

# 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

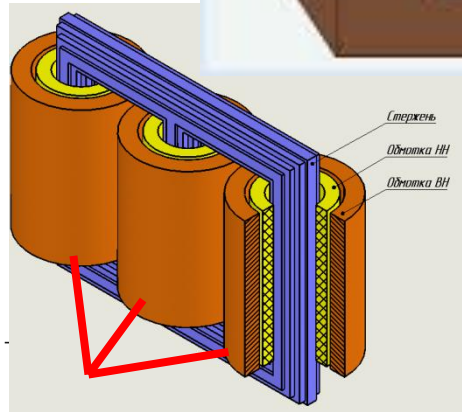
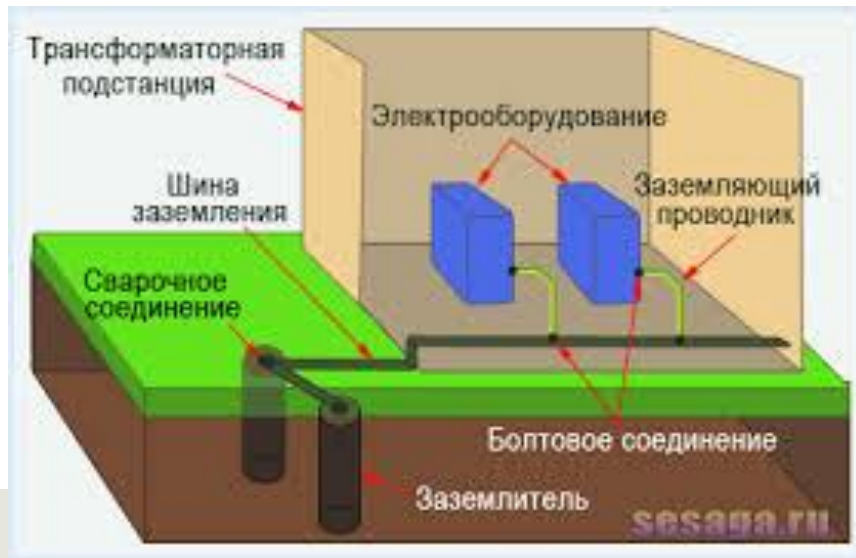
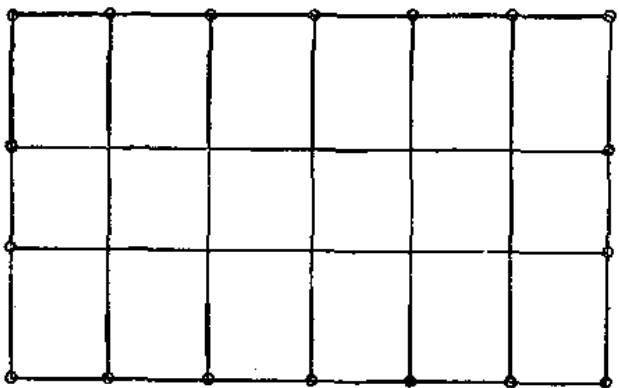
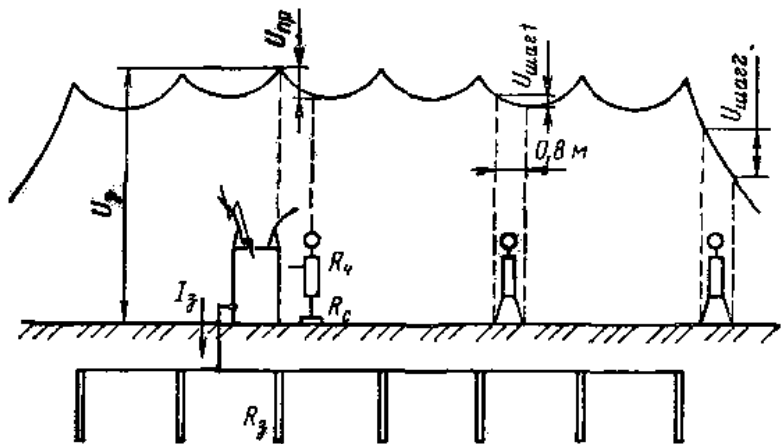
к.т.н. доцент ОЭЭ ИШЭ

## Лекция 6

# Токовые ступенчатые защиты нулевой последовательности

**Режим заземления нейтрали  
Принципы выполнения защит от ОЗЗ  
Расчет уставок ТЗНП**

# Заземляющие устройства электростанциях и подстанциях



Общая точка обмоток трансформатора, соединенных по схеме «звезда».

### Режим заземления нейтрали

- Сети с **изолированной** нейтралью.
- Сети с **компенсацией емкостного тока**.
- Сети с **резистивным заземлением** нейтрали.
- Сети с **комбинированным заземлением** нейтрали.
- Сети с **глухозаземленной** нейтралью.

### Режим заземления нейтрали определяет:

- Перенапряжения на неповрежденных фазах при однофазном замыкании.
- Токи при однофазных замыканиях на землю.
- Выполнение релейной защиты.
- Выбор коммутационных устройств.
- Уровень изоляции электроустановок.

Перенапряжения на неповрежденных фазах при длительное протекание емкостного тока замыкания **допустимо**, если он не превышает при 6, 10 и 35 кВ соответственно 30, 20 и 10А. Перенапряжения на неповрежденных фазах достигают  $(2,2-2,5)U_{\phi}$  при перемежающихся замыканиях.

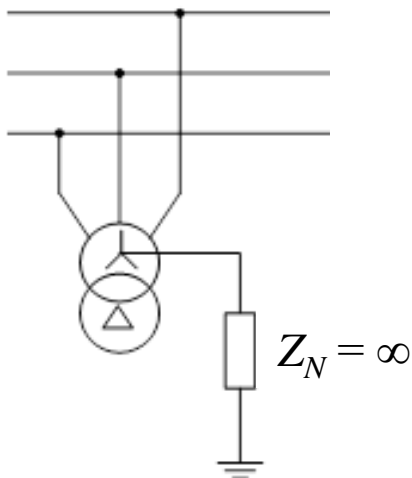


Схема подключения заземляющего устройства

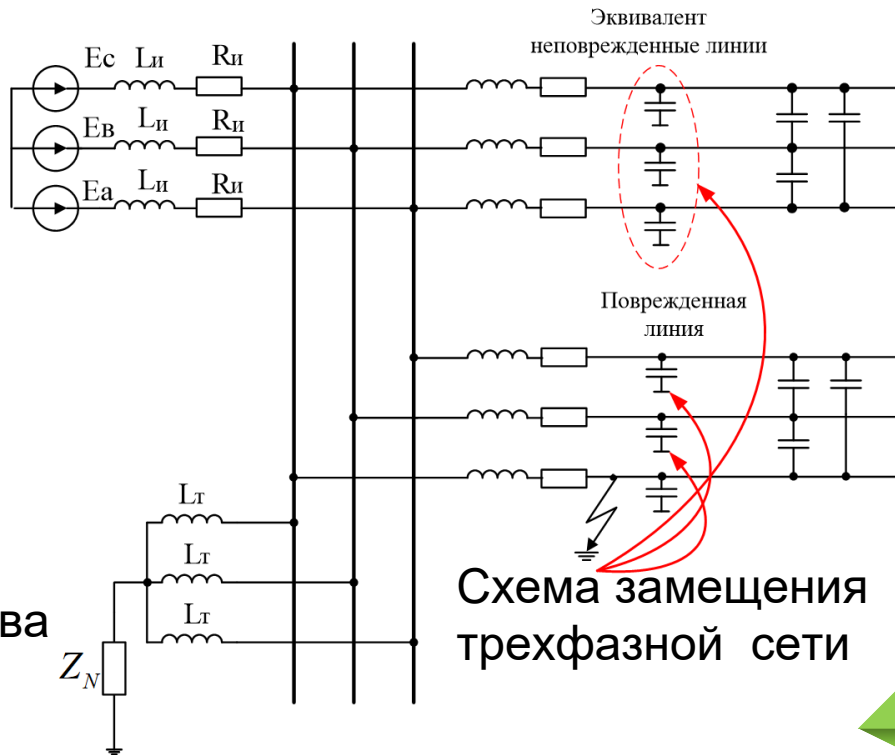
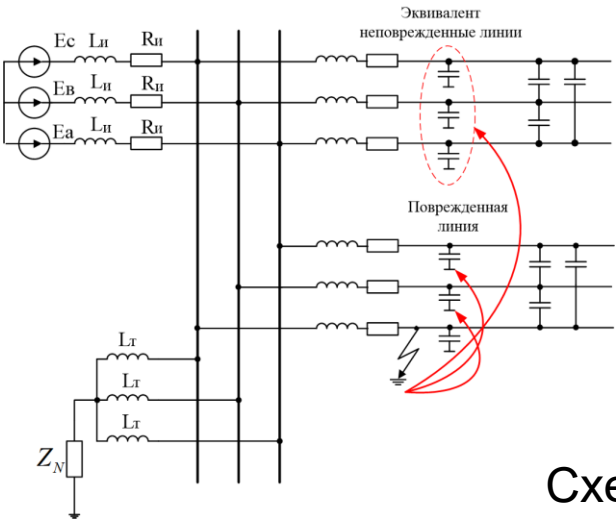


Схема замещения трехфазной сети

При дуговых замыканиях в сетях с изолированной нейтралью в точке замыкания протекает емкостных ток

# Режимы заземления нейтрали

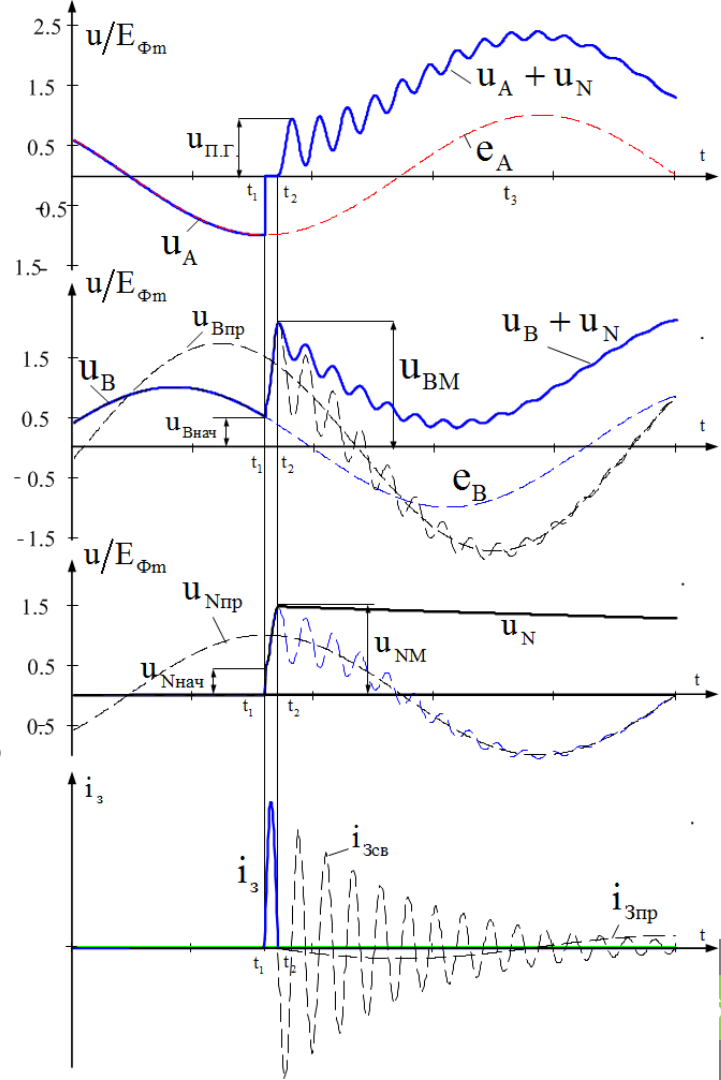
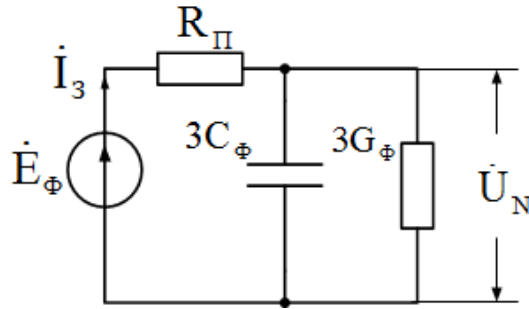
## Сети 6-35 кВ с изолированной нейтралью



### Дуговое замыкание на землю

Схема замещения нулевой последовательности при ЗЗ

$R_{II}$  – переходное сопротивление в месте ЗЗ,  
 $G_{\phi}$  – проводимость фазы,  
 $C_{\phi}$  – емкость фазы.



# Режимы заземления нейтрали

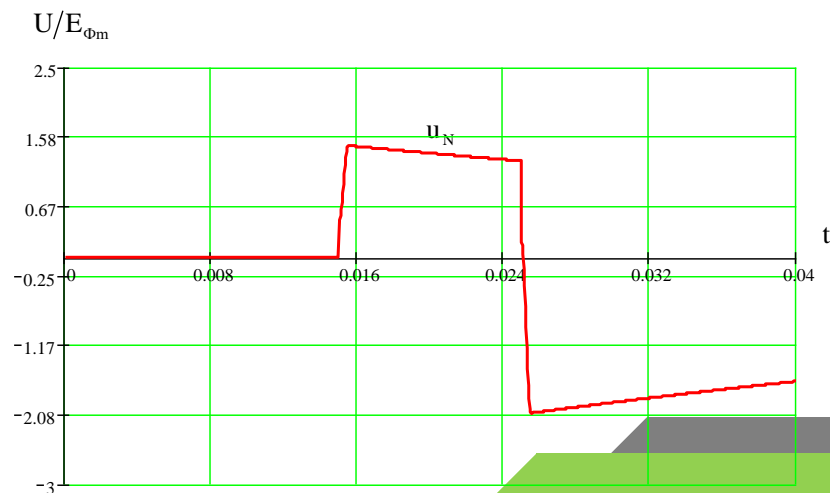
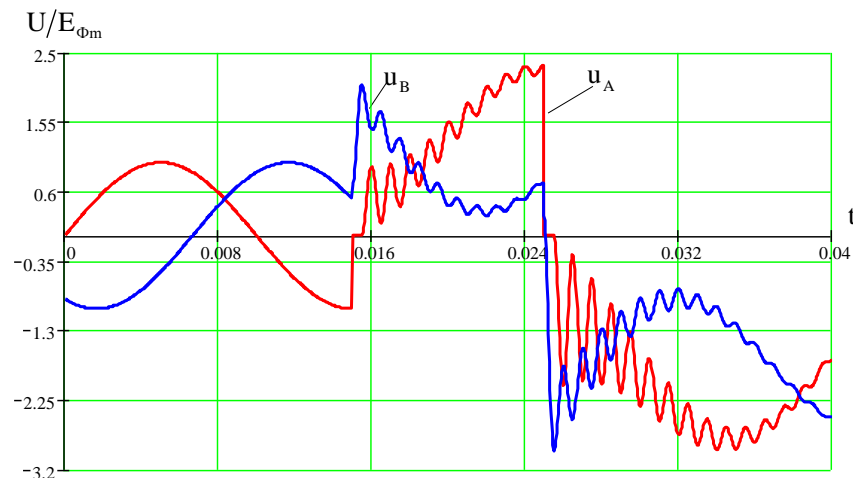
## Сети 6-35 кВ с изолированной нейтралью

Процесс формирования перенапряжений на неповрежденной фазе и на нейтрали в сети с изолированной нейтралью

$$d = \frac{I_{1a}}{I_C} = \frac{3G_{\Phi}}{3\omega C_{\Phi}}$$

Коэффициент демпфирования

$$d = 0,05$$



# Режимы заземления нейтрали

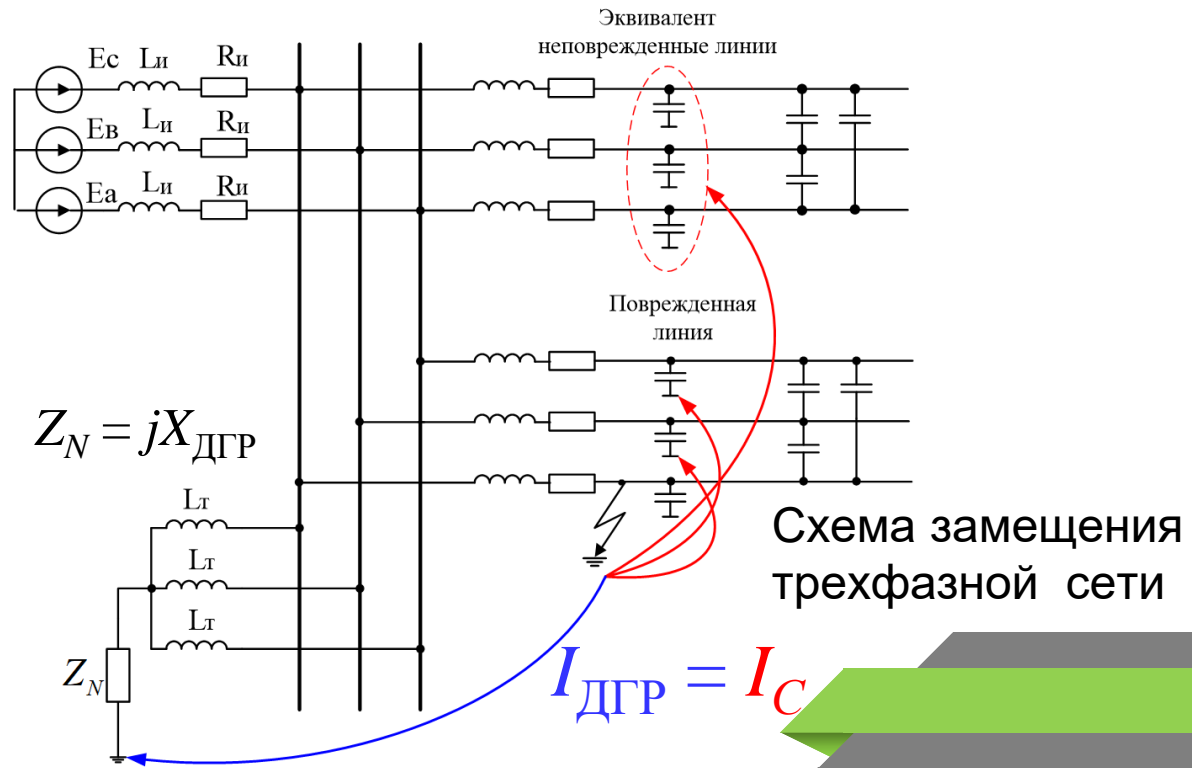
# Сети 6-35 кВ с компенсированной нейтралью

Длительное протекание тока замыкания **недопустимо**, требуется селективная защита и автоматика для настройки дугогасящего реактора (ДГР).

Перенапряжения на неповрежденных фазах не превышают  $1,73U_{ф}$  при расстройке компенсации до 5%.



Дугогасящий реактор на подстанции





# Режимы заземления нейтрали

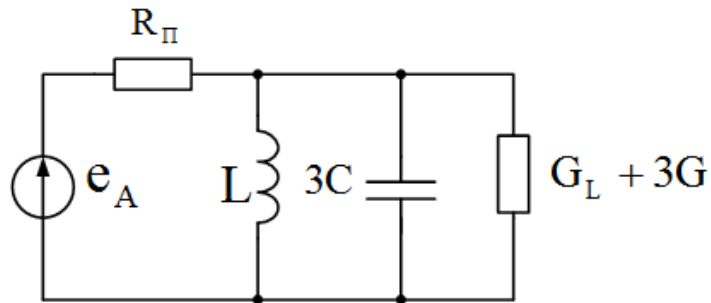
## Сети 6-35 кВ с компенсированной нейтралью

Растройка компенсации

$$\nu = 0,2$$

Коэффициент демпфирования

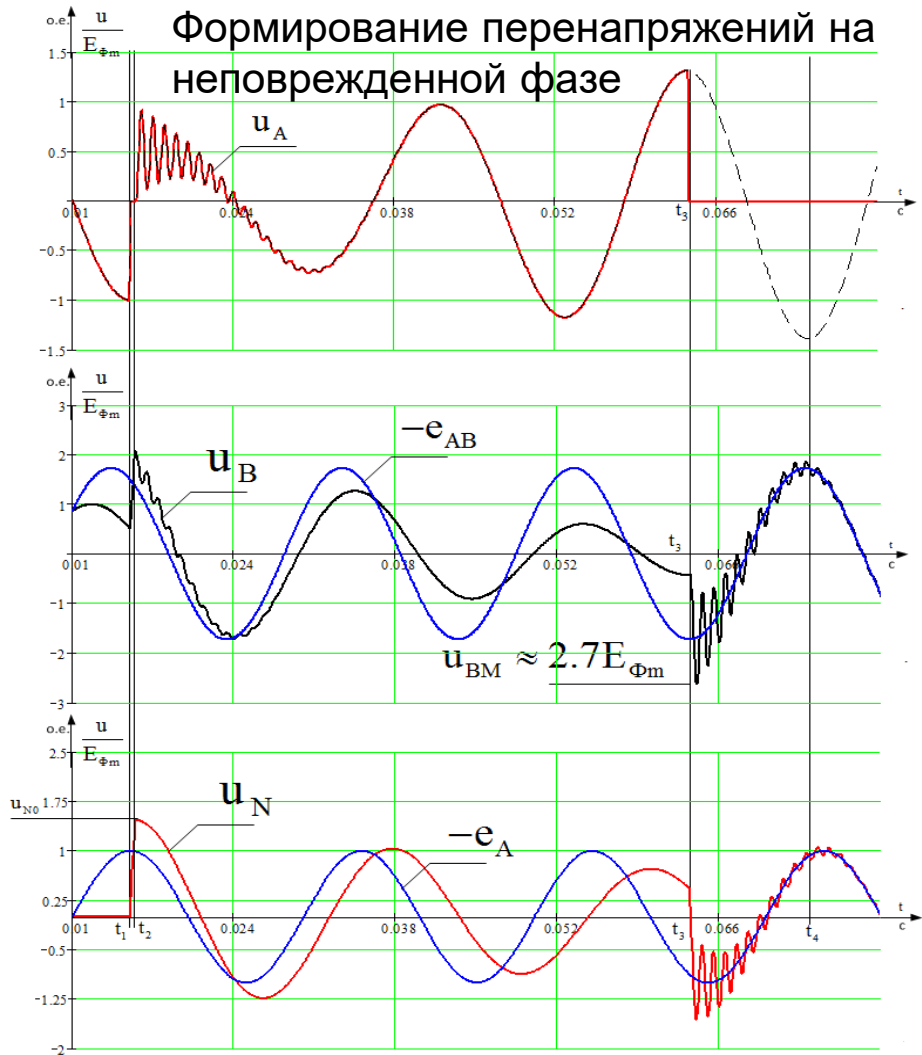
$$d = 0,05$$



$$\nu = 1 - \frac{I_{L1}}{I_{C1}}$$

$$d = \frac{I_{1a}}{I_C} = \frac{3G_\Phi + G_L}{3\omega C_\Phi}$$

### Формирование перенапряжений на неповрежденной фазе



Длительное протекание тока замыкания **недопустимо**, требуется селективная защита. Перенапряжения на неповрежденных фазах отсутствуют.



Заземляющий резистор

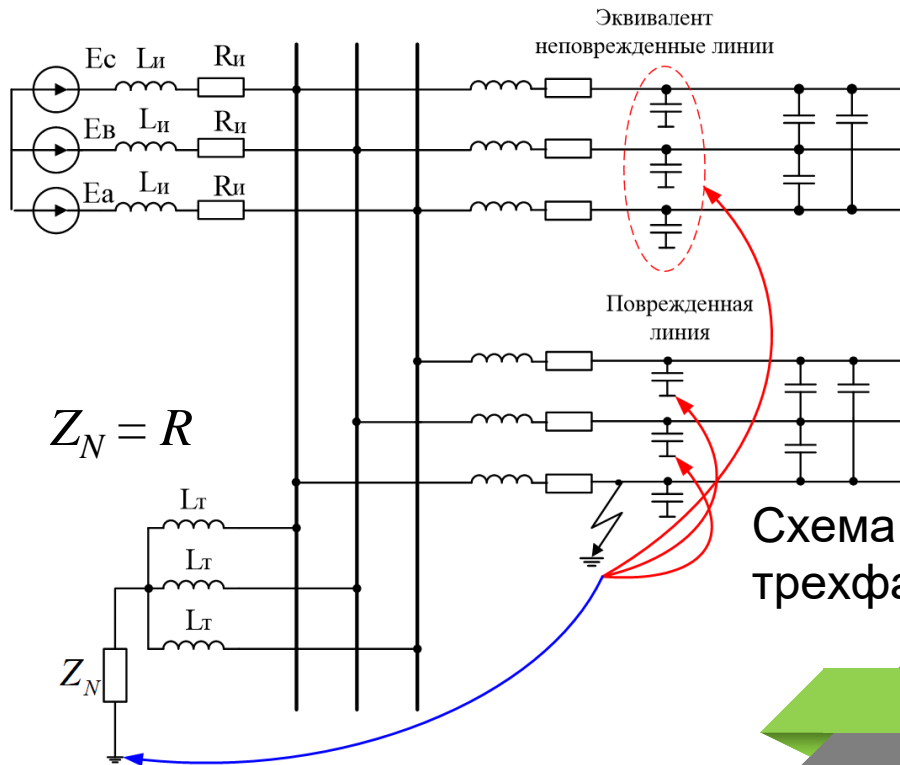


Схема замещения трехфазной сети

# Режимы заземления нейтрали

## Сети 6-35 кВ с резистивным заземлением нейтрали

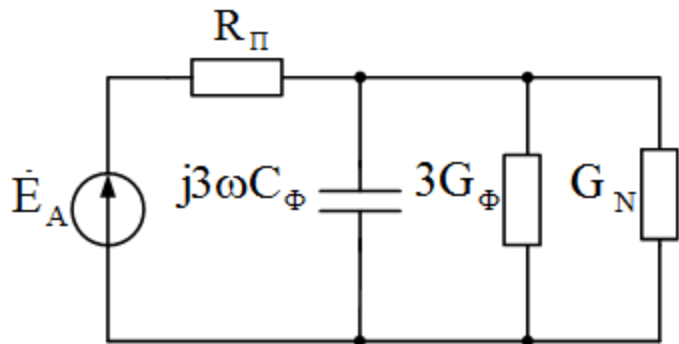


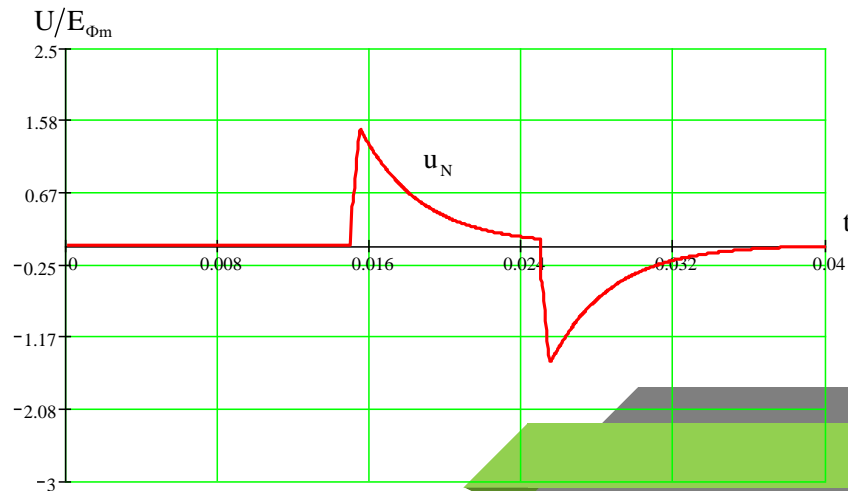
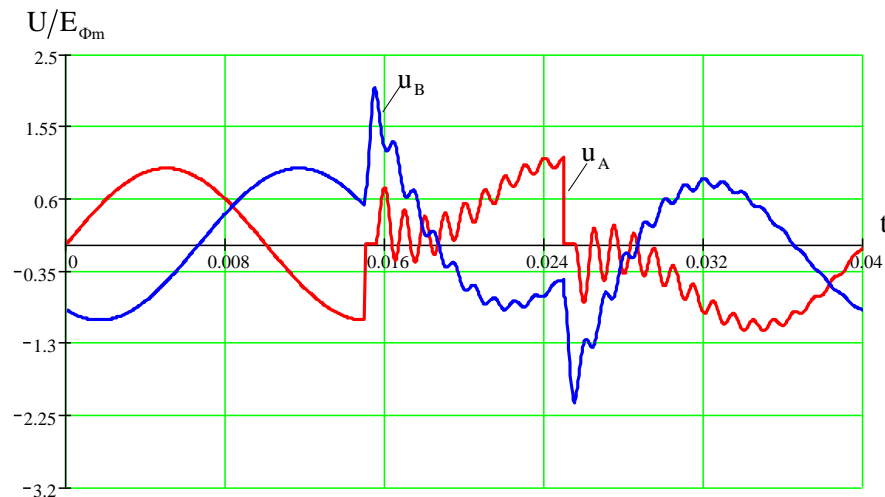
Схема замещения нулевой последовательности при ЗЗ

$R_{II}$  – переходное сопротивление в месте ЗЗ,

$G_{\phi}$  – проводимость фазы,

$C_{\phi}$  – емкость фазы,

$G_N$  – проводимость резистора



# Режимы заземления нейтрали

# Сети 6-35 кВ с комбинированным заземлением нейтрали

Длительное протекание тока замыкания **недопустимо**, требуется селективная защита и автоматика для настройки ДГР.

Перенапряжения на неповрежденных фазах отсутствуют.



Заземляющий резистор и ДГР

$$Z_N = \frac{R_N \cdot jX_{\text{ДГР}}}{R_N + jX_{\text{ДГР}}}$$

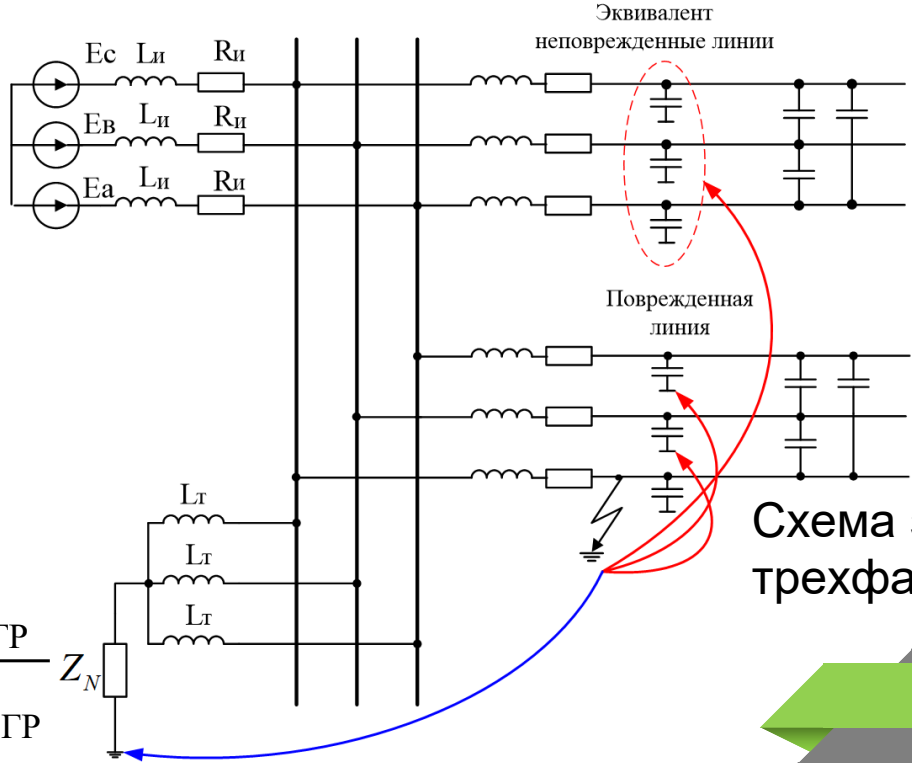


Схема замещения трехфазной сети

## Сети 6-35 кВ с резистивным заземлением нейтрали

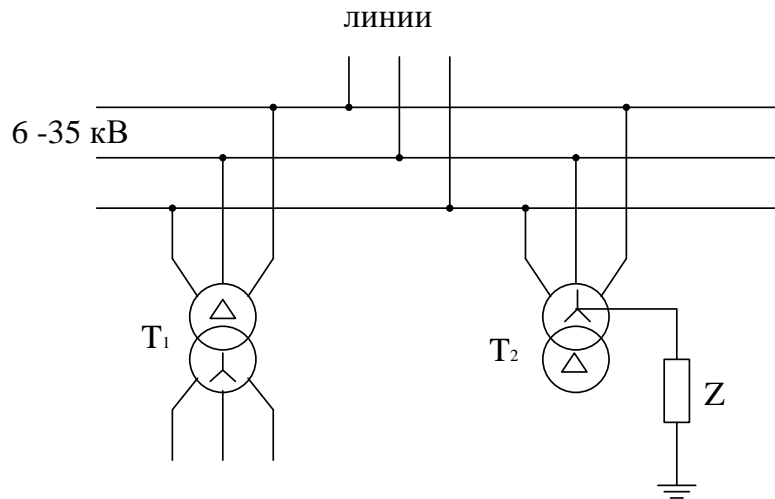
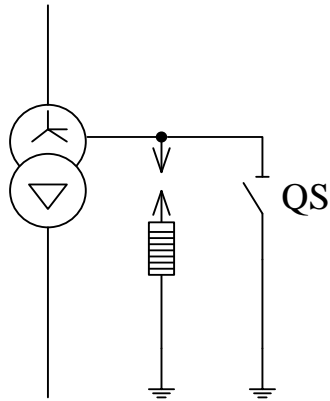


Схема подключения  
заземляющего устройства

Токи КЗ велики, устанавливается селективная токовая защита нулевой последовательности.

Перенапряжения на неповрежденных фазах отсутствуют.



Схемы заземления нейтрали силовых трансформаторов для сетей 110, 220 кВ

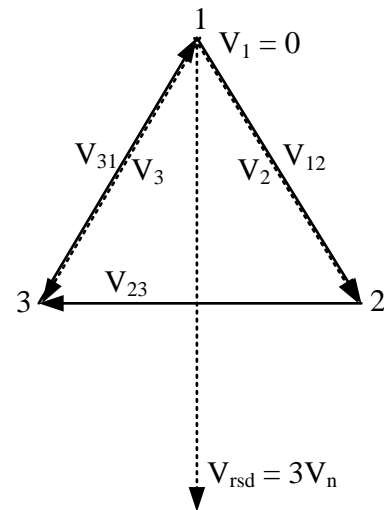
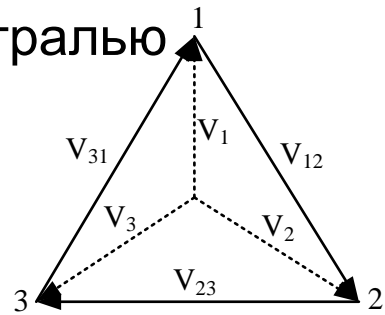
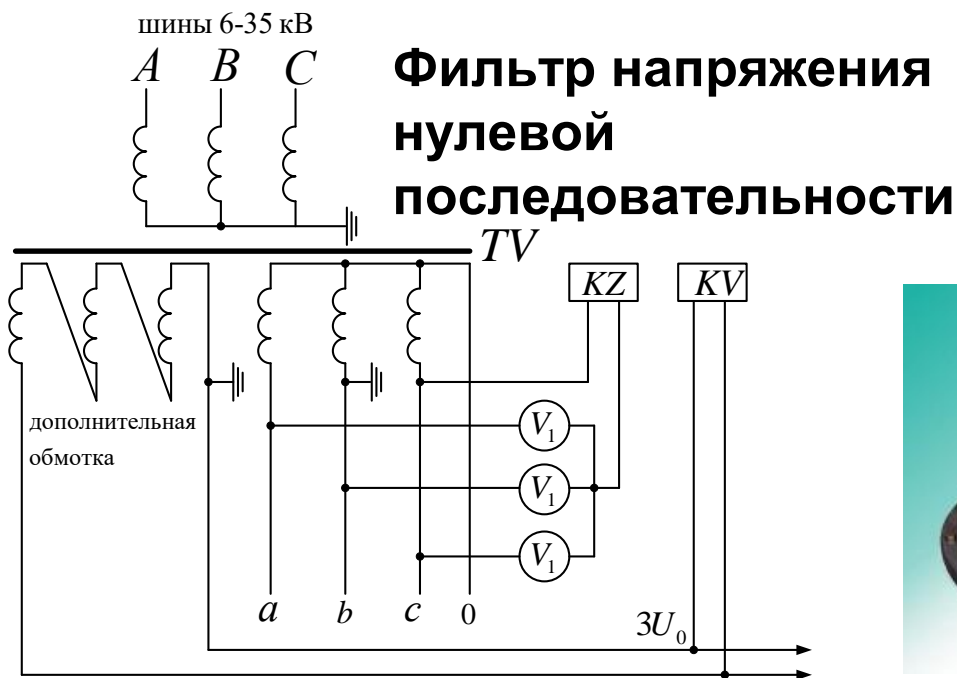


## Лекция 6

# Защиты нулевой последовательности

**Фильтр нулевой последовательности  
Токовая ступенчатая защита нулевой  
последовательности**

## Измерение напряжения нулевой последовательности $3U_0$ Сети с изолированной нейтралью



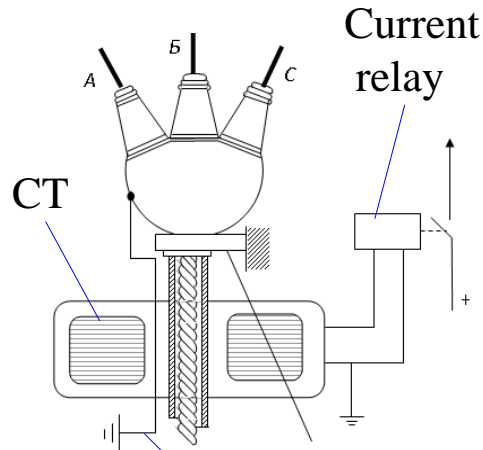
HTMI-10



## 2. Измерение тока нулевой последовательности $3I_0$ промышленной частоты

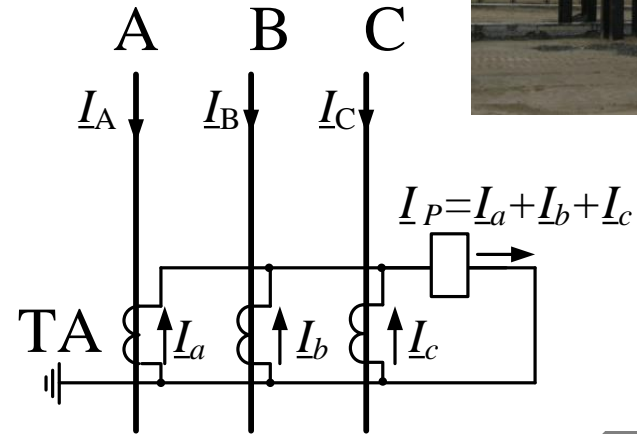
### Фильтры тока нулевой последовательности (ФТНП)

Для кабельных сетей

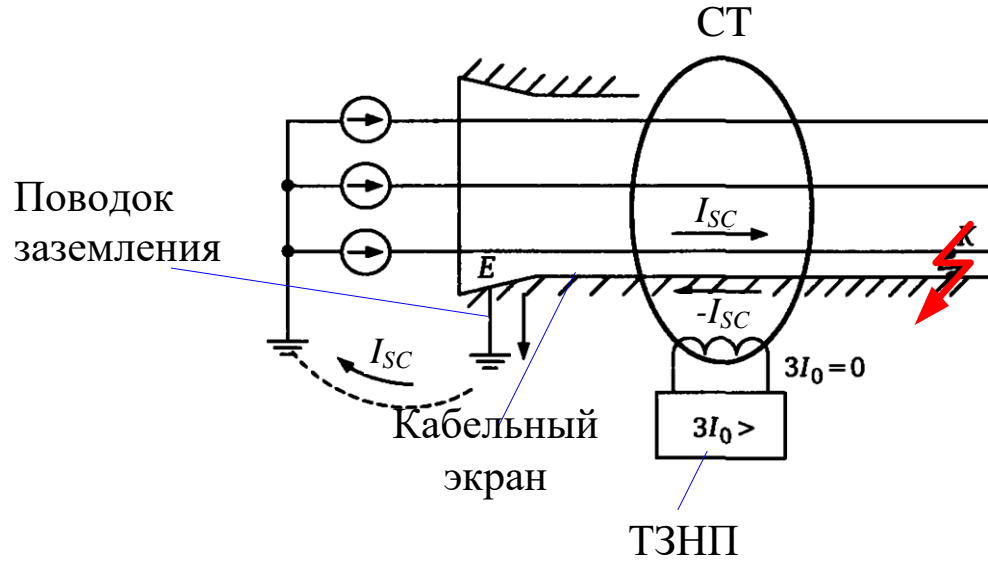


Поводок заземления

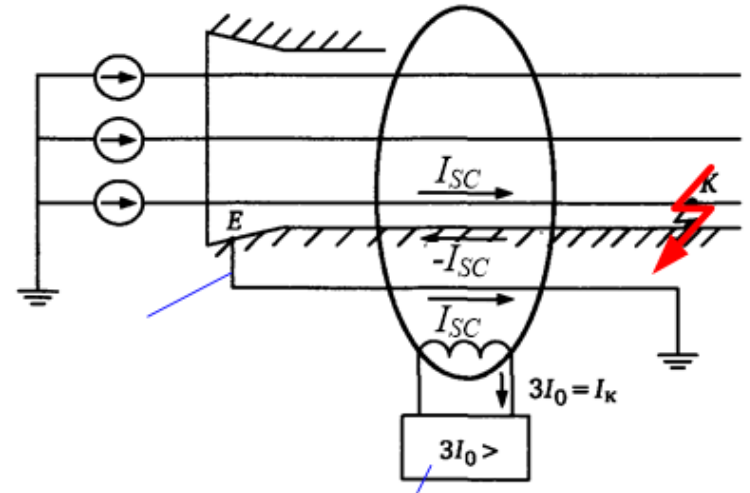
Для воздушных сетей



## Неправильное заземление кабельного ФТНП



## Правильное заземление



# Расчет уставок ТЗНП для линий 110-500 кВ

## Ступень 1 (ТО без выдержки t)

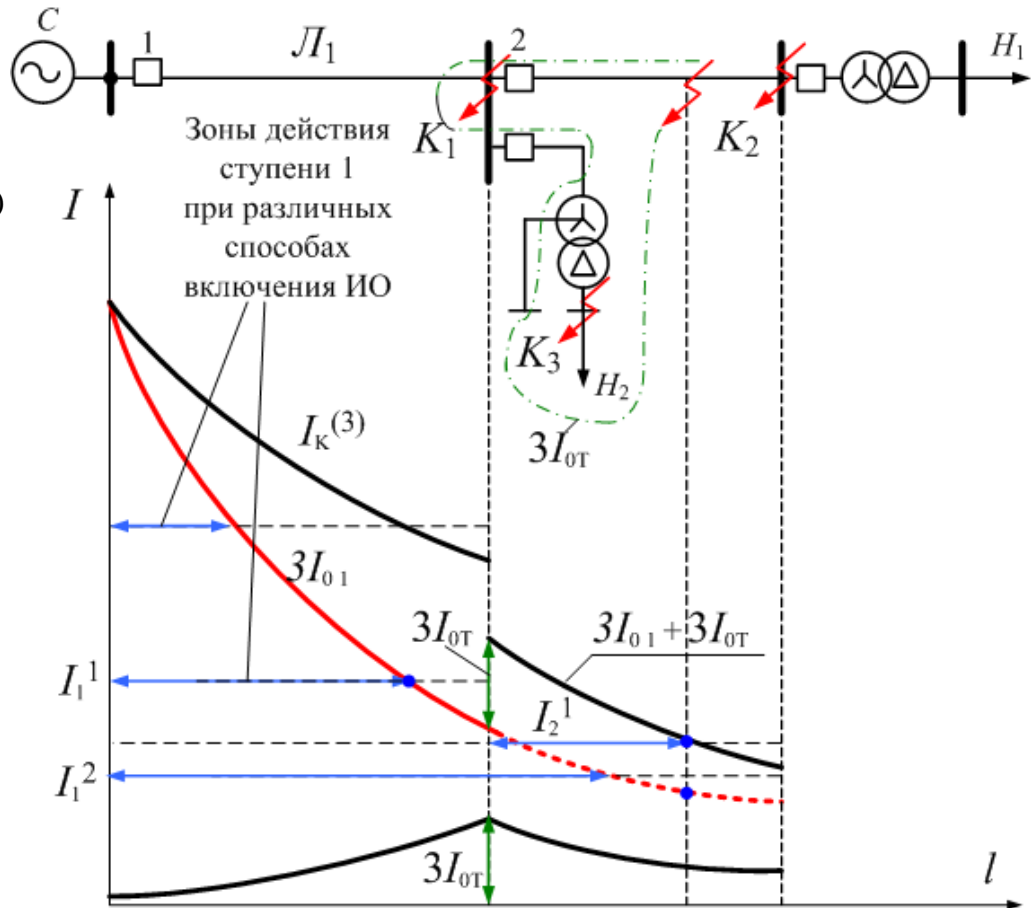
$$I_1^1 = K_{отс} I_{K1}^{(1)} \quad \text{или} \quad I_1^1 = K_{отс} I_{K1}^{(1,1)}$$

$$I_2^1 = K_{отс} I_{K2}^{(1)} \quad \text{или} \quad I_2^1 = K_{отс} I_{K2}^{(1,1)}$$

Котс=1,3 при использовании РТ-40  
(связано с усилением влияния апериодической составляющей)

Котс=1,2 при других типах реле

ТО нулевой последовательности имеет большую чувствительность по сравнению с ТО, включенной на полные токи фаз.



# Расчет уставок ТЗНП для линий 110-500 кВ

## Ступень 2 (ТО с выдержкой t)

$$I_1^2 = K_{отс} K_T I_2^1,$$

$$K_T = \frac{3I_{01}}{3I_{01} + 3I_{0T}}$$

$$K_{отс}=1,1$$

$$t_{cp}=+0,5 \text{ с}$$

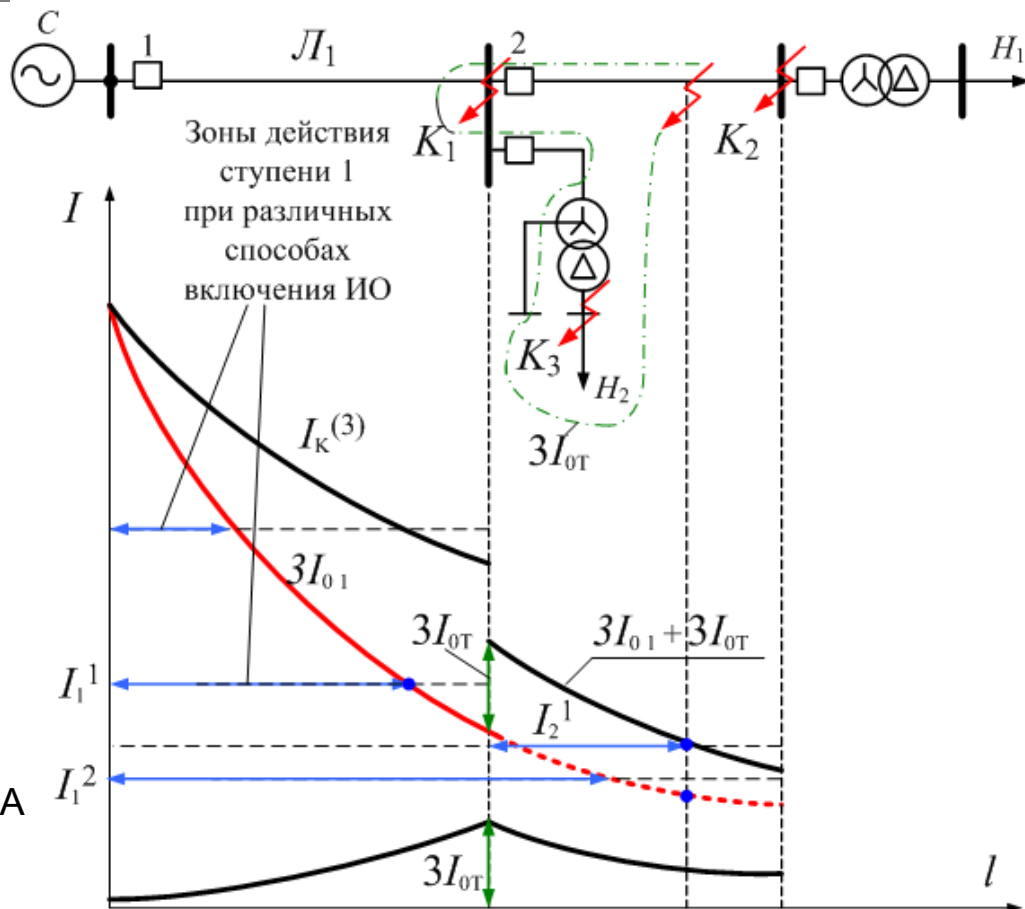
## Ступень 3 (МТЗ НП)

$$I_1^3 = K_{отс} K_{одн} \varepsilon I_{K3}^{(3)}$$

$$K_{отс}=1,2$$

Кодн=0,5-1,0 коэффициент однотипности ТА

$\varepsilon=0,1$  – максимальная погрешность ТА



# Расчет уставок ТЗНП для автотрансформатора

## Ступень 1

$$I_{AT}^I = K_{отс} K_T I_{СЗлин пред.}^I$$

$$K_T = \frac{3I_{01}}{3I_{01} + 3I_{0T}}$$

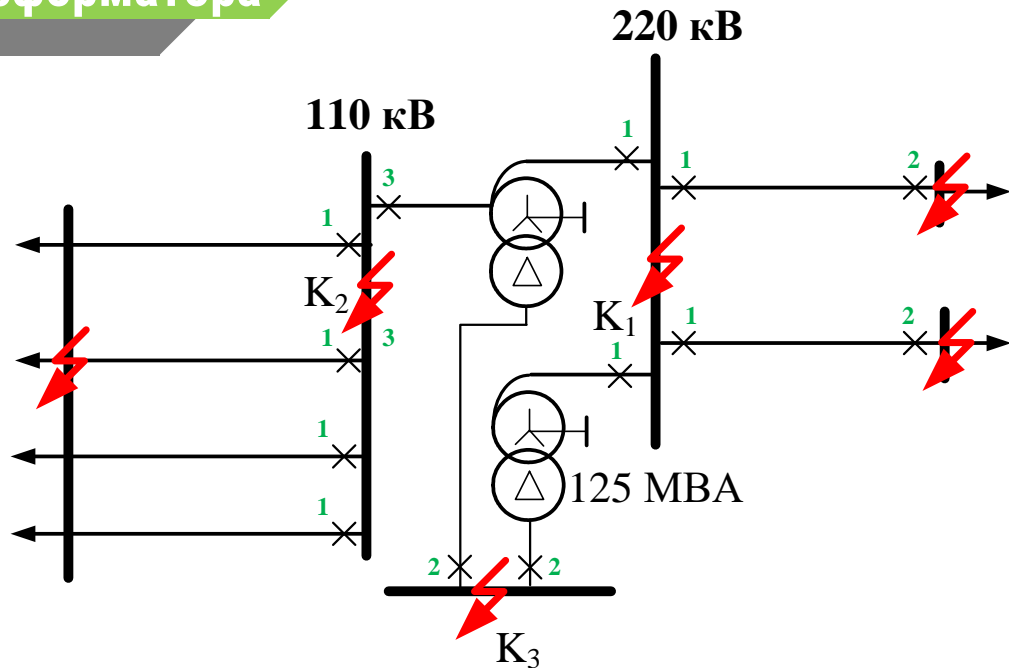
## Ступень 2

$$I_{AT}^{II} = K_{отс} 3I_{0.неп}^I$$

## Ступень 3

$$I_{AT}^{III} = K_{отс} K_{нб} I_{расч}$$

$$K_{ч} = \frac{3I_0}{I_{СЗ}}$$



$K_{ч}$  – определяется при трехфазных коротких замыканиях на стороне НН АТ СН АТ

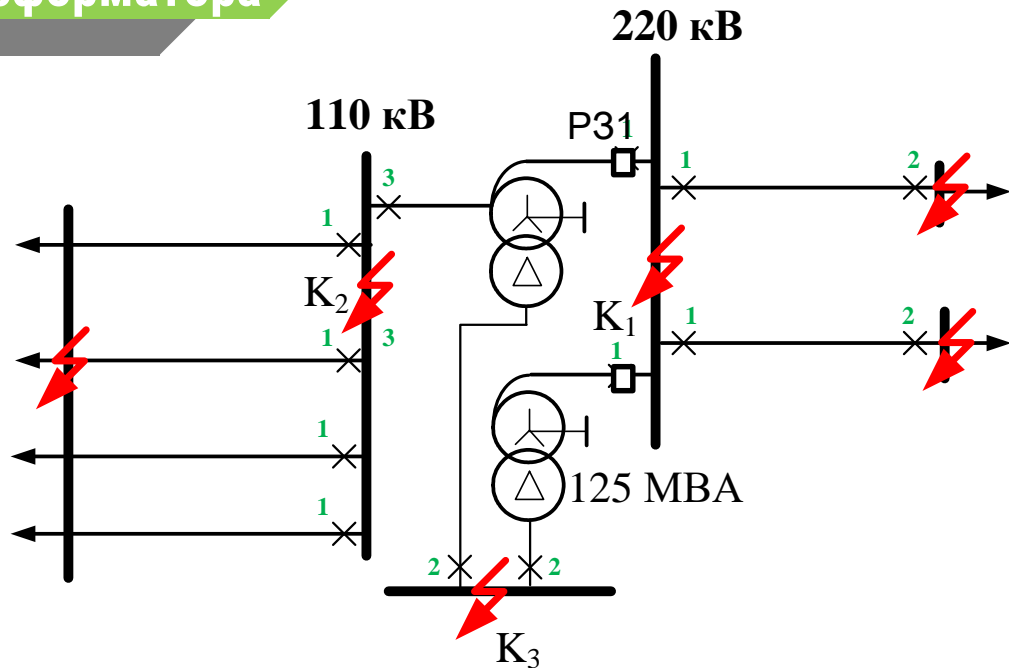
## Ступень 1 (ТО)

$$I_{OC3} \geq K_{отс} 3I_{OK2}$$

$K_{отс}=1,2$

Положение РПН, при котором ток КЗ наибольший

- Проверка на несрабатывание при неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП  $1,3 \cdot 3 \cdot I_{0неп}$
- Проверка на по условию отстройки от броска тока намагничивания



## Ступень 2 (ТО с выдержкой t)

$$I_{OC3}^{II} \geq K_{отс2} K_{ток} I_{C3Л1}^{II}$$

$K_{отс}=1,1$

Положение РПН, при котором ток КЗ наибольший

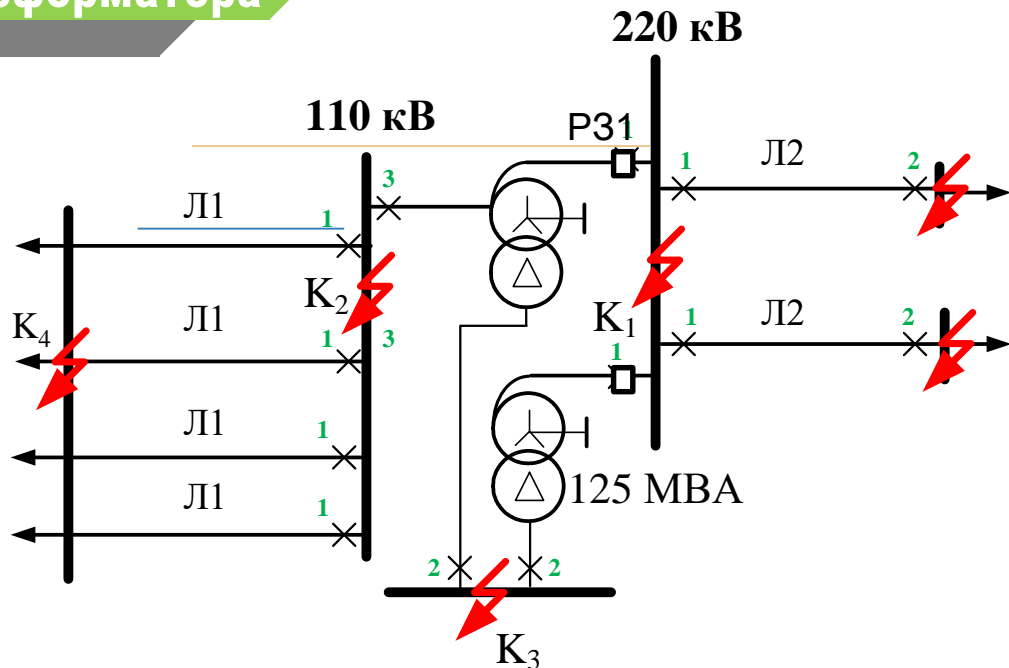
- Проверка на несрабатывание при неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП  $1,3 \cdot 3 \cdot I_{0неп}$

## Ступень 3

$K_{отс}=1,1$

Положение РПН, при котором ток КЗ наибольший

- Проверка на несрабатывание при неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на ЛЭП  $1,3 \cdot 3 \cdot I_{0неп}$



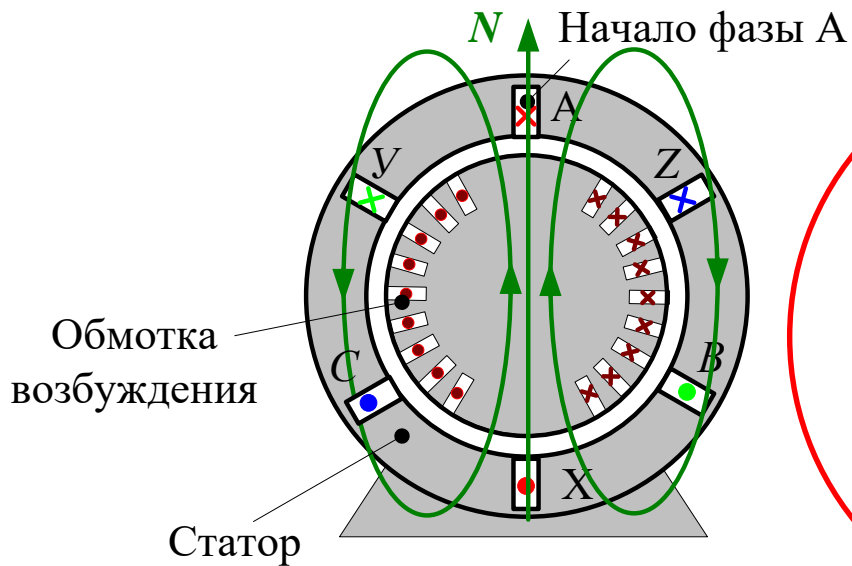
## Лекция 6

# Защиты обратной последовательности

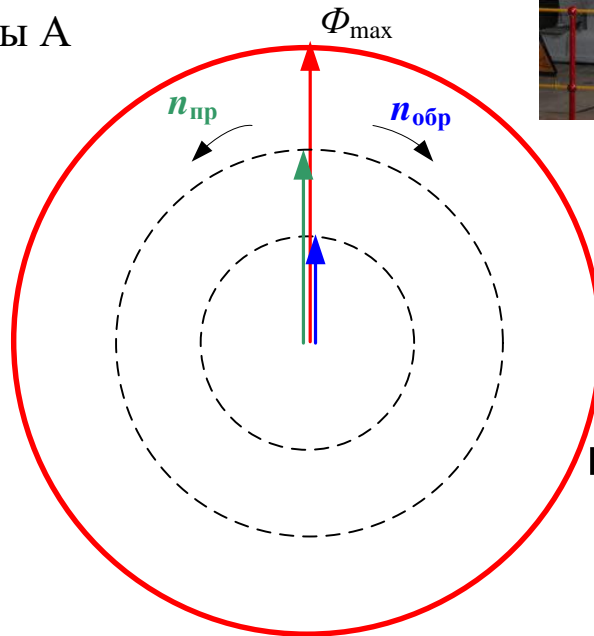
**Фильтр обратной последовательности  
Токовая ступенчатая защита обратной  
последовательности**



# Защита обратной последовательности



Конструкция генератора



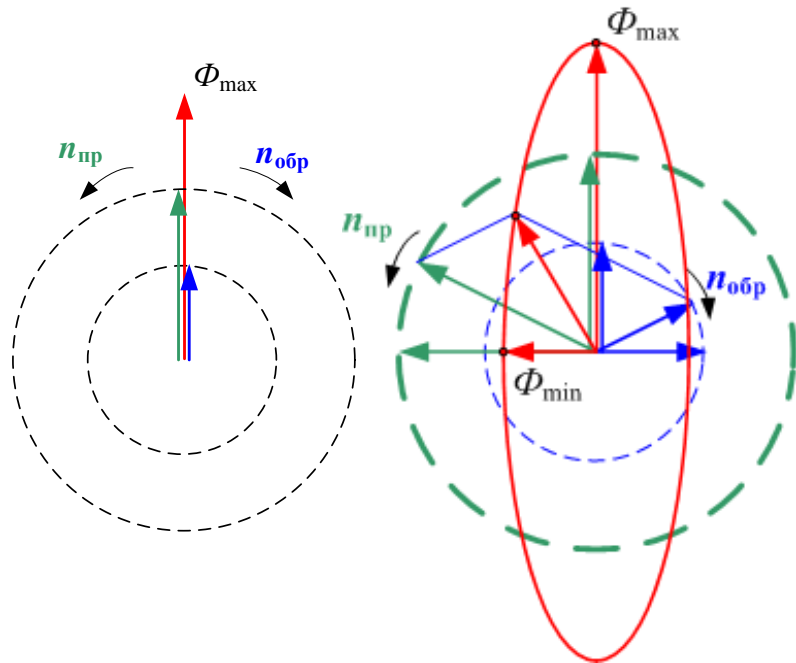
Поле генератора в нормальном режиме работы



**ЗОП** – реагирует на ток и напряжение обратной последовательности (искажение формы поля CM).

# Защита обратной последовательности

ЗОП – реагирует на ток и напряжение обратной последовательности (искажение формы поля СМ).



Искажение поля генератора при несимметричных КЗ

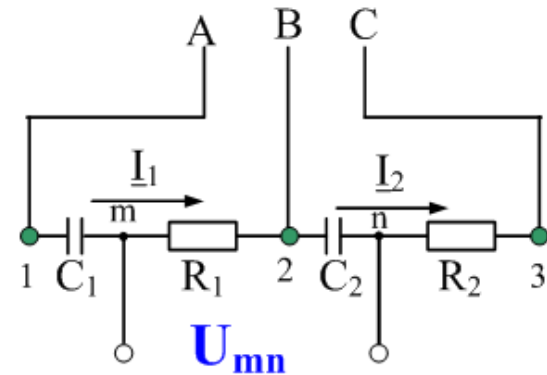
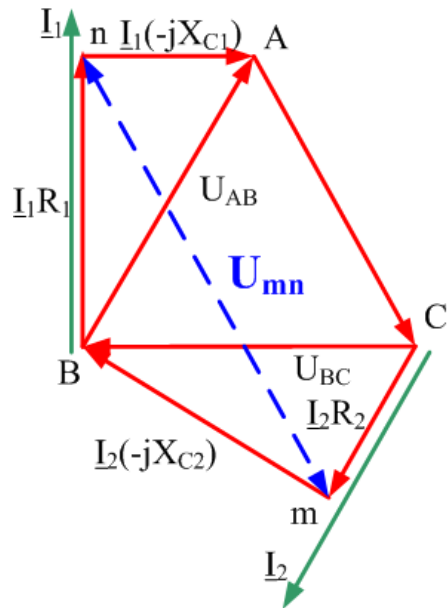
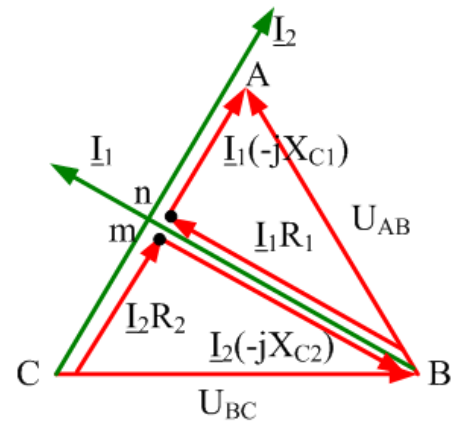
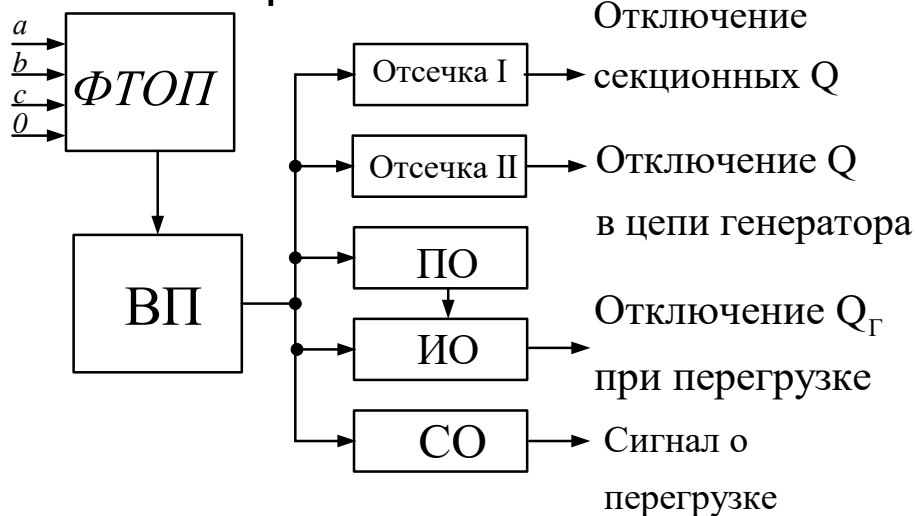


Схема ФНОП



## Четырехступенчатая защита обратной последовательности генератора

Применяется для генераторов с мощностью более 60 МВт.  
Предназначена для защиты генераторов от перегрузки ТОП и от несимметричных КЗ.



- **Первая ступень** – ТО с выдержкой времени действующая на АГП, генераторный  $Q_g$  и секционный Q.

$$I_{TO} = (0.4 - 1.2) I_{НОМ}$$

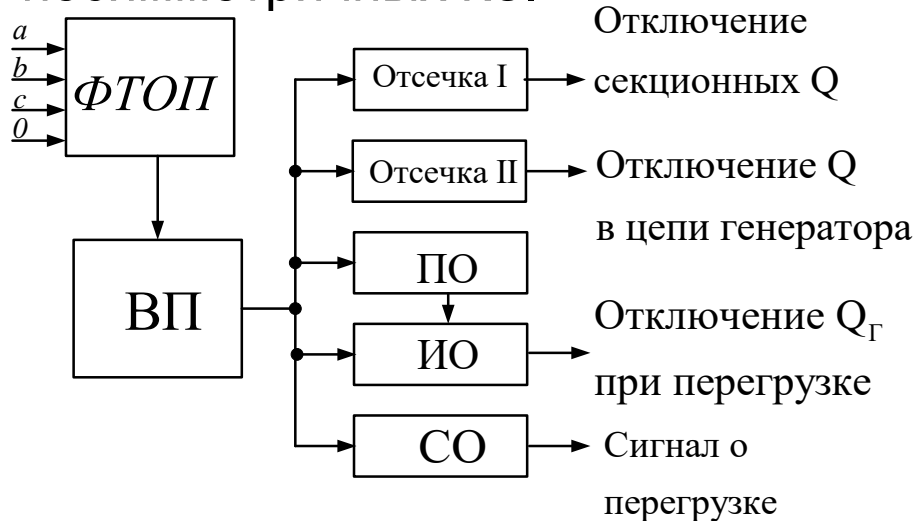
- **Вторая ступень** - ТО с большей выдержкой времени действующая на  $Q_g$  в цепи генератора.

ФТОП – фильтр тока обратной последовательности,  
ВП – входной преобразователь, ПО – пусковой орган,  
ИО – интегральный орган, СО – сигнальный орган

$$I_{TO} = (0.7 - 1.9) I_{НОМ}$$

## Четырехступенчатая защита обратной последовательности генератора

Применяется для генераторов с мощностью более 60 МВт.  
Предназначена для защиты генераторов от перегрузки ТОП и от несимметричных КЗ.



- **Третья ступень** – интегральный орган с выдержкой времени действующий на АГП и  $Q_{\Gamma}$ .

$$t_{\text{ИО}} = (0.08 - 0.24) I_{\text{НОМ}}$$

- **Четвертая ступень** – сигнализация о возникновении несимметричной перегрузки.

$$t_{\text{СО}} = 0.09 I_{\text{НОМ}}$$

ФТОП – фильтр тока обратной последовательности,  
ВП – входной преобразователь, ПО – пусковой орган,  
ИО – интегральный орган, СО – сигнальный орган

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Васильев Алексей Сергеевич  
*vasilevas@tpu.ru*

ТПУ – Томск 2022 г.



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ