

- **1 ступень МТЗ (МТО)**

Отстройка от максимального тока трехфазного КЗ за кабелем 0,4 кВ трансформатора.

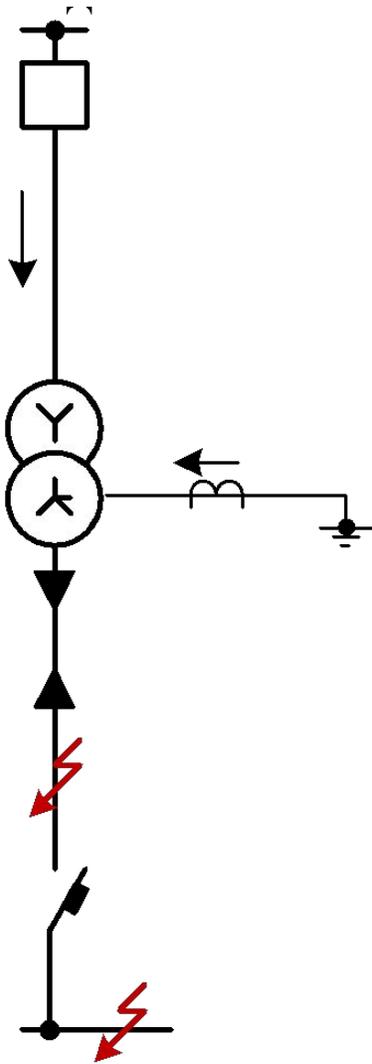
$$I_{\text{МТО}} > K_{\text{отс.}} * I^{(3)} \text{ макс.}$$

$K_{\text{отс.}} = 1,3$ - коэффициент отстройки

Отстройка от броска тока намагничивания ТСН

$$I_{\text{МТО}} > 7 * I_{\text{ном.}}$$

$$T_{\text{МТО}} = 0$$



- **2 ступень МТЗ**

Автоматически ускоряемая ступень при включении выключателя.

Должна обеспечивать чувствительность к КЗ в конце присоединения

Отстройка от броска тока намагничивания ТСН для ступени, ускоряемой автоматически

$$I_{MT3} > 7 * I_{ном.}$$

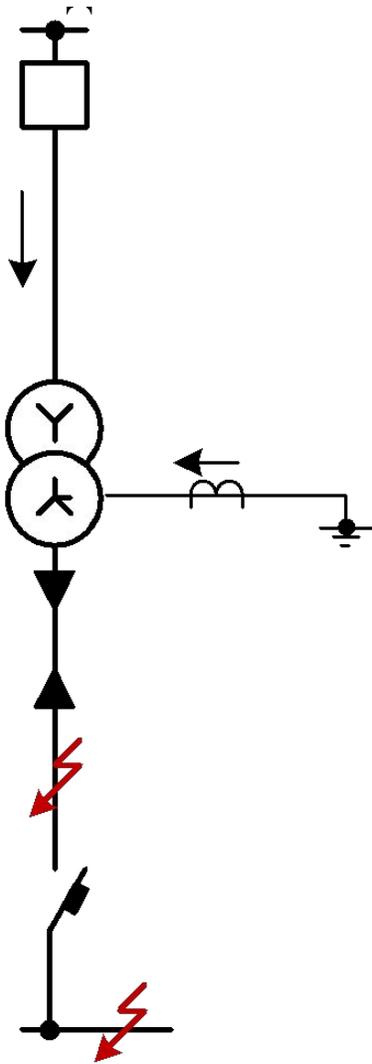
Согласование с МТО вводного автомата 0,4 кВ ЩСН

$$I_{MT3} > K_{согл.} * I_{MTO \text{ авт. } 0,4}$$

$$K_{согл.} = 1,2,$$

$I_{MTO \text{ авт. } 0,4 \text{ кВ}}$ – уставка МТО автомата, приведенная к напряжению ВН ТСН

$$T_{MT3} > T_{\text{авт. } 0,4 \text{ кВ}} + \Delta T$$



- **3 ступень МТЗ**

Отстройка от максимального нагрузочного тока трансформатора

$$I_{MTZ} > (K_{отс.} * K_{пер.} * I_{ном.ТСН}) / K_{в}$$

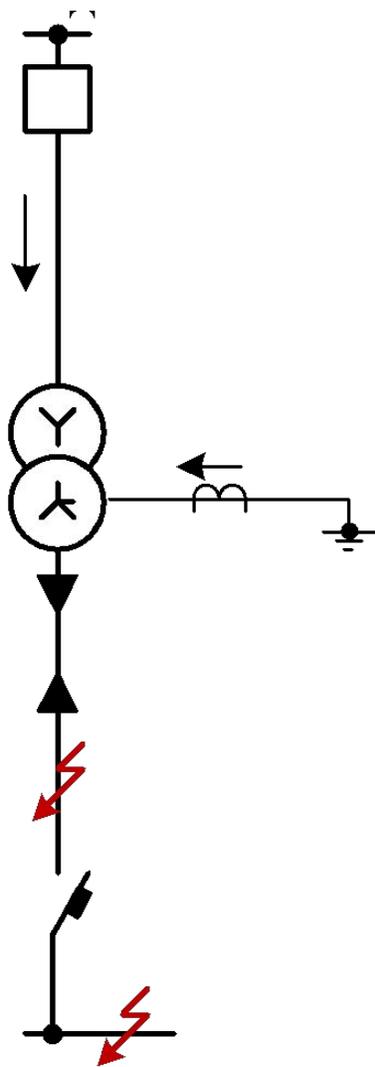
$K_{отс.} = 1,1$ – коэффициент отстройки

$K_{пер.}$ – коэффициент, учитывающий возможность перегруза трансформатора на 40%

Для трансформаторов 6-10 кВ мощностью до 630 кВА допускается длительная перегрузка трансформаторов до 1,6 – 1,8 номинального тока.

$K_{в} = (0,9 - 0,95)$ - коэффициент возврата для МП защит

$K_{в} = 0,8$ - коэффициент возврата для электромеханических реле



- *Согласование с МТО вводного автомата 0,4 кВ ТСН*

$$I_{MT3} > K_{согл.} * I_{MTO \text{ авт. } 0,4}$$

$$K_{согл.} = 1,2,$$

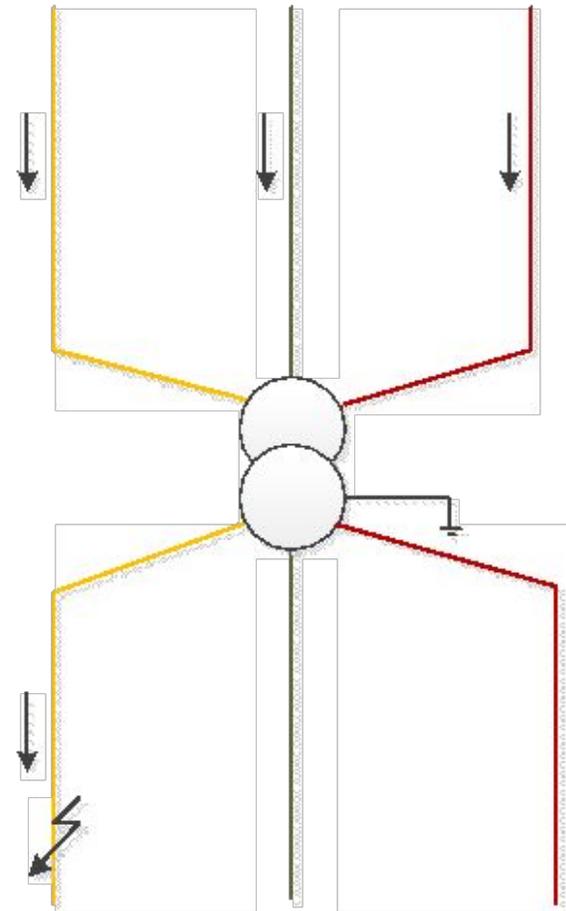
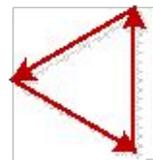
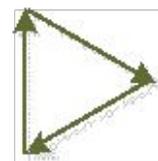
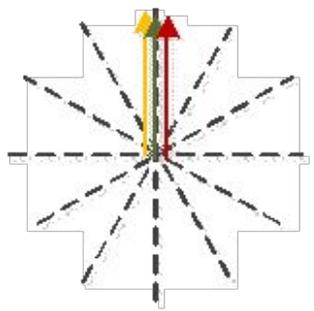
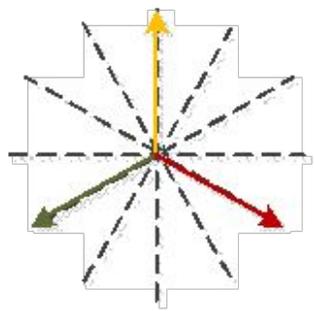
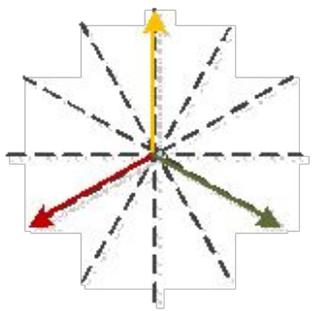
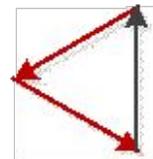
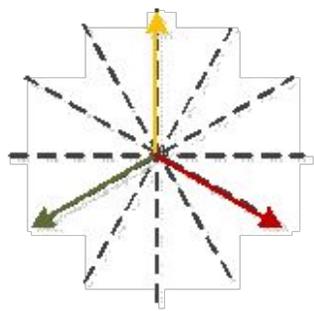
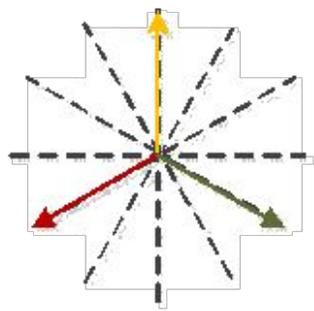
$I_{MTO \text{ авт. } 0,4 \text{ кВ}}$ – уставка МТО автомата, приведенная к напряжению ВН ТСН

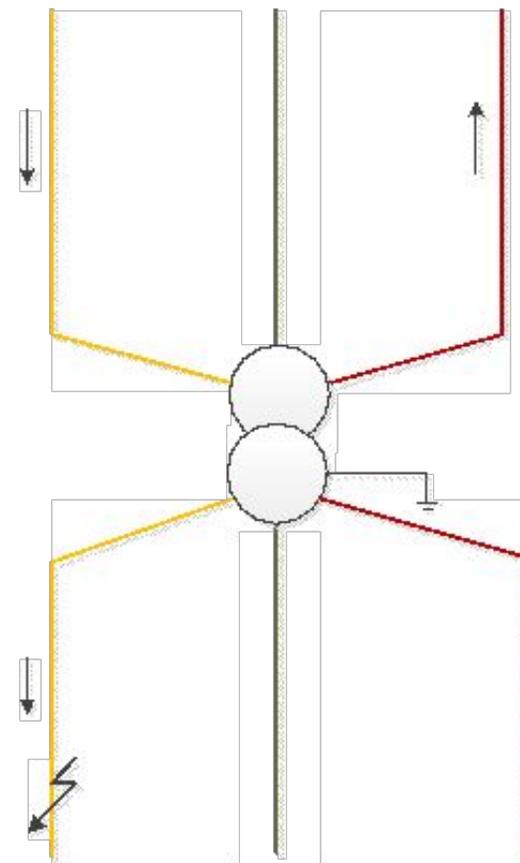
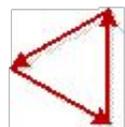
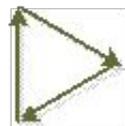
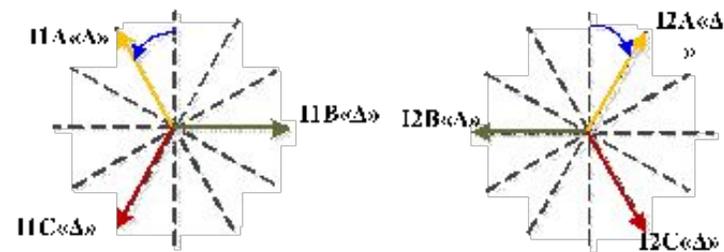
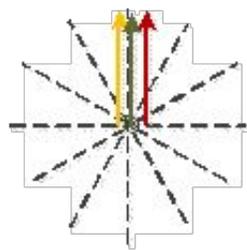
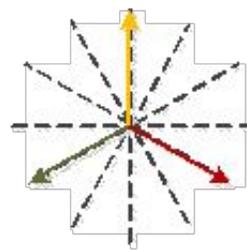
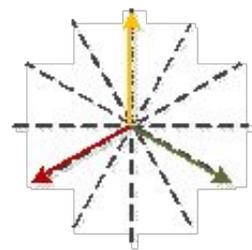
$$T_{MT3} > T_{\text{авт. } 0,4 \text{ кВ}} + \Delta T$$

- *Проверка чувствительности при дуговом КЗ в конце кабеля 0,4 кВ ТСН*

$$K_{ч} = I_{\text{дуг.}} / I_{MT3}$$

$K_{ч} > 1,5$ – требуемая чувствительность при КЗ в основной зоне





**Формулы для определения расчетных токов
в реле максимальных токовых защит на стороне 6 (10) кВ
при однофазных к. з. на стороне 0,4 кВ трансформаторов Υ/Υ и Δ/Υ**

Схема выполнения максимальной токовой защиты	Коэффициент схемы при симметричном режиме $k_{ск}^{(3)}$	Токи в реле при однофазном к. з. за трансформатором	
		$\Upsilon/\Upsilon-0$	$\Delta/\Upsilon-11$
Полная звезда (рис. 2-1, а)	1	Не применяется	Не применяется
Неполная звезда с двумя реле (рис. 2-1, б)	1	$I_p = \frac{I_K^{(1)}}{3n_T}$	$I_p = \frac{I_K^{(1)}}{\sqrt{3}n_T}$
Неполная звезда с тремя реле (третье реле включено в обратный провод), рис. 2-1, б	1	$I_p = \frac{2I_K^{(1)}}{3n_T}$	$I_p = \frac{I_K^{(1)}}{\sqrt{3}n_T}$
Треугольник с тремя реле (рис. 2-1, в)	$\sqrt{3}$	Не применяется	$I_p = \frac{2I_K^{(1)}}{\sqrt{3}n_T}$
Треугольник с двумя реле (рис. 2-1, г)	$\sqrt{3}$	Не применяется	$I_p = \frac{I_K^{(1)}}{\sqrt{3}n_T}$
Схема включения одного реле на разность токов двух фаз А и С (рис. 1-10)	$\sqrt{3}$	Схема не применяется (отказывает при однофазном к. з. фазы В)	Схема не применяется (отказывает при к. з. фаз В и С)

- В случае, когда МТЗ не обеспечивает чувствительность к однофазным дуговым замыканиям на стороне 0,4 кВ, необходима установка специальной защиты нулевой последовательности
- Уставка срабатывания специальной защиты нулевой последовательности должна быть отстроена:

1) от наибольшего допустимого тока небаланса в нулевом проводе:

$$I_{ТЗНП} > K_{отс.} * I_{нб} > 0,5 * I_{ном}$$

2) Согласована по току и времени срабатывания с автоматами без защиты нулевой последовательности

- Согласно пункту ПУЭ 3.2.66 допускается не согласовывать данную защиту с защитами отходящих присоединений 0,4 кВ (т.е. допускается неселективное отключение ТСН при дуговом однофазном замыкании на отходящем присоединении)

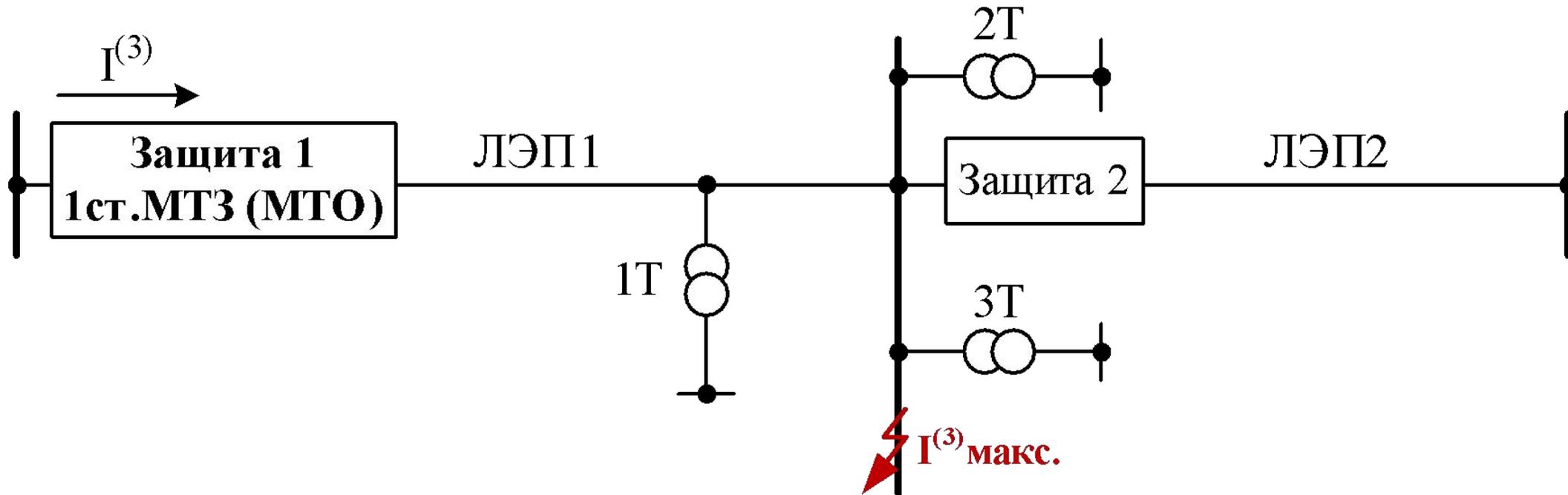
Выбор уставок радиальных линий напряжением 6–35 кВ

- 1 ступень МТЗ (МТО)

Отстройка от максимального тока КЗ в месте установки защиты при КЗ на шинах противоположной ПС в случае установки защиты на радиальной линии

$I_{\text{МТО}} > K_{\text{отс.}} \cdot I^{(3)}_{\text{макс.}}$

$K_{\text{отс.}} = 1,2 - 1,3$



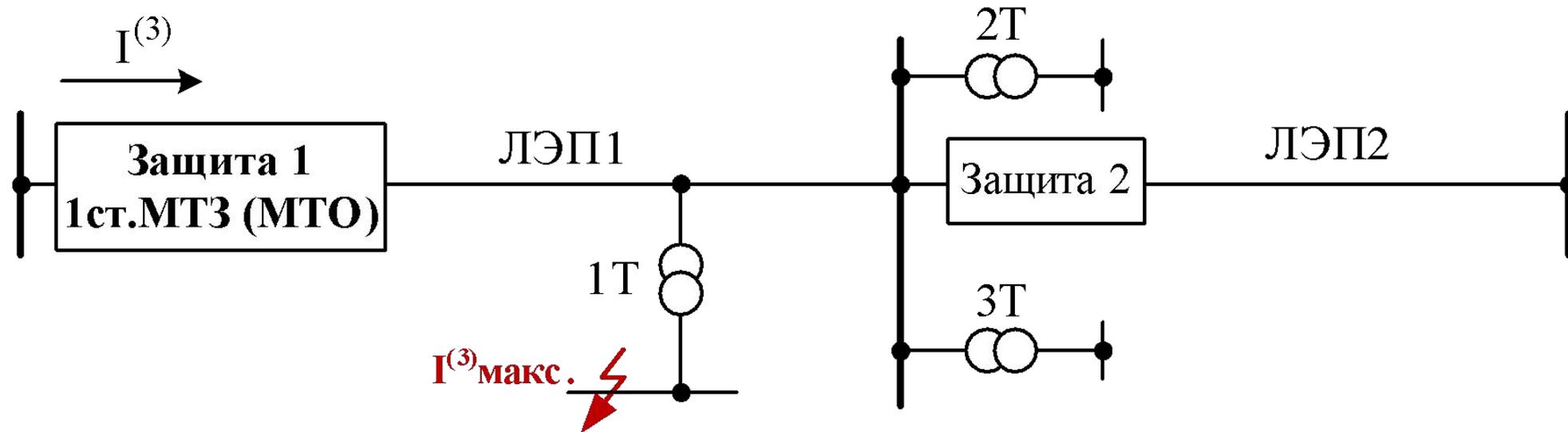
- *Отстройка от максимального тока КЗ за трансформатором ответвления*

$$I_{\text{МТО}} > K_{\text{отс.}} * I^{(3)}_{\text{макс.}}$$

$$K_{\text{отс.}} = 1,2 - 1,3$$

- *Отстройка от суммарного броска тока намагничивания трансформаторов, включаемых под напряжение при включении линии*

$$I_{\text{МТО}} > 6 * \sum I_{\text{ном. тр.}} = 6 * (I_{\text{ном.1Т}} + I_{\text{ном.2Т}} + I_{\text{ном.2Т}})$$



- **2 ступень МТЗ**

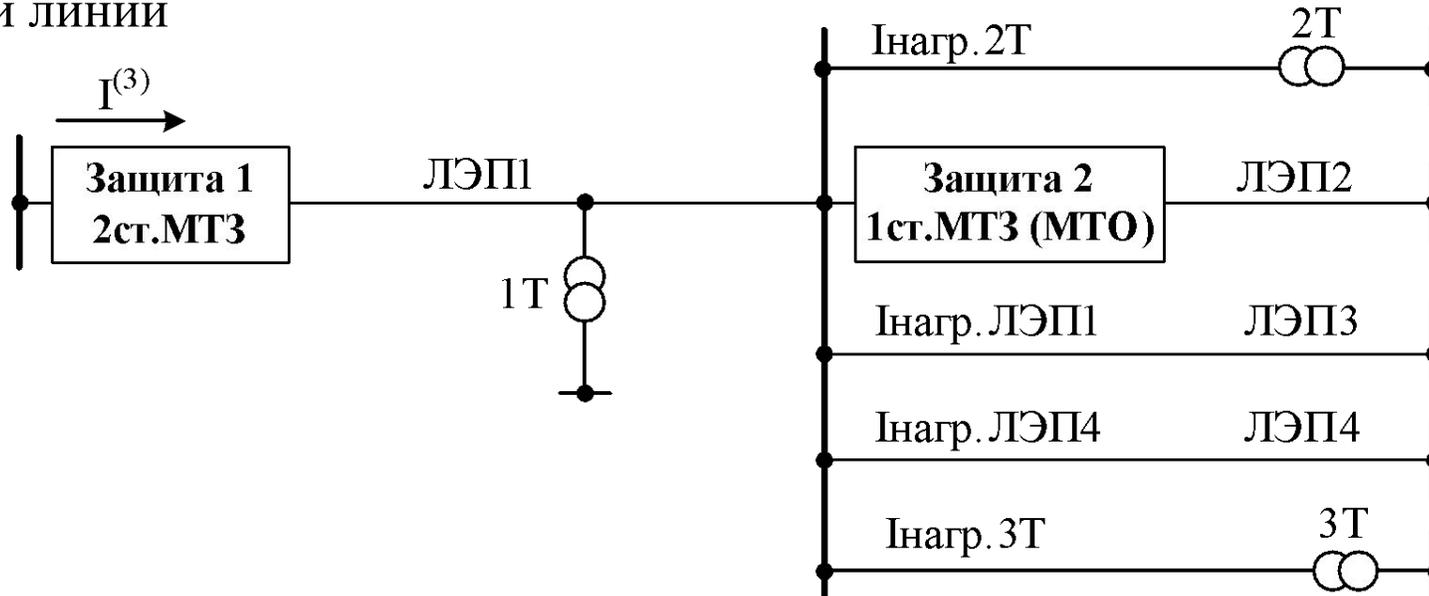
Автоматически ускоряемая ступень. Должна обеспечивать чувствительность к КЗ в конце присоединения в минимальном режиме сети

- *Согласование с 1 ступенью МТЗ (МТО) ЛЭП, отходящих от шин приемной ПС*

$$I_{\text{МТЗ}} > K_{\text{согл.}} * (I_{1\text{ст.МТЗ}} + \sum I_{\text{нагр.}})$$

$$K_{\text{согл.}} = 1,1$$

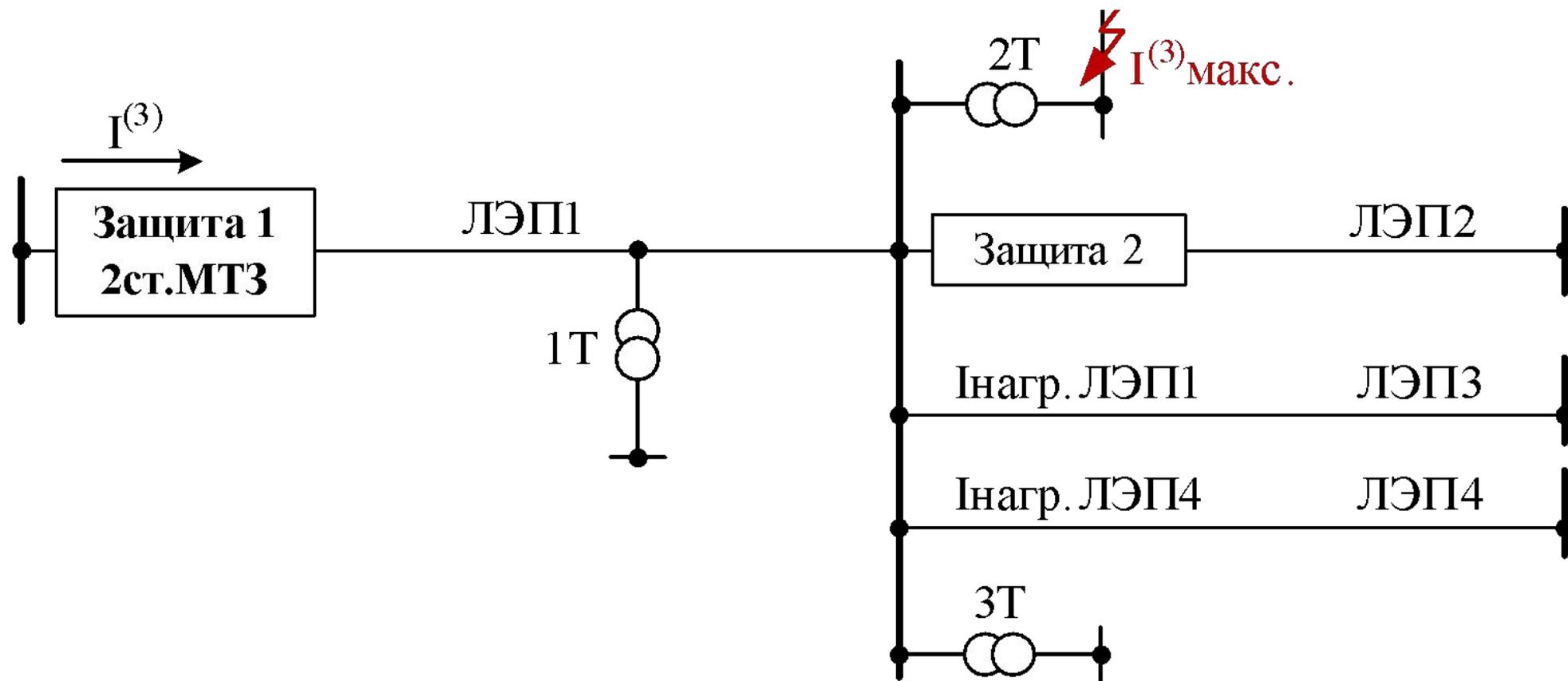
$I_{1\text{ст.МТЗ}}$ – уставка 1 ступени МТЗ (МТО) линии, отходящей от шин приемной ПС $\sum I_{\text{нагр.}}$ – суммарных ток нагрузки линий и трансформаторов, отходящих от шин приемной ПС, за исключением нагрузки поврежденной линии



- *Отстройка от максимального тока КЗ в месте установки защиты при КЗ за трансформатором смежной ПС*

$I_{\text{мто}} > K_{\text{отс.}} \cdot I^{(3)}_{\text{макс.}}$

$K_{\text{отс.}} = 1,2 - 1,3$

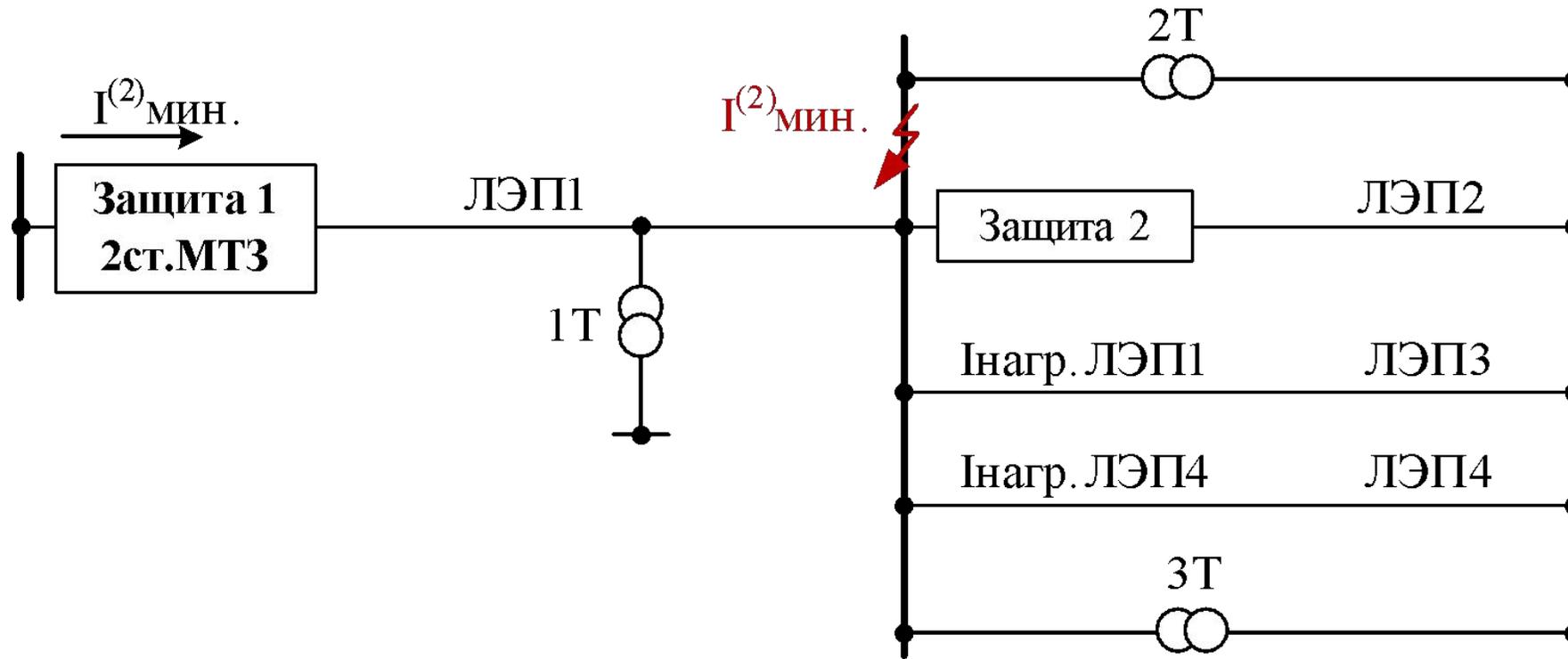


- *В качестве уставки 2степени МТЗ принимается наибольшее из полученных значений.*

Проверка чувствительности при КЗ в основной зоне на шинах приемной ПС

$$K_{\text{ч}} = I^{(2)}_{\text{мин.}} / I_{\text{МТЗ}}$$

$K_{\text{ч}} > 1,5$ – требуемая чувствительность при КЗ в основной зоне



Выбор выдержки времени 2 ступени МТЗ

- Выбирается по условию согласования с выдержками времени линий, отходящих от приемной ПС

$$T_{2\text{ст.МТЗ}} = T_{1\text{ст.МТЗ ЛЭП1}} + \Delta T$$

$$T_{2\text{ст.МТЗ}} = T_{1\text{ст.МТЗ ЛЭП2}} + \Delta T$$

$$T_{2\text{ст.МТЗ}} = T_{1\text{ст.МТЗ ЛЭП3}} + \Delta T$$

$T_{1\text{ст.МТЗ}}$ – выдержка времени 1 ст.МТЗ, отходящей от шин приемной ПС

$\Delta T = (0,3 - 0,5)$ сек. – ступень селективности

В качестве уставки принимается максимальная из выдержек времени

- **3 ступень МТЗ**

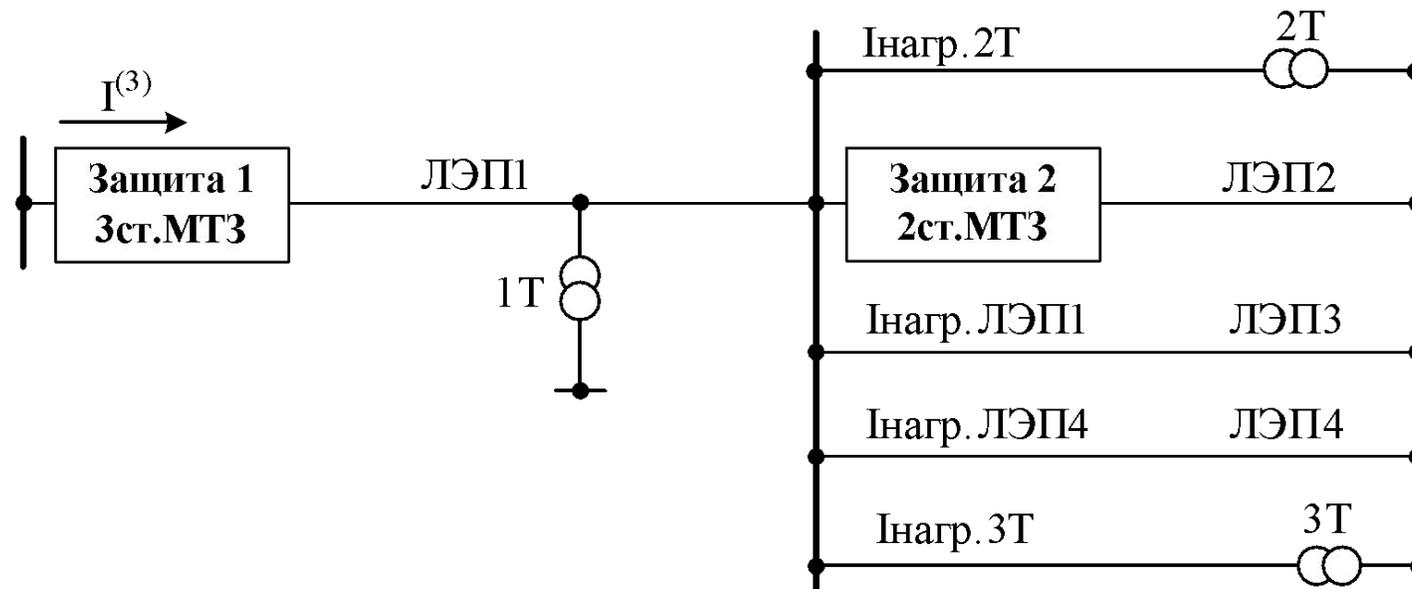
- *Согласование со 2 ступенью МТЗ ЛЭП, отходящих от шин приемной ПС*

$$I_{MT3} > K_{согл.} * (I_{2ст.МТЗ} + \sum I_{нагр.})$$

$$K_{согл.} = 1,1$$

$I_{2ст.МТЗ}$ – уставка 2 ступени МТЗ линии, отходящей от шин приемной ПС

$\sum I_{нагр.}$ – суммарных ток нагрузки линий и трансформаторов, отходящих от шин приемной ПС, за исключением нагрузки поврежденной линии



- *Отстройка от максимального нагрузочного режима*

$$I_{MTЗ} > (K_{отс.} * K_{сам.} * \sum I_{нагр.}) / K_{в}$$

$K_{отс.} = (1,1 - 1,2)$ – коэффициент отстройки

$K_{сам.} = (1,3 - 1,5)$ – коэффициент самозапуска с преобладанием бытовой нагрузки

- При наличии двигателей необходимо выполнить расчет коэффициента самозапуска

$$K_{сам.} = I_{пуск.} / I_{нагр.}$$

$\sum I_{нагр.}$ – максимальный нагрузочный ток линии

$K_{в}$ – коэффициент возврата реле

$K_{в} = 0,9$ – для МП терминалов

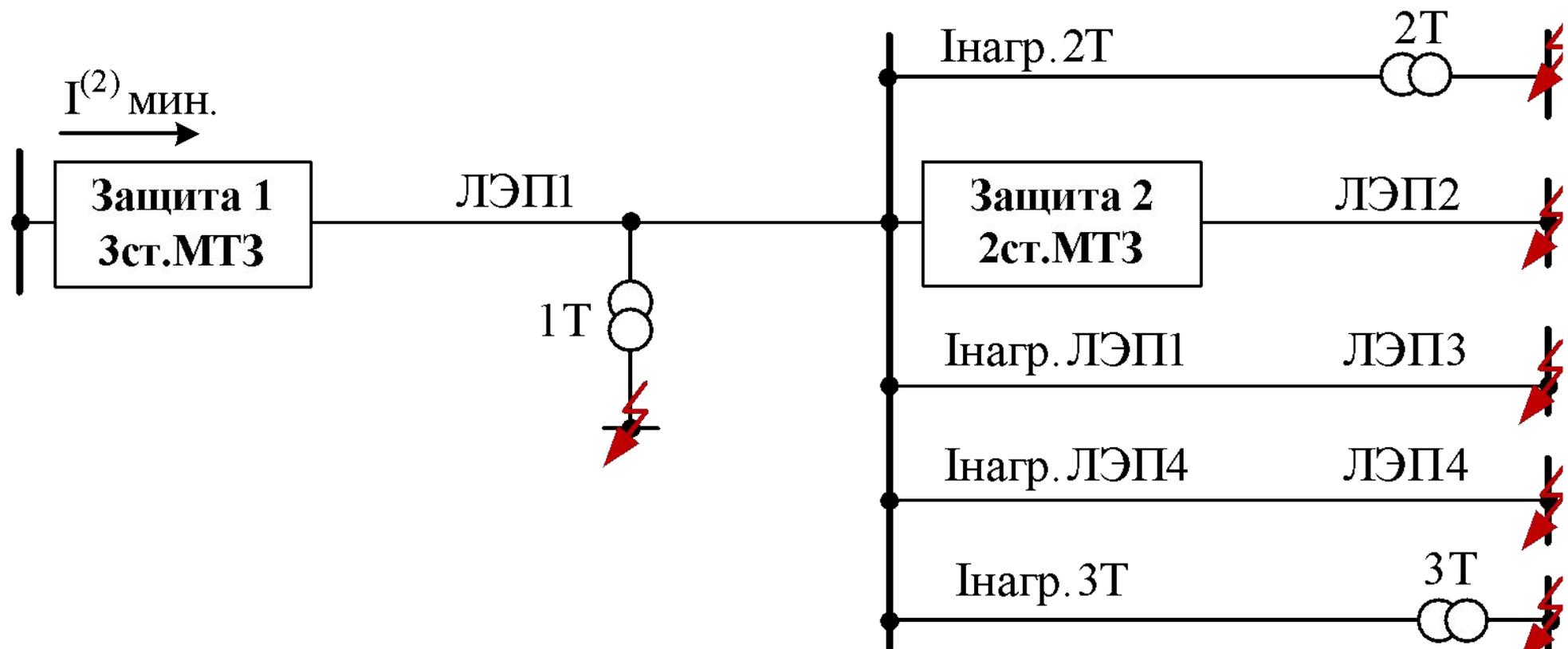
$K_{в} = 0,8$ – для электромеханических реле

В качестве уставки 3 ступени МТЗ принимается наибольшее из полученных значений.

- Проверка чувствительности при КЗ в резервной зоне в конце ВЛ, примыкающих к шинам приемной ПС и КЗ на шинах НН трансформаторов приемной ПС

$$Kч = I^{(2)}_{\text{мин.}} / I_{\text{МТЗ}}$$

$Kч > 1,2$ – требуемая чувствительность при КЗ в резервной зоне



- *Выбор выдержки времени 3 ступени МТЗ*

Выбирается по условию согласования с выдержками времени линий, отходящих от приемной ПС

$$T_{3\text{ст.МТЗ}} = T_{2\text{ст.МТЗ ЛЭП1}} + \Delta T$$

$$T_{3\text{ст.МТЗ}} = T_{2\text{ст.МТЗ ЛЭП2}} + \Delta T$$

$$T_{3\text{ст.МТЗ}} = T_{2\text{ст.МТЗ ЛЭП3}} + \Delta T$$

$T_{2\text{ст.МТЗ}}$ – выдержка времени 2 ст.МТЗ, отходящей от шин приемной ПС

$\Delta T = (0,3 - 0,5)$ сек. – степень селективности

В качестве уставки принимается максимальная из выдержек времени

- **Выбор уставок секционного выключателя 6-35 кВ**

- **1 ступень МТЗ**

- *Согласование с 1 ступенью МТЗ (МТО) отходящих присоединений*

$$I_{MT3} > 1,1 * (I_{MTO} + \sum I_{нагр.})$$

$\sum I_{нагр.}$ – суммарный нагрузочный ток секции шин за исключением тока нагрузки поврежденного присоединения

$$T_{MT3} = T_{MTO} + \Delta T$$

В качестве уставок 1 ступени МТЗ принимаются наибольшие из полученных значений по току и времени.

- *Проверка чувствительности при КЗ на шинах НН*

$$K_{ч} = I^{(2)}_{мин.} / I_{MT3}$$

$K_{ч} > 1,5$ – требуемая чувствительность при КЗ в основной зоне

- **2 ступень МТЗ**

Ускоряется автоматически при включении выключателя

- *Отстройка от суммарного броска тока намагничивания трансформаторов секции шин для ступени, ускоряемой автоматически*

$$I_{MT3} > 6 * \sum I_{Tr.}$$

$\sum I_{Tr.}$ – суммарный ток трансформаторов секции шин

- *Согласование со 2 ступенью МТЗ отходящих присоединений*

$$I_{MT3} > 1,1 * (I_{MT32} + \sum I_{нагр.})$$

$\sum I_{нагр.}$ – суммарный нагрузочный ток секции шин за исключением тока нагрузки поврежденного присоединения

$$T_{MT3} = T_{MT3} + \Delta T$$

В качестве уставок 2 ступени МТЗ принимаются наибольшие из полученных значений по току и времени.

- **3 ступень МТЗ**
- *Согласование с 3 ступенью МТЗ отходящих присоединений*

$$I_{MT3} > 1,1 * (I_{MTO} + \sum I_{нагр.})$$

$\sum I_{нагр.}$ – суммарный нагрузочный ток секции шин за исключением тока нагрузки поврежденного присоединения

$$T_{MT3} = T_{MT3} + \Delta T$$

В качестве уставок 3 ступени МТЗ принимаются наибольшие из полученных значений по току и времени.

Проверка чувствительности при КЗ в зоне резервирования

$$K_{ч} = I^{(2)}_{мин.} / I_{MT3}$$

$K_{ч} > 1,2$ – требуемая чувствительность при КЗ в зоне резервирования

- **Выбор уставок ввода трансформатора (АТ)**

- **1 ступень МТЗ**

- *Согласование с 1 ступенью МТЗ секционного выключателя*

$$I_{MT3} > 1,1 * (I_{MT3} + \sum I_{нагр.})$$

$\sum I_{нагр.}$ – суммарный нагрузочный ток 1 и 2 секции шин

$$T_{MT3} = T_{MT3} + \Delta T$$

- **2 ступень МТЗ**

Автоматически ускоряемая ступень

- *Отстройка от суммарного броска тока намагничивания трансформаторов для ступени, ускоряемой автоматически*

$$I_{MT3} > 6 * \sum I_{тр.}$$

$\sum I_{тр.}$ – суммарный ток трансформаторов 1 и 2 секций шин

- **3 ступень МТЗ**

- *Согласование с 3 ступенью МТЗ секционного выключателя*

$$I_{MT3} > 1,1 * (I_{MT3} + \sum I_{нагр.})$$

$\sum I_{нагр.}$ – суммарный нагрузочный ток 1 и 2 секции шин

$$T_{MT3} = T_{MT3} + \Delta T$$

- *Проверка чувствительности при КЗ в зоне резервирования*

$$K_{ч} = I^{(2)}_{мин.} / I_{MT3}$$

$K_{ч} > 1,2$ – требуемая чувствительность при КЗ в зоне резервирования

Защита от несимметричного режима или обрыва фазы (ТЗОП)

- Выполнена на основе измерения тока обратной последовательности I_2 расч.
- Может использоваться - для защиты присоединения с действием на отключение при сниженной чувствительности МТЗ к двухфазным КЗ,
- По условию допустимой по ГОСТ несимметрии питающей сети уставку по току $I_{\text{ср.2}}$ рекомендуется принимать равной 25 % от номинального тока присоединения
- У разных производителей есть различные варианты исполнения ЗНР:

НПП Бреслер	НПП ЭКРА

- **Защита от замыканий на землю (ЗОЗЗ)**

Может выполняться

- - по контролю тока основной частоты **3I0**.

Применяется в сетях с изолированной нейтралью

- - по контролю напряжения **3U0**
- - по контролю мощности нулевой последовательности **P0**

• **Ненаправленная защита по току основной частоты 3I0**

Отстройка от емкостного тока линии

$$\mathbf{I_{3033} > K_{отс.} * K_{бр.} * I_{емк.}}$$

$K_{отс.} = (1,2 - 1,3)$ – коэффициент отстройки

$K_{бр.} = (1,5 - 3,0)$ – коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока в момент возникновения однофазного КЗ

$$I_{емк} = \sqrt{3} \cdot \omega \cdot C_i \cdot U_H - \text{ёмкостный ток } i\text{-ого присоединения}$$

Проверка чувствительности

$$\mathbf{Kч = (\sum I_{емк.} - I_{емк.}) / I_{3033}}$$

$\sum I_{емк.}$ – суммарный емкостной ток сети

$I_{емк.}$ – емкостной ток присоединения

- **Защита от ОЗЗ по активной мощности нулевой последовательности (ваттметрическая защита)**

Защита предназначена для использования в сетях с компенсированной нейтралью и комбинированным заземлением нейтрали.

Защита основана на контроле величины и направления активной мощности нулевой последовательности основной частоты при ОЗЗ. Активная мощность при ОЗЗ на присоединении определяется как произведение активной составляющей тока нулевой последовательности всей сети, за вычетом активной составляющей собственного тока линии, на напряжение нулевой последовательности.

$$P_0 = (I_{0c\Sigma} - I_{0ci} - I_{ДГР}) \cdot \cos \varphi \cdot U_0 = I_{0R} \cdot U_0 ;$$

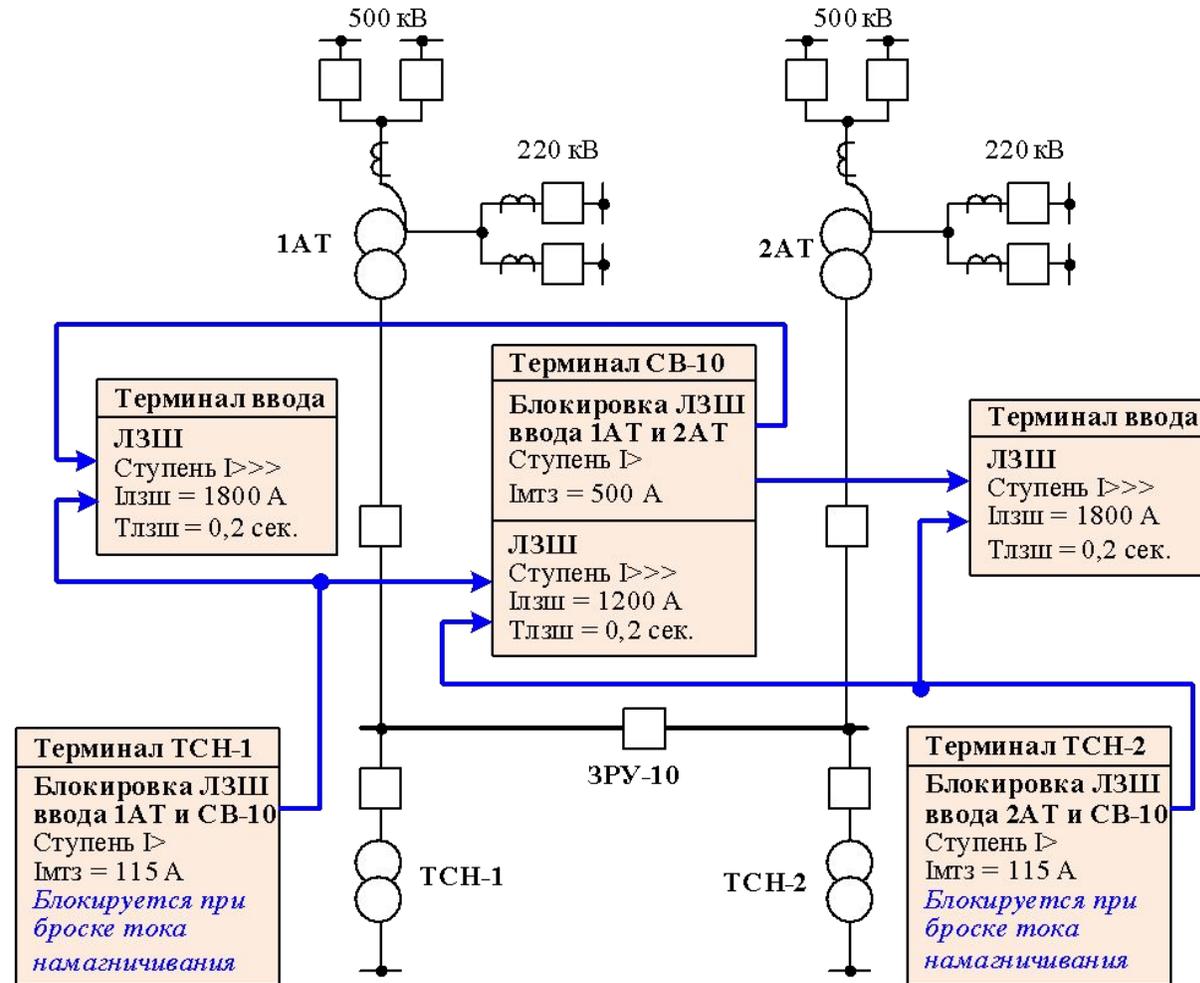
где φ – текущее значение угла между током и напряжением нулевой последовательности;
 $I_{ДГР}$ – ток через ДГР в режиме ОЗЗ.

Активная составляющая тока может быть вычислена через коэффициент успокоения сети (d).

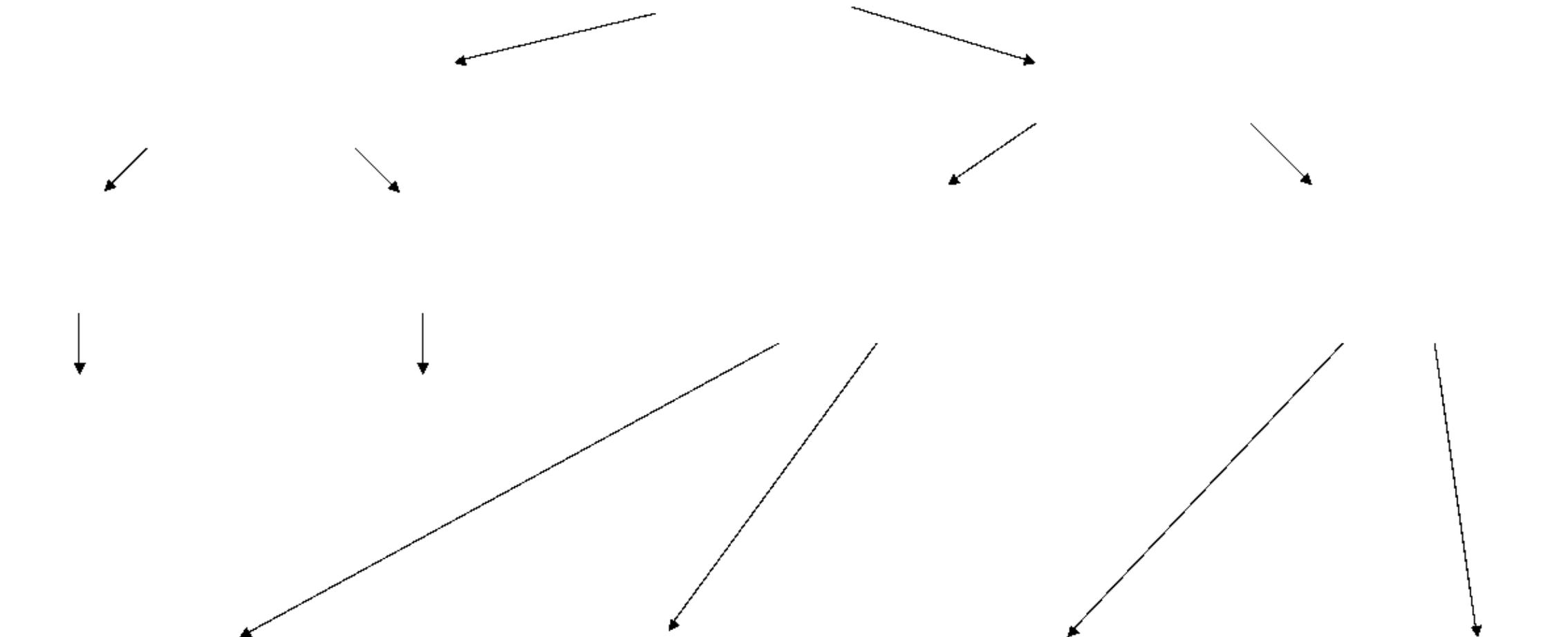
$$d = \frac{I_{0R}}{I_{0c\Sigma}}$$

Для сетей с компенсированной нейтралью с воздушными линиями и нормальным состоянием изоляции $d = (2 \div 3)\%$. Для сетей с кабельными линиями $d = (2 \div 4)\%$. При наличии кабелей с состарившейся изоляцией значение d может достигать 10%.

ЛЗШ



При формировании сигнала «Блокировка ЛЗШ» от ступени, блокируемой при броске тока намагничивания, необходимо в терминалах выполнить блокировку ЛЗШ от двух выходных сигналов «Пуск ступени МТЗ I>» и «Пуск ступени МТЗ I> при броске тока»



$$ABP_{6-35} = ABP_{2 \text{ ст. P3}} + APB + \Delta ABP$$

$ABP_{2 \text{ ст. P3}}$

APB

ΔABP

$$ABP_{0,4} = ABP_{6-35} + \Delta ABP$$

ABP_{6-35}

ΔABP

$$ABP_{6-35} = ABP_{0,4} + \Delta ABP$$

$ABP_{0,4}$

ΔABP

$$ABP_{0,4} = ABP_{2 \text{ ст. P3}} + \Delta ABP$$

$ABP_{2 \text{ ст. P3}}$

ΔABP