

ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ

Принцип действия и классификация токовых защит

Принцип действия токовых защит основан на увеличении тока в защищаемом элементе при КЗ и ненормальных режимах работы (например, перегрузках) по сравнению с током нормального нагрузочного режима.

Классификация токовых защит. Токовые защиты можно классифицировать по следующим признакам:

1) по способу обеспечения селективности:

- максимальные токовые защиты;
- токовые отсечки;

2) по роду оперативного тока:

- на постоянном или выпрямленном оперативном токе;
- на переменном оперативном токе;

3) по числу ТТ в фазах защищаемого элемента и числу пусковых токовых реле защиты:

- трехфазные, которые могут быть двух-, трех-, четырех- или однорелейными;
- двухфазные, которые могут быть двух-, трех- или однорелейными;
- однофазные однорелейные;

4) по способу воздействия на привод выключателя:

- токовые защиты с реле косвенного действия;
- токовые защиты с реле прямого действия.

МАКСИМАЛЬНЫЕ ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ (МТЗ)

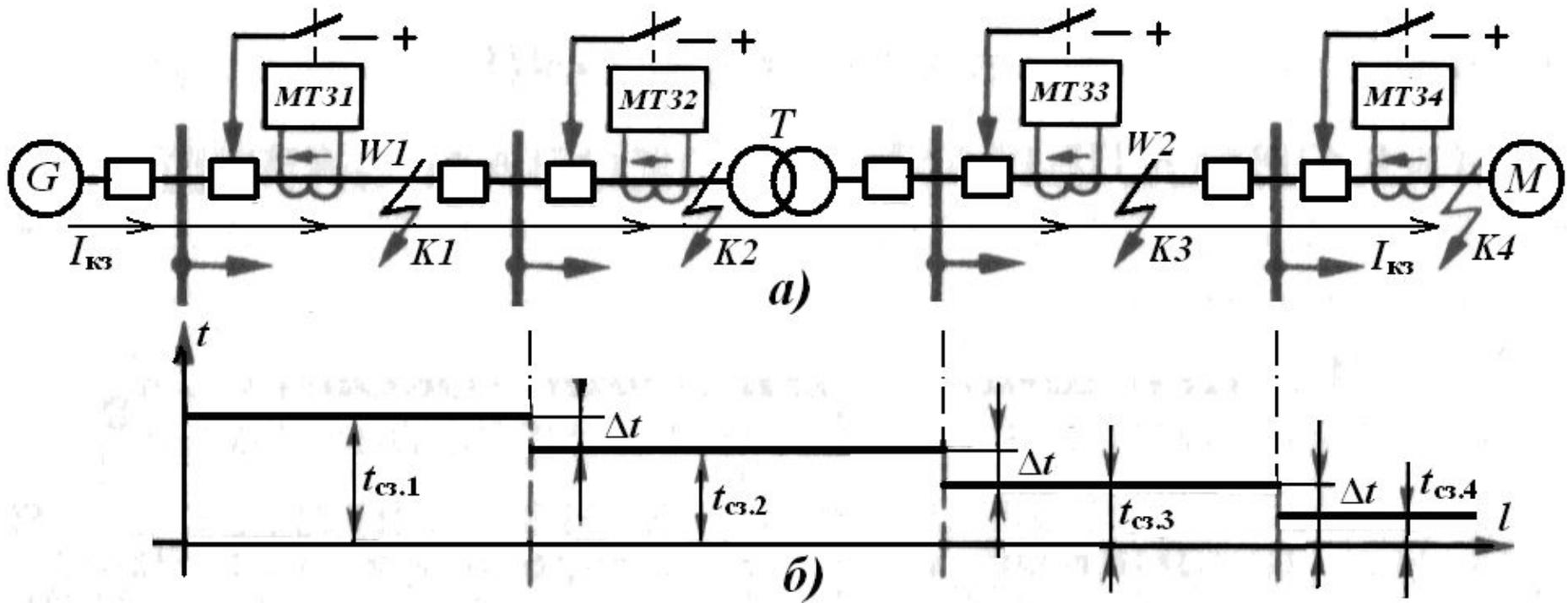
Принцип действия, селективность и классификация МТЗ

МТЗ имеют токовый принцип действия, а *селективность их достигается с помощью выдержек времени.*

Выдержкой времени называют время, искусственно вводимое в действие РЗ и вызывающее замедление в ее срабатывании.

В сетях с двухсторонним питанием для обеспечения селективности действия МТЗ выполняют *направленными.*

Размещение МТЗ в радиальной сети с односторонним питанием (а) и выдержки времени МТЗ, выбранные по ступенчатому принципу (б)



МТЗ является *относительно селективной защитой*.

Она может использоваться в качестве *основной* или *резервной* защиты.

Место установки МТЗ зависит от схемы электрической сети, а также от элемента, на котором она устанавливается.

Максимальные токовые защиты можно классифицировать по следующим признакам:

1) *по назначению*:

- МТЗ от повреждений (прежде всего от коротких замыканий);
- МТЗ от ненормальных режимов (перегрузок);

2) *по характеру зависимости выдержки времени от величины тока*:

- МТЗ с независимой выдержкой времени (характеристикой срабатывания);
- МТЗ с зависимой выдержкой времени (характеристикой срабатывания).

3) *по обеспечению необходимой чувствительности*:

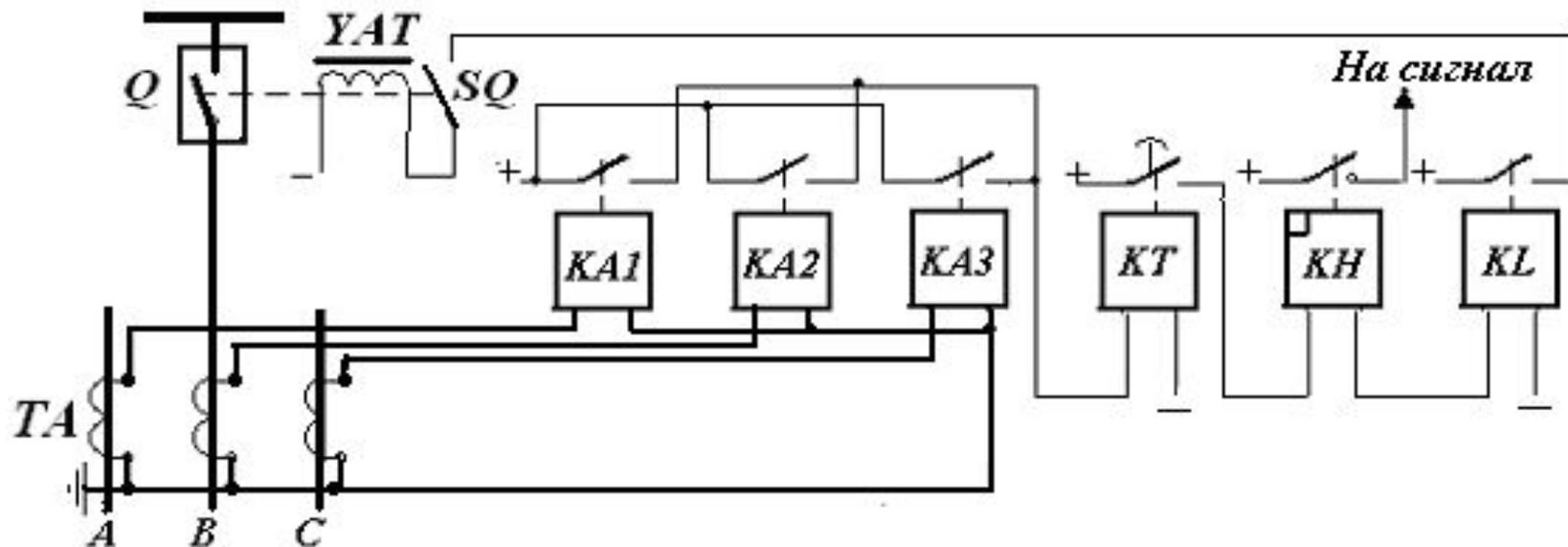
- МТЗ без пуска по напряжению;
- МТЗ с пуском по напряжению.

МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА БЕЗ ПУСКА ПО НАПРЯЖЕНИЮ

Измерительные (пусковые) органы защиты выполняются с помощью *максимальных реле тока*.

Поэтому МТЗ без пуска по напряжению может использоваться как защита от повреждений и как защита от перегрузок.

Принципиальные схемы МТЗ на постоянном оперативном токе
Схема трехфазной трехрелейной МТЗ от КЗ
с независимой выдержкой времени (в совмещенном изображении)



Измерительная часть (пусковые органы) - токовые реле **КА1-КА3** мгновенного действия серии **РТ-40** (или **РСТ-40**).

Логическая часть - реле времени **КТ** серии **РВ-100** (или **РВ-01**), создающего выдержку времени $t_{с.з.}$.

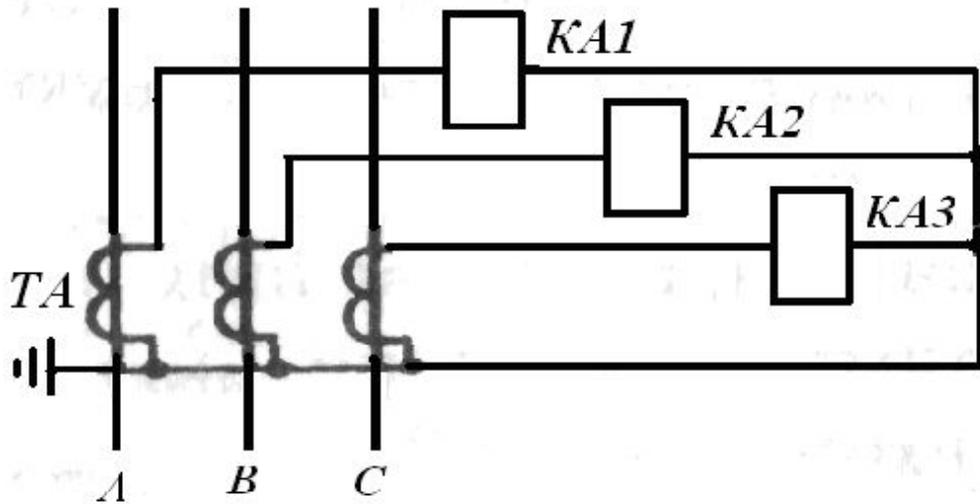
Исполнительный орган - указательное реле **КН** (типа **РУ-21**) и выходное промежуточное реле **КЛ** (например, серии **РП-20** или **РП-13**).

YAT - электромагнит отключения привода выключателя,

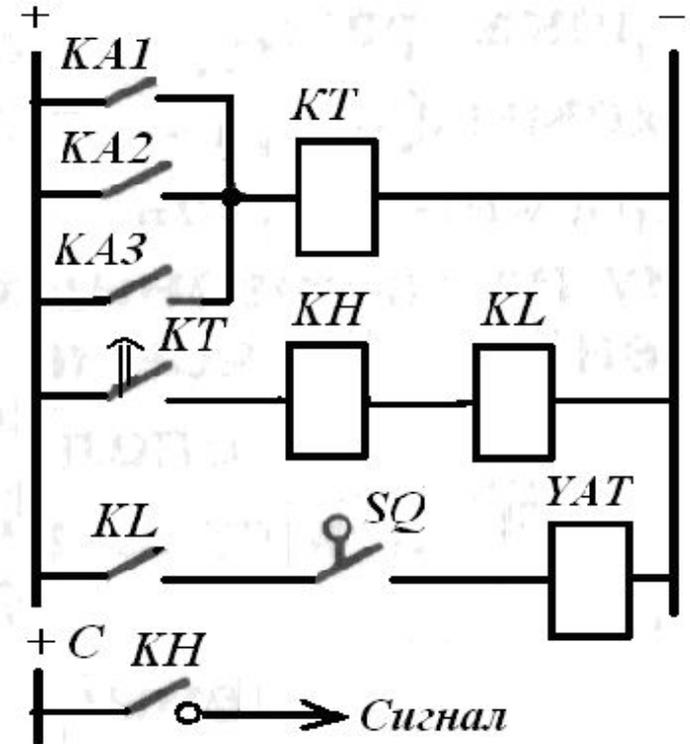
SQ – вспомогательный контакт (блок-контакт) выключателя.

Схема трехфазной трехрелейной МТЗ от КЗ с независимой выдержкой времени (в разнесенном изображении)

Цепи переменного тока



Цепи постоянного оперативного тока



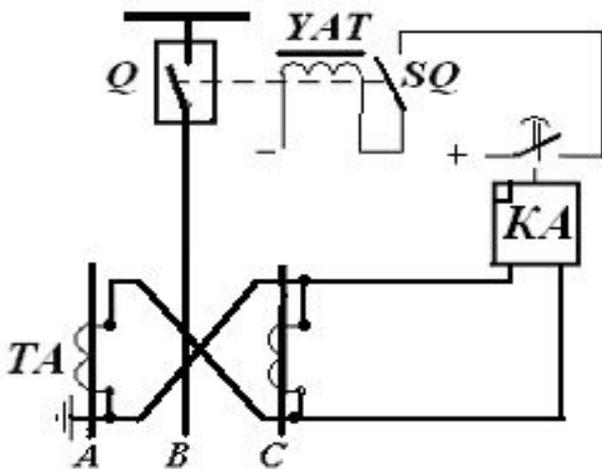
Время действия такой МТЗ не зависит от значения тока КЗ.

Оно определяется выдержкой времени, установленной на реле *KT*.

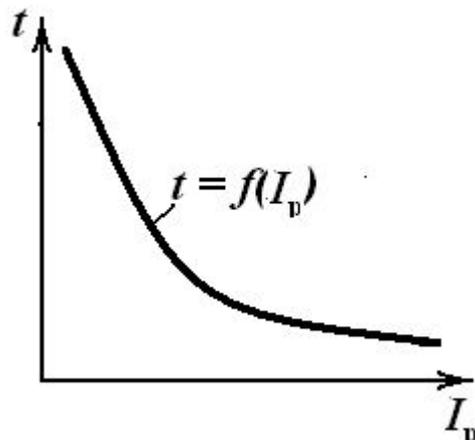
Поэтому такая МТЗ называется с независимой выдержкой времени и имеет характеристику $t = f(I_p)$ в виде прямой линии.

Применяется МТЗ с зависимой (ограниченно зависимой) характеристикой.

Схема МТЗ от КЗ с зависимой от тока выдержкой времени



Зависимость времени срабатывания реле от тока I_p



МТЗ с зависимой выдержкой времени выполняются при помощи токовых реле серии **РТ-80** или **РТ-90**. Трехфазные трехрелейные схемы используются для действия при всех видах коротких замыканий.

Двухфазные схемы с

двумя реле на каждом токовым реле — для действия только при междуфазных КЗ.

Расчет параметров МТЗ

Расчет параметров МТЗ включает определение:

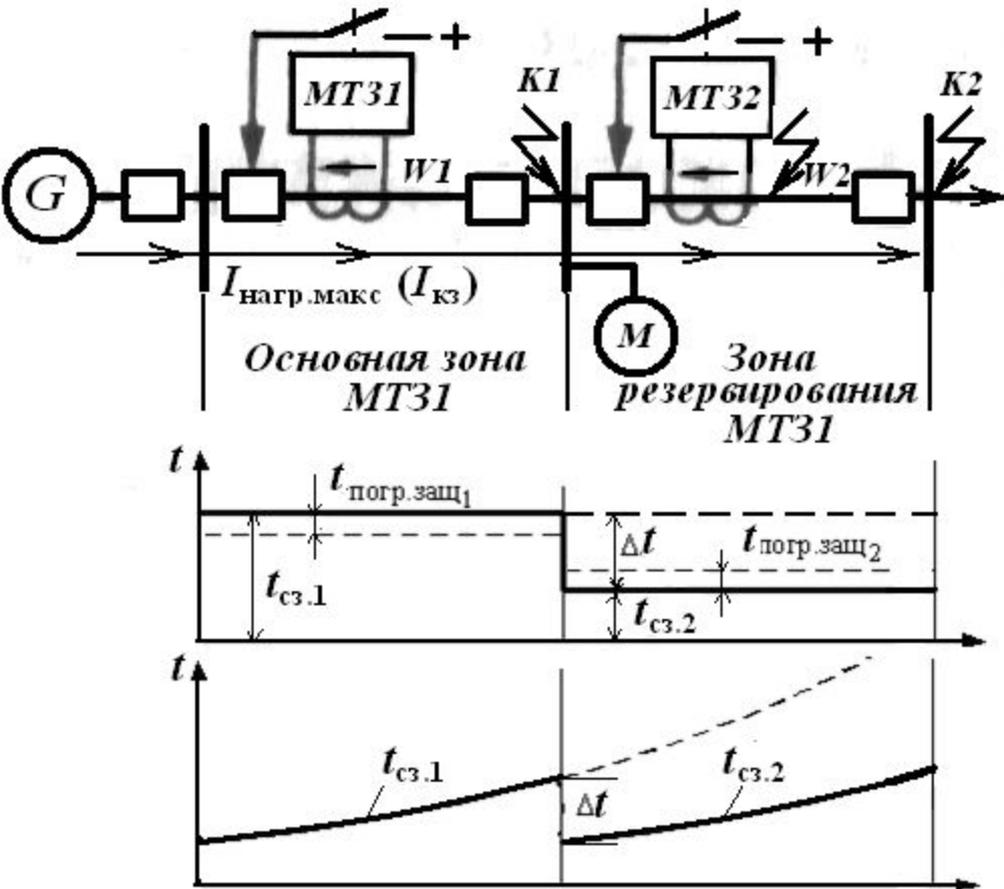
- тока срабатывания защиты ($I_{с.з}$);
- тока срабатывания реле ($I_{с.р}$);
- коэффициента чувствительности ($k_{\text{ч}}$);
- времени срабатывания защиты ($t_{с.з}$).

Ток срабатывания защиты — это наименьший первичный ток, необходимый для срабатывания пусковых токовых реле защиты.

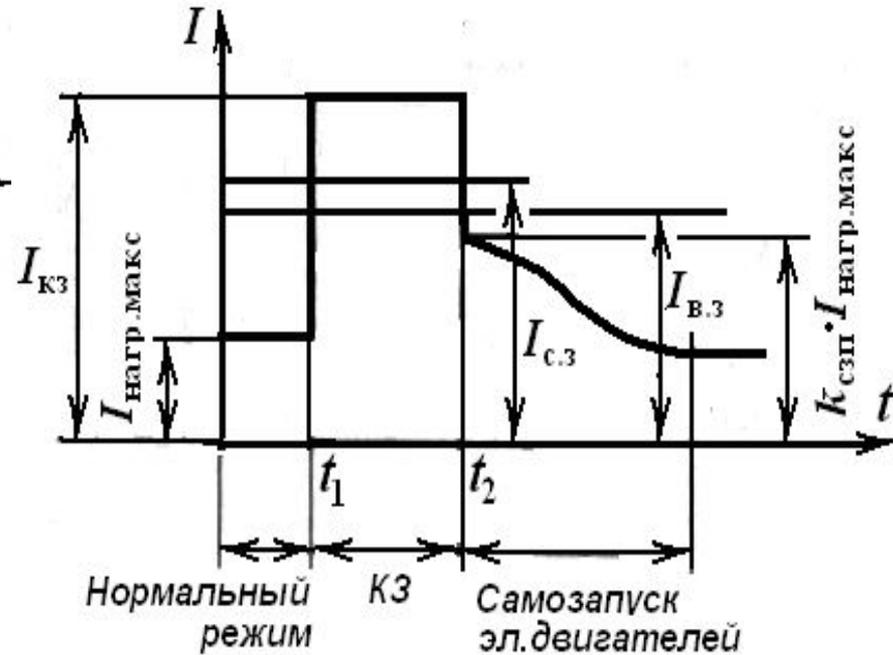
Ток срабатывания МТЗ определяется из двух условий:

- 1) $I_{с.з} > I_{нагр.макс}$ - пусковые органы защиты не должны приходить в действие при максимальном токе нагрузки;
- 2) $I_{в.з} > k_{сзп} \cdot I_{нагр.макс}$ - пусковые органы защиты, сработавшие при внешнем КЗ, должны вернуться в исходное состояние после его отключения.

К выбору тока и времени срабатывания МТЗ



Характер изменения тока при КЗ в сети и после его отключения



После отключения КЗ $I_{нагр.макс}$ может увеличиваться за счет самозапуска электродвигателей.

Увеличение тока нагрузки принято оценивать коэффициентом самозапуска $k_{сзп}$.

Ток возврата защиты ($I_{в.з}$) – это наибольший первичный ток, при котором пусковые реле защиты, сработавшие при внешнем КЗ возвращаются в исходное состояние после его отключения.

Токи $I_{с.з}$ и $I_{в.з}$ связаны через **коэффициент возврата** $k_{в} = I_{в.з} / I_{с.з}$.

Для токовых реле $k_{в} < 1$.

Поэтому условие 2 является определяющим.

Формула для $I_{с.з}$ выводится следующим образом:

- выразим $I_{с.з}$ через $I_{в.з}$ и $k_{в}$: $I_{с.з} = I_{в.з} / k_{в}$;

- из условия 2 имеем $I_{в.з} = k_{отс} \cdot k_{сзп} \cdot I_{нагр.макс}$,

где $k_{отс} = 1,1-1,2$ - **коэффициент отстройки**, учитывающий погрешность токовых реле.

Подставив значение $I_{в.з}$ в выражение для $I_{с.з}$, получим:

$$I_{с.з} = k_{отс} \cdot k_{сзп} \cdot I_{нагр.макс} / k_{в},$$

где $k_{в} = (0,7-0,95)$ определяется по техническим данным реле;

$k_{сзп} = (3-6)$ - для нагрузки с преобладанием электродвигателей и $(1,5-2)$ - при малом удельном значении электродвигателей.

В целях уменьшения $I_{с.з}$ стремятся применять токовые реле с высоким $k_{в}$.

$I_{нагр.макс}$ определяют по наиболее тяжелым, но реальным режимов работы оборудования.

Ток срабатывания реле – это наименьший вторичный ток, необходимый для срабатывания пусковых токовых реле защиты.

$I_{с.р}$ находится с учетом K_T и схемы соединения ТТ, характеризуемой $k_{сх}$:

$$I_{с.р} = I_{с.з} k_{сх} / K_T .$$

По $I_{с.р}$ определяется **ток уставки** ($I_{уст}$), т.е. ток, который выставляется на пусковых токовых реле:

$I_{уст} = I_{с.р}$ - при использовании токовых реле серии **РТ-40**;

$I_{уст} \geq I_{с.р}$ - при использовании токовых реле серии **РТ-80** (или **РСТ-40**).

Чувствительность МТЗ оценивается **коэффициентом чувствительности**.

Коэффициент чувствительности определяются по минимальному значению тока КЗ при повреждении в конце зоны действия МТЗ:

$$k_{ч} = I_{кз.мин} / I_{с.з},$$

где $I_{кз.мин}$ - минимальный ток КЗ, рассчитанный для реального минимального режима работы электростанций и сетей, питающих точку КЗ.

По ПУЭ коэффициент чувствительности для МТЗ считается допустимым, если:

$k_{ч} \geq 1,5$ - при КЗ в конце защищаемого элемента (точка **К1**);

$k_{ч} \geq 1,2$ - при КЗ в конце зоны резервирования (точка **К2**).

Выдержки времени МТЗ. Степень времени (селективности)

Для обеспечения селективности выдержки времени МТЗ *с независимой характеристикой* выбираются *по ступенчатому принципу*.

Разница между временем действия МТЗ двух смежных участков называется *ступенью времени или ступенью селективности*.

Обозначается она как Δt и равна:

$$\Delta t = t_{сз.1} - t_{сз.2}.$$

Величина Δt определяется следующим образом.

Чтобы защита линии *W1* не сработала при КЗ на линии *W2*

$$t_{сз.1} > t_{сз.2} + t_{отк.Q2} + t_{погр.заш2},$$

где $t_{отк.Q2}$ - время отключения выключателя линии *W2*;

$t_{погр.заш2}$ - погрешность в сторону увеличения реле времени МТЗ2.

Приняв некоторый запас $t_{зап}$ и учтя погрешность реле времени МТЗ1 в сторону уменьшения $t_{погр.заш1}$, получим:

$$t_{сз.1} = t_{сз.2} + t_{отк.Q2} + t_{погр.заш2} + t_{погр.заш1} + t_{зап}.$$

Отсюда минимальная степень селективности будет равна:

$$\Delta t = t_{сз.1} - t_{сз.2} = t_{отк.Q2} + t_{погр.заш2} + t_{погр.заш1} + t_{зап}.$$

Степень времени у МТЗ *с зависимой характеристикой*, выполненных на реле серии **РТ-80**, должна быть увеличена на время инерционной ошибки реле $t_{и}$:

$$\Delta t = t_{отк.Q2} + t_{погр.заш2} + t_{погр.заш1} + t_{и} + t_{зап}.$$

Для применяемых реле и выключателей:

$\Delta t = (0,3 - 0,6)$ с - у МТЗ с независимой выдержкой времени;

$\Delta t = (0,6 \text{ до } 1)$ с - у МТЗ с зависимой или ограниченно зависимой выдержкой времени.

Согласование МТЗ с независимыми характеристиками

Считая, что выдержка времени МТЗ2 задана, выдержку времени МТЗ1 определяют по выражению:

$$t_{\text{сз.1}} = t_{\text{сз.2}} + \Delta t .$$

Это время принимается в качестве времени уставки ($t_{\text{уст}}$) защиты.

Согласование МТЗ с зависимыми характеристиками

Выдержки времени МТЗ с зависимой характеристикой также должны удовлетворять этому условию. Но выполняться оно должно только **в пределах зоны совместного действия защит**.

Например, при КЗ на линии **W2** $t_{\text{сз.1}}$ должно быть не менее чем на Δt больше, чем $t_{\text{сз.2}}$.

При КЗ на линии **W1** соблюдение этого соотношения не требуется.

Уставка по времени ($t_{\text{уст}}$) для защиты с зависимой характеристикой равна времени срабатывания реле на независимой части характеристики.

Это время выставляется на реле типов **РТ-80** или **РТ-90**.

МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА С ПУСКОМ (БЛОКИРОВКОЙ) ПО НАПРЯЖЕНИЮ

Пуск (блокировка) по напряжению применяется для повышения чувствительности МТЗ.

МТЗ с пуском по напряжению используется только как защита от КЗ.

Защита имеет два измерительных (пусковых) органа:

- *токовый*, реагирующий на увеличение тока при КЗ;
- *напряженческий*, реагирующий на уменьшение напряжения при КЗ.

Ток срабатывания защиты отстраивается от тока нагрузки нормального режима $I_{\text{нагр.норм}}$ (или от номинального тока $I_{\text{ном}}$) защищаемого элемента:

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

Благодаря уменьшению $I_{\text{с.з}}$ увеличивается коэффициент чувствительности защиты по току ($k_{\text{ч.т}}$).

Пусковой орган напряжения (ПОН):

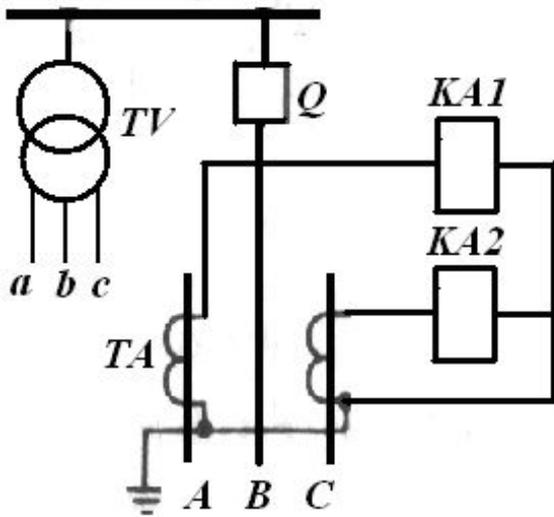
- при КЗ, когда уменьшается напряжение, разрешает действие МТЗ (пускает защиту);
- при перегрузке, когда напряжение уменьшается незначительно, запрещает (блокирует) работу защиты.

Существует два способа выполнения пуска по напряжению:

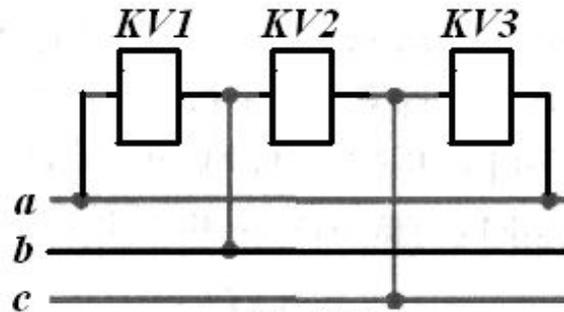
- 1) пуск от трех реле минимального напряжения;
- 2) комбинированный способ пуска, использующий реле напряжения обратной последовательности и реле минимального напряжения.

Схема двухфазной двухрелейной МТЗ с пуском по напряжению

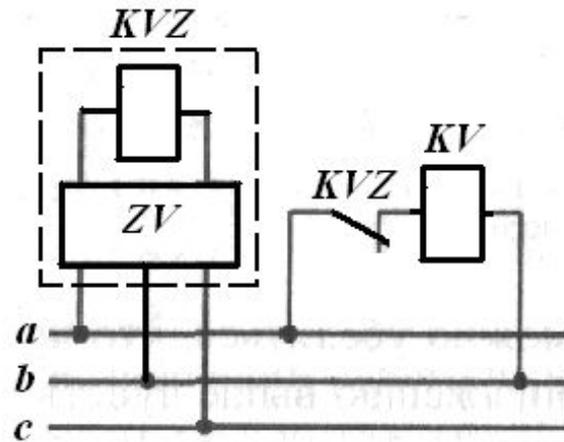
Цепи переменного тока



Цепи переменного напряжения

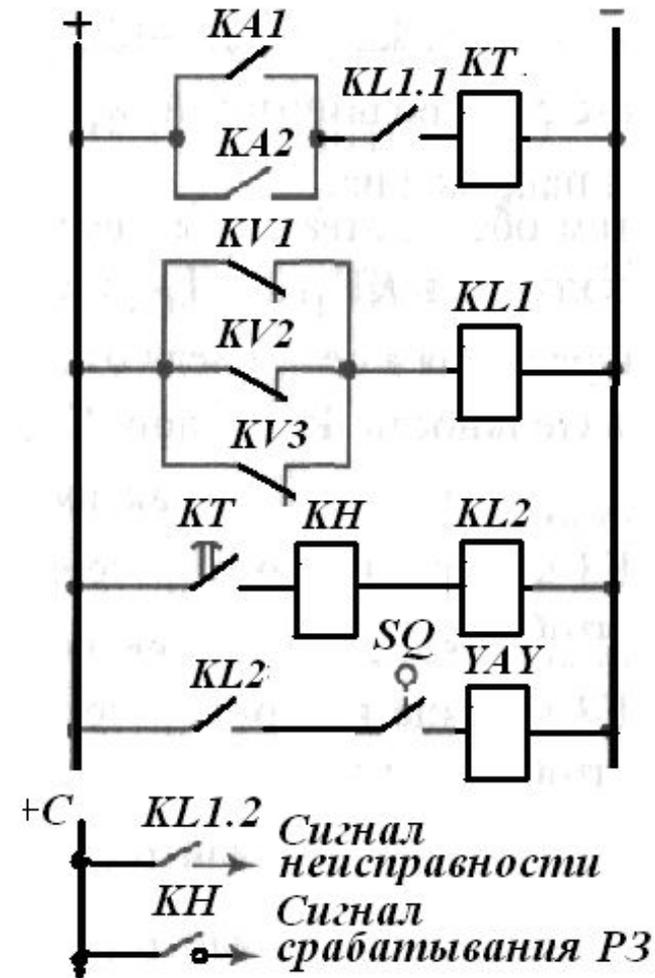


От TV
Пуск от трех реле
минимального напряжения



От TV
Комбинированный способ пуска

Цепи оперативного тока



+C
KL1.2 → Сигнал
неисправности
KH → Сигнал
срабатывания РЗ

KV1-KV3, KV – реле минимального напряжения типа **РН-54** или **РСН16(17)**.

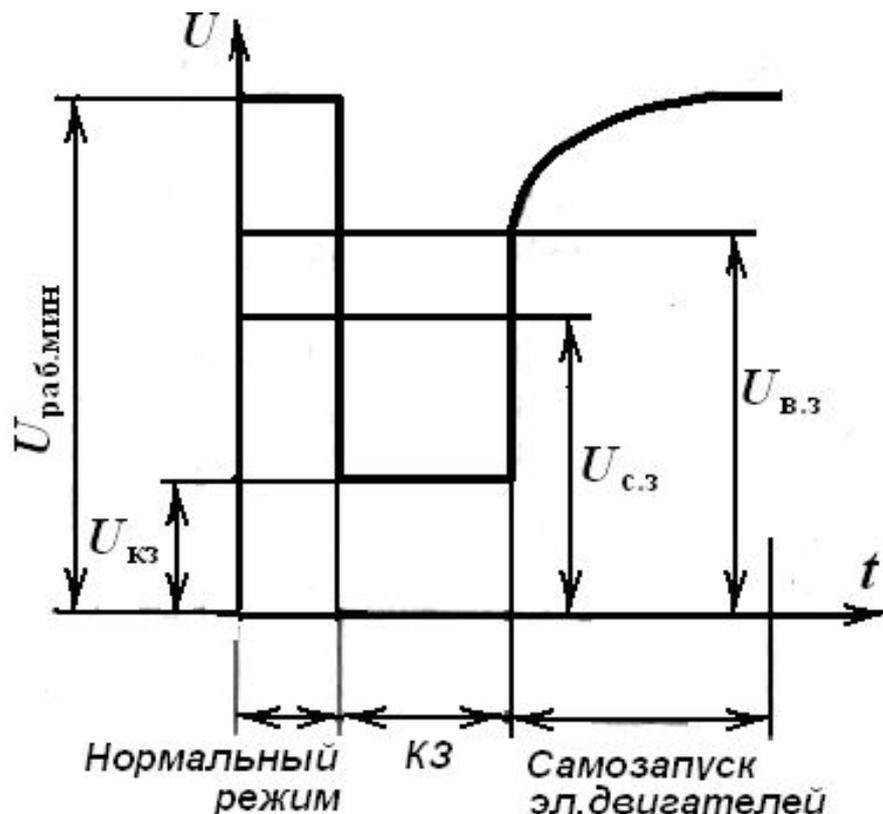
KVZ – фильтр- реле напряжения обратной последовательности типа **РНФ-1м** или **РСН13**.

Расчет параметров ПОН включает определение:

- напряжения срабатывания защиты ($U_{с.з}$);
- напряжения срабатывания реле ($U_{с.р}$);
- коэффициента чувствительности защиты по напряжению ($k_{ч.н}$).

Напряжение срабатывания защиты для реле минимального напряжения – это максимальное первичное напряжение, при котором они приходят в действие (т. е. замыкают свои контакты).

Характер изменения напряжения при КЗ в сети и после его отключения



Напряжение срабатывания МТЗ определяется из двух условий:

- 1) $U_{с.з} < U_{раб.мин}$ - реле не должны действовать при минимальном значении рабочего напряжения;
- 2) $U_{в.з} < U_{раб.мин}$ - сработав при внешнем КЗ, реле должны надежно вернуться в исходное состояние (т. е. разомкнуть свои контакты) после его отключения.

Напряжение возврата защиты ($U_{в.з}$)

– это минимальное первичное напряжение при котором реле, сработавшие при внешнем КЗ, должны вернуться в исходное состояние (т. е. разомкнуть свои контакты).

Отношение $U_{в.з} / U_{с.з} = k_{в}$ – это коэффициент возврата.

Для реле минимального напряжения МТЗ $k_{в} > 1$.

Поэтому условие 2 является определяющим.

Формула для $U_{с.з}$ выводится следующим образом:

- выразим $U_{с.з}$ через $U_{в.з}$ и $k_{в}$: $U_{с.з} = U_{в.з} / k_{в}$;

- из условия 2 имеем $U_{в.з} = U_{раб.мин} / k_{отс}$,

где $k_{отс} = 1,1-1,2$ - коэффициент отстройки, учитывающий погрешность реле напряжения.

Подставив $U_{в.з}$ в выражение для $U_{с.з}$, получим:

$$U_{с.з} = U_{раб.мин} / (k_{отс} \cdot k_{в}),$$

где $k_{в} = (1,2-1,25)$ определяется по техническим данным реле.

Напряжение срабатывания реле – это наибольшее вторичное напряжение, необходимое для срабатывания реле минимального напряжения.

$U_{с.р}$ находится с учетом $K_{н}$ по следующему выражению:

$$U_{с.р} = U_{раб.мин} / (k_{отс} \cdot k_{в} \cdot K_{н}).$$

где $U_{раб.мин}$ – минимальное рабочее напряжение, равное $(0,85-0,9)U_{раб.норм}$.

По $U_{с.р}$ определяется **напряжение уставки** ($U_{уст}$), т.е. напряжение, которое выставляется на пусковых реле напряжения:

$U_{уст} = U_{с.р}$ - при использовании реле напряжения серии **РН-54**;

$U_{уст} \leq U_{с.р}$ - при использовании реле серии **РСН**.

Чувствительность ПОН оценивается **коэффициентом чувствительности**

$$k_{\text{ч.н}} = U_{\text{с.з}} / U_{\text{кз.макс}}$$

где $U_{\text{кз.макс}}$ – максимальное значение остаточного напряжения в месте установки защиты при КЗ в конце защищаемого или резервируемого участка схемы сети.

По ПУЭ коэффициент чувствительности для МТЗ считается допустимым, если:

$k_{\text{ч}} \geq 1,5$ - при КЗ в конце защищаемого элемента (точка **K1**);

$k_{\text{ч}} \geq 1,2$ - при КЗ в конце зоны резервирования (точка **K2**).

Напряжение срабатывания реле KVZ в схеме комбинированного пуска отстраивается от напряжения небаланса $U_{\text{нб}}$ на выходе фильтра **ZV**:

$$U_{\text{с.р (2)}} = k_{\text{отс}} \cdot U_{\text{нб.макс}} = 0,06 U_{\text{раб.норм}} / K_{\text{н}}$$

Напряжение срабатывания реле KV в схеме комбинированного пуска определяется также, как и в схеме с тремя реле минимального напряжения.

Однако, $k_{\text{ч.н}}$ у этого реле к трехфазным КЗ будет больше, чем у трех реле первой схемы, т.к.

$$k_{\text{ч.н}} = U_{\text{в.з}} / U_{\text{кз.макс}}$$

Действие реле **KV** при трехфазном КЗ определяется не $U_{\text{с.р}}$, а $U_{\text{в.р}}$, которое на 20-25% больше напряжения срабатывания.

Определение $t_{\text{сз}}$ МТЗ с пуском по напряжению и согласование по времени защит различных элементов сети производится так же как и МТЗ без пуска по напряжению.

Принцип выполнения МТЗ в сетях с двусторонним питанием:

- 1) защиты устанавливаются с обеих сторон каждой ЛЭП и выполняются направленными. *Направление действия защит принимается от шин в линию;*
- 2) выдержки времени защит, работающих при одном направлении мощности, должны согласовываться между собой по ступенчатому принципу.

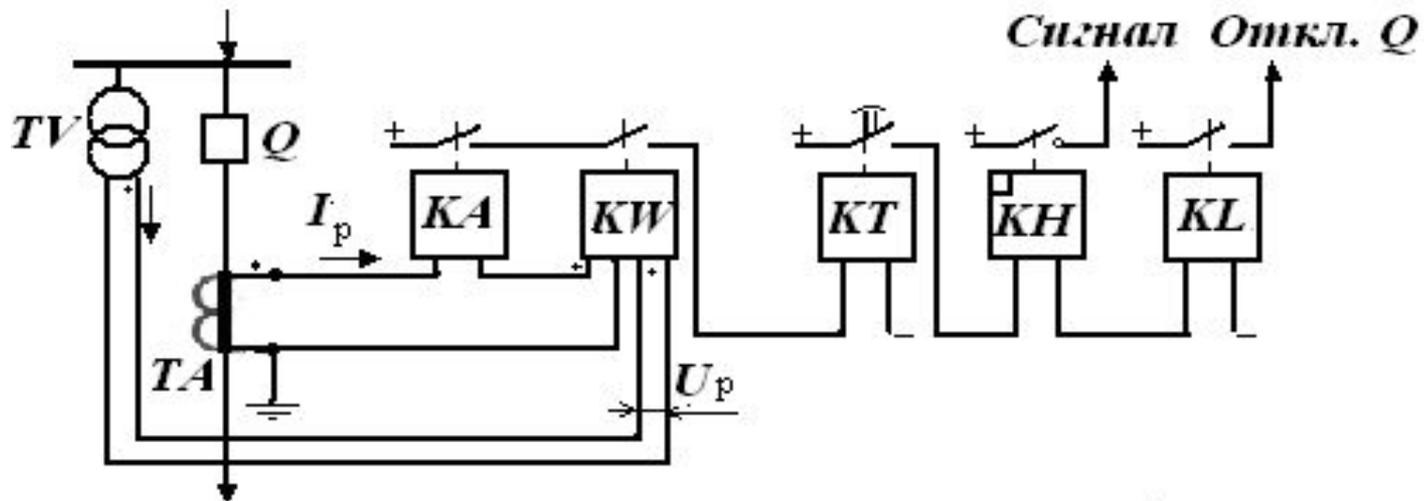
Время срабатывания защит должно увеличиваться при движении к источнику, от тока которого они работают.

Принцип согласования МТЗ по времени называют ***встречноступенчатым***.

Направленные МТЗ используются только как защита от КЗ.

Для выполнения МТЗ направленной ее схема дополняется реле направления мощности (РНМ).

Упрощенная (однолинейная) схема направленной МТЗ



Существуют:

-электромеханические РНМ типа РБМ, выполненные на индукционном принципе;

- статические РНМ, выполненные на интегральных микросхемах.

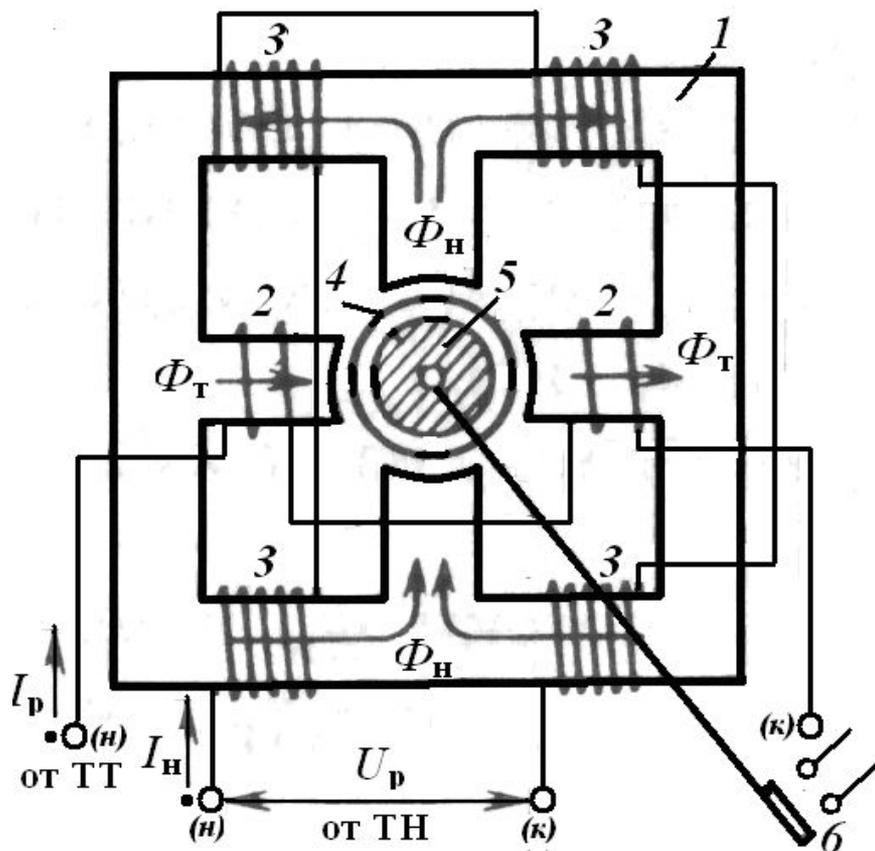
Индукционное реле направления мощности типа РБМ

Конструкция и принцип действия индукционных реле направления мощности

Конструкция реле направления мощности типа РБМ

РНМ содержит:

- 1 – четырехполюсный магнитопровод;
- 2 – токовую обмотку (две секции);
- 3 – обмотку напряжения четыре секции);
- 4 – алюминиевый ротор (барабанчик);
- 5 – стальной цилиндр;
- 6 – контактную систему.



К обмоткам реле подводится:

- от ТТ $I_p = I_c / K_T$;
- от ТН $U_p = U_c / K_H$.

Ток в обмотке напряжения $I_H = U_p / Z_H$.

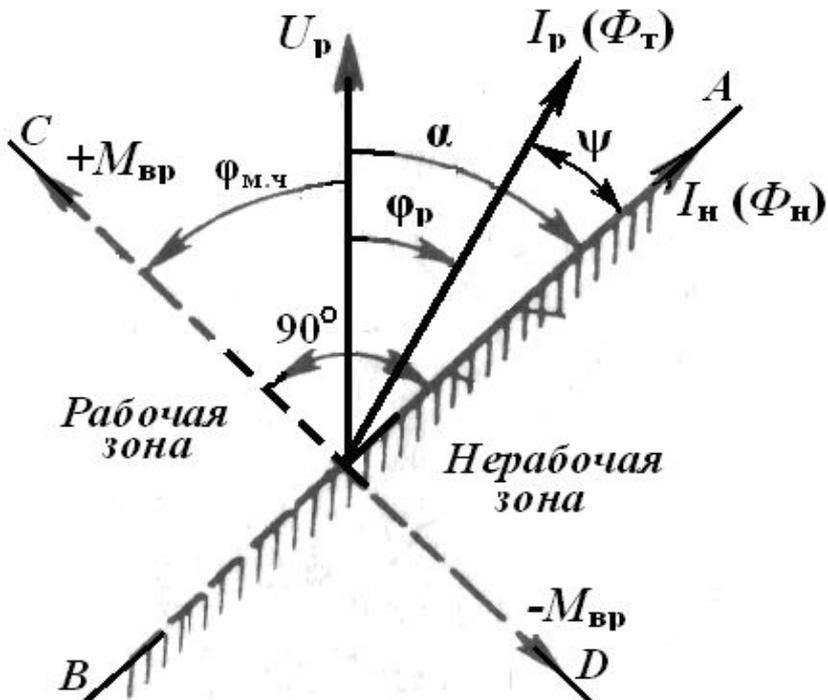
Магнитные потоки в магнитопроводе:

- Φ_T – от тока I_p ;
- Φ_H – от тока I_H .

Вращающий момент

$$M_{вр} = k \Phi_H \Phi_T \sin \psi.$$

Векторная диаграмма РНМ



Исходным для ее построения является U_p . Ток I_n сдвинут по фазе относительно напряжения U_p на угол α , а ток I_p - на угол φ_p . Угол α называется *углом внутреннего сдвига (внутренним углом) реле*. Зависит от соотношения X/R обмотки напряжения. Угол φ_p зависит от параметров сети и фаз подведенных к реле U_c и I_c (от схемы включения РНМ).

Так как $\Phi_T \equiv I_p$, $\Phi_H \equiv I_n \equiv U_p$, а $\psi = \alpha - \varphi_p$ получим $M_{вр} = k_1 U_p I_p \sin(\alpha - \varphi_p) = k_1 S_p$, где $S_p = U_p I_p \sin(\alpha - \varphi_p)$ - мощность, подведенная к реле.

Из последнего выражение для $M_{вр}$ следует, что:

- вращающий момент реле пропорционален мощности на его зажимах;
- знак вращающего момента реле определяется знаком $\sin(\alpha - \varphi_p)$ и зависит от φ_p .

Линия $A-B$, проходящая через углы $\alpha - \varphi_p = 0$ и 180° , называется *линией нулевых моментов* или *линией изменения знака момента* (совпадает с I_n и Φ_H).

Линия $C-D$ (перпендикулярная $A-B$) называется *линией максимальных моментов*. Момент $M_{вр}$ достигает максимума при $\alpha - \varphi_p = 90^\circ$, т. е. когда I_p опережает I_n на 90° .

Угол φ_p , при котором $M_{вр}$ достигает максимального положительного значения, называется *углом максимальной чувствительности* ($\varphi_{м.ч}$): $-\varphi_{м.ч} + \alpha = 90^\circ$, а $\varphi_{м.ч} = \alpha - 90^\circ$.

Реле не действует:

- если отсутствует напряжение или ток в реле;
- если $\sin(\alpha - \varphi_p) = 0$. Последнее условие имеет место при $\varphi_p = \alpha$ и $\varphi_p = \alpha + 180^\circ$.

В зависимости от величины внутреннего угла α различают три типа РНМ:

- при $\alpha = 0^\circ$ вращающий момент $M_{вр}$ пропорционален реактивной мощности: $\varphi_{м.ч} = -90^\circ$, $M_{вр} = -k_1 U_p I_p \sin\varphi_p$. Такое реле называют реле *реактивной мощности* (или реле *синусного типа*);
- при $\alpha = 90^\circ$ вращающий момент $M_{вр}$ пропорционален активной мощности: $\varphi_{м.ч} = 0^\circ$, $M_{вр} = k_1 U_p I_p \cos\varphi_p$. Такое реле называют реле *активной мощности* (или реле *косинусного типа*);
- при $0 < \alpha < 90^\circ$ вращающий момент $M_{вр}$ пропорционален *полной мощности*. Такое реле называют реле *смешанного* типа.

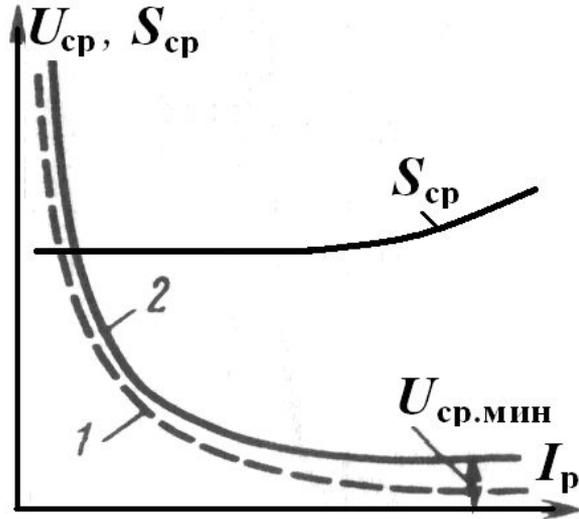
Используются РНМ смешанного типа двух вариантов исполнения:

РБМ-171 (РБМ-271) и **РМ-11** в защитах от междуфазных КЗ с $\varphi_{мч} = -45^\circ$ и $\varphi_{м.ч} = -30^\circ$;

РБМ-178 (РБМ-278), **РБМ-177 (РБМ-277)** и **РМ-12** в защитах от замыканий на землю с $\varphi_{мч} = +70^\circ$.

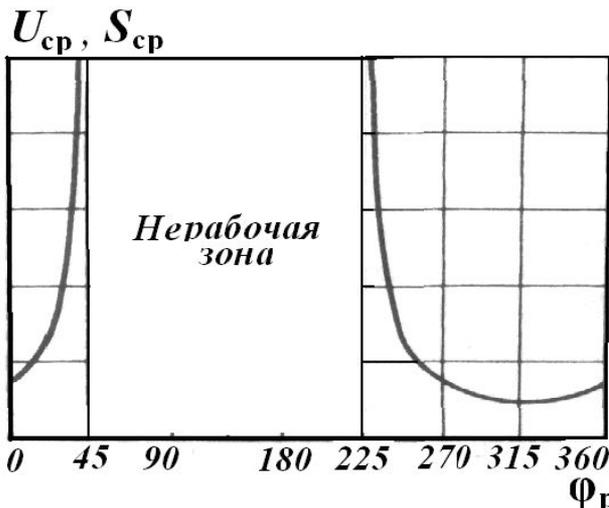
Основные характеристики реле направления мощности

Минимальная мощность на зажимах РНМ, при которой оно срабатывает, называется **мощностью срабатывания реле $S_{\text{ср}}$** .



Характеристика чувствительности – это зависимость $U_{\text{ср}} = f(I_p)$ при неизменном $\Phi_p = \Phi_{\text{м.ч}}$, где $U_{\text{ср}}$ - наименьшее напряжение срабатывания реле при данных значениях I_p и Φ_p .

Теоретически – это гипербола (кривая 1), практически при больших токах она переходит на независимую часть (кривая 2).



Угловая характеристика – это зависимость $U_{\text{ср}}(S_{\text{ср}}) = f(\Phi_p)$ при неизменном значении $I_p = I_{\text{ном}}$ (на рисунке показана для реле с углом $\alpha = +45^\circ$).

Угловая характеристика позволяет определить:

- пределы углов Φ_p , соответствующие рабочей и нерабочей зонам реле;

- минимальное значение $U_{\text{ср.мин}}$ и наиболее выгодную зону углов Φ_p , в пределах которой $U_{\text{ср}}$

близко к $U_{\text{ср.мин}}$.

Время срабатывания РНМ зависит от кратности S_p к $S_{\text{ср}}$. Оно имеет минимальное значение при кратности 3-4.

Полярность обмоток

Явление самохода

Схемы включения реле направления мощности

Схема включения РНМ определяется сочетанием токов и напряжений, питающих их обмотки.

Требования к схемам:

- сочетание фаз тока и напряжения должно быть таким, чтобы реле правильно определяло знак мощности КЗ при всех возможных случаях и видах повреждений;

- чтобы к реле при этом подводилась мощность, достаточная для его срабатывания.

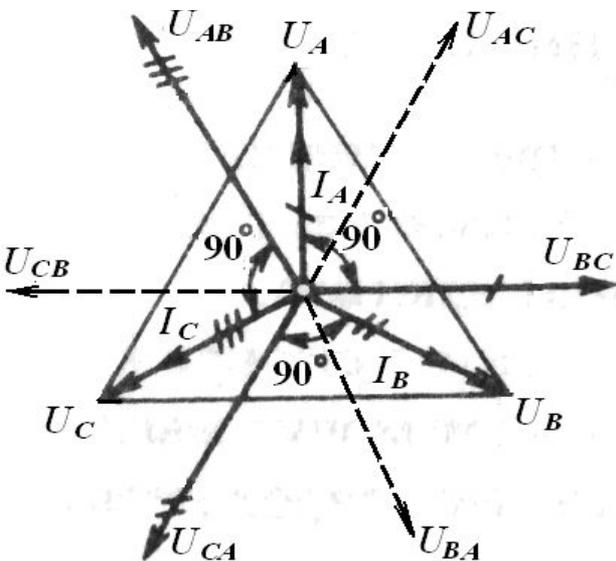
Токи и напряжения, подводимые к РНМ:

	для 90° схемы			для 30° схемы		
Реле.....	I	II	III.....	I	II	III
I	I_A	I_B	I_C	I_A	I_B	I_C
U_p	U_{BC}^A	U_{CA}^B	U_{AB}^C	U_{AC}^A	U_{BA}^B	U_{CB}^C

Наибольшее применение получила 90-градусная схема включения РНМ.

Анализ схем включения показывает, что 90° схема наиболее выгодна для реле направления мощности с внутренним углом α от 30° до 60°.

Оптимальные условия имеют место при угле $\alpha = 45^\circ$. 30° схема включения может использоваться для реле направления мощности косинусного типа.

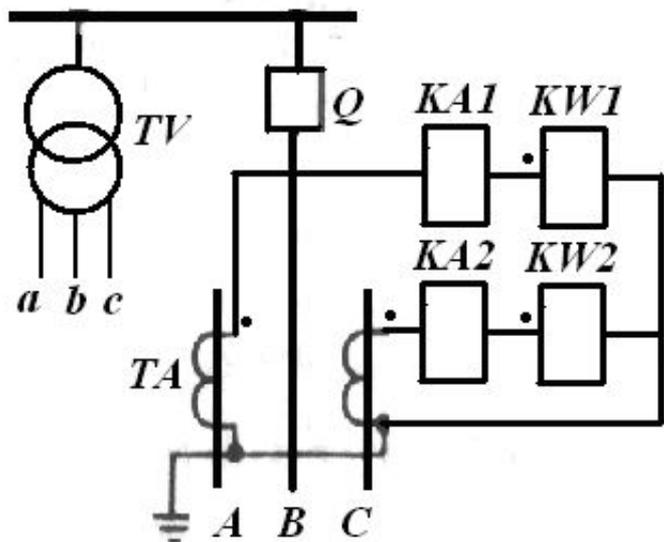


Схемы направленных МТЗ отличаются:

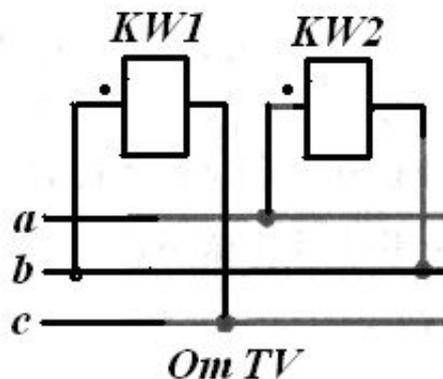
- видом оперативного тока (постоянный или переменный);
- способом выполнения пусковых органов (без пуска по напряжению или с пуском по напряжению);
- числом ТТ и пусковых реле;
- схемой включения РНМ.

Схема двухфазной направленной МТЗ на постоянном оперативном токе

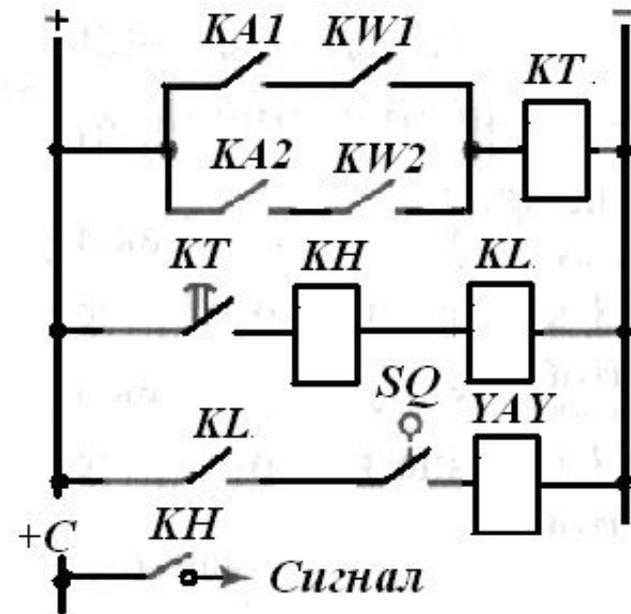
**Цепи переменного
тока**



**Цепи переменного
напряжения**



**Цепи оперативного
тока**



Пусковые органы тока **KA1** и **KA2** - реле тока серии РТ-40 или РСТ-40.

Пусковые органы направления мощности **KW1** и **KW2** - реле направления мощности типа РБМ-171 или РМ-11.

Расчет параметров направленных МТЗ

Ток срабатывания защиты в сети с изолированной нейтралью отстраивается от $I_{\text{нагр.макс}}$ с учетом $k_{\text{сзп}}$ электродвигателей в послеаварийном режиме:

$$I_{\text{с.з}} = k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{сзп}} \cdot I_{\text{нагр.макс}} / k_{\text{в}}.$$

В кольцевых и радиальных сетях с двусторонним питанием $I_{\text{нагр.макс}}$ на ЛЭП возникают при размыкании сети.

В сети с глухозаземленной нейтралью $I_{\text{с.з}}$ должен быть отстроен от токов, протекающих в неповрежденных фазах ($I_{\text{н.ф}}$) при КЗ на землю:

$$I_{\text{с.з}} = k_{\text{отс}} I_{\text{н.ф}},$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, в зависимости от точности оценки значения $I_{\text{н.ф}}$ принимается равным 1,2-1,5;

$I_{\text{н.ф}} = I_{\text{нагр.макс}} + kI_0$ – полный ток в неповрежденной фазе, а ток kI_0 – доля тока однофазного КЗ, протекающего в неповрежденных фазах (определяется специальным расчетом).

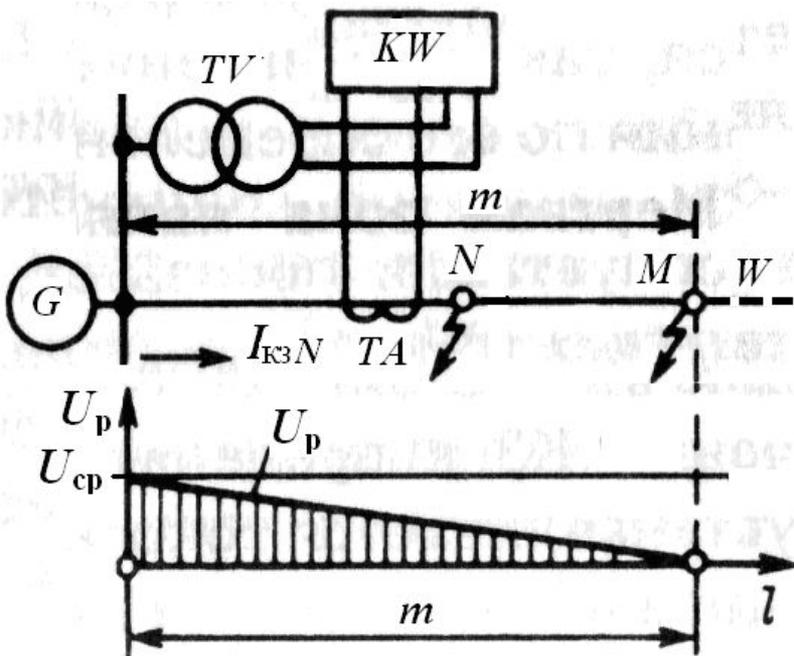
Чувствительность защиты при КЗ проверяется так же, как и чувствительность ненаправленной МТЗ.

Выдержки времени защит выбираются из условия селективности по встречно-ступенчатому принципу.

Направленные МТЗ используются преимущественно в сетях с двухсторонним питанием напряжением ≤ 35 кВ.

Мертвая зона направленной МТЗ

Направленная МТЗ может отказать в действии при КЗ вблизи места установки РЗ. Участок ЛЭП, при КЗ в пределах которого РНМ не работает, т.к. $S_p < S_{с.р}$, называется *мертвой зоной* защиты.



Для индукционного РНМ $S_p = U_p I_p \sin(\alpha - \varphi_p)$. Отсюда необходимое $U_{с.р}$ при КЗ на границе мертвой зоны в т. М

$$U_{с.р} = \frac{S_{с.р}}{I_p \cdot \sin(\alpha - \varphi_p)}$$

где $I_p = I_{кзN} / K_T$ - определяется расчетом при трехфазном КЗ в начале ЛЭП (точка N), K_T - коэффициент трансформации ТТ; α - угол внутреннего сдвига принимается из каталога; $\varphi_p = \varphi_k - 90^\circ$ для 90-градусной схемы, а φ_k - угол короткого замыкания; $S_{с.р}$ - определяется по заводским данным или лабораторным испытаниям для вычисленного значения φ_p .

Так как РНМ включается на междуфазное напряжение, то $U_{1\phi с.р} = U_{с.р} \cdot K_H / \sqrt{3}$, где $U_{1\phi с.р}$ - первичное фазное напряжение, необходимое для срабатывания РНМ; K_H - коэффициент трансформации ТН.

Длина мертвой зоны, км, определяется по выражению $m = U_{1\phi с.р} / (I_{кзN} \cdot Z_y)$, где Z_y - удельное сопротивление 1 км ЛЭП.