

# **Максимальная токовая защита (МТЗ)**

МТЗ являются защитами с относительной селективностью.

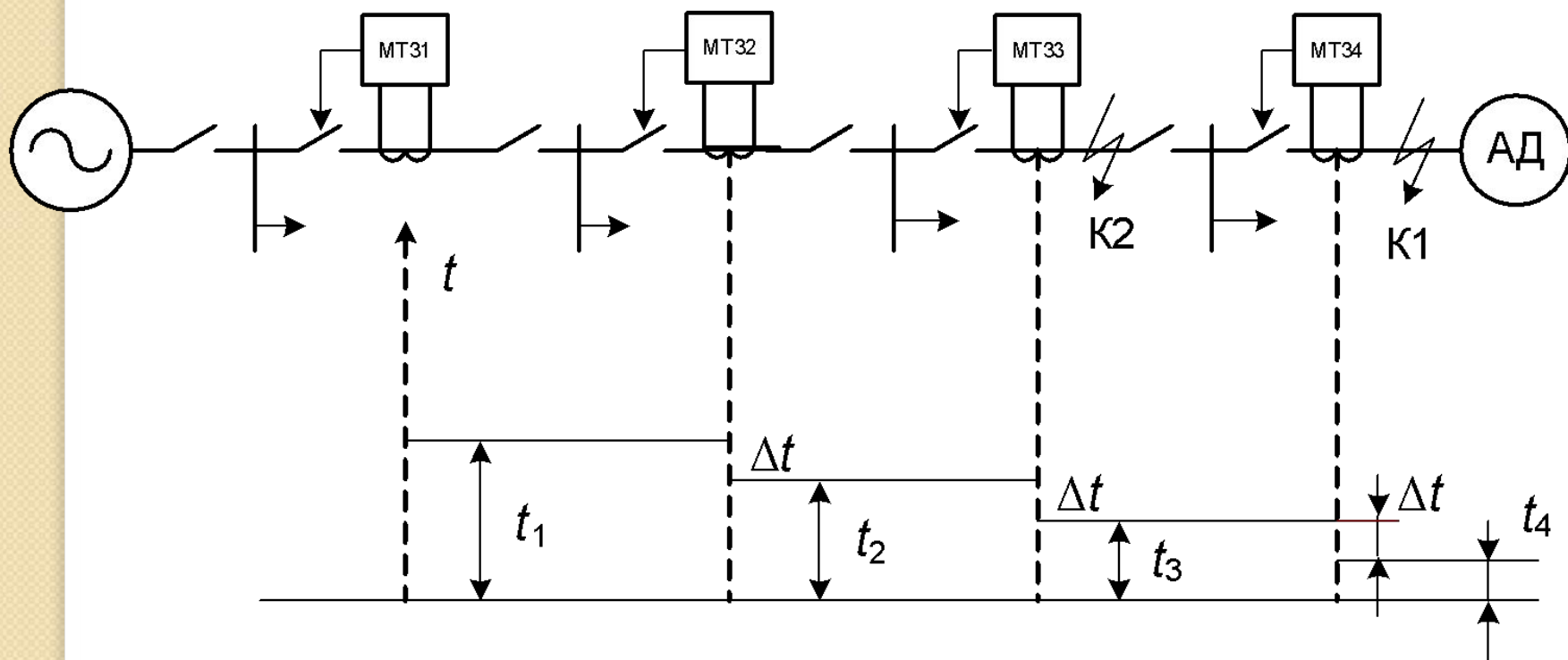
В качестве реле используются максимальные токовые реле.

Защиты подразделяются на непосредственно *МТЗ* и *токовые отсечки*.

Главное отличие между ними – способ обеспечения селективности.

Селективность МТЗ достигается с помощью выдержки времени, отсечки – соответствующим выбором тока срабатывания.

МТЗ являются основным видом защит для сетей с односторонним питанием. В более сложных сетях МТЗ применяется как вспомогательная. В сетях с односторонним питанием МТЗ устанавливается в начале каждой линии со стороны источника питания.



Выдержка времени защит, выбранных по *ступенчатому* принципу

## Селективность МТЗ

При КЗ в точке К1 ток проходит по всем участкам сети, но по условию селективности сработать на отключение должна только МТЗ 4, установленная на поврежденной линии.

Для обеспечения селективности МТЗ выполняются с выдержками времени, нарастающими от потребителя к источнику питания (см. рис.).

Защиты МТЗ 1-МТЗ 3 не успеют сработать из-за выдержек времени.

Соответственно при КЗ в точке К2 быстрее всех сработает МТЗ 3, а защиты 1 и 2, имеющие большее время не сработают.

## *Разновидности схем МТЗ*

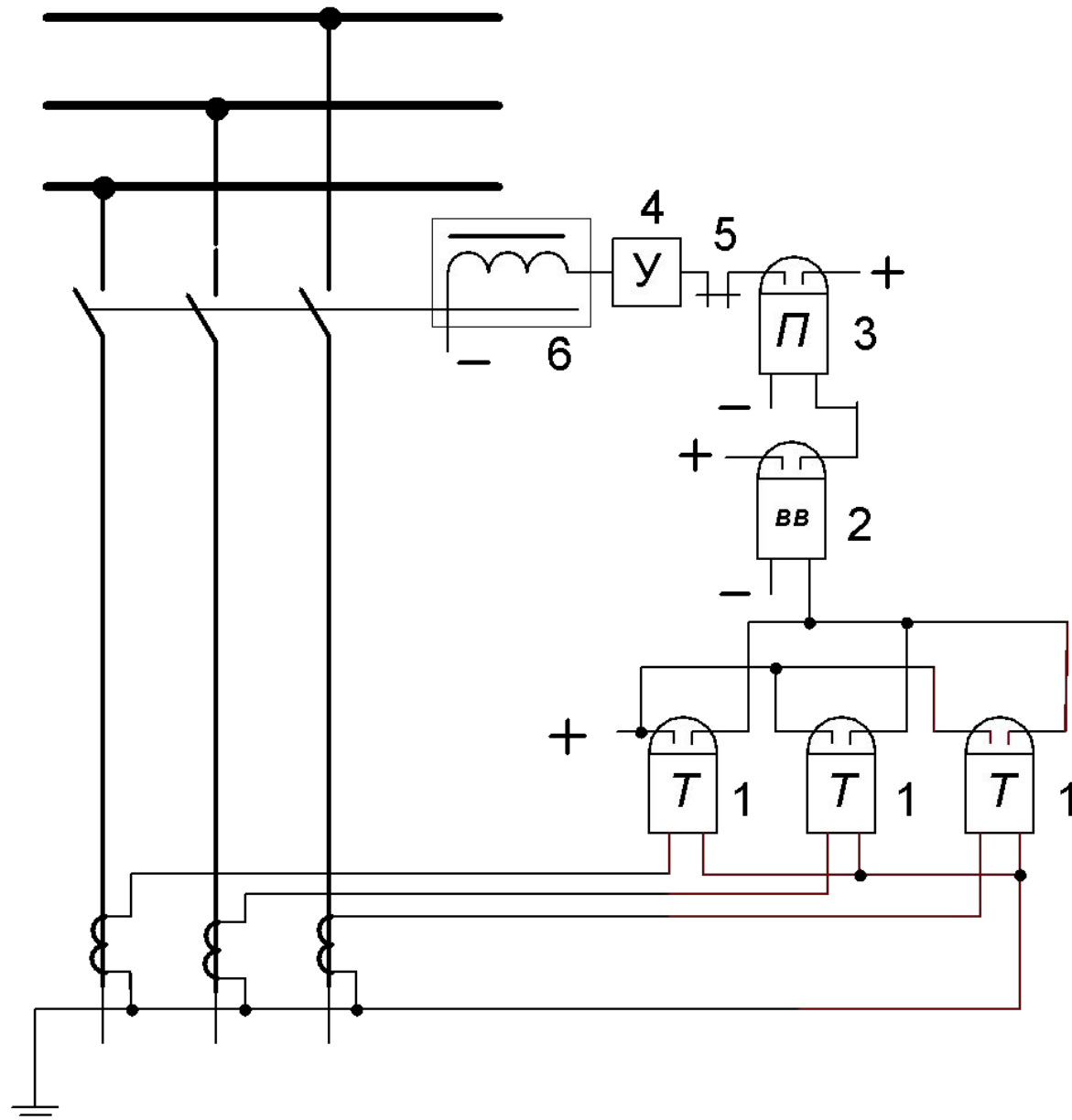
**Бывают трехфазными и двухфазными, прямого и косвенного действия, выполняются на постоянном и переменном оперативном токе.**

**По характеру зависимости времени действия реле от тока МТЗ подразделяются на защиты с независимой и зависимой характеристиками.**

### *Схемы трехфазной защиты* на постоянном оперативном токе

#### *МТЗ с независимой ВВ*

# Трехлинейная схема трехфазной МТЗ с независимой ВВ




ТТ и обмотки реле соединяются по схеме полной звезды.

Основные элементы схемы это токовые реле  $T$  и реле времени  $ВВ$ .

Вспомогательные реле – промежуточное реле 3 и указательное реле 4.

При КЗ срабатывают токовые реле тех фаз, по которым протекает ток КЗ. Контакты этих реле соединены параллельно, поэтому при срабатывании любого токового реле замыкается цепь обмотки реле  $ВВ$ . Через заданный интервал времени контакты реле времени замыкаются и приводят в действие промежуточное реле 3. Последнее срабатывает мгновенно и подает ток в катушку отключения выключателя 6 через блокировочные контакты 5. Промежуточное реле устанавливается тогда, когда не хватает мощности контактов реле времени. Указательное реле 4 включается последовательно с катушкой отключения выключателя. При появлении тока в этой цепи оно срабатывает, его флажок выпадает, фиксируя действие МТЗ и отключение выключателя.



Блокировочный контакт 5 привода выключателя служит для разрыва тока катушки, т.к. контакты промежуточных реле не рассчитываются на размыкание этой цепи. Блокировочный контакт должен срабатывать раньше, чем произойдет возврат промежуточного реле.

Выдержка времени реле времени не зависит от величины тока КЗ, поэтому такая МТЗ наз. защитой с независимой ВВ и имеет характеристику в виде прямой.



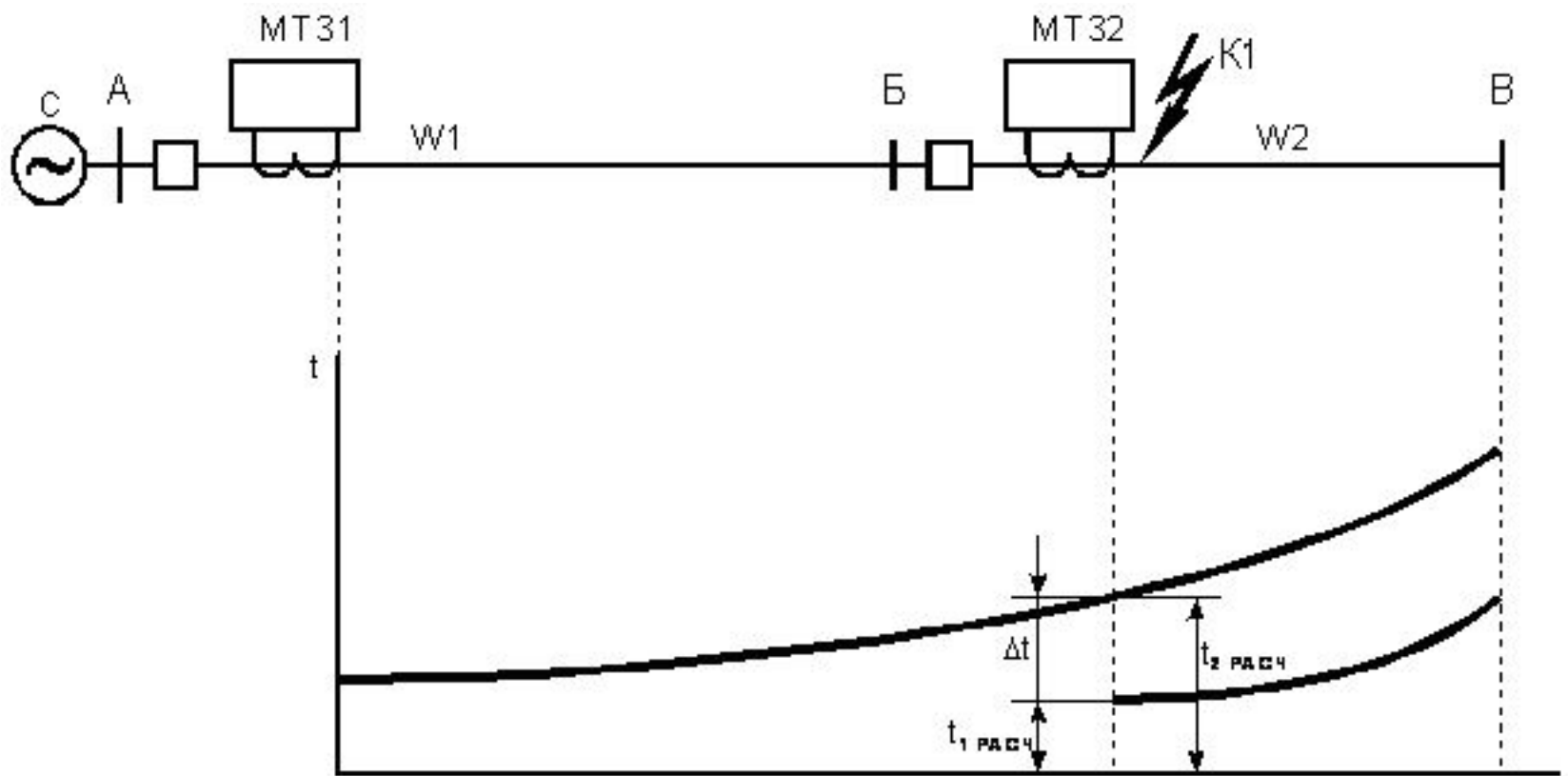
При выборе выдержки времени **максимальной токовой защиты с зависимой характеристикой времени срабатывания** действует тот же принцип, что и у максимальных токовых защит с независимой характеристикой – наиболее удаленная от источника питания защита должна иметь меньшую выдержку времени срабатывания. С учетом того, что время срабатывания максимальной токовой защиты с зависимой характеристикой времени срабатывания определяется величиной тока протекающего через защиту, согласование следует производить при строго определенных значениях токов КЗ. В качестве расчетной точки принимается начало следующего элемента.

Выдержки времени защит с зависимой характеристикой определяются по условию селективности:

$$t_{в. 3} = t_{в. 4} + \Delta t$$

Но поскольку время действия этих реле зависит от тока, необходимо задавать пределы тока, при которых это условие должно выполняться.

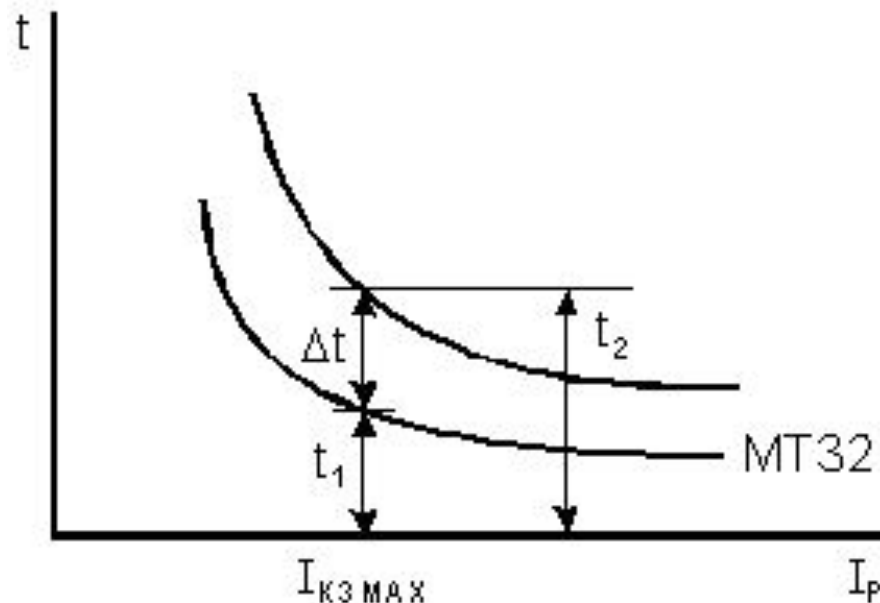
Пусть линии  $W_1$  и  $W_2$  оборудованы максимальными токовыми защитами с зависимой характеристикой и требуется выбрать характеристику защиты линии  $W_1$  ( $MT31$ ) (рис.) и согласовать ее с характеристикой защиты линии  $W_2$  ( $MT32$ ), которая известна.



Защита линии  $W_1$  должна иметь время срабатывания на ступень селективности больше защиты линии  $W_2$  при всех КЗ в пределах совместного действия  $MTЗ_1$  и  $MTЗ_2$ , то есть на линии  $W_2$ . Если при КЗ в точке  $K_1$  (начало линии  $W_2$ ) ток, проходящий через защиты равен  $I_{КЗ(К_1)max}$ , то при всех КЗ за точкой  $K_1$ , то есть в зоне работы защиты  $MTЗ_2$  токи будут меньше. Следовательно, если выполнить условие селективности в точке  $K_1$ , то защита  $MTЗ_1$  будет действовать селективно и при КЗ в других точках  $W_2$ .

Порядок выбора зависимых характеристик:

1. Строится исходная характеристика защиты  $MTЗ_2$   $t=f(I)$  (рис.);
2. Определяется максимальное значение тока КЗ  $I_{КЗ(К_1)max}$  при повреждении в начале линии  $W_2$  (точка  $K_1$  рис.);



3. Пользуясь заданной характеристикой защиты  $MTЗ_2$ , находят ее выдержку при токе  $I_{K3(K1)max}$ ;
4. По условию селективности выбирается время срабатывания защиты  $MTЗ_1$  при КЗ в точке К1:

$$t_2 \geq t_1 + \Delta t$$

5. По точке с координатами  $(I_{K3(K1)max}, t_2)$  строят характеристику защиты  $MTЗ_1$ .

Согласование выдержек времени независимых защит значительно проще. Поэтому зависимые защиты применяются только в случае явного преимущества.

## Область использования трехфазных МТЗ

Трехфазные МТЗ реагируют на все виды КЗ поэтому их применяют в сети с глухо заземленной нейтралью, где возможны однофазные и междуфазные КЗ.

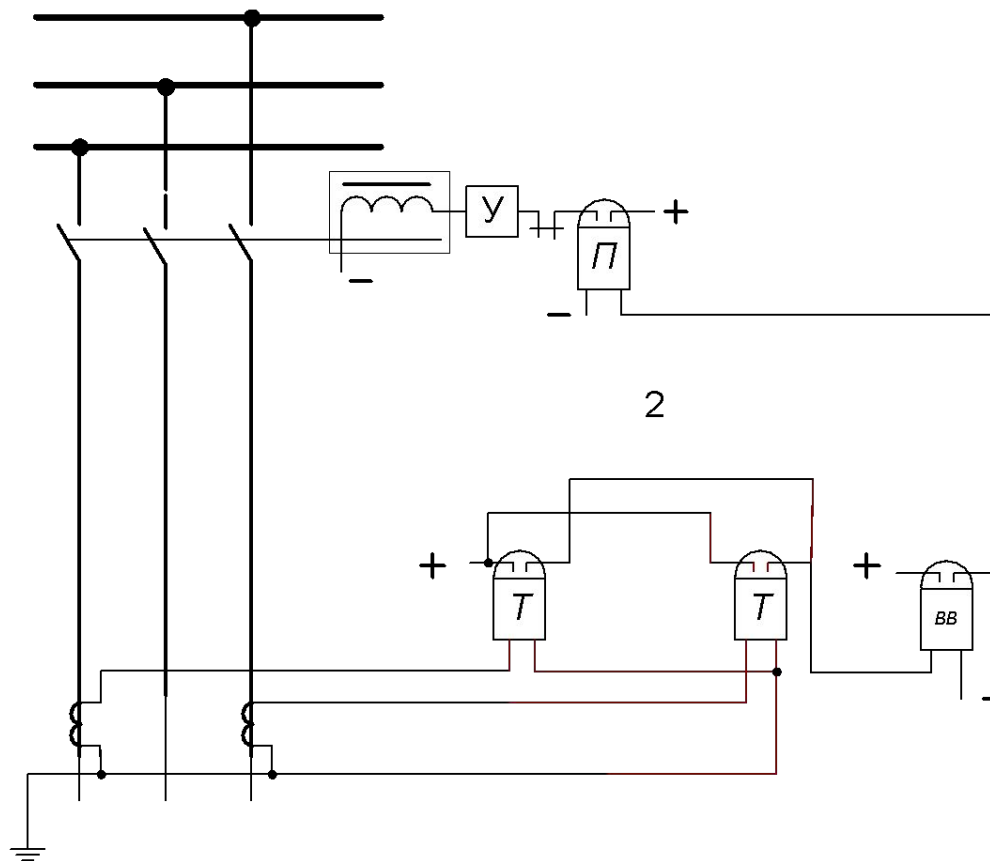
В сетях с изолированной нейтралью трехфазные МТЗ не рекомендуются к применению по следующим причинам:

1. трехфазные схемы дороже двухфазных, т.к. требуют большего оборудования и соединительных проводов;
2. трехфазные МТЗ в большем числе случаев, чем двухфазные, работают неселективно при двойных КЗ на землю.

# Схемы двухфазных МТЗ на постоянном оперативном токе

Применяют с одним или двумя реле тогда, когда МТЗ должна действовать только при междофазных КЗ.

*Двухрелейная схема с независимой характеристикой.*



Цепи защиты выполняются по схеме неполной звезды. Элементы схемы и их назначение такие же как и в трехфазной схеме.

Достоинством двухфазной схемы является то, что она:

- реагирует также как и трехфазная на все междуфазные КЗ на линиях;
- при КЗ на землю в двух разных точках в сети с изолированной нейтралью работает селективно в большем числе случаев, чем трехфазная схема;
- для ее выполнения требуется меньше оборудования и соединительных проводов.

Недостаток: имеет меньшую чувствительность (в 2 раза) при двухфазных КЗ за трансформатором  $Y/\Delta$  и  $\Delta/Y$ .

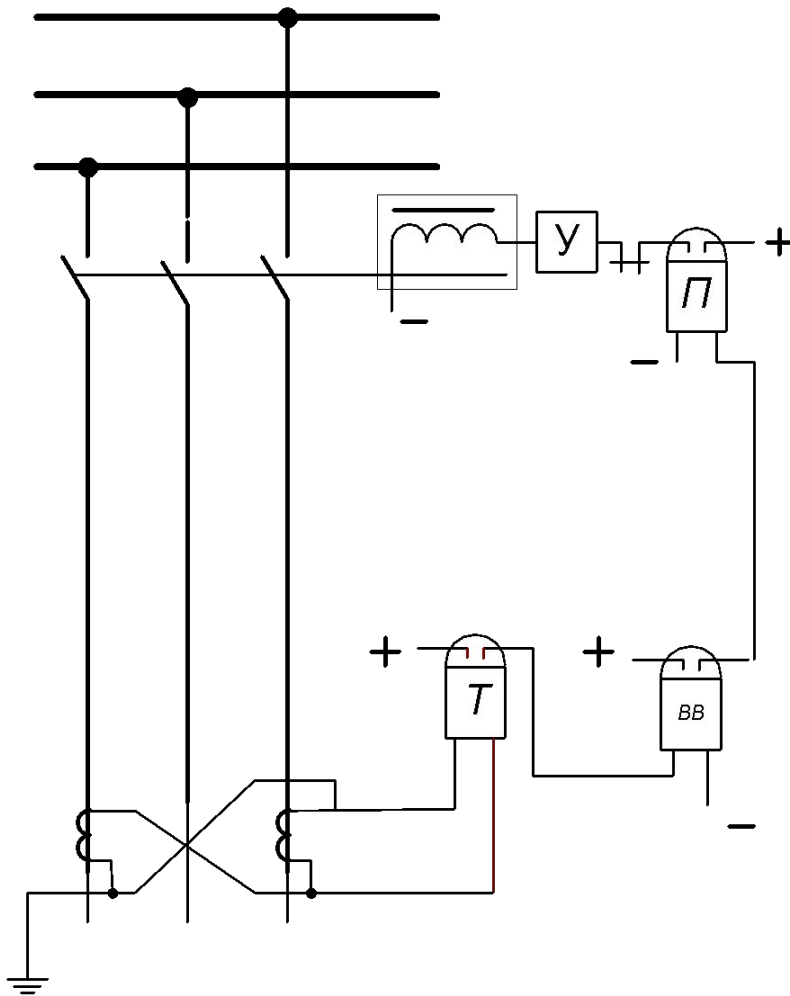
Двухфазные схемы широко применяются в сетях с изолированной нейтралью, где возможны только междуфазные КЗ.

Применяется также в сетях с глухозаземленной нейтралью для отключения однофазных КЗ. При этом устанавливается дополнительная защита, реагирующая на ток нулевой последовательности.



# Двухфазная однорелейная схема МТЗ

Преимуществом схемы является наименьшее число токовых реле и соединительных проводов (одно реле и два токовых провода)



Одно токовое пусковое реле включается на разность токов двух фаз  $I_p = I_A - I_B$  и реагирует на все случаи междуфазных КЗ (полной и неполной звезды).

## Недостатки:

1. меньшая чувствительность по сравнению с двухрелейной схемой при КЗ между фазами АВ и ВС. Этот недостаток имеет значение при малой кратности токов КЗ, когда ток КЗ близок к току нагрузки.
2. недействие защиты при одном из трех возможных случаев КЗ за трансформатором с соединением обмоток Y/Δ, когда  $I_p = I_A - I_C = 0$ ;
3. при неисправности единственного токового реле или проводов, связывающих его с ТТ, защита откажет при КЗ. Двухрелейная схема не имеет такого недостатка, т.к. при трехфазных КЗ и двухфазных между А и С в схеме работают два реле и поэтому обрыв одного провода не приведет к отказу защиты.

Однорелейная схема находит применение в сетях 6-10 кВ и для защиты электродвигателей.

В сетях 35 кВ и выше из-за указанных недостатков почти не применяется.

## *Двухфазная схема МТЗ с зависимой характеристикой*

выполняется также как и схема с независимой характеристикой.

В качестве токового реле используется реле РТ-80. Все сказанное о двухфазных схемах с независимой характеристикой относится и к схемам с зависимой характеристикой за исключением того, что в них отсутствует реле времени и указательное реле.

## Выбор уставок МТЗ по току и времени

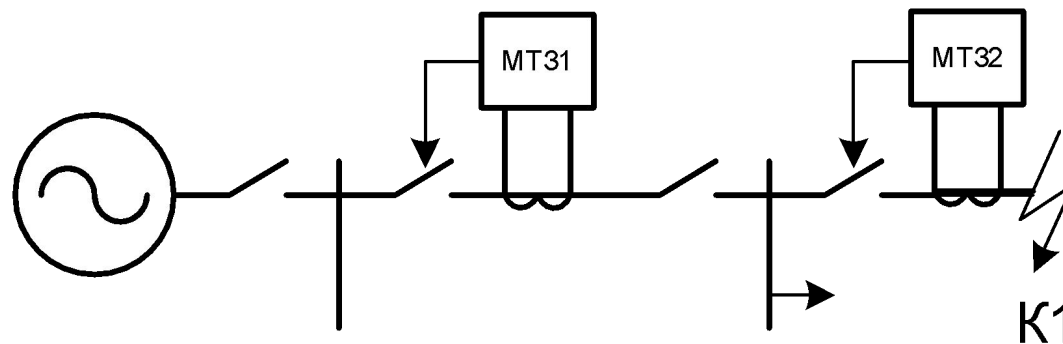
Главная задача при выборе тока срабатывания МТЗ состоит в надежной отстройке от токов нагрузки (пуски и самозапуски АД и др.).

Для этого необходимо выполнить два условия:

- ток срабатывания защиты д.б. больше максимального тока нагрузки

$$I_{с.з} > I_{р.мах}$$

- токовые реле, сработавшие при внешнем КЗ, должны надежно возвращаться в исходное положение после отключения КЗ и снижения тока до максимального тока нагрузки.



При КЗ в точке К1 срабатывают оба реле. После отключения КЗ МТЗ 2 прохождение тока КЗ прекращается и пришедшее в действие МТЗ 1 должно возвратиться в начальное положение, т.к. иначе произойдет неправильное отключение неповрежденной линии.

Поэтому ток возврата реле д.б. больше тока нагрузки линии, проходящего через защиту МТЗ1 после отключения КЗ. Этот ток в первый момент времени после отключения КЗ имеет повышенное значение из-за пусковых токов АД. Он постепенно затухает и в линии устанавливается рабочий ток, который в худшем случае может иметь максимальное значение  $I_{p.max}$ .

Увеличение  $I_{p.max}$ , вызванное самозапуском АД, оценивается коэффициентом запуска  $k_3$ .

Учет самозапуска АД является обязательным.

Исходя из этого  $I_{воз} > k_3 I_{p.max}$

При выполнении этого условия всегда выполняется и предыдущее условие, т.к. возврата максимальных реле всегда меньше тока срабатывания. Поэтому для отстройки МТЗ от токов нагрузки за исходное принимается последнее выражение.

Руководствуясь им, ток возврата выбирают равным

$$I_{воз} = k_{зап} k_3 I_{p.max}$$

Коэффициент запаса  $k_{зап}$  учитывает возможную погрешность в величине тока возврата реле и принимается равным 1,1-1,2.

Ток срабатывания МТЗ находится из соотношения, определяющего связь между током возврата и срабатывания

$I_{воз} / I_{с.з} = k_{воз}$ . Подставляя в это выражение значение  $I_{воз}$ , находим соответствующий ему ток срабатывания:

$$I_{с.з} = k_{зап} / k_{воз} k_3 I_{p.max}$$

Вторичный ток срабатывания реле  $I_{\text{ср}}$  находится с учетом коэффициента трансформации ТТ и схемы включения реле, характеризуемой коэффициентом схемы  $k_{\text{сх}}$ :  $I_{\text{ср}} = k_{\text{сх}} I_{\text{с.з}} / n_{\text{ТТ}}$ .  
Для схемы соединения в звезду (полную или неполную)  $k_{\text{сх}} = 1$ .  
Для схемы реле с включением на разность токов двух фаз  $k_{\text{сх}} = \sqrt{3}$ .

Чувствительность защиты оценивается коэффициентом чувствительности  $K_{\text{ч}} = I_{\text{КЗ min}} / I_{\text{с.з}}$

Коэффициент чувствительности для защищаемой линии считается допустимым, если  $I_{\text{КЗ min}}$  в 1,5 раза больше тока срабатывания защиты. Снижение  $K_{\text{ч}}$  ниже 1,5 не рекомендуется, т.к. действительный ток в реле при КЗ может оказаться меньше расчетного  $I_{\text{КЗ min}}$  из-за неточности расчета тока КЗ, влияния сопротивления в месте повреждения и погрешности ТТ, уменьшающей вторичный ток. При КЗ на резервируемом участке согласно ПУЭ допускается  $K_{\text{ч}} = 1,2$ .

## Выдержка времени МТЗ

Для обеспечения селективности ВВ МТЗ выбирается по ступенчатому принципу. Величина ступени  $\Delta t$  должна быть такой, чтобы при КЗ, например, линии В МТЗ предыдущего участка т.е. на линии А не успевала сработать. Чтобы МТЗ линии А не сработала при КЗ на следующем участке, она должна иметь время

$$t_{зА} > t_{зВ} + t_{п(В)} + t_{в(В)},$$

где  $t_{з(В)}$  – выдержка времени МТЗ В;  $t_{п(В)}$  – погрешность в сторону замедления реле времени защиты В;  $t_{в(В)}$  – время отключения выключателя В.

МТЗ с зависимой характеристикой, осуществляемых с пом. индукционных реле, то они могут продолжать работать по инерции после отключения тока КЗ. Поэтому ступень времени у таких защит должна быть увеличена на время инерционной ошибки реле  $t_u$ .

Для применяемых в эксплуатации реле и выключателей ступень времени колеблется у защит с независимой ВВ в пределах (0,35 – 0,6) с, а у защит с зависимой или с ограниченно зависимой характеристикой – (0,6 – 1,0) с.



# Оценка и область применения МТЗ

Достоинствами МТЗ является ее простота, надежность и небольшая стоимость по сравнению с другими видами защит. Она обеспечивает селективность в радиальных сетях с односторонним питанием.

К недостаткам относятся:

1. большие ВВ, особенно вблизи источников питания, в то время как именно вблизи шин станции по условию устойчивости необходимо быстрое отключение КЗ;
2. недостаточная чувствительность при КЗ в разветвленных сетях с большим числом параллельных цепей и значительными токами нагрузки.

МТЗ получила распространение в радиальных сетях всех напряжений, в сетях 10 кВ и ниже она является основной защитой.