

Реле мощности

Конструкция и принцип действия

Принципиальная схема индукционного реле направления мощности представлена на рисунке.

Подвижная система реле выполнена в виде цилиндрического ротора, на него действуют два магнитных потока:

Φ_H – полярирующий магнитный поток;

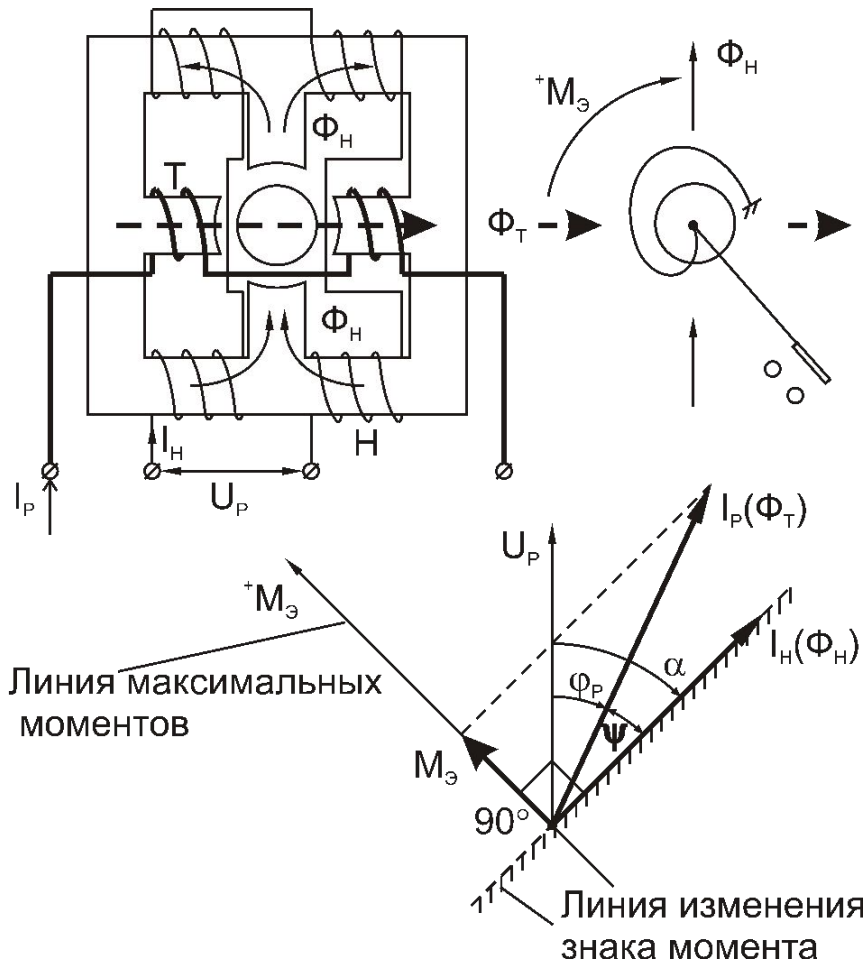
Φ_T – рабочий поток.

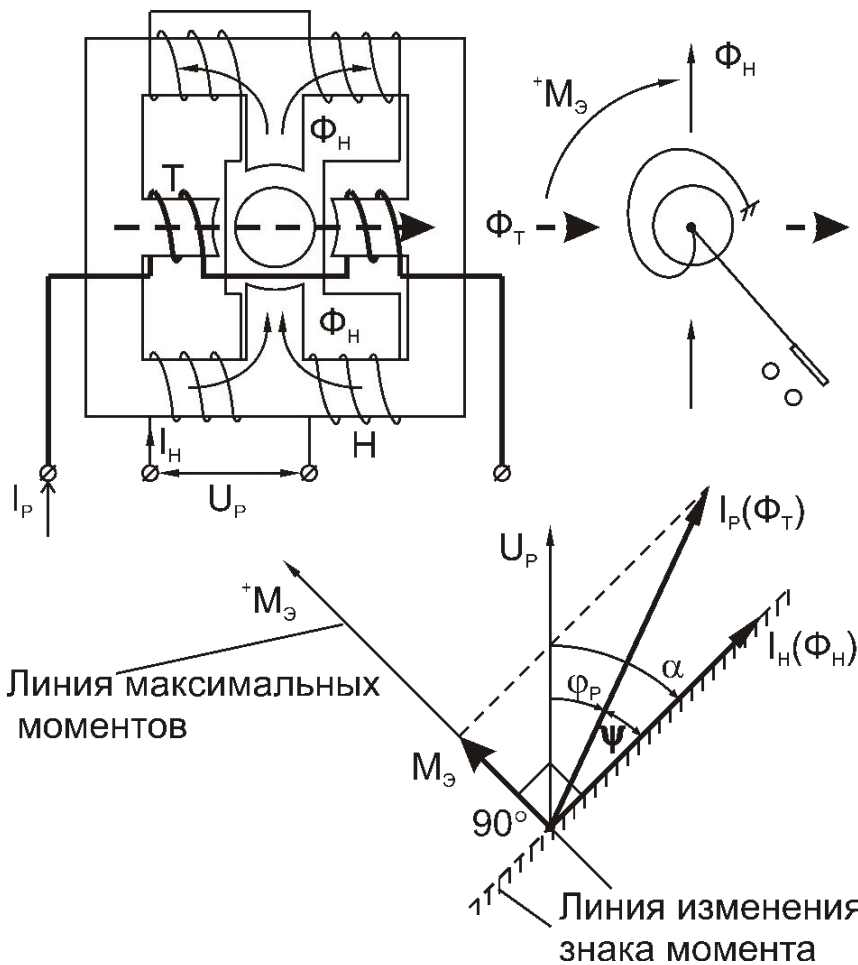
$I_H = U_p / Z_H$ – ток, протекающий по поляризирующей обмотке;

α – угол внутреннего сдвига реле, определяется индуктивным и активным сопротивлениями поляризирующей обмотки;

ϕ_p – угол сдвига по фазе между током и напряжением, подведенными к обмоткам реле, зависит от внешних параметров сети;

ψ – угол между токами, протекающими по обмоткам реле





Взаимодействие вихревых токов цилиндрического ротора с магнитными потоками создает электромагнитный момент M_{Δ} :

$$M_{\Delta} = k \Phi_H \Phi_T \sin \psi,$$

$$\Phi_H \approx I_H \approx U_P, \quad \Phi_T \approx I_P, \quad \psi = \alpha - \phi_p,$$

$$M_{\Delta} = k_1 U_P I_P \sin(\alpha - \phi_p) = k_1 S_p$$

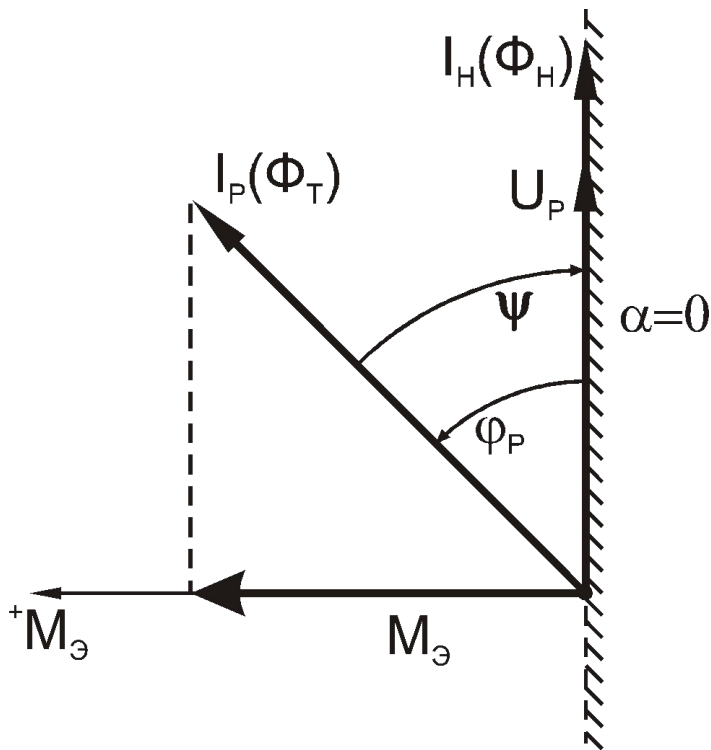
где $S_p = U_P I_P \sin(\alpha - \phi_p)$ – мощность, подводенная к реле.

Электромагнитный момент M_{Δ} положителен, когда $\psi = \alpha - \phi_p$ – в пределах от 0 до 180°. Момент M_{Δ} отрицателен, когда ψ – от 180 до 360°. При $\alpha - \phi_p = 90^\circ$ – M_{Δ} максимален. Угол, при котором M_{Δ} максимален, обозначается $\phi_{м.ч.}$ – *угол максимальной чувствительности*,

$$\phi_{м.ч.} = \alpha - 90^\circ.$$

Типы реле мощности

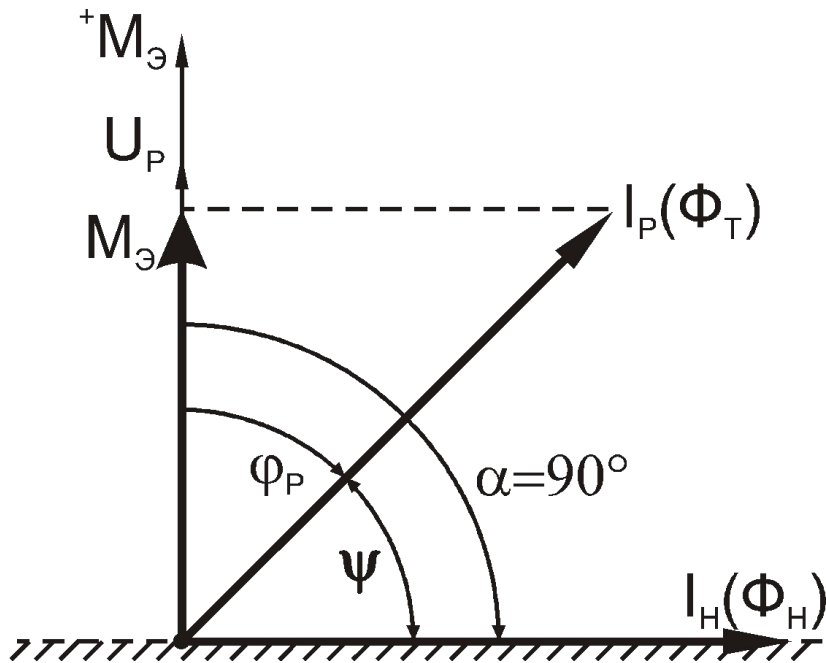
Выпускающиеся промышленностью типы реле мощности отличаются углом внутреннего сдвига.



1. $\alpha=0$ Синусные реле или реле реактивной мощности

$$M_{\Theta} = k_1 U_P I_P \sin(\phi_P), \quad (7.6)$$

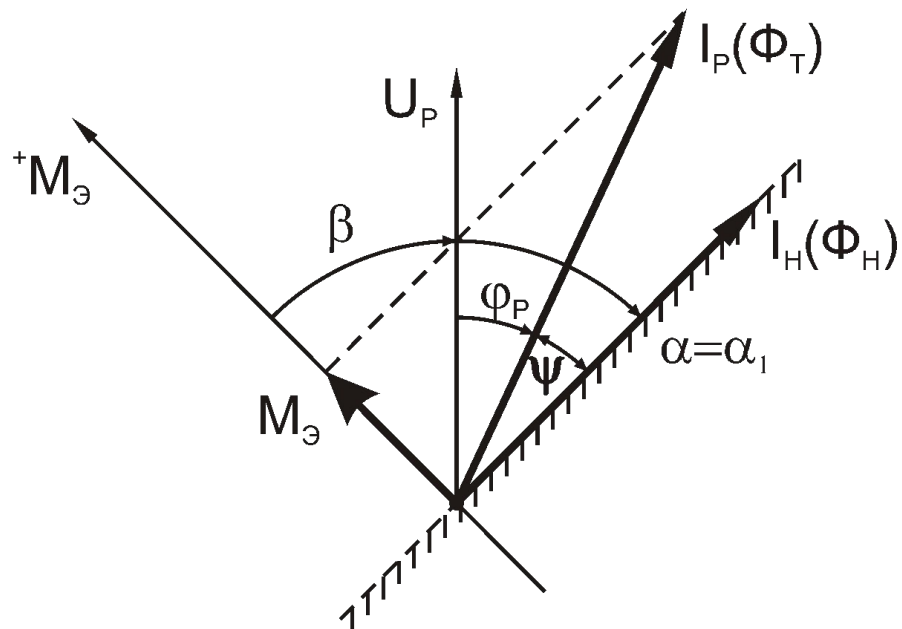
$M_{\Theta} \approx Q$ – момент реле пропорционален реактивной мощности. При $\phi_{м.ч} = 90^\circ$, $\phi_P = 0$, $M_{\Theta} = 0$.



2. $\alpha=90^\circ$ Косинусные реле или реле активной мощности

$$M_{\text{э}} = k_1 U_p I_p \sin(90^\circ - \varphi_p) = k_1 U_p I_p \cos \varphi_p,$$

$M_{\text{э}} \approx P$ – момент реле пропорционален активной мощности.



3. $\alpha = \alpha_1$, $0 < \alpha_1 < 90^\circ$ Реле смешанного типа

$$M_\Theta = k_1 U_P I_P \sin(90^\circ - \beta - \phi_P) = k_1 U_P I_P \cos(\phi_P + \beta),$$

где $\alpha = 90^\circ - \beta$.

Характеристики реле мощности

Мощность срабатывания

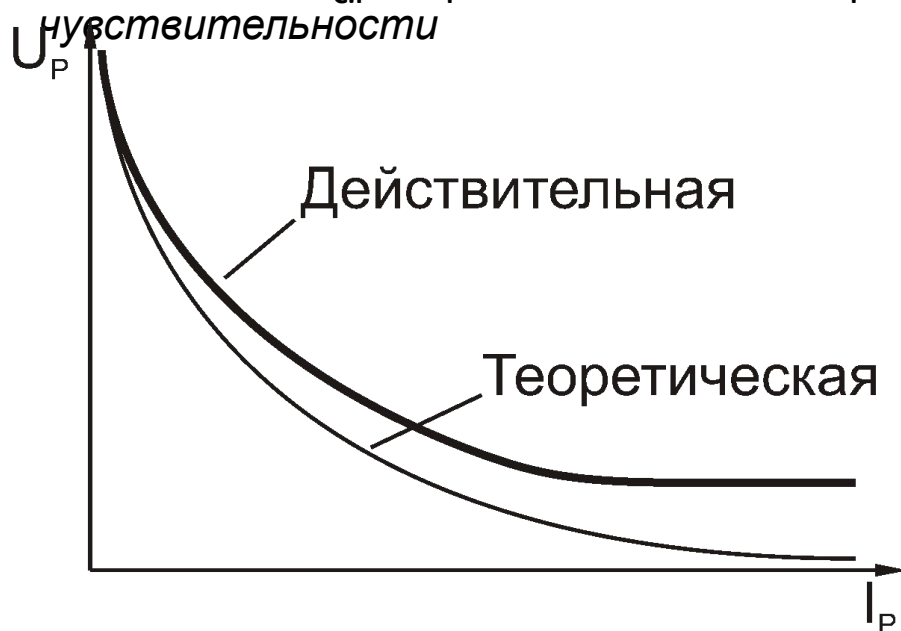
Срабатывание происходит, когда электромагнитный момент превосходит момент сопротивления пружины и момент трения оси:

$$M_{\text{э}} > M_{\text{п}} + M_{\text{т}}$$

Наименьшая мощность на зажимах реле, при которой оно срабатывает, называется *мощностью срабатывания* $S_{\text{с.р}}$. У индукционных реле $S_{\text{с.р}}$ при $\Phi_{\text{м.ч}}$ составляет 0,2...4 В·А.

Характеристика чувствительности

Зависимость $U_{\text{с.р}} = f(I_{\text{р}})$ при неизменном $\Phi_{\text{р}}$ называется *характеристикой*



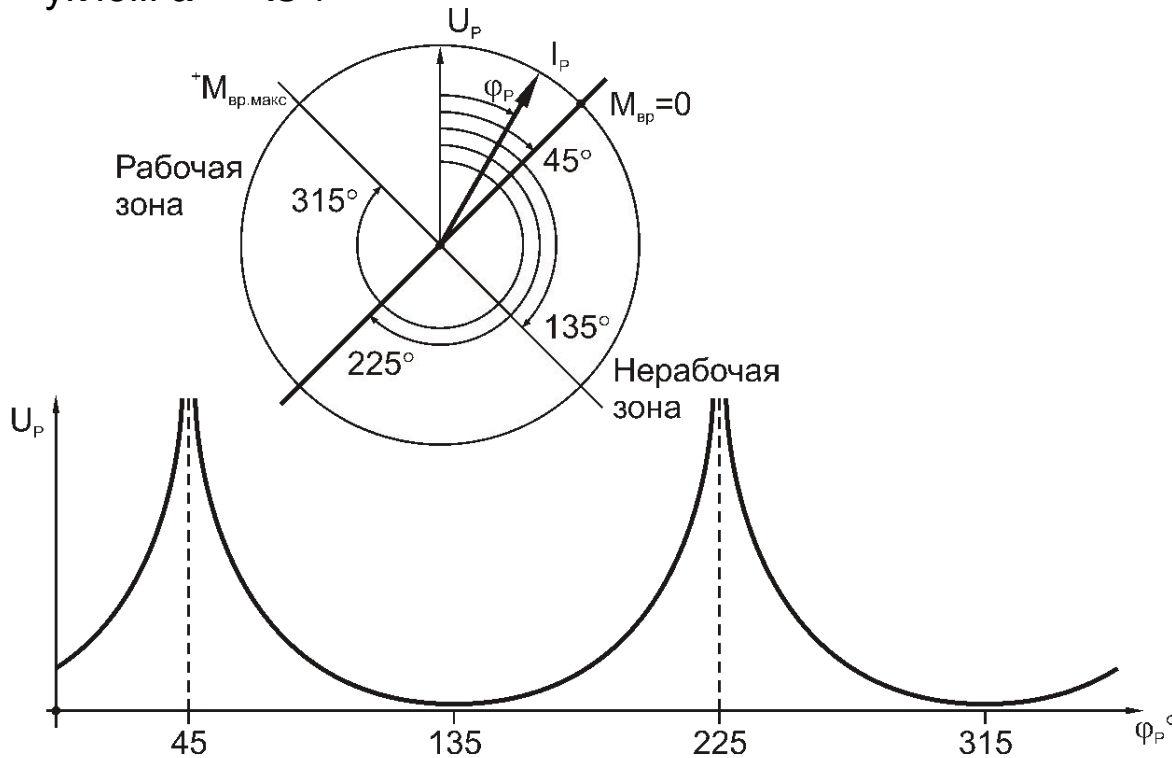
Здесь $U_{\text{с.р}}$ – наименьшее напряжение, необходимое для действия реле при данных $I_{\text{р}}$ и $\Phi_{\text{р}}$. Обычно характеристика снимается при $\Phi_{\text{р}} = \Phi_{\text{м.ч}}$, т.е. для случая $\sin(\alpha - \Phi_{\text{р}}) = 1$.

Реальная характеристика отличается от теоретической, так как за счет насыщения стали магнитопровода при больших токах $I_{\text{р}}$ напряжение $U_{\text{с.р}}$ остается неизменным.

Угловая характеристика

Зависимость $U_{с.р} = f(\phi_p)$ при неизменном значении I_p называется *угловой характеристикой*.

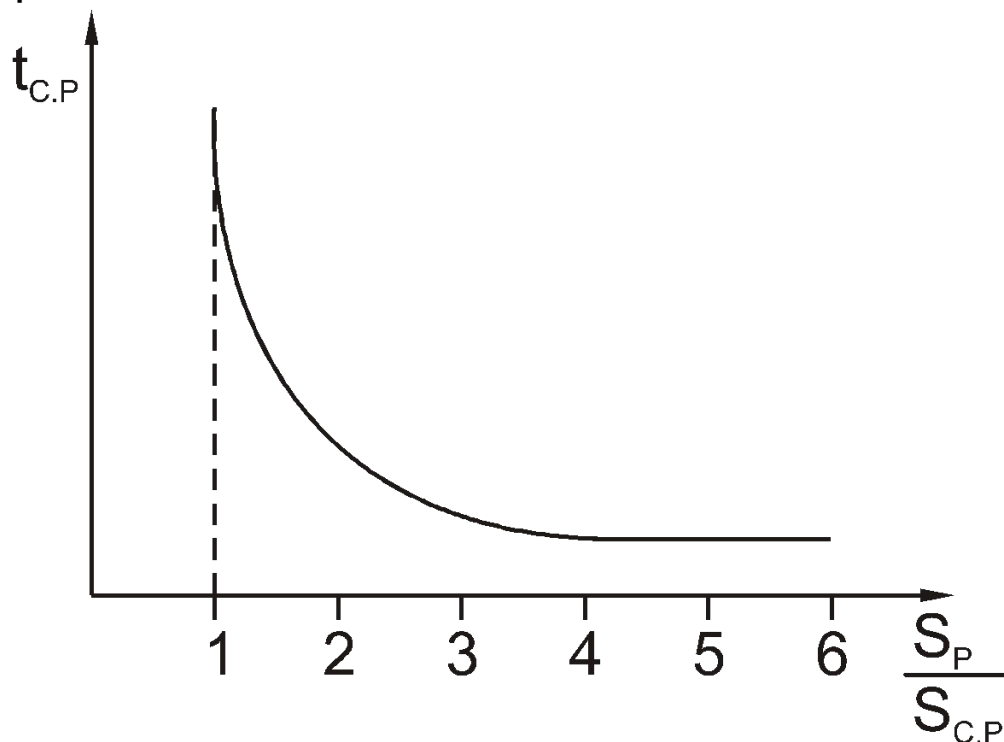
На рисунке изображена угловая характеристика реле смешанного типа с углом $\alpha = -45^\circ$.



Угловая характеристика позволяет определить

1. Изменение чувствительности реле ($U_{с.р.}$) при разных значениях угла ϕ_p .
2. Минимальную величину $U_{с.р. мин}$ и наиболее выгодную зону углов ϕ_p , в пределах которой $U_{с.р.}$ близко к $U_{с.р. мин}$.
3. При каких углах ϕ_p изменяется знак электромагнитного момента и пределы углов, которым соответствуют положительные и отрицательные моменты.

Время действия
реле



Определяется зависимость времени срабатывания $t_{C.P}$ от кратности мощности на зажимах реле

$$t_{C.P} = f\left(\frac{S_P}{S_{C.P}}\right)$$

Схемы включения реле направления мощности

Требования к схемам включения

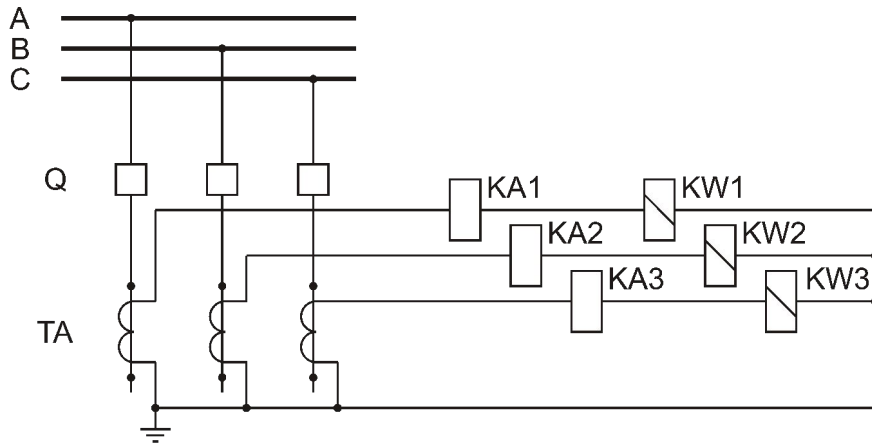
Реле **KW** включается, как правило, на фазный ток и фазное или междуфазное напряжение. Сочетание фаз тока и напряжения, питающего реле, называемое схемой включения, должно быть таким, чтобы реле правильно определяло знак мощности КЗ при всех возможных случаях и видах повреждений и чтобы к нему подводилась наибольшая мощность S_p :

$$S_p = U_p I_p \sin(\alpha - \phi_p), \text{ где } \alpha - \text{угол внутреннего сдвига реле.}$$

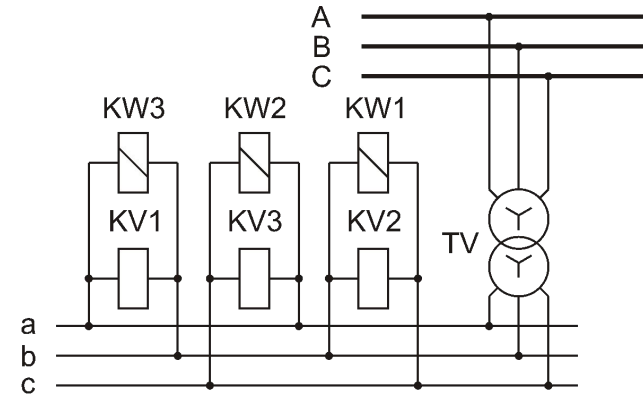
Мощность S_p может быть недостаточна для действия реле, при КЗ близких к месту установки реле снижается напряжение U_p или при неблагоприятном значении угла $\phi_p - \sin(\alpha - \phi_p) \approx 0$. Отсюда вытекают следующие требования к схемам включения:

1. Реле должно включаться на такое напряжение, которое при близких КЗ не снижается до нуля.
2. U_p и I_p , подводимые к реле, должны подбираться так, чтобы угол сдвига между ними ϕ_p в условиях КЗ не достигал значений, при которых S_p на зажимах реле ≈ 0 .

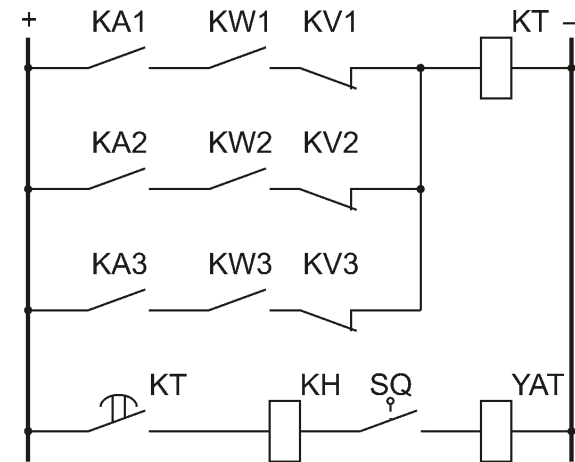
На рисунке приведена принципиальная схема максимальной направленной защиты с двумя пусковыми органами: тока и минимального напряжения и однофазными реле направления мощности, включенными по 90° схеме.



а) токовые цепи

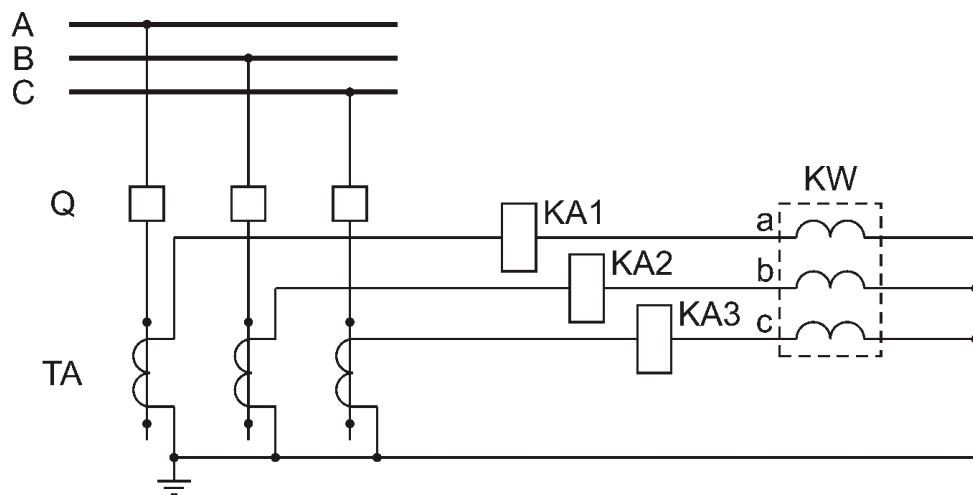


б) цепи напряжения

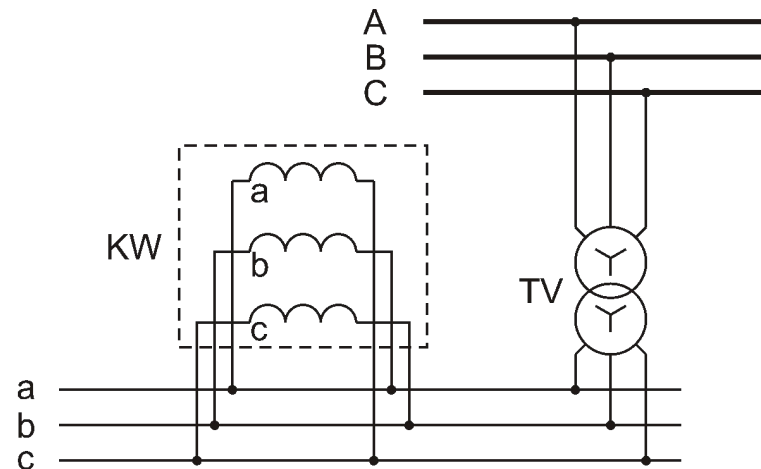


в) цепи оперативного тока

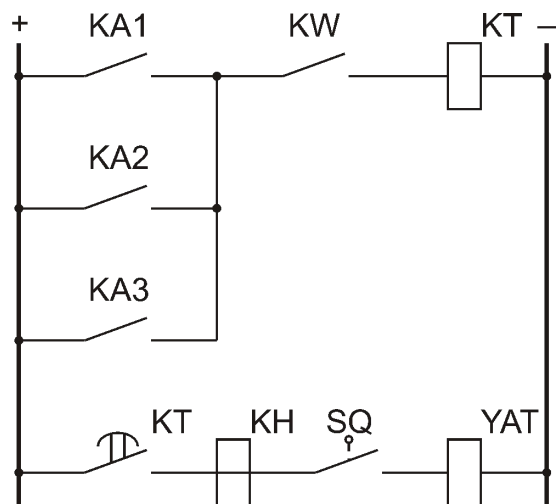
На рисунке представлена принципиальная схема максимальной направленной защиты с токовым пусковым органом и трехфазным реле направления мощности, включенным по 30° схеме.



а) токовые цепи



б) цепи напряжения



в) цепи оперативного тока

Вывод.

90° схема оказывается наиболее выгодной для реле направления мощности с углом α от 30° до 60°, оптимальные условия имеют место при $\alpha = 45^\circ$.

Выводы по схеме

1. Знак момента реле при всех видах КЗ в зоне положителен, а вне зоны – отрицателен.
2. Величина электромагнитного момента M_{Σ} в диапазоне возможных изменений угла ϕ_p остается значительной и достаточной для действия реле.
3. Напряжение U_p при симметричных КЗ имеет максимально возможное значение, обеспечивающие минимальную величину *мертвой зоны* (при близких КЗ $U_p=0$ – реле не срабатывает).

Недостаток 90° схемы

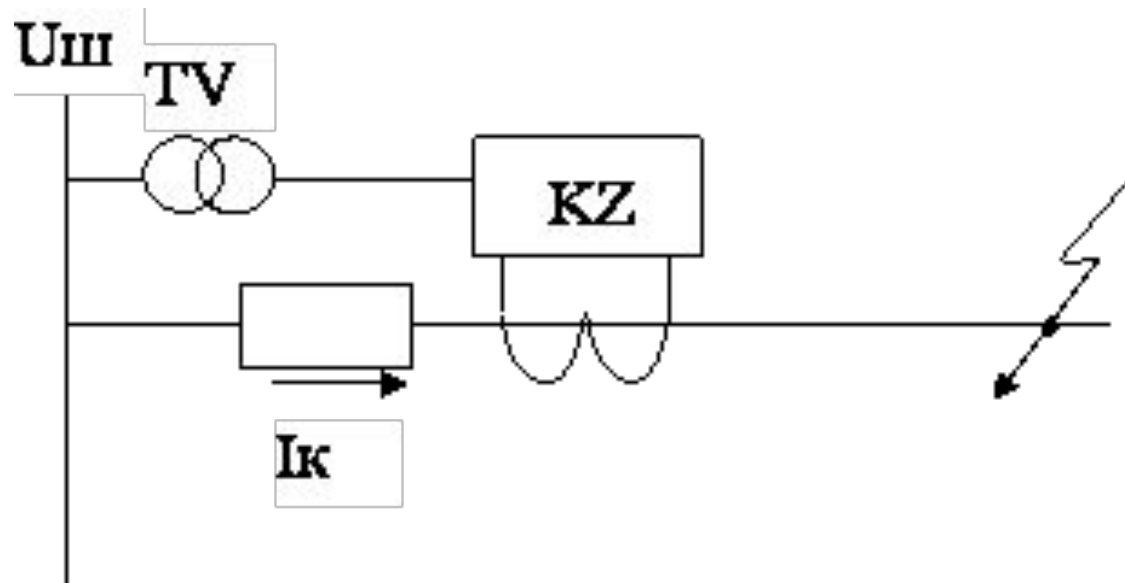
Возможность неправильной работы однофазных реле направления мощности **KW** при КЗ за силовым трансформатором с соединением обмоток **Y/Δ**. (Чисто теоретическая возможность: КЗ должно произойти через дугу с большим сопротивлением, на практике подобные происшествия не зафиксированы.) Трехфазные реле в подобных случаях должны действовать правильно.

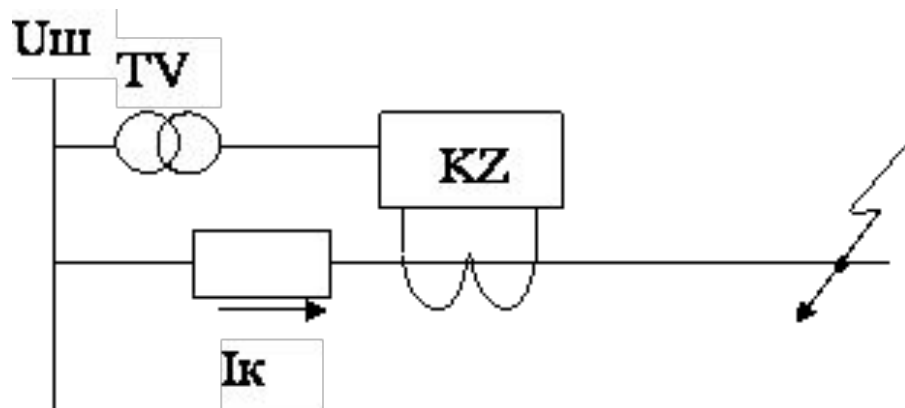
90° схема считается лучшей и рекомендуется как типовая для реле направления мощности **KW** смешанного типа.

30° схема

Используется, в основном, для реле косинусного типа. Реле, включенные по такой схеме, ведут себя правильно при всех видах КЗ. Недостаток аналогичен реле, включенным по 90° схеме: – возможность отказа при КЗ за трансформатором **Y/Δ**.

Реле сопротивления





Напряжение подводится от шин подстанции. По линии проходит ток КЗ.

$$U_{ш} = I_{к} * Z_{к}$$

$$Z_{к} = Z_{уд} * L_{к}$$

$$U_{ш} / I_{к} = Z_{уд} * L_{к}$$

Защита замеряет дистанцию до места КЗ и называется дистанционной.

Основным органом дистанционной защиты является реле сопротивления, которое измеряет сопротивление линии до места КЗ. Реле определяет на каком участке произошло замыкание и отключает его с заданной выдержкой времени.

В России наиболее часто используется реле полного сопротивления, реагирующее полное сопротивление линии.

Данная защита является сложной. Используется в сетях сложной конфигурации с двумя и более источниками питания.

Дистанционная защита выполняется трехступенчатой с относительной селективностью. Параметрами каждой ступени являются длина защищаемой зоны и время срабатывания.

Зависимость выдержки времени от сопротивления, от зоны защиты называется характеристикой времени срабатывания защиты. Имеется 3 вида характеристик:

1. Наклонная.
2. Комбинированная.
3. Ступенчатая.

В России в основном используется ступенчатая характеристика.

Реле

сопротивления

К реле сопротивления подводятся напряжение U_p и ток I_p . Расчетное комплексное сопротивление $Z_p = U_p / I_p$, называется характеристической величиной. Наиболее часто применяют минимальное реле сопротивления, срабатывающее при снижении значения Z_p до заданного сопротивления срабатывания $Z_{ср}$.

Обычно в защитах используется реле минимального сопротивления, которое срабатывает при снижении сопротивления Z_p до заданного сопротивления срабатывания $Z_{ср}$.

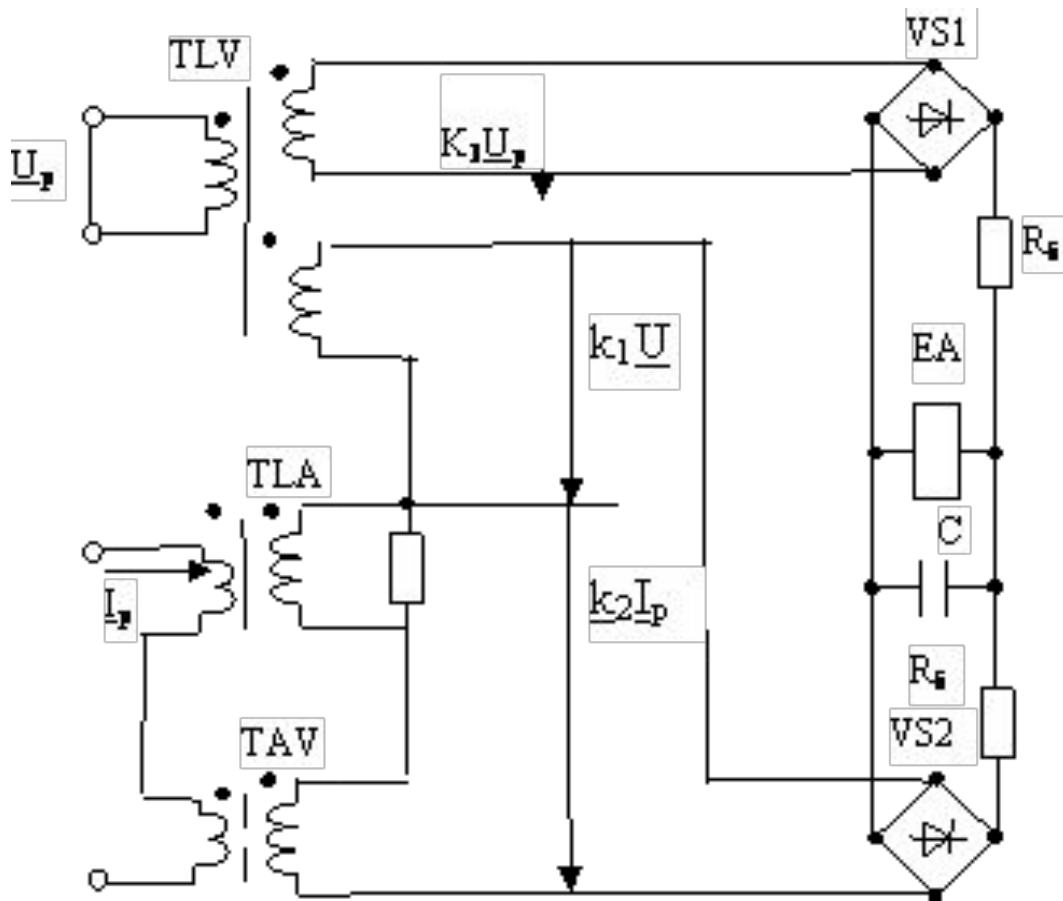
Основная характеристика реле – характеристика срабатывания. Она строится на комплексной плоскости. Это геометрическое множество точек на комплексной плоскости, которое удовлетворяет условию $Z_p = Z_{ср}$.

В зависимости от вида характеристики различают:

1. Реле полного сопротивления.
2. Направленное реле сопротивления.
3. Реле сопротивления со смещенной характеристикой.
4. Реле сопротивления с эллиптической характеристикой.

В защитах наиболее часто используют два вида реле:

1. Реле полного сопротивления. ($Z_{ср}$ для этой характеристики постоянно.)
2. Направленное реле сопротивления. (Характеристика этого реле зависит от угла j_p . При угле $j_{p, \max}$ реле имеет максимальную чувствительность.)



Для получения различных характеристик необходимо схемным путем сравнить по абсолютному значению или по фазе две величины.

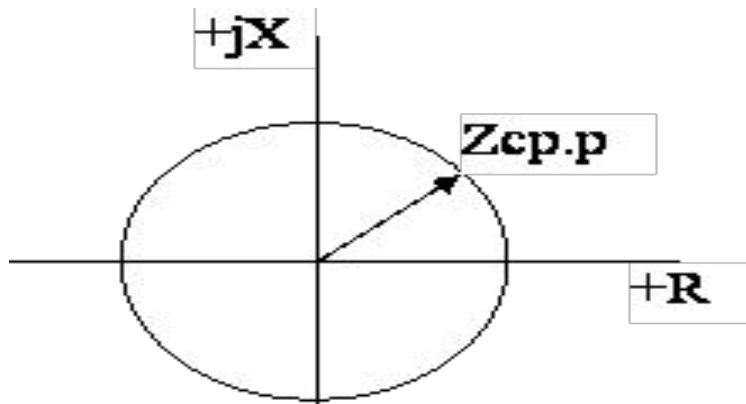
$$\underline{A} = k_1 \underline{U}_p + k_2 \underline{I}_p, \quad \underline{B} = k_3 \underline{U}_p + k_4 \underline{I}_p$$

Для реализации смещенной характеристики k_1 и k_3 должны быть вещественными, $k_4 = 0$, а k_2 - комплексным.

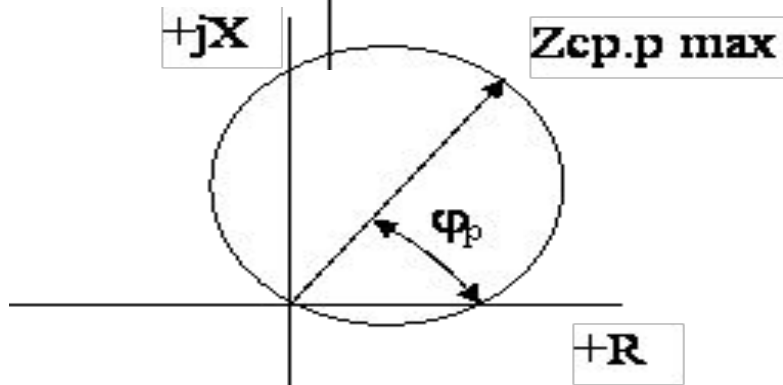
Величина B подводится к схеме сравнения через трансформатор напряжения TLV , а величина A получается путем суммирования слагаемого $k_1 U_p$ с вещественной частью слагаемого $k_2 I_p$ получаемой от трансформатора тока TLA , нагруженного резистором, и мнимой частью, получаемой от трансреактора TAV .

Схема сравнения содержит два двухполупериодных выпрямителя $VS1$ и $VS2$ и реагирующий элемент EA .

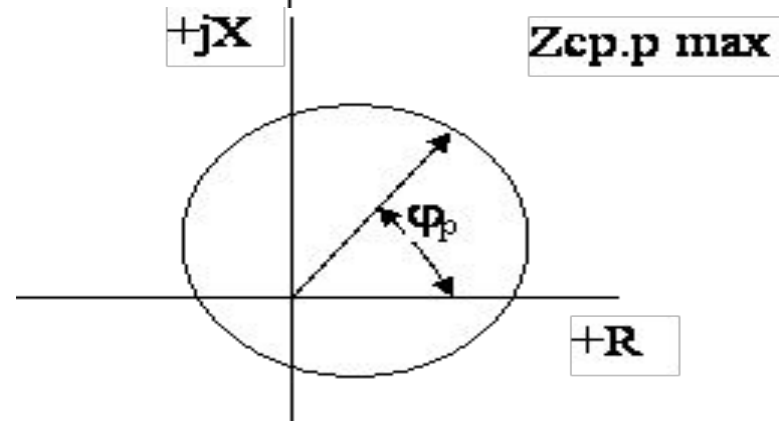
Конденсатор C используется для сглаживания пульсации выпрямленных токов. Время действия такого реле сопротивления составляет $t_{с.р} = 0,04 \dots 0,06$ с и не зависит от Z_p .



Реле полного
сопротивления.



Направленное реле
сопротивления.



Реле со смещенной
характеристикой

Микропроцессорное реле сопротивления имеет дополнительные возможности - такие, как непрерывный функциональный контроль исправности защиты и тестовый контроль. Кроме того, характеристики срабатывания дистанционных органов данной защиты отличаются от характеристик панели ДЗ-503.

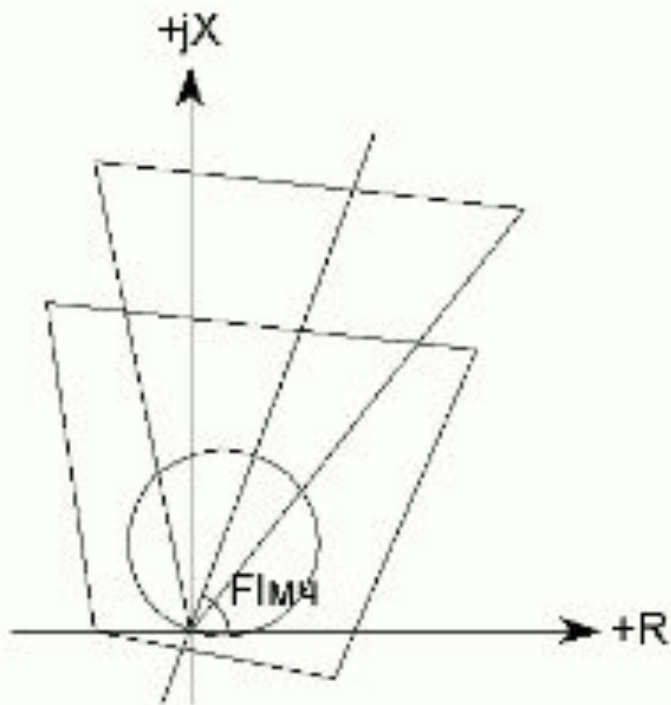
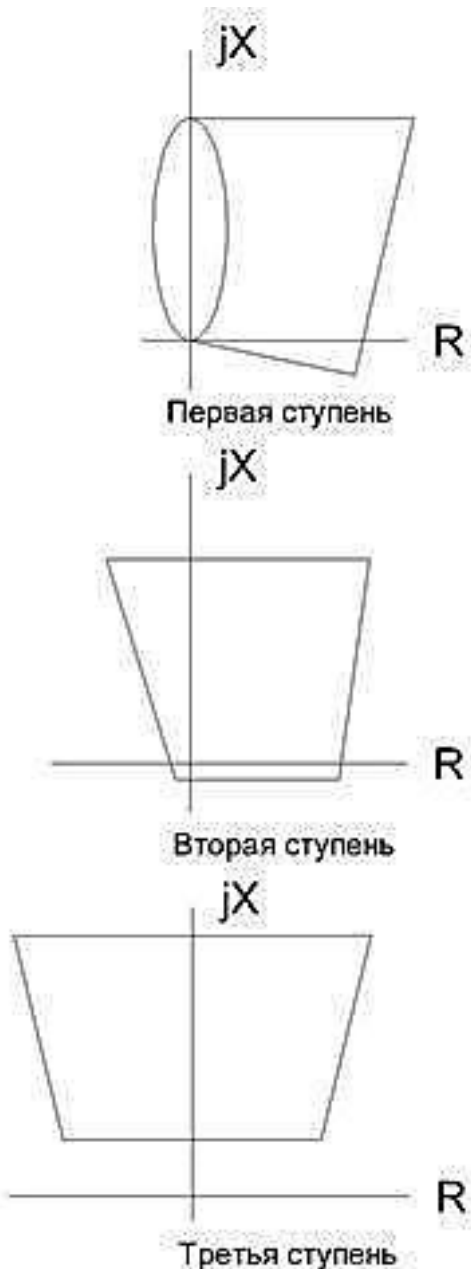


Рис. 4.2.5. Характеристики электронных РС.



- 1) Характеристика **первой** ступени защиты - составная характеристика, представляющая собой комбинацию четырёхугольной и эллипсообразной характеристик, проходящая через начало координат комплексной плоскости сопротивлений.
- 2) Характеристика срабатывания **второй** ступени защиты представляет собой четырёхугольник, охватывающий начало координат комплексной плоскости сопротивлений и имеющий смещение в III квадрант до 12% относительно уставки реле.
- 3) Характеристика срабатывания **третьей** ступени защиты также представляет собой четырёхугольник, смещённый в III квадрант комплексной плоскости сопротивлений до 12% от уставки реле, с возможностью смещения в I и II квадранты на величину от 10% до 40% от уставки реле.

Указанные характеристики позволяют лучше отстроиться от нагрузочных режимов и, следовательно, выбрать уставку реле сопротивления с большей чувствительностью. Панель ПДЭ 2001 также имеет блокировку при неисправностях в цепях напряжения и блокировку при качаниях. БК реагирует на скорость изменения тока обратной и прямой последовательностей, что позволяет отстроиться от несимметричных режимов,

Газовая защита и газовое

реле некоторые мощные электрические аппараты в процессе эксплуатации выделяют значительное количество тепла, в результате чего воздушное охлаждение таких устройств оказывается недостаточно эффективным. В этих случаях для охлаждения эти аппараты (к ним могут относиться трансформаторы, автотрансформаторы, реакторы) помещают в бак, заполненный трансформаторным маслом, которое естественным или принудительным образом охлаждает эти устройства. Кроме того, масло дополнительно служит для повышения уровня изоляции обмоток трансформаторов.

Использование масла решает проблему охлаждения, однако создаёт новую проблему, связанную с повышенной опасностью эксплуатации электрического аппарата. В случае повреждения токоведущих частей (например, при коротком замыкании между обмотками трансформатора), масло начинает нагреваться, происходит усиленное газообразование, резко поднимается давление масла в баке, что может привести к взрыву, сопровождающемуся пожаром. Для предупреждения таких повреждений применяется газовая защита.

Согласно ПУЭ газовая защита устанавливается в обязательном порядке на трансформаторах мощностью 6,3 МВА и более, шунтирующих реакторах на напряжении 500кВ, трансформаторах мощностью 630 кВА, если они располагаются внутри помещений.

Газовая защита может использоваться для включения системы пожаротушения трансформатора.

Принцип действия газовой защиты

Газовое реле

В рассечку трубопровода, соединяющего бак и расширитель, устанавливается газовое реле (например, ранее выпускавшиеся типа РГЧЗ-66, ПГ-22, немецкого производства BF-50, BF-80, или отечественные РЗТ-50, РЗТ-80). Газовое реле имеет герметичный корпус со смотровыми окошками. Сверху на корпусе реле имеется специальный краник, предназначенный для выпуска воздуха и отбора проб газа. Газовое реле имеет два поплавковых элемента, действующих при срабатывании на замыкание механически связанных с ними контактов, и реагирующих на снижение уровня масла в реле, а также струйный элемент (подвешенная на пути масла пластинка с калиброванным отверстием), срабатывающим при интенсивном движении потока масла из бака в расширитель. В нормальном режиме корпус газового реле заполнен маслом, и контакты, связанные с его поплавковыми и струйным элементами, разомкнуты.



Рис. 9.4



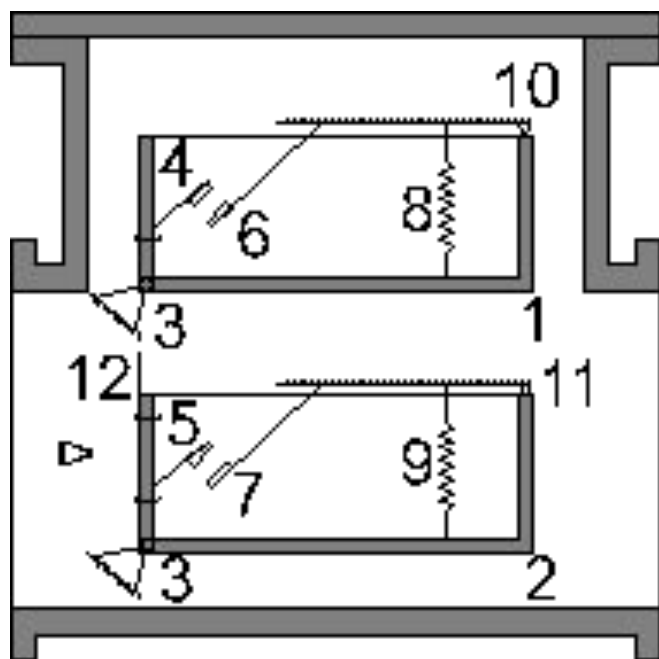


Рис. 9.4.2.

Если в кожухе реле и в чашках нет масла, то контакты разомкнуты. Та же, если кожух реле заполнен маслом. При понижении уровня масла в реле, под весом масла в чашке контакт замыкается. При бурном газообразовании, под действием потока масла лопасть 12 поворачивается и замыкает контакты.

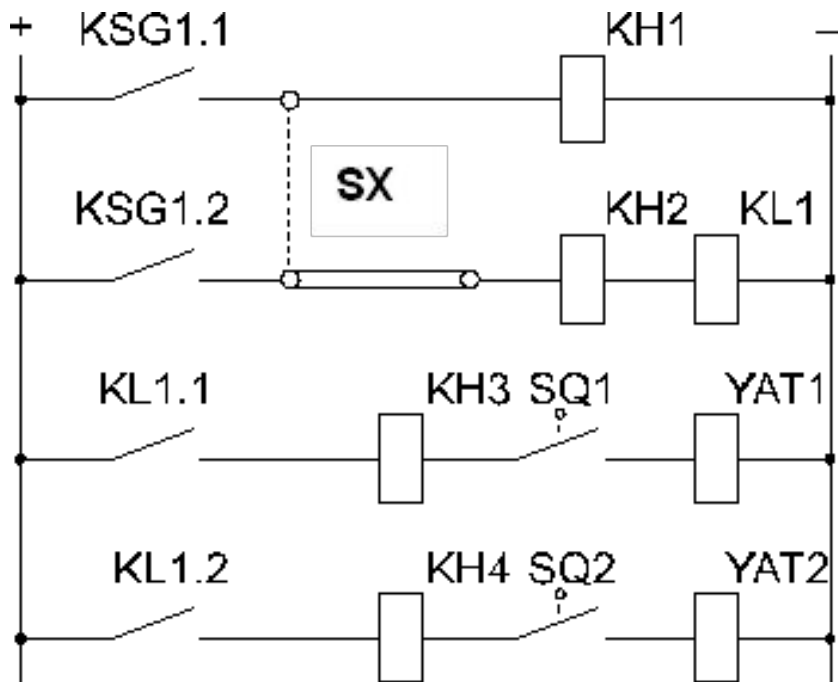
При небольших повреждениях в трансформаторе образование газа происходит медленно, он поднимается к расширителю, проходя через реле, газ заполняет верхнюю часть её кожуха, вытесняя оттуда масло – замкнется контакт 4-6.

При значительном повреждении в трансформаторе, газообразование протекает бурно, под влиянием давления, масло приходит в движение, лопасть 12 замыкает контакты 5-7.

Существует три разновидности газовых реле, к устаревшим конструкциям относят поплавковые и лопастные; современные газовые реле – чашечного типа.

Конструкция чашечного газового реле представлена на рис. 9.4.2.

Реле имеет два элемента – сигнальный и отключающий (чашки 1 и 2). Чашка может вращаться вокруг оси 3. 4-5 – подвижный контакт; 6-7 – неподвижный контакт; 8-9 – противодействующие пружины; 12 – лопасть на нижней чашке, вращающаяся на оси.



Реле способно различать степень повреждения в трансформаторе. при малых – сигнал, при больших – отключение.

Газовая защита реагирует и на понижение уровня масла – вначале на сигнал, затем на отключение.

Схема включения газового реле представлена на рис. Для предупреждения неправильного отключения трансформатора, отключающая цепь газовой защиты после доливки масла или включения нового трансформатора переводится на сигнал (до 2-3 суток) до тех пор, пока не прекратится выделение воздуха, отмечаемые по работе защиты на сигнал.

Оценка газовой защиты

Достоинства:

1. Простота;
2. Высокая чувствительность;
3. Малое время действия при значительных повреждениях.

Газовая защита является наиболее чувствительной защитой трансформаторов от повреждений его обмоток и особенно витковых замыканий, на которые дифференциальная защита реагирует только при замыкании большого числа витков, а МТЗ и отсечка не реагируют совсем.

Недостатки:

1. Не действует при повреждениях на выводах трансформатора;
2. Должна выводиться из работы после доливки масла.

Применение

Обязательно устанавливается на трансформаторах мощностью 6300 кВА и выше, а также на трансформаторах 1000-4000 кВА не имеющих дифференциальной защиты или отсечки и если МТЗ имеет выдержку времени более 1 секунды. При наличии быстродействующих защит, её применение допускается. На внутрицеховых трансформаторах мощностью 630 кВА и выше обязательна к применению, независимо от наличия других быстродействующих защит.



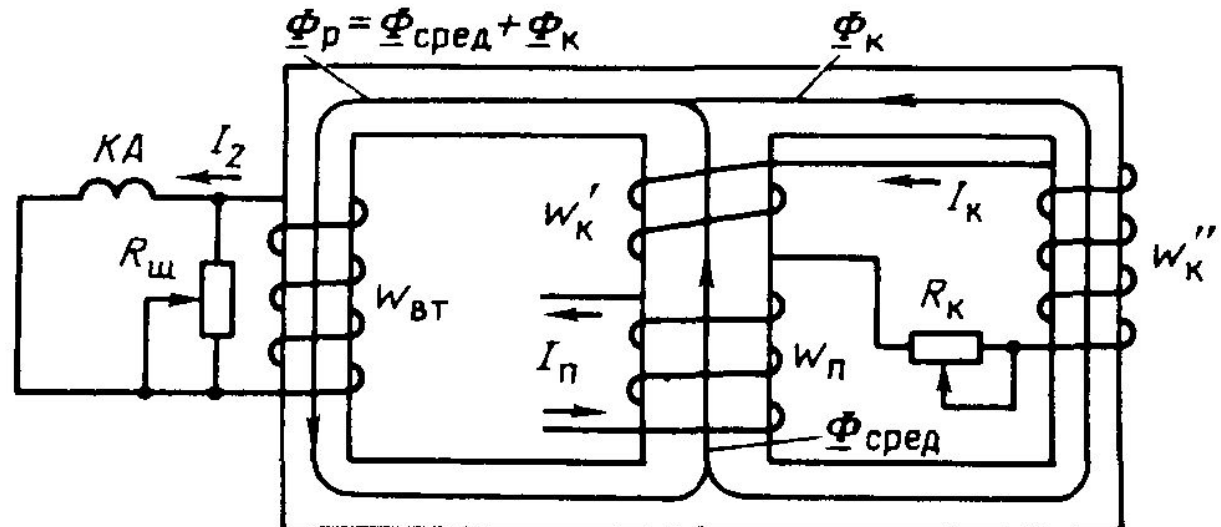
Дифференциальные защиты

Конструкция и принцип действия реле РНТ, схемы включения.

Основными элементами реле РНТ являются промежуточный трансформатор (НТТ) и исполнительный орган - реле РТ-40 или ЭТ-521 (рис.4.6).

Промежуточный НТТ имеет два назначения:

- 1) обеспечивает отстройку реле от токов небаланса при переходных процессах;
- 2) служит одновременно для выравнивания магнитодвижущих сил (МДС), возникающих под действием различных по величине вторичных токов в плечах дифференциальной защиты.



Промежуточный НТТ имеет трехстержневой сердечник. На левом стержне расположена вторичная обмотка $w_{\text{ВТ}}$ к которой подключено исполнительное реле. На среднем стержне магнитопровода расположены три или две первичные обмотки $w_{\text{П}}$, включаемые в токовые цепи дифференциальной защиты. Кроме того, на среднем и правом стержнях размещены две секции $w'_{\text{К}}$ и $w''_{\text{К}}$ короткозамкнутой обмотки, используемой для улучшения отстройки защиты от "бросков" намагничивающих токов силовых трансформаторов и токов небаланса в переходном режиме при внешних КЗ.

При повреждении в зоне действия дифференциальной защиты, когда ток в первичной обмотке I_1 быстро делается синусоидальным, происходит непосредственная трансформация из первичной обмотки $w_{\text{П}}$ во вторичную $w_{\text{ВТ}}$, и в часть короткозамкнутой обмотки $w'_{\text{К}}$, откуда он поступает в другую часть короткозамкнутой обмотки $w''_{\text{К}}$. Магнитные потоки среднего и правого стержней $\Phi_{\text{Сред}}$ и $\Phi_{\text{К}}$ суммируются и образуют поток в левом стержне, обуславливающий ток I_2 во вторичной обмотке $w_{\text{ВТ}}$ и обмотке реле KA . Таким образом, переменный ток из первичных обмоток трансформируется двумя путями: при помощи прямой трансформации из $w_{\text{П}}$ во вторичную обмотку и двойной трансформацией из $w_{\text{П}}$ в $w'_{\text{К}}$, а затем из $w''_{\text{К}}$ в $w_{\text{ВТ}}$. При токе I_2 , превышающем ток срабатывания реле, защита действует. При внешних КЗ апериодическая составляющая практически не трансформируется в короткозамкнутый контур. Апериодическая слагающая первичного тока I_1 создает в среднем стержне апериодический поток, разветвляющийся в левый и правый стержни. Апериодические потоки в среднем и правом стержнях ухудшают трансформацию. Из обмотки $w_{\text{П}}$ в обмотку $w'_{\text{К}}$, а затем и в обмотку $w_{\text{ВТ}}$ (за счет насыщения стержней). Апериодический поток среднего и левого стержней уменьшает прямую трансформацию переменного тока из первичной обмотки во вторичную $w_{\text{ВТ}}$ и дополнительно ухудшает вторичную трансформацию из короткозамкнутой обмотки $w''_{\text{К}}$ в обмотку $w_{\text{ВТ}}$. Таким образом, апериодический ток особенно сильно ослабляет двойную трансформацию, этим и достигается значительное увеличение тока срабатывания (загрубление) реле при наличии апериодической слагающей. При увеличении числа витков короткозамкнутой обмотки или уменьшении сопротивления $R_{\text{К}}$ двойная трансформация проявляется сильнее, и, следовательно, сильнее действует апериодический ток на загрубление реле.

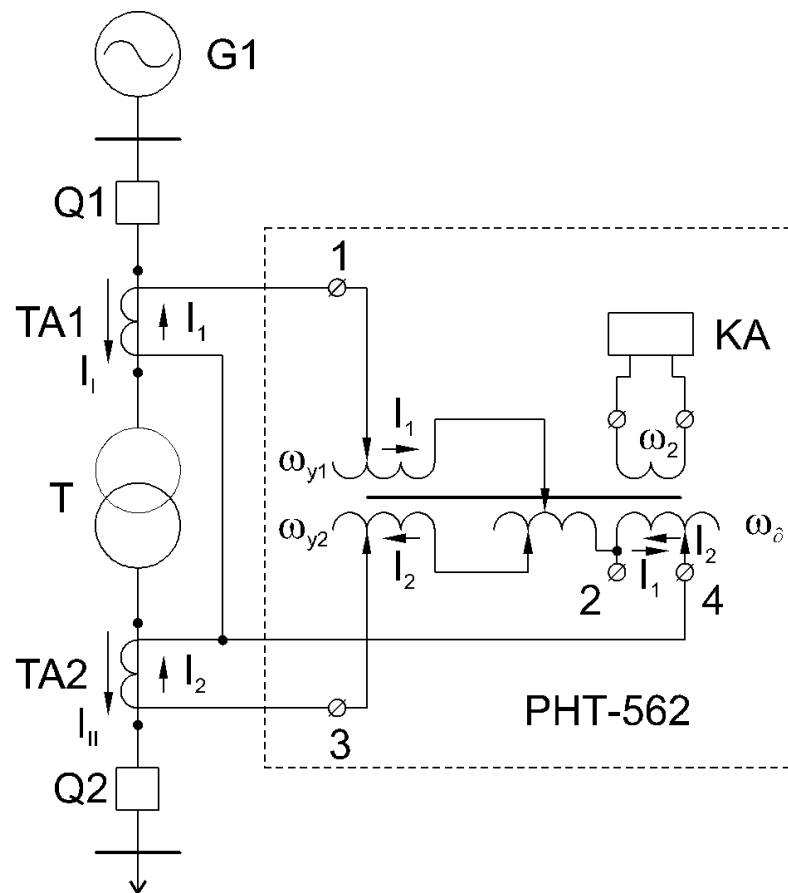
Но, изменяя число витков короткозамкнутой обмотки, важно сохранить неизменной уставку реле по переменному току, т.е. МДС срабатывания. $F_{\text{ср}}$ при подаче в первичную обмотку тока, не содержащего апериодической составляющей, не должна зависеть от изменения условий двойной

Применение БНТ позволяет выполнить простую и быстродействующую защиту, надежно отстроенную от токов небаланса и бросков намагничивания.

БНТ плохо трансформирует апериодические токи. В реле защиты попадает лишь переменная составляющая тока небаланса и броска намагничивающего тока силового трансформатора. (см. рис. 9.2.11. – осциллограммы токов в обмотках БНТ.) Временные зависимости наглядно показывают резкое снижение тока в реле и эффективность насыщающегося трансформатора.

За счет насыщения сердечника БНТ, обусловленного подмагничивающим действием апериодического тока, трансформация переменной составляющей также ухудшается, что ещё больше уменьшает ток в реле.

После затухания апериодической составляющей нормальные условия для трансформации периодического тока восстанавливаются.



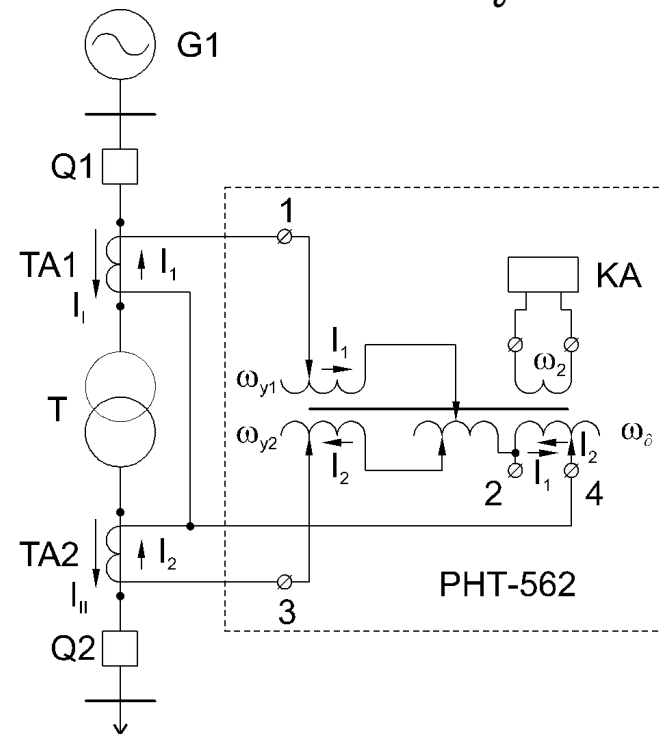
Подмагничивающее действие апериодического тока, приводит к замедлению защиты при повреждении в её зоне. Трансформация уменьшается настолько, что ток в обмотке реле меньше тока срабатывания. Время замедления – 0,03 – 0,01 секунды. Это является недостатком схемы дифференциальной защиты с БНТ.

Ток срабатывания защиты должен отстраиваться от *переменной* составляющей переходных токов намагничивания и небаланса:

$$I_{с.з.} = (1 \div 2) I_{НОМ.Т.}$$

Реле РНТ-565 совмещает в себе устройство выравнивания вторичных токов защиты и БНТ. На рис. 9.2.10.: ω_{y1} , ω_{y2} – уравнивательные обмотки, позволяют выровнять магнитный поток при неравенстве токов I_1 и I_2 при сквозных КЗ. ω_{ρ} – рабочая (дифференциальная) обмотка. В РНТ-565 используется токовое реле типа РТ-40. Число витков уравнивающих обмоток регулируется отпайками и подбирается так, чтобы при внешних КЗ ток в обмотке реле **КА** был равен нулю. (См. формулу 9.4.) Ток срабатывания защиты регулируется изменением числа витков обмотки ω_{ρ} .

На магнитопроводе реле РНТ имеется *короткозамкнутая обмотка* ω_k . Она повышает степень отстройки реле от токов небаланса и бросков намагничивающих токов силового трансформатора особенно, когда эти токи имеют незначительную апериодическую составляющую, что понижает эффективность действия БНТ. Короткозамкнутая обмотка ограничивает периодический ток, возникающий во вторичной обмотке РНТ. Конструктивно размещение обмоток реле РНТ-565 показано на рис. 9.2.12.



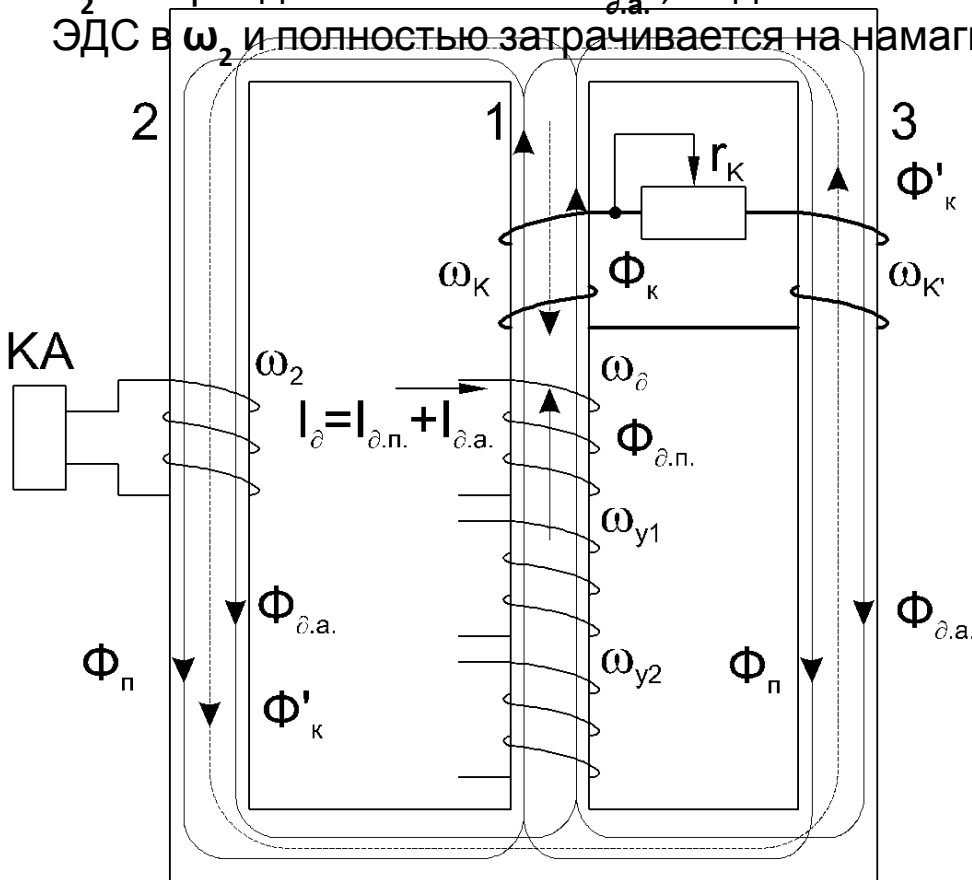
Работа БНТ:

Ток I_{∂} , поступающий в обмотку ω_{∂} создает магнитодвижущую силу $F_{\partial} = I_{\partial} \omega_{\partial}$, которая образует в среднем стержне магнитный поток Φ_{∂} , замыкающийся по крайним стержням магнитопровода.

В общем случае ток I_{∂} состоит из переменной $I_{\partial.п.}$ и апериодической $I_{\partial.а.}$ составляющих. Соответственно этому образуются два магнитных потока $\Phi_{\partial.п.}$ и $\Phi_{\partial.а.}$.

а.:

Переменный поток $\Phi_{\partial.п.}$, замыкаясь по стержню 2, наводит в обмотке ω_2 ЭДС E_2 . Апериодический поток $\Phi_{\partial.а.}$, медленно изменяющийся во времени, не создает ЭДС в ω_2 и полностью затрачивается на намагничивание магнитопровода.



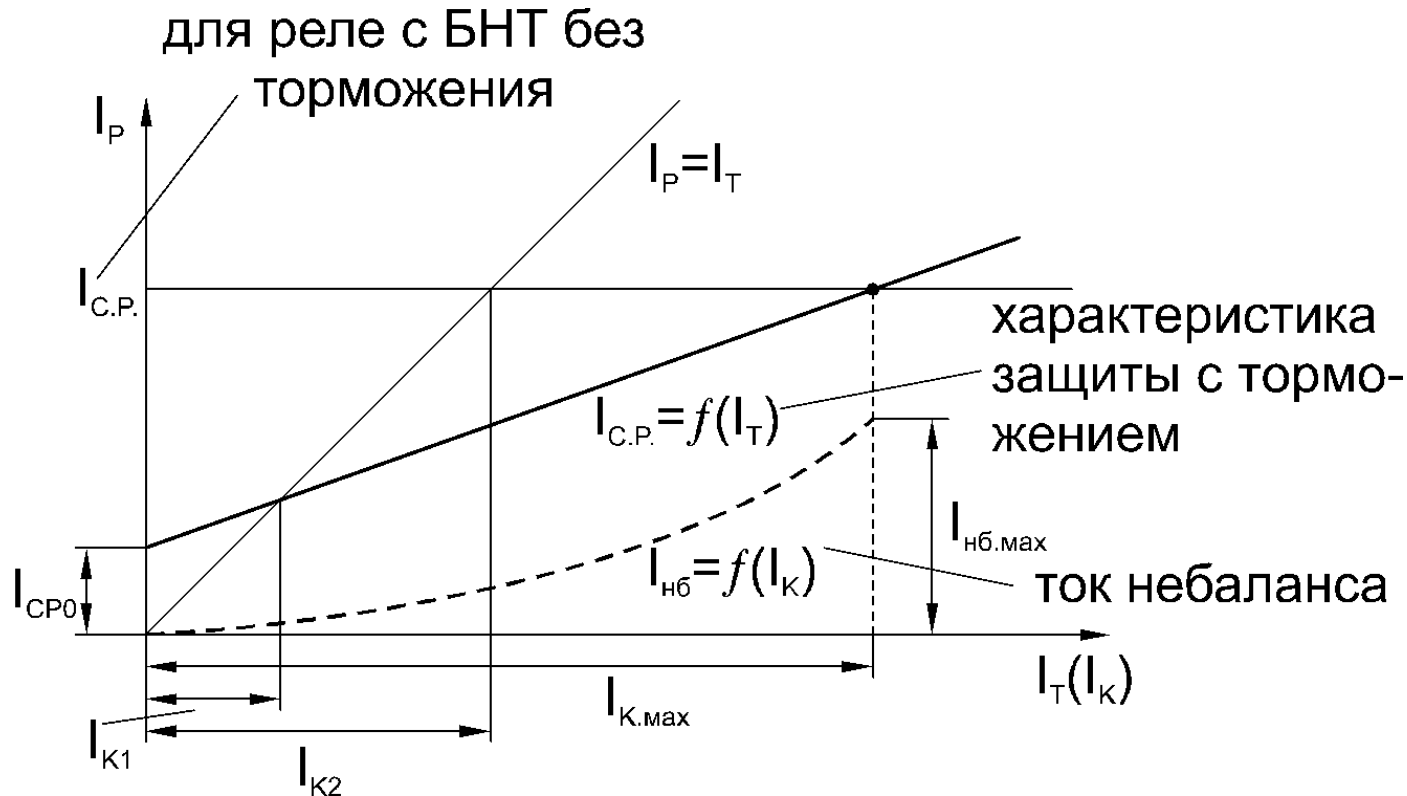
Переменная составляющая потока $\Phi_{\partial.п.}$ наводит в витках короткозамкнутой обмотки ω_k ЭДС E_k и ток I_k . Короткозамкнутая обмотка создает потоки Φ_k и Φ_k' направленные встречно потоку $\Phi_{\partial.п.}$ и заметно компенсируют его. В результате по магнитопроводу протекает остаточный поток $\Phi_n < \Phi_{\partial.п.}$ (где $\Phi_{\partial.п.}$ – магнитный поток при отсутствии короткозамкнутой обмотки).

Таким образом короткозамкнутая обмотка уменьшает переменный магнитный поток, создаваемый периодическим током $I_{\partial.п.}$, питающим обмотку ω_{∂} .

Характеристика реле с торможением

При КЗ в зоне (рис. 9.2.15.) ток повреждения I_K , протекающий по тормозной обмотке, загроубляет реле, но несмотря на это чувствительность тормозного реле выше, чем у реле с БНТ без торможения.

Для обеспечения достаточной надежности действия защиты при повреждениях в зоне и селективности при внешних КЗ коэффициент торможения (наклон характеристики реле) принимается равным 30-60%, а начальный ток $I_{C.P.0}$ при $I_T=0$ – 1,5-2 А (30-40% от $I_{номТА}$).



Оценка дифференциальных защит трансформаторов

Достоинства:

- Быстрое и селективное отключение повреждений как самого трансформатора, так и его выводов и ТВЧ.

Применение:

Согласно ПУЭ, дифференциальные защиты устанавливаются:

- на одиночно работающих трансформаторах мощностью 6300 кВА и выше;
- на параллельно работающих трансформаторах мощностью 4000 кВА и выше, если токовая отсечка не обеспечивает необходимой чувствительности при КЗ на выводах низкого напряжения ($k_{\text{ч}} < 2$), а МТЗ имеет выдержку времени > 1 .
- На маломощных трансформаторах используются дифференциальные отсечки.
- Если на трансформаторах с РПН и трех обмоточных трансформаторах реле с БНТ не удовлетворяет требованию чувствительности применяют тормозное реле типа ДЗТ.



МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО ДИФ. ЗАЩИТЫ РС83-ДТ2

Функции устройства:

2-х ступенчатая дифзащита. Первая ступень – дифференциальная отсечка (ДО), вторая ступень – чувствительная дифференциальная защита с торможением (ДТЗ);

4-х ступенчатая максимально-токовая защита (МТЗ) с независимой выдержкой времени. Функция МТЗ для каждой ступени подключается к трансформаторам тока стороны ВН или НН силового трансформатора;

для любой ступени МТЗ, ДО и ДТЗ возможен режим с блокировкой от броска намагничивающего тока (БНТ);

2-х ступенчатая защита от несимметричной нагрузки или обрыва фаз по току обратной последовательности стороны ВН или НН;

2-х ступенчатая направленная защита от замыканий на землю (ЗНЗ) по измеренному или расчетному току (независимо для каждой ступени) нулевой последовательности $3I_0$ с пуском по $3U_0$; расчетный ток получается путем векторного суммирования трех фазных токов стороны ВН;

постоянное измерение фазных токов и индикация фактических действующих значений тока;

запоминание параметров срабатывания защиты и автоматики в журнале аварий для 100 событий (с фиксацией вида защиты, значения тока и времени срабатывания);

запоминание параметров изменения конфигурации в журнале событий для 200 событий;

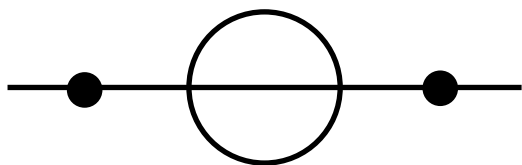
цифровое осциллографирование с общим временем записи 60с;

светодиодная индикация исправности устройства, срабатывания защит и состояния дискретных входов;

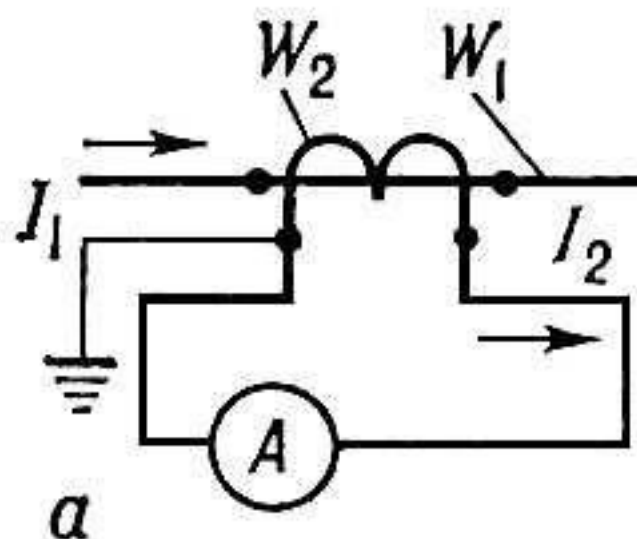
Измерительные трансформаторы тока и напряжения

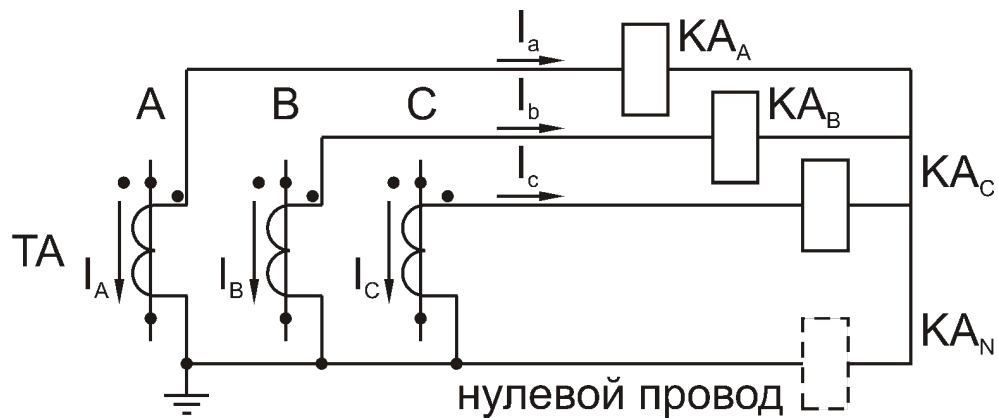
Трансформаторы тока

В трехфазных сетях с напряжением 6-10 кВ устанавливаются трансформаторы как во всех трех фазах, так и только в двух (А и С). В сетях с напряжением 35 кВ и выше трансформаторы тока в обязательном порядке устанавливаются во всех трех фазах. В случае установки в три фазы вторичные обмотки трансформаторов тока соединяются в «звезду» (рис.1), в случае двух фаз — «неполную звезду» (рис.2). Для дифференциальных защит трансформаторов с электромеханическими реле трансформаторы подключают по схеме «треугольника»



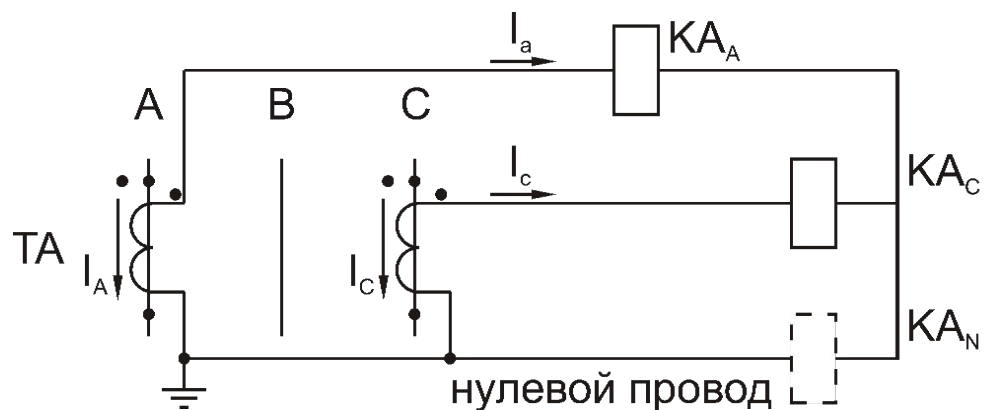
Трансформатор тока на схеме электроснабжения





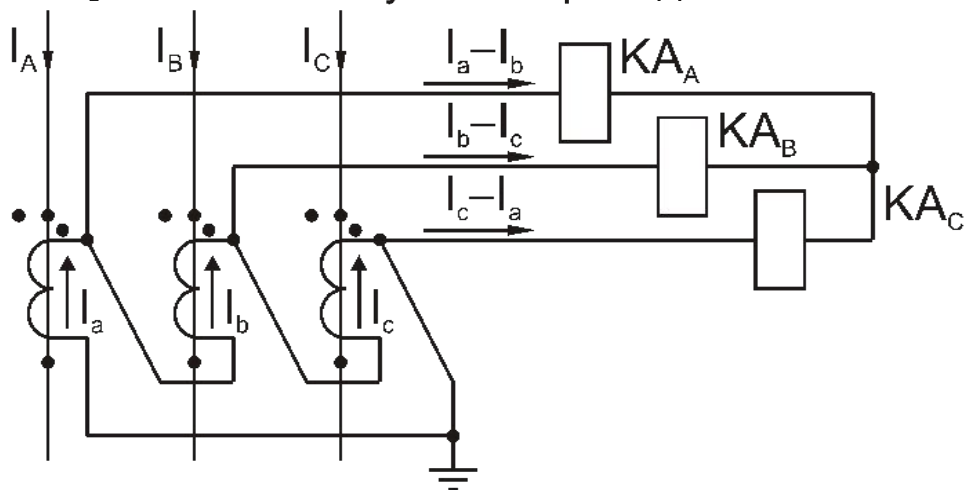
Полная звезда:

- 0.4 кВ
- 6-10 кВ
- 35 кВ и выше



Не полная звезда:

- 0.4 кВ
- 6-10 кВ



Треугольник:

- Дифференциальная защита
- Дистанционная защита

Трансформаторы напряжения

Измерительные трансформаторы напряжения (ТН) по принципу действия и конструктивному выполнению аналогичны силовым трансформаторам.

$$U_2 = \frac{U_1}{n_H}$$

Для питания защит ТН могут устанавливаться на шинах электростанций и подстанций и питать защиты всех присоединений (рис. а) или устанавливаться на каждом присоединении (рис. б).

ТН подразделяются на три класса точности: 0,5; 1 и 3. В каталогах указывается номинальная мощность – максимальная нагрузка, которую может питать ТН в гарантированном классе точности.

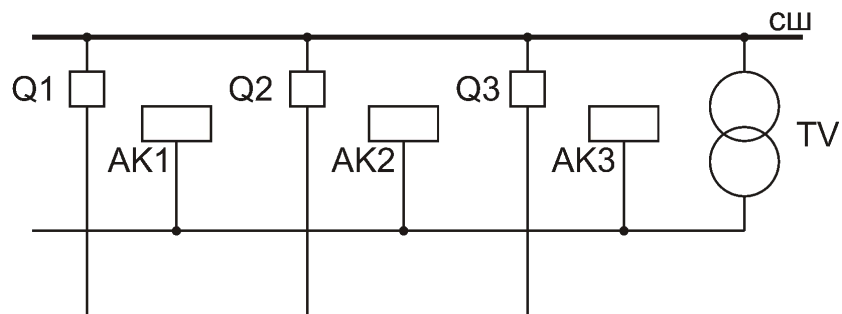


Рис.а

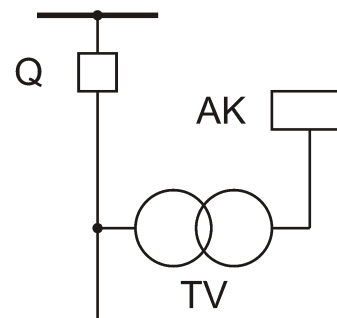
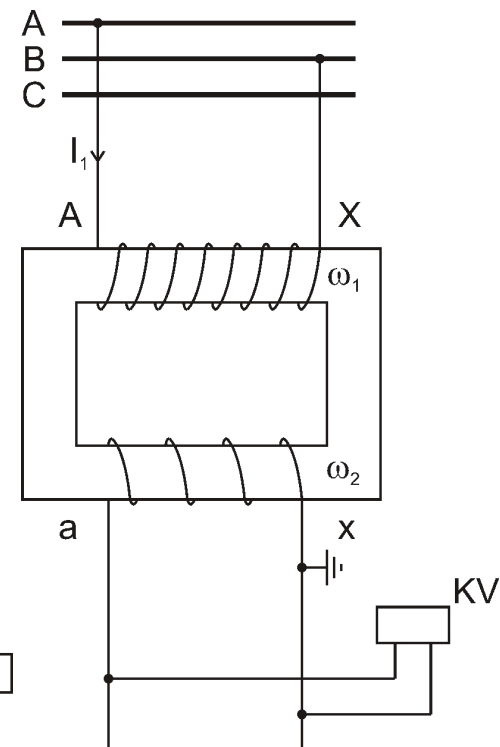


Рис.б



Схемы соединений трансформаторов напряжения

Схема соединения трансформаторов напряжения в звезду

Схема предназначена для получения напряжения фаз относительно земли и линейных напряжений.

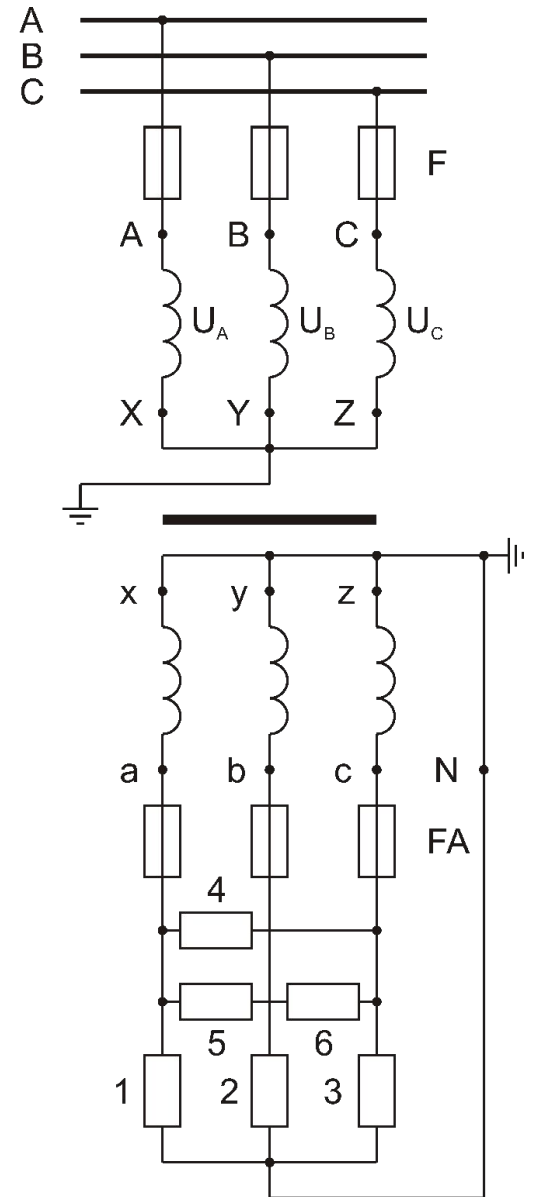
Заземление нейтрали первичной обмотки ТН и наличие нулевого провода во вторичной цепи является обязательным условием для получения фазных напряжений относительно земли.

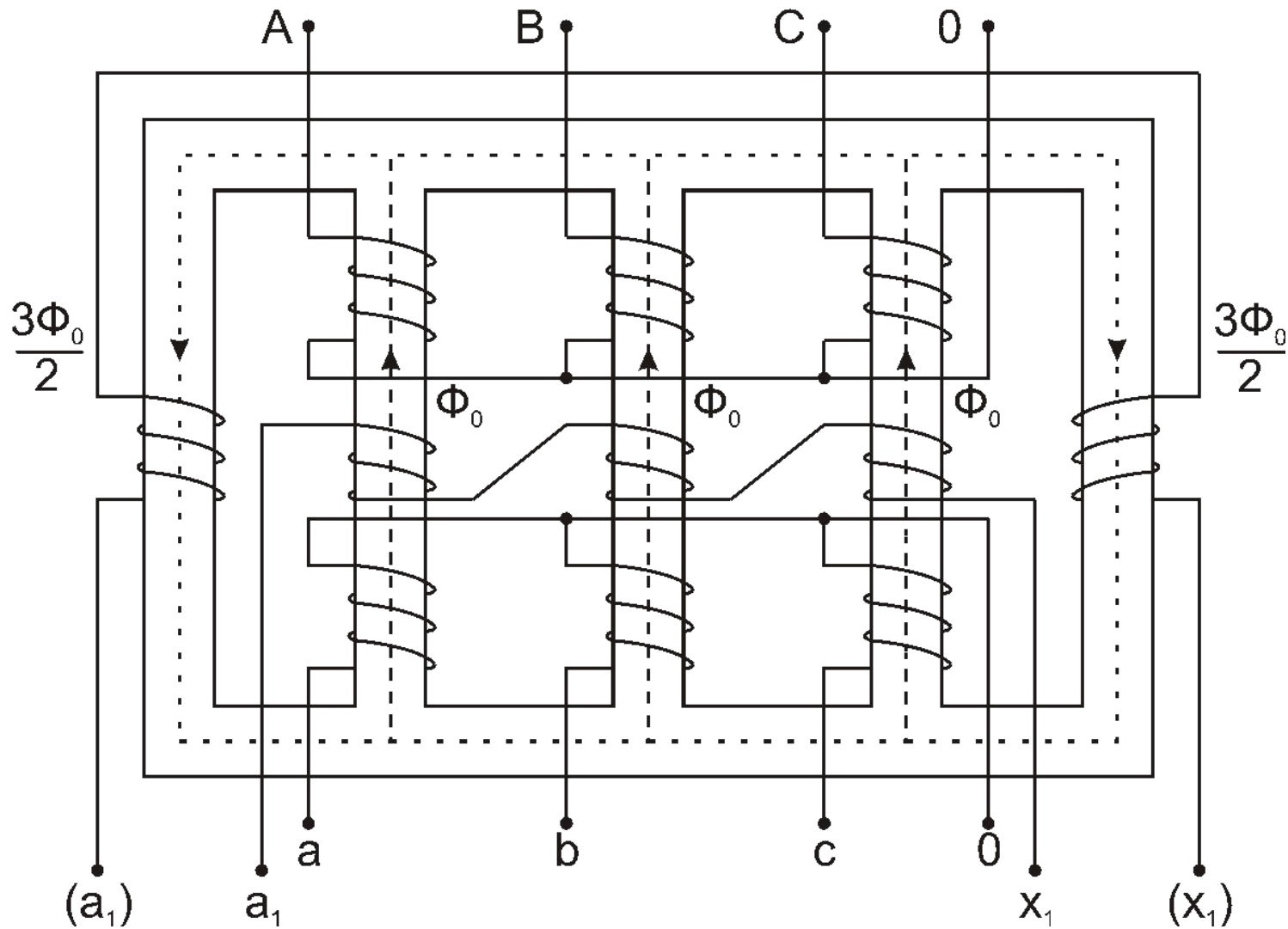
Обмотки реле 1,2,3 включены на фазные напряжения; 4,5,6 – на линейные напряжения.

На рис: F – плавкий предохранитель; FA – плавкий предохранитель в цепях релейной защиты

Рассмотренная схема соединений может быть выполнена посредством трех однофазных ТН или одного трехфазного пятистержневого ТН (рис.6.3.2) Трехфазные трехстержневые ТН не применяются, так как в их магнитопроводе нет пути для замыкания магнитных потоков нулевой последовательности Φ_0 , создаваемых током I_0 в первичных обмотках при замыкании на землю в сети. Поток Φ_0 замыкается через воздух, это резко увеличивает $I_{НАМ}$, вызывая недопустимый нагрев трансформатора.

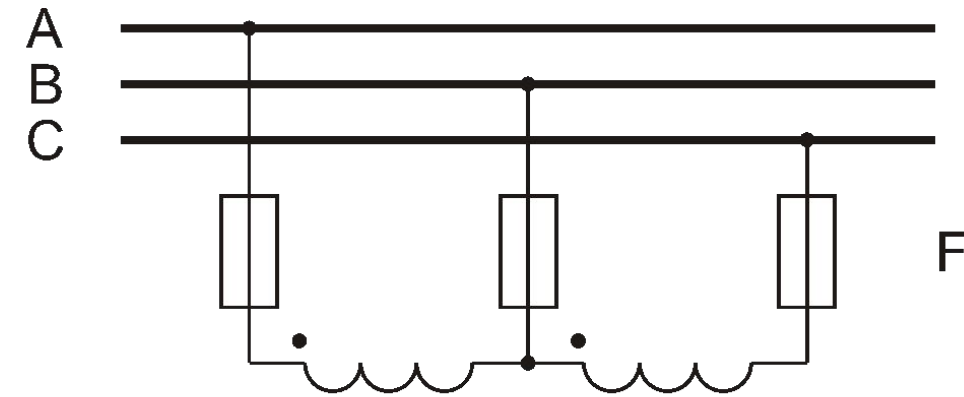
Возможна дополнительная обмотка на основных или дополнительных стержнях для получения напряжения нулевой последовательности.





Пятистержневой ТН Y/Y

Схема соединения обмоток трансформаторов напряжения в ОТКРЫТЫЙ ТРЕУГОЛЬНИК



Два однофазных ТН
включены на два
междуфазных напряжения.
Между проводами вторичной
цепи включаются реле.
Схема позволяет получить 3
междуфазных напряжения.

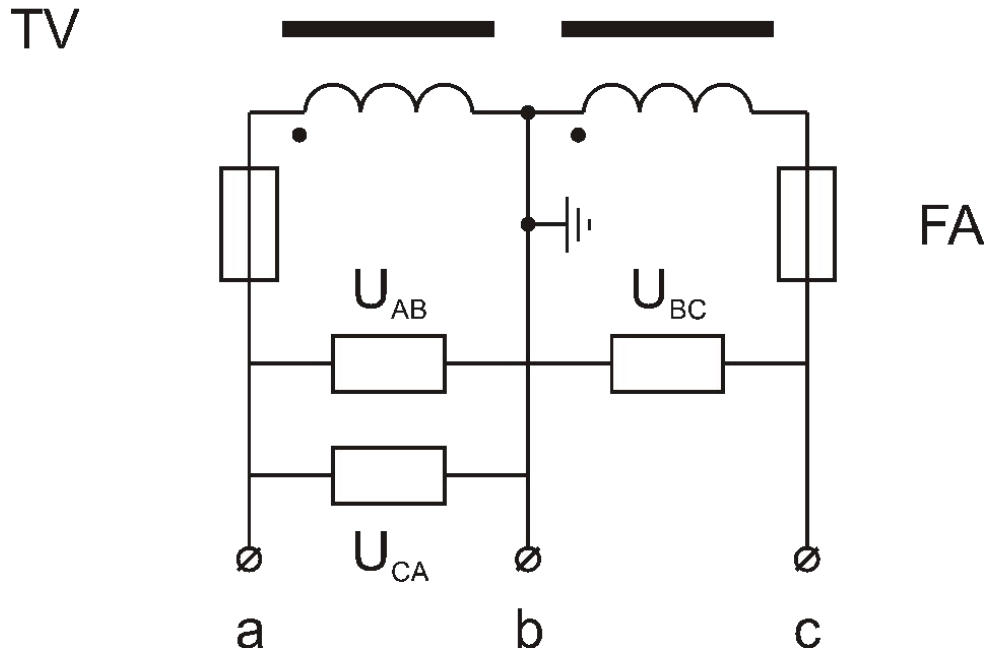


Схема соединения трансформаторов напряжения в разомкнутый треугольник

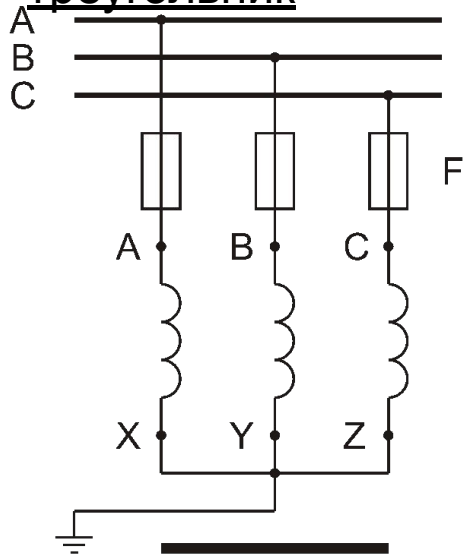


Схема соединения, показанная на рис., позволяет получить напряжение нулевой последовательности:

$$U_P = U_a + U_b + U_c,$$

$$U_P = \frac{U_A}{n_H} + \frac{U_B}{n_H} + \frac{U_C}{n_H},$$

$$U_P = \frac{U_A + U_B + U_C}{n_H} = \frac{3U_0}{n_H}.$$

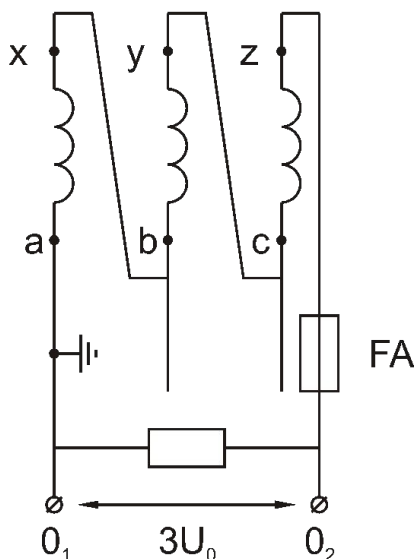
В нормальном режиме $U_P = 0$.

Необходимым условием работы схемы является заземление нейтрали первичной обмотки ТН. При отсутствии заземления напряжение на реле будет отсутствовать. Для вторичной обмотки принимается $U_{НОМ} = 100$ В – для сетей с заземленной нейтралью и $100/3$ В – для изолированной. Практически в нормальных условиях напряжение на реле составляет $U_{НБ} = 0,5...2$ В.

При однофазном КЗ в сети с заземленной нейтралью:

$$U_A = 0; \quad U_B + U_C = U_\Phi = U_P.$$

В сети с изолированной нейтралью (рис. 6.3.6): $U_P = 3U_\Phi$, поэтому у ТН, предназначенных для таких сетей, вторичные обмотки имеют увеличенный в 3 раза коэффициент трансформации (например: 6000/100/3).



Напряжение нулевой последовательности может быть получено и от специальных обмоток трехфазных ТН (см. рис. 6.3.2). Чаще всего применяются ТН с двумя вторичными обмотками. Одна соединяется по схеме звезды, а вторая – разомкнутым треугольником.

Вторичные обмотки ТН подлежат обязательному заземлению. Оно является защитным, обеспечивая безопасность персонала при попадании высокого напряжения во вторичные цепи. Обычно заземляется нулевая точка звезды или один из фазных проводов. В проводах, соединяющих точку заземления с обмотками ТН, не должно быть коммутационных и защитных аппаратов.

Контроль за исправностью цепей напряжения

Повреждения во вторичных цепях ТН (КЗ и обрывы) могут вывести из строя оборудование релейной защиты или привести к неправильным её действиям.

При КЗ опасно увеличивается ток, для защиты оборудования устанавливают предохранители или автоматы.

Повреждения вторичных цепей искажают величину и фазу вторичного напряжения, что приводит к неправильной работе защиты.

При обрыве фазы напряжение, подводимое к обмоткам реле, исчезает, что воспринимается защитой как КЗ в сети. Для предотвращения ложных действий предусматриваются специальные устройства (блокировки).

Контроль цепей разомкнутого треугольника

Контроль производится путем периодического измерения напряжения небаланса. При исправной цепи $U_{НБ} = 1...3$ В. При нарушении цепи показания пропадают.

Для контроля применяются и более сложные устройства. Для трансформаторов напряжения с двумя вторичными обмотками: Y/Y/ – Схема с семиобмоточным трансформатором или схема с тремя однофазными трансформаторами.

Сложные схемы применяются для блокировки защит на ЛЭП 220 кВ и выше.