

# **РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**2 семестр**

**КАЗАНЦЕВА ВЕРА ВИКТОРОВНА**

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Чернобровов Н. В. Релейная защита. – М.: Энергия, 1998.
2. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. М., «Энергия», 1976 г.
3. Беркович М.А. и Семёнов В.А. Основы техники и эксплуатации релейной защиты. Изд-е 5-е. М., «Энергия», 1971 г.
4. Кривенков В.В., Новелла В.Н. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. М., «Энергия», 1981 г.
5. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. 2-е изд. М., «Энергоатомиздат», 1986 г.
6. Гельфанд Я.Е. Релейная защита распределительных сетей. М., «Энергия», 1975 г.

# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.1. Повреждения и ненормальные режимы работы генераторов. Требования к защитам генераторов

### □ Повреждения обмотки статора

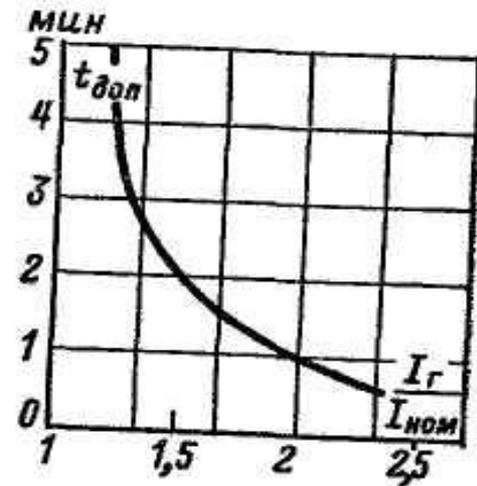
- Однофазные замыкания на землю
- Замыкания между витками

### □ Повреждения обмотки ротора

- Замыкание на землю в одной точке обмотки ротора
- Замыкании на землю в двух точках обмотки ротора (витковым замыканием обмотки ротора)

### □ Ненормальные режимы

- Перегрузка по току статора
- Перегрузка по току ротора
- Несимметричная перегрузка по току статора
- Повышение напряжения
- Асинхронный режим



# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

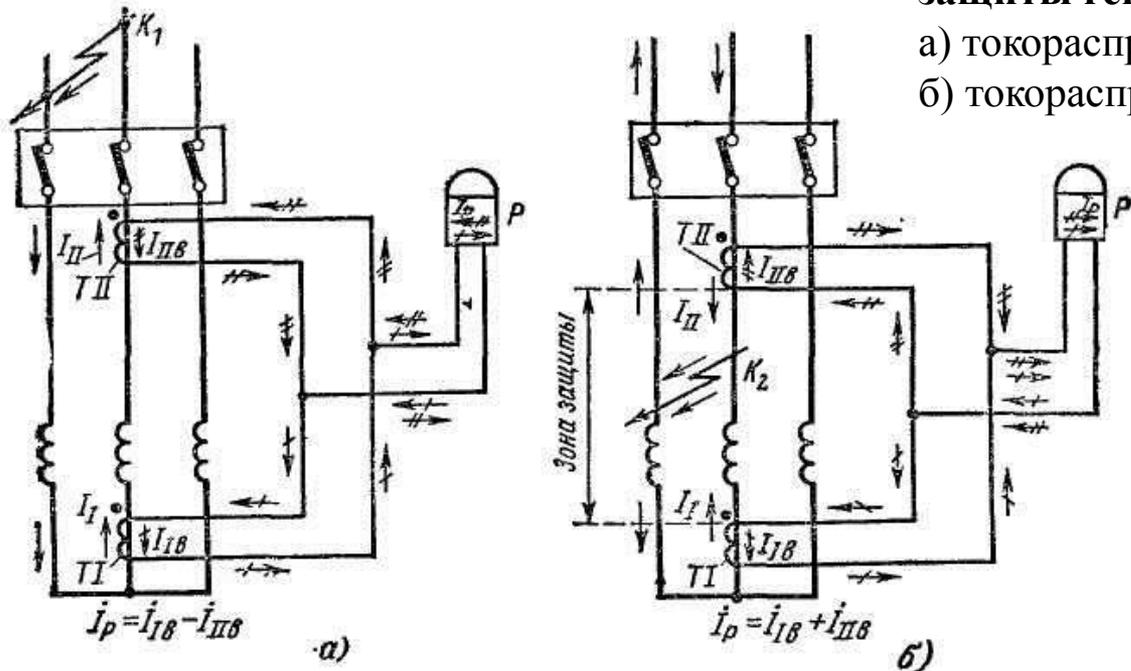
## 1.2. Продольная дифференциальная защита

Основной защитой генератора от междуфазных к.з. в обмотке статора генератора и на его выводах является продольная дифференциальная защита.

*Принцип действия продольной дифференциальной защиты основан на сравнении величин и фаз токов по концам защищаемой зоны.*

Рис.1. Принцип действия продольной диф. защиты генератора

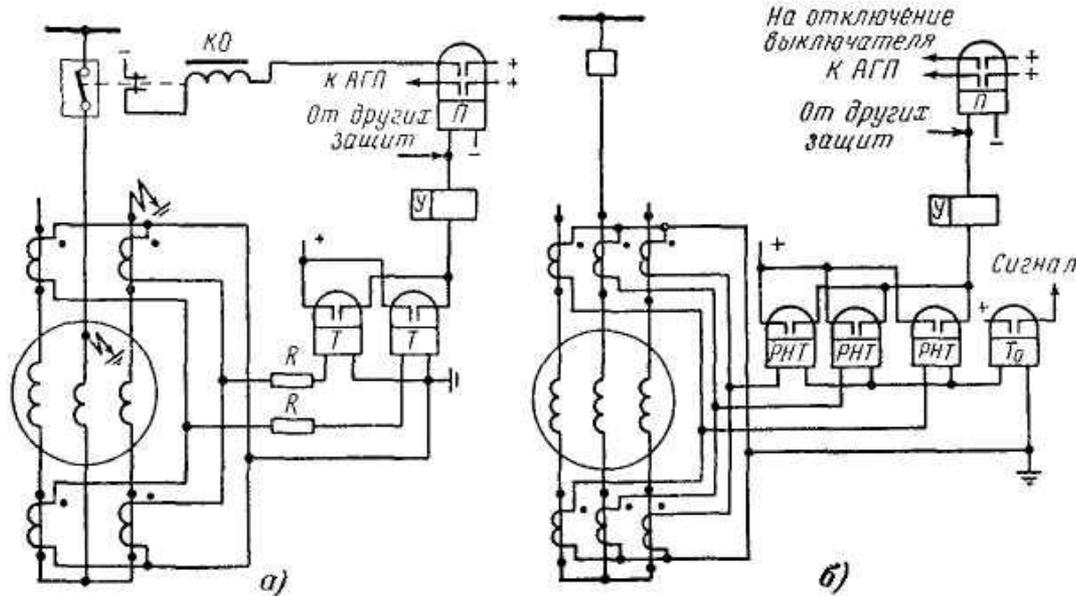
- а) токораспределение при внешнем к.з.
- б) токораспределение при к.з. в зоне.



$$I_{с.з.} = K_a \cdot K_{одн} \cdot f_i \cdot I_{к.з.макс.}$$

# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.2. Продольная дифференциальная защита



Ток срабатывания защиты выполненной с использованием реле тока **РТ-40** определяют по выражению:

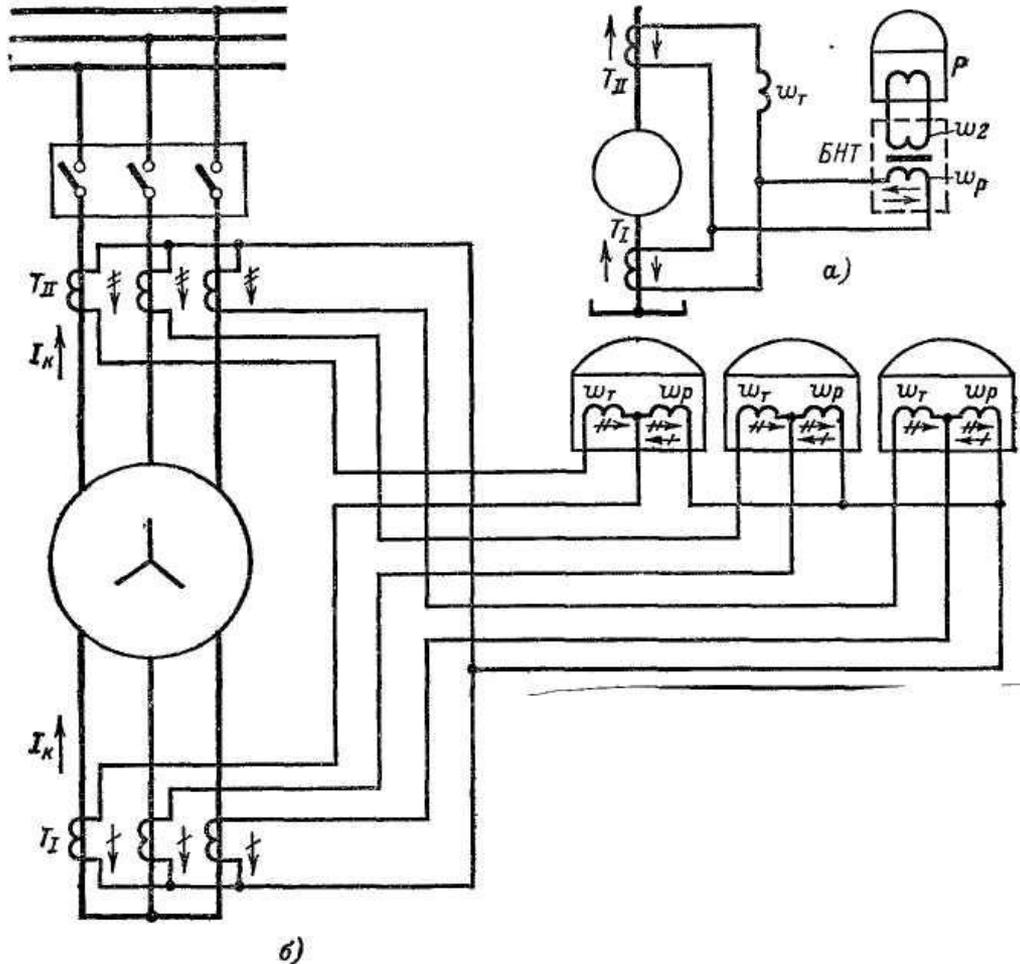
$$I_{с.з.} = 1,3 \cdot I_{Г.НОМ}$$

Ток срабатывания защиты выполненной с использованием реле тока **РНТ** определяют по выражению:

$$I_{с.з.} = (0,5 - 0,6) \cdot I_{Г.НОМ}$$

# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.2. Продольная дифференциальная защита



Упрощённая схема продольной диф. защиты генератора на реле ДЗТ

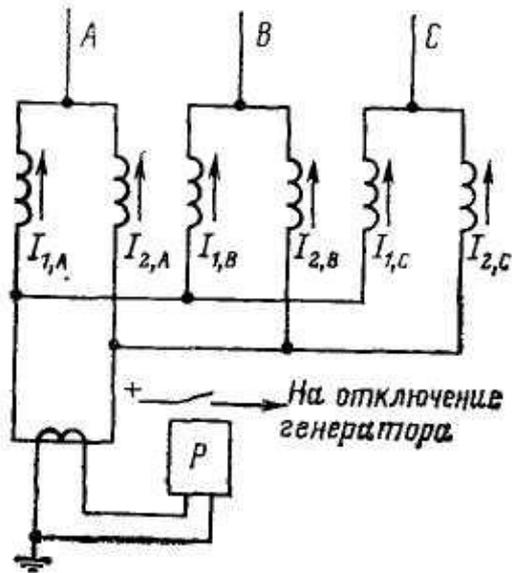
Ток срабатывания защиты выполненной с использованием реле тока ДЗТ определяют по выражению:

$$I_{с.з.} = (0,1 - 0,2) \cdot I_{Г.НОМ}$$

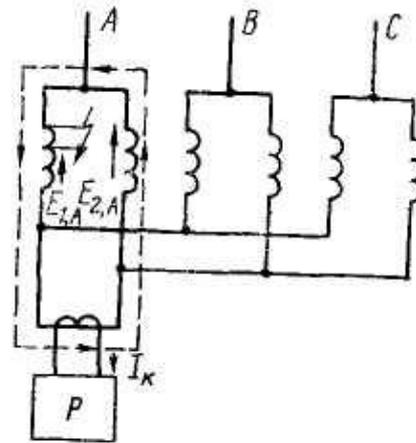
$$K_{ч} = \frac{I_{к.МИН}^{(2)}}{I_{с.з.}} \geq 2$$

# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.3. Поперечная дифференциальная защита



а)



б)

Поперечная односистемная диф. защита генератора

а) схема подключения

б) схема токораспределения

$$\Delta \dot{E} = \dot{E}_{2,A} - \dot{E}_{1,A}$$

$$I_k = \frac{\Delta \dot{E}}{X_{1A} + X_{2A}}$$

Ток срабатывания токового реле поперечной диф. защиты отстраивается от максимального тока небаланса, который может проходить в реле при внешних к.з. и принимается равным:

$$I_{с.з.} = (0,2 - 0,3) \cdot I_{НОМ}$$

# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.4. Защита от однофазных замыканий на землю в цепи статора генератора

Ток в месте однофазного замыкания на землю при замыкании на главных выводах обмотки статора генератора равен:

$$I_3 = \frac{3U_\phi}{X_c}$$

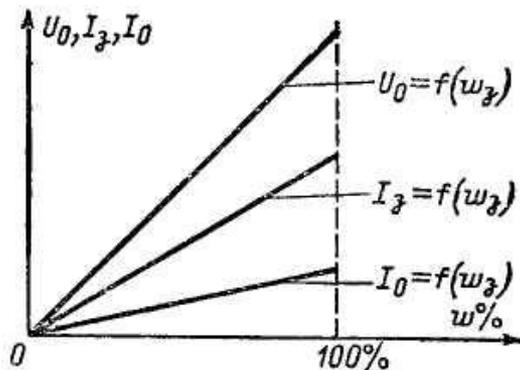
Если замыкание на землю возникает на расстоянии  $W$  витков от нулевой точки генератора, то ток в месте замыкания будет равен:

$$I_3 = \frac{3U_\phi \frac{\omega}{\omega_\Sigma}}{X_c} = 3U_\phi \cdot \frac{\omega}{\omega_\Sigma} \cdot 2\pi f C$$

Ток замыкания на землю равен  $3I_0$  и пропорционален напряжению нулевой последовательности  $U_0$ , т.е.:

$$I_3 = 3I_0 = 3 \frac{U_0}{X_c} = 3 \frac{U_\phi}{X_c} \cdot \frac{\omega}{\omega_\Sigma}$$

Зависимость  $U_0$ ,  $I_0$ ,  $I_3$  от числа замкнувшихся витков обмотки статора генератора.



Результирующий ток будет равен:

$$I_3 = \frac{3U_0}{X_c} - \frac{3U_0}{X_L} = 3U_\phi \frac{W\%}{100} \cdot \left( \frac{1}{X_c} - \frac{1}{X_L} \right)$$

# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.4. Защита от однофазных замыканий на землю в цепи статора генератора

Защита от замыканий на землю  
а) с обычными ТТ      б) с ТНП

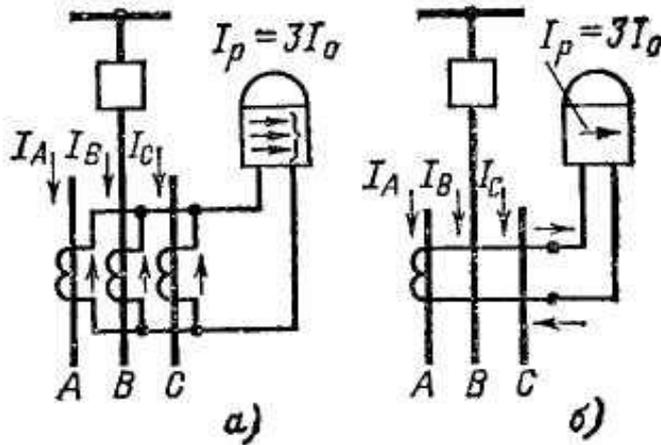
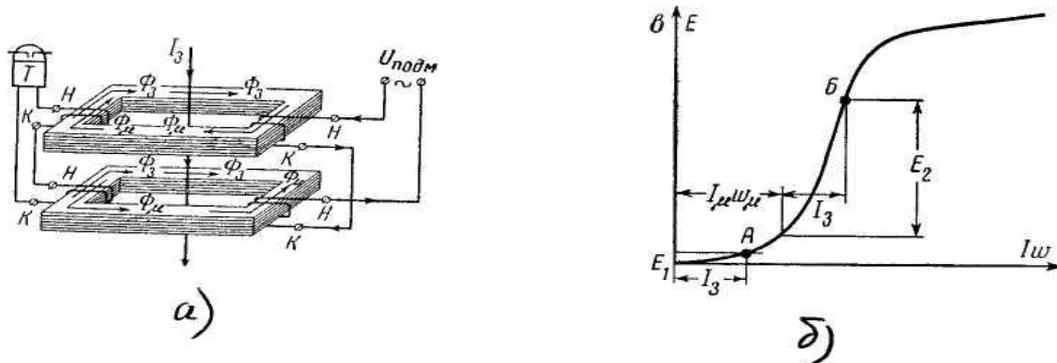
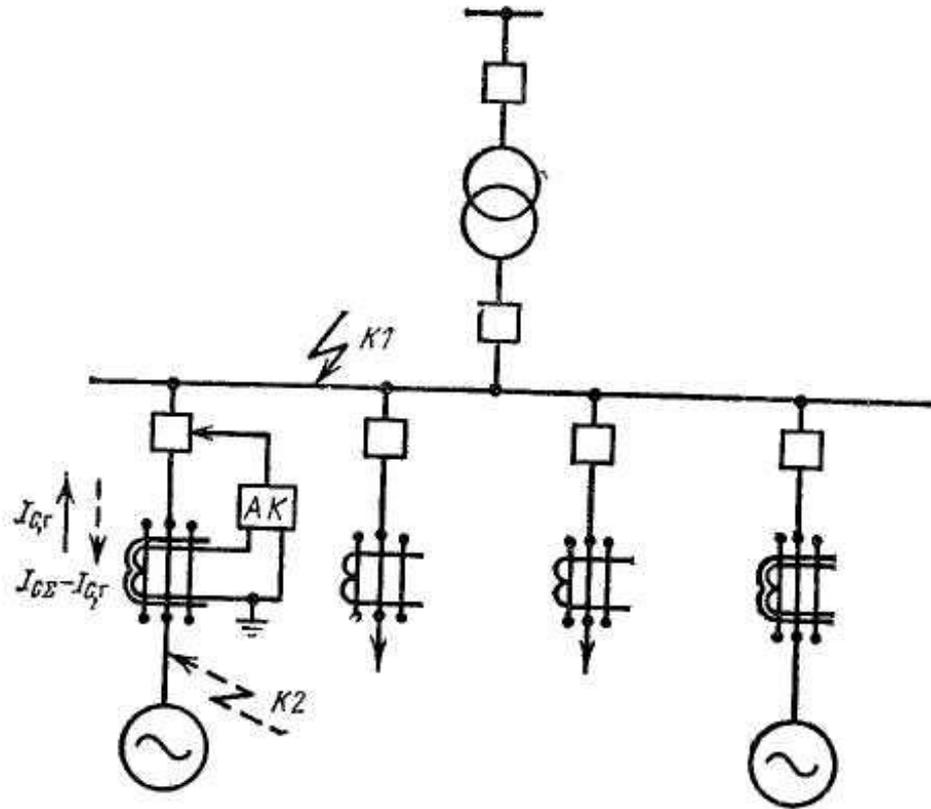


Схема включения обмоток (а) и характеристика намагничивания ТНП (б)



# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

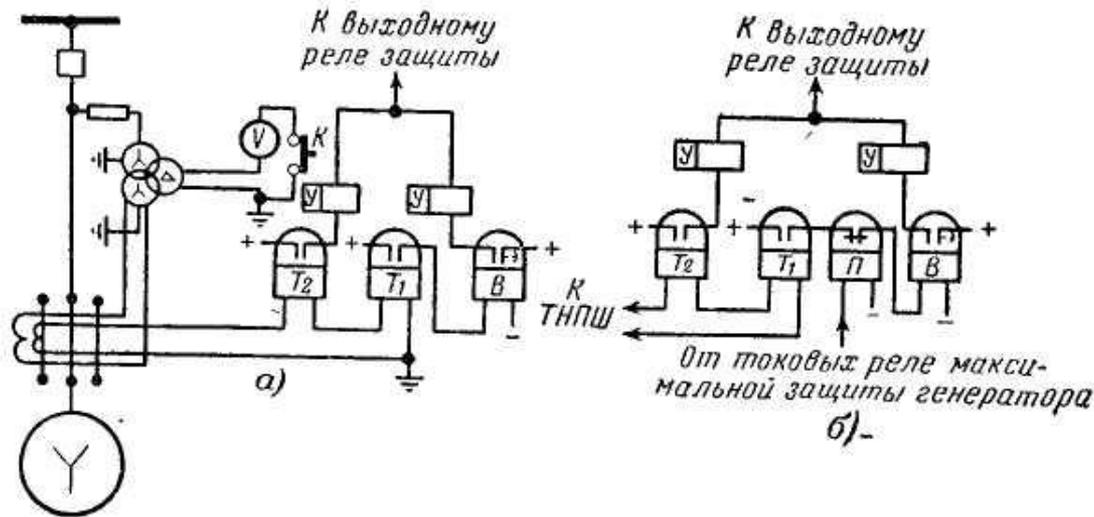
## 1.4. Защита от однофазных замыканий на землю в цепи статора генератора



# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.4. Защита от однофазных замыканий на землю в цепи статора генератора

Схема защиты обмотки статора генератора от замыканий на землю



**Ток срабатывания первой ступени защиты (чувствительного реле) должен удовлетворять следующим условиям:**

- ✓ быть не выше **5А**, чтобы обеспечить отключение генератора при токах замыкания
- ✓ быть больше тока небаланса, проходящего через **ТНП** при внешнем 2-х фазном к.з.

$$I_{с.з.} = \frac{1}{K_B} (K_{н1} I_{с.г.} + K_{н2} I_{нб.})$$

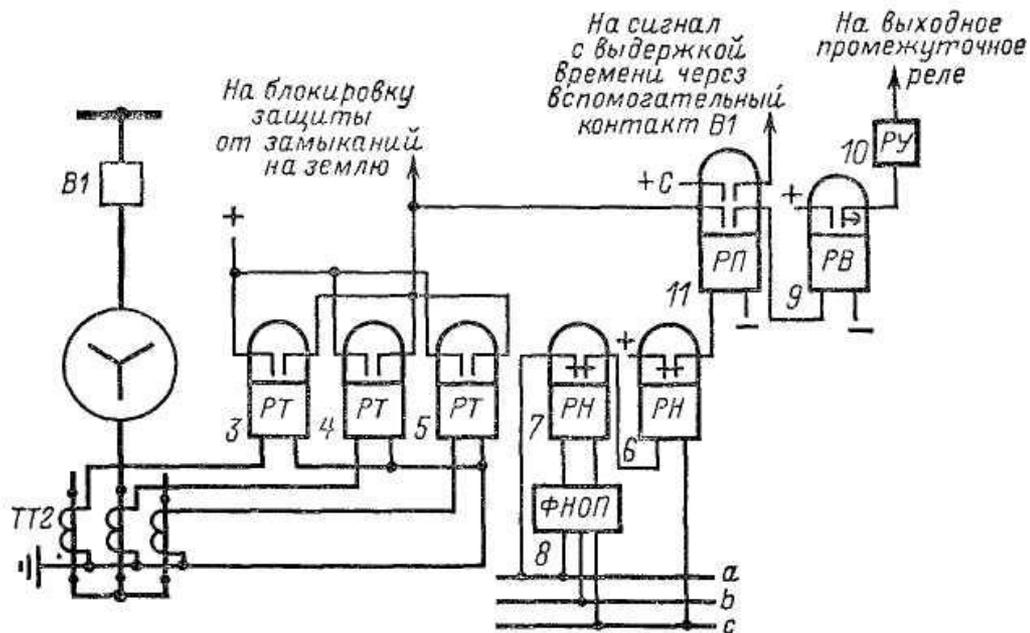
**Ток срабатывания второй (грубой) ступени защиты** должен превышать максимальное значение броска тока в реле при внешних повреждениях (отстраивается от бросков ёмкостного тока при внешнем к.з. с учётом тока небаланса **ТНП**:

$$I_{с.з.} \geq K_{н1} I_{с.г.} + K_{н2} I_{нб. макс}$$

# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.5. Токовые защиты генератора от внешних к.з. и перегрузок

Максимальная токовая защита от внешних к.з. с блокировкой (пуском) по напряжению



**Ток срабатывания** токовых реле отстраивается от номинального тока генератора:

$$I_{с.з.} = \frac{K_H}{K_B} I_{НОМ.Г.}$$

**Напряжение срабатывания** минимального реле напряжения отстраивается от минимального эксплуатационного напряжения:

$$U_{с.з.} = \frac{U_{МИН}}{K_H K_B}$$

Выдержка времени защиты:  $t_{с.з.} = t_{прис} + \Delta t$

Чувствительность защиты определяется по току:  $K_{ч} = \frac{I_{к.МИН}}{I_{с.з.}}$

По напряжению для реле минимального напряжения:  $K_{ч} = \frac{U_B}{U_{к. макс.}}$

# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.5. Токовые защиты генератора от внешних к.з. и перегрузок Максимальная токовая защита от перегрузок

Ток срабатывания реле защиты от симметричных перегрузок выбирается по выражению:

$$I_{с.з.} = \frac{K_H}{K_B} I_{НОМ.Г}$$

Ток срабатывания реле защиты от несимметричных перегрузок определяется по формуле:

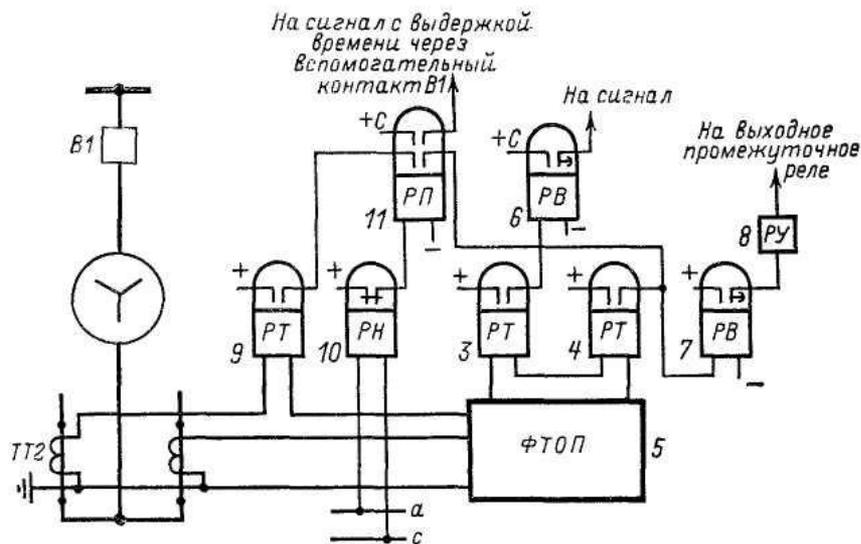
$$I_{с.з.} \geq \frac{K_H}{K_B} (I_{нб.расч} + I_{2.доп})$$

# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.5. Токовые защиты генератора от внешних к.з. и перегрузок

### Токовая защита обратной последовательности

Токовая защита обратной последовательности и максимальная токовая защита с пуском по напряжению.



Ток срабатывания реле РТ4 принимается равным:  $I_{с.з.} = (0,3 \div 0,7) I_{ном.г}$



# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.5. Токовые защиты генератора от внешних к.з. и перегрузок Токовая защита обратной последовательности

При выборе уставок ступенчатой токовой защиты обратной последовательности используют тепловую характеристику ротора генератора :

$$t_{\text{доп}} = \frac{A}{I_{2*}^2}$$

**Ток срабатывания первой ступени** должен обеспечивать надёжное действие защиты при 2-х фазных к.з. на выводах генератора:

$$I_{\text{с.р1}} = \frac{I_{2K}^{(2)}}{K_{\text{ч}}} \quad I_{*2K}^{(2)} = \frac{1}{X_d + X_2}$$

Выдержка времени первой ступени не должна превышать допустимого времени нагрева ротора при к.з. на выводах генератора:

$$t_{\text{с.з.3}} \leq t_{\text{доп}} = \frac{A}{\left(I_{2* \text{ макс}}^{(2)}\right)^2}$$

**Ток срабатывания второй ступени** выбирается из условия достаточной чувствительности для резервирования смежных присоединений, отходящих от шин генераторного напряжения:

$$I_{\text{с.з.3}} = \frac{I_{2K}}{K_{\text{ч}}}$$

Выдержка времени второй ступени должна равняться  $t_{\text{доп}}$  при  $I_{2*} = I_{\text{с.з.1}}$ , т.е.:

$$t_{\text{с.з.2}} = \frac{A}{I_{\text{с.з.1}*}^2}$$

**Ток срабатывания третьей ступени** выбирают исходя из её назначения – отключать генератор при токах  $I_2$  с  $t_{\text{доп}} \leq 2 \div 3$  мин.

$$I_{\text{с.з.3}} = \sqrt{\frac{A}{120}}$$

Выдержка времени третьей ступени выбирается по  $t_{\text{доп}}$  при  $I_{2*} = I_{\text{с.з.2}}$  (точка 2)

$$t_{\text{с.з.3}} = \frac{A}{I_{\text{с.з.2}}^2}$$

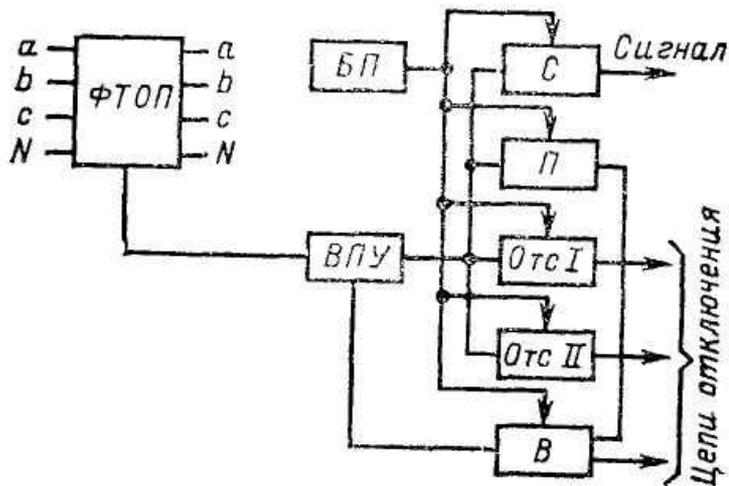
Четвертая ступень должна действовать на сигнал при токе  $I_2 > I_{2 \text{ длит. доп.}}$

$$I_{\text{с.з.4}} = (0,05 \div 0,1) I_{\text{ном.г}}$$

# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.5. Токовые защиты генератора от внешних к.з. и перегрузок Токовая защита обратной последовательности

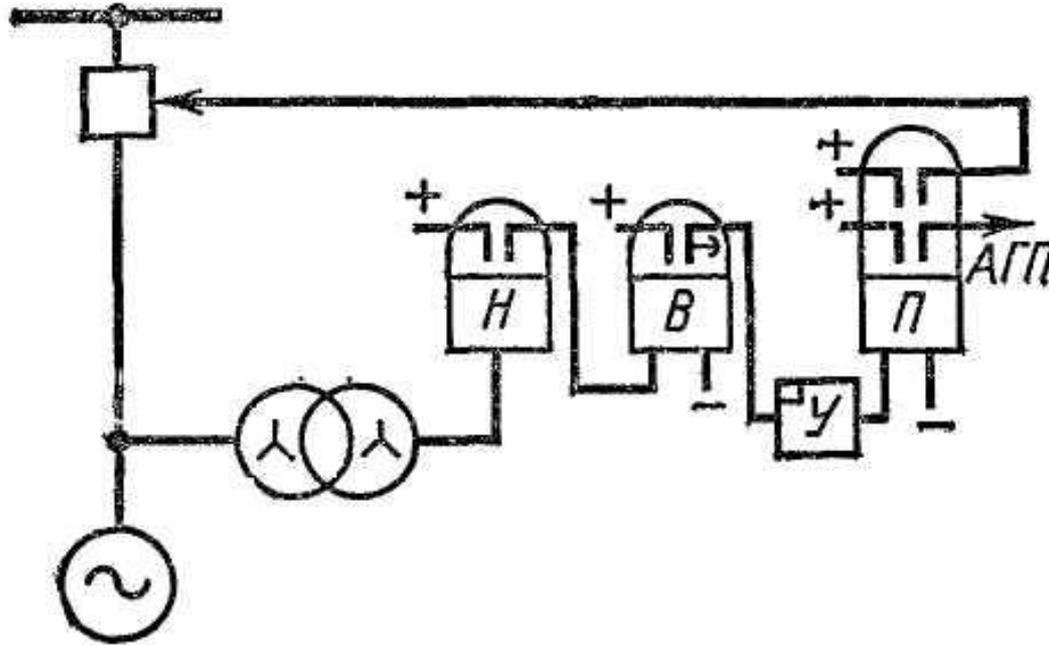
Структурная схема фильтр-реле РТФ-6м



ФТОП – фильтр токов обратной последовательности;  
ВПУ – входное преобразовательное устройство;  
С – сигнальный орган;  
П – пусковой орган;  
В – интегральный орган;  
БП – блок питания.

# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.6. Защита от повышения напряжения



Первичное напряжение срабатывания защиты:  $U_{с.з.} = 1,2U_{ном.г.}$

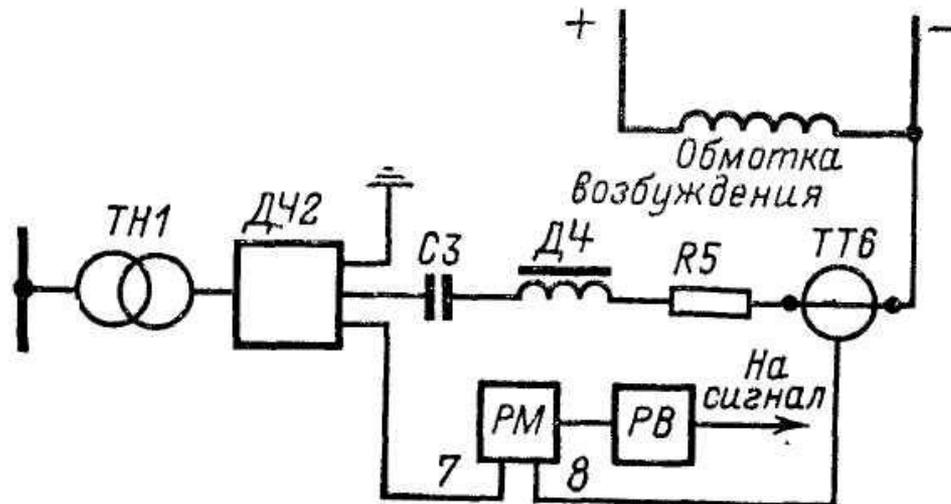
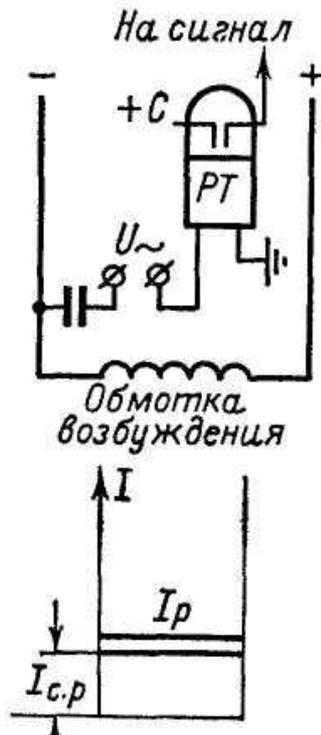
$t_{с.з.} = 0,5-1с.$

# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.7. Защиты ротора

### Защита обмотки ротора от замыкания на землю в одной точке

Принцип выполнения и структурная схема защиты от замыканий на землю в одной точке цепи возбуждения с наложенным переменным напряжением.

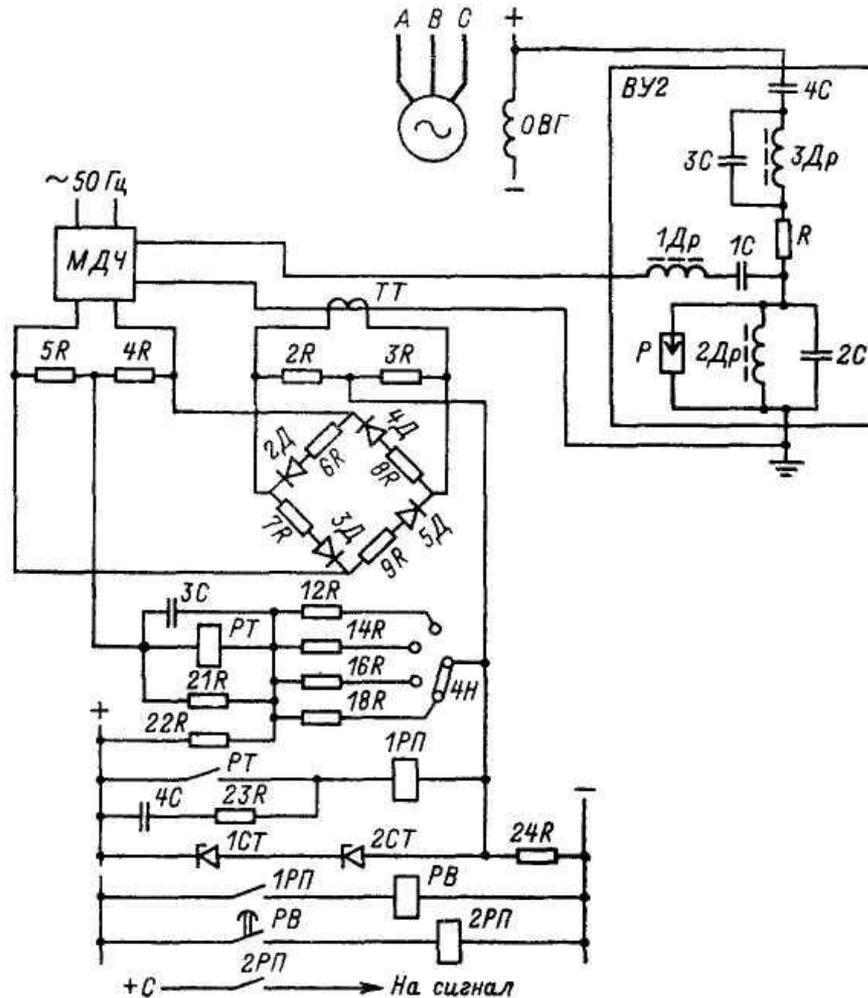


# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.7. Защиты ротора

Защита обмотки ротора от замыкания на землю в одной точке

Принципиальная схема защиты КЗР-3.

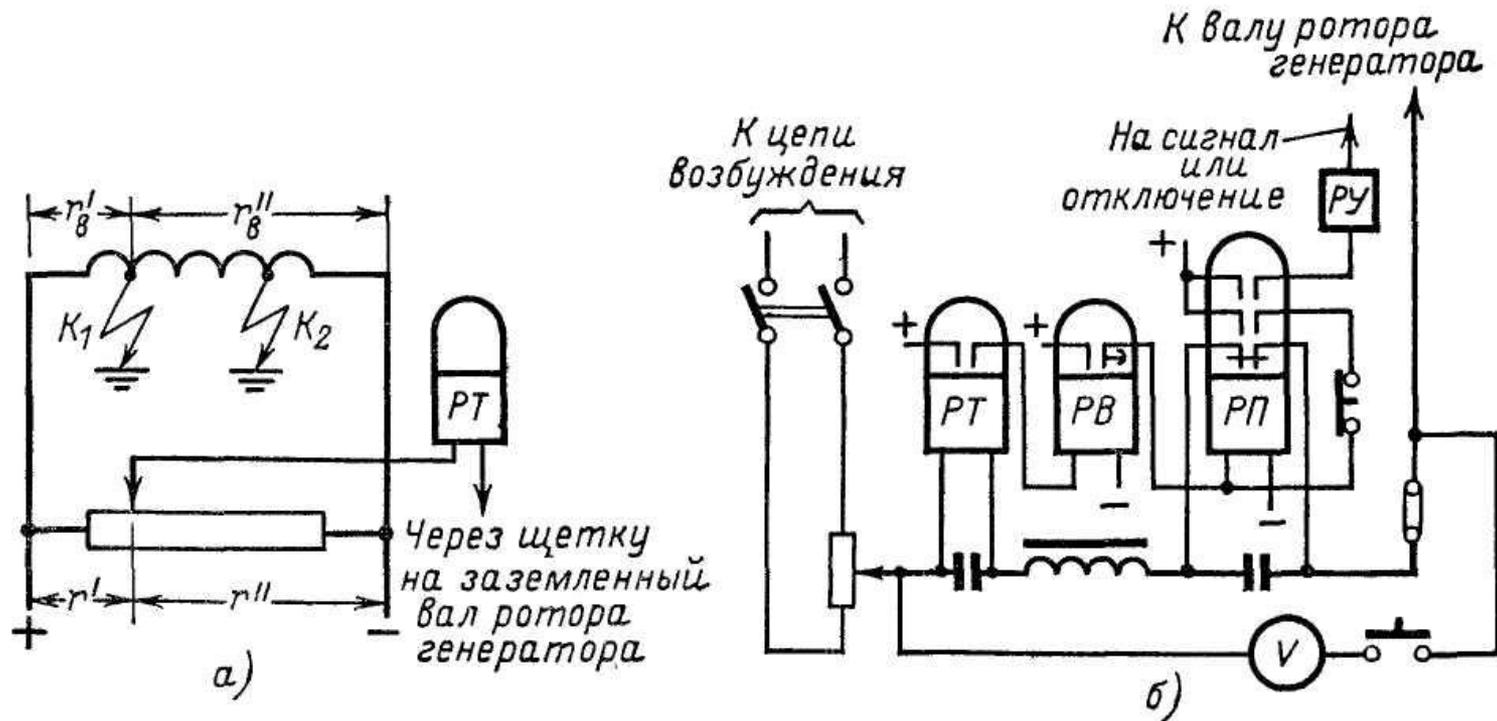


# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.7. Защиты ротора

### Защита от замыкания на землю во второй точке цепи возбуждения

Защита от замыканий на землю: а) принцип работы б) схема.

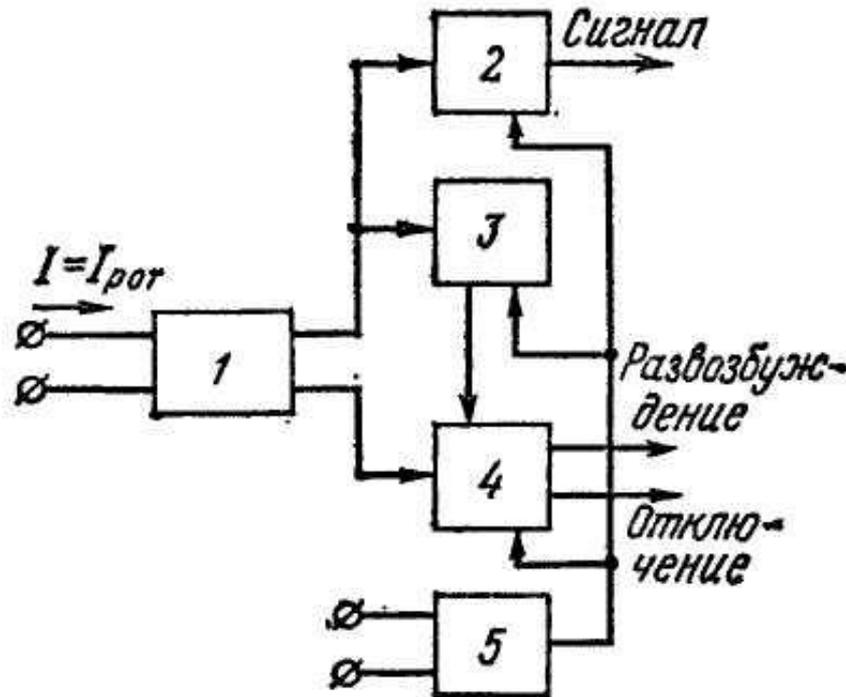


# 1. ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

## 1.7. Защиты ротора

### Защита ротора от перегрузки

Структурная схема защиты ротора от перегрузки  
типа РЗР-1



перегрузочной характеристики ротора

$$t_3 = t_{доп} = \frac{B}{I_{*рот}^n - 1}$$

$$I_{*рот} = \frac{I_{рот}}{I_{рот.ном}}$$

## 2. ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

### 2.1. Повреждения и ненормальные режимы работы. Назначение и основные виды защит.

*В соответствии с «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) для трансформаторов (автотрансформаторов) должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от следующих видов повреждений:*

- Междуфазных к.з. в обмотках и на выводах.
- Однофазных к.з. в обмотке и на выводах, присоединенных к сети с глухозаземленной нейтралью.
- Витковых замыканий в обмотках.
- Сверхтоков внешних к.з.
- Перегрузки.
- Понижения уровня масла.
- Пробоя изоляции вводов (для трансформаторов с вводами 500 кВ).
- Однофазных замыканий на землю на стороне сети с напряжением 6-35 кВ с изолированной нейтралью.

*Защиты трансформаторов и автотрансформаторов должны выполнять следующие функции:*

- отключать трансформатор (автотрансформатор) от источников питания при его повреждении;
- отключать трансформатор (автотрансформатор) от поврежденной части сети при прохождении через него сверхтоков внешних к.з.;
- подавать сигнал дежурному персоналу при ненормальных режимах работы трансформатора (автотрансформатора) – при перегрузках, выделении из масла газа, понижении уровня масла, повышении температуры.

## 2. ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

### 2.1. Повреждения и ненормальные режимы работы. Назначение и основные виды защит.

В соответствии с назначением для защиты трансформаторов и автотрансформаторов при их повреждениях и ненормальных режимах работы *применяются следующие виды защит:*

- *Дифференциальная защита* для защиты от повреждений обмоток, вводов и ошиновок.
- *Токовая отсечка* мгновенного действия для защиты от повреждений ошиновок, вводов и части обмотки со стороны источника питания.
- *Газовая защита* для защиты от повреждений внутри бака трансформатора (автотрансформатора), сопровождающихся выделением из масла газа.
- *Максимальная токовая защита* для защиты от сверхтоков проходящих через трансформатор (автотрансформатор) при повреждениях как самого трансформатора, так и смежных элементов сети, связанных с ним.
- *Защита от замыканий на корпус.*
- *Защита от перегрузки.*
- *Защита от повышения напряжения.*

## 2. ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

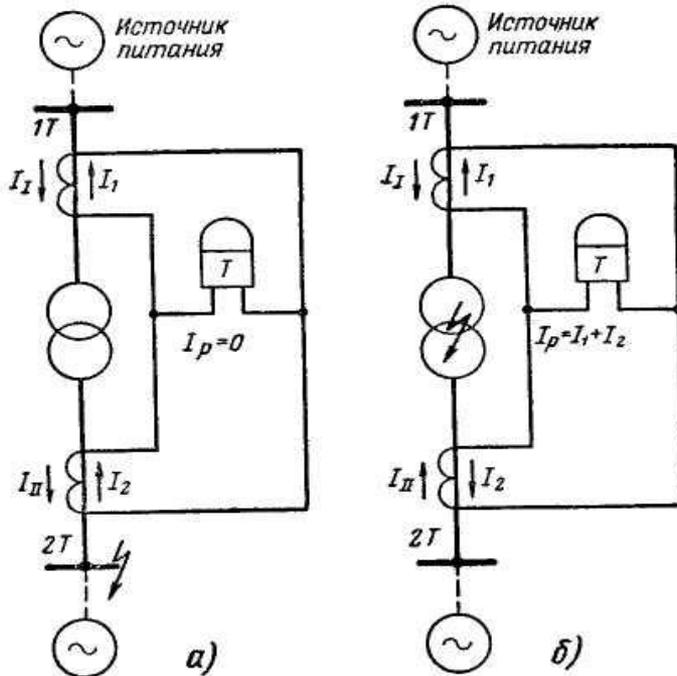
### 2.2. Дифференциальная защита

**Продольная дифференциальная защита** является основной быстродействующей защитой мощных трансформаторов и автотрансформаторов от внутренних повреждений (от междуфазных к. з., замыканий на землю и от витковых замыканий).

Принцип действия диф. защиты трансформатора

а) токораспределение при сквозном к.з.

б) токораспределение при к.з. в трансформаторе



**Принцип действия дифференциальной защиты трансформаторов основан на сравнении величины и направления (фазы) токов по концам защищаемого элемента (трансформатора).**

- $I_p = I_1 - I_2 = 0$  т.к.  $I_1 = I_2$
- $I_p = I_1 - I_2 = I_{нб}$
- $I_{с.з.} > I_{нб}$
- $I_p = I_1 + I_2 > I_{с.з.}$

## 2. ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

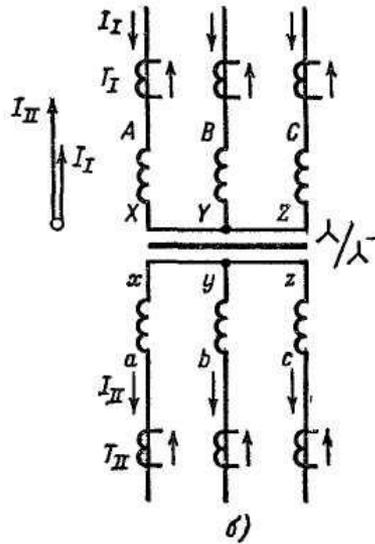
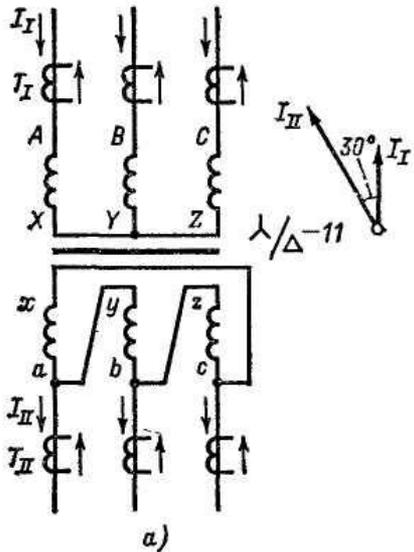
### 2.2. Дифференциальная защита

#### Особенности выполнения диф. защит трансформаторов

При выполнении диф.защит трансформаторов и автотрансформаторов необходимо учитывать следующее:

□ Первичные токи обмоток трансформатора не равны по величине.  $N = \frac{I_{II}}{I_I}$

□ В трансформаторах с соединением обмоток «звезда-треугольник» (Y/Δ) и «треугольник-звезда» (Δ/Y) первичные токи обмоток трансформатора различаются не только по величине, но и по фазе.



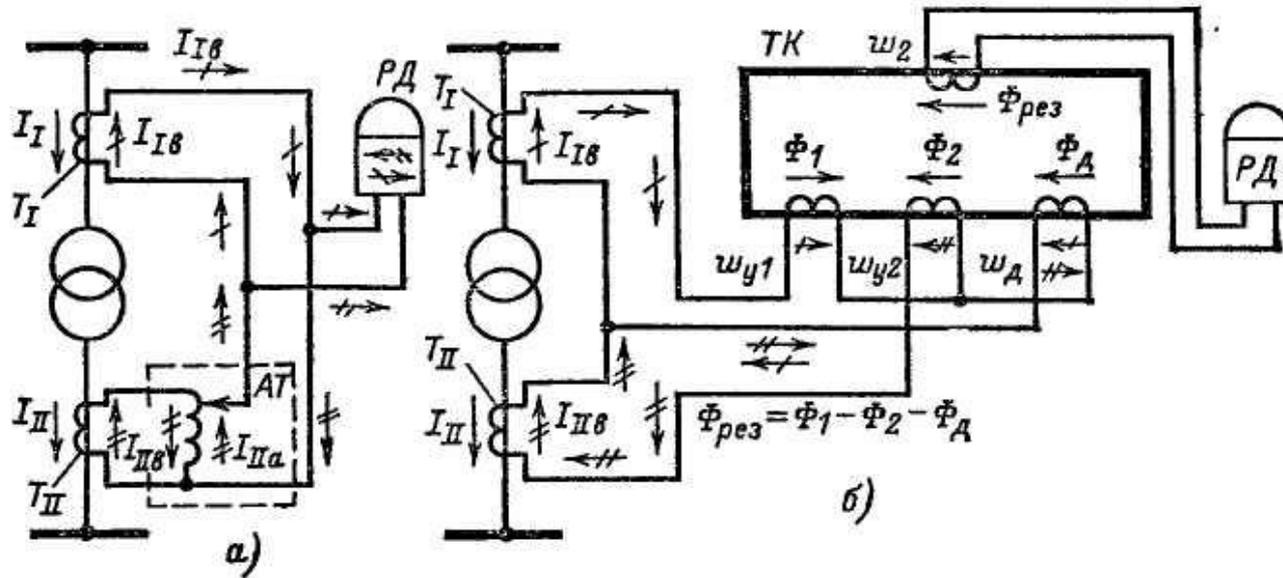
Чтобы поступающие в реле диф. защиты трансформатора токи были равны, **необходимо применять специальные меры по выравниванию вторичных токов трансформаторов тока как по величине так и по фазе.**

## 2. ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

### 2.2. Дифференциальная защита

#### Особенности выполнения диф. защит трансформаторов

**Выравнивание величин вторичных токов** в плечах диф. защиты выполняется подбором соответствующих коэффициентов трансформаторов тока диф. защиты или применением специальных трансформаторов (автотрансформаторов) компенсирующих различие во вторичных токах трансформаторов тока.



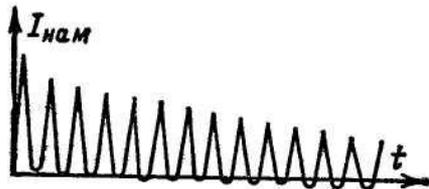
## 2. ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

### 2.2. Дифференциальная защита

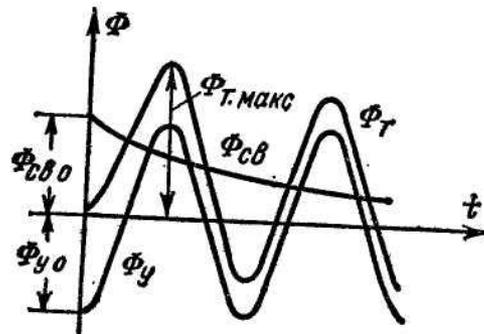
#### Токи небаланса в дифференциальных защитах трансформаторов

В нормальном режиме (силовой трансформатор под напряжением) ток намагничивания имеет незначительную величину:  $I_{\text{нам}} = (0,02 \div 0,03) I_{\text{т.ном}}$ .

В режимах включения силового трансформатора под напряжение и после отключения внешнего к.з. бросок тока намагничивания (значительно превышает номинальный ток трансформатора):  $I_{\text{бр. нам}} = (6 \div 7) I_{\text{т.ном}}$ .



а)



б)

В общем случае суммарный расчётный ток небаланса имеет несколько слагающих:

$$I_{\text{нб}} = I_{\text{нб.тг}} + I_{\text{нб.рег.}} + I_{\text{нб.выр.}} + I_{\text{нб.нам.}}$$

Полный ток небаланса будет равен:

$$I_{\text{нб}} = (K_a \cdot K_{\text{одн}} \cdot f + \Delta U_{\text{рег}} + \Delta f_{\text{выр}}) I_{\text{к.макс}} + I_{\text{нам}}$$

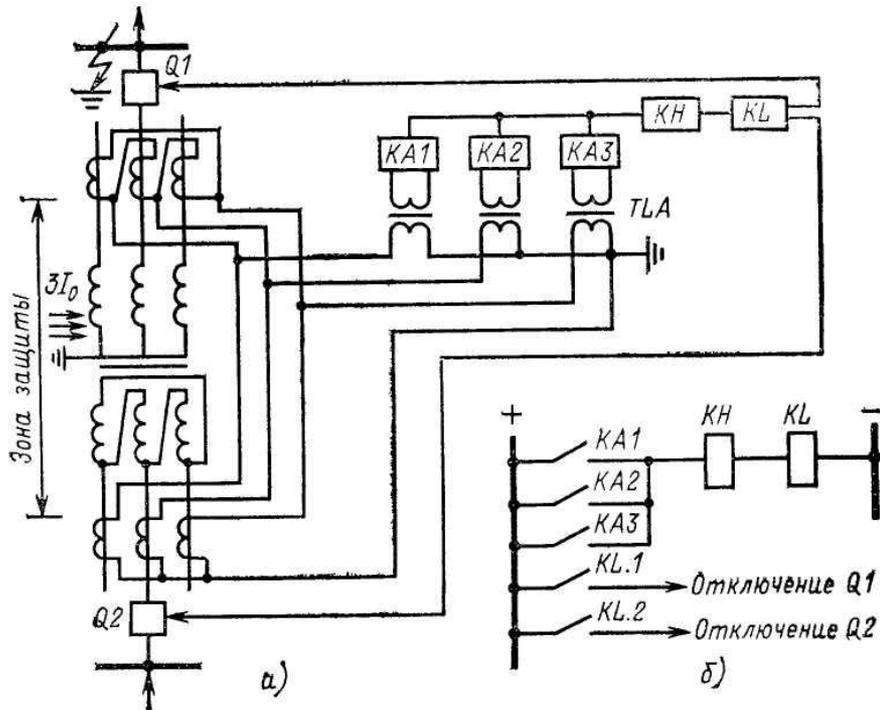


## 2. ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

### 2.2. Дифференциальная защита

#### Схемы дифференциальных защит трансформатора

Диф. защита двухобмоточного трансформатора с использованием БНТ



Практически ток срабатывания диф. защиты трансформаторов без РПН выбирают равным:

$$I_{с.з.} = (1 \div 2) I_{ном.Т.}$$

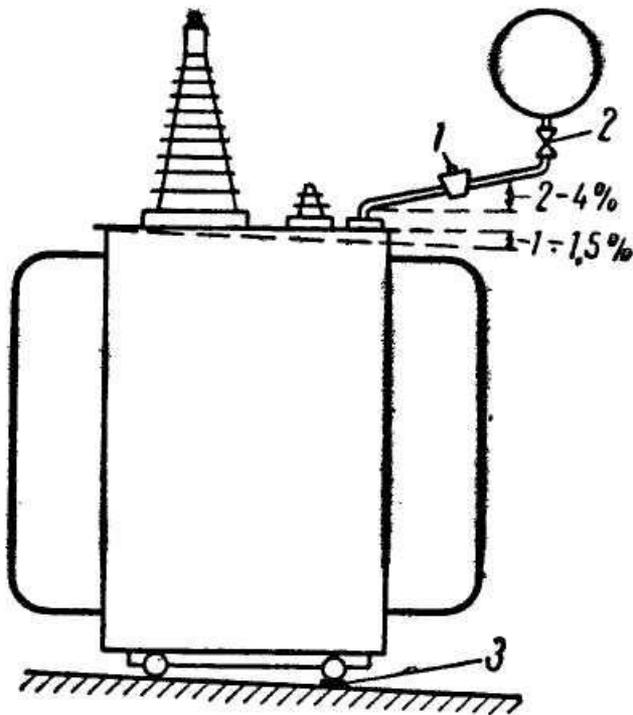
На трансформаторах с РПН ток срабатывания диф. защиты с БНТ получается равным:

$$I_{с.з.} = (3-4) I_{Т.ном.}$$

## 2. ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

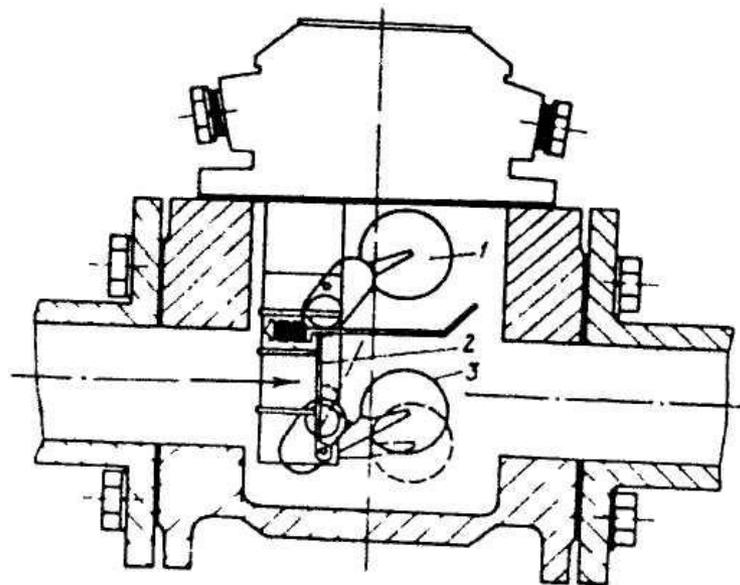
### 2.3. Газовая защита

Установка газового реле на трансформаторе.



Газовое реле.

- 1 – сигнальный элемент (поплавок)
- 2 – отключающий элемент (пластина)
- 3 – отключающий элемент (поплавок)



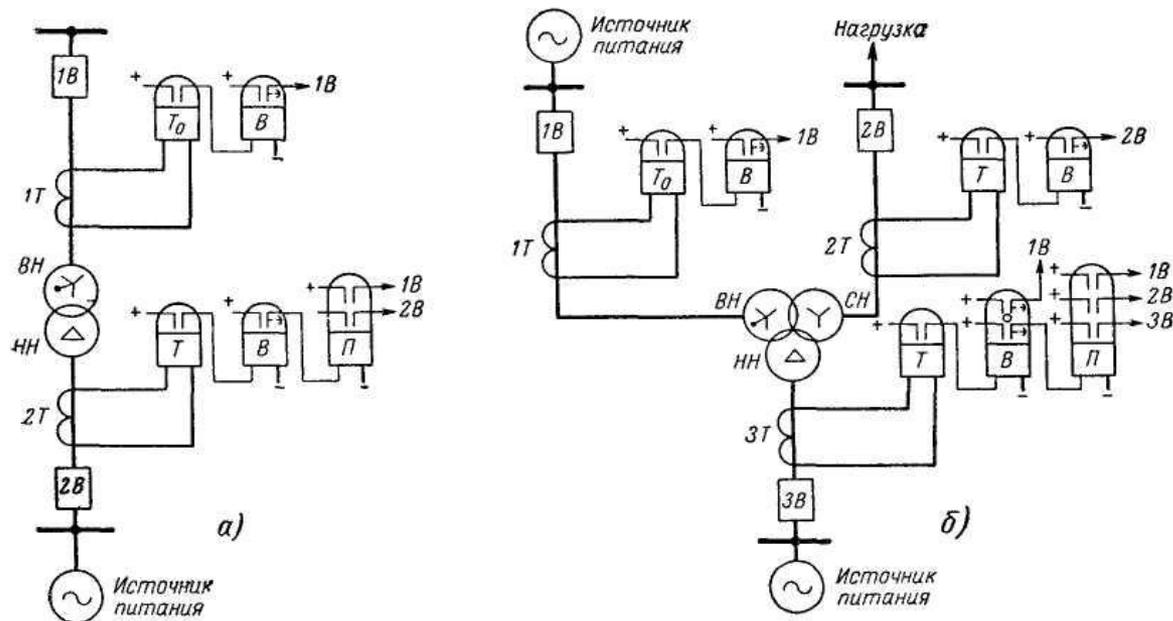


## 2. ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

### 2.4. Защита от сверхтоков внешних к.з.

- **Защиты от сверхтоков при междуфазных к.з. устанавливаются со стороны источника питания, а при нескольких источниках питания – со стороны более мощных (главных) источников.**
- **Защиты от сверхтоков при однофазных к.з. устанавливаются со стороны обмоток, соединенных в схему звезды с заземлённой нулевой точкой.**

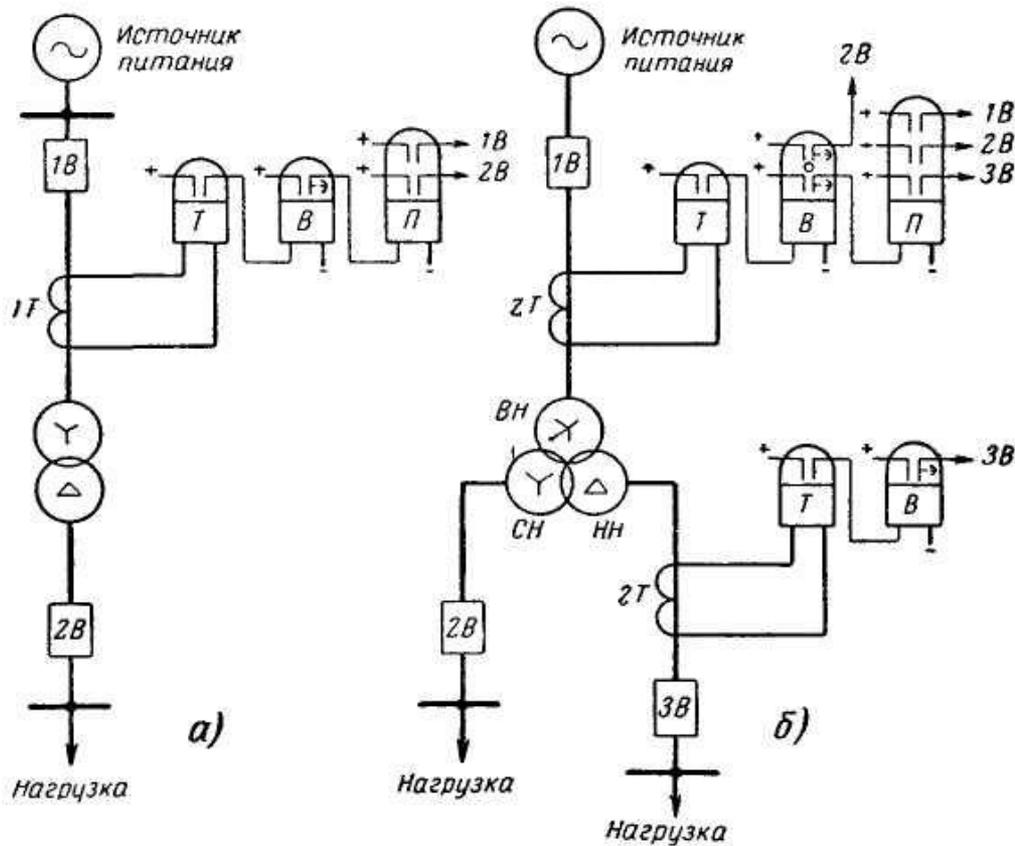
Защиты от сверхтоков на повышающих трансформаторах, двухобмоточном (а) и трехобмоточном (б).



## 2. ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

### 2.4. Защита от сверхтоков внешних к.з.

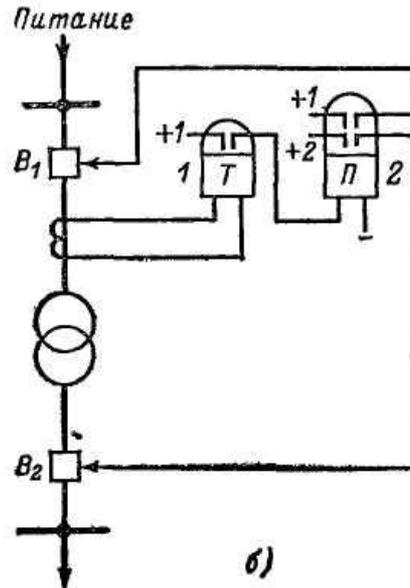
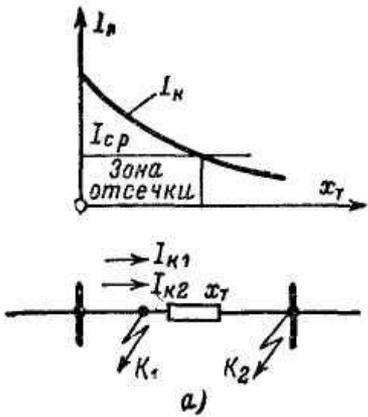
Защиты от сверхтоков на понижающих трансформаторах, двухобмоточном (а) и трёхобмоточном (б).



## 2. ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

### 2.5. Токовая отсечка

Принцип действия (а) и однолинейная схема токовой отсечки трансформатора



Ток срабатывания токовой отсечки

$$I_{с.з.} = K_H I_{K_{2\max}}$$

Коэффициент чувствительности отсечки:

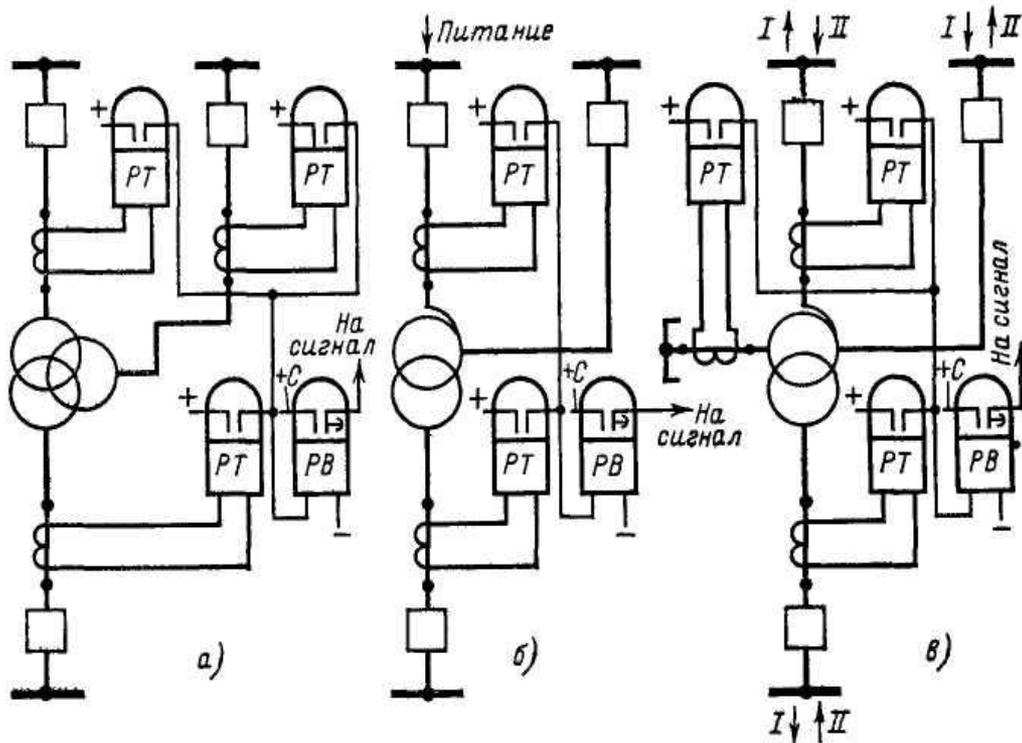
$$K_{\nu} = \frac{I_{K_{1\min.}}}{I_{с.з.}}$$

## 2. ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

### 2.6. Защита от перегрузок

Перегрузки трансформаторов (автотрансформаторов) обычно бывают симметричными. Поэтому защиты от перегрузок выполняются на одном реле тока, включаемом на ток одной фазы.

Кратность перегрузки	1,3	1,45	1,6	1,75	2	3
Допустимая длительность перегрузки, мин.	120	80	45	20	10	1,5



Принципиальные схемы токовой защиты от перегрузок трансформаторов и автотрансформаторов

а) 3-х обмоточный трансформатор с двух- и трехсторонним питанием;

б) автотрансформатор с питанием со стороны ВН;

в) автотрансформатор с перегруженной общей частью обмотки.

Ток срабатывания защиты от перегрузки определяется по формуле:

$$I_{с.з.} = \frac{K_H}{K_B} I_{НОМ.Т}$$

### 3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР ТРАНСФОРМАТОР

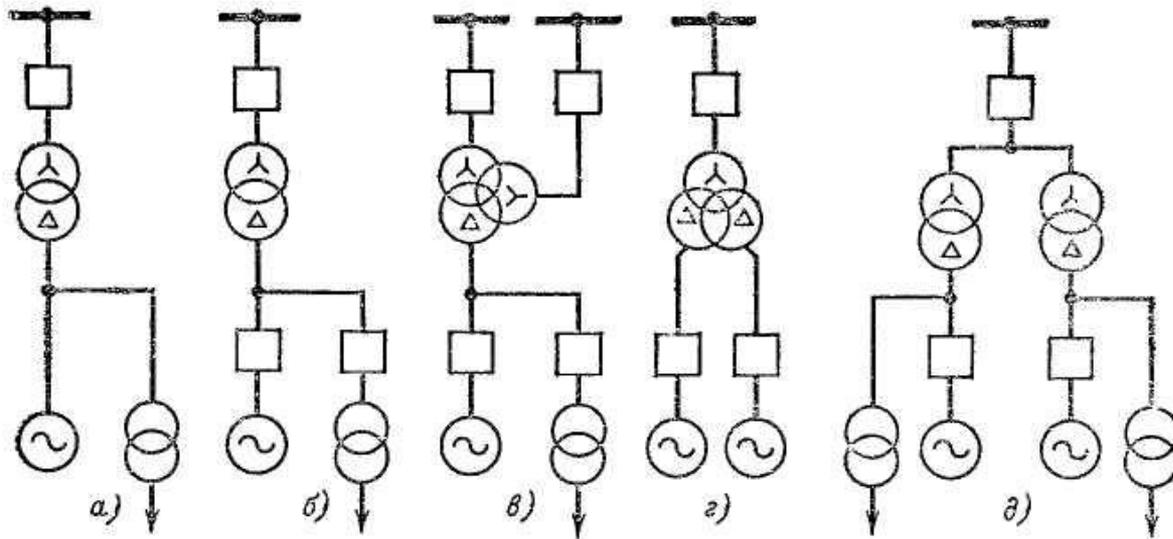
#### Основные схемы блоков

а, б, в – блок генератор-трансформатор с ответвлением на с.

н.

г – укрупнённый блок

д – объединенный блок (спаренные блоки).



## **3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР ТРАНСФОРМАТОР**

### **3.1. Защита от сверхтоков при внешних к.з. и перегрузках**

**На блоках генератор-трансформатор малой мощности (до 30 мВт) в качестве защиты от внешних к.з. (симметричных и несимметричных) применяется общая для генератора и трансформатора максимальная токовая защита с комбинированным пуском по напряжению действующая с выдержкой времени на отключение блока от сети.**

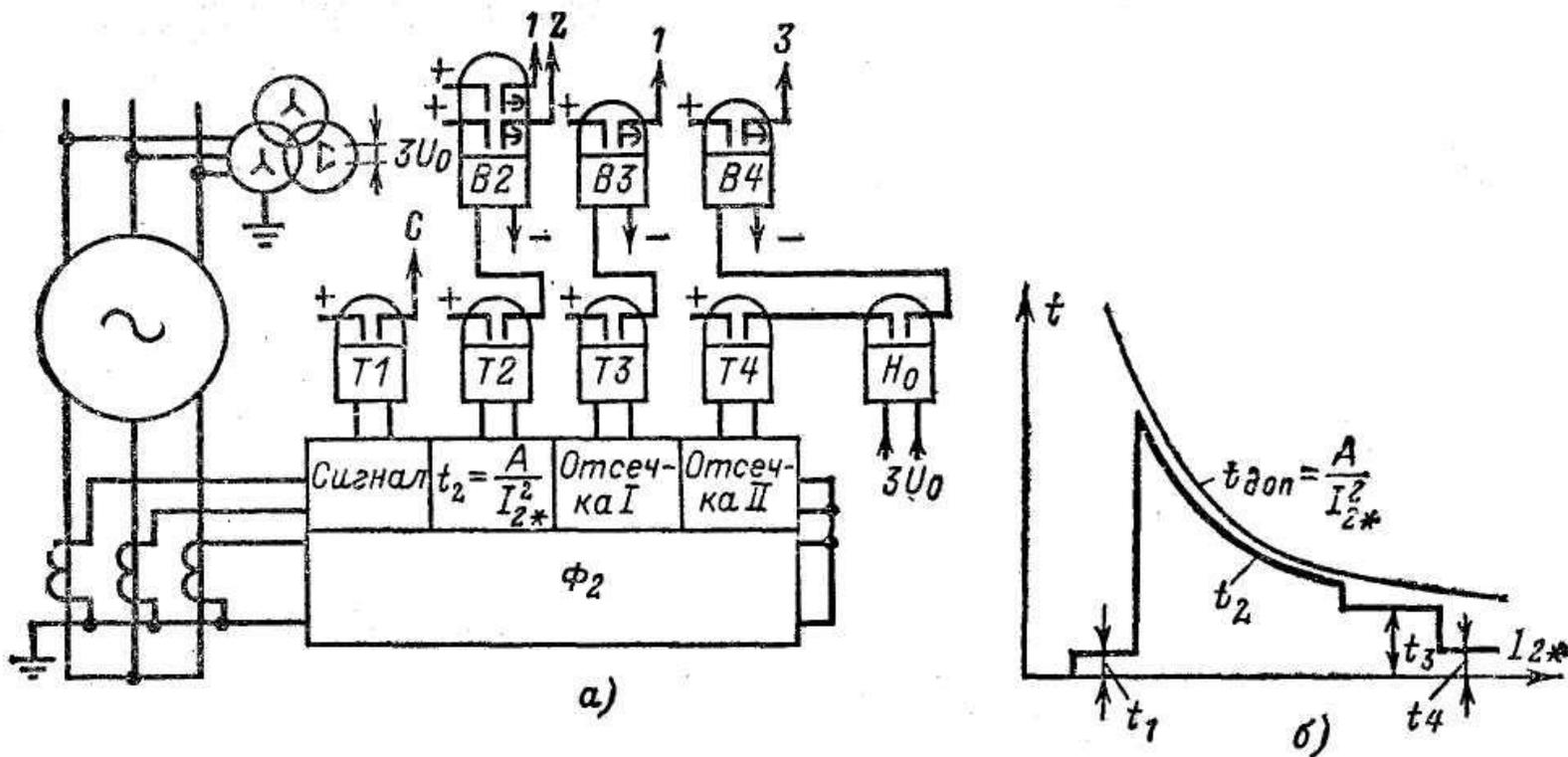
**На блоках средней (30-150 мВт) и большой (более 150 мВт) мощности в качестве защит от внешних к.з. и перегрузок применяют:**

- Токовую защиту обратной последовательности с интегрально-зависимой выдержкой времени на реле типа РТФ-6м – от несимметричных к.з. и перегрузок.**
- Максимальную токовую защиту с пуском по напряжению – от симметричных к.з.**
- Максимальную токовую защиту, выполненную с помощью одного реле тока – для сигнализации при симметричных перегрузках.**

# 3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР ТРАНСФОРМАТОР

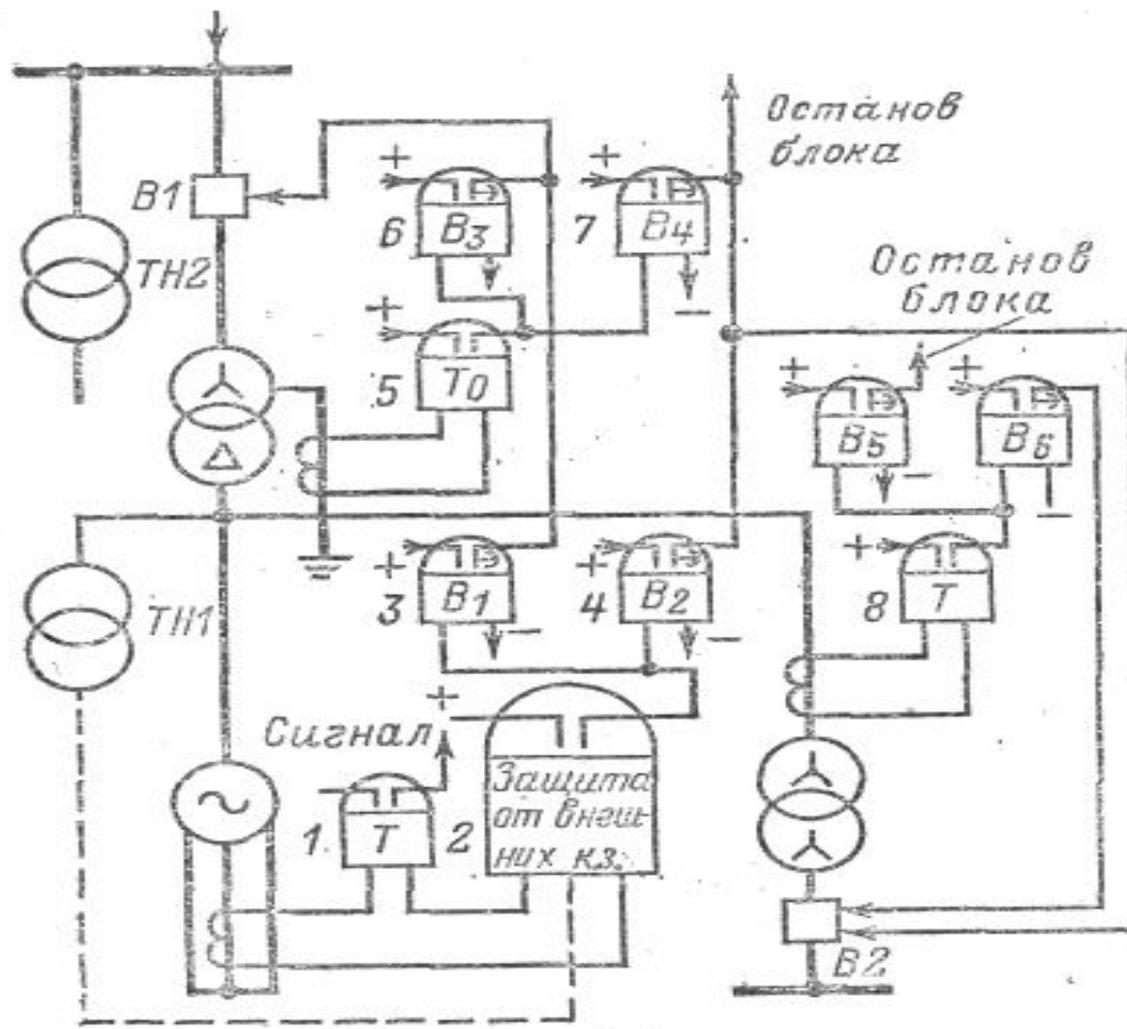
## 3.1. Защита от сверхтоков при внешних к.з. и перегрузках

Схема защит от несимметричных к.з. и перегрузок и характеристика времени действия защиты.



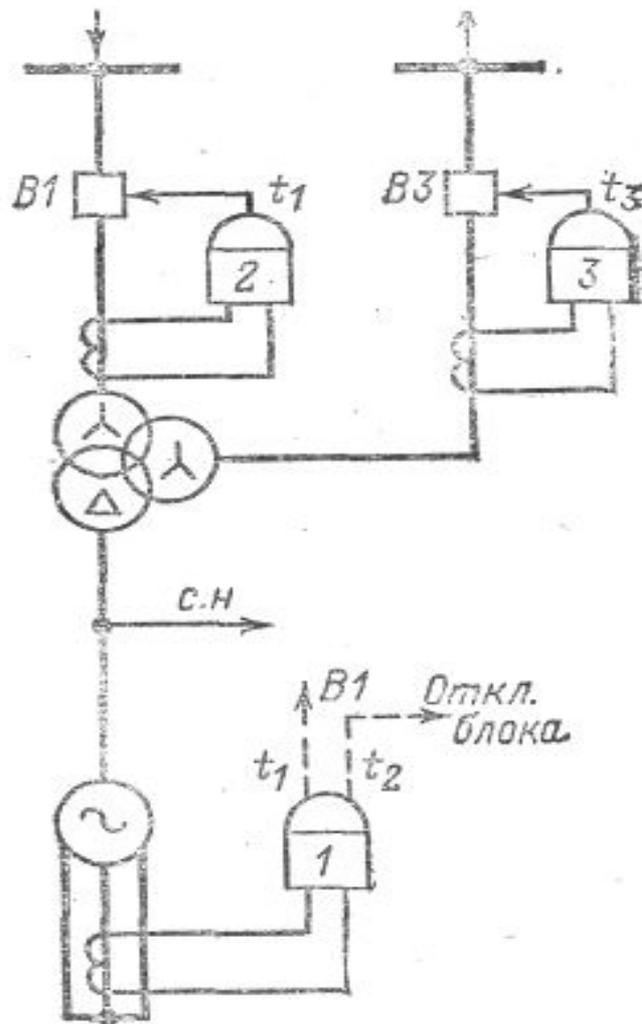
### 3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР ТРАНСФОРМАТОР

#### 3.1. Защита от сверхтоков при внешних к.з. и перегрузках



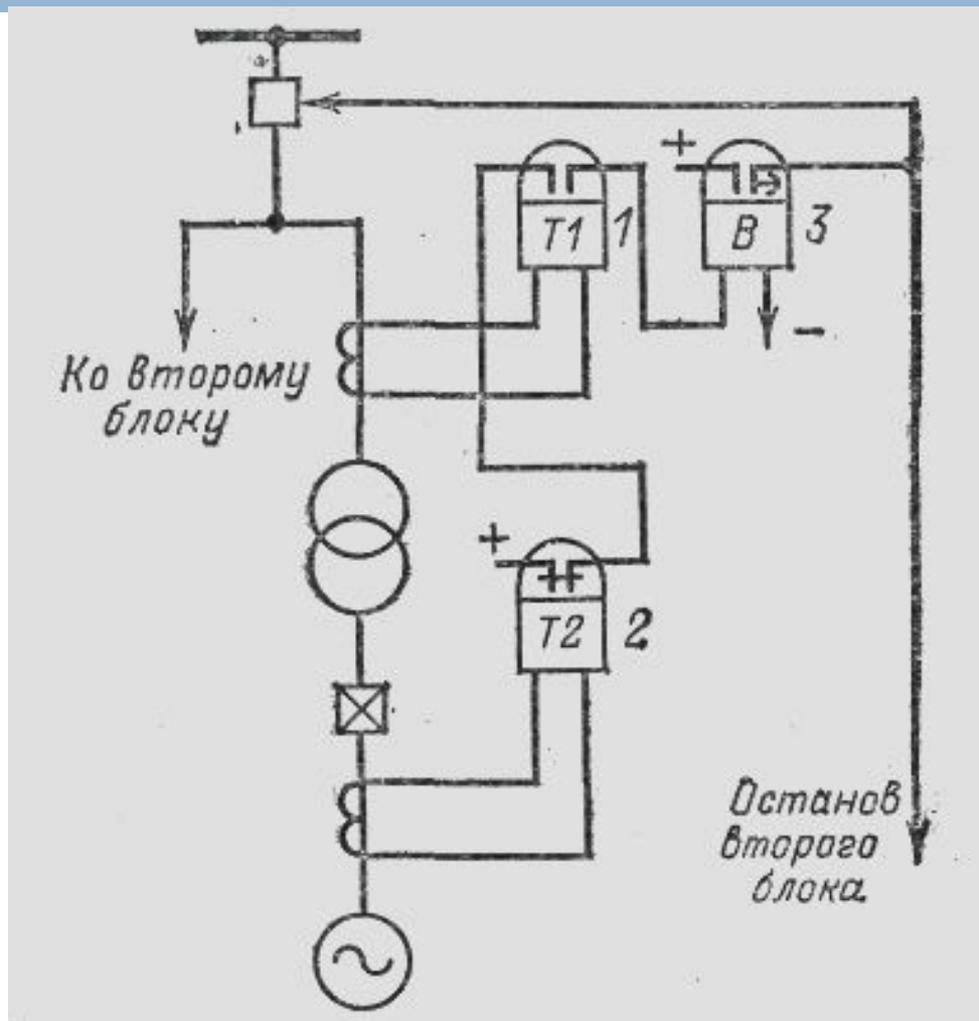
### 3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР ТРАНСФОРМАТОР

#### 3.1. Защита от сверхтоков при внешних к.з. и перегрузках



### 3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛЕНИЯ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР ТРАНСФОРМАТОР

#### 3.1. Защита от сверхтоков при внешних к.з. и перегрузках

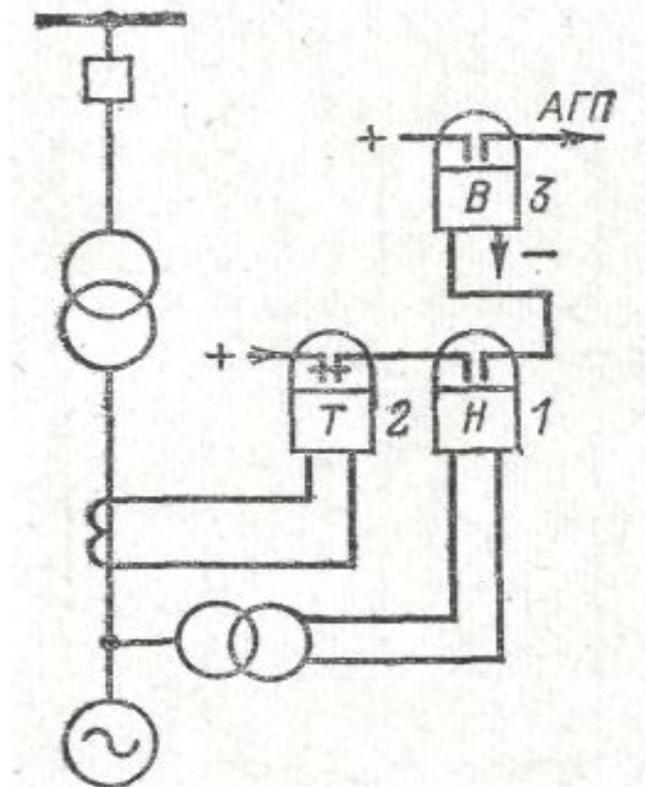


### 3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР ТРАНСФОРМАТОР

#### 3.2. Защита от повышения напряжения

*На всех блоках с гидрогенераторами, а также на блоках с мощными турбогенераторами и трансформаторами устанавливается защита от повышения напряжения.*

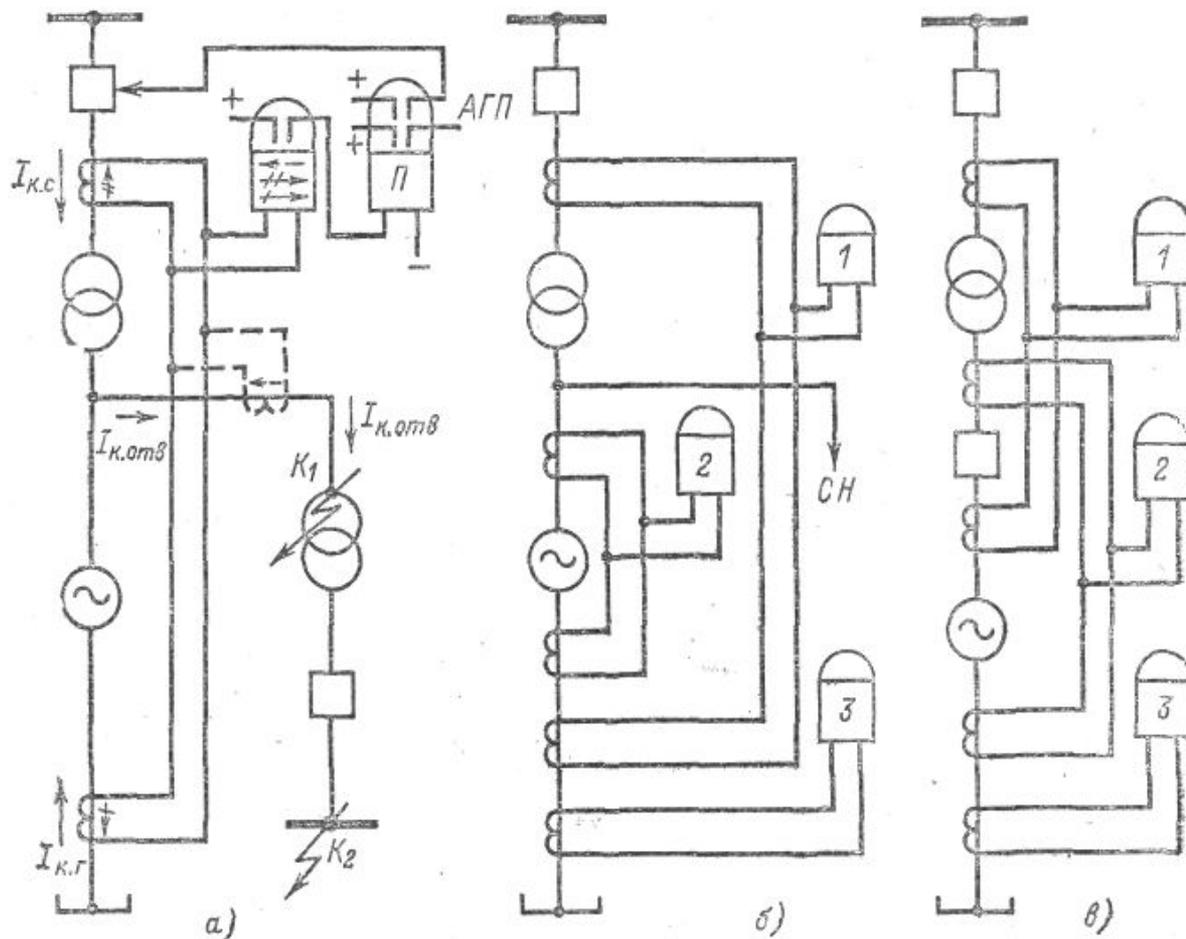
Защита от повышения напряжения генератора блока генератор-трансформатор



# 3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР ТРАНСФОРМАТОР

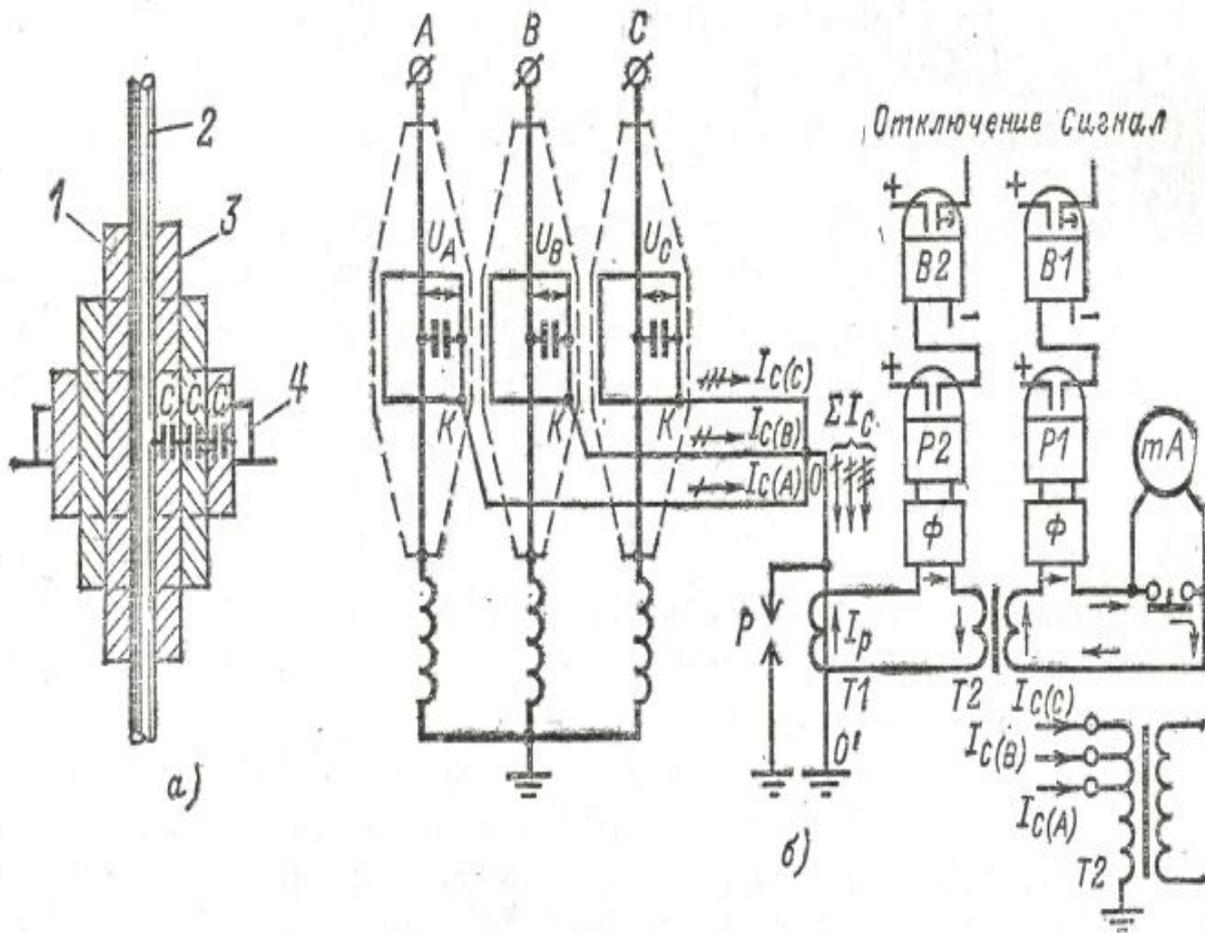
## 3.3. Дифференциальные защиты

Варианты схем дифференциальной защиты оборудования блоков генератор-трансформатор.



### 3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР ТРАНСФОРМАТОР

#### 3.4. Защита от повреждения вводов напряжением 500 кВ и выше блочных трансформаторов



$$I_C = \frac{U_\phi}{x_{CB}}, \quad \text{где } x_{CB} = \frac{1}{\omega C_B}.$$

$$I_{нб(н.р)} = I'_{нб} + I''_{нб}.$$

$$I_p = \sum I_C \neq 0 = I_{нб(к)}.$$

$$I_{нб(к)} = I_C(A),$$

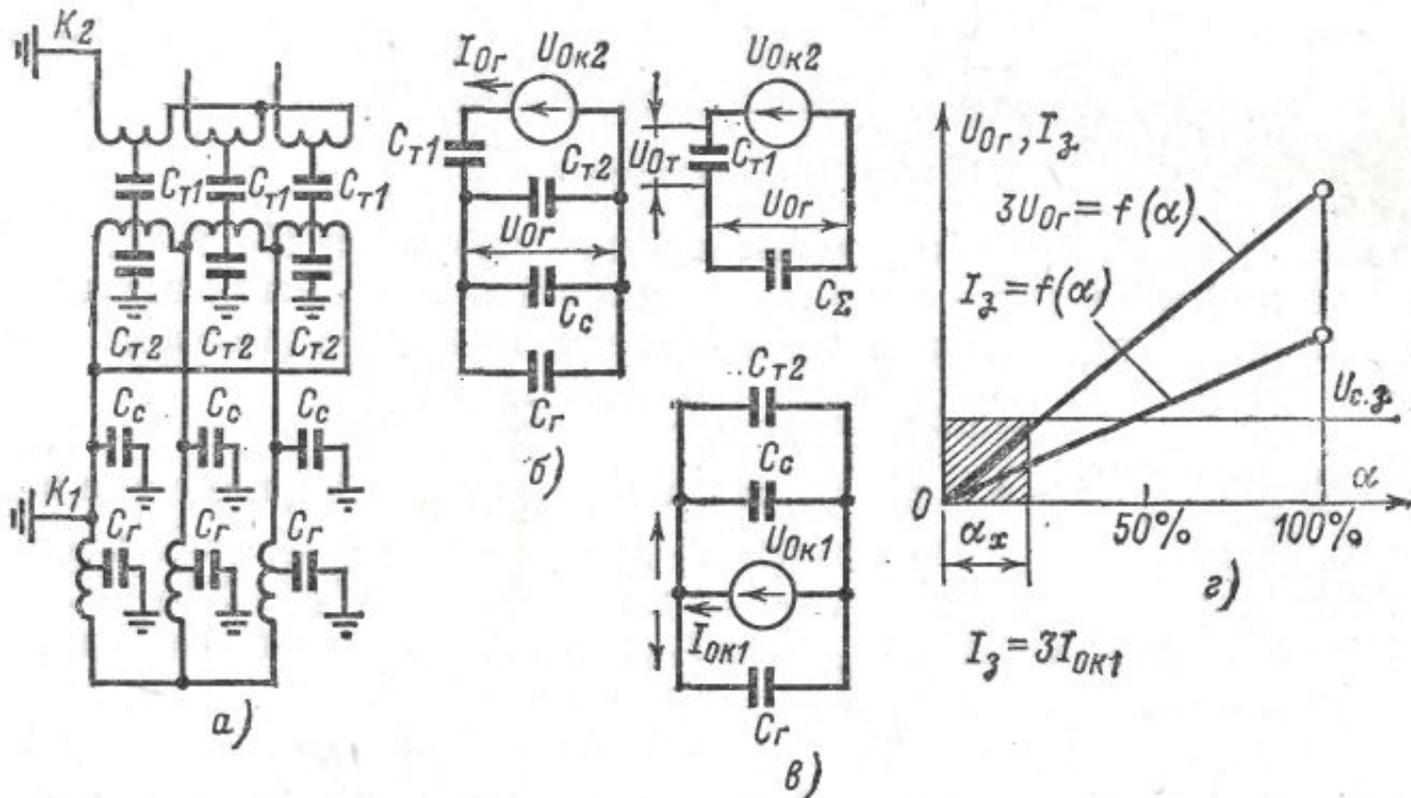
$$I_{с.р} > I_{нб(н.р)} \quad \text{и} \quad I_{с.р} > I_{нб(к)}.$$

$$I_{с.р} = k_H I_{нб(н.р)},$$

$$I_{с.р} = k_H I_{нб(к)} = k_H \frac{I_C(\phi)}{n_{T1}},$$

### 3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР ТРАНСФОРМАТОР

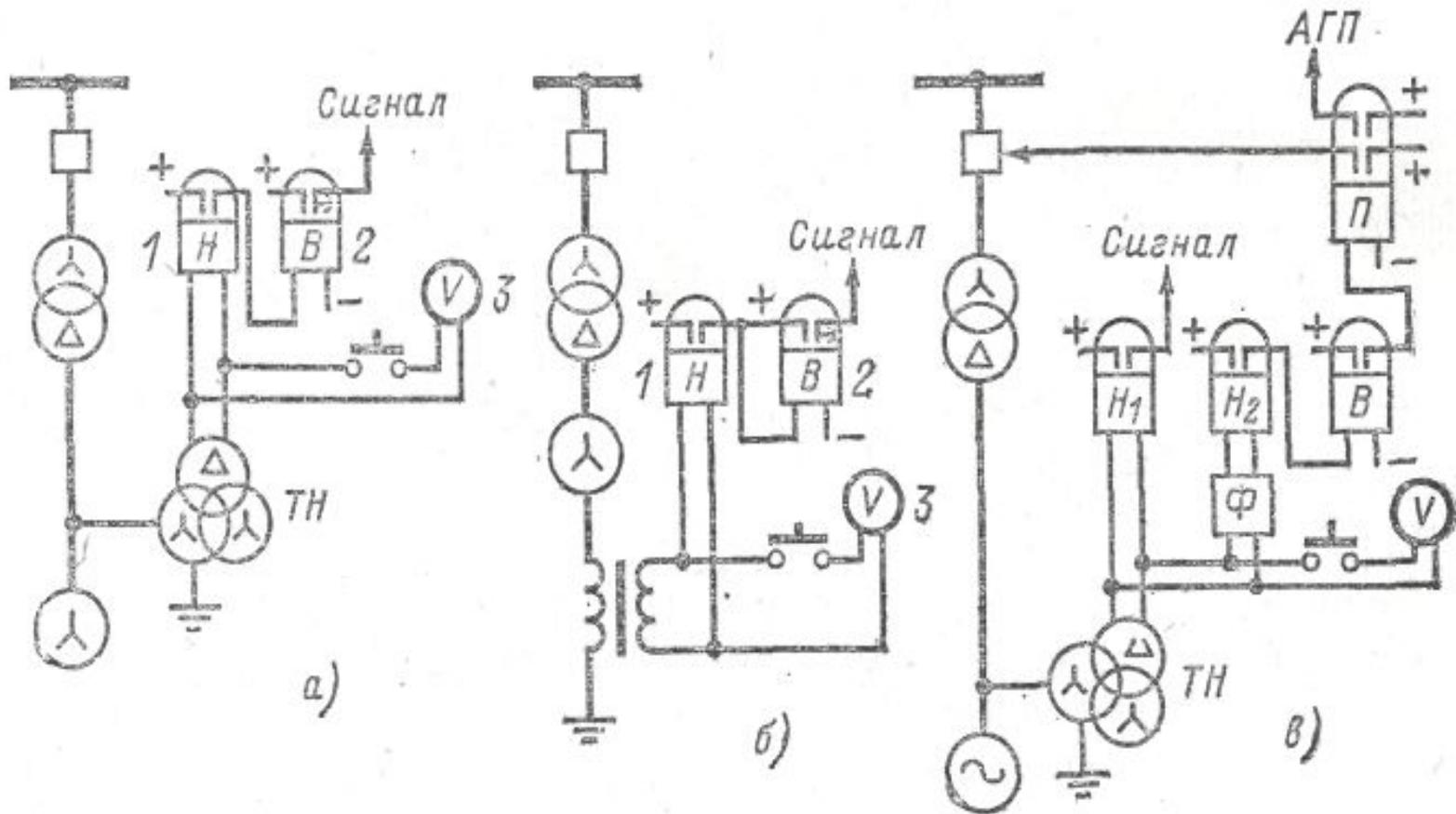
#### 3.5. Защита генераторов блока от замыканий на землю



$$I_0 = U_{0K1} \left( \frac{1}{x_{T2}} + \frac{1}{x_C} + \frac{1}{x_R} \right) = \alpha U_{\phi, r} \left( \frac{1}{x_{T2}} + \frac{1}{x_C} + \frac{1}{x_R} \right).$$

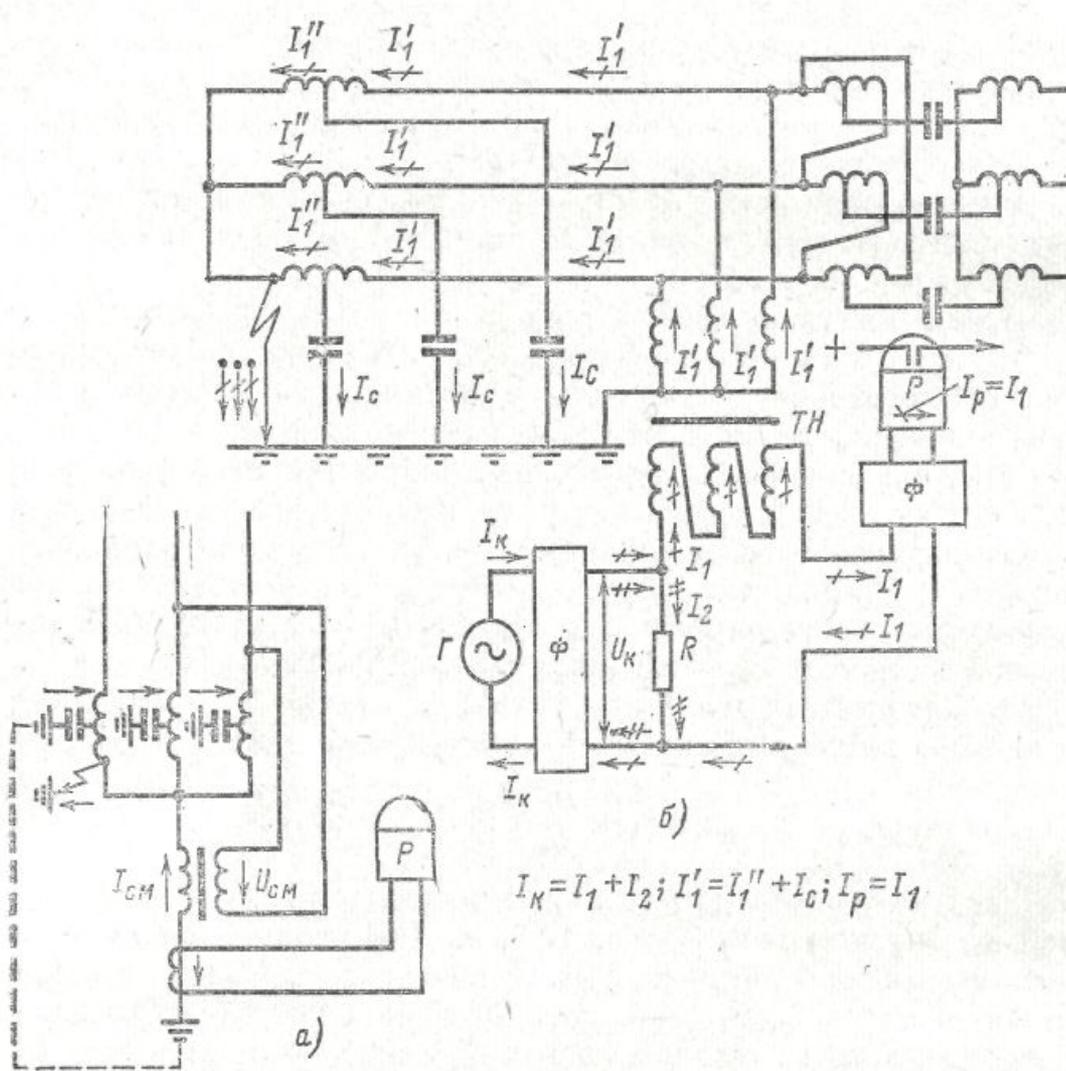
### 3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР ТРАНСФОРМАТОР

#### 3.5. Защита генераторов блока от замыканий на землю



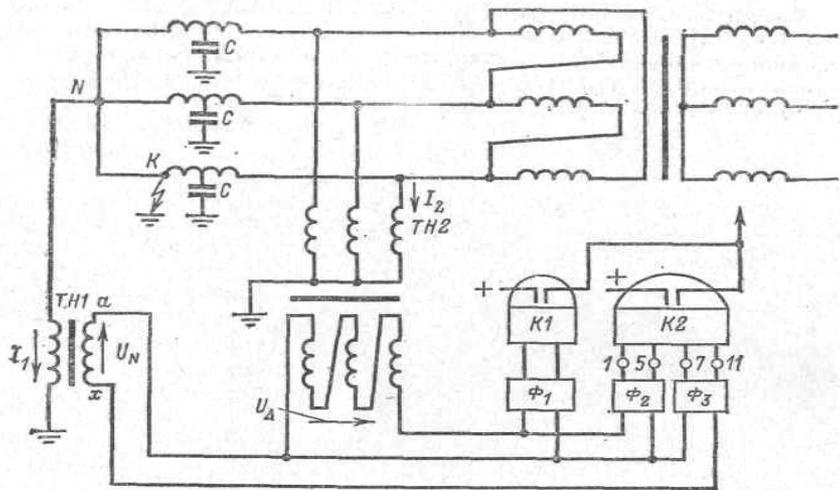
### 3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР ТРАНСФОРМАТОР

#### 3.5. Защита генераторов блока от замыканий на землю



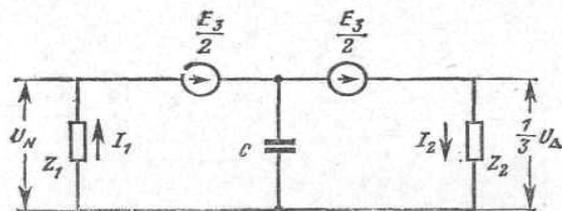
# 3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР ТРАНСФОРМАТОР

## 3.5. Защита генераторов блока от замыканий на землю

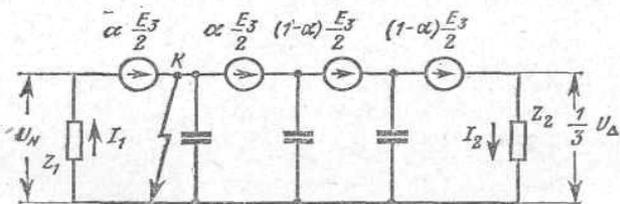


а)

$$\frac{|\dot{U}_N|}{|k\dot{U}_\Delta + \dot{U}_N|}, \quad (17-9a)$$



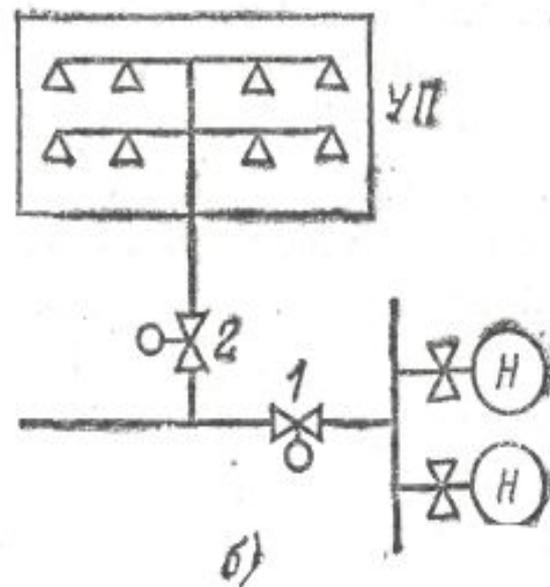
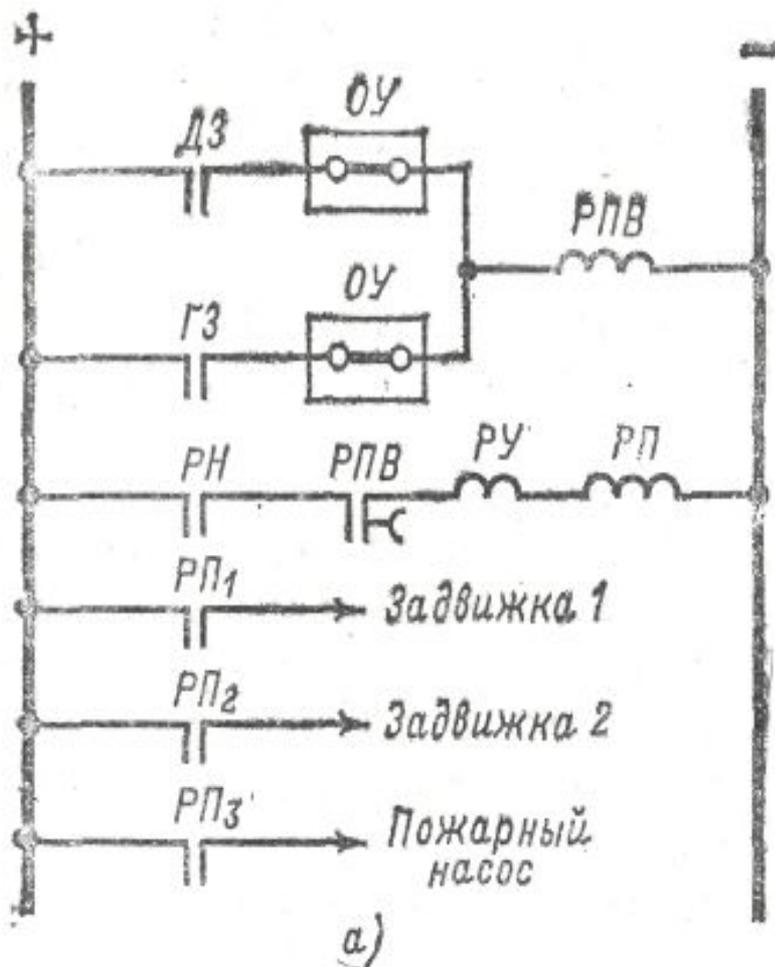
б)



в)

### 3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР ТРАНСФОРМАТОР

#### 3.6. Пуск от защиты устройств пожаротушения на повысительных трансформаторах блока



# 4. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

## 4.1. Свойства асинхронных двигателей

Вращающий момент электродвигателей и момент сопротивления механизма.  $M_d = M_C$

Пусковой момент  $M_{д.пуск}$

Характеристики моментов сопротивления механ и з м о в

Ток, потребляемый статором электродвигателя

$$I_d = I_{нам} + I'_{рот}. \quad (18-3)$$

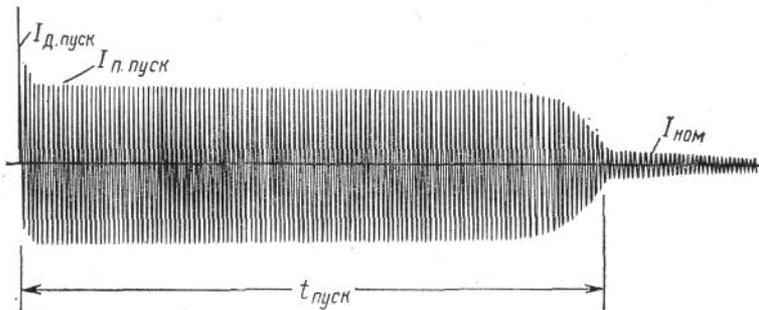


Рис. 18-4. Оциллограмма пускового тока асинхронного электродвигателя.

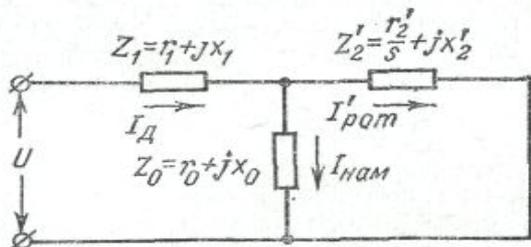


Рис. 18-2. Схема замещения асинхронного электродвигателя.

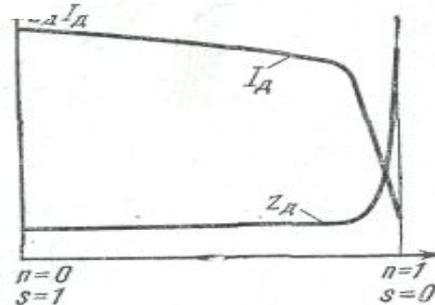


Рис. 18-3. Зависимость тока статора и сопротивления электродвигателя от скольжения  $s$ .

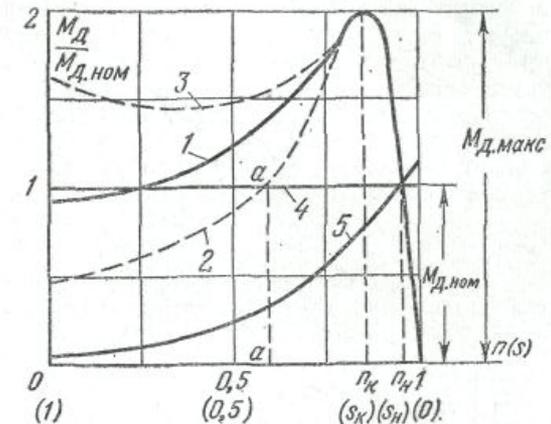


Рис. 18-1. Зависимость момента вращения асинхронных электродвигателей и момента сопротивления механизмов от частоты вращения.

# 4. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

## 4.2. Защиты от междуфазных к.з.

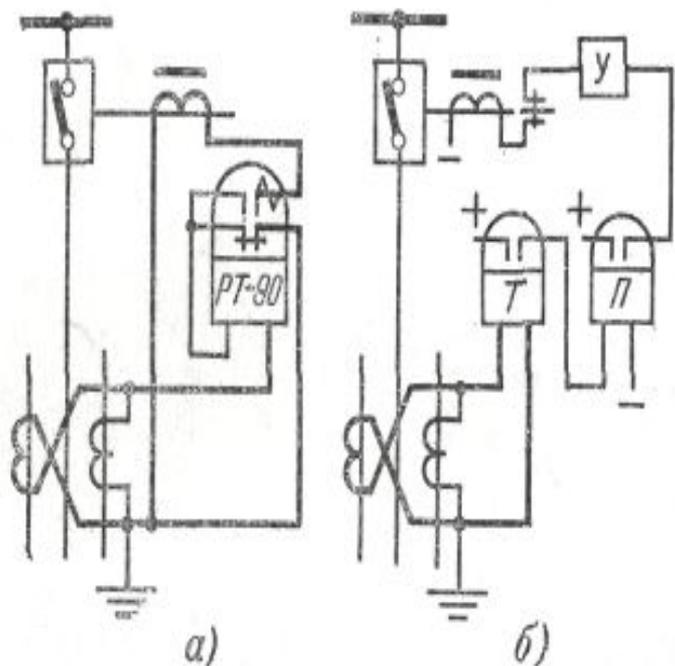


Рис. 18-6. Токовая защита двигателей от к. з., выполненная по однорелейной схеме.

а — на переменном оперативном токе;  
б — на постоянном оперативном токе.

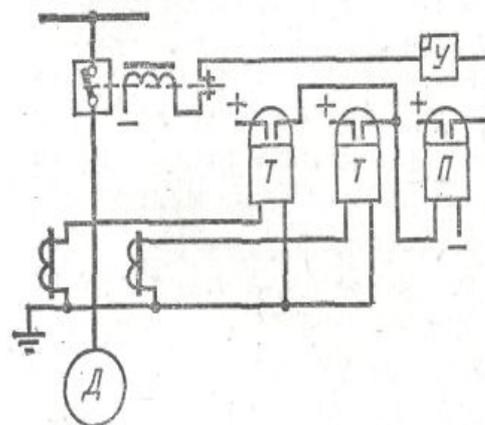


Рис. 18-7. Защита двигателей от к. з. в двухрелейном исполнении на постоянном оперативном токе.

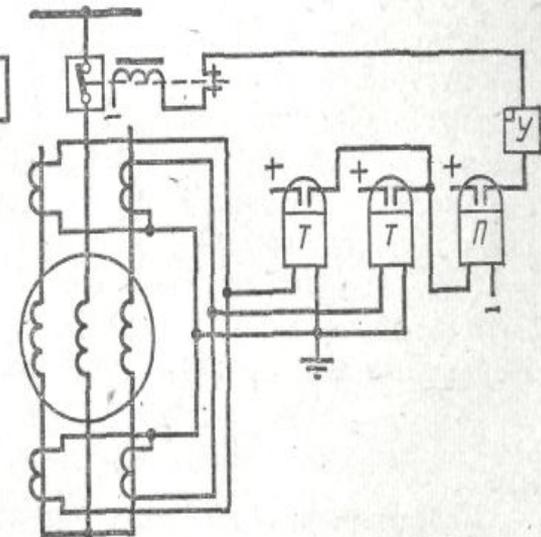


Рис. 18-8. Дифференциальная защита мощного электродвигателя.

$$I_{с.з} = \frac{k_H I_{п.пуск}}{k_{воз}} \quad (18-8)$$

$$I_{с.з} = k_H I_{д.пуск} = k_H \cdot 1,8 I_{п.пуск} \quad (18-9)$$

$$I_{с.р} = \frac{k_{сх} I_{с.з}}{n_T} \quad (18-10)$$

$$I_{с.з} = (1,5 \div 2) I_{ном.} \quad (18-11)$$

$$k_{ч} = \frac{T_{к.мин}^{(2)}}{I_{с.з}}$$

## 4. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

### 4.4. Защита от замыканий одной фазы на землю

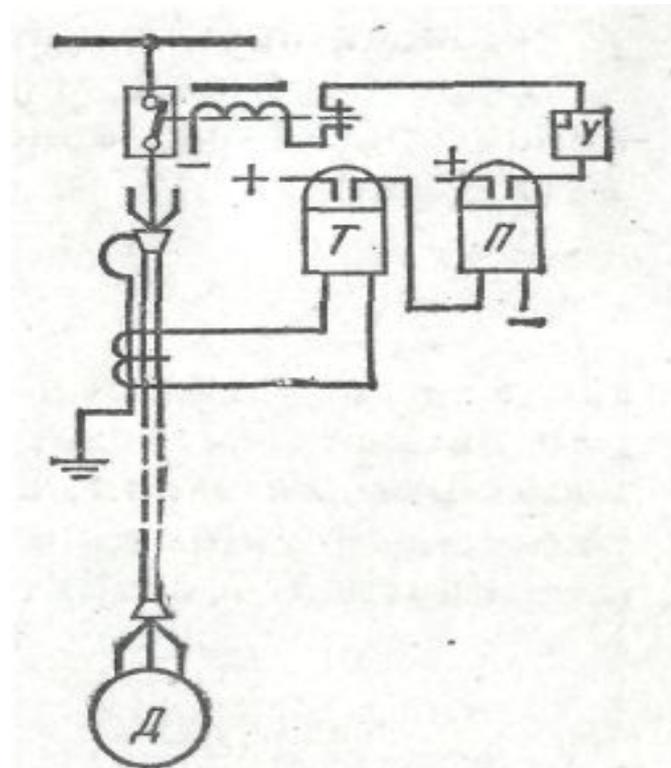


Рис. 18-9. Защита электродвигателей от замыканий на землю одной фазы.

# 4. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

## 4.3. Защита от перегрузки

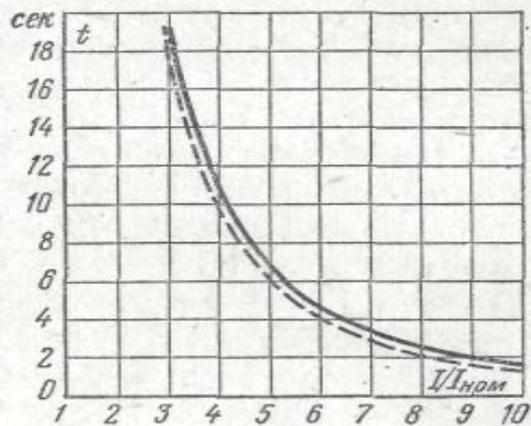


Рис. 18-10. Характеристика зависимости — допустимой длительности перегрузки от кратности тока перегрузки.

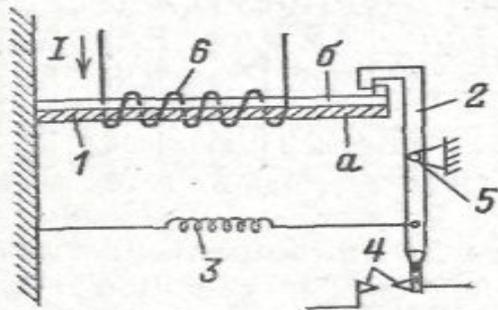


Рис. 18-11. Принцип действия тепловых реле.

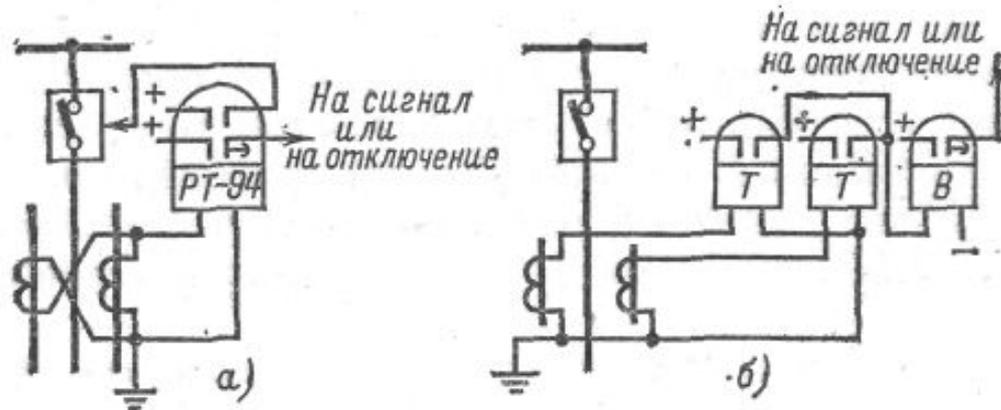


Рис. 18-12. Токовая защита от перегрузки.

а — с реле типа РТ-94; б — с реле типа РТ-40.

$$t = T \frac{a-1}{k-1}, \quad (18-12)$$

$$k = \frac{I_{\text{д}}}{I_{\text{ном}}}$$

$$Q_{\text{р}} = \left(\frac{I_{\text{д}}}{n_{\text{т}}}\right)^2 rt.$$

$$\left(\frac{I_{\text{д}}}{n_{\text{т}}}\right)^2 rt \equiv I_{\text{д}}^2 r_{\text{д}} t.$$

$$Q_{\text{с.р}} = Q_{\text{пред. доп.}}$$

$$I_{\text{с.з}} = \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{вюз}}} I_{\text{ном}}. \quad (18-13)$$

# 4. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

## 4.5. Защита от понижения напряжения

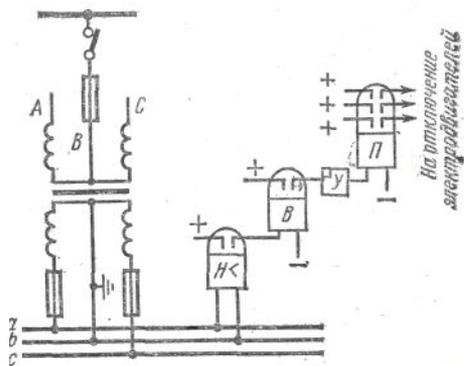


Рис. 18-13. Защита минимального напряжения с одним реле.

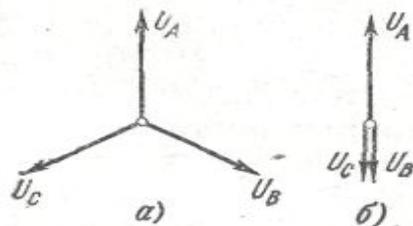


Рис. 18-14. Векторные диаграммы напряжений.

а — нормального режима;  
б — при двухфазных к. з. между фазами В и С.

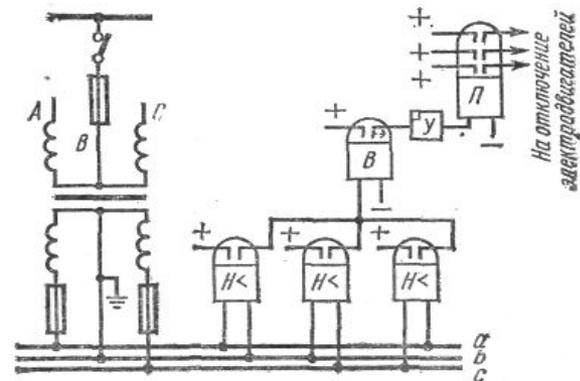


Рис. 18-15. Трехфазная защита минимального напряжения.

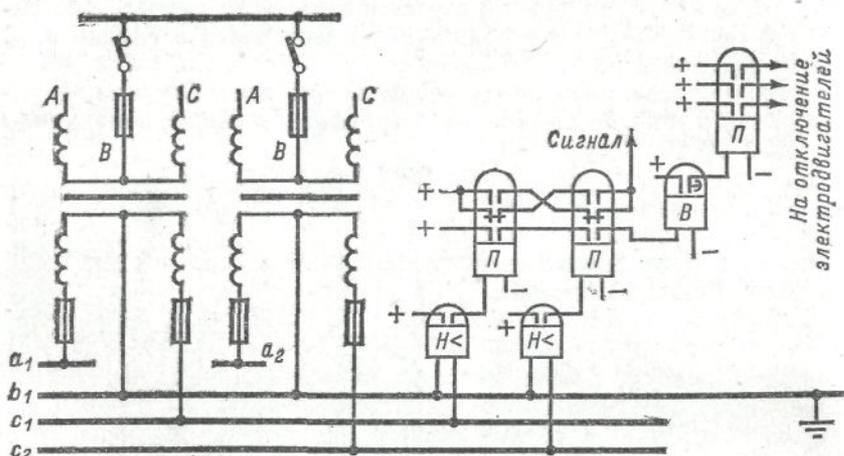


Рис. 18-16. Защита минимального напряжения с двумя реле, питаемыми от разных трансформаторов напряжения.

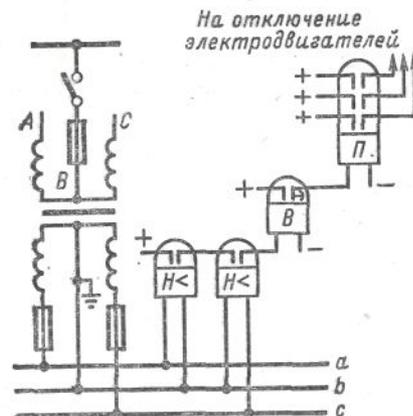


Рис. 18-17. Защита минимального напряжения с двумя реле, питаемыми от разных междуфазных напряжений одного трансформатора напряжения.

## 4. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

### 4.6. Защиты ЭД напряжением до 1 кВ

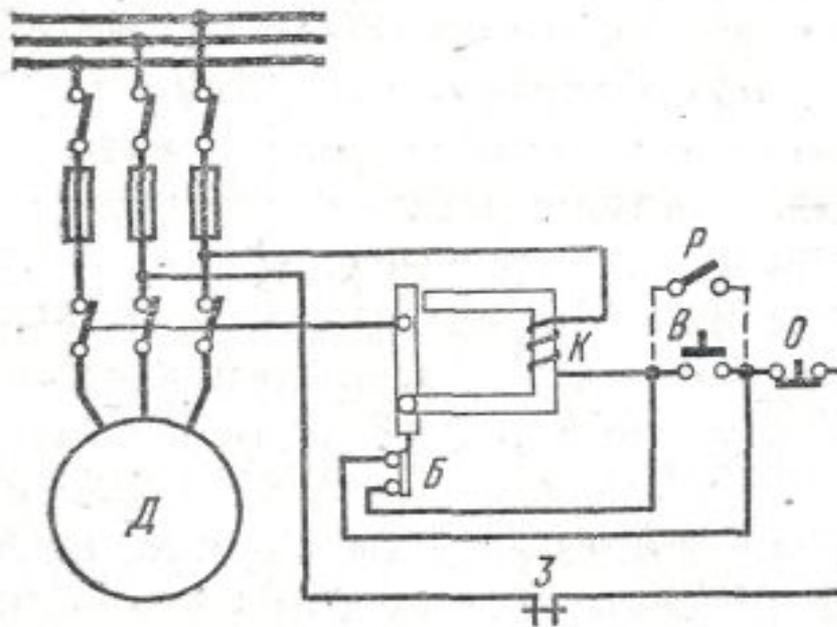


Рис. 18-18. Принцип действия магнитного пускателя.

## 4. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

### 4.6. Особенности синхронных электродвигателей

При рассмотрении защиты синхронных электродвигателей необходимо учитывать их особенности. Отметим наиболее важные из них:

1. Пуск большинства синхронных электродвигателей производится при отсутствии возбуждения прямым включением в сеть.
2. Момент синхронного электродвигателя зависит от напряжения сети  $U_d$ , э. д. с. электродвигателя  $E_d$  и угла сдвига  $\delta$  между  $U_d$  и  $E_d$ .

$$M_d = k \left( \frac{E_d U_d}{x_d} + U_d^2 \frac{x_d - x_q}{2x_d x_q} \sin 2\delta \right), \quad (18-14)$$

3. После отключения к. з. или включения резервного источника питания многие синхронные электродвигатели могут самозапускаться, т. е. вновь (сами) втягиваться в синхронизм.

## 5. ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

### 5.1. Виды защит шин и требования к ним

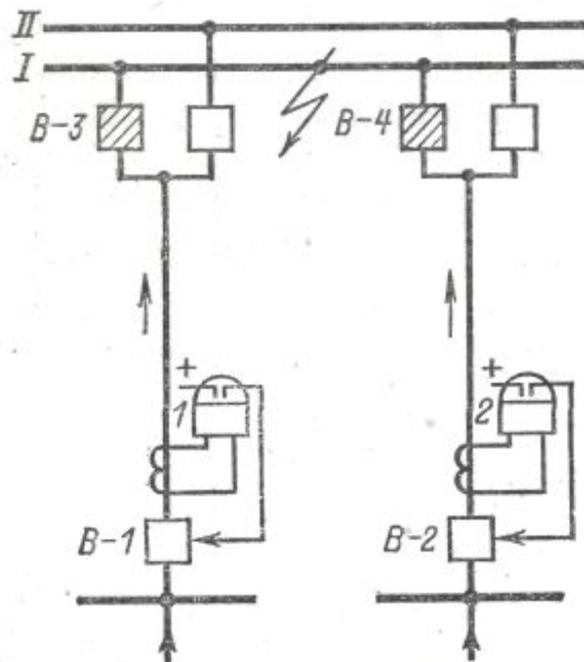


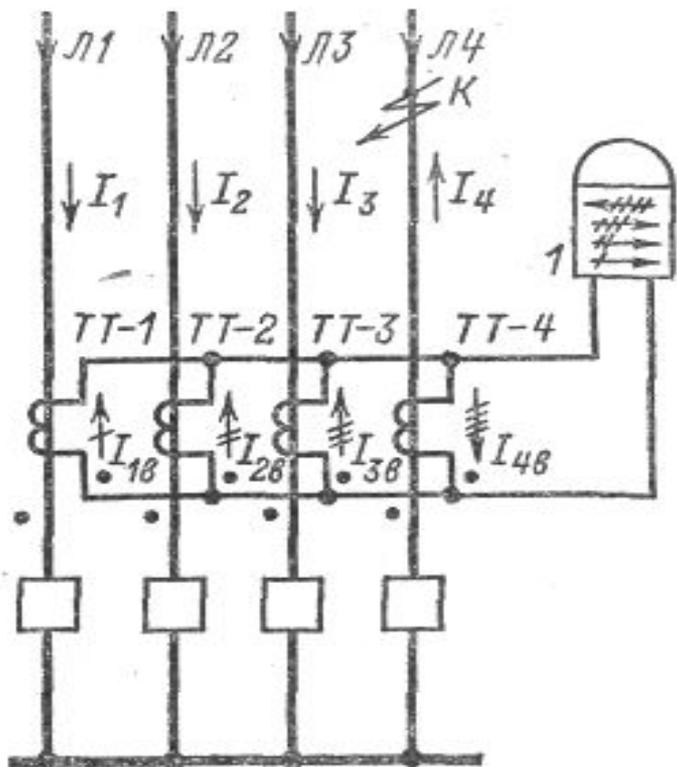
Рис. 19-1. Схема подстанции с двумя выключателями на каждом присоединении. Выключатели, отключаемые защитой при к. з. на первой (I) системе шин, заштрихованы.

## 5. ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

### 5.1. Продольная дифференциальная защита шин

*Продольная диф. защита шин основывается на сравнении величины и фазы токов присоединений подключенных к сборным шинам.*

Токораспределение в цепях защиты при внешнем к.з. и в нормальном режиме по части присоединений токи направлены к шинам, по другой части – от шин, а суммарный ток



**Ток срабатывания защиты** должен выбираться больше максимального тока небаланса при внешнем к.з.:

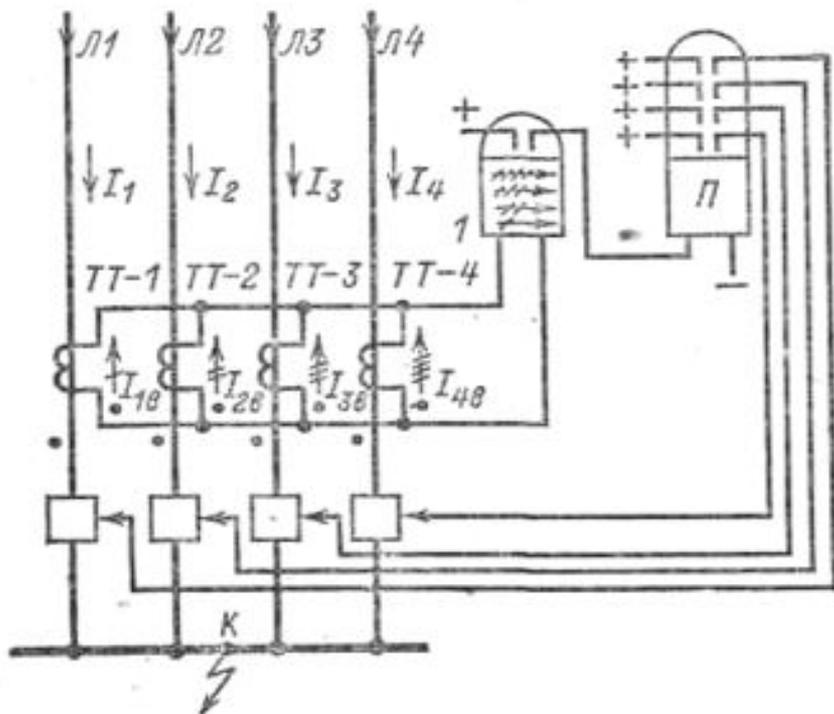
$$I_{с.зс} > I_{нб.макс.}$$

## 5. ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

### 5.1. Продольная дифференциальная защита шин

*Продольная диф. защита шин основывается на сравнении величины и фазы токов присоединений подключенных к сборным шинам.*

Токораспределение в цепях защиты при к.з. на шинах: (в зоне действия защиты) в реле протекает суммарный ток, под действием которого реле срабатывает:



$$i_p = \frac{i_1 + i_2 + i_3 + i_4}{n_T}$$

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = i_K$$

$$I_p = \frac{I_K}{n_T}$$

## 5. ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

### 5.1. Продольная дифференциальная защита шин

В некоторых схемах диф. защит шин используют **устройства контроля за исправностью токовых цепей** – в нулевом проводе диф. реле устанавливают чувствительное токовое реле, которое выводит из работы диф. защиту при обрыве или шунтировании любой фазы вторичной цепи защиты. Устройство контроля дополняется миллиамперметром для периодического контроля дежурным персоналом исправности токовых цепей диф. защиты шин.

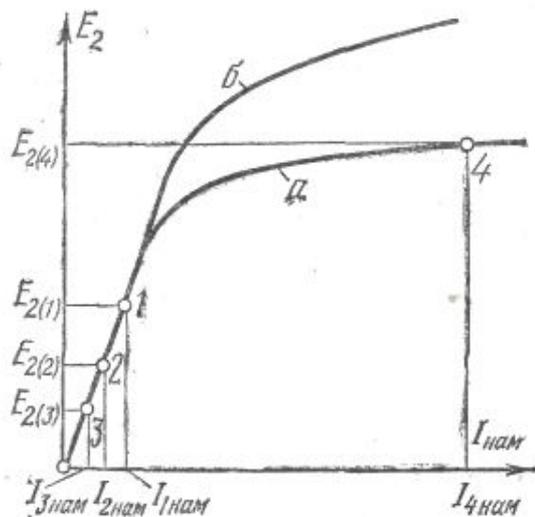


Рис. 19-4. Характеристика намагничивания трансформаторов тока дифференциальной защиты.

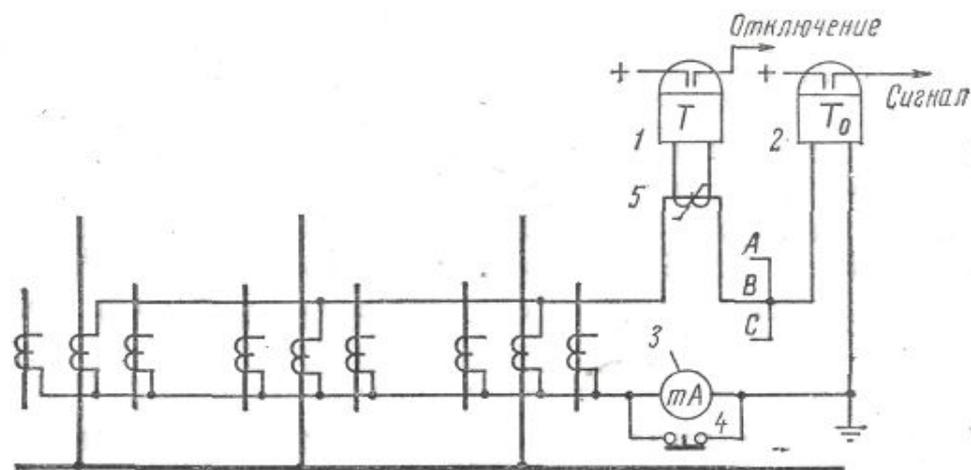
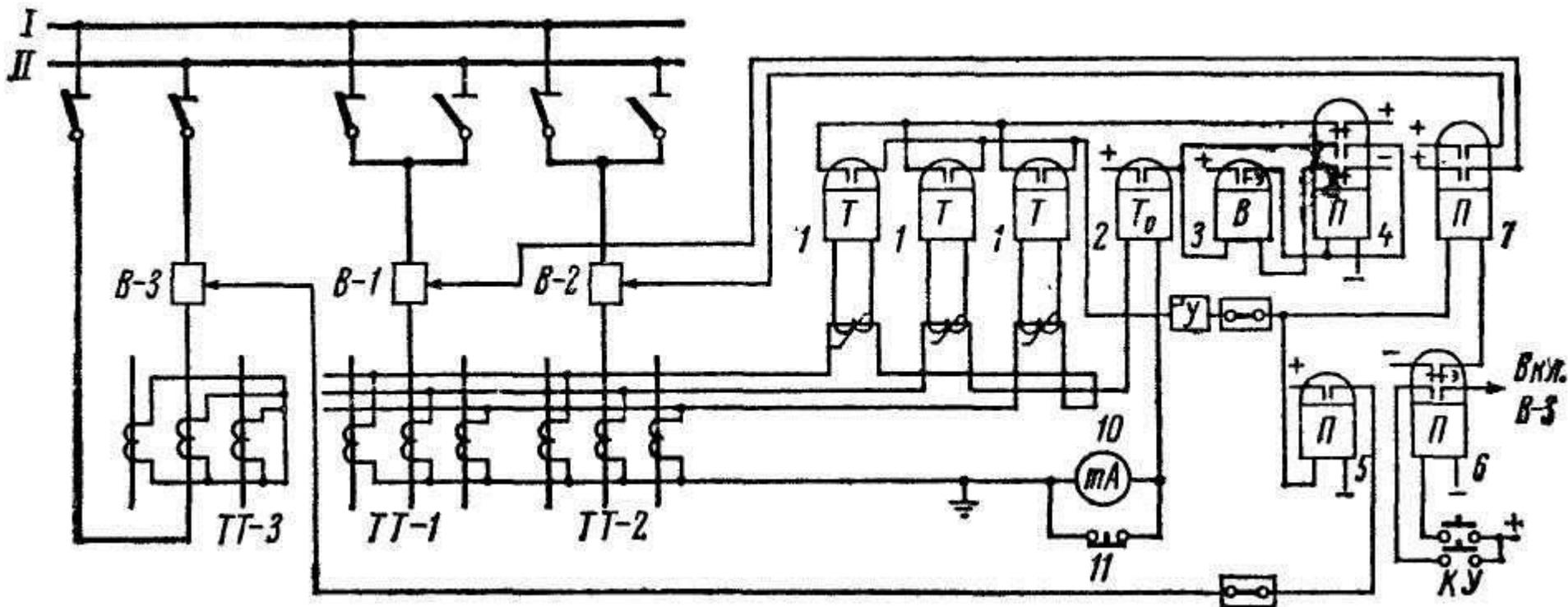


Рис. 19-5. Дифференциальная защита с реле 1, включенным через быстронасыщающийся трансформатор 5, и с контролем исправности токовых цепей при помощи сигнального реле 2 и миллиамперметра 3.

## 5. ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

### 5.2. Разновидности схем дифференциальной защиты шин

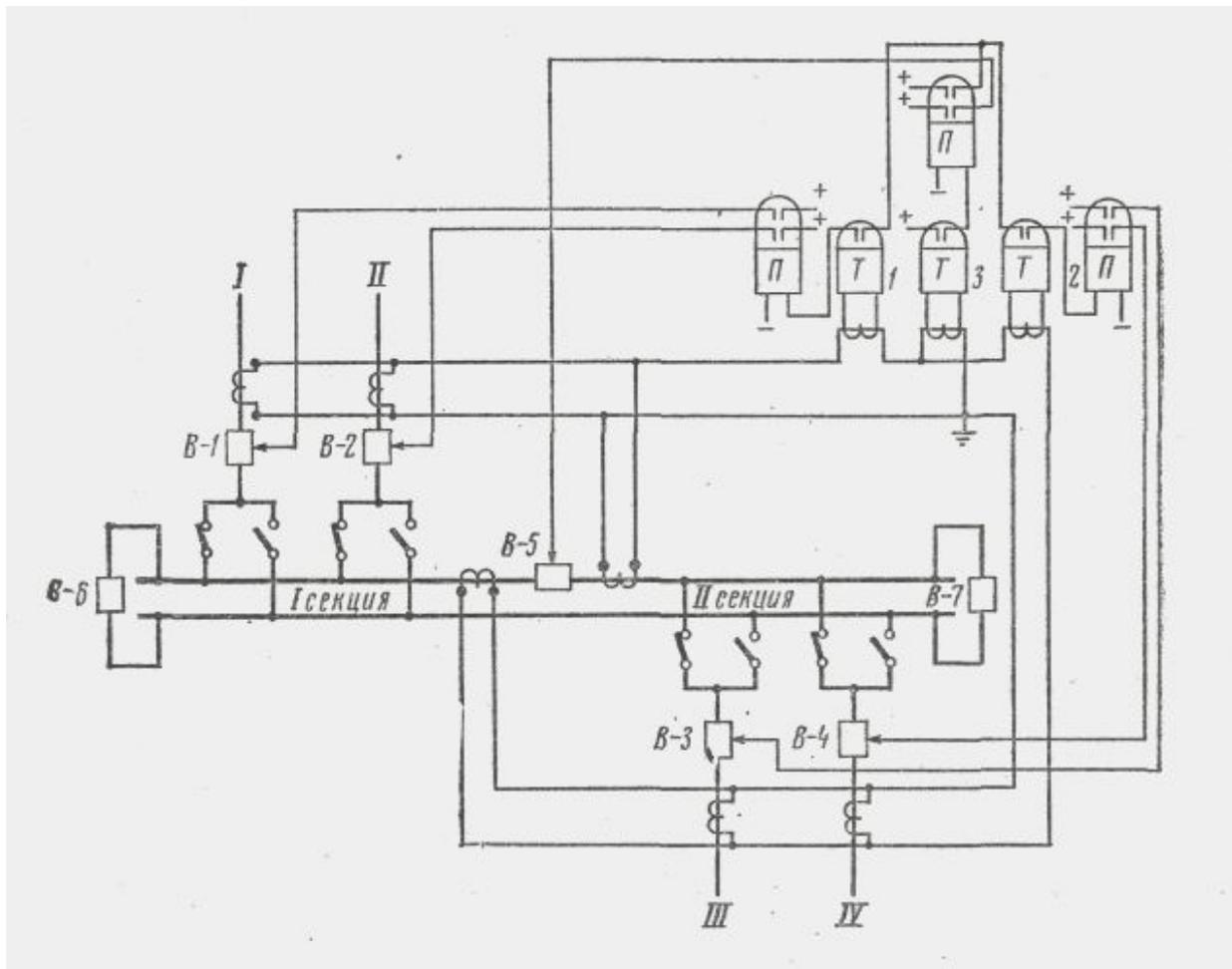
Дифференциальная защита шин для распределительных устройств с одной рабочей и второй резервной системами шин



# 5. ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

## 5.2. Разновидности схем дифференциальной защиты шин

**Схема дифференциальной защиты шин для подстанций, работающих на двух системах шин с фиксированным распределением присоединений**



# 5. ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

## 5.2. Разновидности схем дифференциальной защиты шин

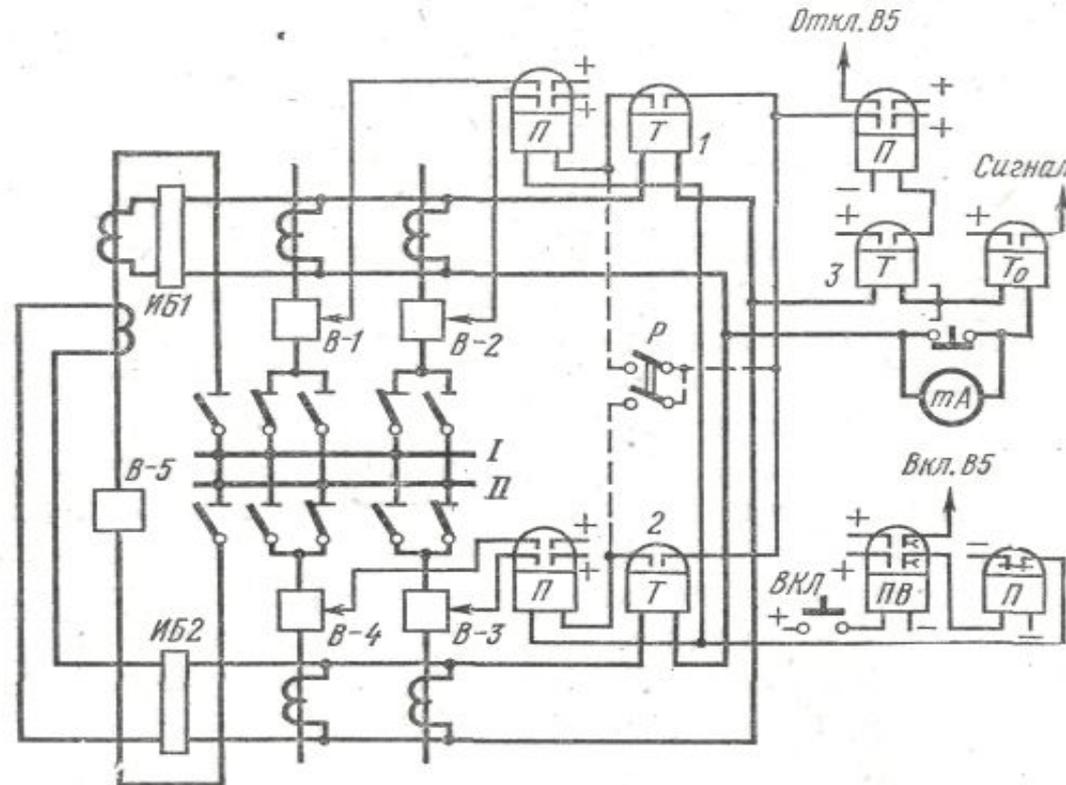


Рис. 19-8. Упрощенная (однофазная) схема дифференциальной защиты подстанции с двойной системой шин с фиксированным распределением присоединений между шинами.

## 5. ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

### 5.2. Разновидности схем дифференциальной защиты шин

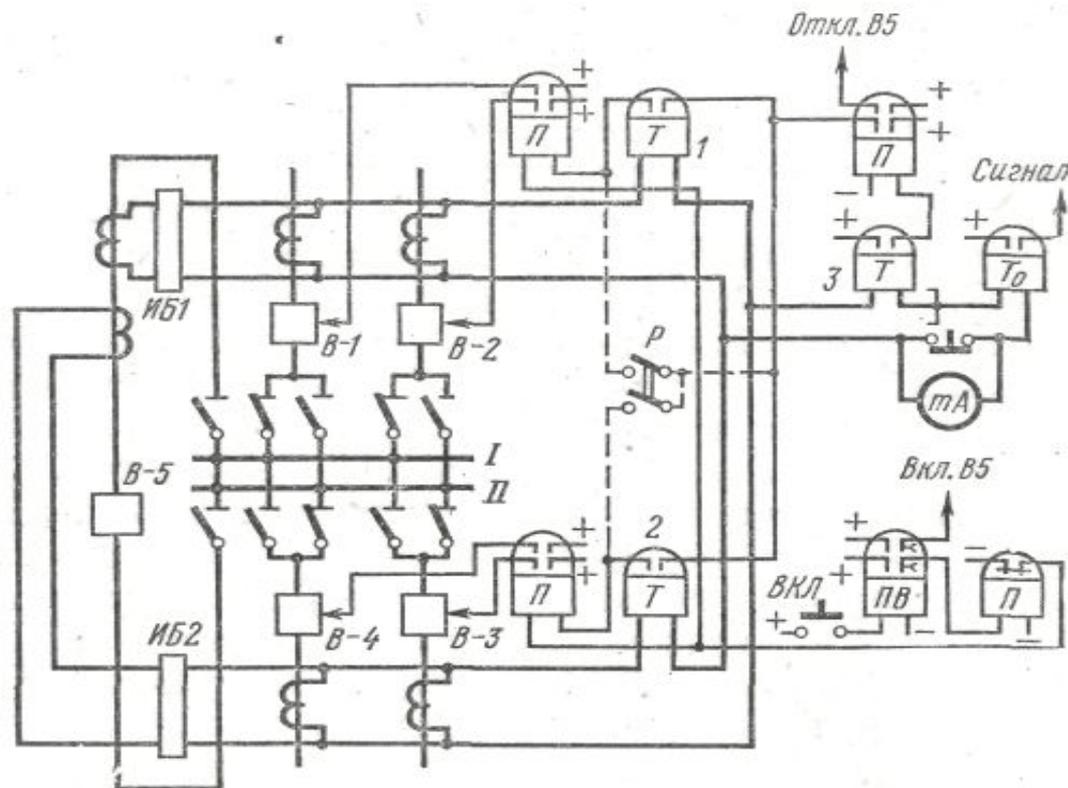


Рис. 19-8. Упрощенная (однофазная) схема дифференциальной защиты подстанции с двойной системой шин с фиксированным распределением присоединений между шинами.

## 5. ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

### 5.3. Неполная дифференциальной защиты шин

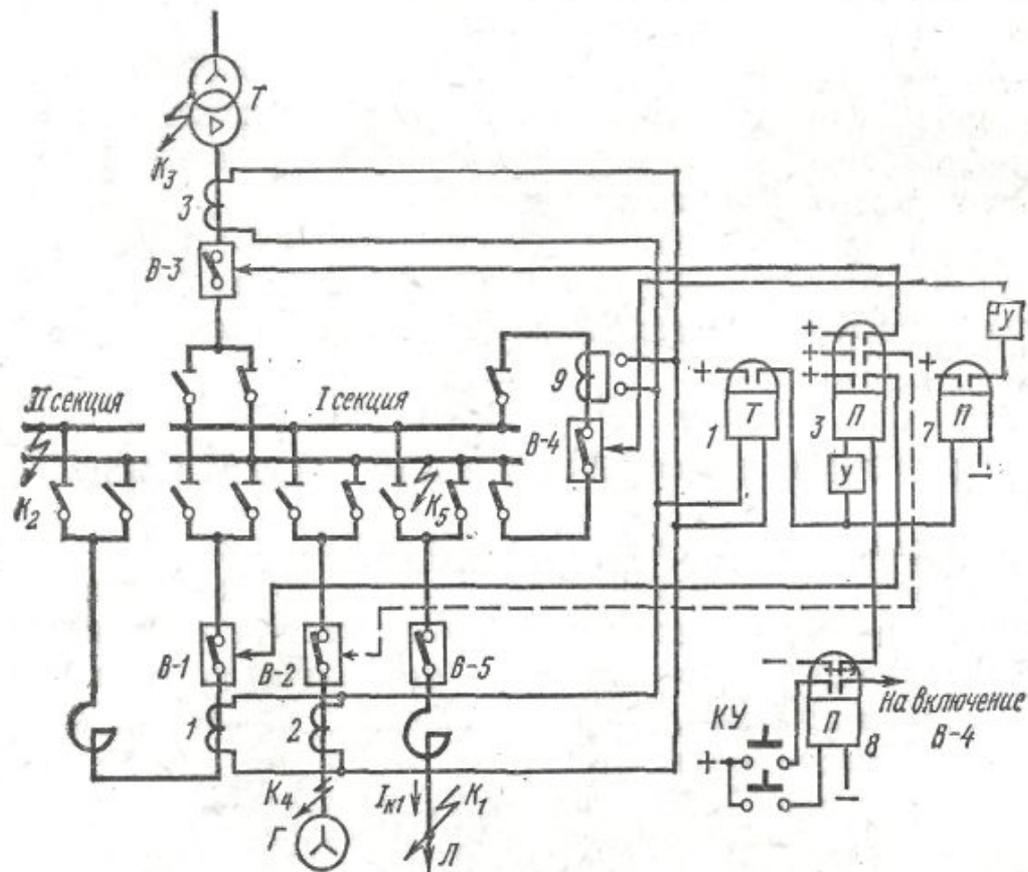


Рис. 19-10. Упрощенная (однофазная) схема неполной дифференциальной защиты шин 6—10 кВ.



## 5. ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

### 5.4. Дистанционная защита шин

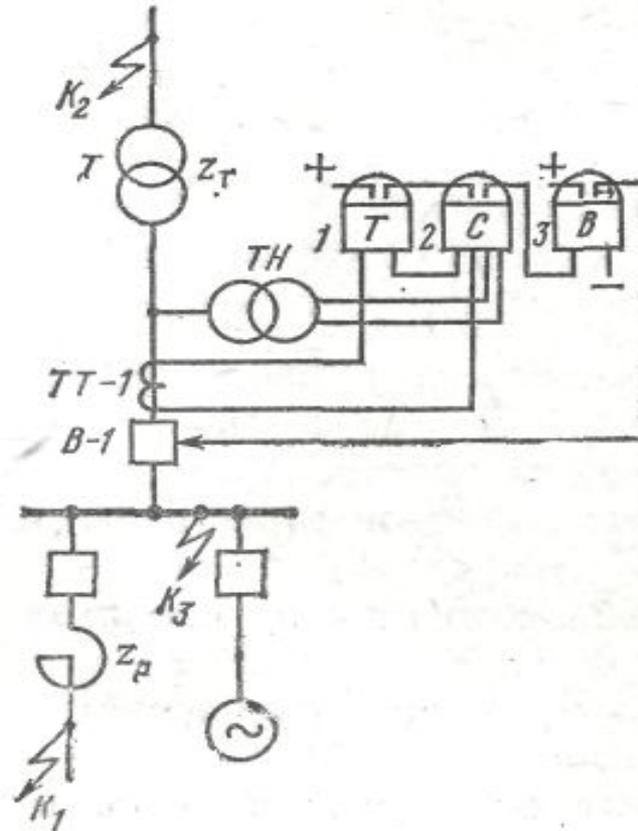


Рис. 19-12. Схема дистанционной защиты шин.

## 5. ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

### Дифференциальная защита шин с торможением.

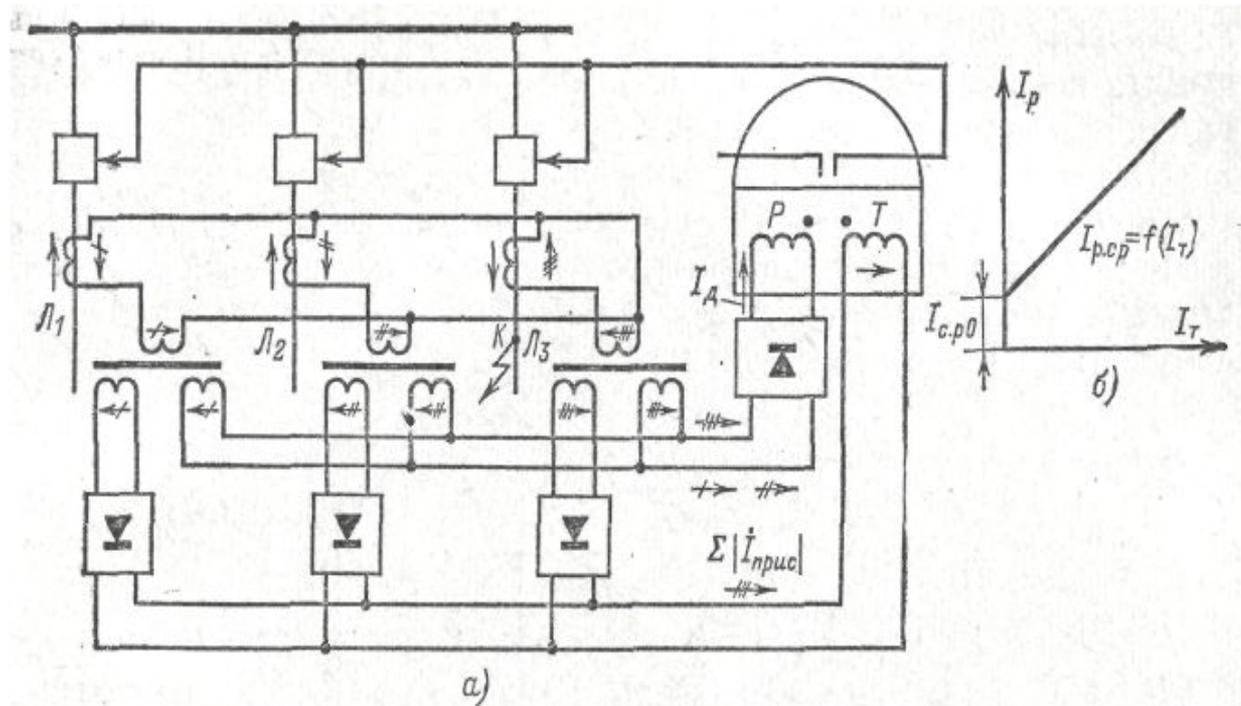


Рис. 19-13. Дифференциальная защита на выпрямленном токе с торможением.

а — схема защиты; б — характеристика  $I_{\text{р.ср}} = f(I_{\text{Т}})$ .

# 5. ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

## Дифференциально-фазная защита шин.

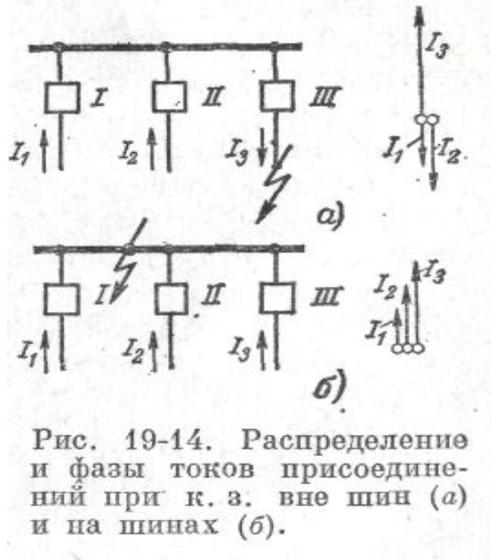


Рис. 19-14. Распределение и фазы токов присоединений при к. з. вне шин (а) и на шинах (б).

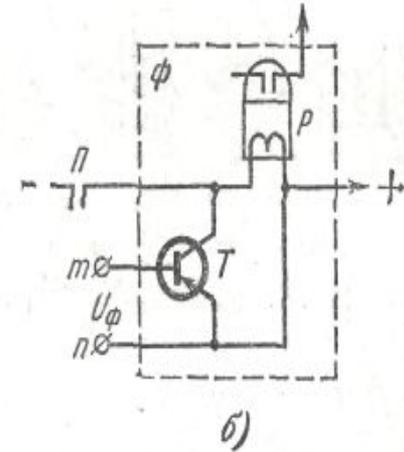
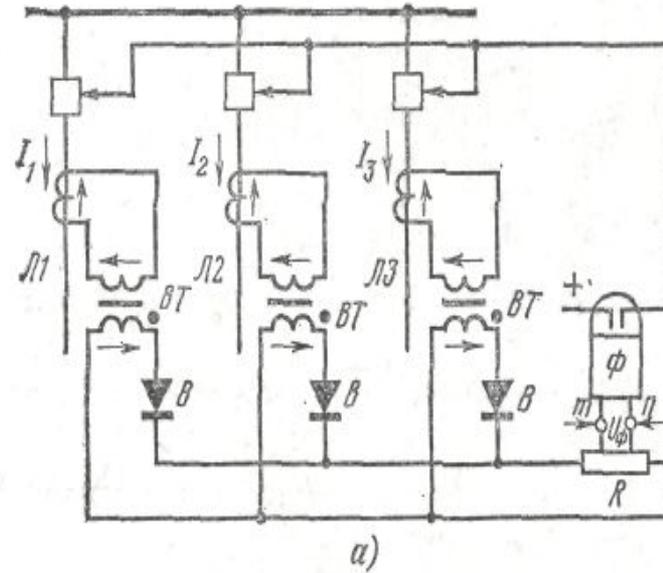


Рис. 19-15. Принцип выполнения дифференциально-фазной защиты шин (а), упрощенная схема реле сравнения фаз (фазного органа) (б).

## 5. Резервирование действия релейной защиты и выключателей Необходимость и способы резервирования

Известны и применяются два способа резервирования:

1) резервирование, осуществляемое защитами смежных участков (далее резервирование);

2) резервирование, осуществляемое защитами и выключателями той подстанции, где произошел с

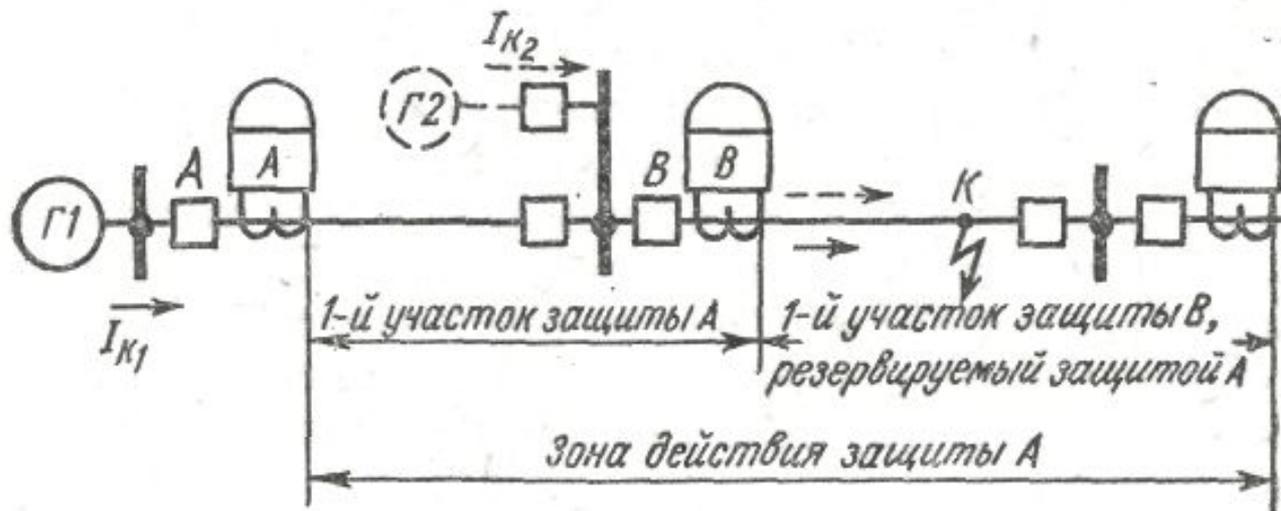


Рис. 20-1. Принцип дальнего резервирования отказа в работе выключателей или защиты с помощью защит предыдущего участка сети.

# 5. Резервирование действия релейной защиты и выключателей

## Необходимость и способы резервирования

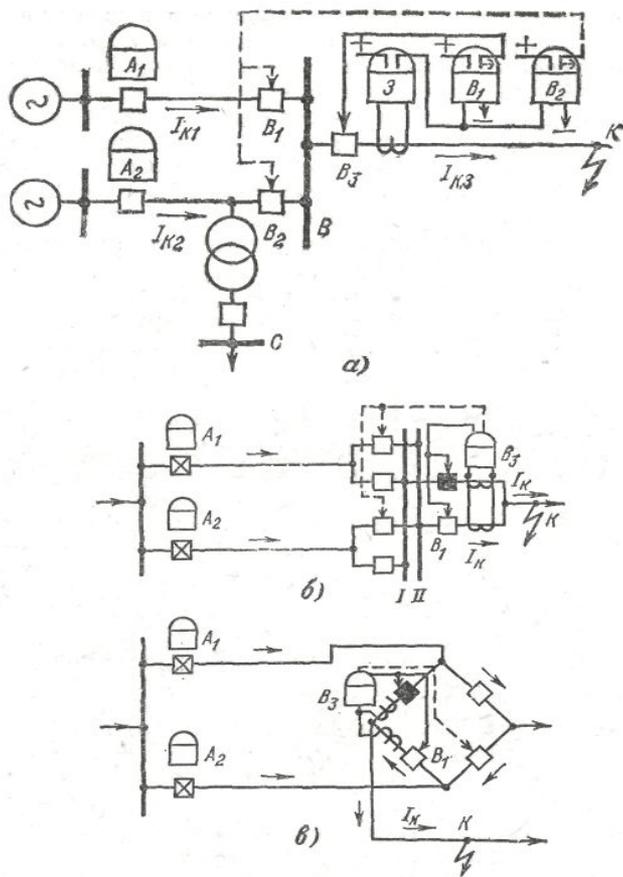


Рис. 20-2. Принцип ближнего резервирования с помощью устройства резервирования отказа выключателей (УРОВ).  
 а — принцип действия УРОВ; б — для схемы с двумя выключателями на присоединении; в — ближнее резервирование для схемы четырехугольника.  
 ■ — выключатель, отключившийся при к. з. на присоединении;  
 ☒ — выключатель, отключаемый резервной защитой предыдущего участка. Пунктиром показаны цепи отключения от устройства УРОВ.

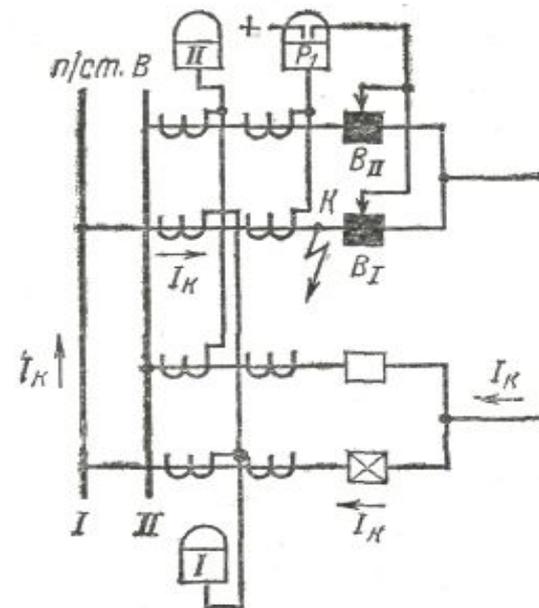


Рис. 20-3. Действие УРОВ при к. з. между выключателем и трансформатором тока.

■ — выключатели, отключившиеся при к. з. в точке К;  
 ☒ — выключатель, отключаемый УРОВ.

# 5. Резервирование действия релейной защиты и выключателей

## Принципы выполнения устройства резервирования отказа выключателей (УРОВ)

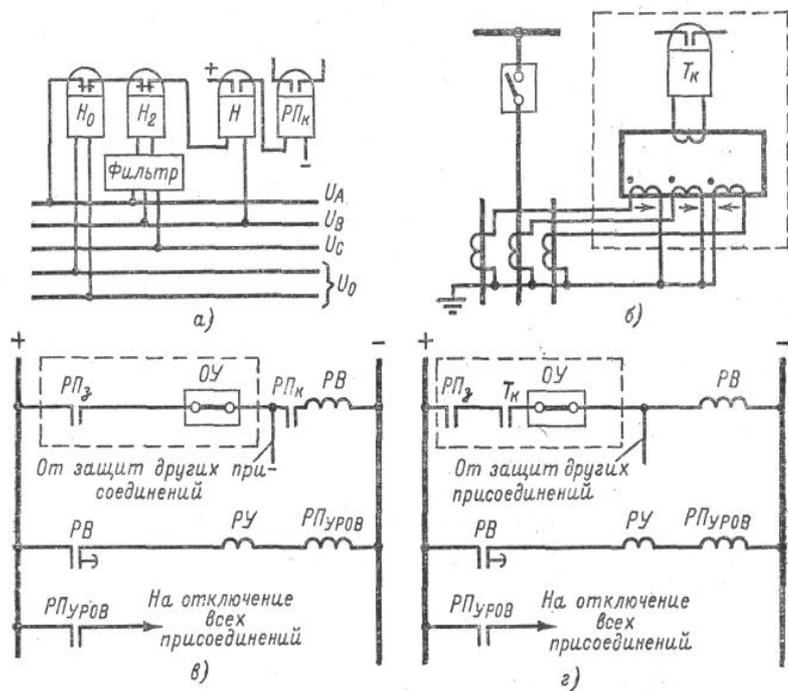


Рис. 20-4. Принципиальная схема устройства резервирования отказа выключателей (УРОВ).

а, б — цепи устройств контроля неотключившегося к. з.; в, г — оперативные цепи УРОВ.

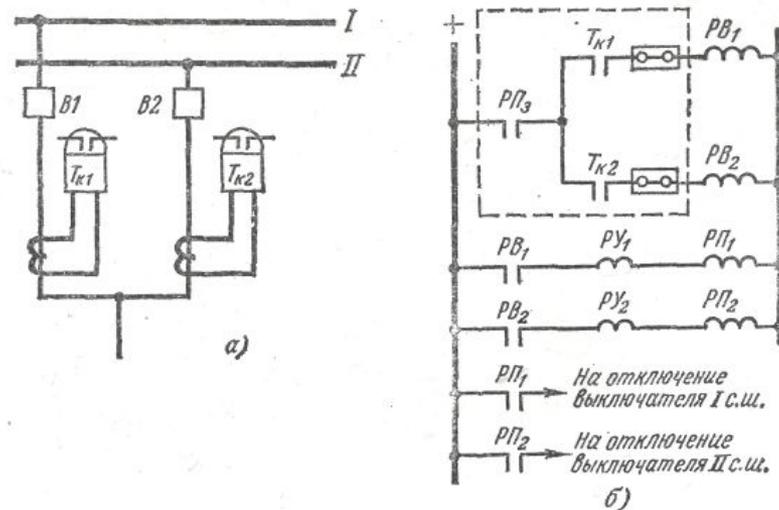


Рис. 20-5. Схема резервирования отказа выключателей при двух выключателях на присоединения.

а — схема присоединения и включения контрольных пусковых реле  $T_{K1}$  и  $T_{K2}$ ; б — оперативные цепи УРОВ.

$$t_{\text{УРОВ}} = t_{\text{откл. в}} + t_{\text{воз. з}} + t_{\text{отшРВ}} + t_{\text{зап}}, \quad (20-1)$$

## 6. Противоаварийная автоматика



1. Какие функции должны выполнять защиты трансформаторов и автотрансформаторов?
2. Какие виды защит применяются для защиты трансформаторов и автотрансформаторов при их повреждениях и ненормальных режимах работы?
3. Принцип действия дифференциальной защиты трансформаторов. Схемы диф. Защит и ток срабатывания для каждой из них.
4. Газовая защита, на что реагирует, где устанавливается газовой реле, принципиальная схема защиты.
5. Защита от сверхтоков внешних кз, какие применяются, как устанавливаются.
6. Токовая отсечка, в каком случае применяется, принцип действия, принципиальная схема.
7. Перегрузки трансформаторов. Защиты от перегрузок. Принципиальные схемы.

- 
1. Какие защиты устанавливаются на блоках малой, средней и большой мощности?
  2. С помощью какого реле выполняется защита от перегрузок? Схема защиты, описание.
  3. Защита на блоках с двухобмоточным повысительным трансформатором, описание.
  4. Защита на блоках с трехобмоточным повысительным трансформатором, описание.
  5. Защита на сдвоенных блоках, описание.
  6. Защита от повышения напряжения. Схема. Принцип работы.
  7. Варианты выполнения дифференциальной защиты блоков.

1. Свойства асинхронных двигателей.
  2. Какая защита применяется от коротких замыканий между фазами? Схема.
  3. В каких случаях возникает перегрузка двигателя? Какие защиты устанавливаются от перегрузок, схемы.
- 
4. Защита ЭД от понижения напряжения. Схема.
  5. Причины вызывающие к.з. на шинах.
  6. Дифференциальная защита шин. Принцип действия при внешнем к.з., схема, ток срабатывания.
  7. Дифференциальная защита шин. Принцип действия при к.з. на шинах, схема, ток срабатывания.
  8. Мероприятия по повышению надежности дифференциальной защиты (расписать подробно).
  9. Схема дифференциальной защиты шин для подстанций с одной рабочей и второй резервной системами шин.
  10. Схема дифференциальной защиты шин для подстанций, работающих на двух системах шин с фиксированным распределением присоединений
  11. Схема дифференциальной защиты шин с двумя выключателями на каждом присоединении
  12. Неполная дифференциальная защита шин. Ток срабатывания, схема.
  13. Дистанционная защита шин
  14. Дифференциальная защита шин с торможением
  15. Дифференциально-фазная защита шин