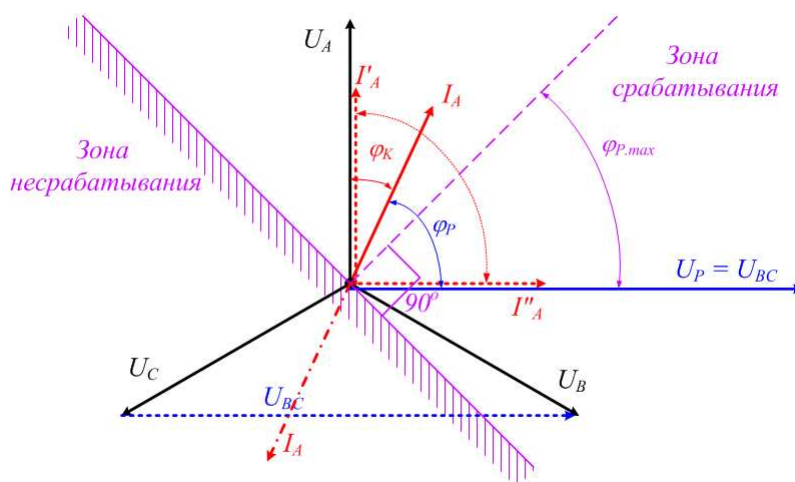
Под **схемой включения ОНМ** понимают определённое сочетание подводимых к нему фаз тока и напряжения

- ✓ Это сочетание должно быть таким, чтобы орган четко срабатывал при КЗ, направленном от шин и не срабатывал при направлении мощности КЗ к шинам.
- ✓ К органу должна подводиться наибольшая мощность в этом режиме КЗ.

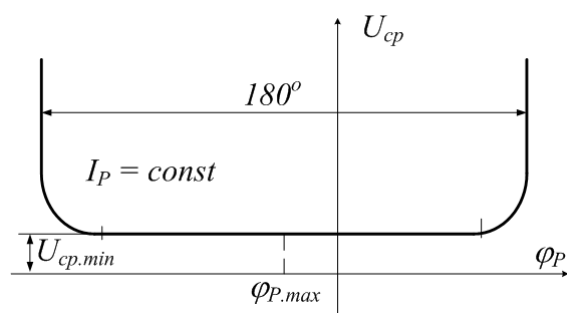
90-градусная схема включения ОНМ



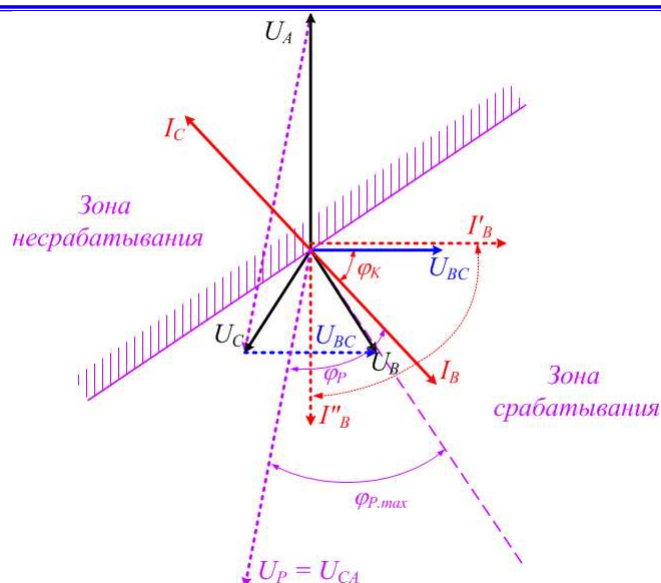
90-градусная схема включения ОНМ (работа при трёхфазном КЗ)



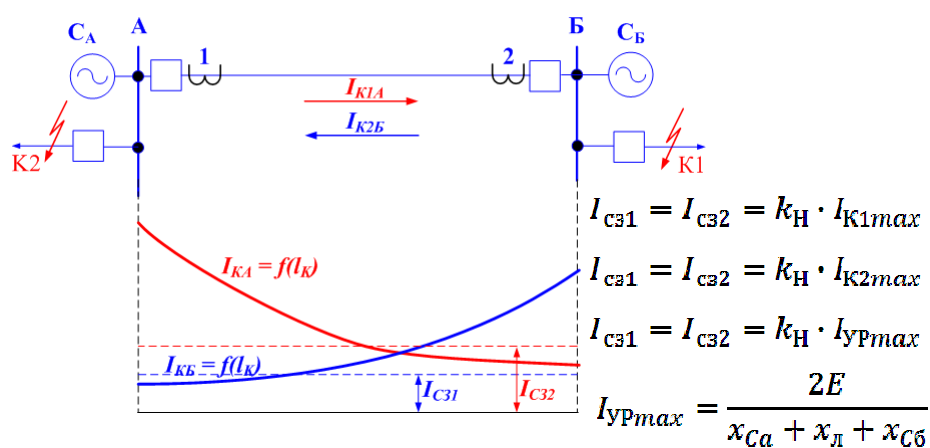
Угловая характеристика реального ОНМ



90-градусная схема включения ОНМ (работа при двухфазном КЗ между В и С)



МТО на линиях с двухсторонним питанием





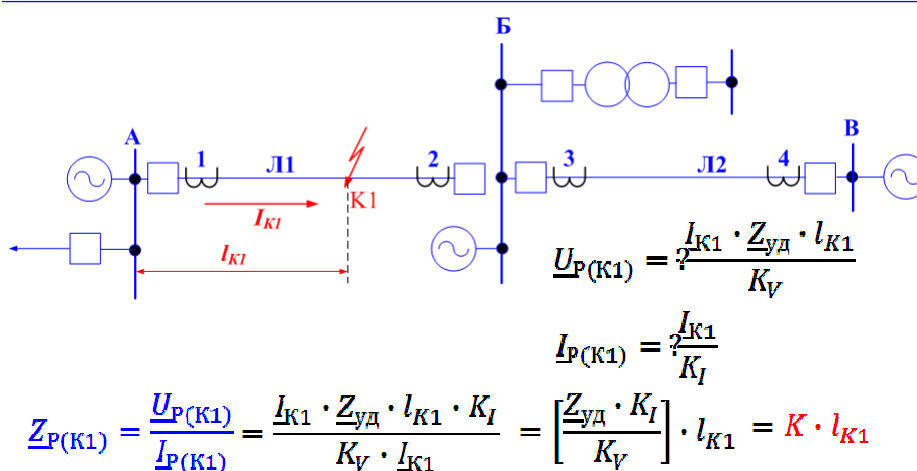
Дистанционная защита линии

Дистанционной называют защиту, время срабатывания которой автоматически меняется с изменением расстояния от места установки защиты до точки КЗ.

В качестве меры дистанции выбрана величина сопротивления на зажимах дистанционного органа (реле сопротивления).

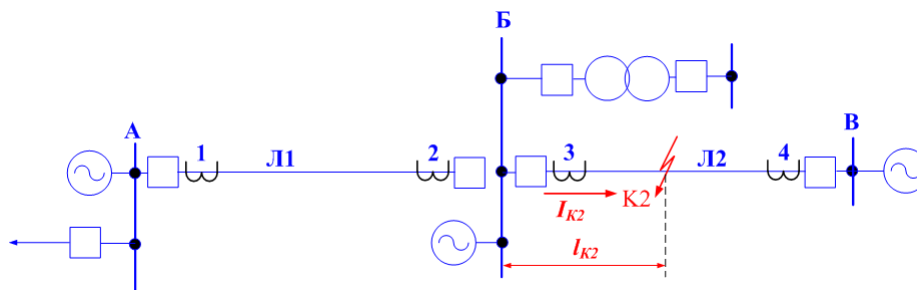
$$\underline{Z}_P = \frac{U_P}{I_P}$$

Дистанционная защита линии



! Независимо от режима работы системы, вида КЗ, сопротивление на зажимах реле строго пропорционально расстоянию от места КЗ до установки реле.

Дистанционная защита линии



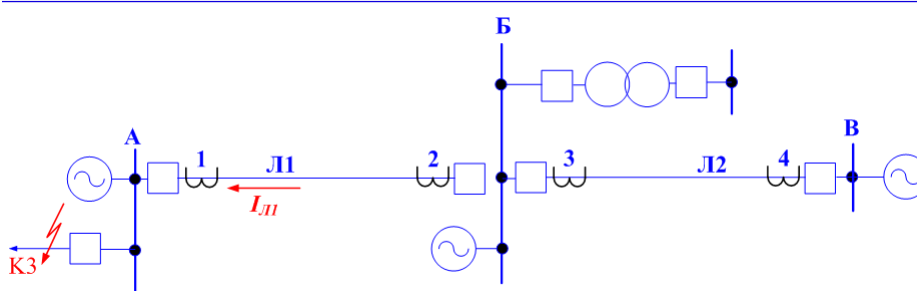
$$\underline{U}_{P(K2)} = \underline{I}_{L1} \cdot \underline{Z}_{L1} + \underline{I}_{K2} \cdot \underline{Z}_{K2} \quad \underline{I}_{P(K2)} = \underline{I}_{L1}$$

$$\underline{Z}_{P(K2)} = \frac{\underline{U}_{P(K2)}}{\underline{I}_{P(K2)}} = \frac{\underline{I}_{L1} \cdot \underline{Z}_{L1} + \underline{I}_{K2} \cdot \underline{Z}_{K2}}{\underline{I}_{L1}} = \underline{Z}_{L1} + \frac{\underline{I}_{K2}}{\underline{I}_{L1}} \underline{Z}_{K2} = \underline{Z}_{L1} + \frac{\underline{Z}_{K2}}{\underline{K}_T}$$

$\underline{I}_{K2} > \underline{I}_{L1}$, т.к. подпитка точки КЗ осуществляется как от источника А, так и от Б.

$$\underline{K}_T = \frac{\underline{I}_{L1}}{\underline{I}_{K2}} \text{ коэффициент токораспределения}$$

Дистанционная защита линии

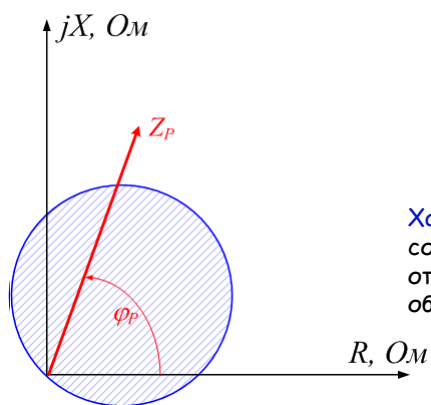


при КЗ вблизи шин А $\underline{Z}_{P(K3)} \rightarrow 0$

На линиях с двухсторонним питанием дистанционные защиты должны быть направленными

Реле сопротивления

Сопротивление на зажимах реле – величина комплексная, поэтому при анализе его работы используется комплексная плоскость.



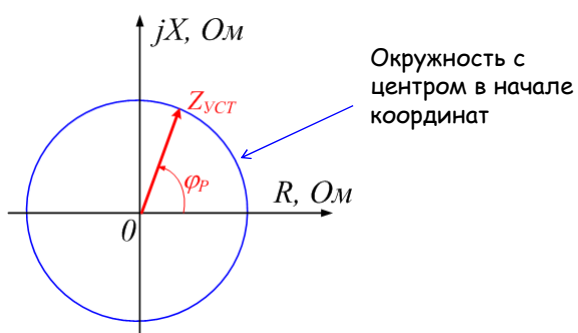
Z_P характеризуется:

$$1. |Z_P| = \frac{|U_P|}{|I_P|}$$

$$2. \arg Z_P = \varphi_P$$

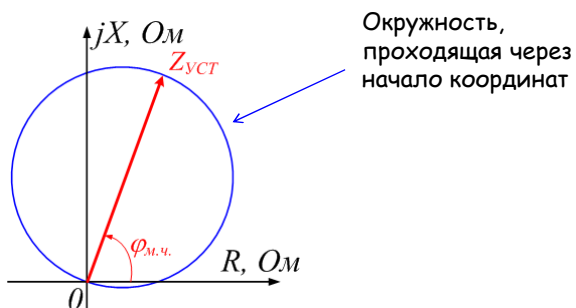
Характеристика срабатывания реле сопротивления – это кривая, отделяющая область срабатывания от области несрабатывания

Характеристика срабатывания ненаправленного реле сопротивления



Поведение реле зависит только от модуля сопротивления замера и не зависит от угла φ_P .

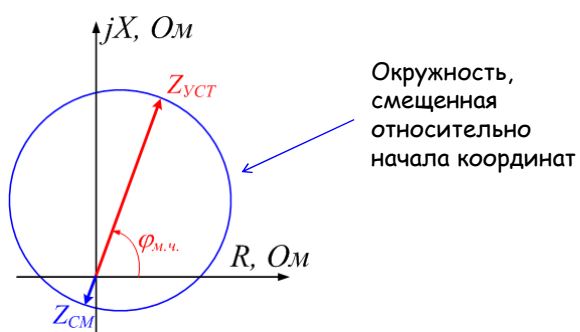
Характеристика срабатывания направленного реле сопротивления



Поведение реле зависит как от модуля сопротивления замера, так и от угла φ_p .

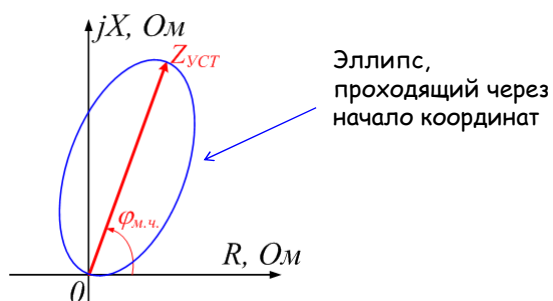
$\varphi_{м.ч.}$ - угол максимальной чувствительности (угол, при котором сопротивление срабатывания реле равно наибольшему сопротивлению, т.е. $Z_{уст}$).

Характеристика срабатывания направленного реле сопротивления



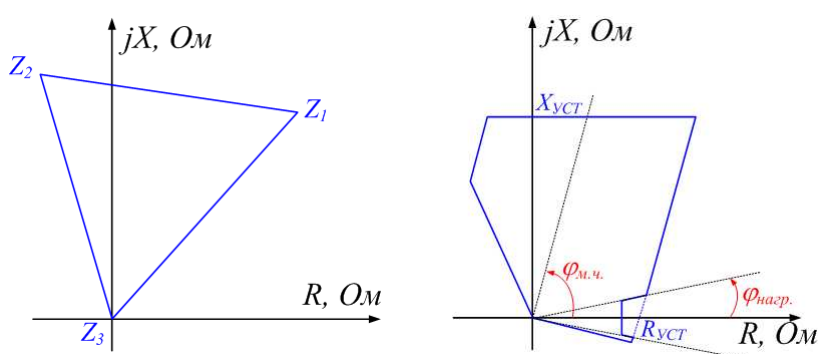
Применяется в качестве резервной защиты генератора от междуфазных КЗ

Характеристика срабатывания направленного реле сопротивления



Может использоваться в третьих ступенях защит для улучшения отстройки от рабочих режимов и повышения чувствительности

Характеристика срабатывания направленного реле сопротивления в виде многоугольника



Наиболее современные тип характеристик, который используется в микропроцессорных устройствах защиты. Данные характеристики в большей мере совпадают с областью расположения сопротивления реле в зоне действия защиты.

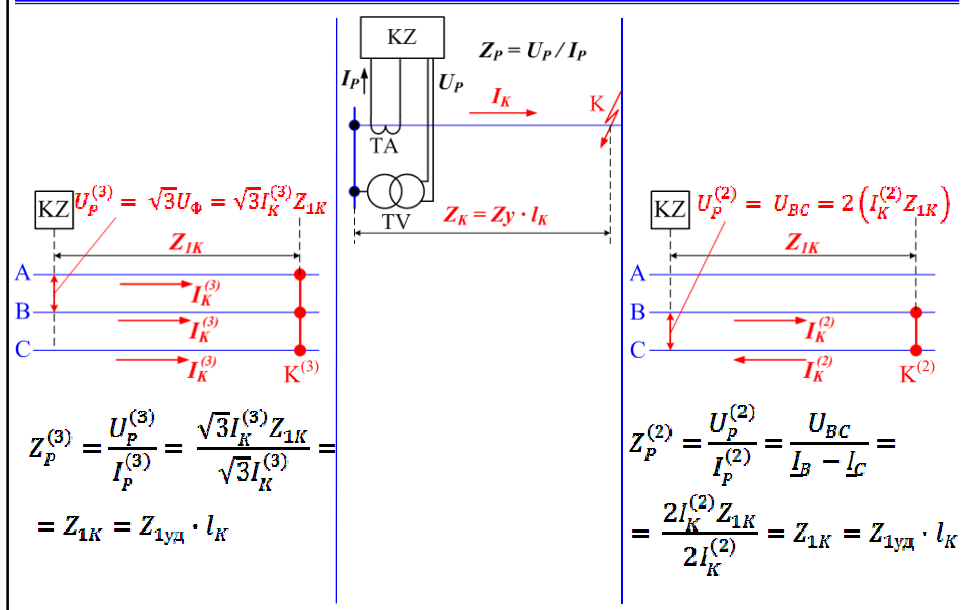
Реле сопротивления. Схема включения

Критерий: **независимость зоны защиты от вида КЗ.**

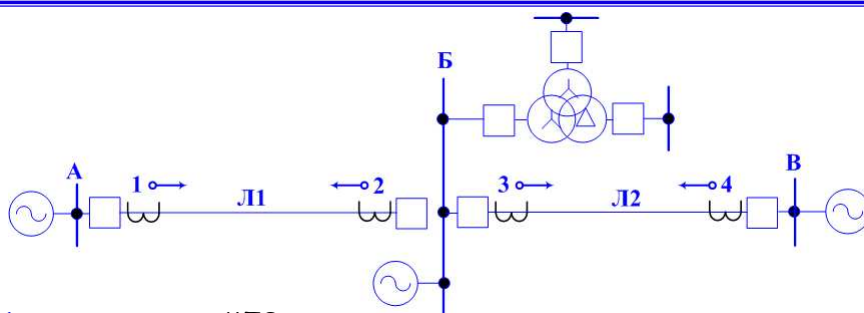
U_P	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}
I_P	$I_A - I_B$	$I_B - I_C$	$I_C - I_A$

При таком способе включения зона действия не будет зависеть от вида КЗ [(3), (2), (1,1)].

Реле сопротивления. Схема включения



Расчет уставок дистанционной защиты. 1 степень



1 степень - аналог МТО.

Селективность ступени обеспечивается ограничением её зоны действия.

Например для защиты 1:
$$\begin{cases} Z_{сз1}^I < Z_{Л1} \Rightarrow Z_{сз1}^I = K_H \cdot Z_{Л1}, \text{ где } K_H = 0,85 \div 0,87 \\ t_{сз1}^I \approx 0 \end{cases}$$

Влияние погрешности ТТ на замер реле сопротивления

$$\underline{Z}_p = \frac{\underline{U}_p}{\underline{I}_p}$$

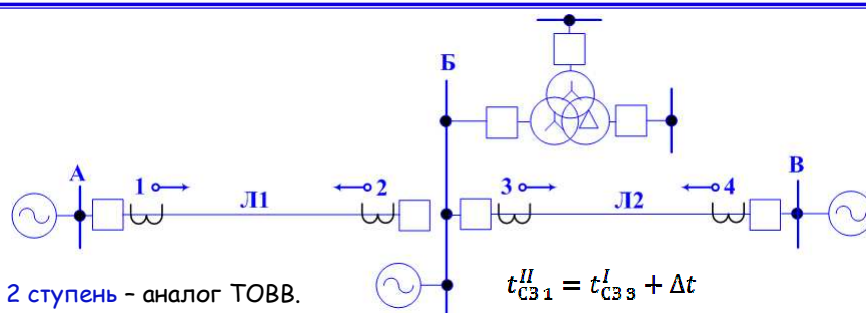
- Уменьшает ток в реле.

- Увеличивает сопротивление на зажимах реле.

- Сокращает зону действия реле.

Поэтому, если не учитывать эту погрешность в коэффициенте надежности, то это не приведет к нарушению селективности.

Расчет уставок дистанционной защиты. 2 степень



$$1) Z_{CЗ1}^{II} = K_H \cdot \left[Z_{Л1} + \frac{0,9 \cdot Z_{CЗ3}^I}{K_{Tmax}} \right]$$

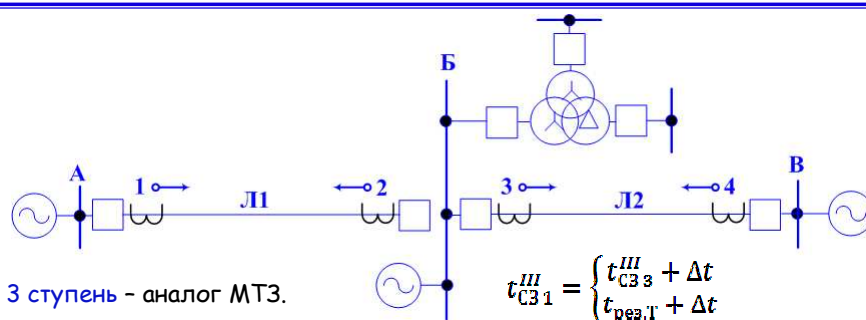
Принимаем K_{Tmax} , т.к. защита минимального действия

$$K_T = \frac{I_{Л1}}{I_{Л2}}$$

$$2) Z_{CЗ1}^{II} = K_H \cdot \left[Z_{Л1} + \frac{Z_{Tmin}}{K_{Tmax}} \right]$$

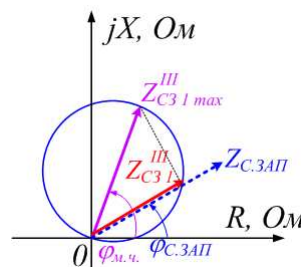
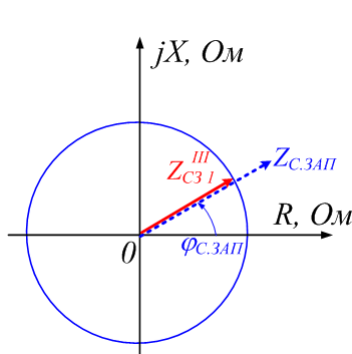
$$K_{Ч1}^{II} = \frac{Z_{CЗ1}^{II}}{Z_{Л1}} \geq 1,25$$

Расчет уставок дистанционной защиты. 3 степень



$$\left. \begin{array}{l} Z_{возв.1}^{III} < Z_{с.з.ап.} \\ Z_{с.з.ап.} = \frac{0,9 \cdot U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot K_{с.з.ап.} \cdot I_{РАВ.мах}} \end{array} \right\} \Rightarrow Z_{CЗ1}^{III} = \frac{0,9 \cdot U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot K_{с.з.ап.} \cdot I_{РАВ.мах} \cdot K_H \cdot K_B}$$

Расчет уставок дистанционной защиты. 3 степень



$$Z_{C3 1 max}^{III} = \frac{Z_{C3 1}^{III}}{\cos(\varphi_{M.ч.} - \varphi_{C3 AP})}$$

$$Z_{C3 1}^{III} = \frac{0,9 \cdot U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot K_{C3 AP} \cdot I_{РАБ. max} \cdot K_H \cdot K_B}$$



Токовая защита линий от КЗ на землю

Область применения:

- используется в сетях с глухозаземлённой нейтралью.

Зачем создавать ещё одну токовую защиту?

- В сетях с глухозаземлённой нейтралью принято выполнять отдельные защиты от междуфазных КЗ и от КЗ на землю.
- Защита от КЗ на землю на линии намного проще и дешевле, чем защита от междуфазных КЗ.
- Резервные защиты от КЗ на землю много чувствительнее и имеют меньшие выдержки времени, чем защиты от междуфазных КЗ.

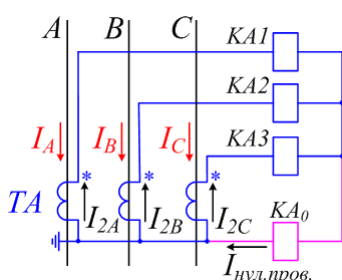


Токовая защита линий от КЗ на землю

Защиты выполняются, как правило, ступенчатыми:

- двухступенчатые: МТО и МТЗ (на тупиковых линиях).
- трёхступенчатые: МТО, ТОВВ и МТЗ.
- четырёхступенчатые: МТО, 2хТОВВ и МТЗ (на двухцепных ЛЭП).

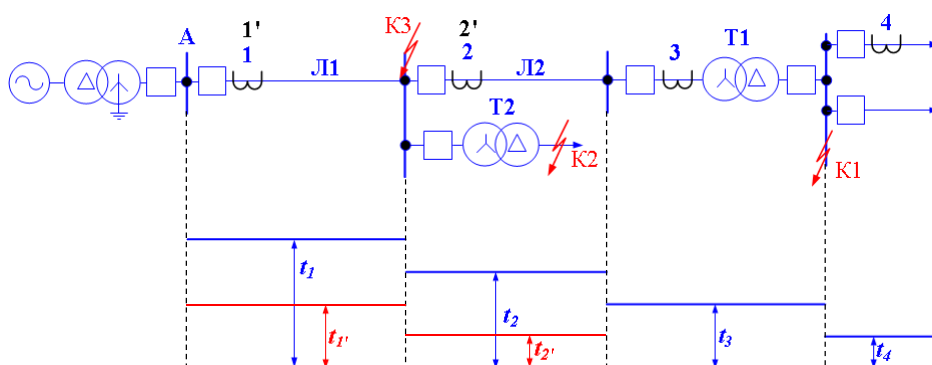
Защиту подключают к фильтру токов нулевой последовательности:



$$\begin{aligned}
 I_{\text{нул.пров.}} &= I_{2A} + I_{2B} + I_{2C} = \\
 &= (I'_{1A} + I'_{1B} + I'_{1C}) - \\
 &\quad - (I'_{\mu A} + I'_{\mu B} + I'_{\mu C}) = \\
 &= 3I'_0 - I_{\text{НБ}}
 \end{aligned}$$



МТЗ нулевой последовательности



При КЗ любого вида за трансформаторами при любом соединении обмоток тока нулевой последовательности в линиях Л1 и Л2 не будет.

Следовательно, МТЗ НП может иметь минимально возможное время срабатывания.



МТЗ нулевой последовательности

1. Возврат реле в режиме самозапуска после отключения внешнего КЗ.

$$I_{сз1}' = \frac{k_H}{k_B} \cdot I_{НБ \text{ сам.зап.}} \quad k_{НБ} - \text{коэффициент небаланса;}$$

$$I_{НБ \text{ сам.зап.}} = k_{НБ} \cdot I_{\text{сам.зап.}} \quad \varepsilon - \text{погрешность ТТ;}$$

$$k_{НБ} = \varepsilon \cdot k_{\text{одн}} \approx 0.05 \quad k_{\text{одн}} - \text{коэффициент однотипности ТТ.}$$

2. Отстройка от тока небаланса в режиме внешнего трёхфазного КЗ в сети с изолированной нейтралью.

$$I_{сз1}' = k_H \cdot I_{НБ(K2)} \quad I_{НБ(K2)} = k_{НБ} \cdot I_{K2}^{(3)} \quad k_{НБ} = 0.05 \div 0.1$$

Здесь расчетным видом повреждения является КЗ⁽³⁾ на стороне НН АТ или трансформатора, ближайшего к линии.

3. Определение коэффициента чувствительности.

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{0 \text{ защ. min}}}{I_{сз}} \quad \begin{aligned} &\geq 1.5 - \text{при КЗ в конце своего участка;} \\ &\geq 1.2 - \text{при КЗ в конце смежной линии} \\ &\quad \text{или на средней стороне АТ.} \end{aligned}$$

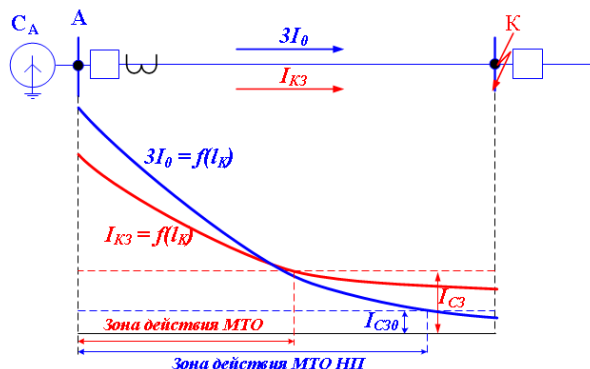


МТО нулевой последовательности (для одноцепных линий)

1. Отстройка от тока $3I_{0 \text{ max}}$, протекающего через защиту при КЗ на шинах противоположной подстанции

$$I_{сз1}' = k_H \cdot 3I_{0 \text{ защ. max}} (K3)$$

Длина защищаемой зоны больше, чем у МТО от междуфазных КЗ за счёт большей крутизны спада тока, т.к. $X_{0Л} > X_{1Л}$.



2. Отстройка от тока $3I_0$, протекающего через защиту в неполнофазном режиме

$$I_{сз1}' = k_H \cdot 3I_{0 \text{ защ. НПФ}} \quad \text{Такой режим возможен, если используются выключатели с пофазным приводом.}$$



ТОВВ нулевой последовательности (для одноцепных линий)

1. Отстройка от тока $3I_{0\max}$, протекающего через защиту при КЗ землю в конце зоны действия I ступени ТЗНП смежного участка

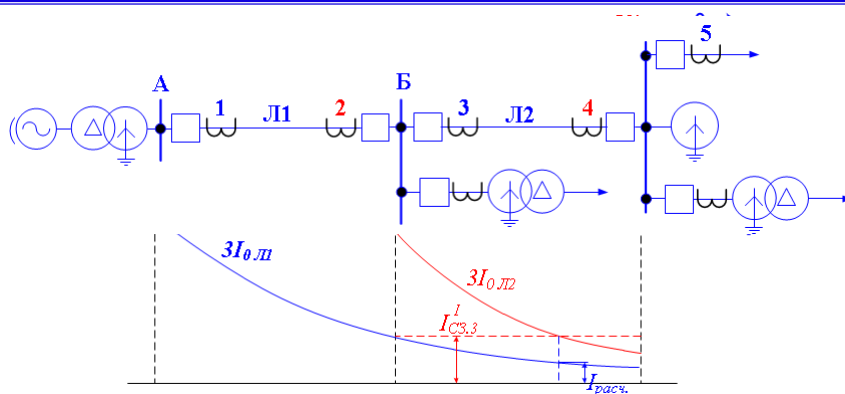
$$I_{сз1}^{II} = k_H \cdot I_{сз2}^I$$

2. Отстройка от тока $3I_0$, протекающего через защиту при КЗ на землю на смежной стороне (с глухозаземлённой нейтралью) АТ, подключенного к шинам противоположной подстанции.

$$I_{сз}^{II} = k_H \cdot 3I_{0 \text{ защ.расч.}}$$



ТЗНП линии с несколькими трансформаторами с заземлённой нейтралью



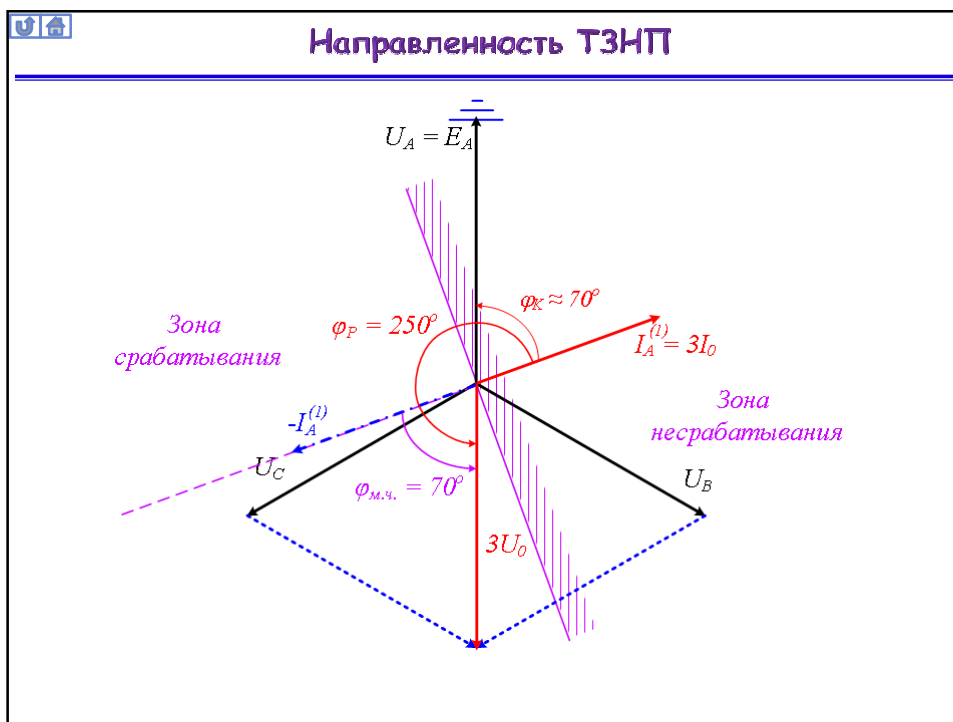
$$I_{сз3}^I = k_H \cdot 3I_{0L2 \max} (K1)$$

~~$$I_{сз1}^{II} = k_H \cdot I_{сз3}^I$$~~

, так как токи $3I_{0L1} \neq 3I_{0L2}$ из-за наличия трансформатора с заземлённой нейтралью.

$$I_{сз1}^{II} = k_H \cdot I_{расч.}$$

$$\frac{I_{расч.}}{I_{сз3}^I} = k_T \Rightarrow I_{сз1}^{II} = k_H \cdot k_T \cdot I_{сз3}^I$$

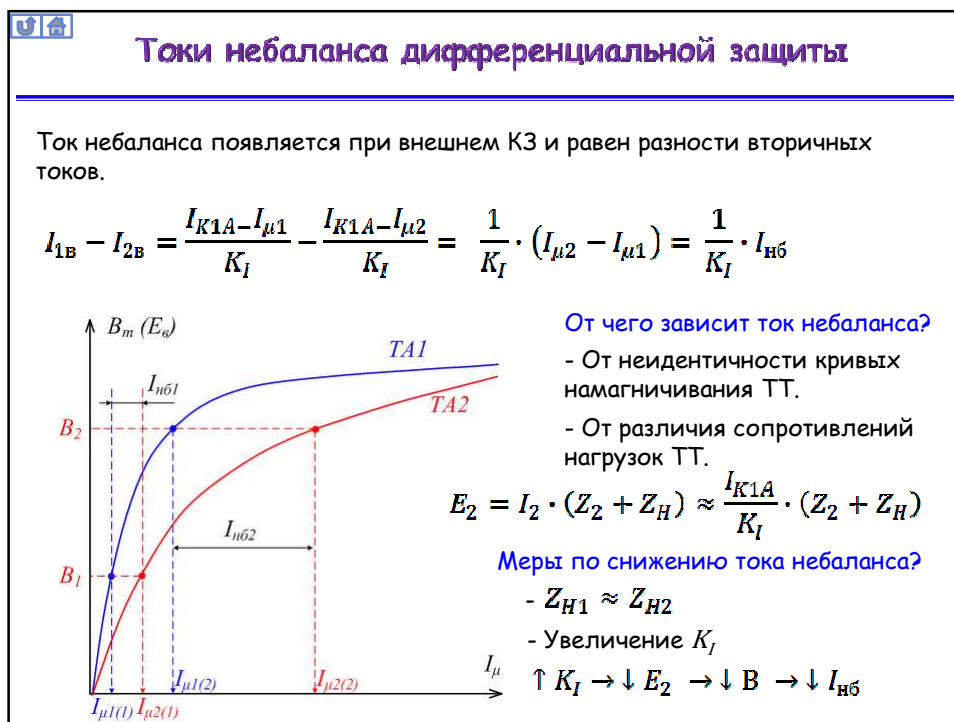
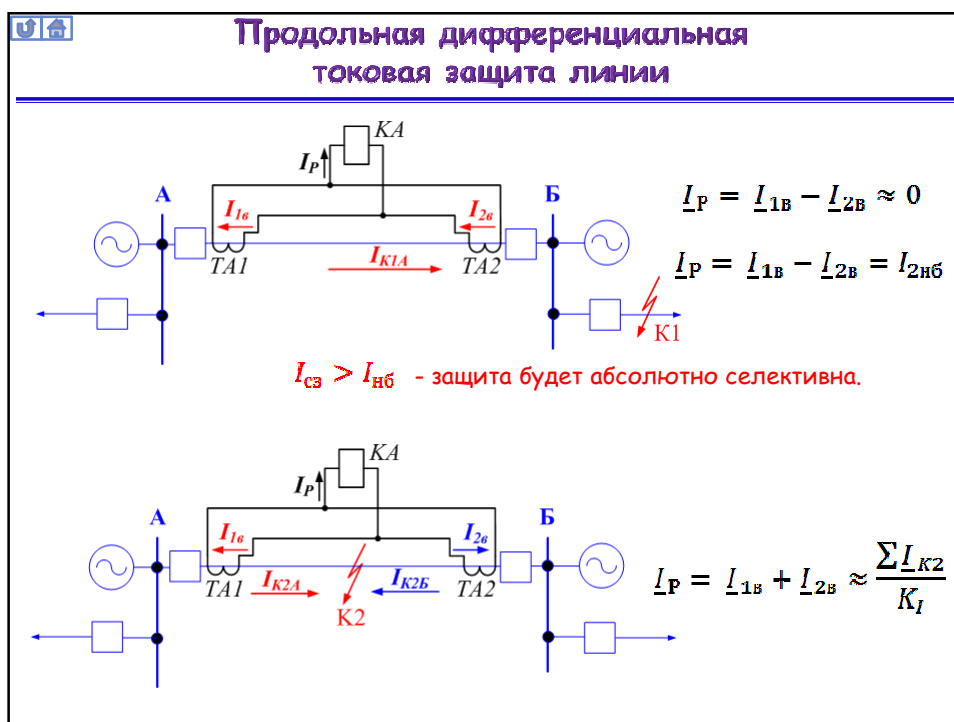


Продольная дифференциальная токовая защита линии

Назначение:
используется для отключения КЗ в пределах всей защищаемой линии без выдержки времени.

Область применения:
устанавливается на одиночных линиях небольшой протяженностью (12-15 км).

Принцип действия:
основан на непосредственном сравнении токов по величине и фазе на концах защищаемой линии.

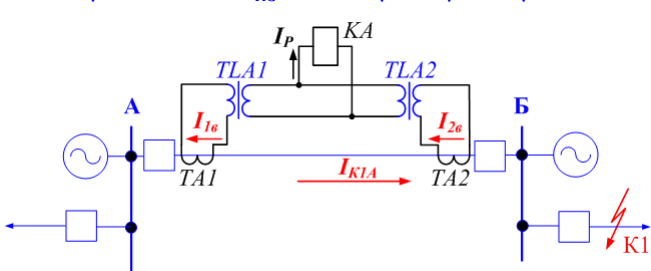


Особенности выполнения продольной дифференциальной токовой защиты линии

1. ТТ, установленные по концам защищаемой ЛЭП, находятся на значительном расстоянии, поэтому сопротивление канала связи R_{KC} во много раз превышает допустимую нагрузку на ТТ.

Пример:
 Для ВЛ 10 км с медным соединительным проводом сечением $1,5 \text{ мм}^2$, $R_{KC} = 130 \text{ Ом}$, а $Z_{\text{нагр. доп.}} = 1...3 \text{ Ом}$.

Для уменьшения R_{KC} используют промежуточные ТТ.

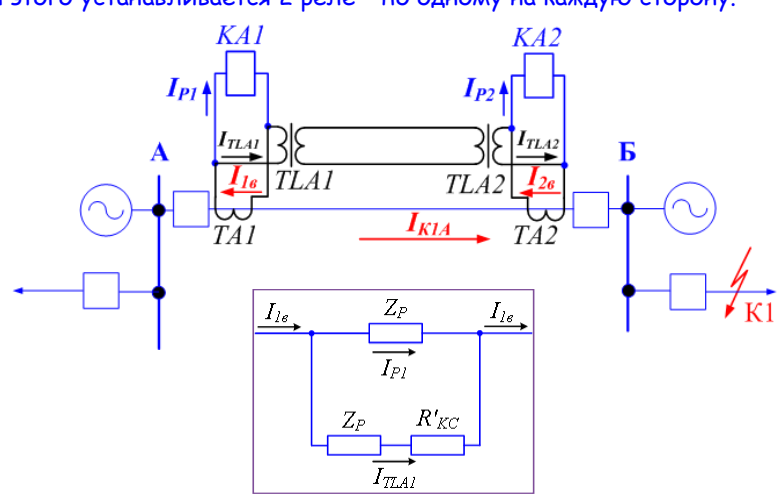


$$R'_{KC} = \frac{R_{KC}}{K_{TLA}^2}$$

Особенности выполнения продольной дифференциальной токовой защиты линии

2. Дифференциальная защита должна воздействовать на отключение выключателей по обоим концам защищаемой ЛЭП.

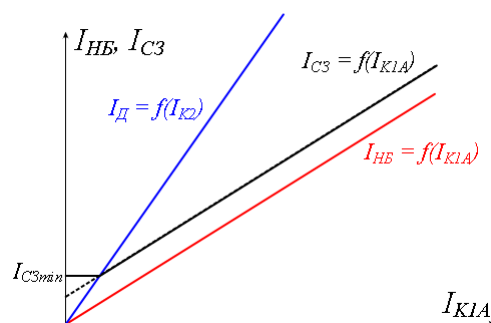
Для этого устанавливается 2 реле - по одному на каждую сторону.



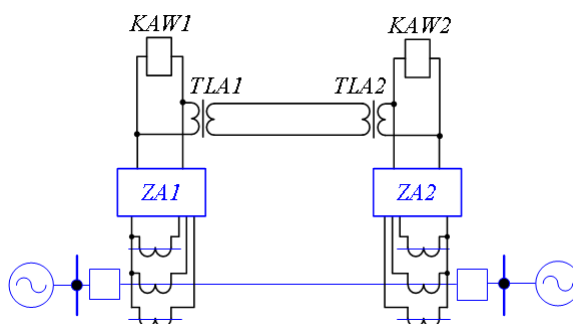
The inset circuit diagram shows a current I_{1g} entering a node, which splits into I_{P1} through impedance Z_P and I_{TLA1} through the equivalent channel resistance R'_{KC} . The current I_{TLA1} then splits again into I_{1g} and I_{P1} at the other end.



Дифференциальные защиты с торможением



Особенности выполнения продольной дифференциальной токовой защиты линии



Для реализации дифференциальной защиты в односистемном виде используют фильтры симметричных составляющих ЗА (ФТПП + ФТОП)



Выводы по дифференциальной защите линии

Преимущества:

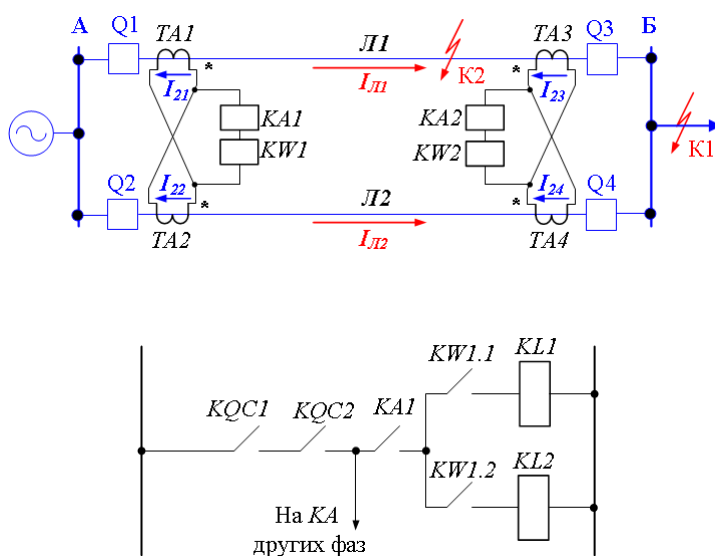
- 1) быстрое действие – работает без выдержки времени;
- 2) защищает всю линию;
- 3) Реагирует на все виды КЗ.

Недостатки:

- 1) дорогая – дорогой канал связи (длина КС равна длине линии);
- 2) Может быть использована только на коротких одиночных линиях (не более 12...15 км).



Проперечная дифференциальная токовая направленная защита линии





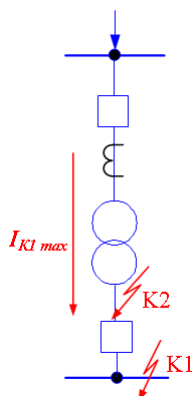
Защита трансформаторов

- Защита от междупазных КЗ в обмотках и на выводах.
- Защита от витковых замыканий.
- Защита от понижения уровня масла в баке трансформаторам.
- Защита от сверхтоков, обусловленных внешними КЗ (резервная защита).
- Защита от сверхтоков перегрузки.
- Устройство контроля состояния изоляции.



Защита трансформатора от междупазных КЗ

На **маломощных трансформаторах** в качестве защиты от междупазных КЗ используют МТО, установленную со стороны источника питания.



$$I_{сз} = k_H \cdot I_{K1 \max} \quad k_H = 1,25 \dots 1,5$$

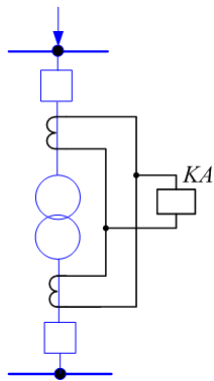
$$I_{сз} = k_H \cdot I_{НОМ} \quad k_H = 3 \dots 5$$

МТЗ является основной защитой до шин НН трансформатора и одновременно резервной защитой



Защита трансформатора от междуфазных КЗ

На трансформаторах мощностью 6,3 МВА и выше в качестве основной защиты от междуфазных КЗ обязательно устанавливают продольную дифференциальную токовую защиту.

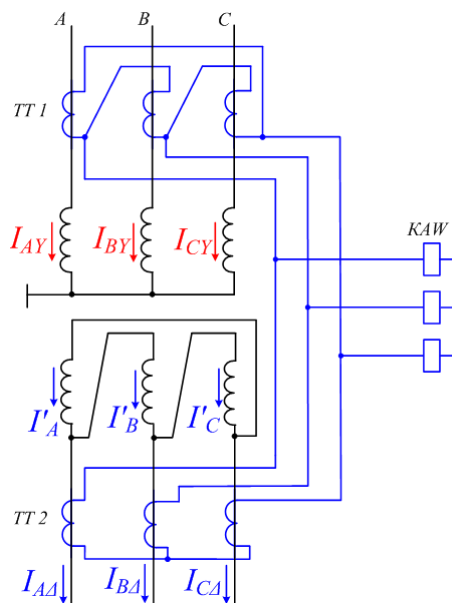


Особенности защищаемого объекта:

- 1) Токи одноименных фаз сторон трансформатора не равны по величине ($K_T \neq 1$);
- 2) Токи одноименных фаз сторон трансформатора не совпадают по фазе ($Y/\Delta - 11$);
- 3) Наличие РПН (у всех трансформаторов за исключением блочных);
- 4) Возможность появления с одной из сторон трансформатора броска тока намагничивания (БТН).



Несовпадение токов одноименных фаз сторон защищаемого трансформатора по фазе



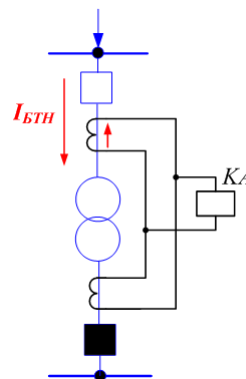


Явление броска тока намагничивания (БТН)

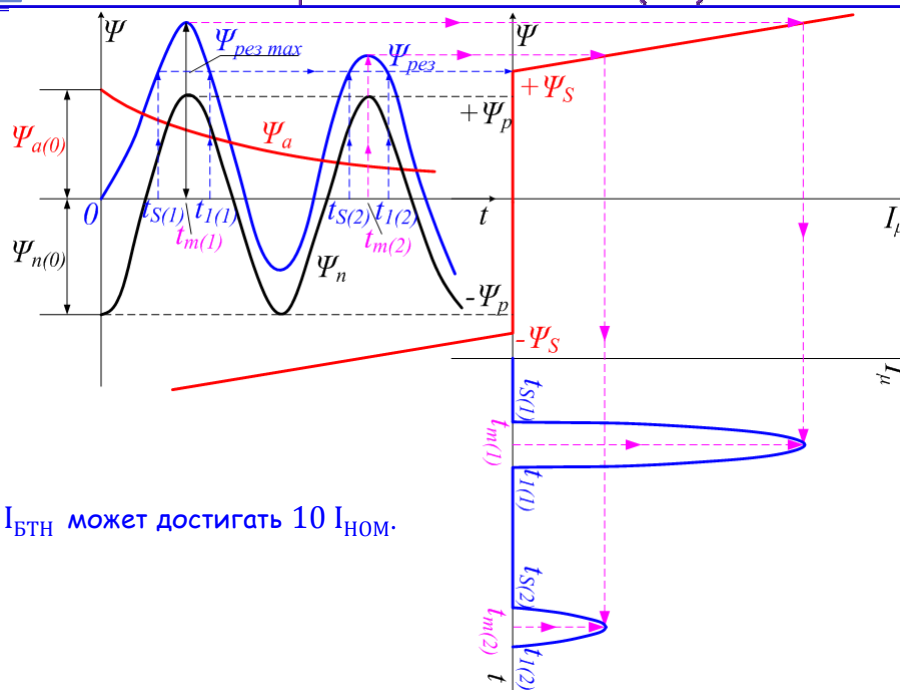
В нормальном режиме ток намагничивания силового трансформатора не превышает 1 % номинального тока.

БТН может возникнуть в переходном процессе при включении силовых трансформаторов под напряжение или при восстановлении на них напряжения после отключения внешнего КЗ в обмотке, питающей трансформатор. БТН имеет затухающий характер.

Дифференциальная защита воспринимает БТН как внутренне КЗ.



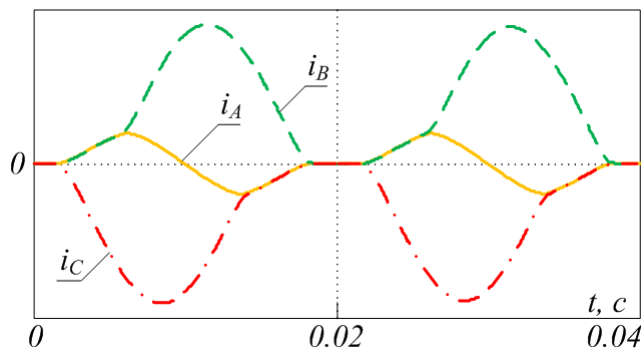
Явление броска тока намагничивания (БТН)





Явление броска тока намагничивания (БТН)

Переходной процесс в трехфазном трансформаторе при включении:



$I_{\text{БТН}}$ может достигать $1,3 I_{\text{НОМ}}$ в случае разнополярного сигнала.



Явление броска тока намагничивания (БТН)

Итоги:

1. БТН - это результат глубокого насыщения магнитопровода силового трансформатора.
2. БТН - это случайный процесс.
3. Максимальный БТН возникает в том случае, когда в момент подачи напряжения (включения выключателя) мгновенное значение напряжения равно нулю.

$$\Psi_{\text{рез max}} \approx \Psi_{\text{п}(0)} + \Psi_{\text{а}(0)}$$

4. В самом неблагоприятном случае, остаточное потокоцепление совпадает по знаку с $\Psi_{\text{а}(0)}$, тогда возникает более глубокое насыщение, т.к.

$$\Psi_{\text{рез max}} \approx \Psi_{\text{п}(0)} + \Psi_{\text{а}(0)} + \Psi_{\text{г}}$$



Явление броска тока намагничивания (БТН)

Признаки БТН:

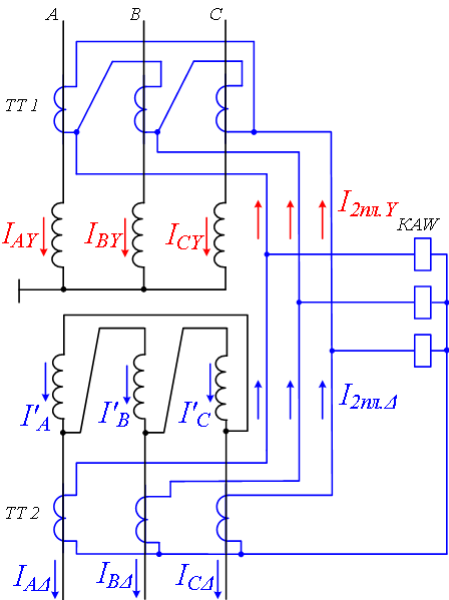
1. Однополярность максимальных бросков.
2. Наличие пауз в аperiodическом и условно периодическом БТН.
3. Большое содержание второй гармоники в токе намагничивания.



Способы отстройки от БТН

1. Отстройка от броска тока намагничивания по величине. Такой способ используется в дифференциальной отсечке, но он существенно загроубляет защиту.
2. Применение НТТ, через которые включаются дифференциальные реле тока. НТТ не пропускает аperiodический ток, составляющего значительную часть тока намагничивания, и позволяет, таким образом, надёжно отстроить дифференциальное реле от периодических составляющих намагничивающих токов.
3. Использование различия времени бестоковых пауз в дифференциальном токе при броске тока намагничивания трансформатора и при токе внутреннего КЗ для блокирования действия реле.
4. Торможение второй гармонической составляющей тока намагничивания, которая при броске тока намагничивания составляет большую долю тока, а при внутренних КЗ практически отсутствует.

Неравенство по модулю токов плеч защиты



$$I_\Delta \neq I_Y$$

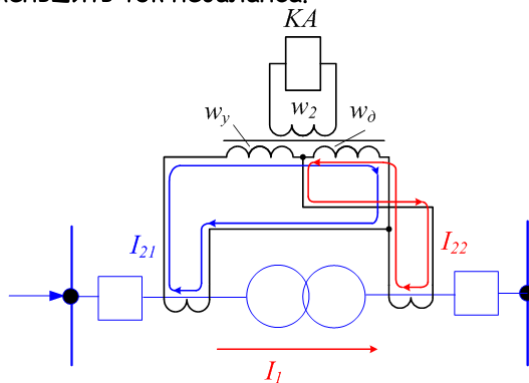
$$I_{2\text{пл.}j} = \frac{I_{1j} \cdot K_{\text{сх}j}^{(3)}}{K_{\text{ТТ}j}}$$

$$\frac{I_{1Y} \cdot K_{\text{сх}Y}^{(3)}}{K_{\text{ТТ}Y}} = \frac{I_{1\Delta} \cdot K_{\text{сх}\Delta}^{(3)}}{K_{\text{ТТ}\Delta}}$$
~~$$N_{\text{Т ном}} = \frac{K_{\text{ТТ}\Delta} \cdot K_{\text{сх}Y}^{(3)}}{K_{\text{ТТ}Y} \cdot K_{\text{сх}\Delta}^{(3)}}$$~~

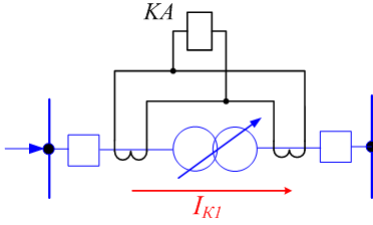
$$I_{2\text{пл.}Y} \neq I_{2\text{пл.}\Delta} \rightarrow I'_{\text{НБ}}$$

Пути уменьшения составляющей $I'_{\text{НБ}}$, возникающей из-за неравенства токов плеч

1. В плечи защиты включают промежуточные автотрансформаторы тока и, подбирая их коэффициент трансформации, выравнивают токи плеч (*применяется в реле типа ДЗТ-20*).
2. В реле с НТТ используют уравнивающие обмотки, которые являются первичными обмотками НТТ. Подбор необходимого числа витков этих обмоток позволяет выровнять МДС и, как следствие, уменьшить ток небаланса.



Влияние РПН на ток небаланса



$$K_T = K_{T\text{ном}} \cdot (1 \pm \Delta U_*)$$

↓

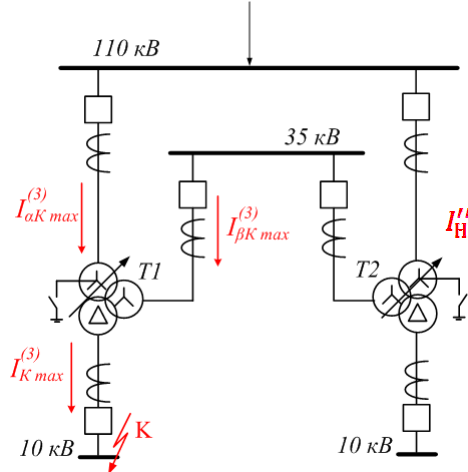
Меняется соотношение
первичных токов и токов плеч

↓

Появляется дополнительный ток небаланса,
где ΔU_* является его отражением

$$I''_{\text{НБ}} = \Delta U_* \cdot I_{K1\text{max}}^{(3)}$$

Влияние РПН на ток небаланса



$$I''_{\text{НБ}} = \Delta U_{*\alpha} \cdot I_{\alpha K\text{max}}^{(3)} + \Delta U_{*\beta} \cdot I_{\beta K\text{max}}^{(3)}$$

Газовая защита трансформатора

Защита реагирует на:

1. Витковые замыкания в трансформаторе.
2. Понижение уровня масла.
3. «Пожар стали».

Недостатки:

1. Значительное время срабатывания при медленном газообразовании.
2. Не реагирует на повреждения, возникающие вне бака, но в зоне между трансформатором и выключателем.
3. Возможность ложной работы в районах с повышенной сейсмической активностью.

Защита трансформаторов от сверхтоков, обусловленных внешними КЗ

Назначение:

Предназначена для отключения трансформатора при отказе его основной защиты, а также при отказе защиты или выключателя смежного элемента при КЗ.

Резервная защита

От междупазных КЗ

От КЗ на землю

```

graph TD
    A[Способ выполнения] --> B[МТЗ]
    A --> C[МТЗ с  
комбинированным  
пуском напряжения]
    A --> D[Дистанционная  
защита  
(устанавливается на  
АТ, мощных Т, ТСН)]

```

Защита устанавливается со стороны основного питания Т и действует на его отключение.





МТЗ с комбинированным пуском напряжения

Ток срабатывания защиты выбирают по условию отстройки от номинального тока трансформатора:

$$I_{сз} = \frac{K_{отс}}{K_B} I_{Т ном.} \quad K_{отс} = 1.15 \div 1.2$$

$$K_B = 0.8 \div 0.9$$

Напряжение срабатывания реле минимального напряжения (KV) определяется по следующим условиям :

- Исходя из обеспечения возврата реле после отключения внешнего КЗ

$$U_{сз} = \frac{U_{min}}{K_{отс} \cdot K_B} \quad U_{min} = 0.9 \div 0.85 U_{ном}$$

$$K_B = 1.1 \div 1.2$$

$$K_{отс} = 1.15 \div 1.2$$

- исходя из отстройки от напряжения самозапуска при включении от АПВ или АВР заторможенных двигателей нагрузки

$$U_{сз} = \frac{U_{зап}}{K_{отс}} \quad U_{зап} = 0.7 U_{ном}$$



МТЗ с комбинированным пуском напряжения

Напряжение срабатывания для фильтра-реле напряжения обратной последовательности KVZ отстраивается от небаланса в нагрузочном режиме:

$$U_{2сз} = 0.06 \cdot U_{ном}$$

Выдержка времени защиты выбирается по условию согласования с последними, наиболее чувствительными ступенями защит от междуфазных КЗ смежных элементов.

Чувствительность защиты определяется отдельно для
КА, KV и KVZ

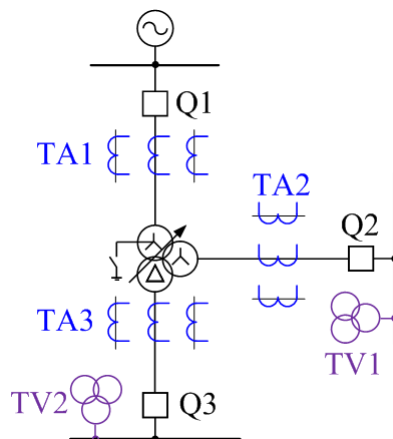
$$K_{ч I} = \frac{I_{э min}}{I_{сз}}$$

$$K_{ч U} = \frac{U_{сз} \cdot K_B}{U_{э max}^{(3)}}$$

$$K_{ч 2U} = \frac{U_{э min}}{U_{2сз}}$$



МТЗ с комбинированным пуском напряжения трехобмоточного трансформатора



Резервная защита от КЗ на землю

Особенности выполнения

1. Защита представляет собой ТЗНП, питающегося от ТТ, подключенного в заземляющий проводник нейтрали.
2. Устанавливают на трансформаторы, имеющих питание с двух сторон.
3. При наличии некоторых трансформаторов с разземлённой нейтралью - они отключаются в первую очередь.
4. На АТ устанавливается как со стороны высокого напряжения, так и со стороны среднего. Подключается в нулевой провод группы ТТ «звезда».

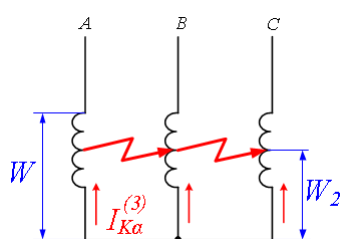


Защита генератора

1. Защита обмотки статора генератора от междуфазных КЗ.
2. Защита от витковых замыканий в обмотке статора.
3. Защита обмотки статора генератора от замыканий на корпус.
4. Резервная защита генератора от внешних симметричных КЗ.
5. Резервная защита генератора от внешних несимметричных КЗ.
6. Защита обмотки статора генератора от симметричных сверхтоков перегрузки.
7. Защита обмотки статора генератора от несимметричных сверхтоков перегрузки.
8. Защита обмотки статора генератора от повышения напряжения.
9. Защита от асинхронного хода с потерей возбуждения.
10. Защита от асинхронного хода без потери возбуждения.
11. Защита обмотки ротора от перегрузки.
12. Защита обмотки ротора от замыкания на корпус в одной точке.
13. Защита обмотки ротора от замыкания на корпус в двух точках.



Междуфазные КЗ в обмотке статора генератора



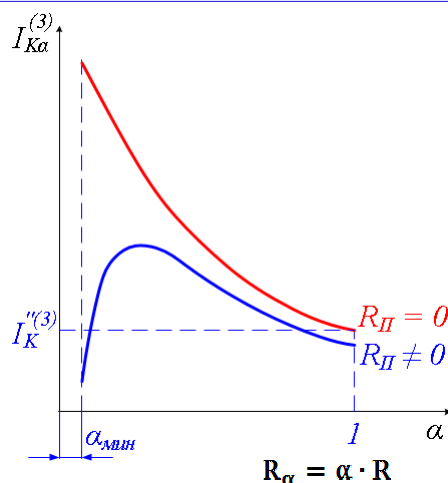
$$I_K^{(3)''} = \frac{E''_{\Phi}}{x''_d}$$

$$\alpha = \frac{W_2}{W}$$

$$E_{\alpha} = \alpha \cdot E''_{\Phi}$$

$$x_{\alpha} = \alpha^2 \cdot x''_d$$

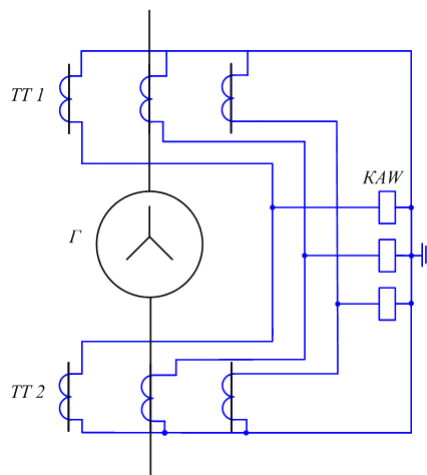
$$I''_{\alpha} = \frac{E_{\alpha}}{x_{\alpha}} = \frac{\alpha \cdot E''_{\Phi}}{\alpha^2 \cdot x''_d} = \frac{I_K^{(3)''}}{\alpha}$$



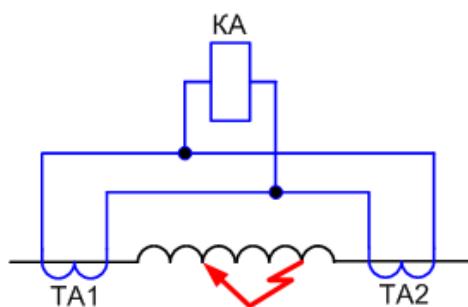
$$I''_{\alpha} = \frac{\alpha \cdot E''_{\Phi}}{\sqrt{(\alpha \cdot R + R_{II})^2 + (\alpha^2 \cdot x''_d)^2}}$$



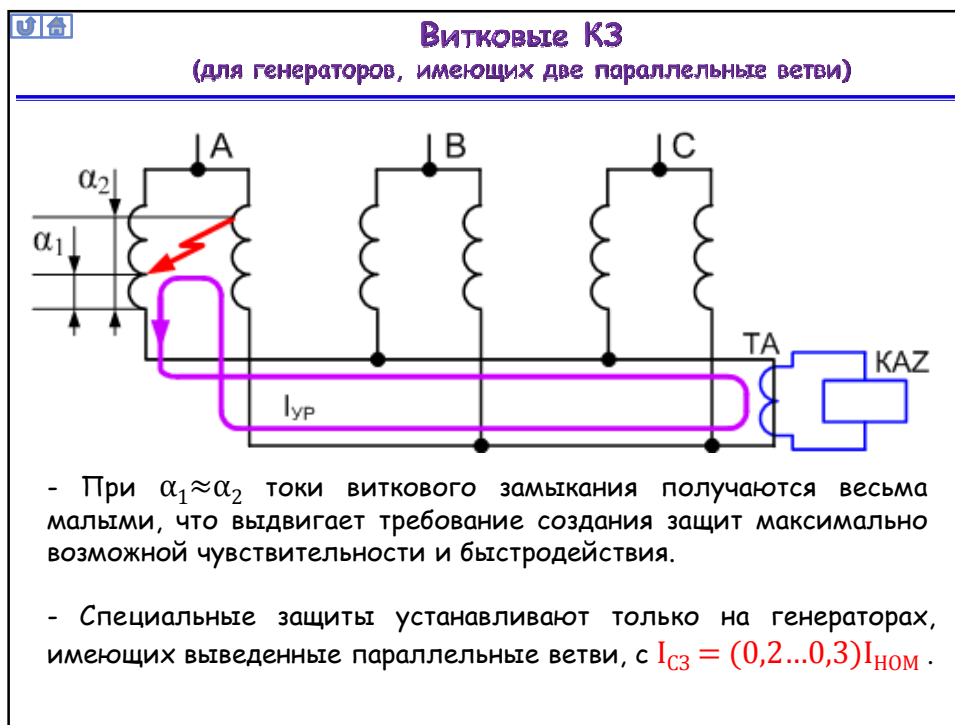
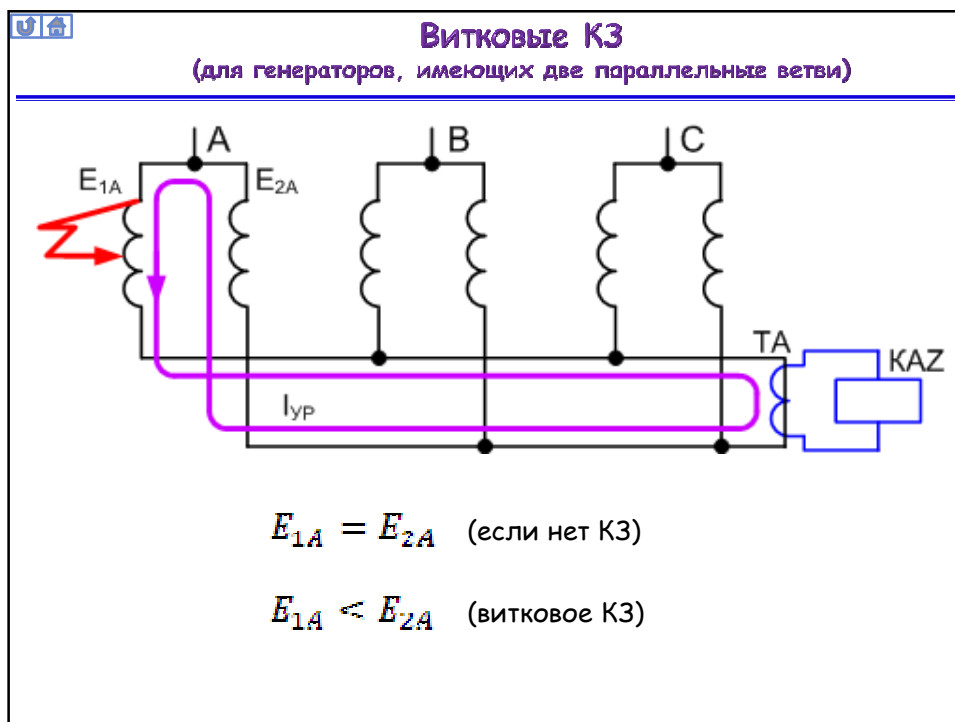
Схема продольной дифференциальной защиты



Витковые КЗ (для генератора, не имеющего параллельных ветвей)

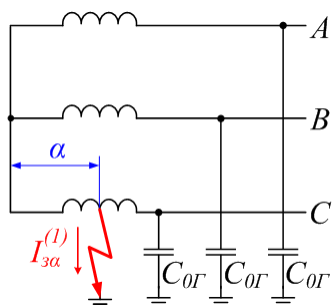


- 1) Продольная дифференциальная защита не способна реагировать на витковые замыкания.
- 2) Чем меньше число замкнувшихся витков, тем больше ток в них, тем сильнее повреждение статорной обмотки.





Однофазные замыкания на корпус в обмотке статора



- Ток пропорционален числу витков от нейтрали до точки замыкания.
- При замыкании в нейтрали - нуль.
- Опасны токи, поддерживающие дугу.
- Опасными считаются токи более 5 А, при них требуется автоматическое отключение генератора. При меньших токах допускается действие на сигнал.

-Для генераторов с непосредственным охлаждением водой недопустимо длительное замыкание на землю даже при токах менее 5 А.



Требования к защитам от однофазных замыканий

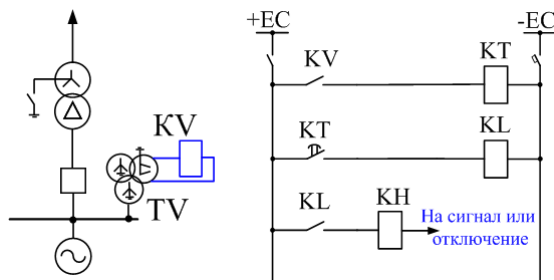
-На генераторах, работающих в блоках с Т (АТ), необходимо иметь защиту от замыканий на землю, охватывающую все 100 % витков обмотки.

- Для генераторов, работающих на сборные шины генераторного напряжения, на которых выполнение 100 %-ных защит затруднительно, допускают применение защит с "мертвой" зоной вблизи нейтрали.



Защиты от ЗНЗ генераторов, работающих в блоке

- По принципу действия рассчитаны на то, что обмотка статора генератора не имеет гальванической связи с системой собственных нужд или с распределительной сетью генераторного напряжения.



Защита должна быть отстроена от напряжения небаланса, которое может возникать при несимметричных КЗ в примыкающих сетях за счет межобмоточных емкостных связей в трансформаторе блока.

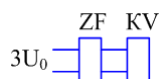
$$U_{сз} = 0.15 \cdot U_{ном}$$



Защиты от ЗНЗ генераторов, работающих в блоке

Установлено, что основную долю напряжения небаланса составляет напряжение 3-ей гармоники.

Поэтому в защитах генератора от ЗНЗ рекомендуют применять фильтр-реле, реагирующие только на основную гармонику.



$$U_{сз} = 0.05 \cdot U_{ном}$$

В таком случае, защита охватывает 95 % обмотки статора генератора. Охват всей обмотки невозможен принципиально.

Для генераторов опасны ЗНЗ как вблизи нейтрали, так и в самой нейтрали, особенно для генераторов, имеющих непосредственное охлаждение обмотки статора водой.

При такой системе охлаждения ЗНЗ может явиться причиной протечек, или само является следствием протечек. И в том, и в другом случае несвоевременное отключение генератора может привести к катастрофическому развитию повреждения.

Поэтому необходимо выявлять ЗНЗ вблизи нейтрали, обеспечивая защиту 100 % обмотки.

К трансформатору

Нейтраль

$$\frac{U_{03H} + U_{03B}}{U_{03H}} > k$$

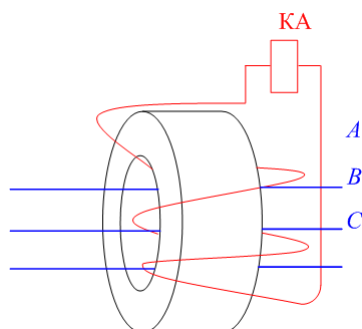
Такая схема реализации обеспечивает надежную работу защиты при ЗНЗ в нейтрали, и ее зона действия охватывает приблизительно 20 30 % обмотки статора.

[illegible]

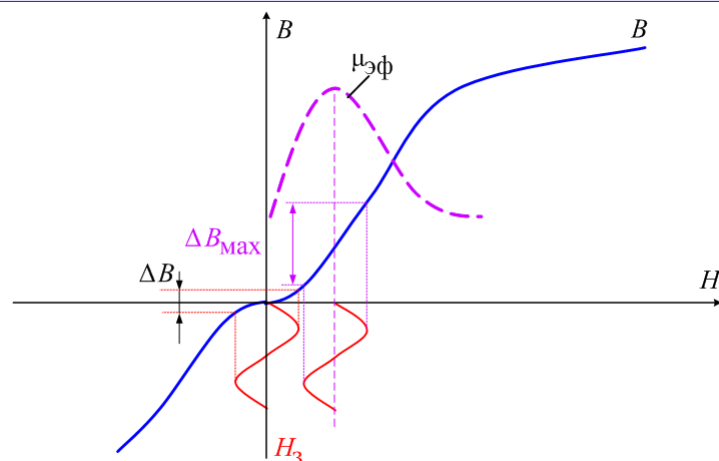


Защита от ЗНЗ в обмотке статора генератора, работающего на СШ

Для построения такой защиты необходим контроль тока нулевой последовательности, протекающего по линейным выводам генератора. Для реализации этого контроля необходима установка трансформатора тока нулевой последовательности, охватывающего линейные выводы генератора (ТНП при кабельных выводах или ТНПШ при шинных выводах).



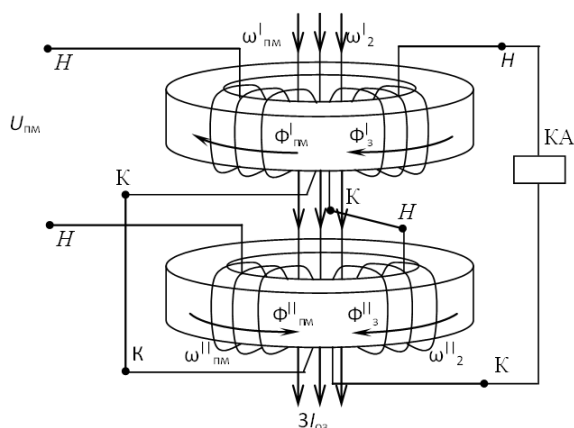
Защита от ЗНЗ в обмотке статора генератора, работающего на СШ



Применение подмагничивания переменным током позволяет в 15 - 20 раз повысить наводимые током ЭДС во вторичных обмотках ТНП. Для исключения влияния подмагничивания магнитопровод выполняется из двух одинаковых сердечников.



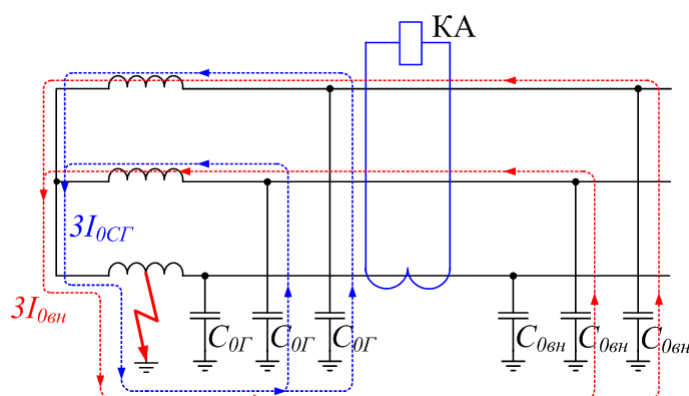
Защита от ЗНЗ в обмотке статора генератора, работающего на СШ

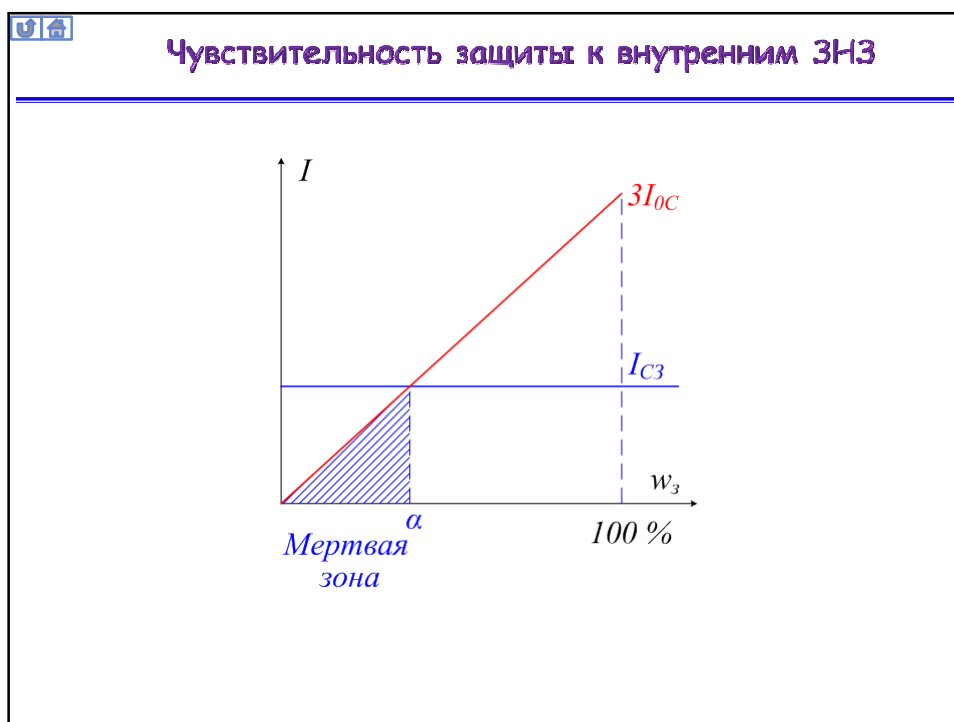
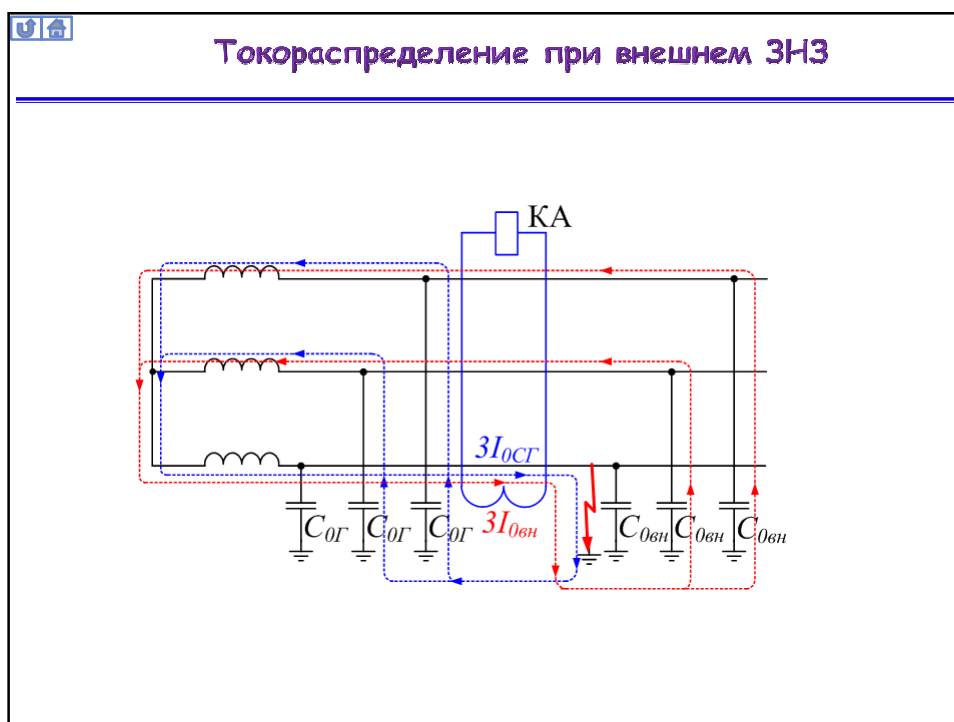


Обмотки подмагничивания соединяются встречно-последовательно и создают в сердечниках магнитные потоки противоположного направления. Вторичные обмотки соединяются согласно-последовательно, поэтому наводимые в них током подмагничивания ЭДС взаимно уничтожаются.



Токораспределение при внутреннем КЗ







Защита от ЗНЗ в обмотке статора генератора, работающего на СШ

За счёт несимметрии расположения фаз по отношению к магнитопроводу ТНП в реле защиты появляется ток небаланса. В нормальном режиме ток небаланса очень мал. При коротких замыканиях ток небаланса возрастает пропорционально току генератора, что может привести к неправильной работе защиты.

Мероприятия для предупреждения неправильной работы защиты при внешних КЗ

- 1) Заглубить защиту, обеспечивая надёжную отстройку от тока небаланса при КЗ.
- 2) Блокировать защиту на время КЗ, сохраняя нормальную чувствительность.

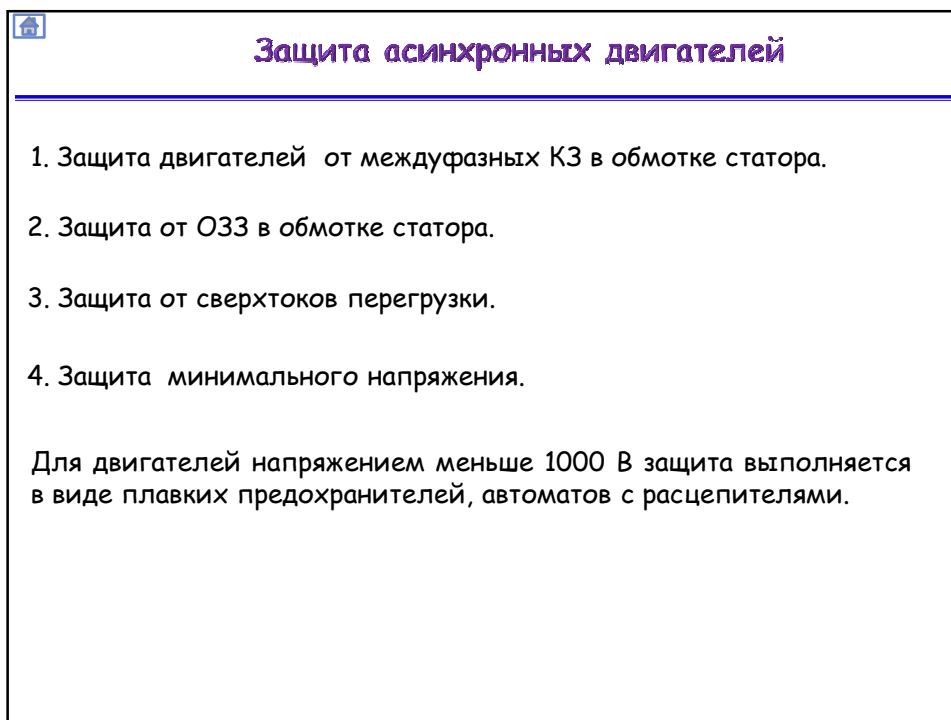
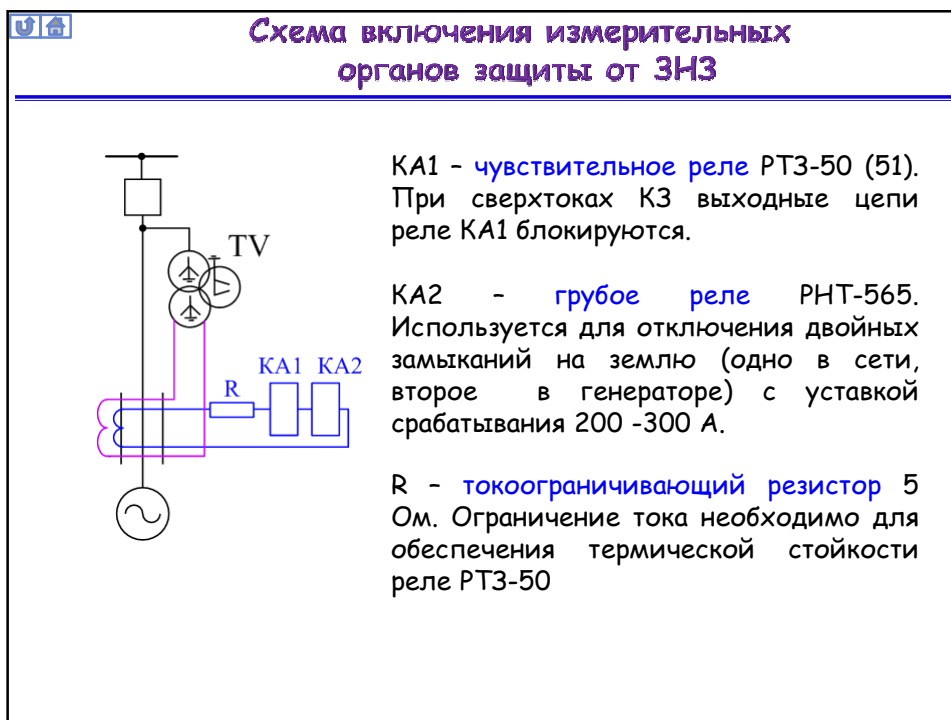


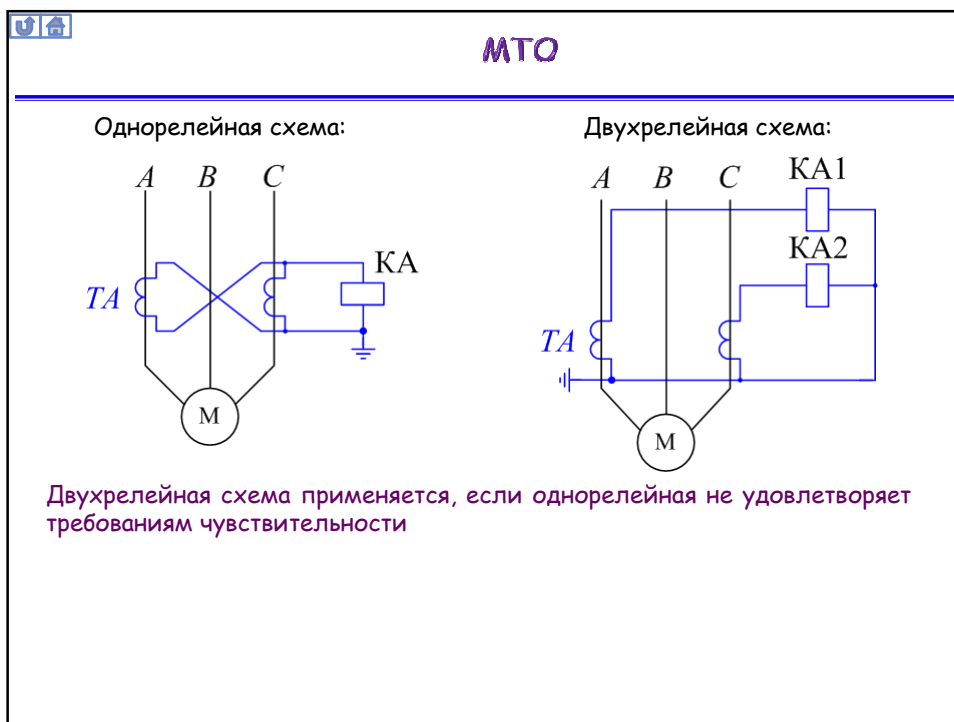
Защита от ЗНЗ в обмотке статора генератора, работающего на СШ

За счёт несимметрии расположения фаз по отношению к магнитопроводу ТНП в реле защиты появляется ток небаланса. В нормальном режиме ток небаланса очень мал. При коротких замыканиях ток небаланса возрастает пропорционально току генератора, что может привести к неправильной работе защиты.

Мероприятия для предупреждения неправильной работы защиты при внешних КЗ

- 1) Заглубить защиту, обеспечивая надёжную отстройку от тока небаланса при КЗ.
- 2) Блокировать защиту на время КЗ, сохраняя нормальную чувствительность.



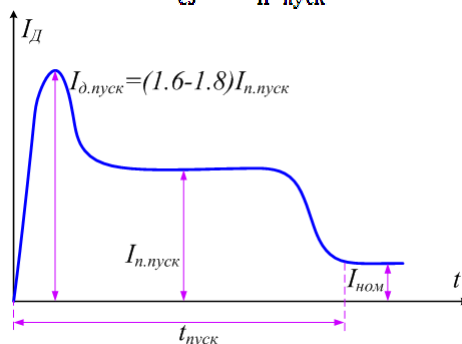




Параметры срабатывания МТО

1) Защита не должна сработать при пуске двигателя:

$$I_{сз} = K_H I_{пуск}$$



- I_a существует около 2 периодов (40 мс) в полном пусковом токе.
- Время срабатывания КА с учетом КЛ составляет 40-60 мс.

K_H должен учитывать K_B , который зависит от типа реле, например для реле РТ-40 $K_H = 1,8$.



Параметры срабатывания МТО

2) Защита должна быть надежно отстроена от тока, который электродвигатель посылает в сеть при внешнем КЗ:

$$I_{сз} > I_{КЗ \text{ дв.}}$$

Для асинхронных двигателей определяющим является первое условие, для синхронных - второе.

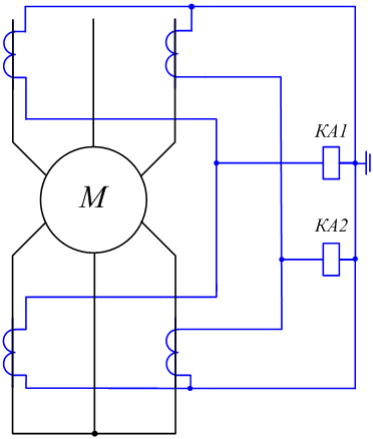
$$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}^{(3)}}{K_{ТТ}} \quad \begin{array}{l} \text{для неполного треугольника } K_{сх}^{(3)} = \sqrt{3} \\ \text{для неполной звезды } K_{сх}^{(3)} = 1 \end{array}$$

$I_{ср}$ для однорелейной схемы больше в $\sqrt{3}$ раз.

$$K_{ч} = \frac{I_{р \text{ min}}^{(2)}}{I_{ср}} \geq 2 \quad \begin{array}{l} \text{рассматривается КЗ между} \\ \text{фазами А и В, либо В и С} \end{array}$$

Двухрелейная схема в $\sqrt{3}$ раз чувствительнее.

Продольная дифференциальная токовая защита



Защита должна быть надежно отстроена от максимально возможного тока небаланса:

$$I_{сз} = K_H I_{нб \text{ расч}}$$

$$I_{нб \text{ расч}} = \varepsilon \cdot k_{одн} \cdot k_a \cdot I_{пуск.мах}$$

При выполнении диф. защиты не исключают возможность обрыва одного из плеч, поэтому:

$$I_{сз} = (1.5 \dots 2) I_{ном}$$

Защита от ОЗЗ в обмотке статора

- При ОЗЗ в сети с изолированной нейтралью в месте замыкания протекают емкостные токи, обусловленные емкостями фаз относительно земли.

- Даже небольшие емкостные токи способны поддерживать дугу и разрушить двигатель, поэтому необходима специальная быстродействующая защита, реагирующая на эти токи, которая выполняется с использованием ТНПТ.

Предусматривается защита от ОЗЗ на высоковольтных двигателях мощностью >2000 кВт при токе замыкания большем или равным 5 А.

Для двигателей меньшей мощности считалось достаточным предусматривать защиту при токах >10А. Опыт показал, что такие ЭД практически оказались незащищенными. Сейчас для всех ЭД защита при токе ≥5А необходима, а при токе <5А- необязательна (но целесообразна).

Защита от ОЗЗ в обмотке статора

Защита отстраивается от броска собственного емкостного тока при внешнем замыкании на землю:

$$I_{сз} = K_H \cdot K_{бр} \cdot 3I_{0дв.}$$

$K_{бр}$ — коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока присоединения в начальный момент внешнего замыкания на землю, связанный с перезарядом распределенных емкостей сети на землю (равен 2...4 в зависимости от типа реле).

В таком случае защиту можно делать без выдержки времени.

$$K_{ч} = \frac{\sum 3I_0 - 3I_{0дв.}}{I_{сз}}$$

Защита от свертых перегрузки

Перегрузка двигателя возникает:

1. при перегрузке механизма, который приводится в движение этим двигателем;
2. при значительном снижении напряжения питающей сети или кратковременном его исчезновении;
3. при обрыве одной из фаз питающей сети;
4. при затянувшемся пуске или самозапуске;
5. при поломке механической части двигателя.

Двигатели мельниц, дробилок, подачи угля - двигатели, подверженные технологическим перегрузкам.

Перегрузки опасны тем, что они сопровождаются повышением температуры обмоток, что ускоряет износ изоляции и снижает срок службы двигателя.

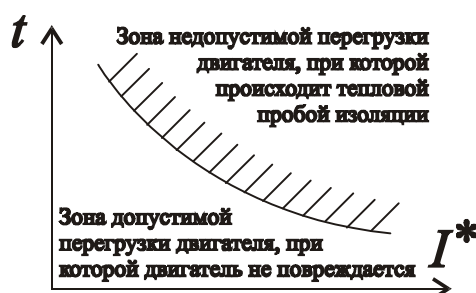


Защита от сверхтоков перегрузки

Защита от перегрузки устанавливается обычно в одной фазе. Защита может срабатывать через определенное время на разгрузку (если это возможно), а затем на отключение или сразу на отключение.

Ток срабатывания определяется по формуле : $I_{сз} = \frac{K_H}{K_B} I_{ном дв.}$

Время срабатывания: $t_{сз} > t_{пуска}$



Допустимое время перегрузки:

$$t_{доп} = \frac{A}{(I^*)^2 - 1}$$

$$I^* = \frac{I_{пер.}}{I_{ном дв.}}$$



Защита минимального напряжения

Назначение:

Обеспечение самозапуска наиболее ответственных двигателей при кратковременном понижении или исчезновении напряжения, т.е. защита является групповой.

Защита выполняется двухступенчатой:

$$\left. \begin{array}{l} U_{сз1} = (0.6 \dots 0.7) U_{ном} \\ t_{сз1} = 0.5 \dots 1.5 \text{ с} \end{array} \right\} \text{ 1 ступень}$$

При срабатывании 1-й ступени для обеспечения самозапуска ответственных двигателей отключаются неответственные.

$$\left. \begin{array}{l} U_{сз2} = (0.4 \dots 0.5) U_{ном} \\ t_{сз2} = 10 \dots 15 \text{ с} \end{array} \right\} \text{ 2 ступень}$$

При срабатывании 2-й ступени отключаются как ответственные, так и неответственные двигатели.



Защита синхронных двигателей

Устанавливаются все ранее рассмотренные защиты двигателей и [защиту от асинхронного режима](#).

Все защиты действуют на отключение выключателя двигателя и на устройство гашения магнитного поля.

[Синхронный двигатель может выпасть из синхронизма по следующим причинам:](#)

1. уменьшение напряжения питающей сети;
2. уменьшение тока возбуждения;
3. перегрузка двигателя.



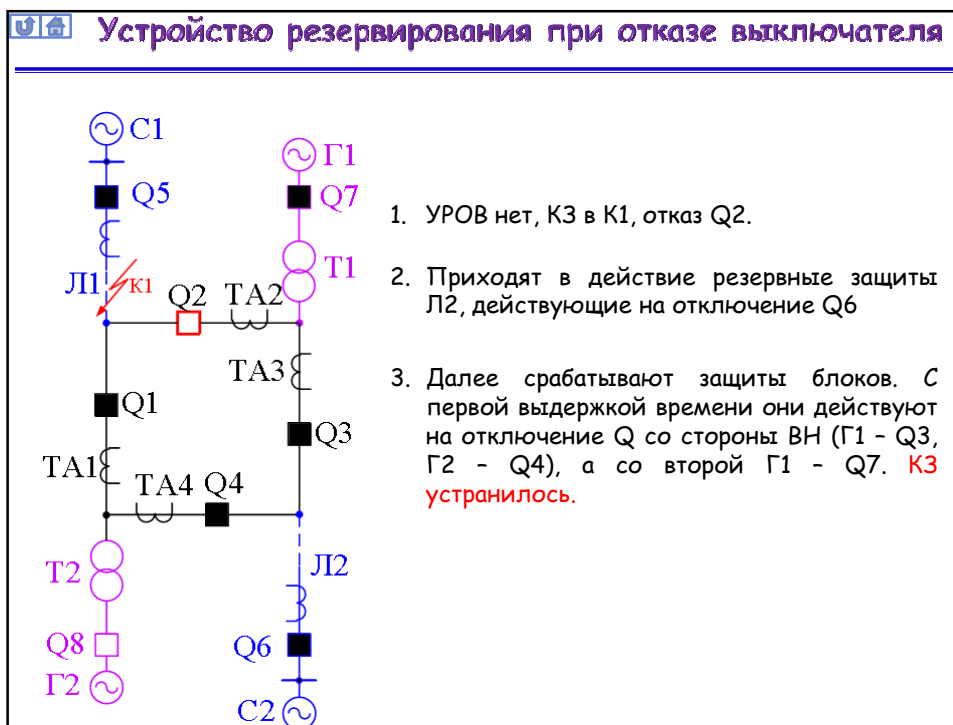
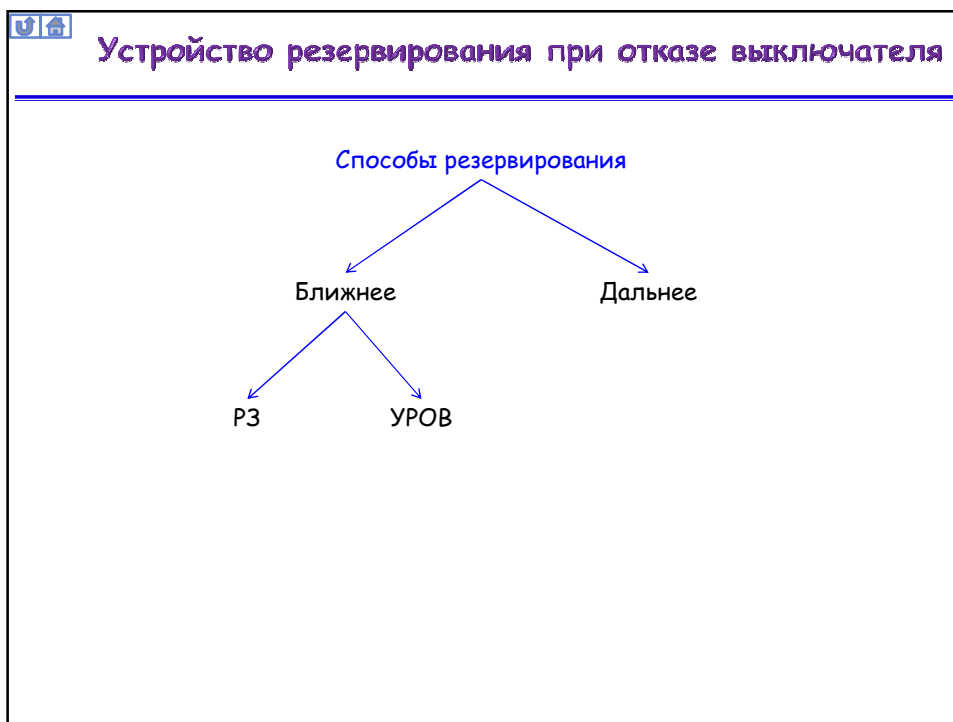
Защита от асинхронного хода

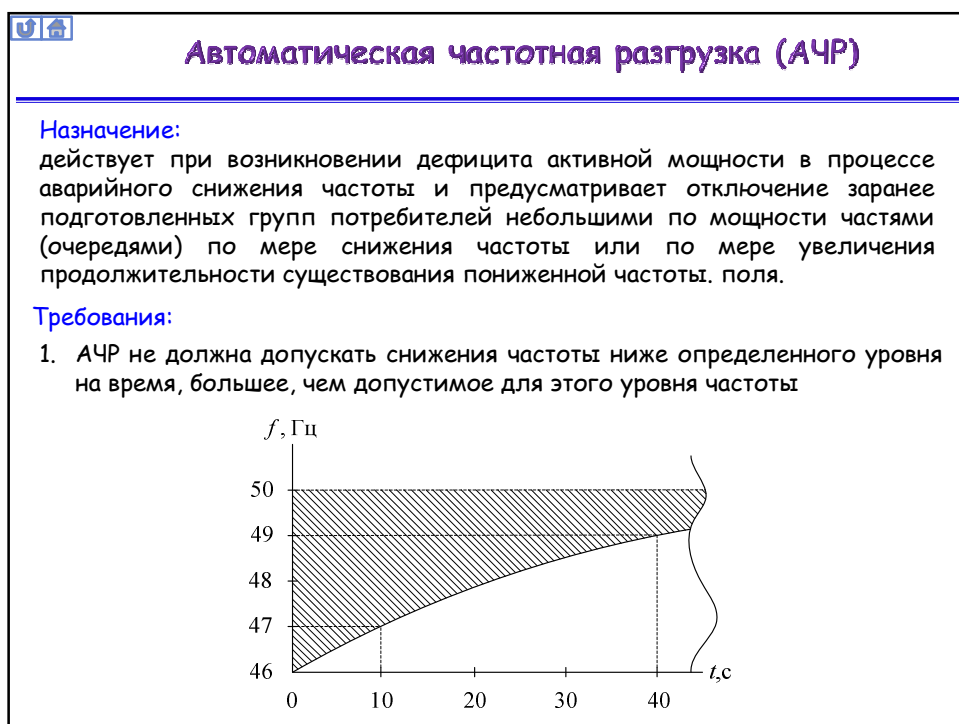
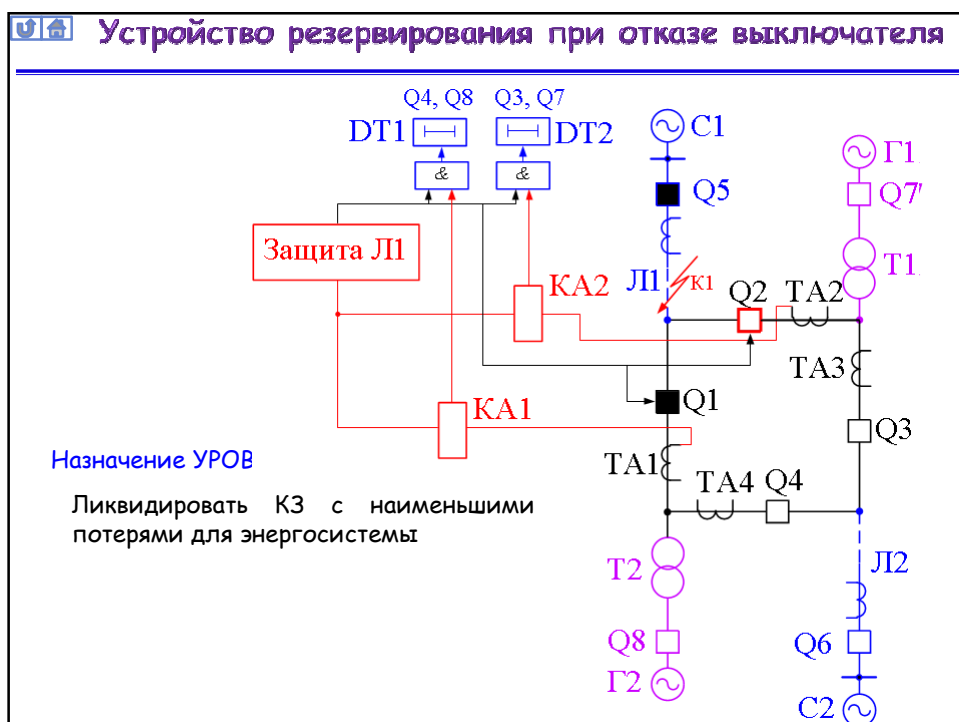
Устанавливаются все ранее рассмотренные защиты двигателей и [защиту от асинхронного режима](#).

Все защиты действуют на отключение выключателя двигателя и на устройство гашения магнитного поля.

[Синхронный двигатель может выпасть из синхронизма по следующим причинам:](#)

1. уменьшение напряжения питающей сети;
2. уменьшение тока возбуждения;
3. перегрузка двигателя.







Автоматическая частотная разгрузка (АЧР)

2. Суммарная мощность потребителей, отключенных от АЧР, по возможности, должна быть минимальной.
3. АЧР должна обеспечить подъём частоты до значений, при которых энергосистема может длительно работать.
4. Экономический ущерб при отключении потребителей должен быть по возможности минимальным. Для выполнения этого требования в первую очередь отключаются менее ответственные потребители.

Базовый вариант выполнения АЧР – одновременное выполнение трех видов устройств (категорий):

АЧР-I быстродействующая разгрузка для прекращения процесса снижения частоты, осуществляющая отключение потребителей очередями с различными постепенно снижающимися уставками по частоте:

$$f_{\text{АЧР I}} = 48.8 \dots 46.5 \text{ Гц} \quad \Delta f_{\text{АЧР I}} = 0.1 \dots 0.2 \text{ Гц}$$

т.о. максимальное число очередей от 12 до 24.

Уставки по времени должны исключать ложную работу при КЗ и синхронных качаниях $t_{\text{АЧР I}} = 0.15 \dots 0.3 \text{ с}$



Автоматическая частотная разгрузка (АЧР)

АЧР-II медленно действующая разгрузка, осуществляющая отключение потребителей очередями, имеющими одну или несколько близких уставок по частоте и различные постепенно увеличивающиеся уставки по времени:

$$f_{\text{АЧР II}} = 48.7 \dots 49.1 \text{ Гц}$$

Уставки по частоте АЧР-II принимаются из условия необходимости восстановления частоты до значений, при которых энергосистема может длительно работать..

$$t_{\text{АЧР II}} = 5 \dots 70 \text{ с}$$

ДАР - дополнительная аварийная разгрузка, действующая при больших дефицитах мощности и предназначенная для ускорения отключения потребителей.

Запуск ДАР должен осуществляться не по факту снижения частоты, а, например, по скорости изменения частоты, по факту отключения линии связи, по факту отключения АТ и т.д.

