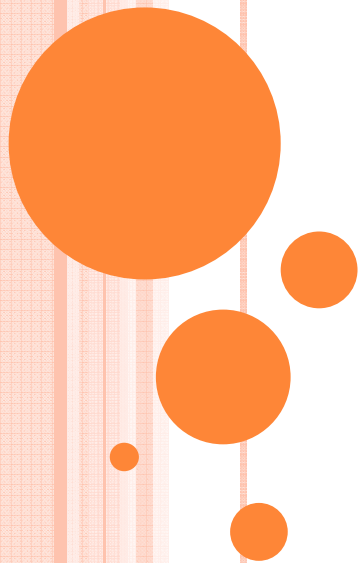


# РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ



## ВЫБОР ТИПА ТР-РА ЗАВИСИТ ОТ

- Мощности
- Роли в энергосистеме
- Типа системы охлаждения (масляной, сухой, охлаждаемые негорючим жидким диэлектриком (совтол и др.))



## **ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ З НЕОБХОДИМО УЧЕСТЬ ТРЕБ. ЕЁ СРАБАТЫВАНИЯ ПРИ**

- Междуфазных КЗ
- Обмотки и на выводах
- Межвитковых КЗ
- Внешних КЗ
- Различного рода перегрузках



## Блочный трансформатор на электростанции



# Блочный трансформатор на электростанции



# Понижительный трансформатор на подстанции



# ГРУППА ОДНОФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ПОДСТАНЦИИ ИЛЬКОВО 500 кВ



# ПОВРЕЖДЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ И АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ

- Междуфазное КЗ.
- КЗ одной или двух фаз на землю.
- КЗ между витками одной фазы (межвитковое).
- Замыкание между обмотками разных напряжений.
- КЗ на вводах, ошиновке и в кабелях (междуфазное и на землю).
- «Пожар стали»

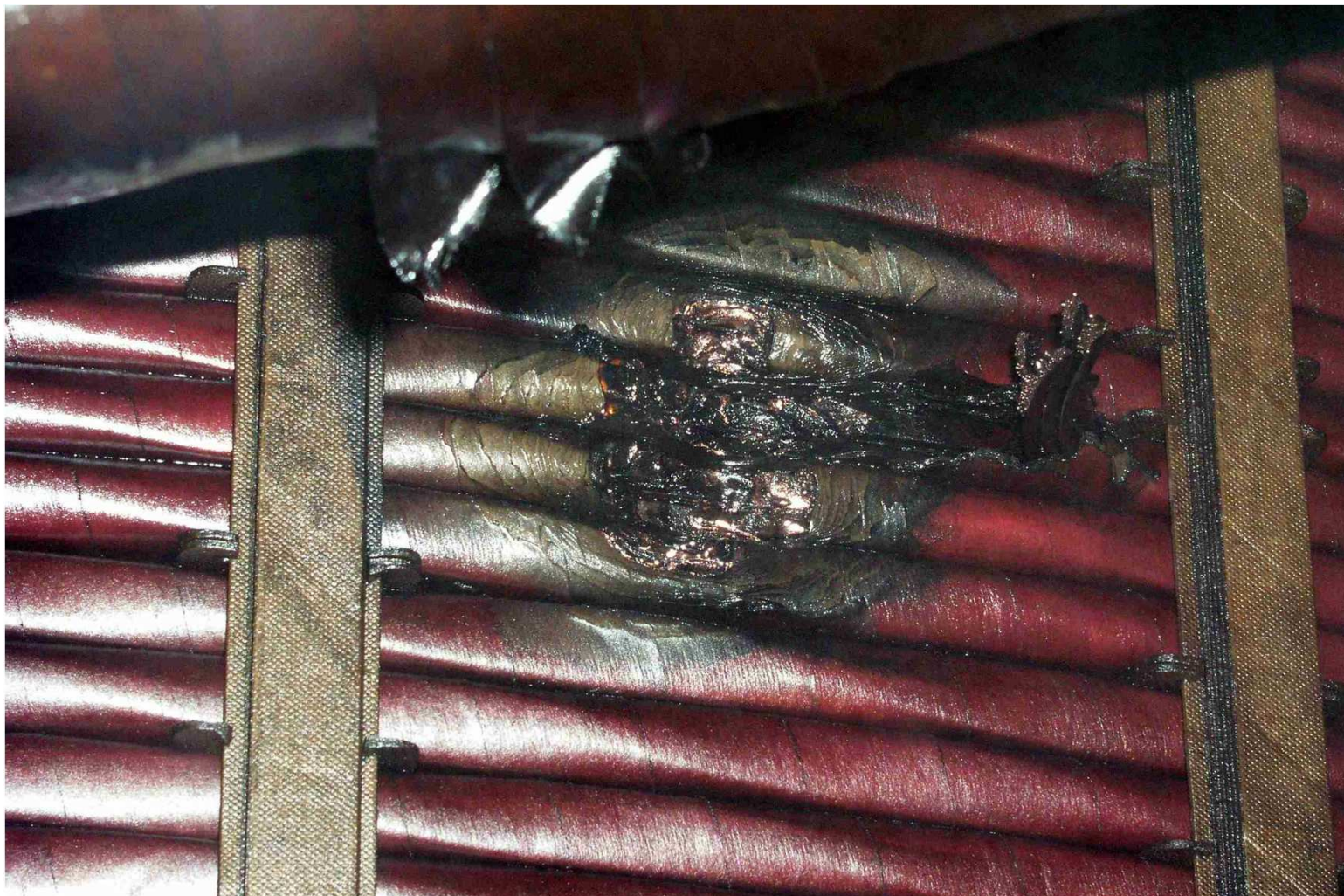




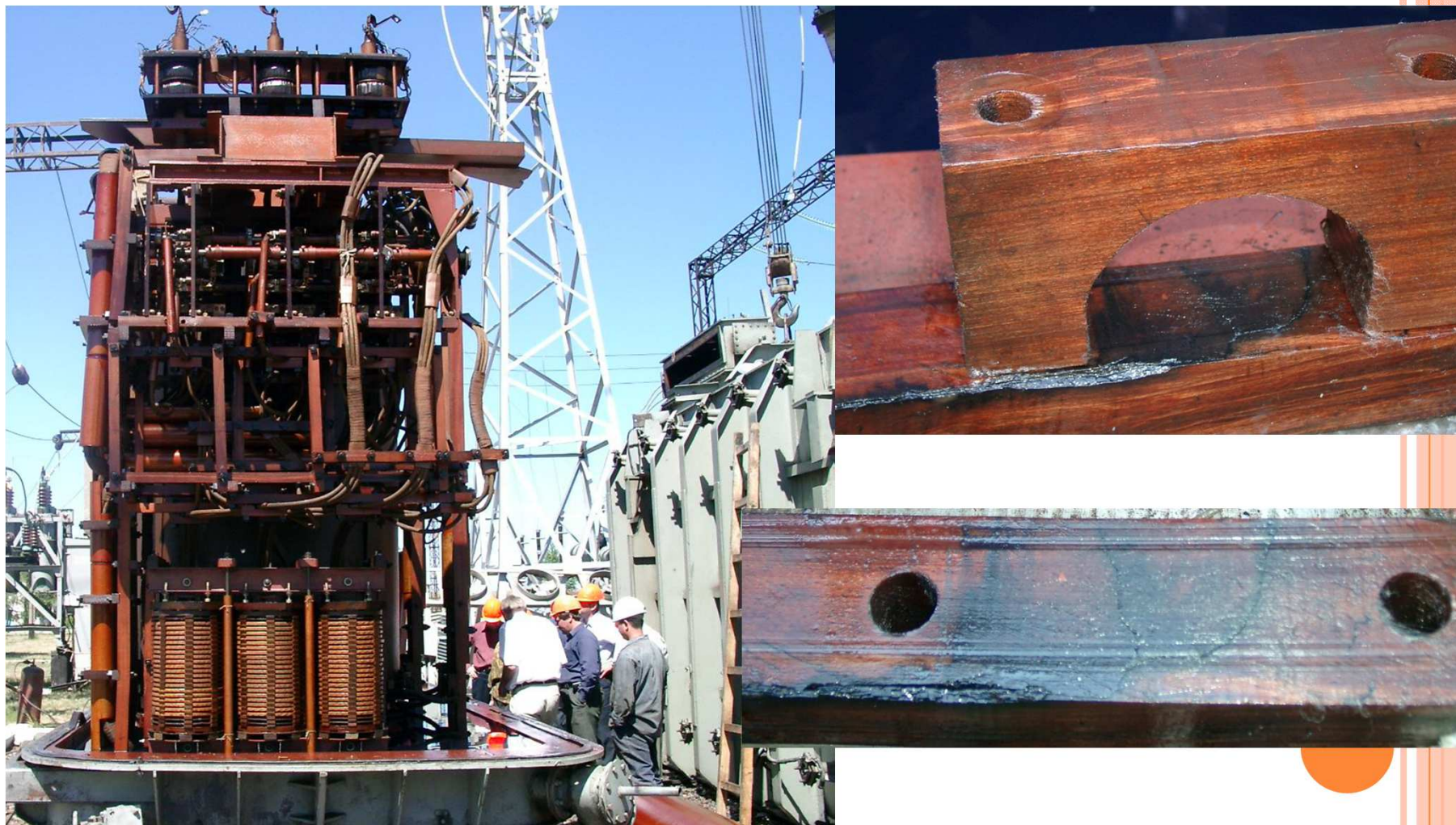
## КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ НА ВВОДАХ



# Витковое замыкание



# ПОЛЗУЩИЙ РАЗРЯД ПО ПЛАНКАМ МЕЖДУ ФАЗАМИ





## Последствия междуфазных замыканий



# НАРУШЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ Т И АТ

- Сверхтоки, проходящие через Т при повреждении связанных с ним элементов.
- Перегрузка.
- Выделение из масла горючих газов.
- Понижение уровня масла.
- Повышение температуры масла.



# НА 100 ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИХОДИТСЯ 3-5 ПОВРЕЖДЕНИЙ.

- Витковая изоляция – 60%.
- Отводы – 8%.
- Вводы -7%.
- Главная изоляция – 7%.
- Магнитопровод -2%
- ...



# ЗАЩИТА ОТ ВНУТРЕННИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ (МЕЖДУФАЗНЫХ КЗ)

- 2ступенчатая МТЗ ( $S < 4000$  кВА),  
1ст - токовая отсечка;  
2ст – МТЗ.
- Продольная дифференциальная защита ( $S > 4000$  кВА);
- Газовая защита (с масляной системой охлаждения при  $S > 1000$  кВА. )





# ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА

- Токсовая отсечка устанавливается на трансформаторах со стороны питания.
- ток срабатывания отстраивается от 3ф КЗ на шинах **НН**

$$I_{сз} \geq k_n I_{\max.НН}^{(3)}$$

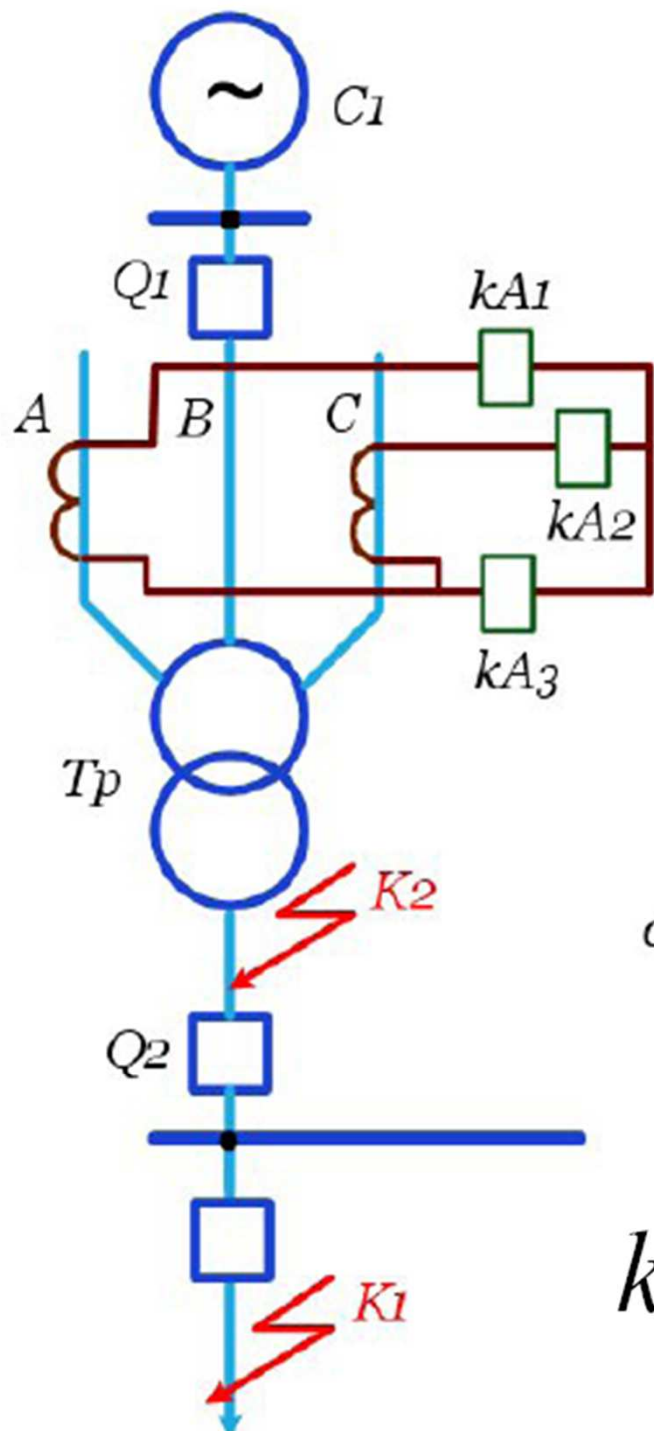
- З не должна срабатывать от броска тока намагничивания в момент включения Т под напряжение
- Из двух выбирается большее



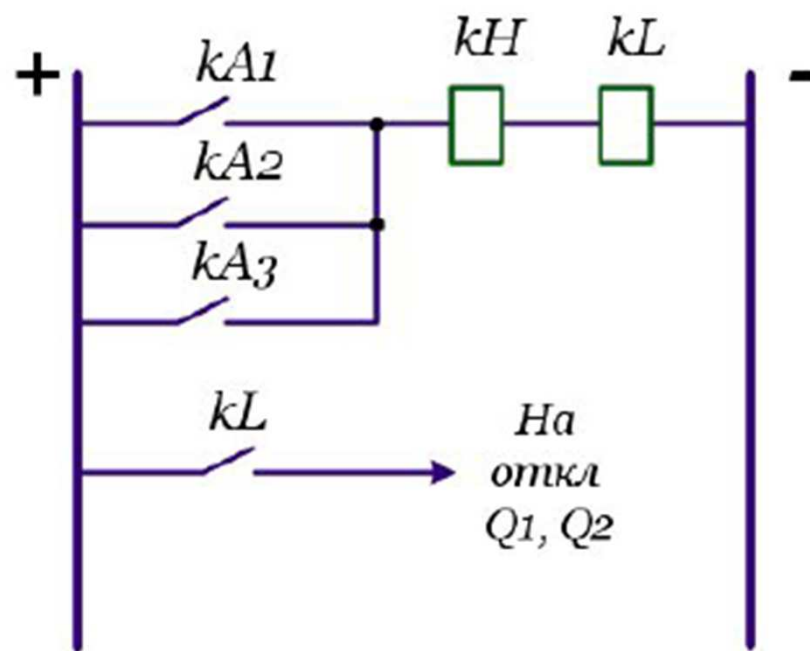
# ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА

- 2 ступень отстраивается от мах рабочего режима
- Ч проверяется по 2х-ф КЗ в месте установки З





a)

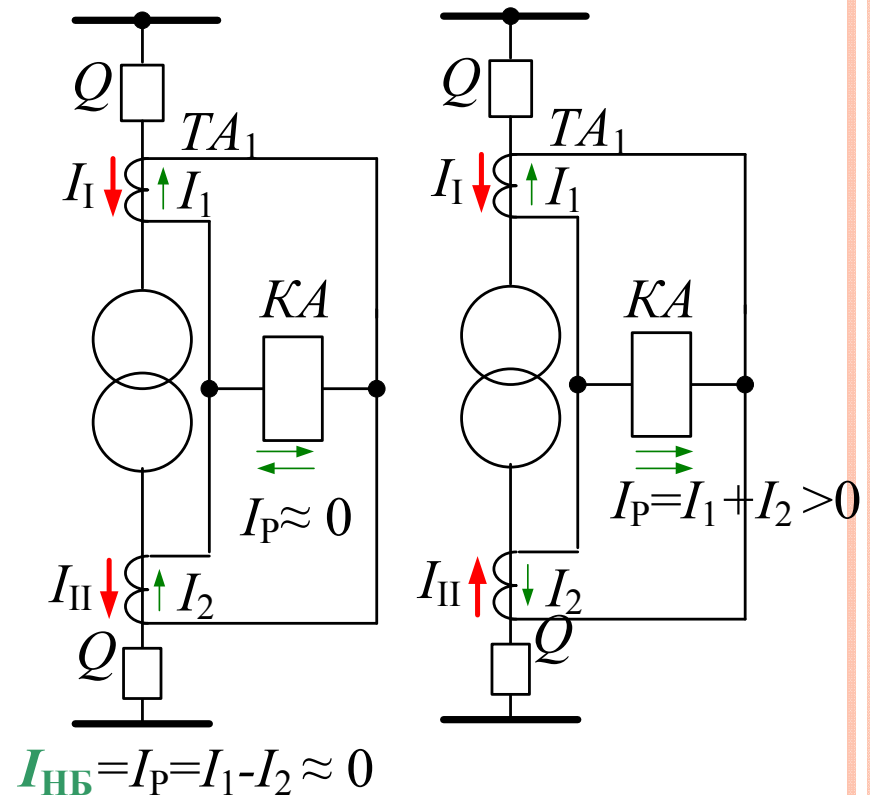


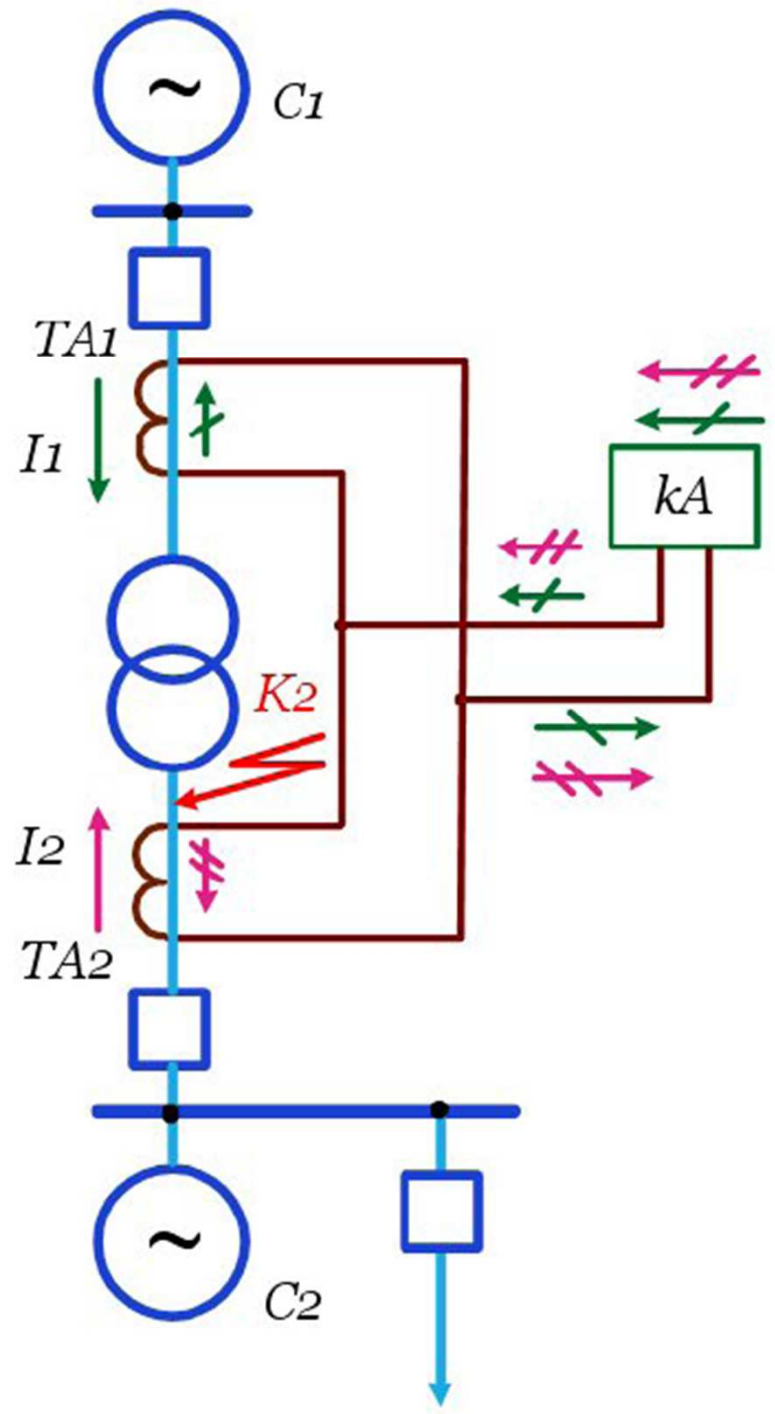
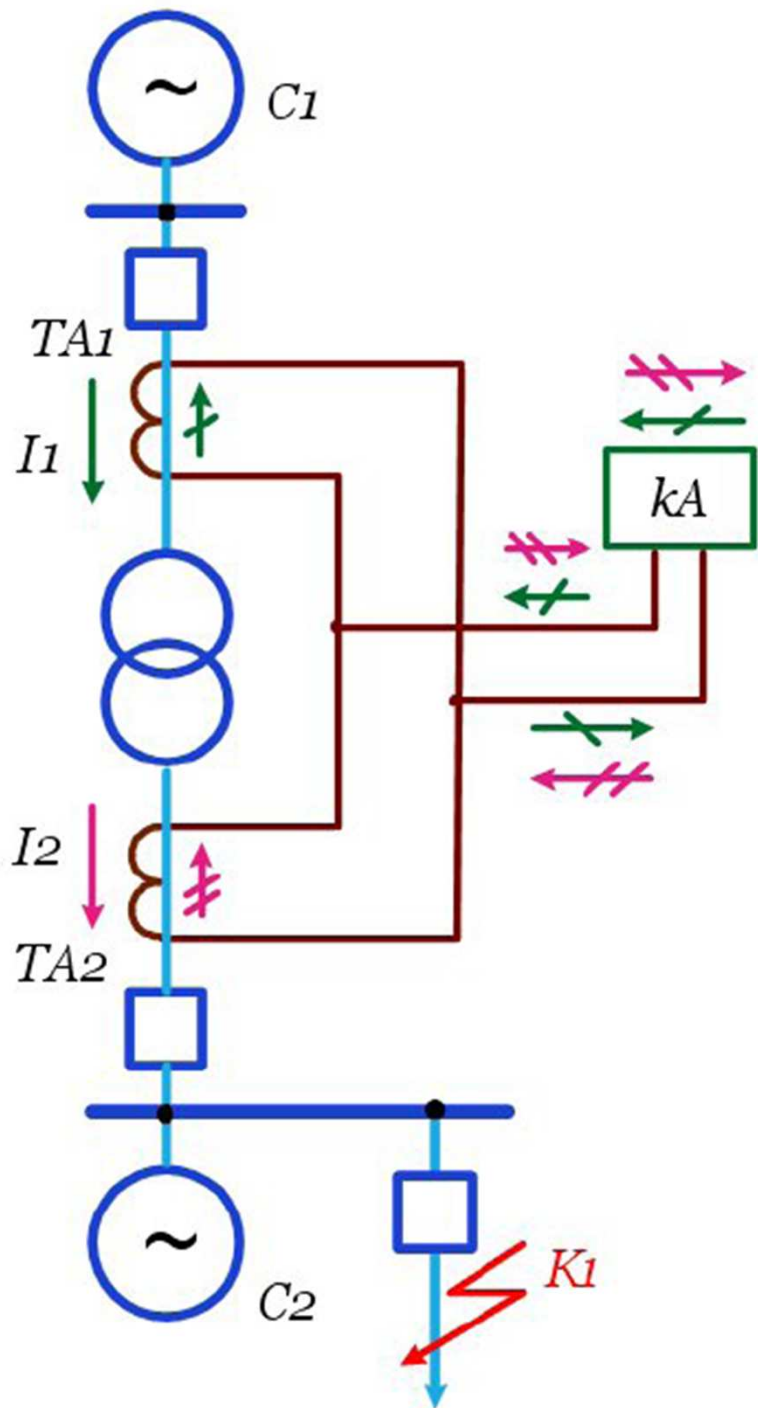
б)

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз. муш. К}_2}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} \geq 2$$

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА Т И АТ

- Принцип действия — измерение разности токов двух (трех) сторон объекта.
- Область применения: применяется в качестве **основной** защиты для Т мощностью 4 МВА и выше.





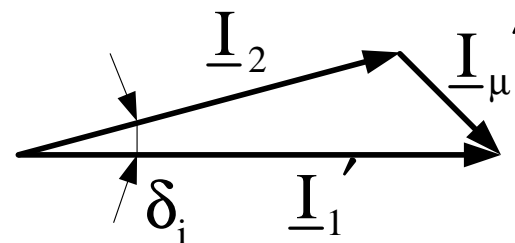
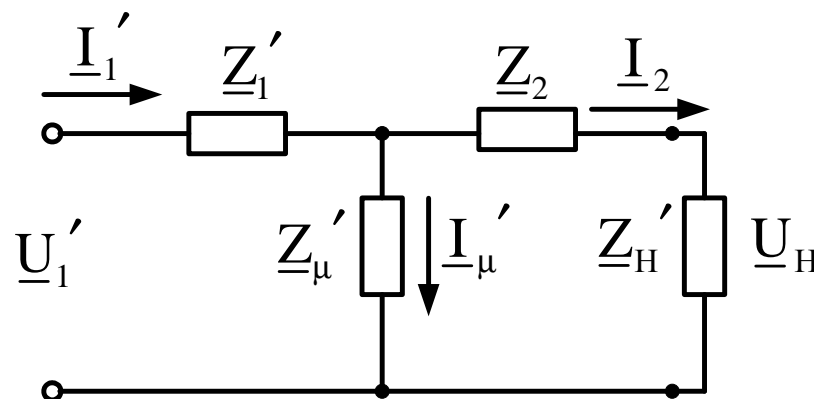
# ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОБУСЛОВЛЕННЫ:

- различием номинальных напряжений и токов сторон трансформатора,
- фазовым сдвигом между токами отдельных сторон трансформатора из-за различия схем соединения его обмоток,
- броском тока намагничивания при включении Т или при восстановлении напряжения после отключения близкого КЗ.
- небалансом в дифференциальной цепи при внешних однофазных КЗ.



# ФАКТОРЫ, УВЕЛИЧИВАЮЩИЕ ТОК НЕБАЛАНСА В НАГРУЗОЧНОМ РЕЖИМЕ И ПРИ ВНЕШНИХ КЗ

- Насыщение трансформаторов тока, что приводит к излишнему срабатыванию защиты.
- Погрешности ТА (конструктивные отличия ТА на сторонах ВН,СН, НН, различие характеристик намагничивания ТА на разных фазах и др.).



$$\underline{Z}_1' = \underline{Z}_1 w_2^2 / w_1^2$$

$$\underline{I}_1' = \underline{I}_1 w_1 / w_2$$

**Торможение** – загроубление уставки при увеличении сравниваемых токов.

# СХЕМЫ И ОБЛАСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРОВ

**Дифференциальные токовые защиты трансформаторов выполняются с использованием:**

1. дифференциальной токовой отсечки, РТ-40 (устаревшее),
2. дифференциальная токовая защита с промежуточными быстронасыщающимися трансформаторами тока, реле РНТ-565 (устаревшее),
3. защита с реле, имеющими торможение, ДЗТ-11(устаревшее),
4. защита с реле ДЗТ-21,
5. защита с полупроводниковыми реле (например РСТ-15, РЕТ-316),
6. Микропроцессорные защиты (шкафы защит ШЭ1110, ШЭ1112...).





ПРИ ВЫБОРЕ ТОКА СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ  
НЕОБХОДИМО УЧИТЫВАТЬ:

○ 1. токи небаланса



$$I_{сз} \geq k_n I_{ном}$$

$$I_{сз} \geq k_n (I'_{нб} + I''_{нб} + I'''_{нб})$$

где  $I'_{нб}$  - составляющая тока небаланса, вызываемая погрешностью трансформаторов тока;

$I''_{нб}$  - составляющая тока небаланса, вызываемая наличием устройства регулирования коэффициента трансформации силовых трансформаторов;

$I'''_{нб}$  - составляющая тока небаланса, вызываемая неточностью выравнивания вторичных токов в плечах защиты.

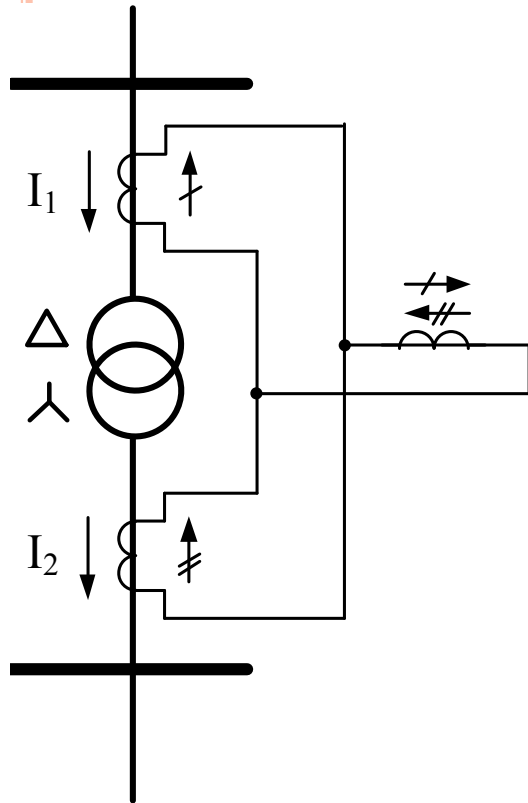
*Из-за дискретизации стандартных значений  $k$ -тов трансформации*



$$I'_{нб} = k_a k_{одн} f_i I_{\max}^{(3)}$$

$$I''_{нб} = \frac{\Delta U \%}{100} I_{вн. \max}^{(3)}$$

$\Delta U \%$  — половина диапазона рег-я РПН.



$$S := 16000 \cdot 10^3$$

$$U_k := 10$$

$$U_{BH} := 35 \cdot 10^3$$

$$U_{HH} := 10.5 \cdot 10^3$$

$$I_{HOMBH} := \frac{S}{U_{BH} \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_{HOMHH} := \frac{S}{U_{HH} \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_{HOMBH} = 263.932$$

$$I_{HOMHH} = 879.772$$

$$kCX_{BH} := \sqrt{3}$$

$$kCX_{HH} := 1$$

$$n_{BH} := \frac{500}{5}$$

$$n_{HH} := \frac{900}{5}$$

$$n_{BH} = 100$$

$$n_{HH} = 180$$

$$I_{HVTBH} := \frac{I_{HOMBH} \cdot kCX_{BH}}{n_{BH}}$$

$$I_{HVTHH} := \frac{I_{HOMHH} \cdot kCX_{HH}}{n_{HH}}$$

$$I_{HVTBH} = 4.571$$

$$I_{HVTHH} = 4.888$$



○2. Бросок тока намагничивания  
при включении Т или при  
восстановлении напряжения  
после отключения близкого КЗ



- 1. Практическая реализация первого способа состоит в том, что обмотка токового реле подключается к трансформаторам тока через специальный промежуточный трансформатор, называемый **быстронасыщающимся трансформатором**.
- За счет апериодической составляющей сердечник трансформатора насыщается и трансформации периодической составляющей в обмотку реле практически не происходит. Следовательно, на время существования броска тока намагничивания защита выводится из работы.
- В начальный момент возникновения короткого замыкания также возникает апериодическая составляющая, но время ее протекания составляет доли секунды и практически замедления срабатывания защиты не происходит;



- 2 способ - идентифицировать момент включения по **наличию второй гармоники**.

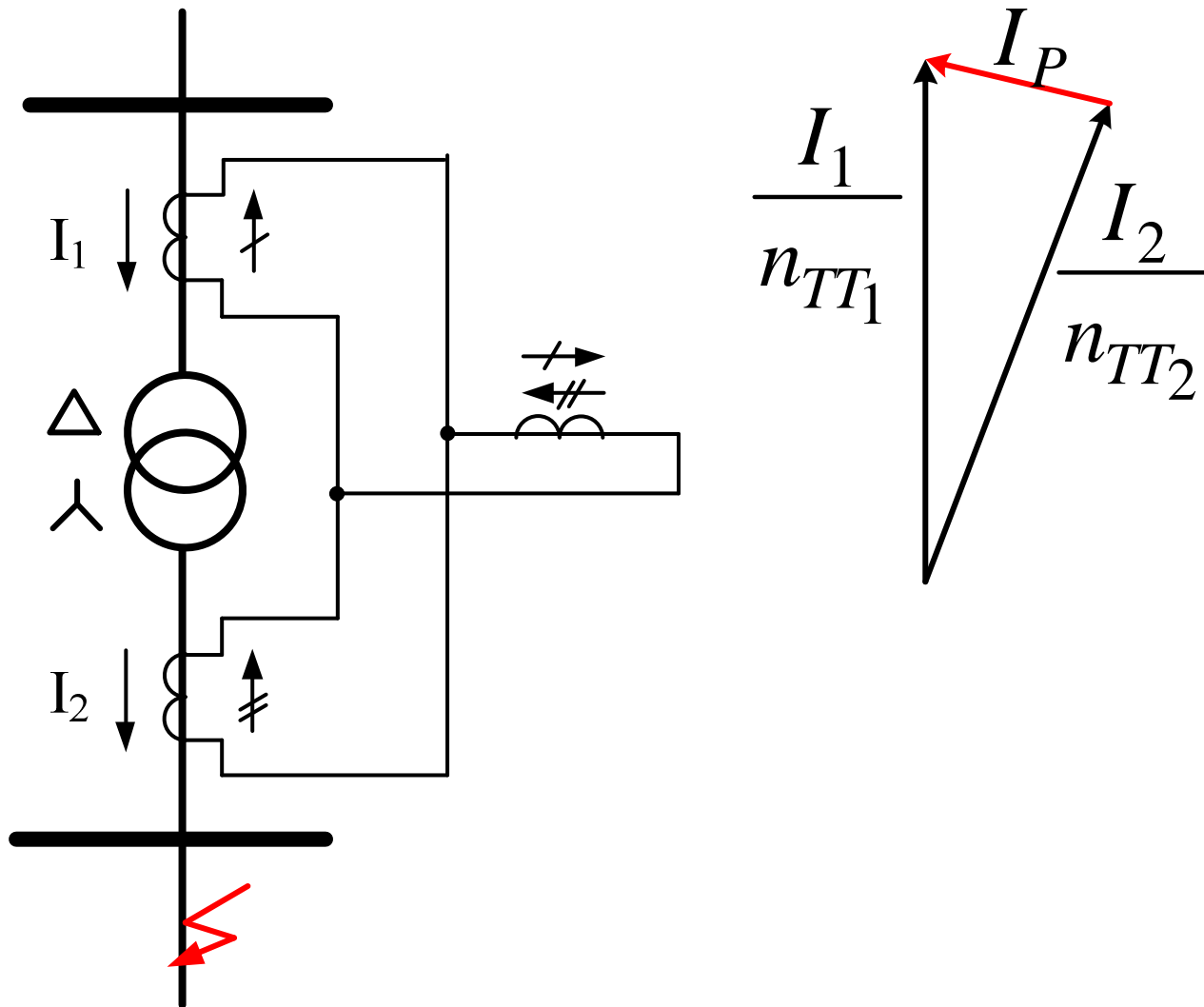
Использование данного признака предполагает введение дополнительного пускового элемента - реле отсечки, которое должно работать при больших кратностях первичного тока. При внутренних повреждениях, связанных с глубоким насыщением трансформаторов тока, во вторичном токе появляется вторая гармоника, что может привести к отказу защиты.



○3. Возможную неодинаковость  
схем соединения обмоток  
силового трансформатора.







Для устранения фазового сдвига ТТ на стороне  $\Delta$  силового тр-ра соединяют в «звезду», а на стороне звезды в  $\Delta$ . Т.е. выполняется обратный фазовый сдвиг вторичных I-ов

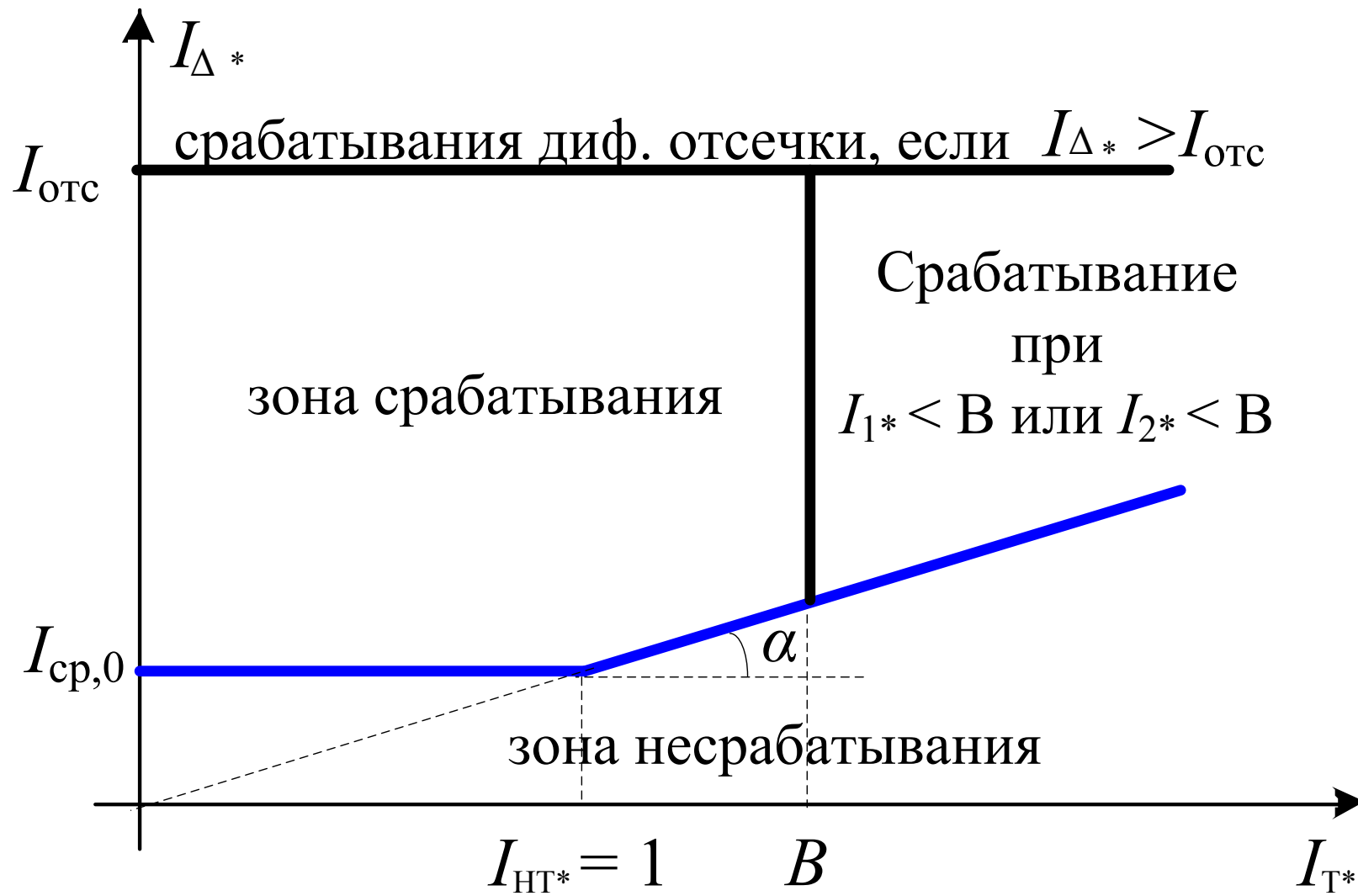
- Если элементная база защиты выполнена на микропроцессорной технике, то возникающую погрешность за счёт фазового сдвига компенсируется программным путём

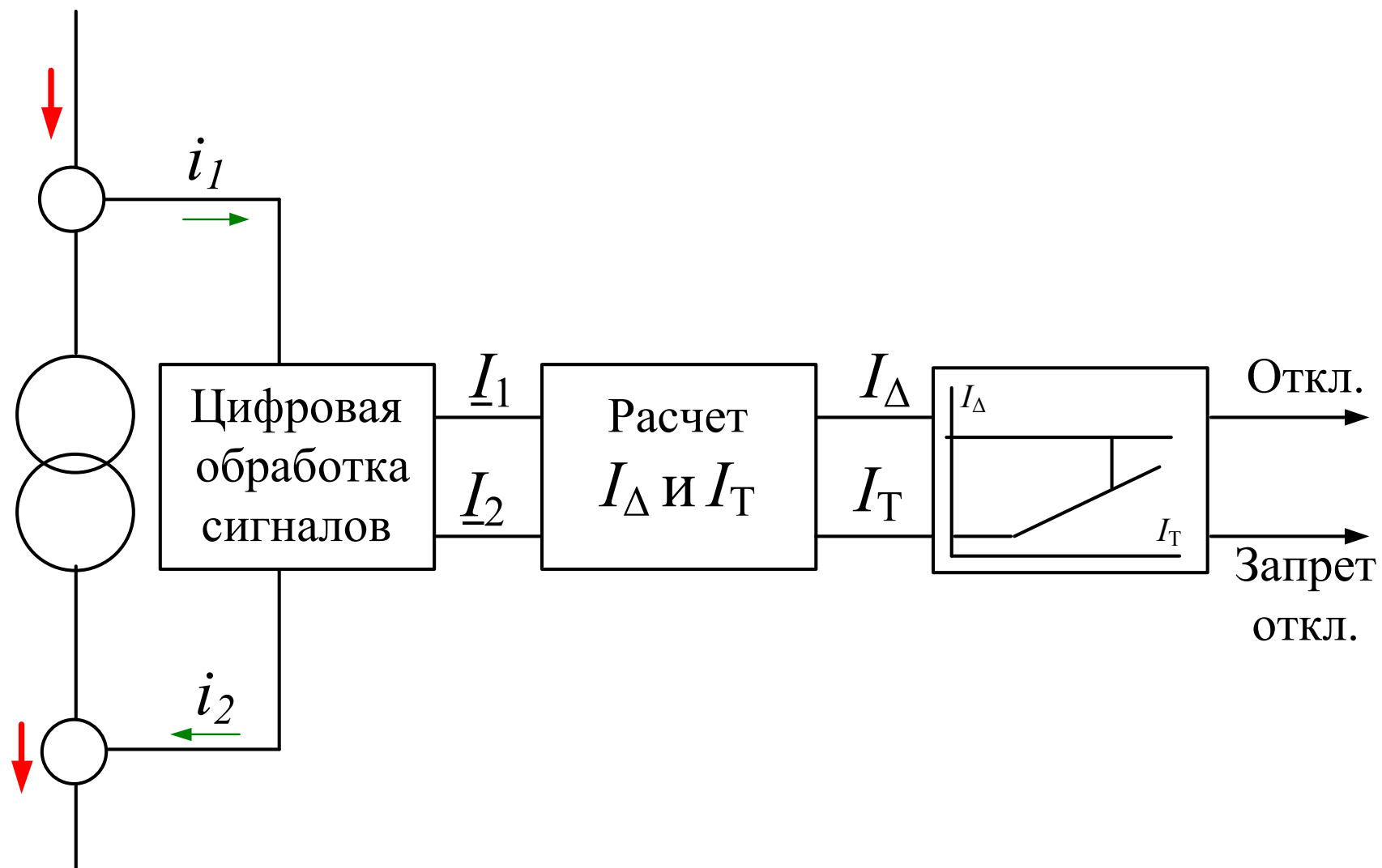


### 3.2.7 Дифференциальная токовая защита трансформаторов блока комплекса ШЭ 1111

Защита блочного трансформатора, входящая в комплекс *ШЭ 1111*, выполняется трехрелейной и включается на токи трех фаз. Защита подключается к трансформаторам тока, встроенным во вводы обмотки высшего напряжения блочного трансформатора и трансформатора собственных нужд и к трансформаторам тока в цепи генератора.







## Рекомендуемый порядок расчета:

1. Рассчитываются первичные токи для сторон защищаемого трансформатора при нулевом положении РПН, выбираются трансформаторы тока. Вторичные обмотки трансформаторов тока со всех сторон соединяются в схему звезды с нулевым проводом. Возможная неодинаковость модулей и фаз токов в плечах защиты из-за разной группы соединения обмоток защищаемого трансформатора устраняется в самом реле.

2. Определяются коэффициенты амплитудно-фазовой коррекции токов в плечах дифзащиты  $\dot{K}_1, \dot{K}_2, \dot{K}_3$  как отношение номинального тока защищаемого силового трансформатора  $I_{TP}$  для каждой из сторон к первичному номинальному току трансформатора тока .

Диапазон изменения  $\dot{K}_1, \dot{K}_2, \dot{K}_3$  от 0,1 до 1,0 с шагом 0,01.

3. Определяется начальный ток срабатывания реле  $I_{CP.P0}$ , который определяет чувствительность защиты при малых тормозных токах и выбирается с учетом:

- погрешностей трансформаторов тока;
- тока холостого хода трансформаторов напряжения при повышенном напряжении системы;
- изменения напряжения от *РПН*.

Типичное значение уставки принимается  $0.3$ .

4. Определяется точка излома характеристики срабатывания.

Типичное значение уставки  $B = 1,5$ . При таком значении обеспечивается достаточная чувствительность к токам короткого замыкания в зоне рабочих токов.

5. Рассчитывается значение коэффициента торможения  $K_T$ , определяющим недействие защиты при внешних коротких замыканиях.

$$K_T > k_{отс} I_{НБ} / I_T,$$

где

$$k_{отс} = 1,3$$

- коэффициент отстройки;

$$I_{НБ} = k_{АПЕР} \times f_i \times k_{одн} \times I_{макс}$$

- расчетный ток небаланса при внешнем коротком замыкании;

$$k_{АПЕР} = 2$$

- коэффициент, учитывающий наличие апериодической составляющей;

$$f_i = 0,1$$

- допустимая погрешность трансформаторов тока в о.е.;

$$k_{одн} = 0,5$$

- коэффициент однотипности трансформаторов тока:





$I_{\text{МАКС}}$

- максимальное значение тока внешнего короткого замыкания;

$I_T$

- ток торможения;

$I_T = \sqrt{I_1 \times I_{\Sigma} \times \cos \alpha}$  - сквозное короткое замыкание;

$I_T = 0$  - внутреннее короткое замыкание;

$\dot{I}_1$

- ток первой обмотки трансформатора;

$\dot{I}_{\Sigma}$

- для двух групп трансформаторов тока ток второй обмотки трансформатора;

- для трех групп трансформаторов тока геометрическая сумма токов второй и третьей обмоток трансформатора.

Диапазон уставок  $K_T$  от 0,3 до 0,7.

Типичное значение уставки – 0,5. Более высокие значения  $K_T$  принимаются в случае резко различных условий работы трансформаторов тока при внешних коротких замыканиях.



6. Рассчитывается дифференциальный ток срабатывания отсечки.

Дифференциальная токовая отсечка предназначена для надежного срабатывания защиты при внутренних коротких замыканиях в случае больших токов, когда из-за насыщения трансформаторов тока их полная погрешность может возрасти до 50%.

Диапазон уставок отсечки от  $6 \times I_{НОМ}$  до  $12 \times I_{НОМ}$

7. Производится отстройка от броска тока намагничивания.

Бросок тока намагничивания фиксируется за счет появления второй гармоники, величина которой должна быть не менее 10% от значения основной гармоники. При обнаружении броска тока намагничивания начальный ток срабатывания принимает значение  $I_{СР ВКЛ}$ . Рекомендуемая уставка

$$I_{СР ВКЛ} = 0,8I_{НОМ}.$$

8. Чувствительность защиты можно не проверять.

3. Параметры характеристики срабатывания цифровой дифференциальной защиты (рис. 2) трансформатора принимают согласно рекомендациям разработчика. Все величины определяются в относительных единицах от базисного тока  $T$  с высшей стороны (номинальный ток трансформатора).

- $I_{ср,0}^* = 1,1I_{нб}^* \approx 0,3$  – начальный ток срабатывания на первом горизонтальном участке характеристики. Определяется по условию отстройки от тока небаланса  $I_{нб}$ , можно изменять в диапазоне от 0,2 до 1,0. Причины возникновения тока небаланса: погрешности измерительных органов, разнотипные трансформаторы тока на сторонах ВН и НН, наличие РПН и т.д.
- $I_{нт}^* = 1$  – уставку тока начала торможения (наклонного участка характеристики) примем равной единице.
- $B = 2$  – ток торможения блокировки, определяет переключение характеристики срабатывания ДТЗ с наклонного участка на вертикальный. Определяется исходя из отстройки от максимально возможного сквозного тока. Если  $I_1 \geq B$  и  $I_2 \geq B$  — ДТЗ блокируется, так как это означает, что имеет место внешнее замыкание, при котором насыщаются трансформаторы тока, из-за чего дифференциальный ток через несколько миллисекунд после КЗ увеличивается, и точка попадает в зону срабатывания. Если  $I_1 < B$  или  $I_2 < B$  — ДТЗ срабатывает.  
Уставка  $B$  задаётся в диапазоне от 1,5 до 3,0 от  $I_{ном}$ .

- $I_{отс} = 7$  – уставка тока дифференциальной отсечки предназначена для исключения замедления работы ДТЗ (около  $0,03-0,04$  с) при больших токах внутреннего повреждения. Отстраивается от броска тока намагничивания и от тока небаланса при внешнем КЗ.

Уставка задаётся в диапазоне от 6,5 до 12,0 от  $I_{ном}$ .

- $K = \text{tg}(\alpha)$  – коэффициент торможения, равный отношению приращения дифференциального тока к приращению тормозного тока. Значение уставки рекомендуется рассчитывать по выражению

$$K = K_{отс} \frac{I_{\Delta^*} - I_{ср,0}}{I_{Т^*} - I_{НТ^*}},$$

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

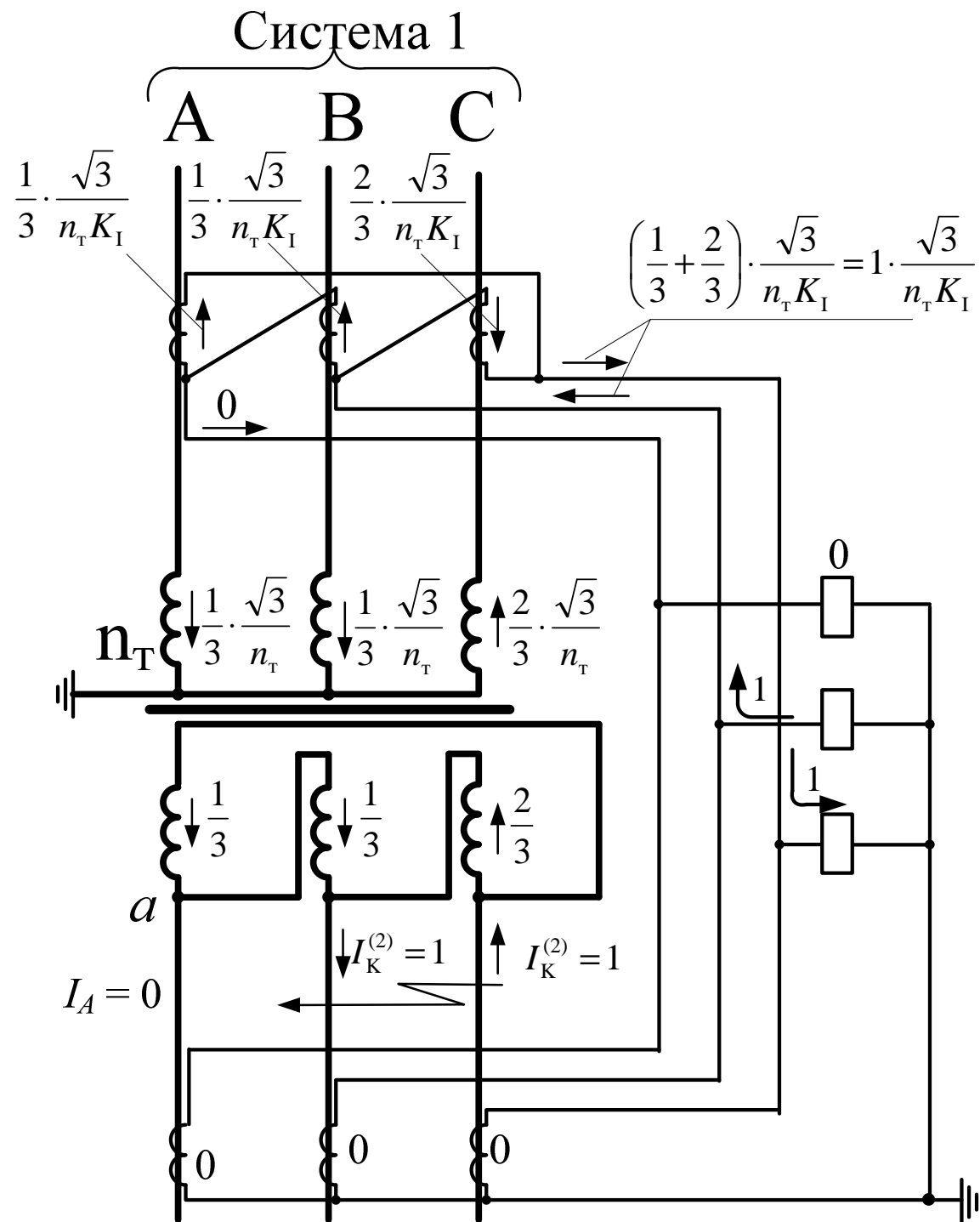
$I_{\Delta^*} = 0,4 I_{СКВ^*}$  – расчётный дифференциальный ток, вызванный протеканием по защищаемому Т сквозного тока  $I_{СКВ^*}$

$I_{СКВ^*} = \frac{I_{КЗ}^{(3)}}{I_{номВН}}$  – максимальное значение тока внешнего металлического КЗ, при-

ведённое к базисному току стороны внешнего КЗ. В данной работе примем, что это сторона обмотки ВН.  $I_{КЗ}^{(3)}$  – задан в таблице 1.

$I_{Т^*} = \sqrt{I_{СКВ^*} (I_{СКВ^*} - I_{\Delta^*}) \cos(15^\circ)}$  – расчётный тормозной ток.

Уставка K задается в относительных единицах в диапазоне от 0,2 до 0,7 от  $I_{баз}$  с шагом 0,1.

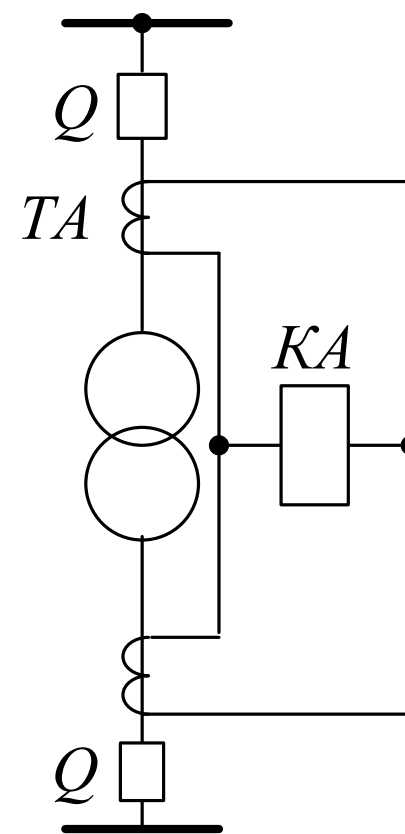


# 1. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА

- Выполняется посредством обычных токовых реле, включаемых непосредственно в дифференциальную цепь схемы без промежуточных устройств.

$$t_{CP} = (0,04 \div 0,06)с \quad \text{Собственное время срабатывания реле.}$$

$$I_{CЗ} = (3 \div 4,5)I_{T \text{ ном}}$$

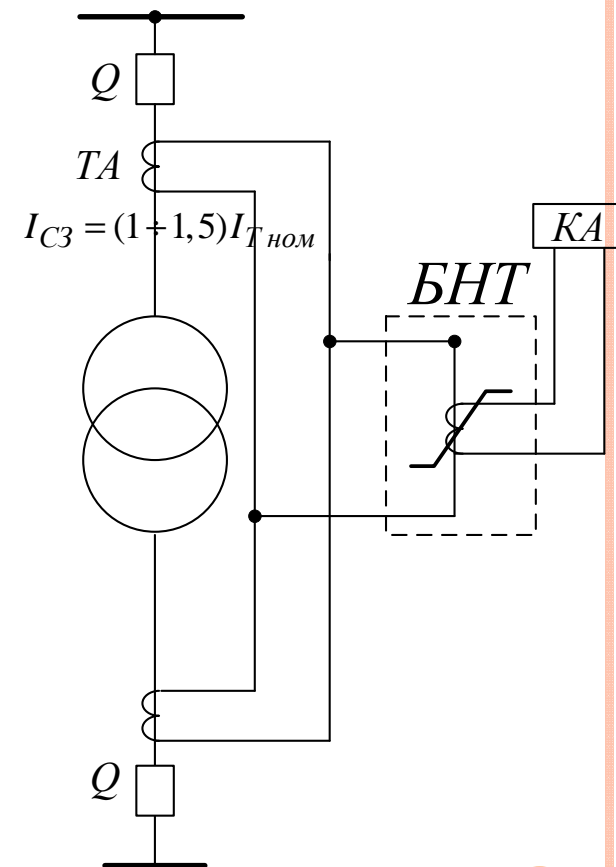


## 2. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ БЫСТРОНАСЫЩАЮЩИМИСЯ ТРАНСФОРМАТОРАМИ ТОКА, РЕЛЕ РНТ-565

### Торможение – загрузка защиты.

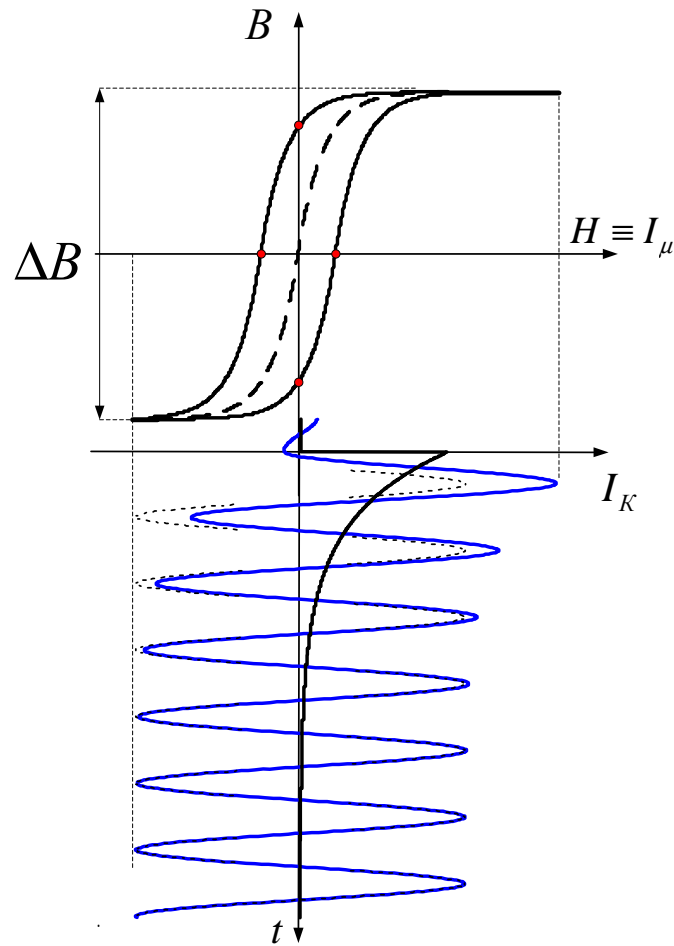
#### Принцип торможения реле РНТ-565

- В токе появляется апериодическая составляющая.
- Магнитопровод БНТ сильно насыщается. Сопротивление ветви намагничивания резко падает. Весь первичный ток замыкается через эту ветвь. Чувствительность защиты уменьшается.
- Нормальная работа БНТ восстанавливается, как только исчезает апериодическая составляющая.
- При синусоидальном токе БНТ не оказывает влияния на работу реле.

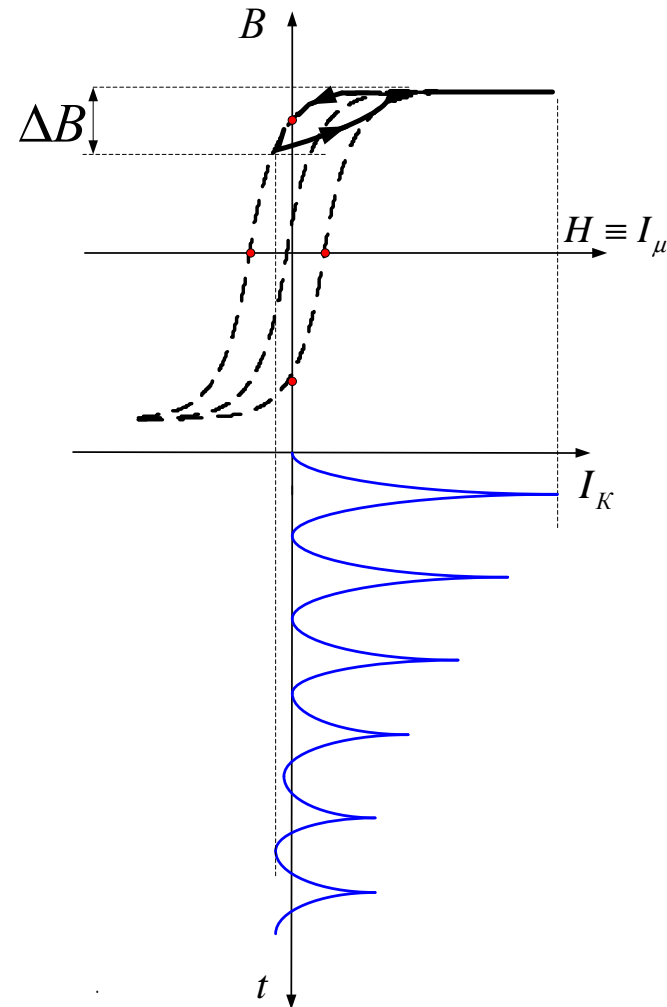




# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ БЫСТРОНАСЫЩАЮЩИХСЯ ТА



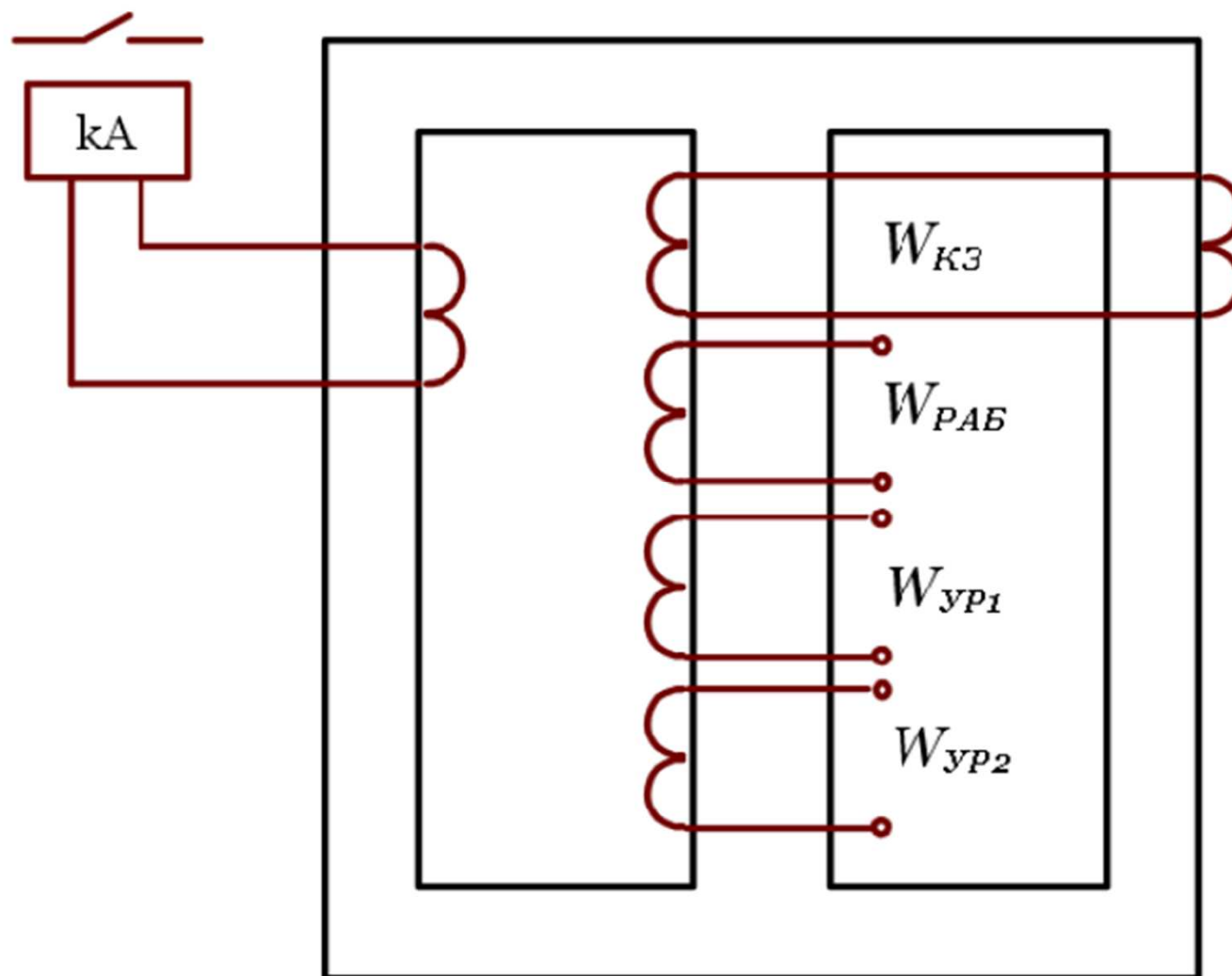
Процесс перемагничивания БНТ при КЗ в защищаемой зоне



Процесс перемагничивания БНТ При включении защищаемого трансформатора под напряжение



# ПРИНЦИП ВЫПОЛНЕНИЯ РЕЛЕ РНТ



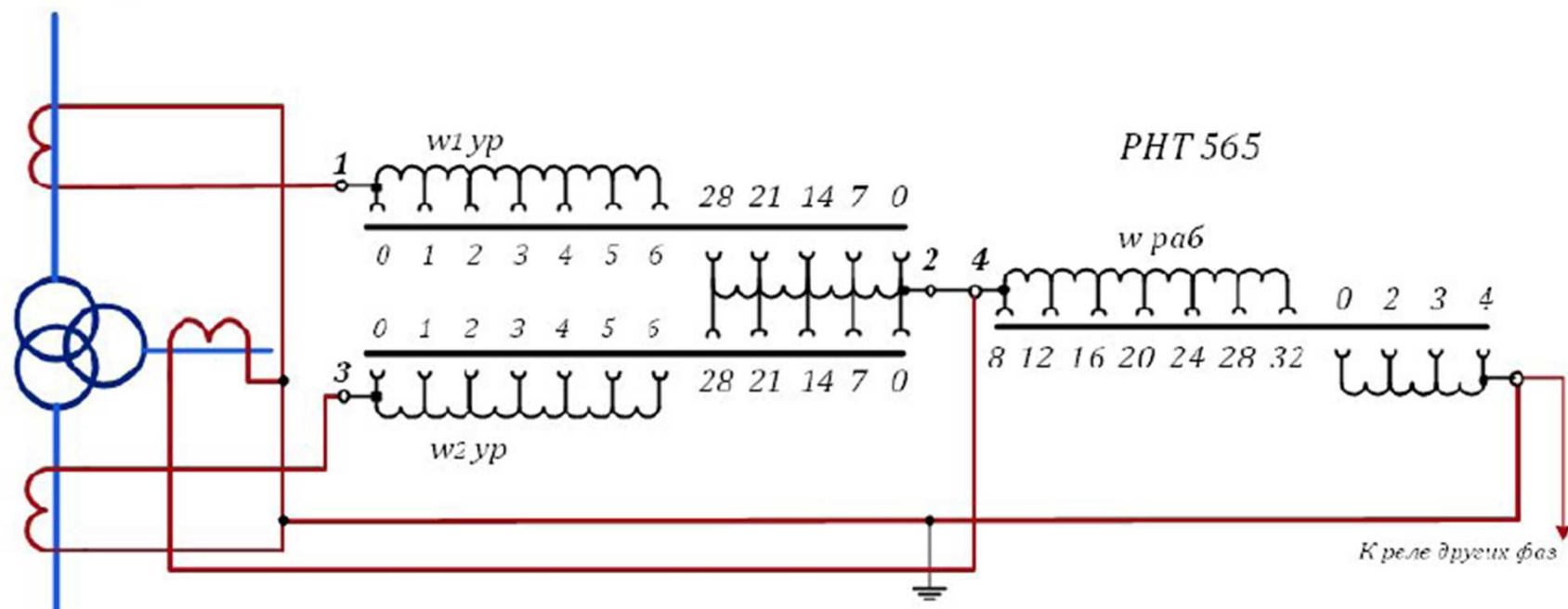
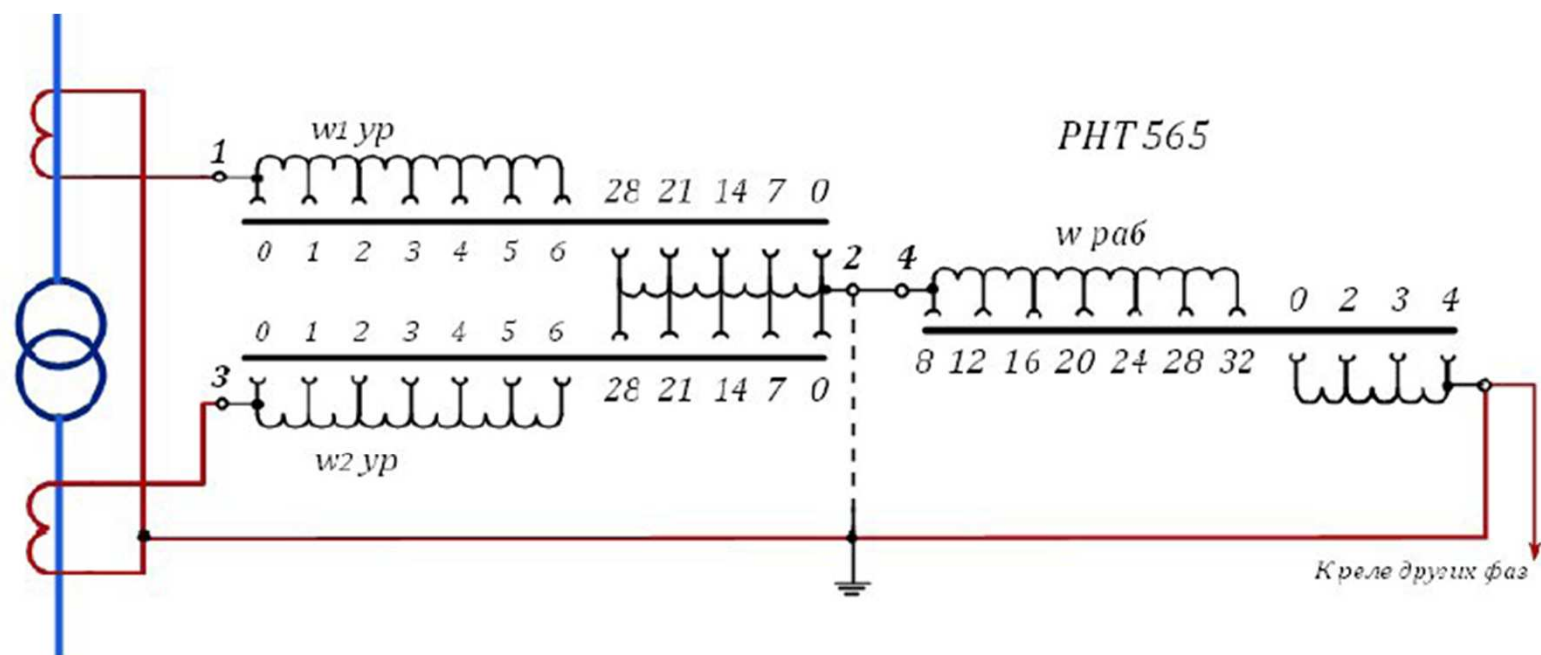
- Принцип работы ДЗ с таким ИО предусматривает подключение реле тока к плечам защиты через специальный промежуточный Тр, называемый быстронасыщающимся ТА.
- Принцип включения реле тока через этот Тр обеспечивает отстройку от броска тока намагничивания
- Отстройка обеспечивается за счёт того, что постоянная составляющая, входящая в состав броска тока **насыщает стальной сердечник** и трансформация переменного тока резко ухудшается, т.е. на время броска тока действие защиты блокируется.
- ТА подключены через уравнивательные обмотки
- Для 3х обмоточных Тр используется третья обмотка – **рабочая**
- Каждая обмотка имеет ответвления.
- В результате выбора числа витков обмоток удаётся уменьшить влияние неравенства вторичных токов
- Защита отличается невысокой чувствительностью и на вновь устанавливаемом оборудовании реализуется в микропроцессорном исполнении

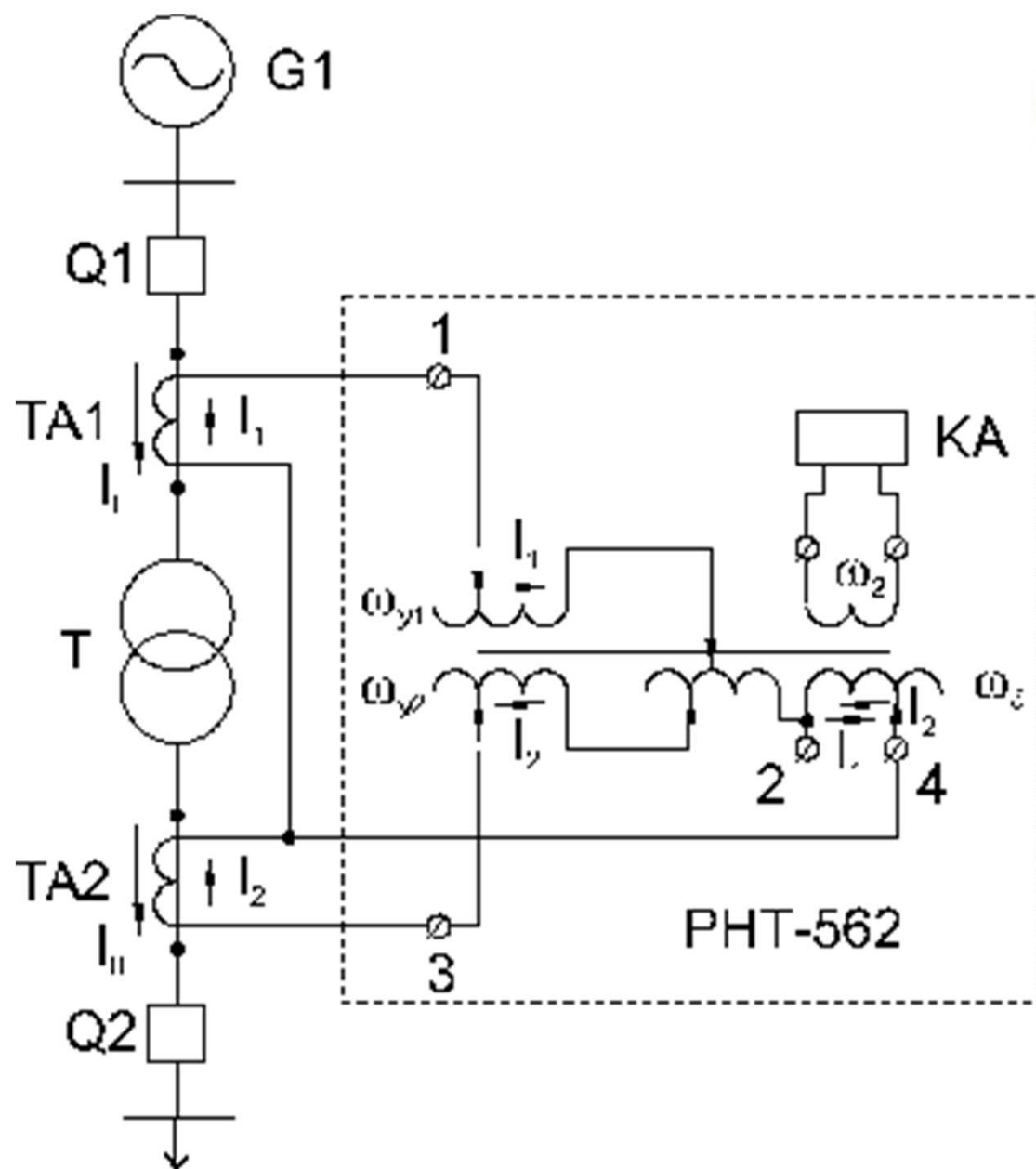


- Обмотки  $W_p$  и  $W_{ур}$  образуют насыщающийся трансформатор
- Первая из них включается по дифференциальной схеме, а вторая питает токовое реле.
- Уравнительные обмотки включаются в плечи защит и служат для выравнивания вторичных токов
- Число её витков регулируется с помощью отпаяк и подбирается так, чтобы при внешнем КЗ ток в реле, а следовательно, и в уравнительной обмотке отсутствовал. Для обеспечения такого условия сумма намагничивающих сил во всех трёх обмотках д.б. равна нулю.

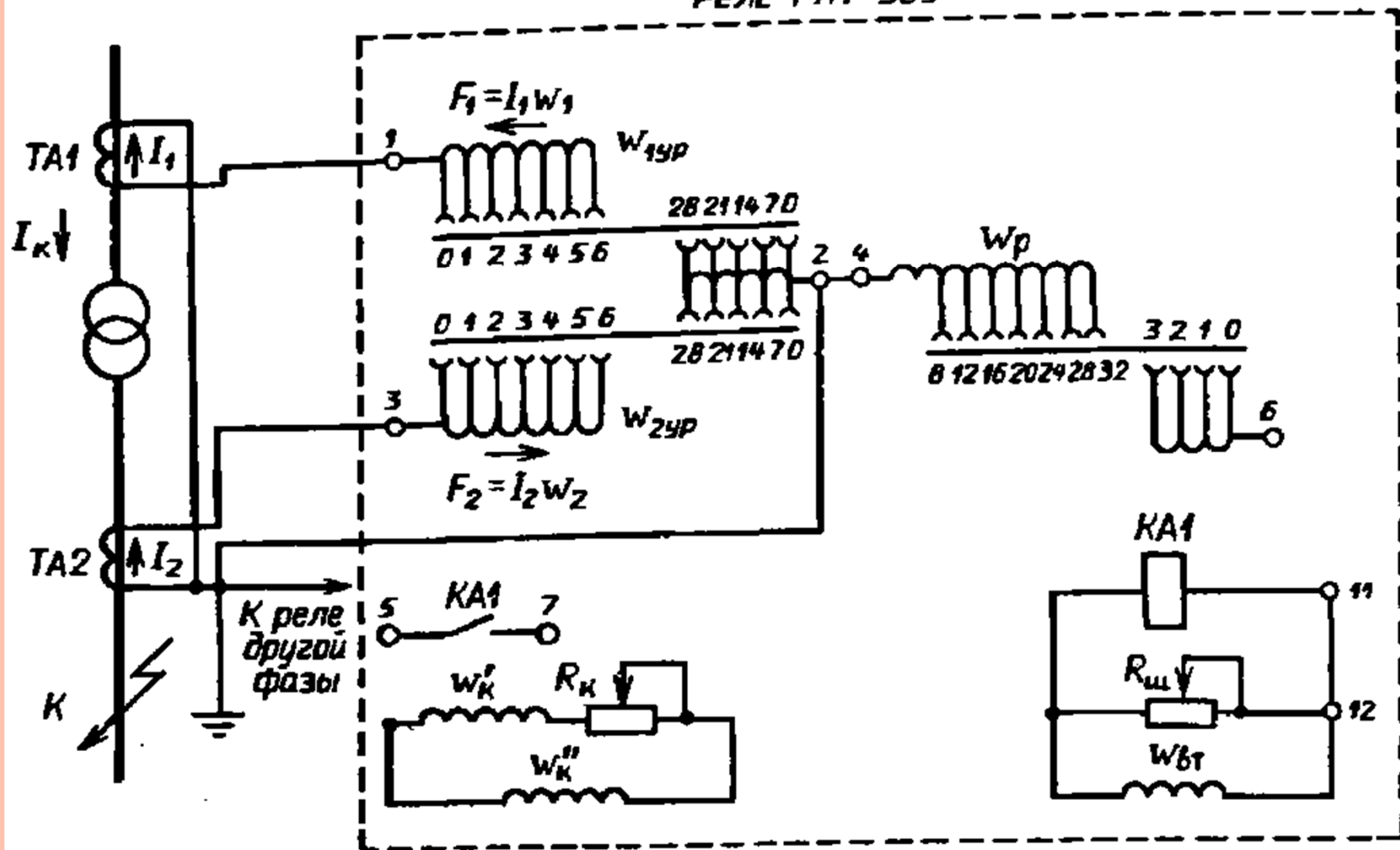
$$I_{1в} w_{ур1} - I_{2в} w_{ур2} + (I_{1в} - I_{2в}) w_{д1} = 0$$

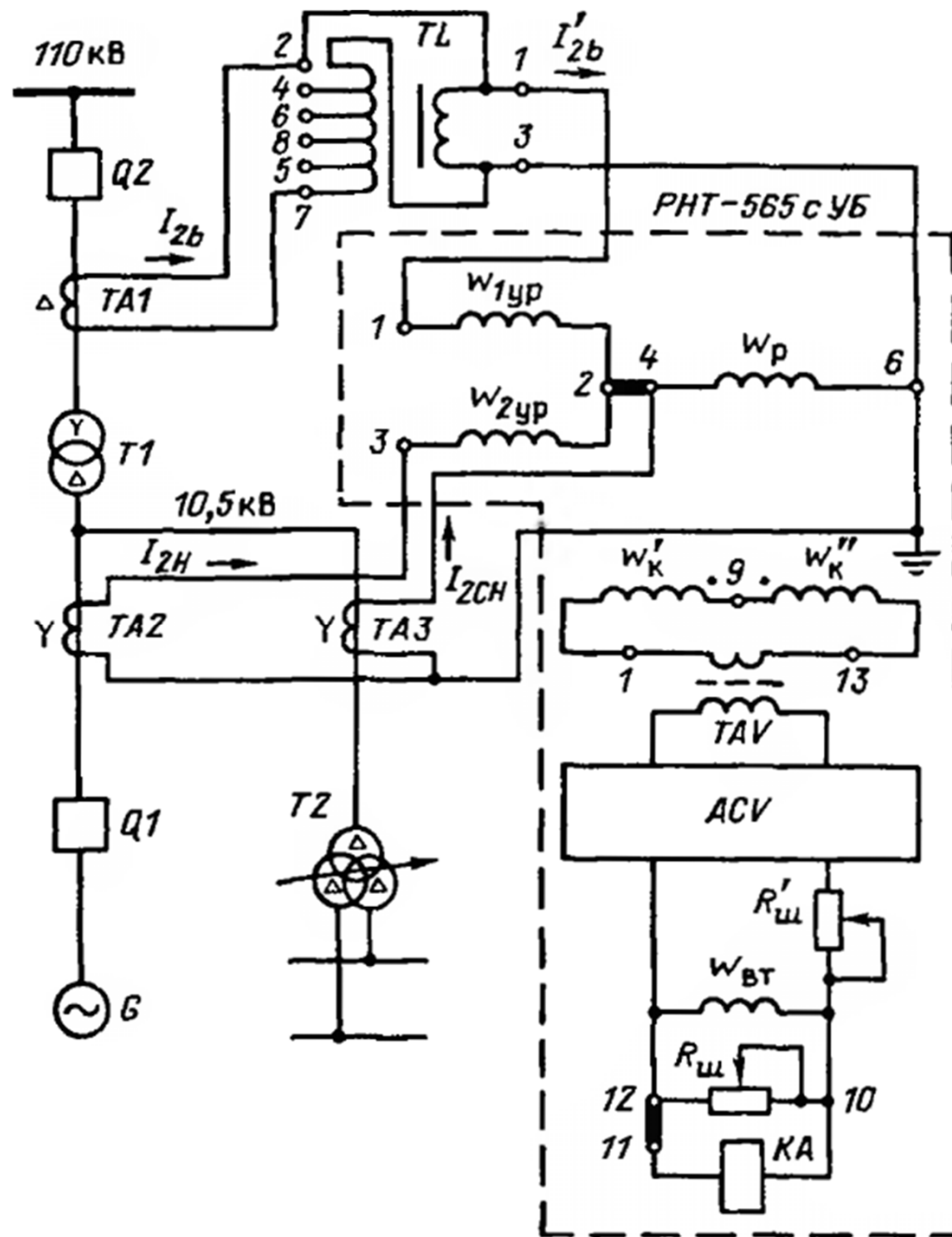






### Реле РНТ-565



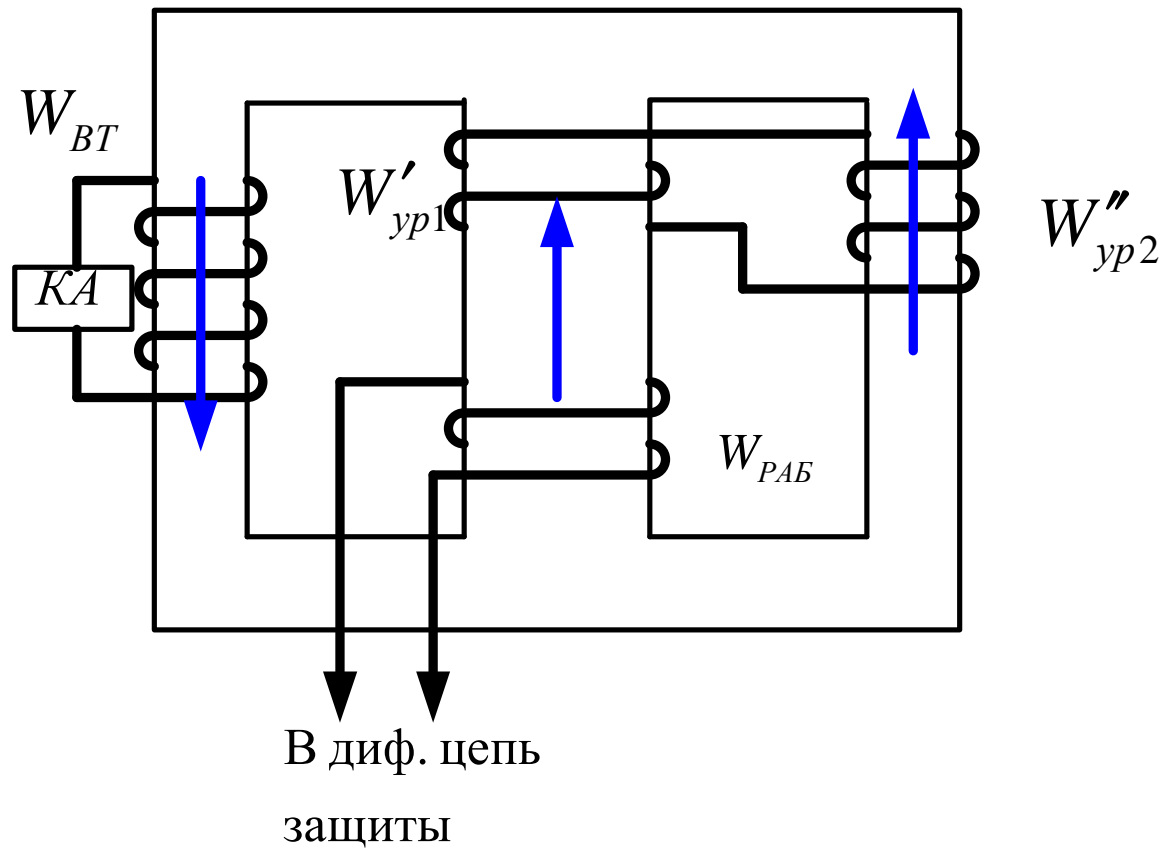




- Короткозамкнутая обмотка ограничивает периодический ток , возникающий во вторичной обмотке РНТ, но не изменяет действие апериодической составляющей



## Принцип выполнения реле РНТ

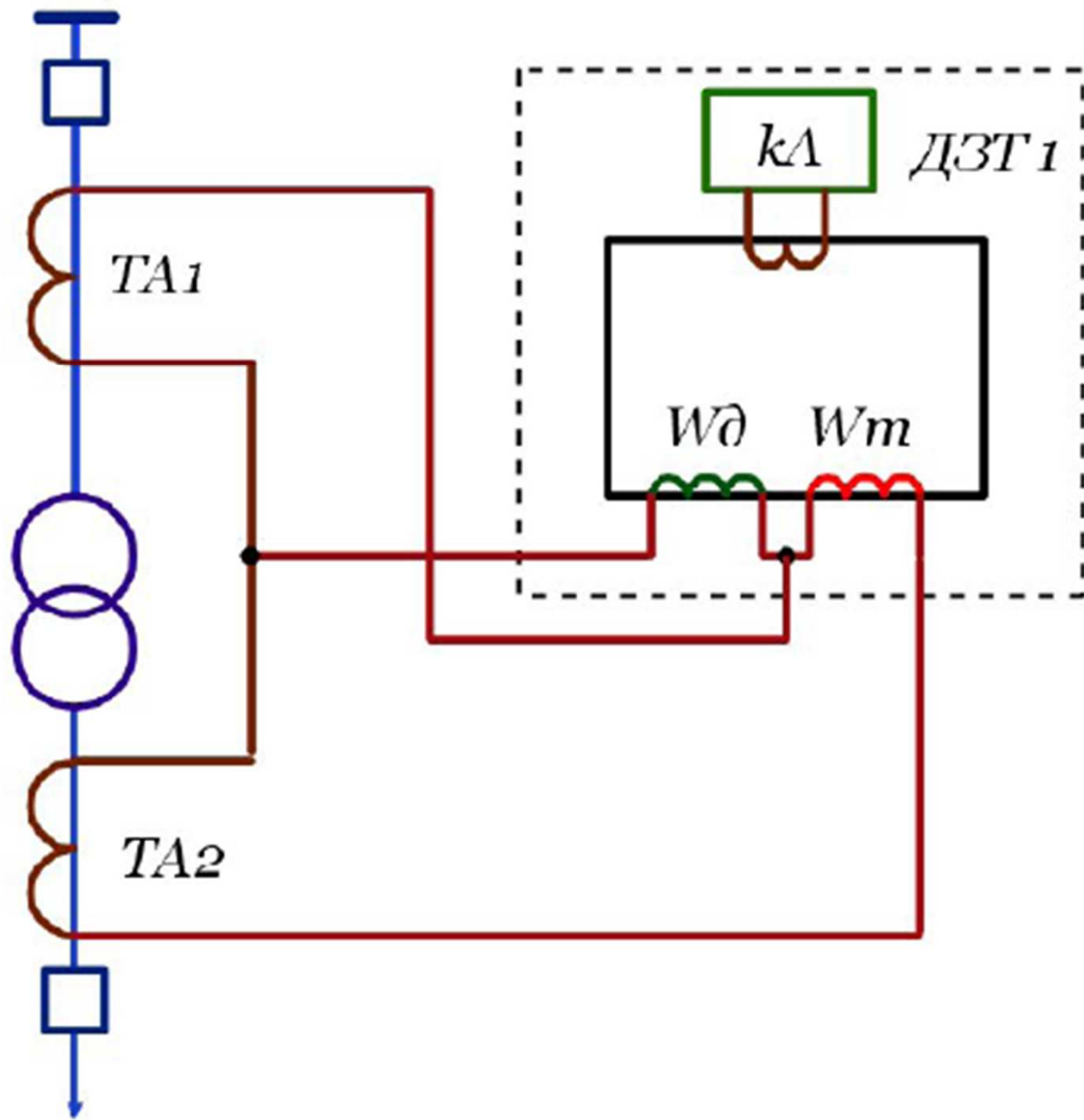


$$E_{CP} = W_{BT} f S \Delta B$$



- Для повышения чувствительности защиты применяют принцип **торможения**



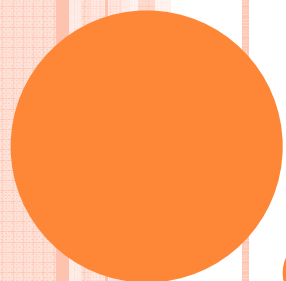


Принцип действия защиты с торможением



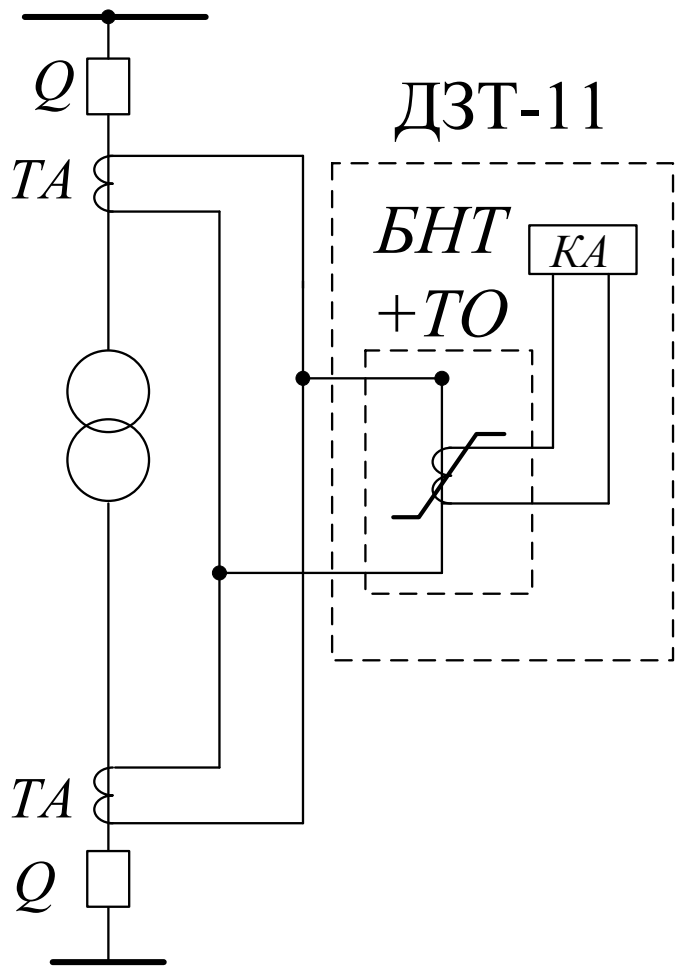
- При к2 в реле протекает ток только  $I_1$
- Наличие тока  $I_2$  – признак внешнего КЗ
- При внут. КЗ ток  $I_2$  отсутствует, в ИО протекает ток, равный току  $I_1$ , т.е. происходит автоматическая отстройка от токов небаланса, тем самым увеличивается чувствительность защиты.





## ЛЕКЦИЯ №

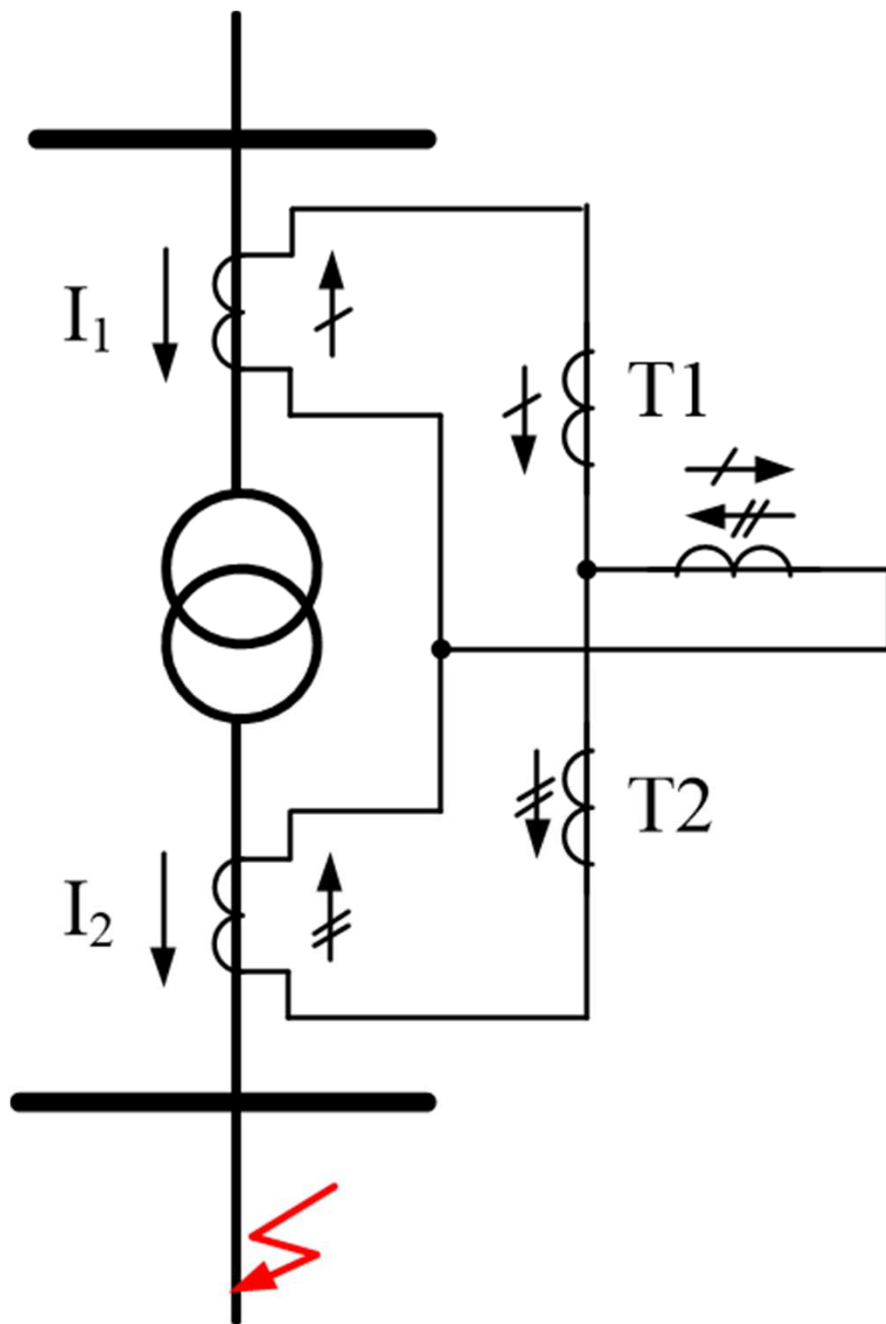
### 3. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА С РЕЛЕ, ИМЕЮЩИМИ ТОРМОЖЕНИЕ ДЗТ-11



В тормозных обмотках создается дополнительный поток, который насыщает сталь сердечника и загроубляет защиту.

$$I_{CЗ} = (1 \div 1,5) I_{Tном}$$



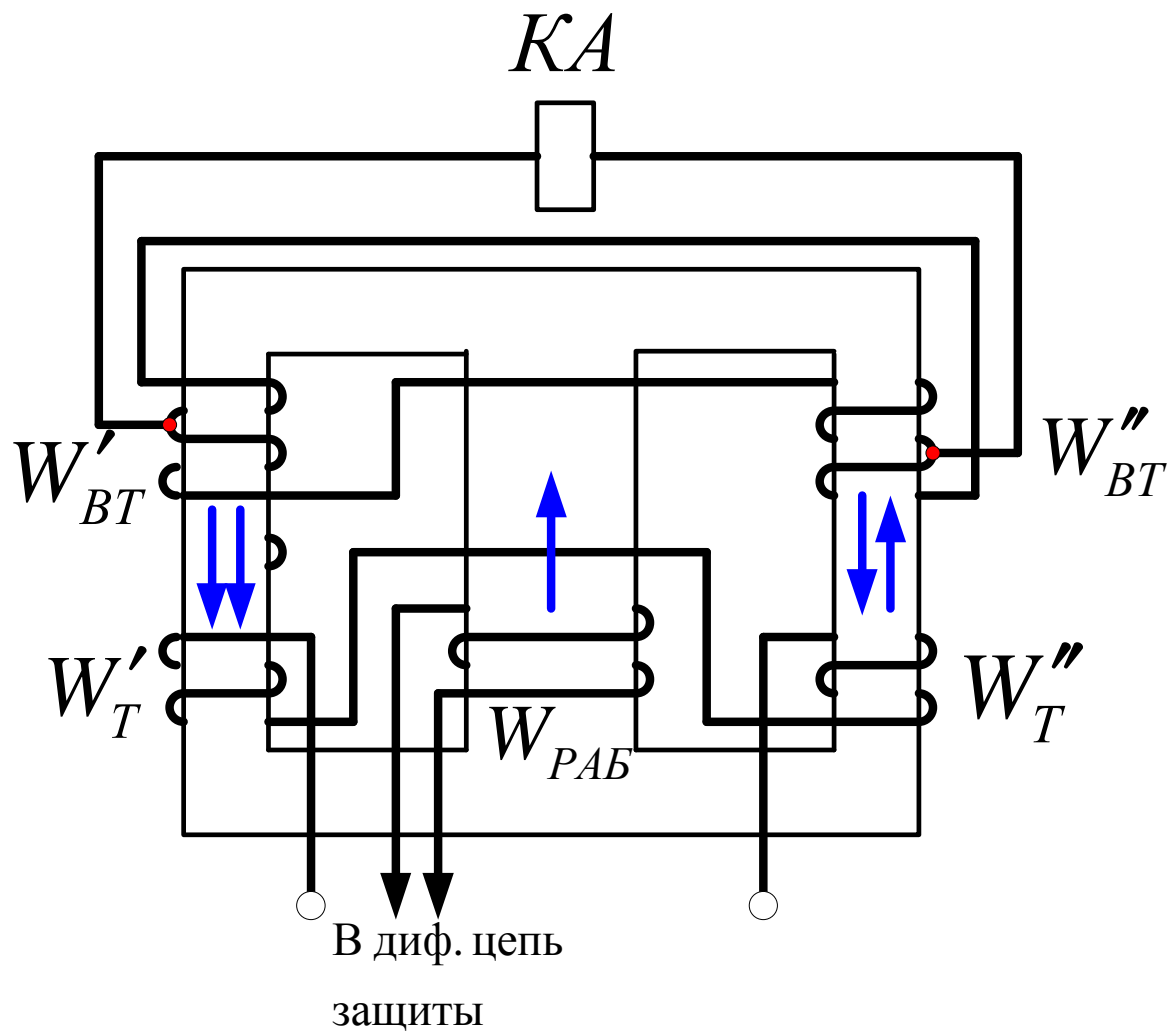


- ТО вкл. в плечи защиты т.о.,
- чтобы при любом внеш. КЗ, хотя бы одна обмотка обтекалась током, под её влиянием ток в рабочей обмотке возрастает,
- что повышает надёжность и  $\downarrow I_{сз}$



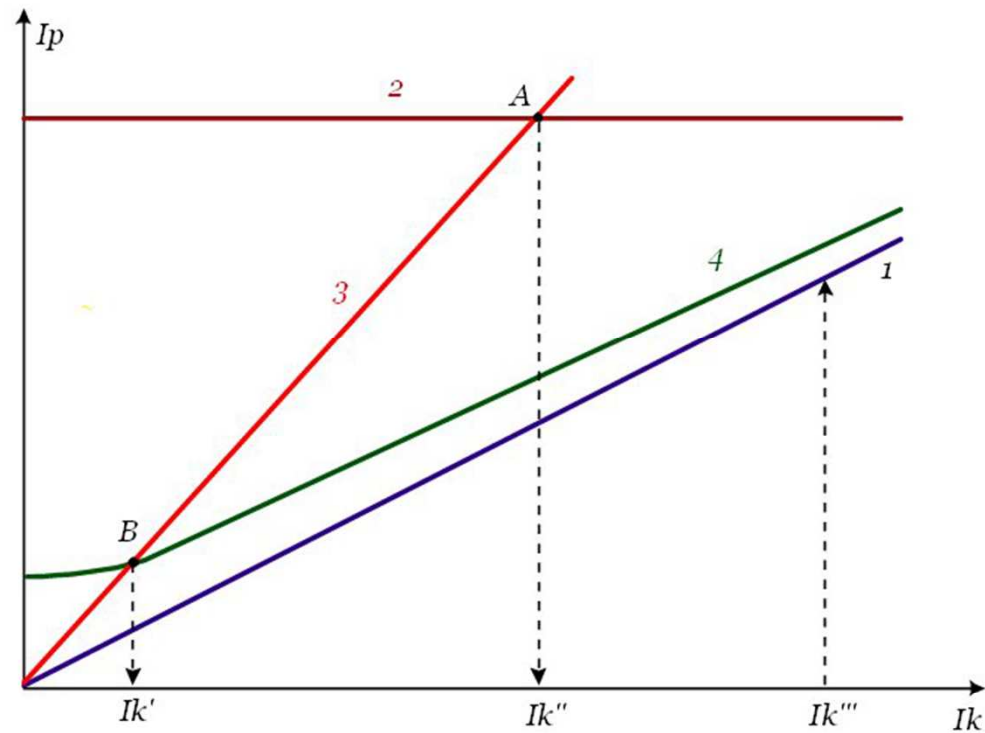


## Принцип выполнения реле ДЗТ



$$E_{CP} = 2W_{BT} fS \Delta B$$





- 1 - ток небаланса защиты в зависимости от величины тока короткого замыкания ;
- 2 - зависимость тока срабатывания защиты без торможения ;
- 3 - ток в реле при внутреннем коротком замыкании ;
- 4 - зависимость тока срабатывания защиты с торможением;
- $I_k'''$  - максимально возможное значение тока внешнего короткого замыкания;
- $I_k''$  - значение тока короткого замыкания, при котором срабатывает защита без торможения;
- $I_k'$  - значение тока короткого замыкания, при котором срабатывает защита с торможением.

## Таким образом,

- реле РНТ позволяет отстроиться от тока небаланса, содержащего большую **апериодическую** составляющую.
- Реле ДЗТ позволяет отстроиться от тока небаланса, содержащего большую **периодическую** составляющую.

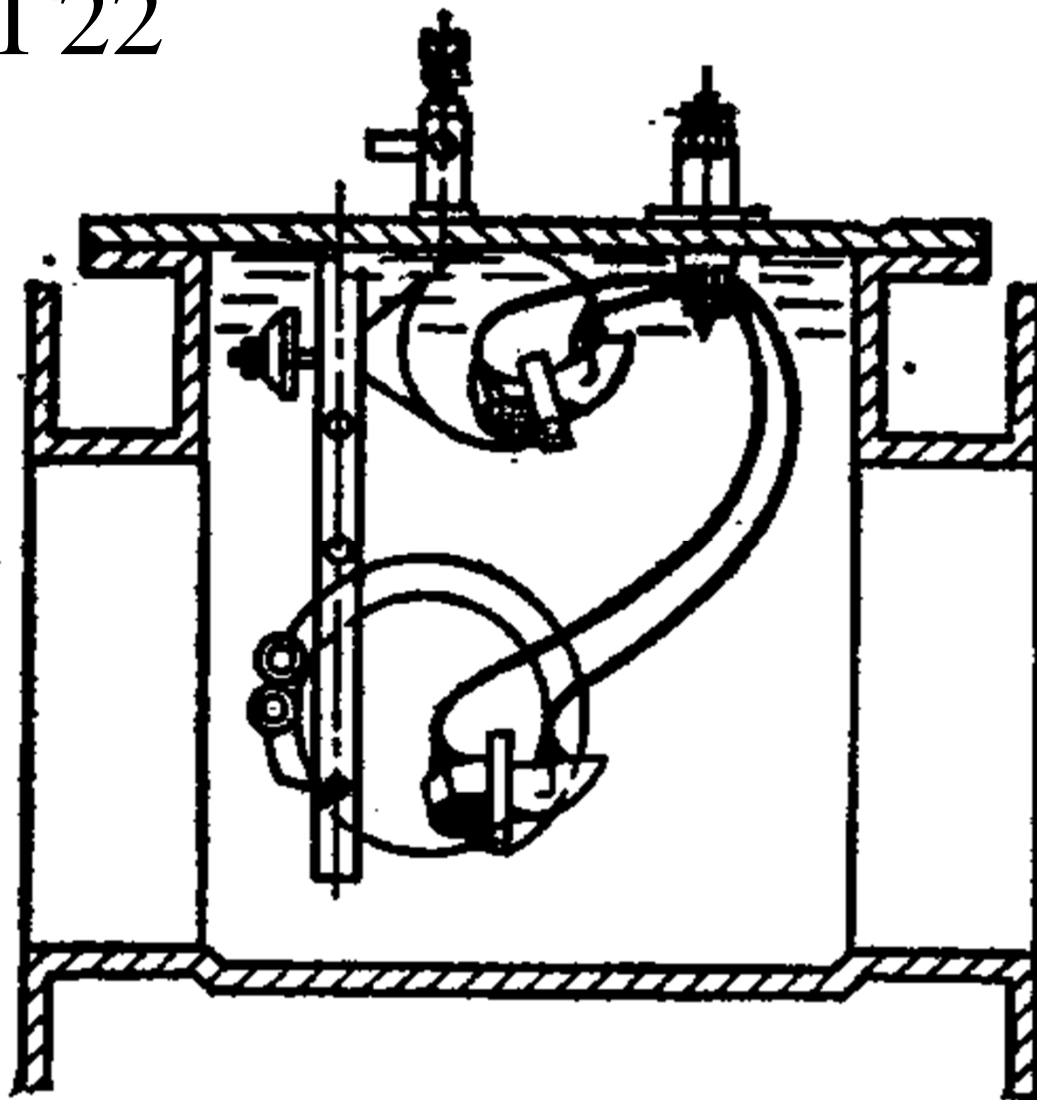


## ГАЗОВАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

- Ставится на трансформаторах с масляной системой охлаждения
- Обязательна к установке для  $T_r > 1000\text{кВА}$
- Для внутрицеховых  $> 630\text{кВА}$ .



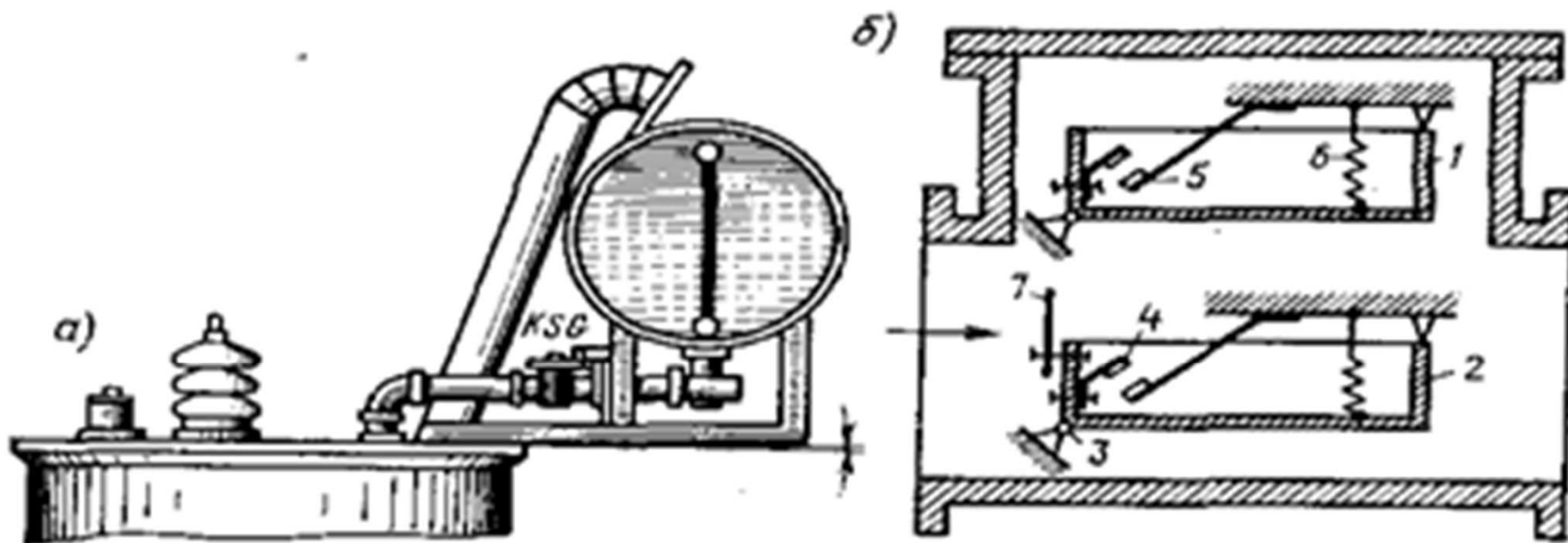
# Устройство поплавкового газового реле типа ПГ22



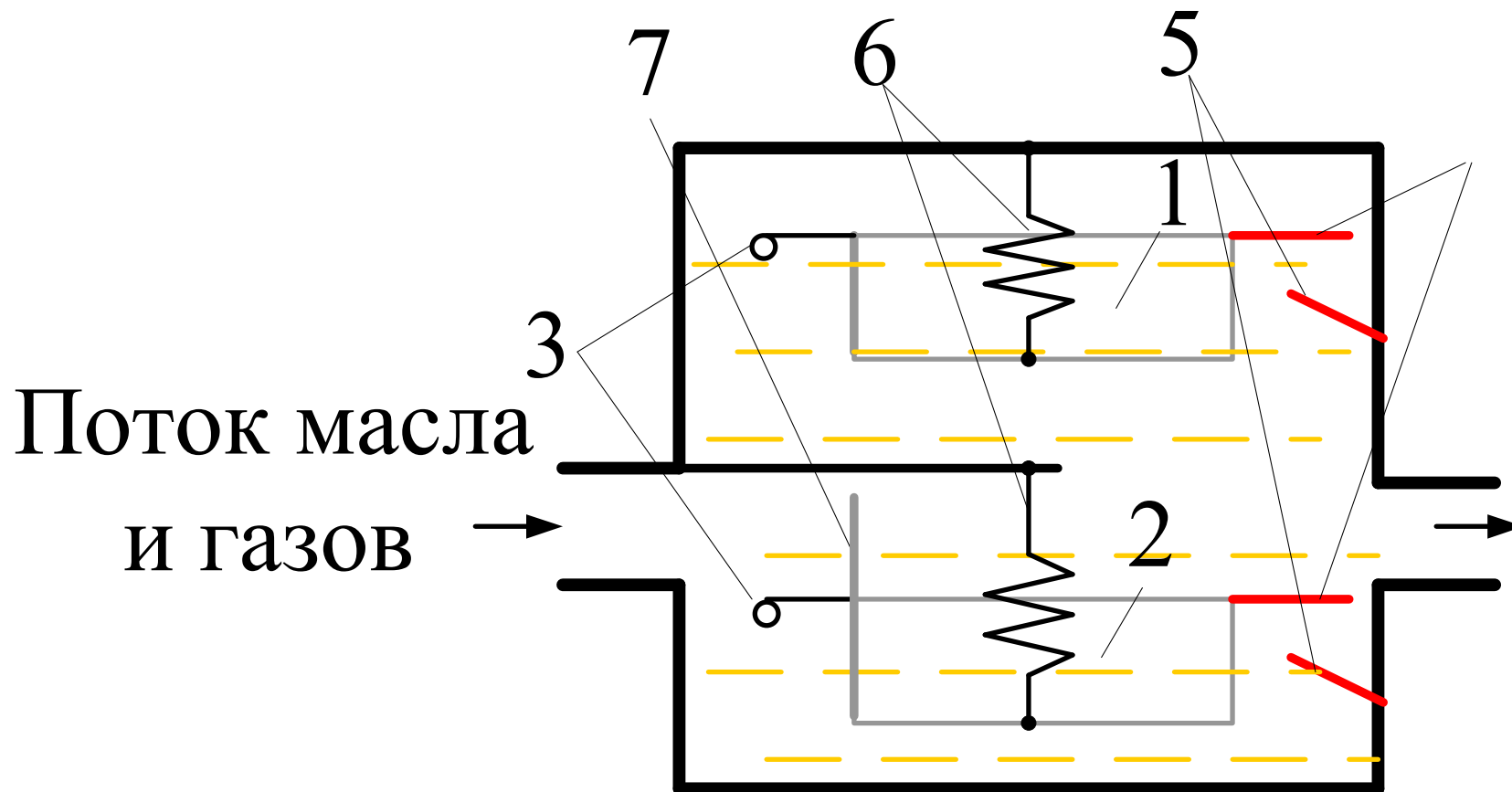
- Конструктивно защита представляет собой чугунный корпус внутри которого находится поплавков, внутри камеры расположен подвижный контакт
- В нормальном режиме работы масло находится в устойчивом неподвижном состоянии и поплавков не колеблется.
- При возникновении внутреннего повреждения в стали или меди трансформатора за счёт увеличения температуры активных частей в месте повреждения масло начинает разлагаться.
- Выделяющиеся при разложении газы поступают в расширитель.
- За счёт движения газов масло в патрубке, где он установлен переходит в колебательное состояние.
- За счёт колебаний охлаждающей среды в поплавков начинает колебаться что приводит к замыканию контактов.
- Изобретена в начале прошлого века – 100% надёжность.



# газового реле чашечного типа



# РЕЛЕ РГЧЗ-66





- Принцип действия основан на использовании явления газообразования в баке трансформатора (разложение масла при выделении тепла сопровождается выделением газа). Устанавливается в маслопровод между баком и расширителем трансформатора.
- Обязательна для Т с  $S \geq 6,3$  МВА с масляной системой охлаждения.
- Реагирует на все виды повреждений внутри бака (пожар стали, витковые замыкания) и при недопустимом понижении уровня масла. В зависимости от степени повреждения действует на сигнал или на отключение.
- Возможны ложные срабатывания при попадании воздуха в бак Т (а также при землетрясениях).



## УСТРОЙСТВО ГАЗОВОГО РЕЛЕ РГЧЗ-66

- 1, 2 – плоскодонные алюминиевые чашки,
- 3 – неподвижные оси,
- 4 – подвижные контакты,
- 5 – неподвижные контакты,
- 6 – пружины.

Масса чашки с маслом достаточна для преодоления силы пружины при отсутствии масла.

Опускание верхней чашки действует на сигнал, нижней – на отключение.





# **ЗАЩИТА ОТ ВНЕШНИХ ЗАМЫКАНИЙ**

## МОГУТ ПРИМЕНЯТЬСЯ:

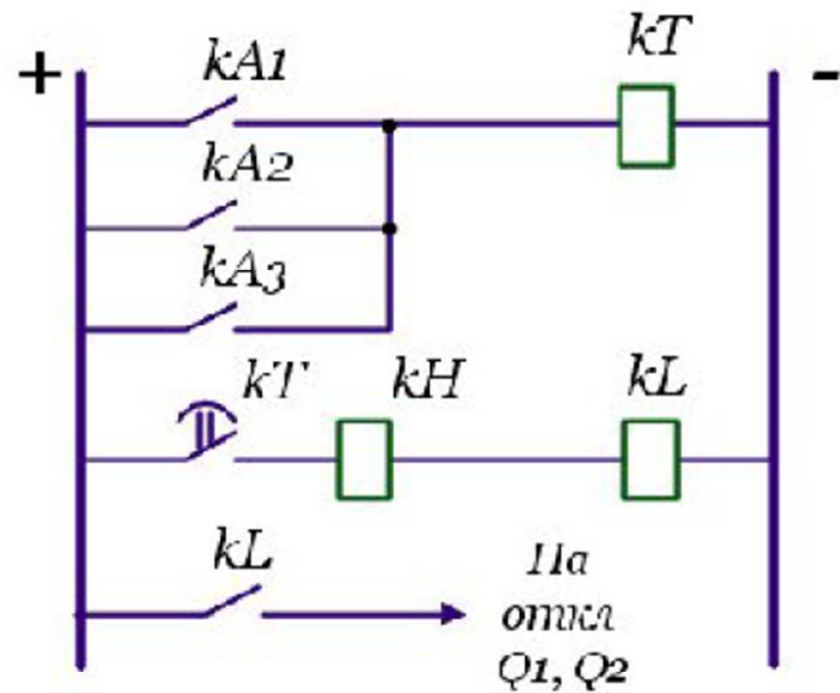
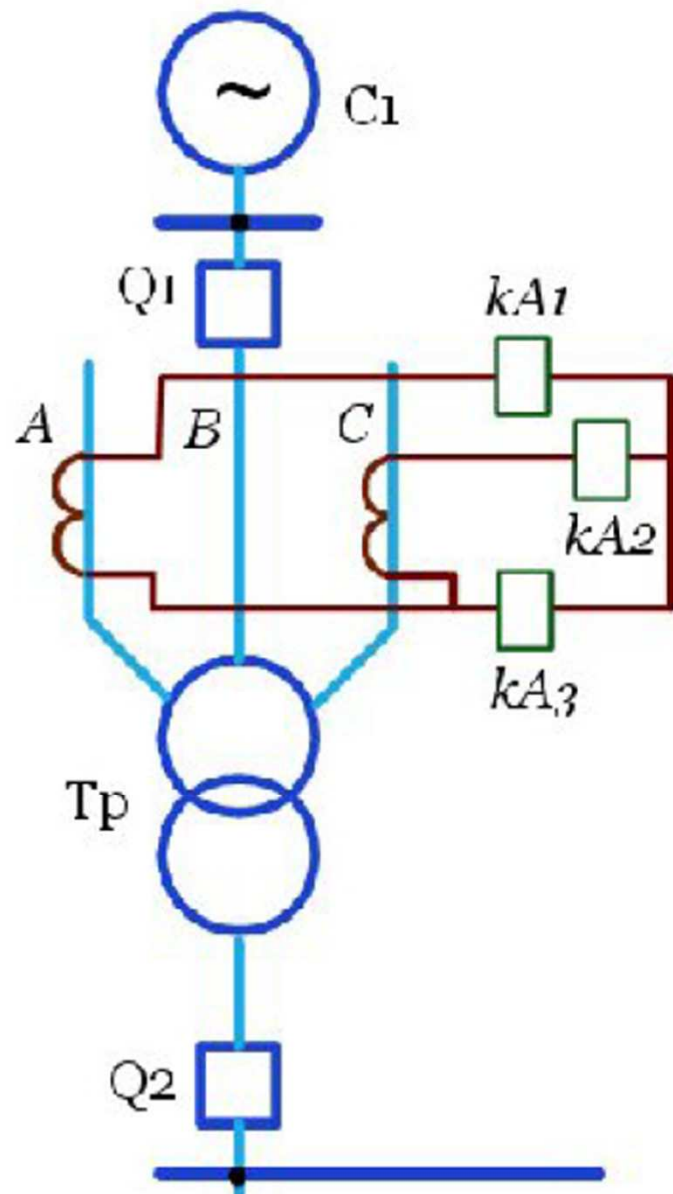
- МТЗ,
  - МТЗ с блокировкой по напряжению,
  - токовая защита обратной последовательности,
  - токовая защита нулевой последовательности ТЗНП,
  - дистанционная защита.
- 
- В основном защита от внешних замыканий устанавливается со **стороны источников питания**.
  - Защита от внешних однофазных замыканий устанавливается со стороны обмотки, соединенной в звезду с заземленной нейтралью.



- Превалирующим фактором является обеспечение требований к КЗ на ОТХ линиях, поэтому в случае недостаточности чувствительности устройств со стороны НН, в этом случае она обеспечивается только фидером.



# ПРИМЕР МТЗ НА ЭЛ. МЕХ РЕЛЕ

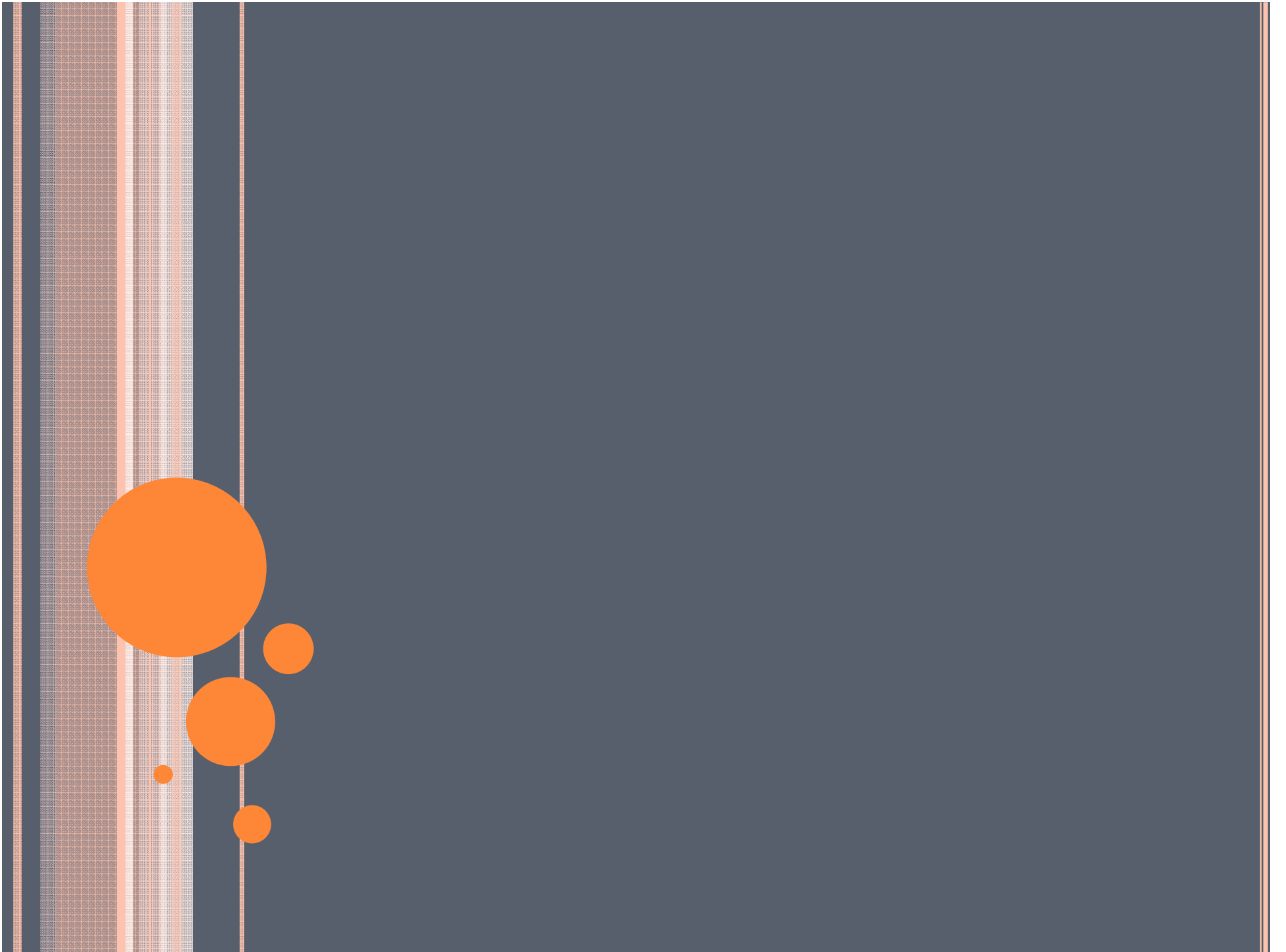


- Расчёт защиты закл. в опред. тока сраб. и расч. выд. времени.
- Ис.з. отстраивается от макс. нагрузочного режима с учётом пусковых режимов
- Выдержка времени отстр. от времени наиболее медленно действующей З отх. Л

$$t_{C3} = t_{H \max} + \Delta t$$

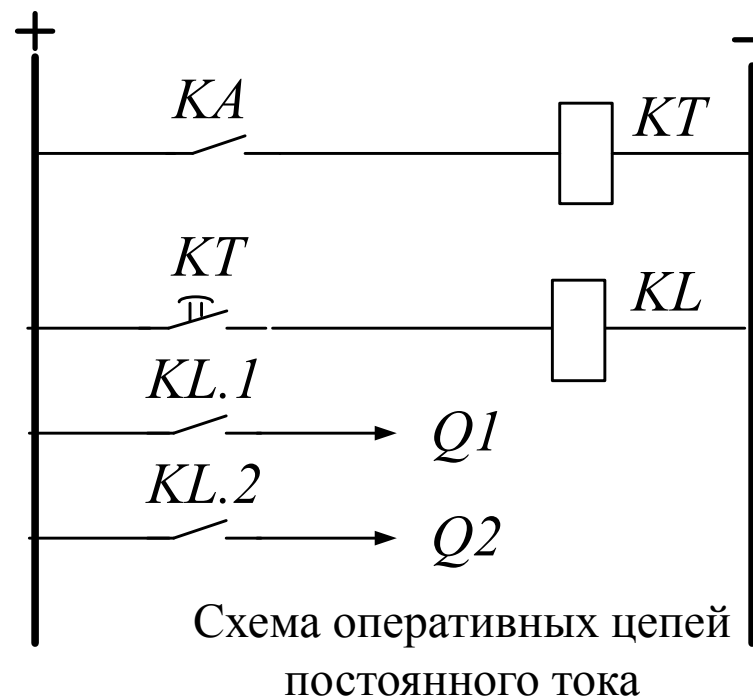
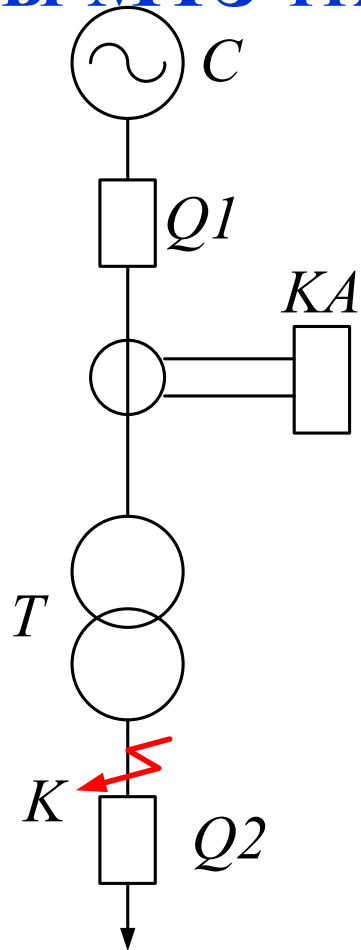
- Чувствительность З проверяется по  $I^{(2)}$  в конце наиб. Протяжённой Л.







# СХЕМЫ МТЗ ТРАНСФОРМАТОРОВ



Двухобмоточный понижающий трансформатор с односторонним питанием



## ТОКОВАЯ СТУПЕНЧАТАЯ ЗАЩИТА Т И АТ

- Первая ступень – токовая отсечка без выдержки времени.
- Вторая ступень - МТЗ с блокировкой по напряжению.



# МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

- Дополняет токовую отсечку. Действует при КЗ на выводах и в соединениях с выключателем.
- Защищает трансформатор от перегрузок при внешних КЗ.
- Недостаток МТЗ: недостаточная чувствительность к витковым замыканиям, недостаточное быстродействие при многофазных повреждениях в обмотке.



## РАСЧЕТ УСТАВОК МТЗ ТРАНСФОРМАТОРА

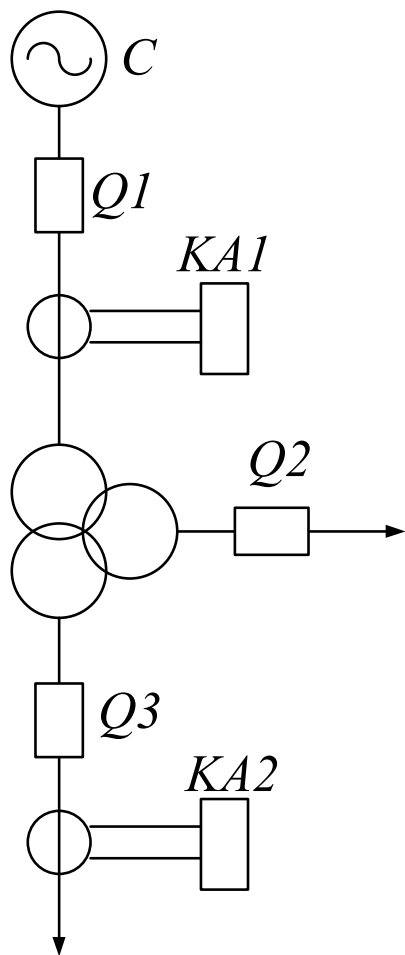
$$I_{C3} = \frac{k_H k_{C3}}{k_B} I_{p.\max} \quad t_{C3} = t_{H\max} + \Delta t$$

$$K_{\text{Ч}} = \frac{I_K^{(2)}}{I_{C3}} \quad \text{в режиме ближнего резервирования}$$

$$K_{\text{Ч}} = \frac{I_{KW}^{(2)}}{I_{C3}} \quad \text{в режиме дальнего резервирования}$$

Превалирующим фактором является обеспечение требуемой чувствительности при КЗ на отходящих линиях, поэтому в случае недостаточной чувствительности защита устанавливается со стороны НН, в этом случае она обеспечивает только функции дальнего резервирования.

# СХЕМЫ МТЗ ТРАНСФОРМАТОРОВ



Трехобмоточный понижающий трансформатор с односторонним питанием

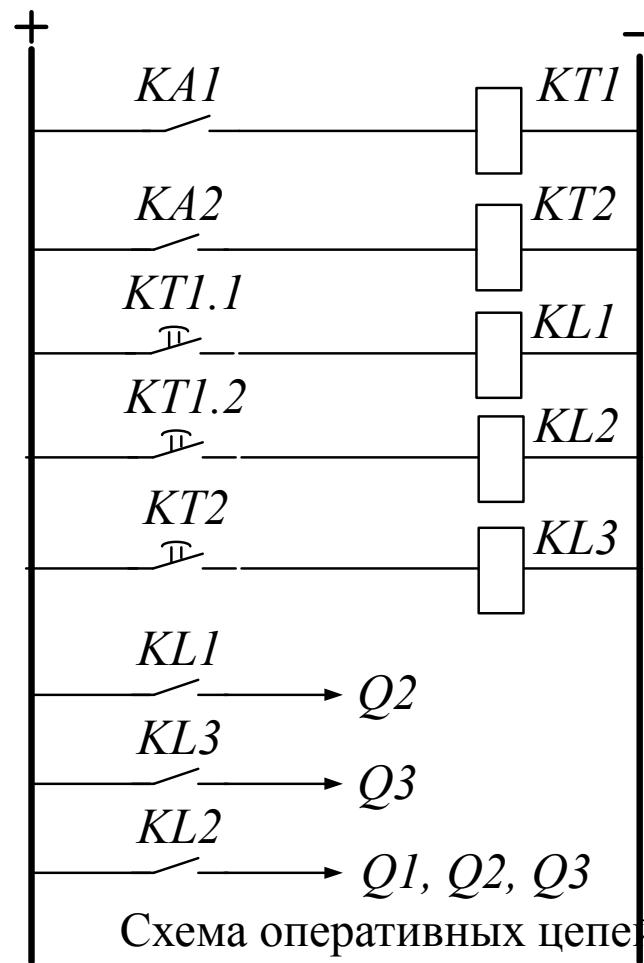


Схема оперативных цепей постоянного тока



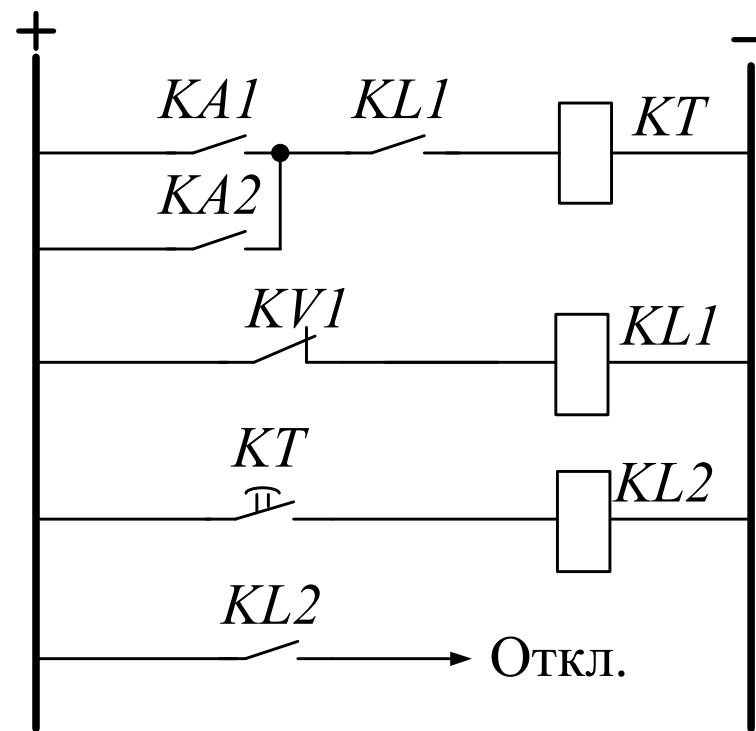
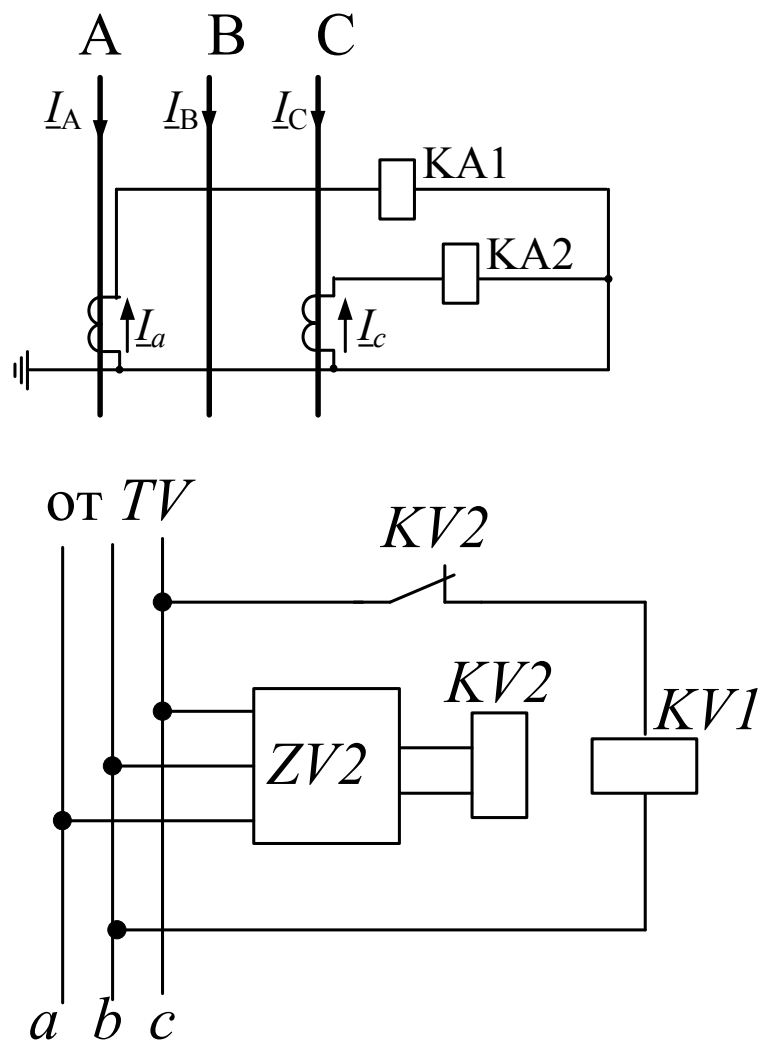


**МТЗ ТРАНСФОРМАТОРОВ С  
БЛОКИРОВКОЙ ПО  
НАПРЯЖЕНИЮ**

- Позволяет повысить чувствительность защиты в случае протяжённых и сильно нагруженных линий со стороны потребителя
- ПО содержат элементы, учитывающие следующие признаки:
- Ув.  $I$  выше номинального
- Ум.  $U$  ниже номинального
- Появление напряжения обратной последовательности ( $U_2$ ) в случае несимметричных замыканий



# ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА МТЗ С БЛОКИРОВКОЙ ПО $U$ ПРИ РЕАЛ. НА Э.М РЕЛЕ





- При возникновении внешнего симметричного замыкания за счёт ув. I срабатывает реле тока
- За счёт  $\downarrow U$  - срабатывает реле напряжения KV1 (min U)
- KV1 подаёт питание на KL, тем самым разрешает действие защиты
- При внешнем несимметричном КЗ  $\downarrow U$  может оказаться недостаточным для обесп. сраб. З – в этих режимах предназначена приставка – фильтр реле токов обр. п-ти



- При внешнем несимметричном КЗ,  $\downarrow U$  может оказаться недостаточным и для обеспечения срабатывания защиты в этих режимах предназначена приставка – фильтр токов обратной последовательности.
- Это реле работает сл. об.:
- За счёт наличия несимметрии в сети и появления  $U_2$  на выходе фильтра  $ZV2$  появляется напряжение, что приводит в срабатыванию  $KV2$ , которое размыкает свой контакт, снимает питание с  $KV1$  и защита запускается.



## РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ

- Отстраивается от номинального рабочего тока

$$I_{C3} = \frac{k_H}{k} I_{НОМ}$$

- От минимального рабочего напряжения и от  $\downarrow U$  пусковых режимах

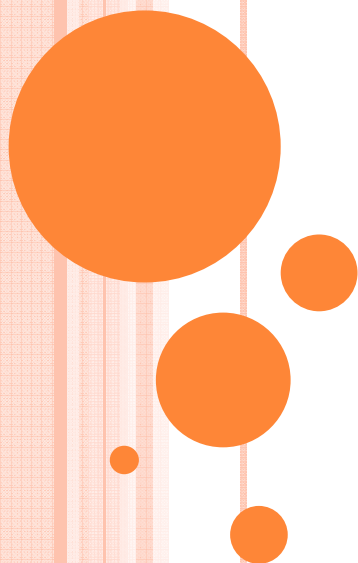
$$U_{C3 KV1} = \frac{U_{\min}}{k_{жк}} \approx 0,85U_{nom}$$

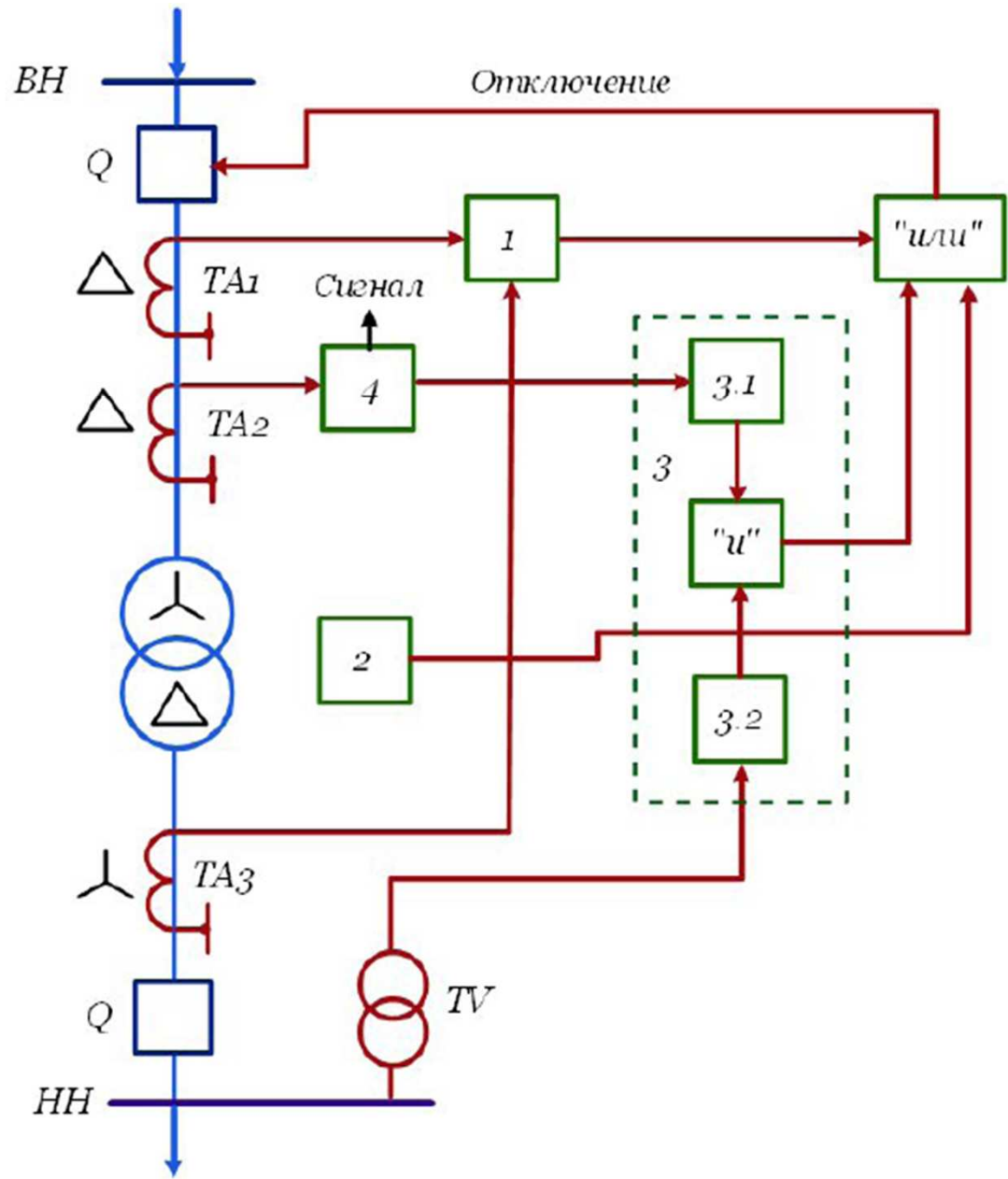
- От несимметрии напряжения в нагрузочном режиме и от напряжения небаланса на выходе фильтра

$$U_{C3 KV2} = 0,06U_{НОМ}$$



# ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМЫ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА





## Схема защиты понижающего трансформатора 110-220/6,6-11кВ мощностью 6.3 МВА и более:

- 1-дифференциальная защита;
- 2 –газовая защита;
- 3- максимальная токовая защита с блокировкой по напряжению;
  - 3.1 – ПО по току,
  - 3.2 – ПО по напряжению
- 4- защита от перегрузки

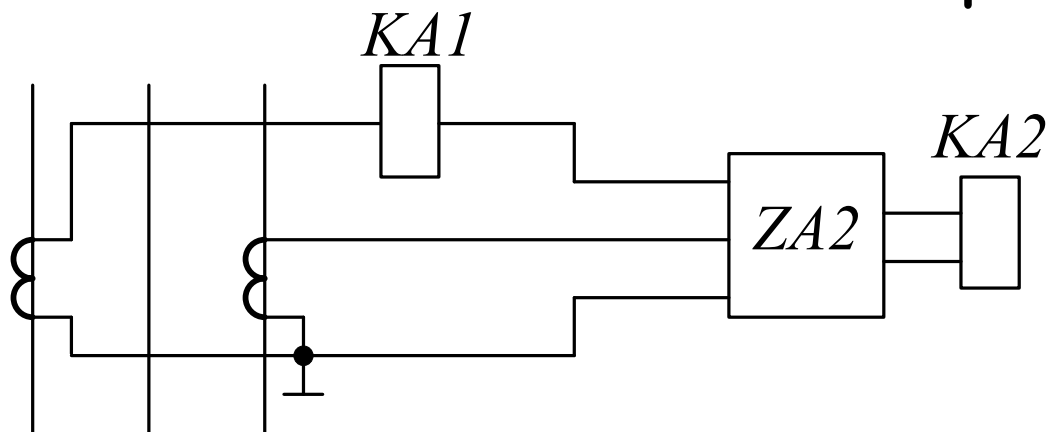
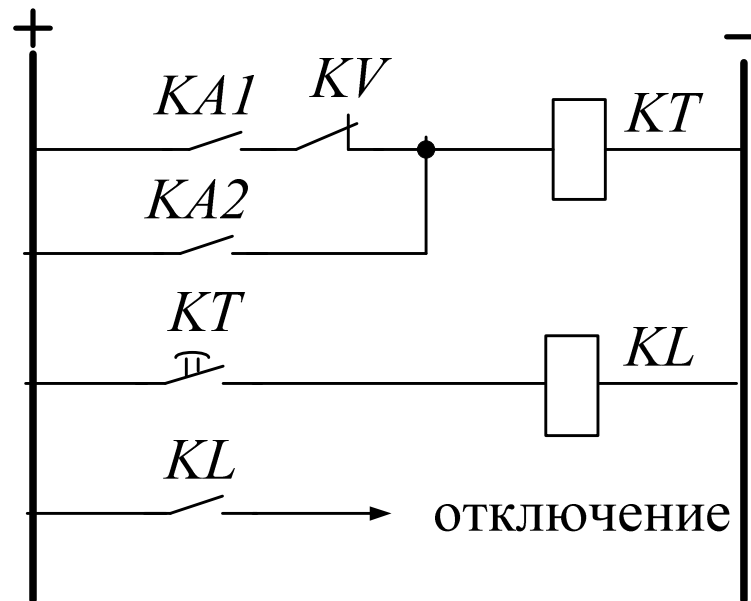
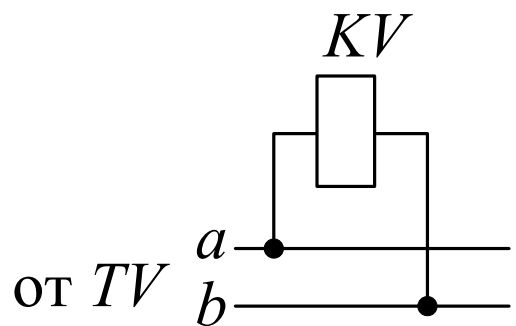


# ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

- Устанавливается на повышающих трансформаторах и автотрансформаторах для обеспечения дальнего резервирования при несимметричных КЗ.



# СХЕМЫ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

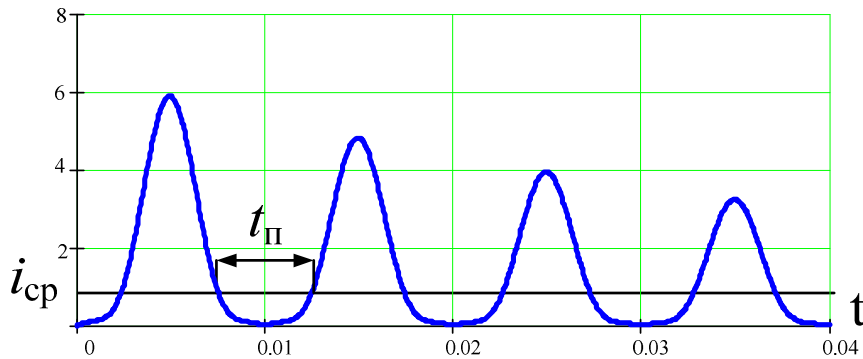




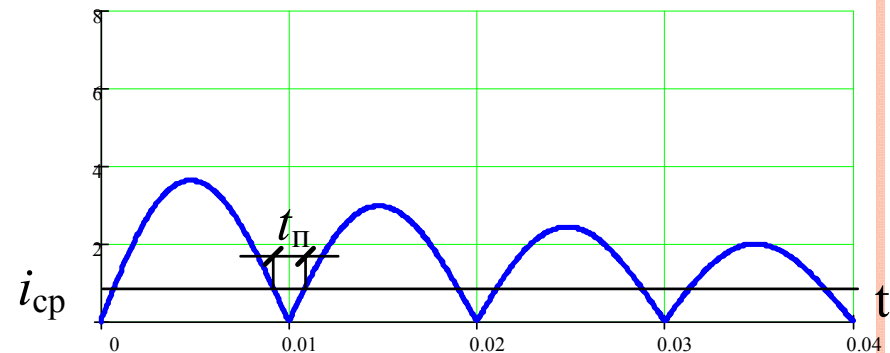
# 4. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА С РЕЛЕ ДЗТ-21

- Торможение осуществляется за счет время-импульсного принципа – анализ длительности пауз  $t_{\Pi}$  в дифференциальном токе в сочетании с торможением от составляющей второй гармоники тока намагничивания:

$$k_b = \frac{I_{2f}}{I_1}$$



Выпрямленный рабочий ток при броске тока намагничивания



Выпрямленный рабочий ток при внутреннем КЗ

$$I_{C3} = 0,3I_{Tном}$$



# ЦИФРОВЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ТОРМОЖЕНИЕМ ОТ СРАВНИВАЕМЫХ ТОКОВ

**Торможение** – загрузка уставки при увеличении сравниваемых токов.

- Из сравниваемых токов по концам объекта  $\underline{I}_1 \dots \underline{I}_n$  формируется дифференциальный ток

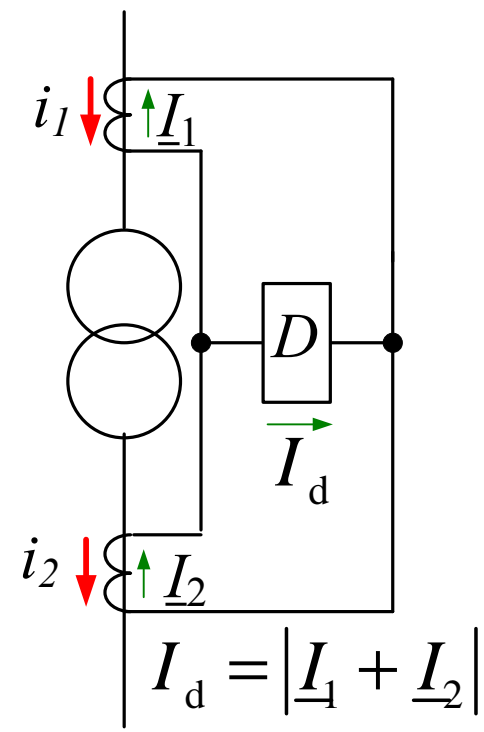
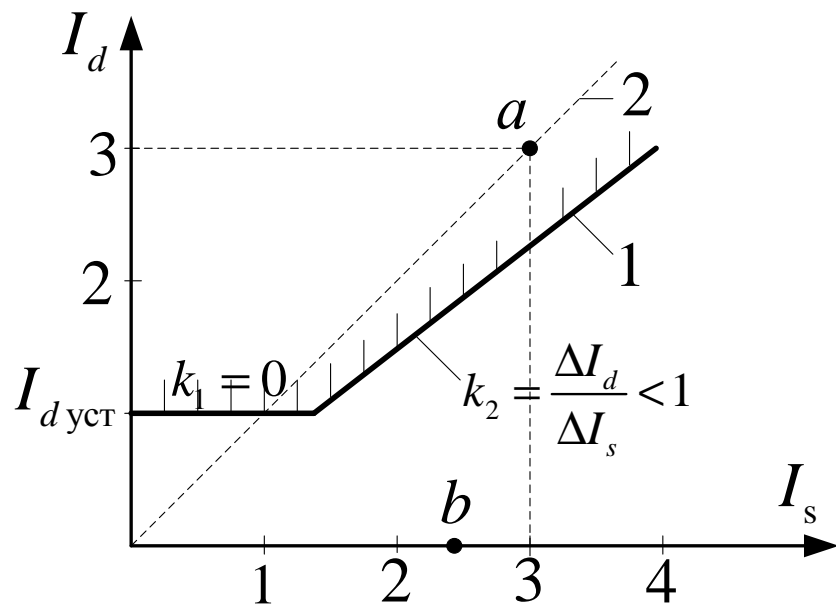
$$I_d = \left| \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \dots + \underline{I}_n \right|$$

и тормозной ток

$$I_s = \left| \underline{I}_1 \right| + \left| \underline{I}_2 \right| + \dots + \left| \underline{I}_n \right|$$

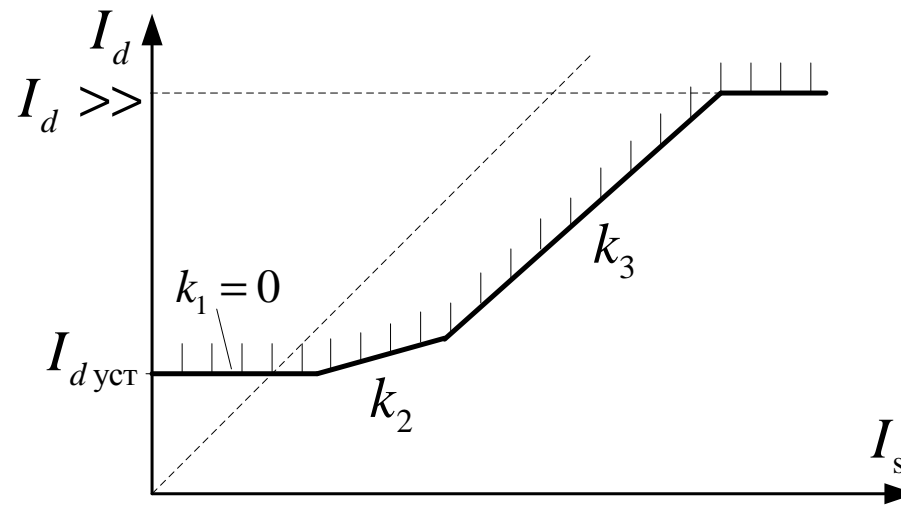


# ТОРМОЗНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРАБАТЫВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ



Тормозная характеристика  
срабатывания  
дифференциальной защиты





Комбинированная тормозная характеристика дифференциальной защиты




Уставка  $I_d \gg$  – это достаточно большое значение тока, который позволяет однозначно выявить внутреннее повреждение.

Уставка  $I_{d\text{уст}}$  - определяется небалансом токов в нагрузочном режиме.

Наклон участка 2 характеристики определяется насыщением ТТ.

При внутреннем КЗ рабочая точка лежит на прямой 2.

При внешнем КЗ в идеальном случае рабочая точка лежит в области несрабатывания на оси абсцисс.

Участок 3 соответствует значительному насыщению ТТ при больших токах, поэтому участок 3 имеет больший наклон. 

# ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Блок 1. Формирование цифровых значений  $I_d$  и  $I_s$ .

Блок 2. Формирование основной характеристики отключения.

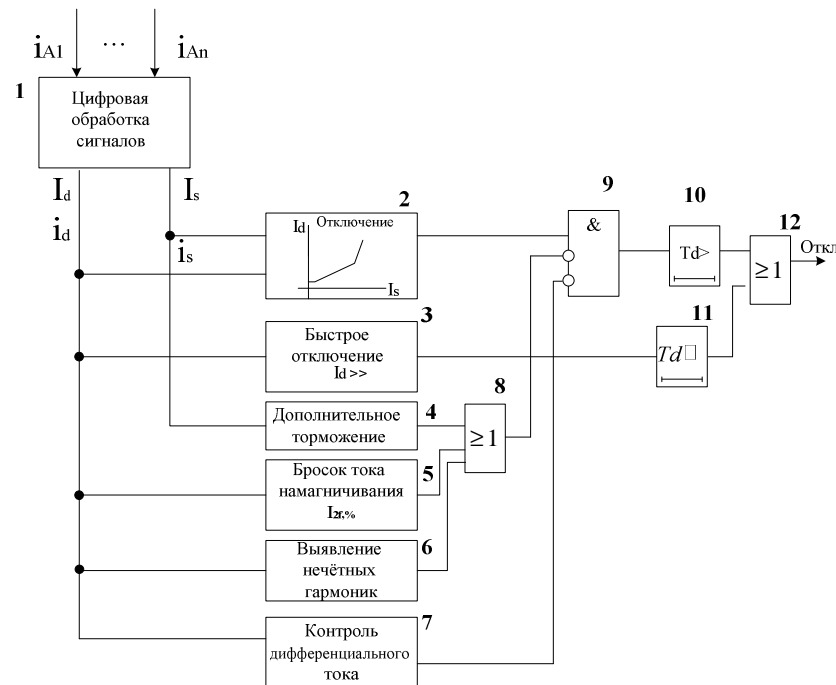
Блок 3. Быстрое отключение внутреннего КЗ по условию  $I > I_{d>>}$ .

Блок 4. Доп. торможение при внешних КЗ, когда ТА еще не насыщены.

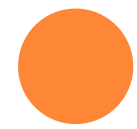
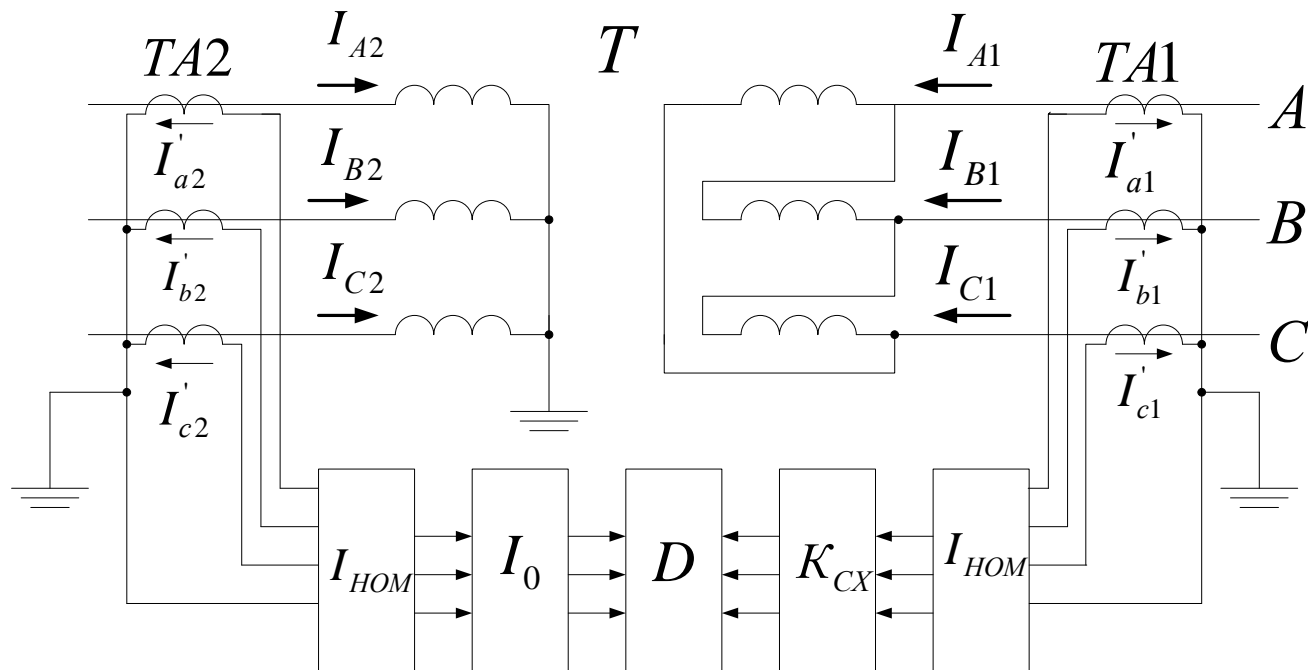
Блок 5. Гармонический анализ  $I_d$  и блокировка отключения Т при броске  $I_\mu$ .

Блок 6. Контроль в  $I_d$  нечетных (3 и 5) гармоник, блокировка отключения при повышенном содержании нечетных гармоник из-за повышения  $U$  на Тр-ре .

Блок 7. Контроль исправности токовых цепей.



# ЦИФРОВАЯ КОРРЕКТИРОВКА ИЗМЕРЯЕМЫХ ФАЗНЫХ ТОКОВ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЕ



## ЦИФРОВАЯ КОРРЕКТИРОВКА ИЗМЕРЯЕМЫХ ФАЗНЫХ ТОКОВ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЕ

**Блоки**  $I_{\text{НОМ}}$  устраняют различие номинальных токов по сторонам Т и неодинаковость номинальных токов Т и ТА умножением токов  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$  с обеих сторон на корректирующие коэффициенты  $k_{\text{НОМ}1}$  и  $k_{\text{НОМ}2}$

$$k_{\text{НОМ}1} = \frac{\sqrt{3}I_{\text{НОМТА}1}U_{\text{НОМ}1}}{S_{\text{НОМ}}}, k_{\text{НОМ}2} = \frac{\sqrt{3}I_{\text{НОМТА}2}U_{\text{НОМ}2}}{S_{\text{НОМ}}}$$

**Блок**  $I_0$  устраняет небаланс при внешних однофазных КЗ (см. далее).

**D** – измерительный элемент.

**Блок**  $K_{\text{СХ}}$  учитывает сдвиг по фазе и изменения по модулю сравниваемых токов, вносимые различием схем включения обмоток силового трансформатора.





## УСТРАНЕНИЕ НЕБАЛАНСА В ДИФ. ЦЕПИ ПРИ ВНЕШНЕМ ОДНОФАЗНОМ КЗ

