

# РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Лекции: 32 ч  
Практики: 24 ч  
Лабораторные: 16 ч  
Самост.: 108 ч

Экзамен

Васильев Алексей Сергеевич

к.т.н. доцент ОЭЭ ИШЭ

## Лекция 8

### Защита трансформаторов

# Устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ)

## Разновидности трансформаторов



Блочный трансформатор  
на электростанции



ОДЦ 417000/500

## Разновидности трансформаторов

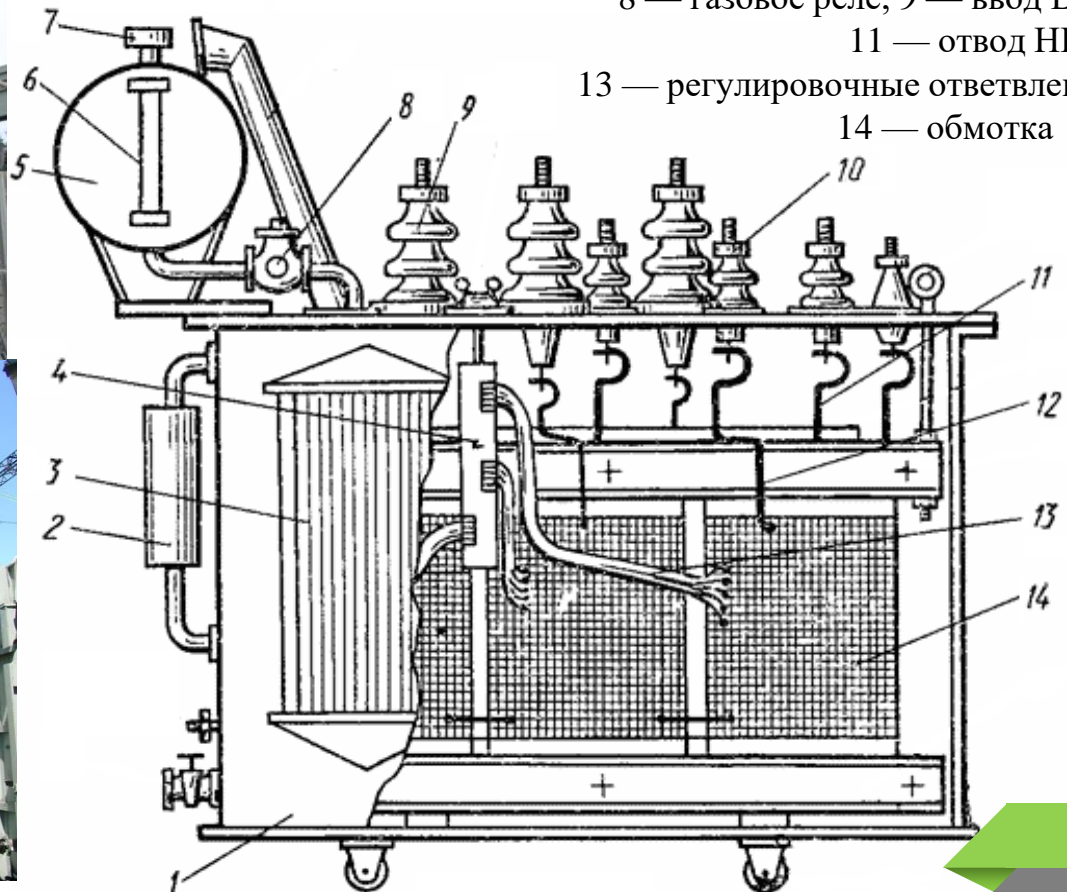


**Однофазный АТ на ПС**



**Понижительный трансформатор**

# Конструкция силовых трансформаторов



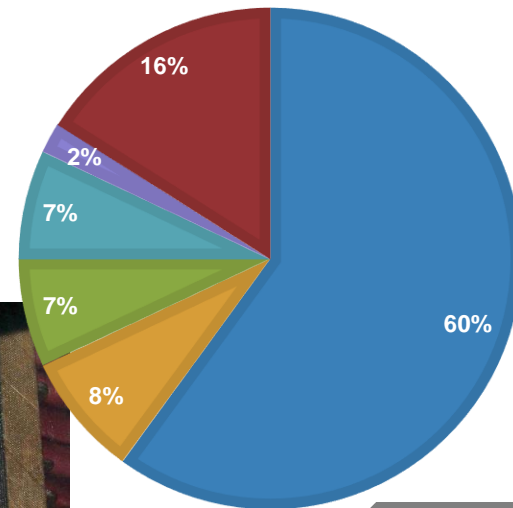
- 2 — термосифонный фильтр, 3 — радиатор,
- 4 — переключатель, 5 — расширитель,
- 6 — маслоуказатель, 7 — воздухоосушитель,
- 8 — газовое реле, 9 — ввод ВН, 10 — ввод НН,
- 11 — отвод НН, 12 — отвод ВН,
- 13 — регулировочные ответвления обмоток ВН,
- 14 — обмотка ВН (внутри НН)

# Повреждения трансформаторов и автотрансформаторов

- Междофазное 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 (междофазное и на землю).
- «Пожар стали»



## ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ



## Нарушения нормальных режимов работы Т и АТ

- Сверхтоки, проходящие через Т при внешних КЗ.
- Перегрузка.
- Выделение из масла горючих газов.
- Понижение уровня масла.
- Повышение температуры масла.

**Типы РЗ, предусмотренные для защиты Т от повреждений и ненормальных режимов в соответствии с ПУЭ в зависимости от класса напряжения и мощности**

- токовая отсечка;
  - МТЗ или МТЗ с комбинированным пуском напряжения;
  - токовая защита обратной последовательности;
  - дифференциальная защита;
  - дистанционная защита;
  - ТЗ нулевой последовательности;
  - газовая защита.
- } ТСЗ



1. **От повреждений внутри кожуха**, сопровождающихся выделением газа и (или) понижением уровня масла – **газовая защита** с действием на сигнал и отключение:

- для трансформаторов мощностью 6300 кВА и более;
- для внутрицеховых понижающих трансформаторов мощностью 630 кВА и более;
- для трансформаторов мощностью 1000–4000 кВА, если отсутствует быстродействующая защита.

### 2. От повреждений на выводах и внутренних повреждений

- трансформаторы мощностью 6300 кВА и более – **продольная дифференциальная защита**
- для трансформаторов мощностью до 6300 кВА – **токовая отсечка**. Если токовая отсечка не проходит по условиям чувствительности, то **дифференциальная защита** может быть установлена на трансформаторах меньшей мощности, но не менее 1000 кВА.

3. **От токов внешних коротких замыканий** должны быть установлены следующие защиты с действием на отключение:

- для трансформаторов мощностью до 1000 кВА – **МТЗ или МТЗ с комбинированным пуском напряжения**,
- для трансформаторов мощностью 1000 кВА и более – **токовая защита обратной последовательности (ТЗОП)**;
- **дистанционная защита** на понижающих автотрансформаторах напряжением 220 кВ и более, если это необходимо по условиям дальнего резервирования.

4. **От возможной перегрузки** на трансформаторах мощностью 400 кВА и более следует предусматривать **МТЗ с действием на сигнал или на разгрузку и на отключение**.
5. **От токов внешних замыканий на землю** при наличии заземленной нейтрали для трансформаторов мощностью 1000 кВА и более устанавливается **ТЗ нулевой последовательности**, если это необходимо по условиям дальнего резервирования.

## 1. Токовая ступенчатая защита

Первая ступень – **токовая отсечка** (ТО) без выдержки времени. Первичный ток срабатывания защиты **отстраивается** от максимального тока КЗ на других сторонах Т.

*?Что это означает?*

Вторая ступень – **МТЗ с блокировкой по напряжению**. Дополняет ТО. 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 ТСЗ

**ТО**  $I_{171}^I = K_{отс1} I_{K171}^{(3)}$   $K_{отс1} = 1.4$

**при К7**  $K_{ч171} = \frac{I_{K3}^{(2)}}{I_{171}^I} \geq 2$

## МТЗ с блокировкой по U

$$I_{171}^{II} = \frac{K_{отс2}}{K_B} I_{раб.маx}$$

$$K_{отс1} = 1.2$$

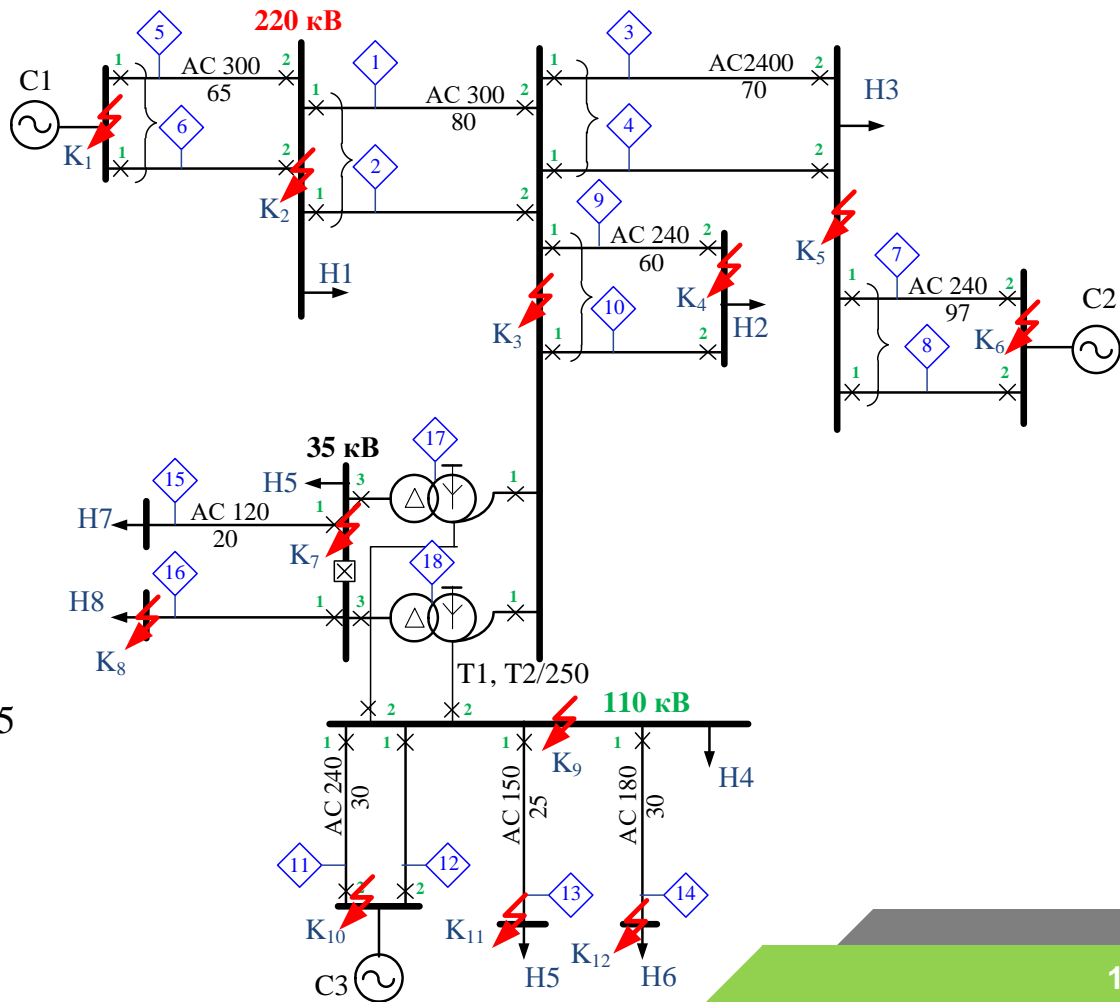
**В режиме ближнего резервирования**

$$K_{ч} = \frac{I_{K7}^{(2)}}{I_{171}^{II}} \geq 1.5$$

**В режиме дальнего резервирования**

$$K_{ч}^{II} = \frac{I_{K8}^{(2)}}{I_{171}^{II}}$$

$$t_{C3} = t_{Hmax} + \Delta t$$



# МТЗ трансформаторов с блокировкой по напряжению

Блокировка предназначена для повышения чувствительности защиты при дальнем резервировании.

$$U_{C3KV1} = \frac{U_{\min}}{K_H K_B} \approx 0,65U_{\text{НОМ}}$$

$$K_H = 1.2 \quad K_B = 1.2$$

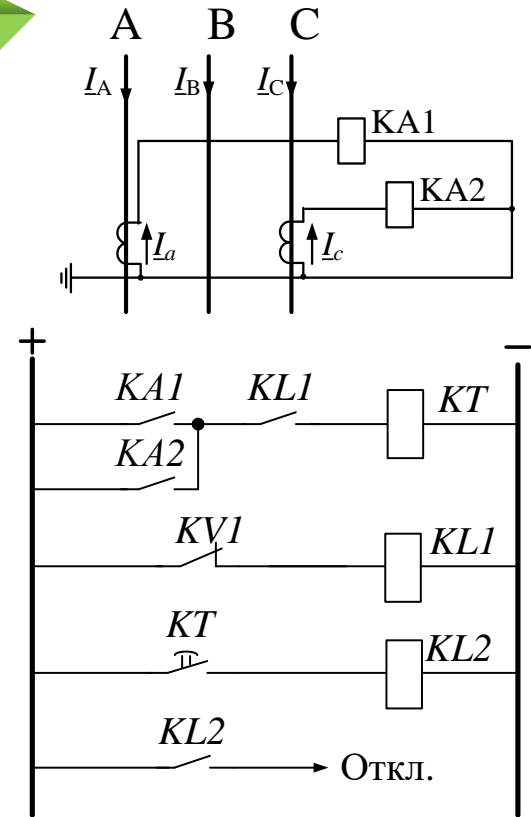
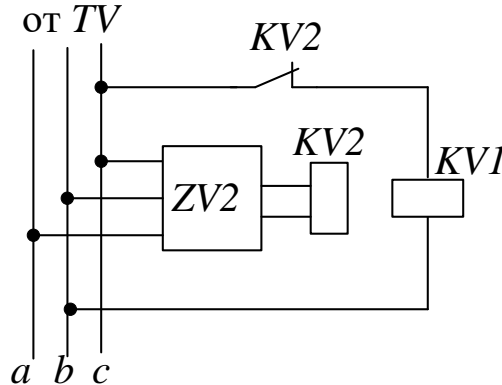
$$U_{\min} = (0.85 - 0.9) U_{\text{НОМ}}$$

KA1, KA2 – реле тока типа РТ-40 (РСТ-13)

ZV2 – фильтре-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М

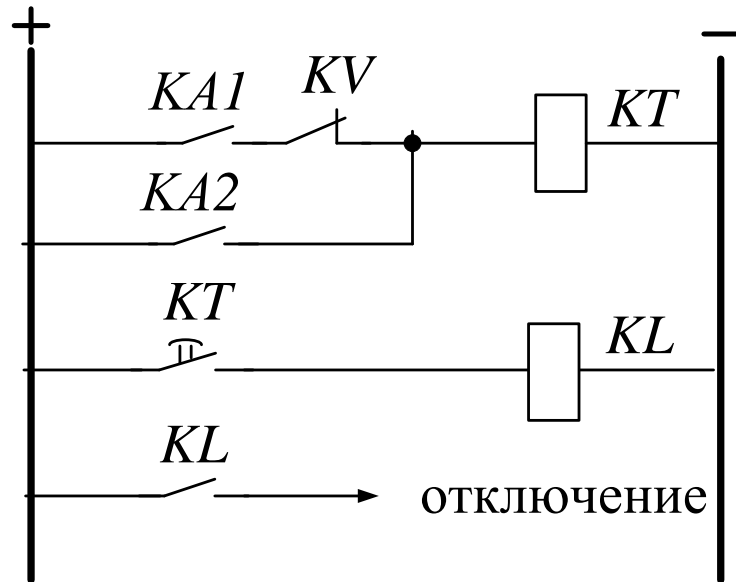
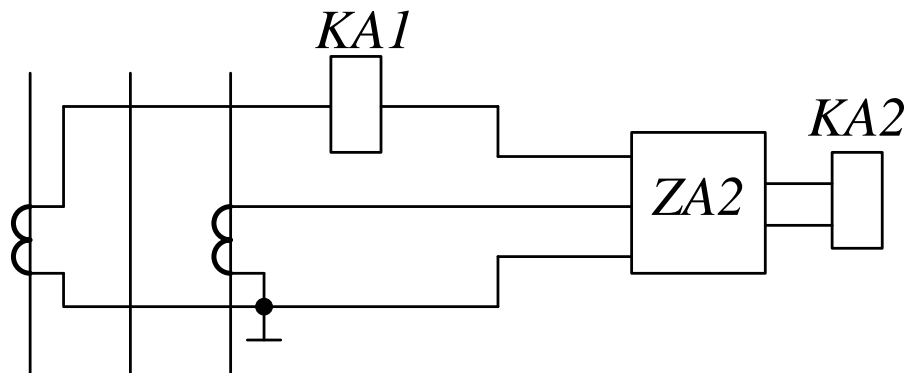
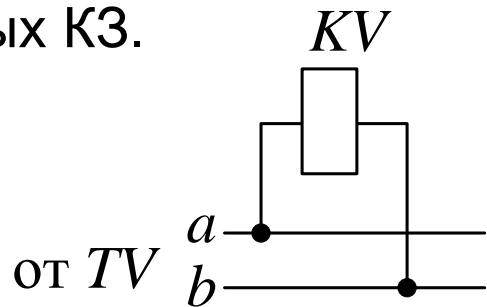
KV1 – реле минимального напряжения типа РН-54(РСН-13)

KV2 – реле максимального напряжения  $U_{C3KV2} = 0,06U_{\text{ном}}$



## 2. Токовая защита обратной последовательности трансформаторов

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





## 2. Расчет уставок ТЗОП Т и АТ

- **Условие 1:** отстройка от максимального тока небаланса на выходе ФТОП при реальных перегрузках

$$I_{2C3} = (0,1 - 0,2) I_{\text{НОМТ}}$$

Не согласуется  
с резервными защитами  
линий

$$K_{\text{ч}} < 1.5$$

- **Условие 2:** согласуется по чувствительности с защитами смежных линий: ТЗОП (если есть), ТЗНП, МТЗ, Дист. защита.

$$I_{2C3} = K_{\text{отс}} I_{2\text{расч}}$$

$I_{2\text{расч}}$  – ток обр. посл. через защиту 1, когда защита 2 находится на грани срабатывания при двухфазном КЗ в конце зоны

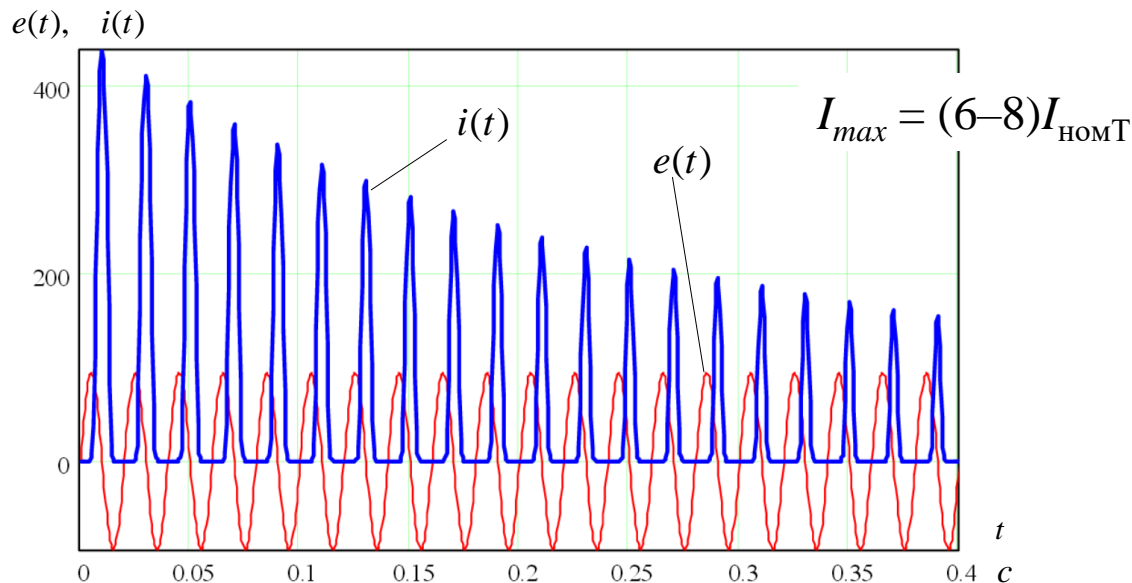
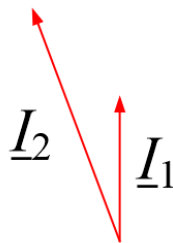
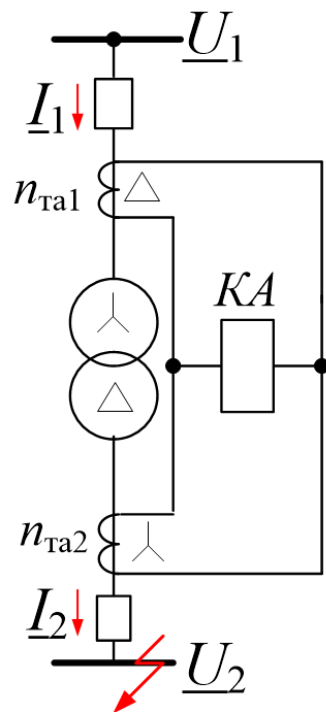
$$K_{\text{ч}} = I_{2\text{расч}} / I_{2C3} > 1.2$$

### 3. Дифференциальная защита трансформаторов

**Особенности дифференциальной защиты трансформаторов:**

- Учитывается различие коэффициентов трансформации ТА1 и ТА2;
- Учитывается соединение обмоток ВН и НН (звезда-треугольник);
- Выполняется блокировка при броске тока намагничивания.

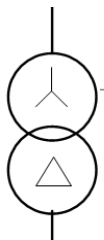
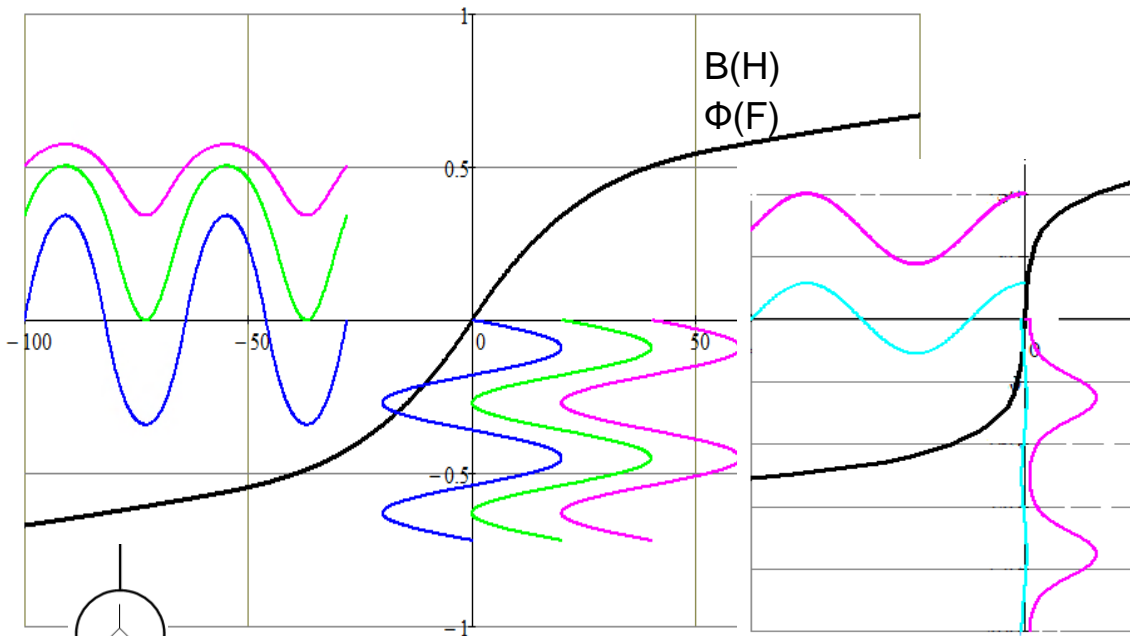
$$I_{сз} = (3-4)I_{номТ}$$



Бросок тока намагничивания при включении трансформатора на XX (одна фаза)

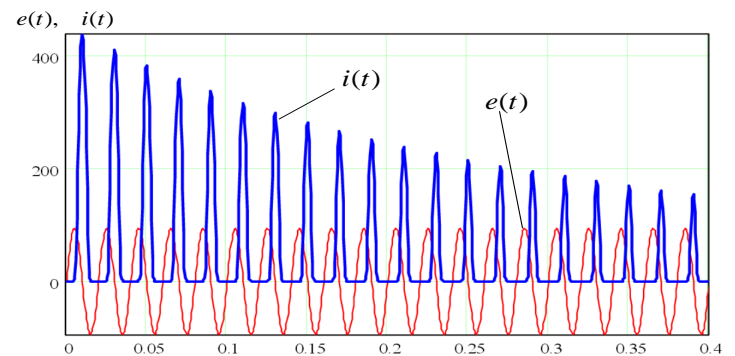
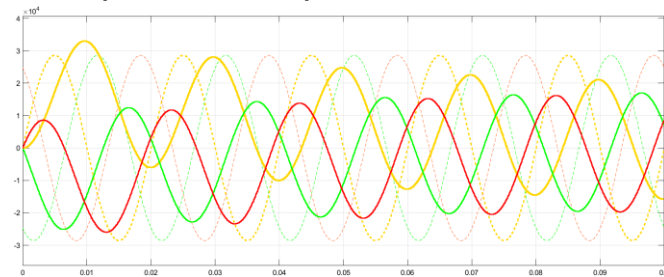
ПП длится несколько секунд

# Использование промежуточного НТТ



$$F = i_1 \cdot W_1 + i_2 \cdot W_2 + \dots + i_n \cdot W_n$$

## Переходный процесс в RL-цепи



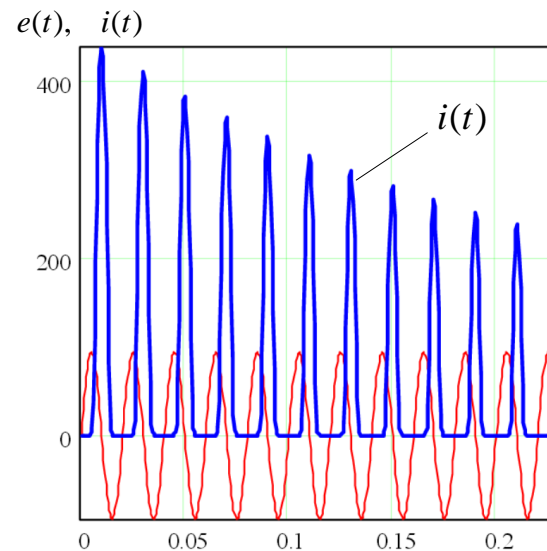
Бросок тока намагничивания при включении трансформатора на XX (одна фаза)

## Отстройка РЗ от броском тока намагничивания

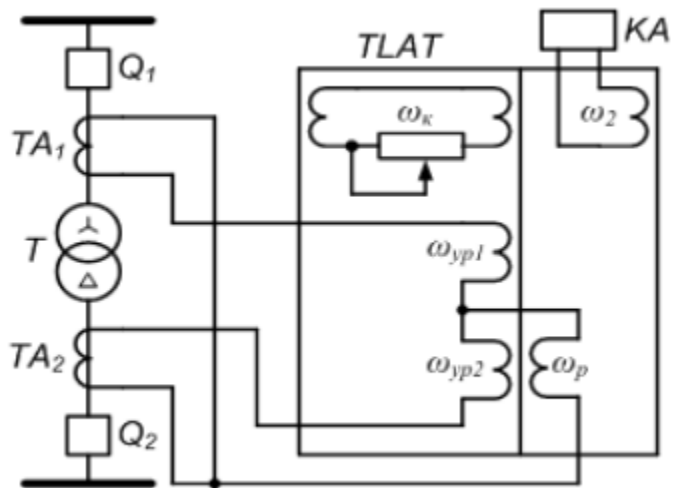
1. Заглубление РЗ по току срабатывания (с учетом времени действия РЗ: чем выше быстродействие защиты, тем выше ток срабатывания)
2. Использование промежуточного насыщающегося трансформатора тока (НТТ)
3. Использование торможения
4. Выявление различий форм тока и напряжения

$$I_{max} = (6-8)I_{НОМТ}$$

$$I_{CЗ} = (3-4)I_{НОМТ}$$



# Использование промежуточного НТТ



Насыщающийся трансформатор тока

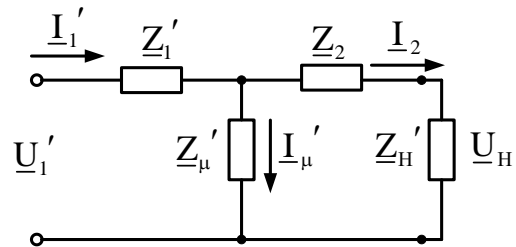
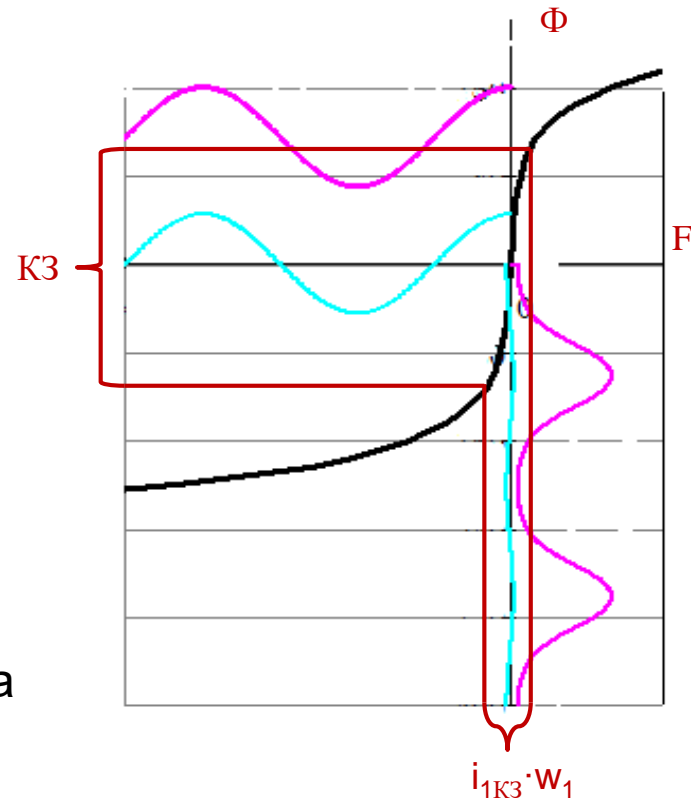
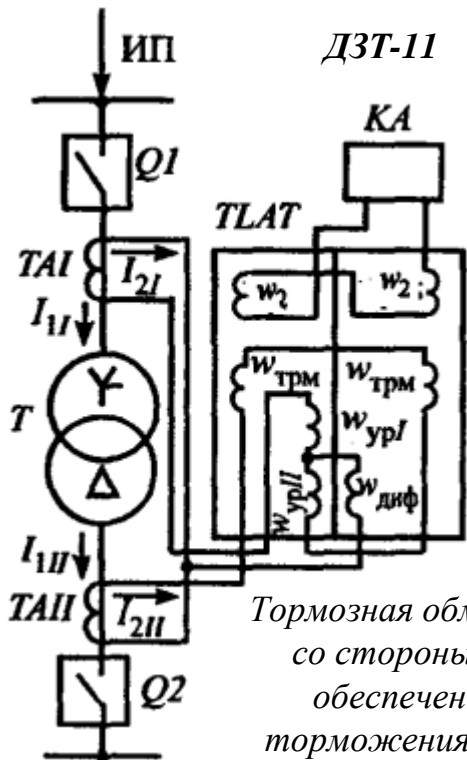


Схема замещения ТТ

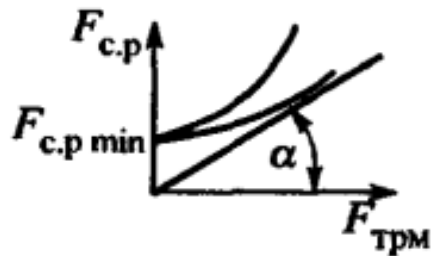


# Принципы торможения защиты

**Торможение** – автоматическое закручение уставки защиты при близком внешнем КЗ или броске тока намагничивания для предотвращения ложного срабатывания из-за насыщения трансформаторов тока



*Тормозная обмотка подключается со стороны потребителя для обеспечения минимального торможения в защищаемой зоне*



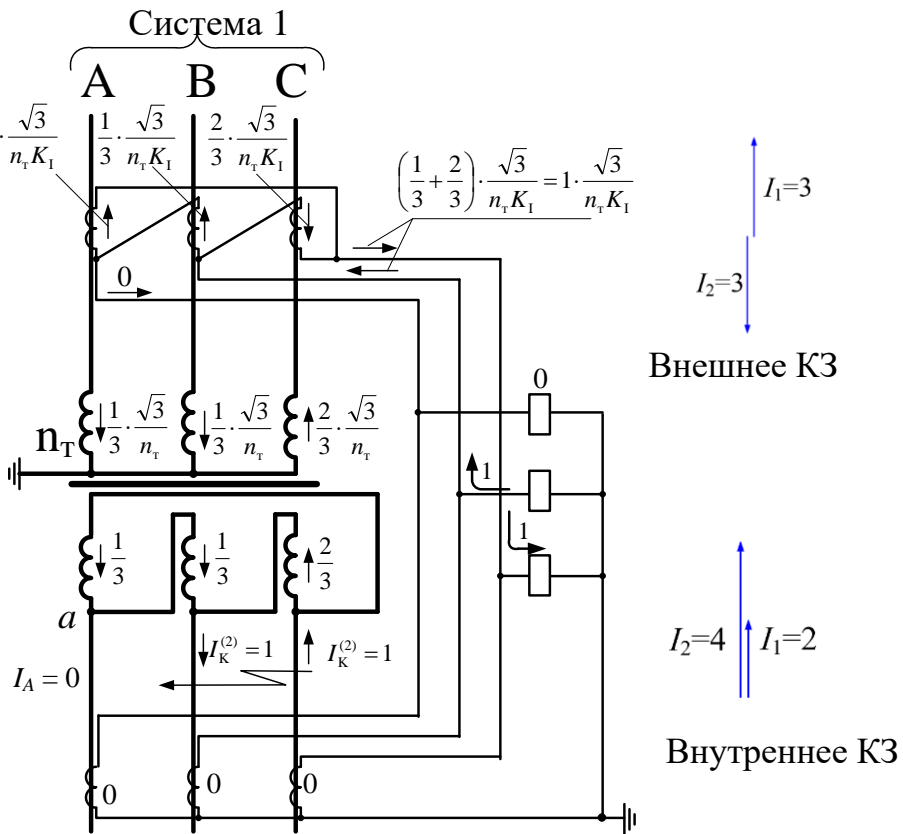
$$I_{C3min} \geq k_{отс} I_{T ном}$$

$$k_{отс} = 1,5$$

## Цифровые защиты:

торможение выполняется за счет выделения 2-ой гармоники в токе (теорема Фурье)

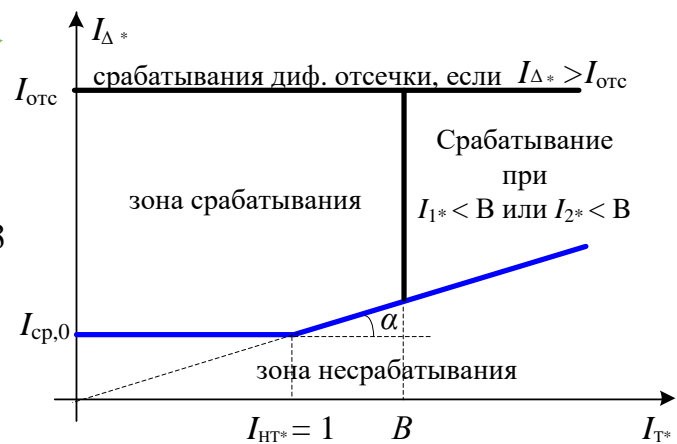
# Принципы торможения защиты



$$I_{\text{ср.,0}}=0.1-0.3$$

$$B = 1,5 - 3$$

$$I_{\text{отс}}=6-8$$



Характеристика срабатывания цифровой дифференциальной защиты

$I_{\text{T}^*}$  – тормозной ток,

$I_{\Delta^*}$  – дифференциальный ток

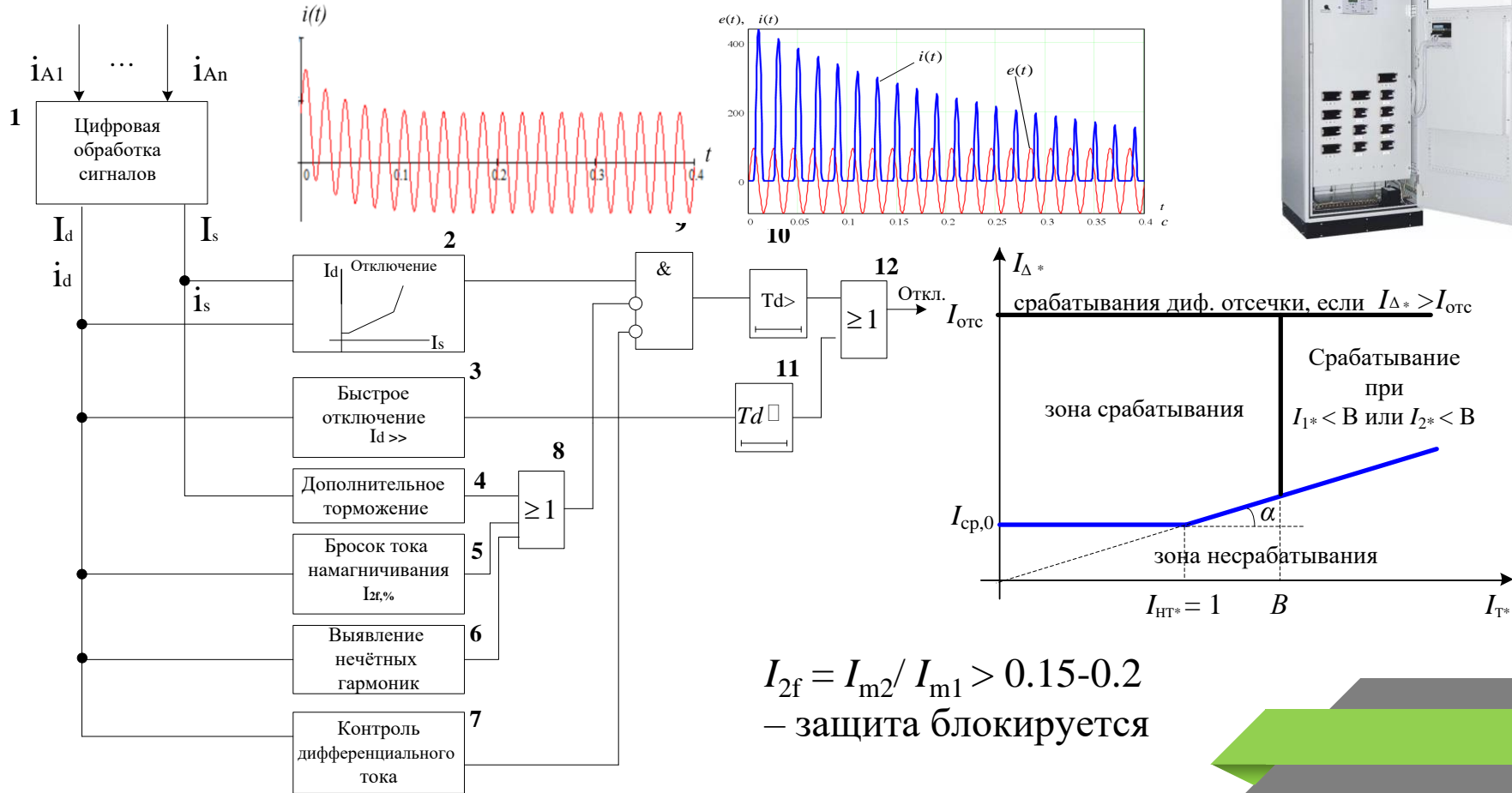
$$I_{\Delta} = \left| \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \right| \quad \text{дифференциальный ток}$$

$$I_T = \sqrt{|\dot{I}_1| \cdot |\dot{I}_2| \cos(\varphi)}, \quad \text{тормозной ток (НПП ЭКРА)}$$

$$I_T = 0 \quad \text{при } 90^\circ < \varphi < 270^\circ$$

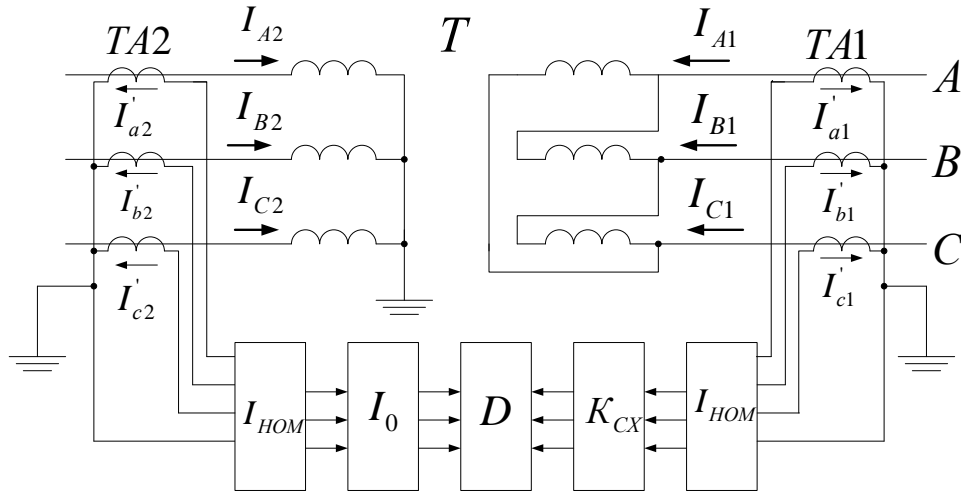
$$I_T = |\underline{I}_1| + |\underline{I}_2| \quad \text{тормозной ток (Сименс)}$$

# Структурная схема дифференциальной защиты Т





# Цифровая корректировка измеряемых фазных токов в ДЗ



Блоки  $I_{НОМ}$  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  $k_{НОМ1}$  и  $k_{НОМ2}$

$$k_{nom1} = \frac{\sqrt{3}I_{nomTA1}U_{nom1}}{S_{nom}}, k_{nom2} = \frac{\sqrt{3}I_{nomTA2}U_{nom2}}{S_{nom}}$$

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

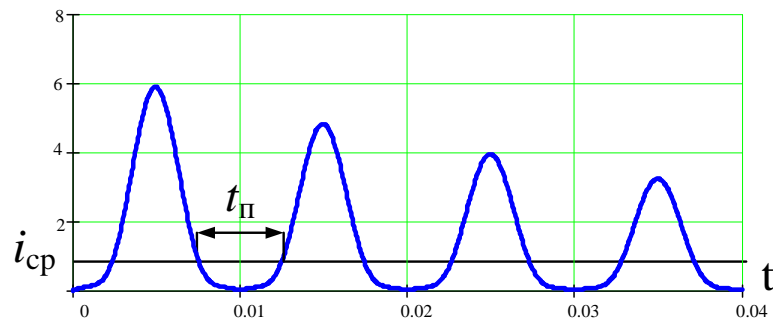
$D$  – измерительный элемент.

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

# Дифференциальная защита с реле ДЗТ-21

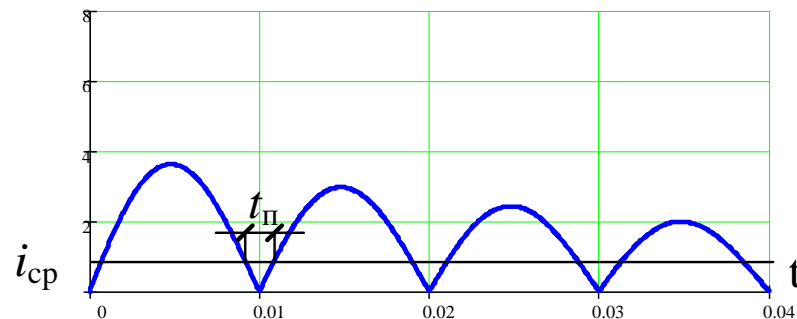
Торможение осуществляется за счет время-импульсного принципа – анализ длительности пауз  $t_{\Pi}$  в дифференциальном токе в сочетании с торможением от составляющей второй гармоники тока намагничивания:

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



Выпрямленный рабочий ток при броске тока намагничивания

$$I_{C3} = 0,3I_{Тном}$$



Выпрямленный рабочий ток при внутреннем КЗ

## Газовая защита трансформаторов

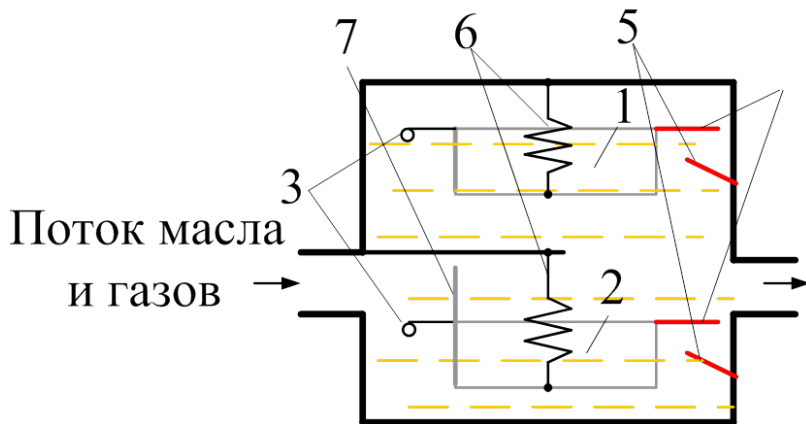
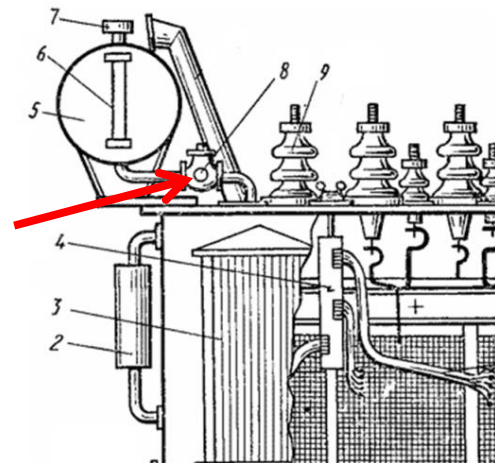
Газовое реле (РГЧЗ-66) устанавливается в маслопровод между баком и расширителем трансформатора.

Принцип действия - явление газообразования в баке трансформатора.

Обязательна для Т с  $S \geq 6,3$  МВА с масляной системой охлаждения.

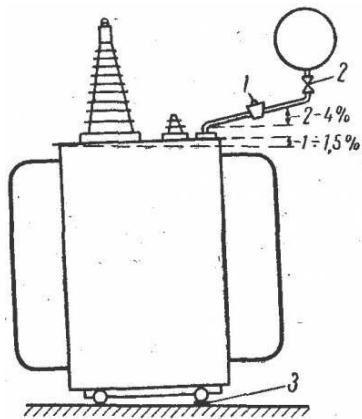
Реагирует на все виды повреждений внутри бака.

Возможны ложные срабатывания при попадании воздуха в бак.



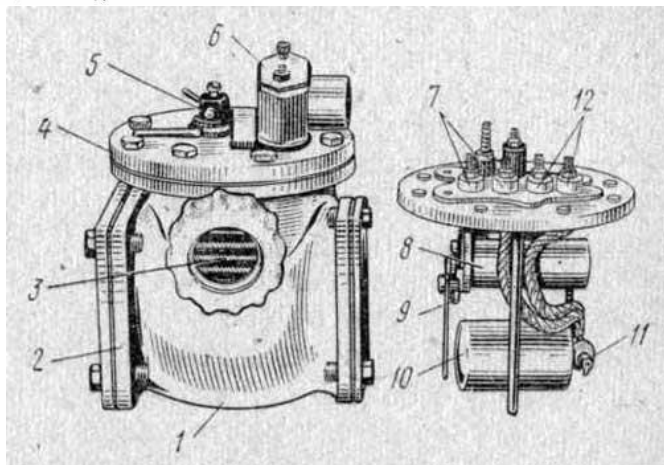
- 1, 2 – плоскодонные алюминиевые чашки,
- 3 – неподвижные оси,
- 4 – подвижные контакты,
- 5 – неподвижные контакты,
- 6 – пружины;
- 7 – лопасть.

# Установка газового реле



1 — газовое реле; 2 — кран;  
3 — подкладки для создания  
необходимого уклона

## Реле ПГ-22



1 — корпус, 2 — фланец, 3 — смотровое  
окно, 4 — крышка, 5 — кран для выпуска  
скопившихся в реле газов, 6 — коробка  
зажимов, 7 — зажимы цепи сигнализации,  
8 и 10 — верхний и нижний поплавки,  
9 — ртутный контакт цепи сигнализации,  
11 — ртутный контакт цепи отключения,  
12 — зажимы цепи отключения.

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Васильев Алексей Сергеевич  
*vasilevas@tpu.ru*

ТПУ – Томск 2022 г.



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ