



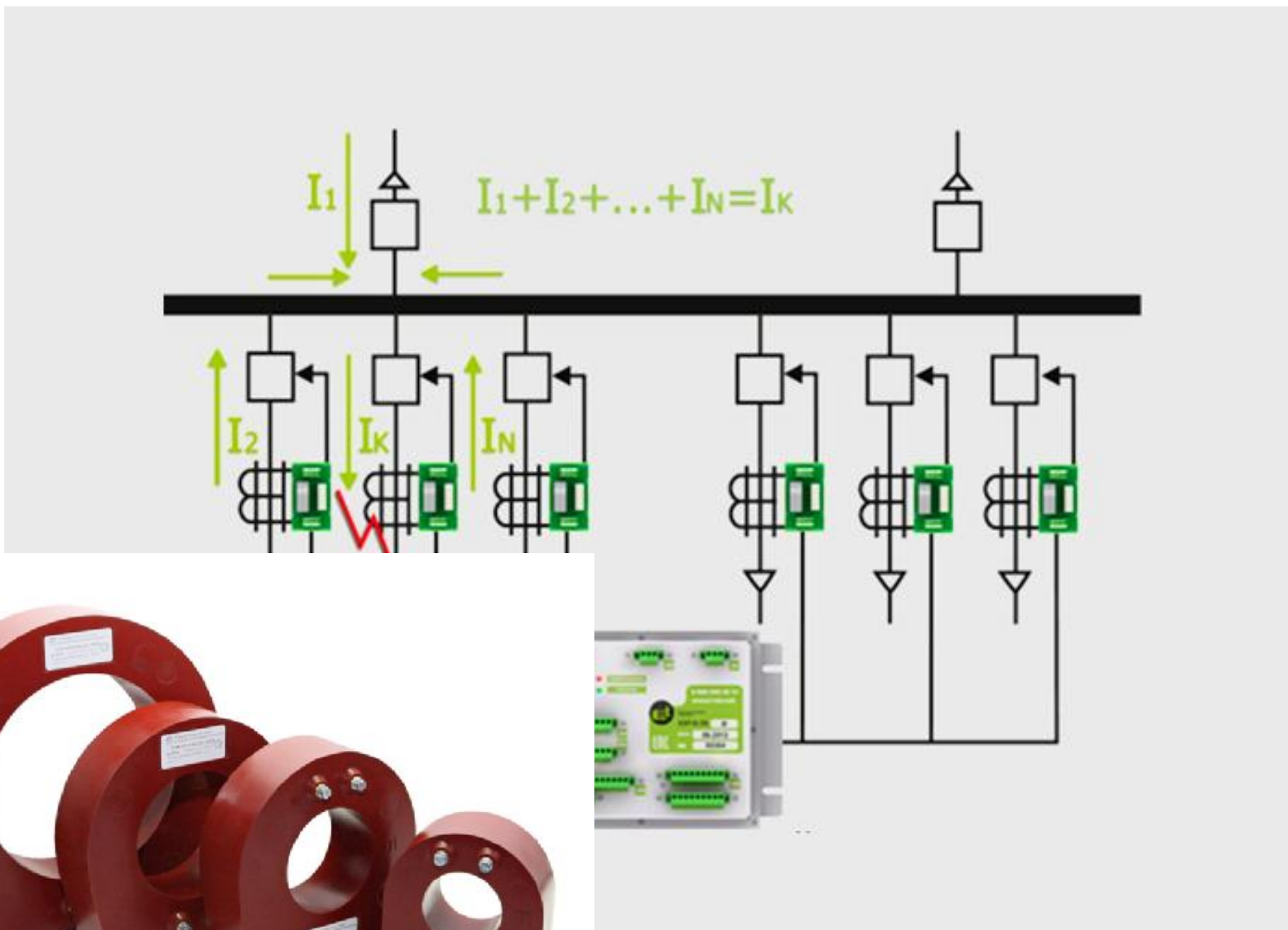
Институт энергетики,  
информационных технологий  
и управляющих систем

# Релейная защита и автоматика систем электрообеспечения

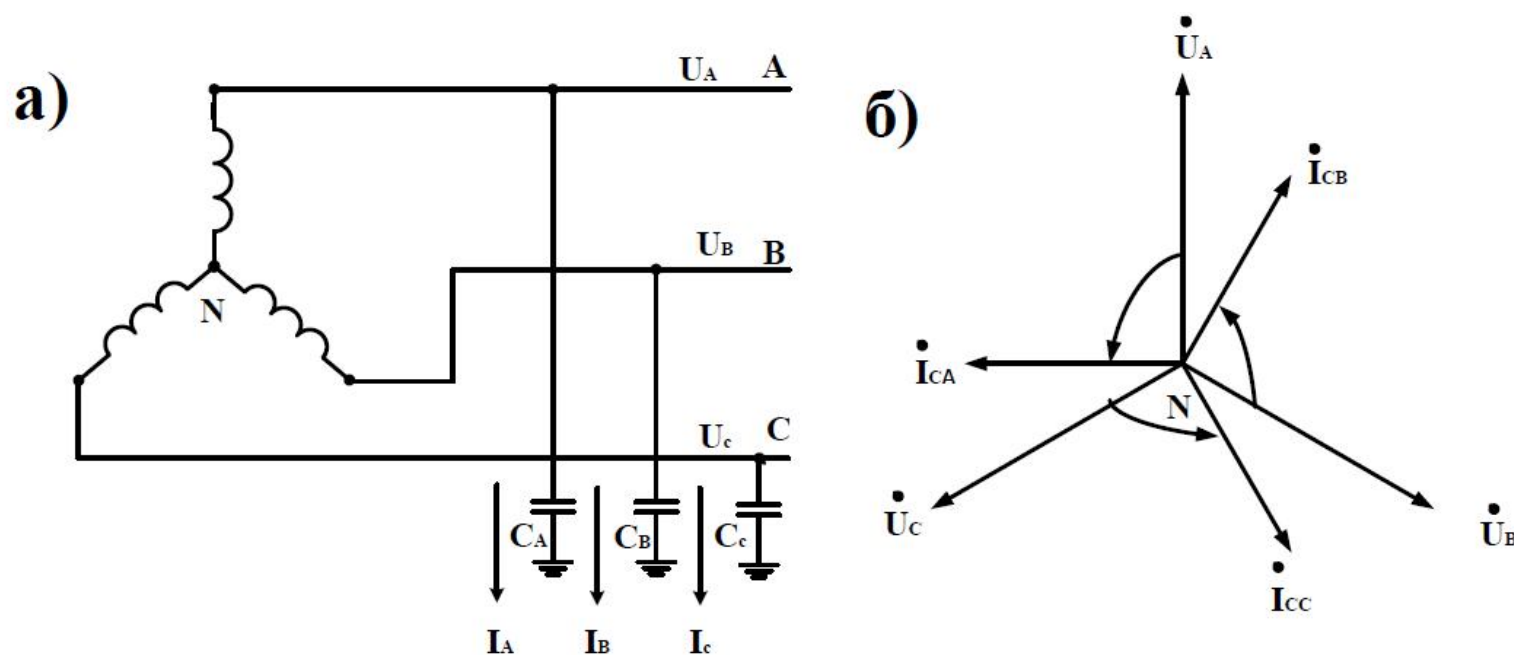
Лекция №\_\_

## Защита от однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью

Составил: Кузнецов Д. Б.



**Постановка задачи** В сетях, работающих с изолированной нейтралью или с нейтралью, заземлённой через дугогасящую катушку (сети с малыми токами замыкания на землю), замыкания одной фазы на землю не вызывает короткого замыкания, т.к. э.д.с. повреждённой фазы не шунтируется появившимся соединением с землёй. Возникающий в месте повреждения ток замыкается через ёмкость проводов относительно земли и имеет небольшую величину, например, несколько десятков ампер.

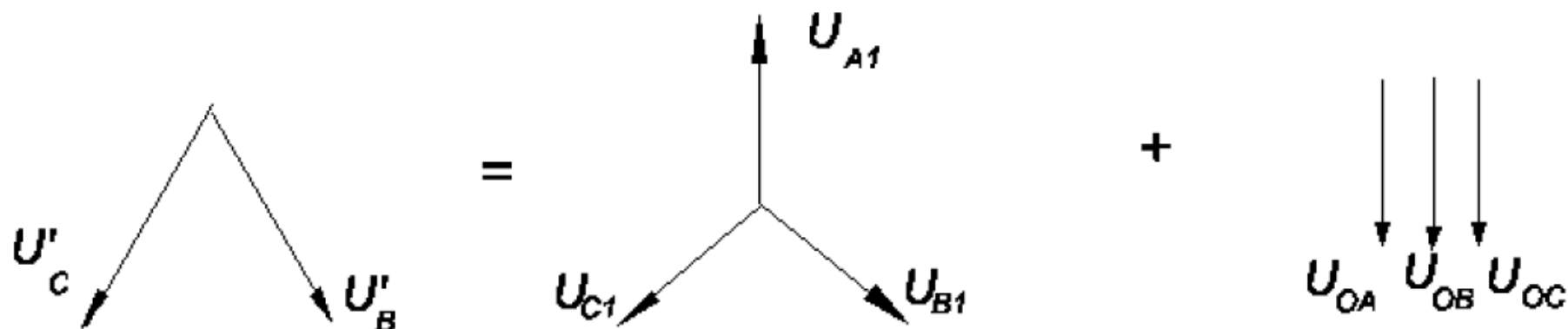


Нормальный режим

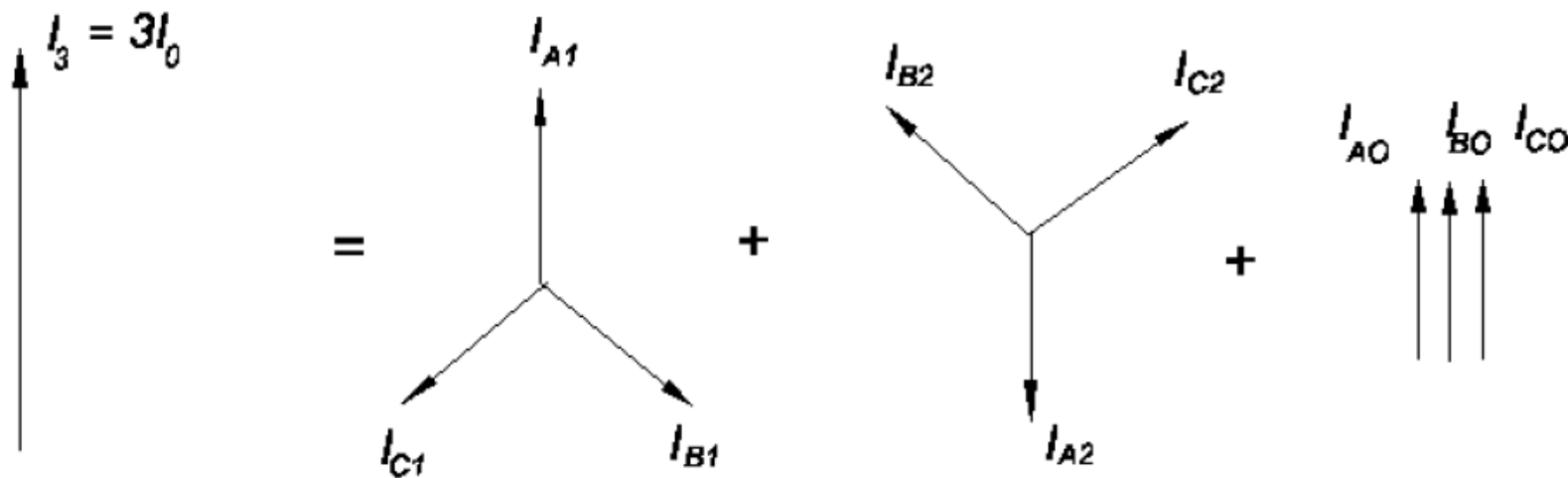


## Замыкание на землю фазы «А»

д)

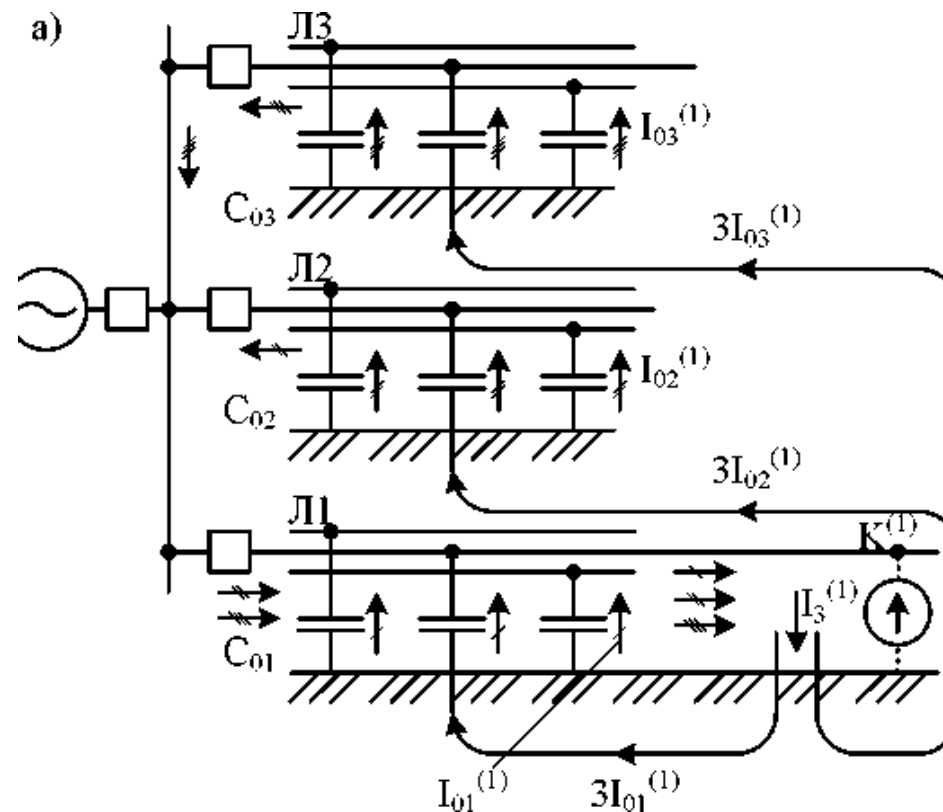


е)



Симметричные составляющие токов и напряжений при замыкании на землю фазы «А»

Реальное распределение токов нулевых последовательностей  $3I_0$  в конкретной распределительной сети 10кВ показано на стр. 5:



Из приведенной на рисунке схемы распределения  $3I_0$  в реальной сети 10 кВ нужно уяснить следующее:

- емкостной ток нулевой последовательности  $3I_0$  в неповрежденных линиях имеет направление «от линии - к шинам»; в поврежденной линии «от шин - в линию».
- емкостной ток  $3I_0$  в поврежденной линии равен сумме емкостных токов от неповрежденных линий

$$3I_{0\Sigma} = 3I_{02} + 3I_{03}$$

Эти два свойства широко используют при выполнении ряда защит от замыкания на землю.

Величина тока замыкания  $I_3 = 3I_0$  в практических расчетах для настройки защит может определяться через удельную ёмкость  $C_{уд}$  (мкФ/км).

$$I_3 = 3\omega \cdot U_{\phi} \cdot C_{уд} \cdot l \cdot 10^{-6} \text{ (A)}$$

где  $U_{\phi}$  - фазное напряжение;  $l$  - длина электрически связанной сети, км.

Величина  $C_{уд}$  зависит от конструкции сетей и составляет ориентировочно:

$-5.5 \cdot 10^{-3}$  мкФ/км – для воздушных ЛЭП;

$-190 \cdot 10^{-3}$  мкФ/км – для кабельных ЛЭП.

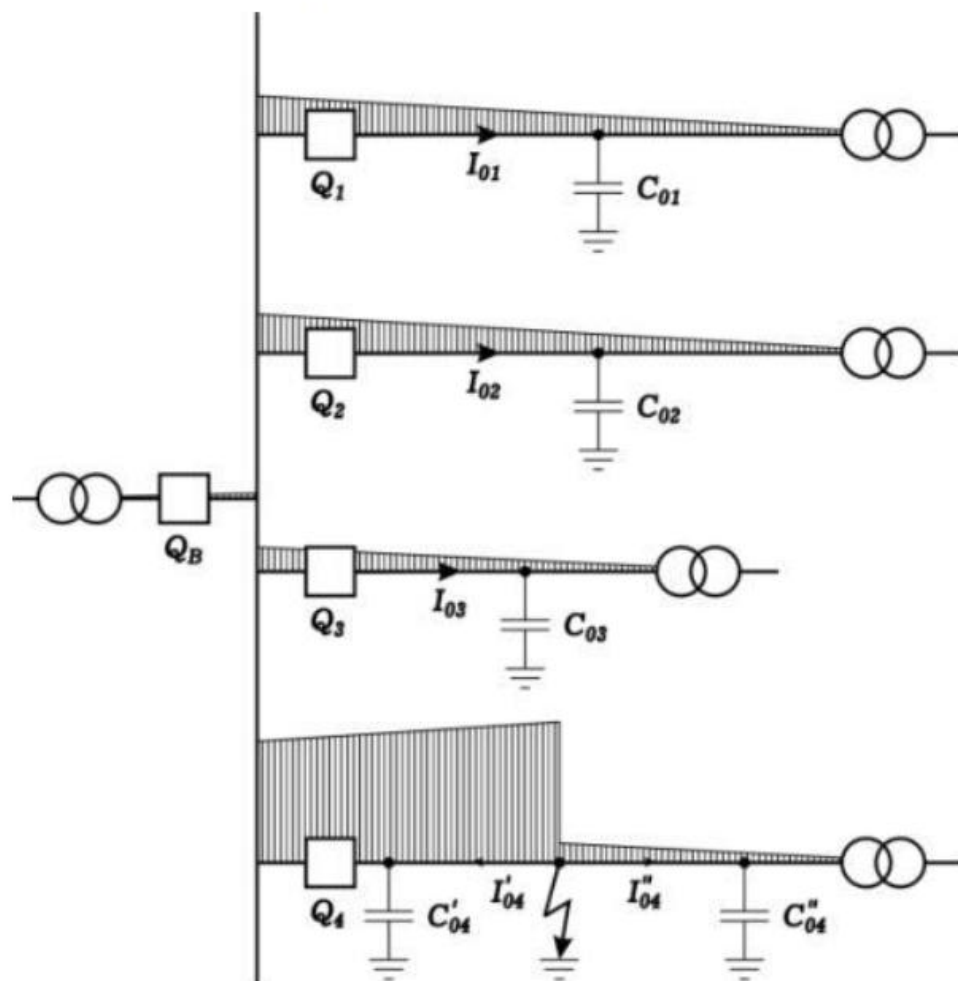
В практике можно воспользоваться также и эмпирическими формулами для определения тока замыкания :

– воздушные ЛЭП  $I_3 = \frac{U \cdot l}{350} \text{ (A)}$

– кабельные ЛЭП  $I_3 = \frac{U \cdot l}{10} \text{ (A)}$

где  $U$  - линейное напряжение, кВ  $l$  - длина сетей, км

## Схема распределения токов нулевой последовательности при однофазном замыкании на землю в сетях 6–35 кВ



Эшора токов нулевой последовательности в линиях сети с изолированной нейтралью

Оценочные соотношения для расчета значения емкостного тока линии:

а) кабельной

$$I_{C\Sigma} \approx \frac{U_H L_\Sigma}{10}$$

б) воздушной

$$I_{C\Sigma} \approx \frac{U_H L_\Sigma}{350}$$

Удельные значения емкостных токов в кабельных сетях, А/км

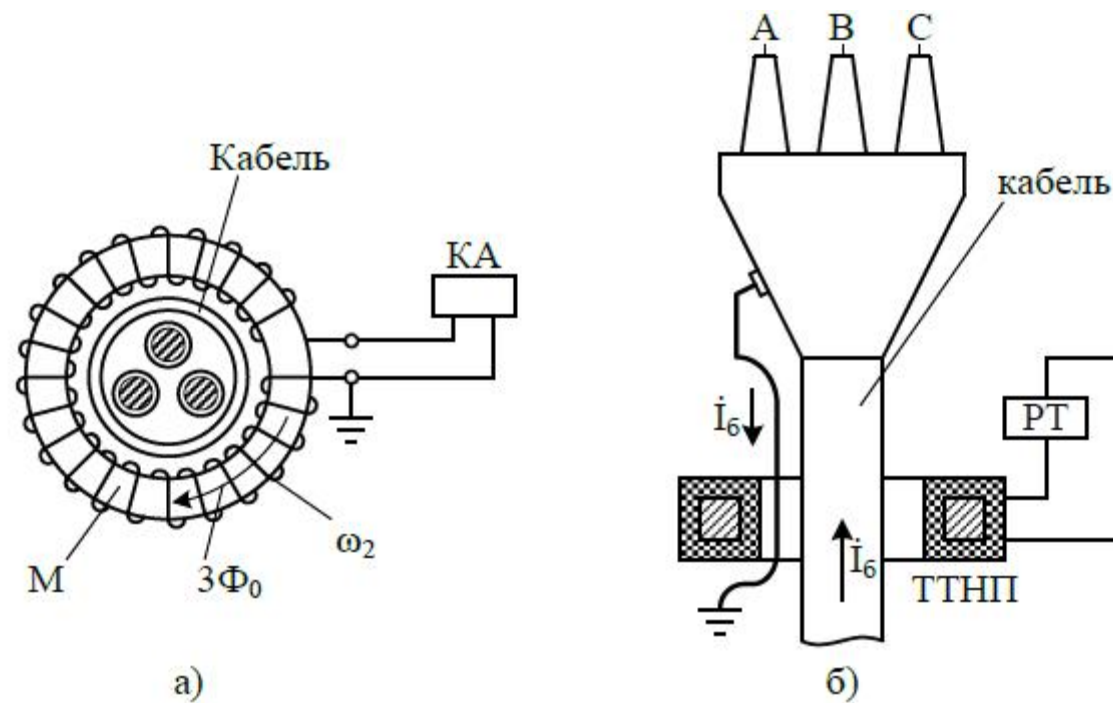
Сечение жил кабеля, мм <sup>2</sup>	Удельное значение емкостного тока $I_C$ , А/км при напряжении сети	
	6 кВ	10 кВ
16	0,40	0,55
25	0,50	0,65
35	0,58	0,72
50	0,68	0,80
70	0,80	0,92
95	0,90	1,04
120	1,00	1,16
150	1,18	1,30
185	1,25	1,47
240	1,45	1,70

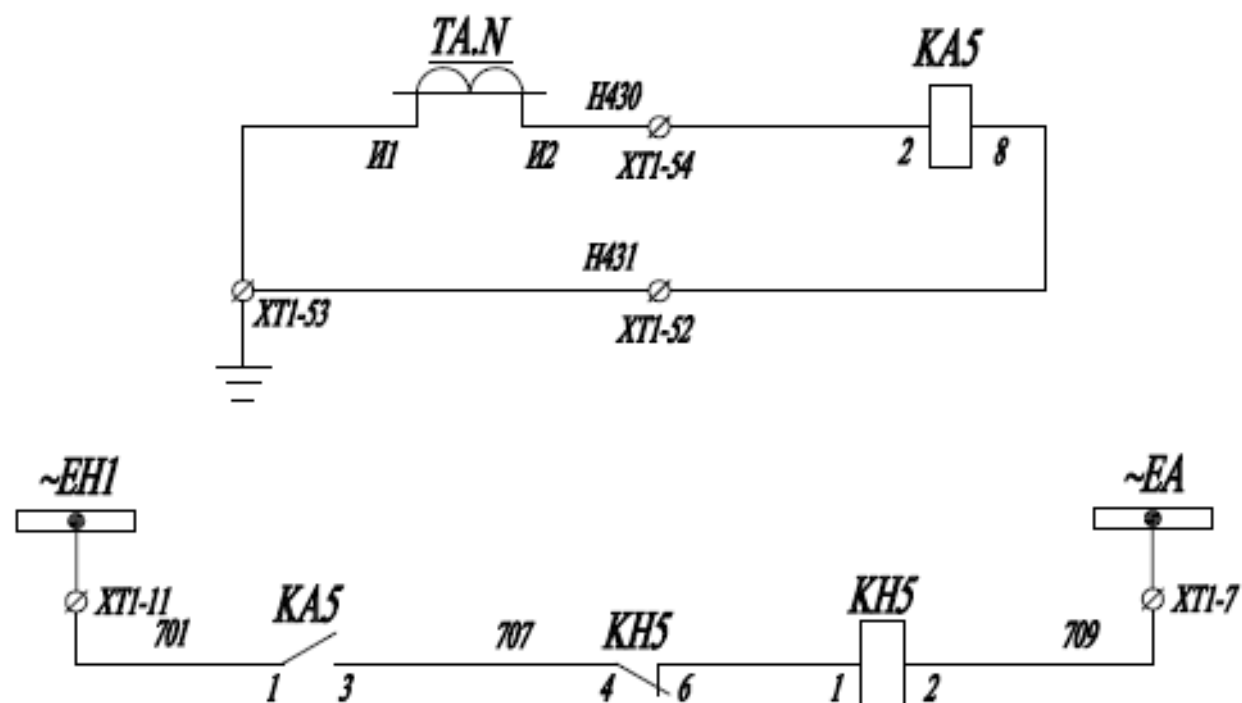


## Примеры защит от замыкания фазы на землю

### **Защита от замыкания на базе фильтра тока нулевой последовательности.**

Для токовых защит отходящих фидеров используются специальные трансформаторы тока нулевой последовательности (ТТНП):





Трансформатор  
тока нулевой  
последовательности,  
реле тока РТ 40/0,2

Шинки  
сигнализации

Сигнал "Замыкание  
на землю"



Первичный ток срабатывания защиты, выполненной на реле РТ-40/0,2 или РТЗ-50, выбирается из условия несрабатывания защиты от броска собственного емкостного тока линии при внешнем замыкании на землю по выражению:

$$I_{сз} \geq k_{отс} \cdot k_{б} \cdot I_C,$$

где  $k_{отс}$  - коэффициент отстройки (1,1÷1,2);  $k_{б}$  - коэффициент, учитывающий бросок собственного

емкостного тока при внешних перемежающихся замыканиях на землю;  $I_C$  - собственный емкостной ток.

Определение  $I_C$  производится:

для кабельной ЛЭП:

$$I_C = I_{C0} \cdot l \cdot n ,$$

где  $I_{C0}$  – величина  $I_C$  на 1 км длины одного кабеля;  $l$  - длина линии;  $n$  - число кабельных линий;

для воздушной ЛЭП:

$$I_C = I_{C0.ВЛ} \cdot l ,$$

где  $l$  - длина линии,  $I_{C0.ВЛ}$  величина  $I_C$  на 1 км длины В

При ориентировочных расчетах величину удельной емкости  $C_{уд}$  можно принимать 5,5- 10-3 мФ /км для воздушных линий и 190-10-3 мФ/км для трехжильных кабельных ЛЭП.

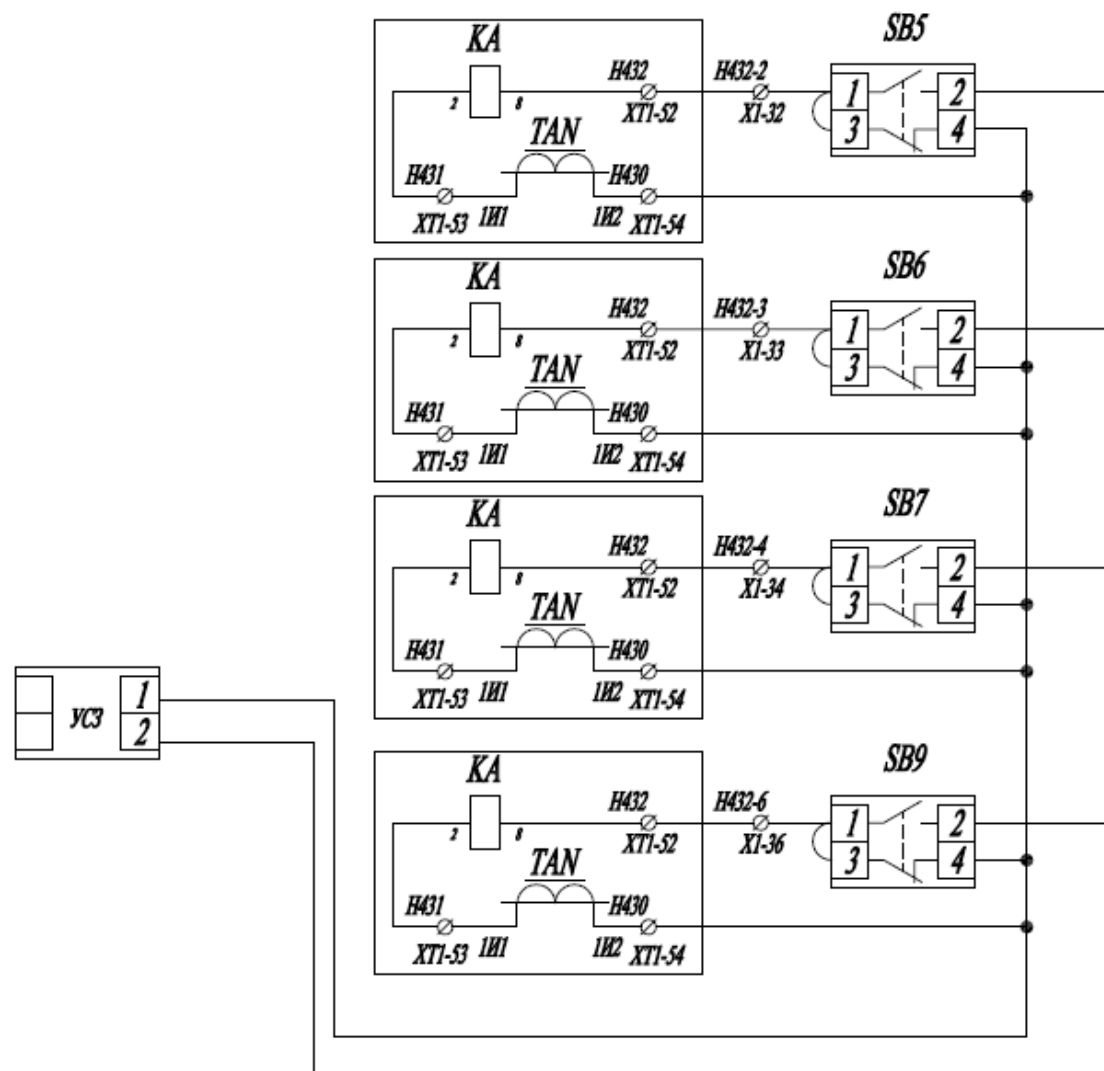
### **Защита от замыкания на использовании высших гармоник**

В компенсированных сетях следует применять устройство УСЗ-ЗМ, реагирующие на сумму высших гармонических токов замыкания на землю. При этом УСЗ-ЗМ устанавливается одно на секцию или на

всю подстанцию и подключается к трансформаторам тока нулевой последовательности линий поочередно, с помощью кнопочного распределителя. Замыкание на землю определяется по наибольшему показанию прибора РА.



Устройство УСЗ-3М



Защита от замыканий на землю	Линия 1
	Л тр.1
	Л тр.2
	Линия 2

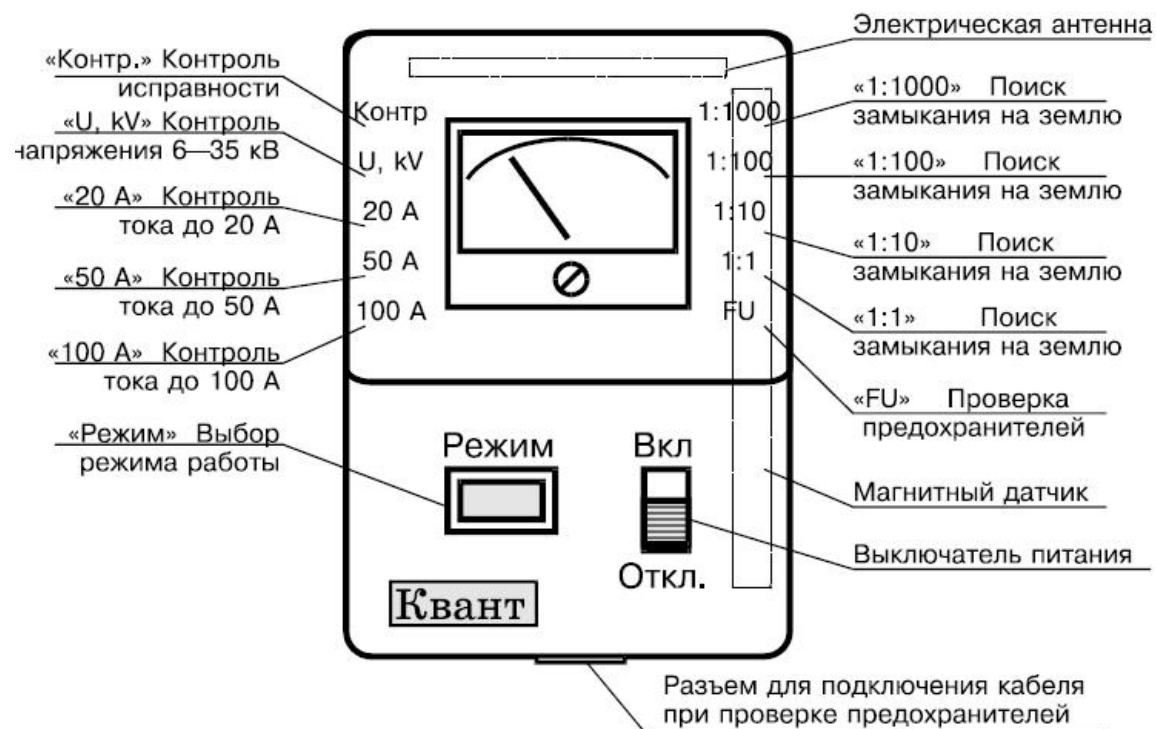
Прибор для поиска непосредственного  
места однофазного замыкания на землю  
в сетях 6–35 кВ «Квант»



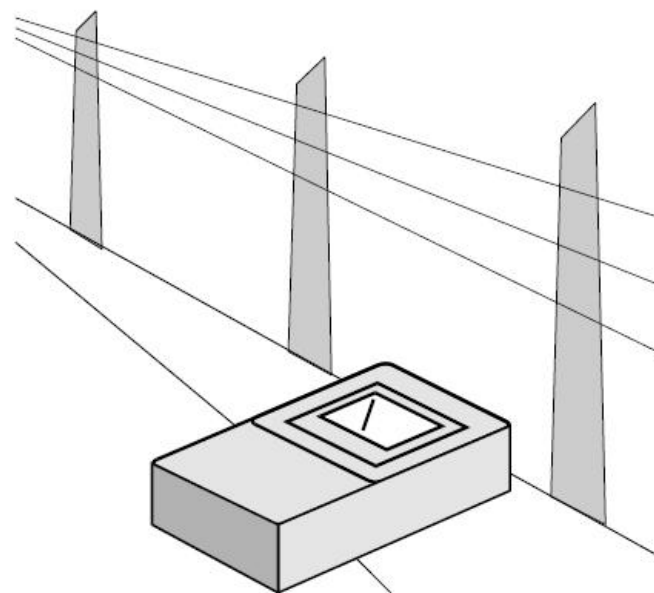
- Оценка тока нагрузки на воздушных линиях электропередачи (ВЛ) 0,4–35 кВ
- Контроль наличия напряжения на ВЛ 6–35 кВ
- Определение места однофазного замыкания на землю в сетях 6–35 кВ
- Определение места обрыва провода в сетях 6–35 кВ
- Определение опоры, находящейся под напряжением 6–35 кВ
- Световую проверку исправности обесточенных предохранителей или целостности электрической цепи



Прибор для поиска непосредственного  
места однофазного замыкания на землю  
в сетях 6–35 кВ «Квант»



Органы управления прибором



Ориентация прибора при работе



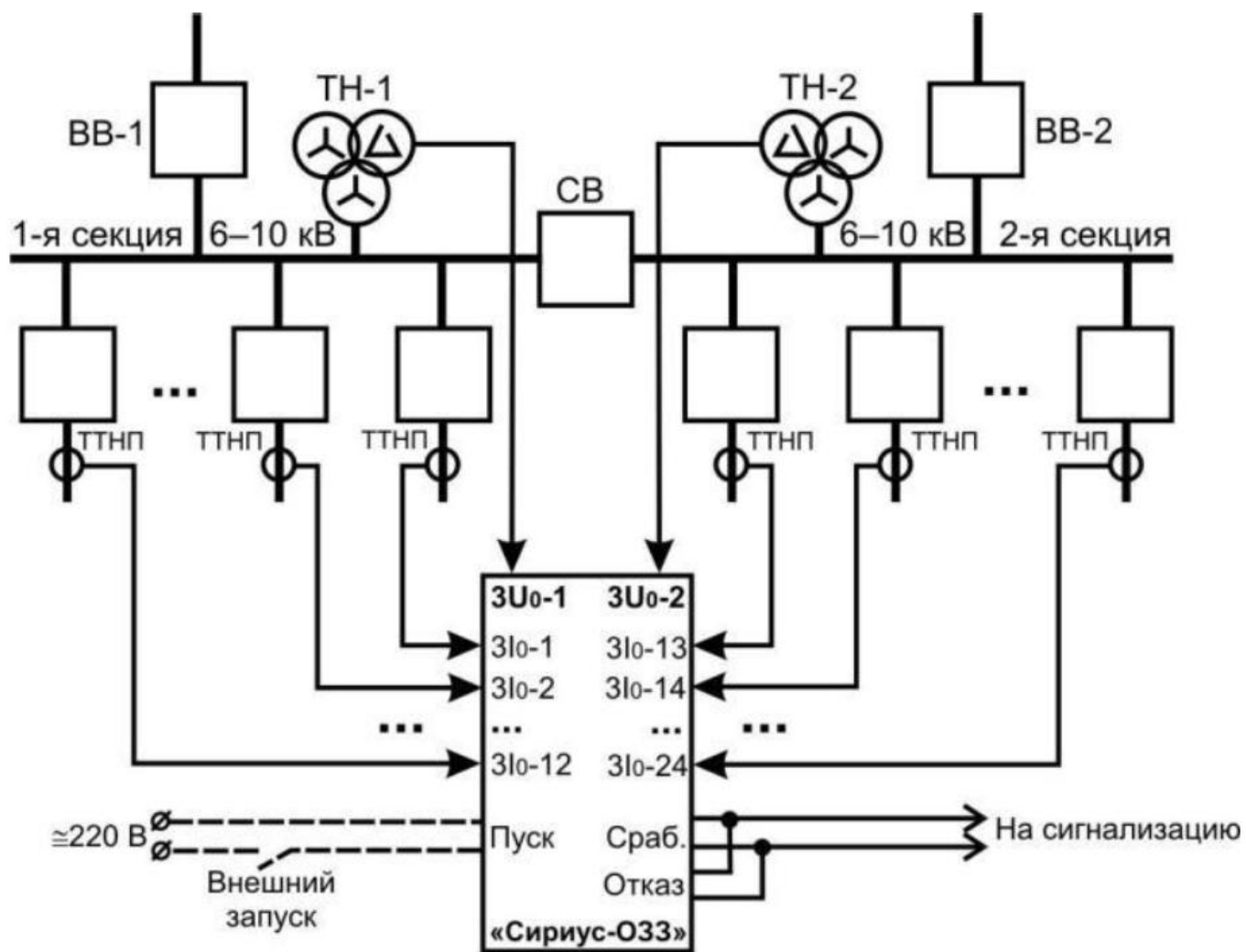
Устройство определения присоединения  
с однофазным замыканием на землю  
в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью  
напряжением 6–10 кВ «Сириус-ОЗЗ»



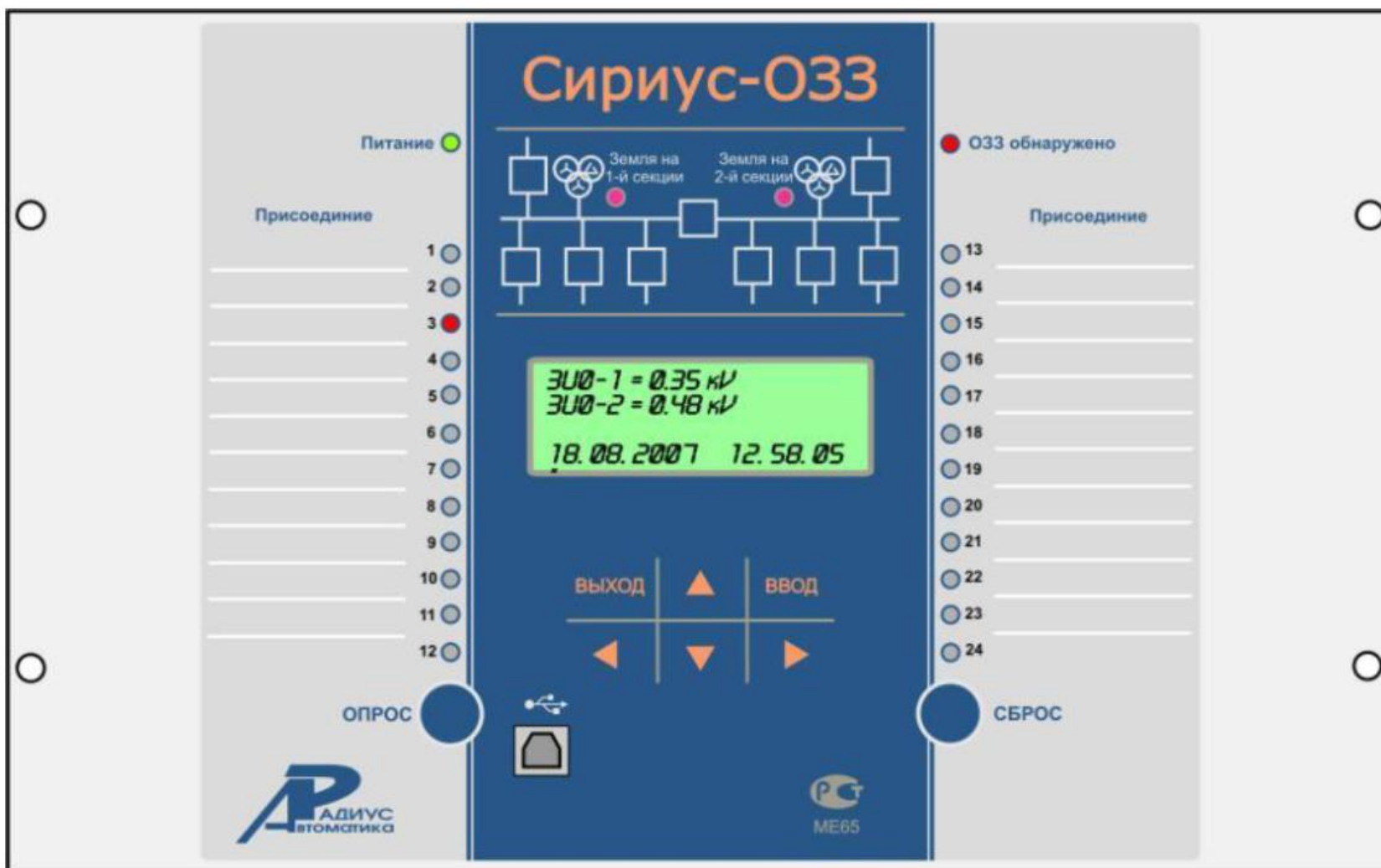
### Особенности устройства

- Подключение первичных измерительных трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП) к одному и тому же входному разделительному трансформатору в устройстве с помощью переключателя, организованного на контактах реле
- Замкнутое состояние входов каналов  $3I_0$  от первичных ТТНП в неподключенном (невыбранном) состоянии. Подключение к встроенному трансформатору только при опросе на время порядка 0,5 с
- Измерение состава гармоник в токе  $3I_0$  от первой до 11-й, включая только нечетные. Первая гармоника может ослабляться
- Возможность повторения цикла измерения (последовательного опроса всех каналов тока) от кнопки на устройстве, по внешнему дискретному входу или дистанционно по любому из каналов связи

### Схема подключения устройства «Сириус-ОЗЗ»



## Передняя панель устройства





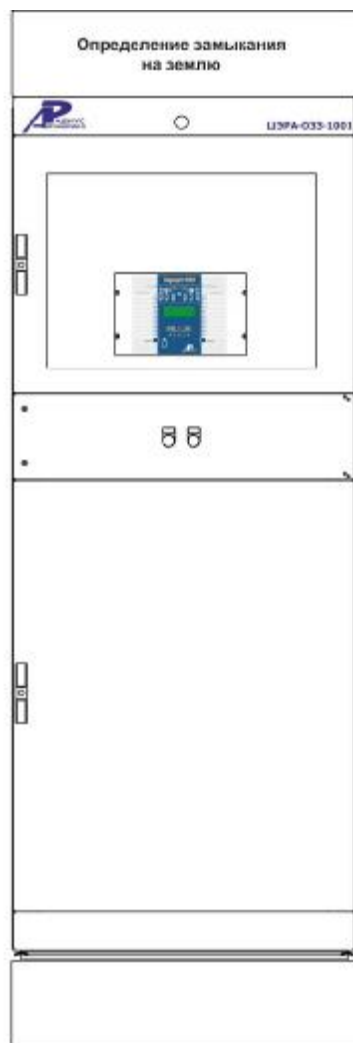


### Достоинства устройства

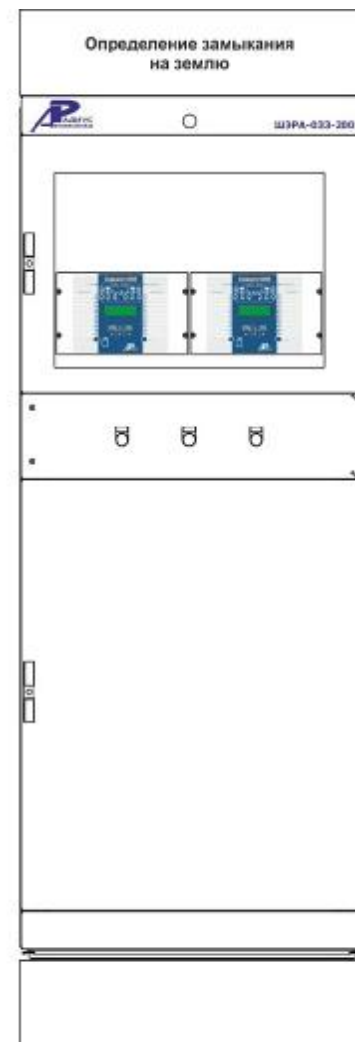
- Простота подключения:
  - не требуется фазировка ТТНП;
  - не зависит от наличия и степени компенсации нейтрали сети;
  - можно подключать от 3-х до 24-ти присоединений
- Не требуется применение дополнительного устройства земляной сигнализации – есть светодиод и выходное реле «Земля в сети» (с задаваемой выдержкой на срабатывание)
- Возможность подключения к цепям как  $3U_0$  от разомкнутого «треугольника», так и к «звезде» напряжений с расчетом значения  $3U_0$  самим устройством (раздельно по каждой из двух секций)
- Возможность поиска второго «подозрительного» присоединения по уровню суммы высших гармоник в токе  $3I_0$

### Возможности устройства

- Индикация на экране краткого названия присоединения с ОЗЗ (длиной до 16 символов), введенного в качестве уставки
- Ввод реального коэффициента первичных трансформаторов тока нулевой последовательности отдельно по каждому из каналов (5–99)
- Возможность исключения неиспользуемых входных каналов тока  $3I_0$  для уменьшения длительности цикла опроса
- Наличие реле «Отказ» с нормально замкнутыми контактами для сигнализации отказа устройства или пропадания его опертока
- Дополнительное выходное реле «ОЗЗ обнаружено», срабатывающее после выполнения цикла опроса и обнаружения поврежденного присоединения (по превышению уставки по току  $3I_0$  высших гармоник)
- Сохраняемая память на 50 последних срабатываний или принудительно запускаемых циклов опроса с датой и временем запуска



Шкафы определения присоединения с  
однофазным замыканием на землю  
ШЭРА-ОЗЗ-1001, ШЭРА-ОЗЗ-2001



# **ДУГОГАСЯЩИЕ РЕАКТОРЫ В СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ**

**Компенсация емкостных токов замыкания на землю**





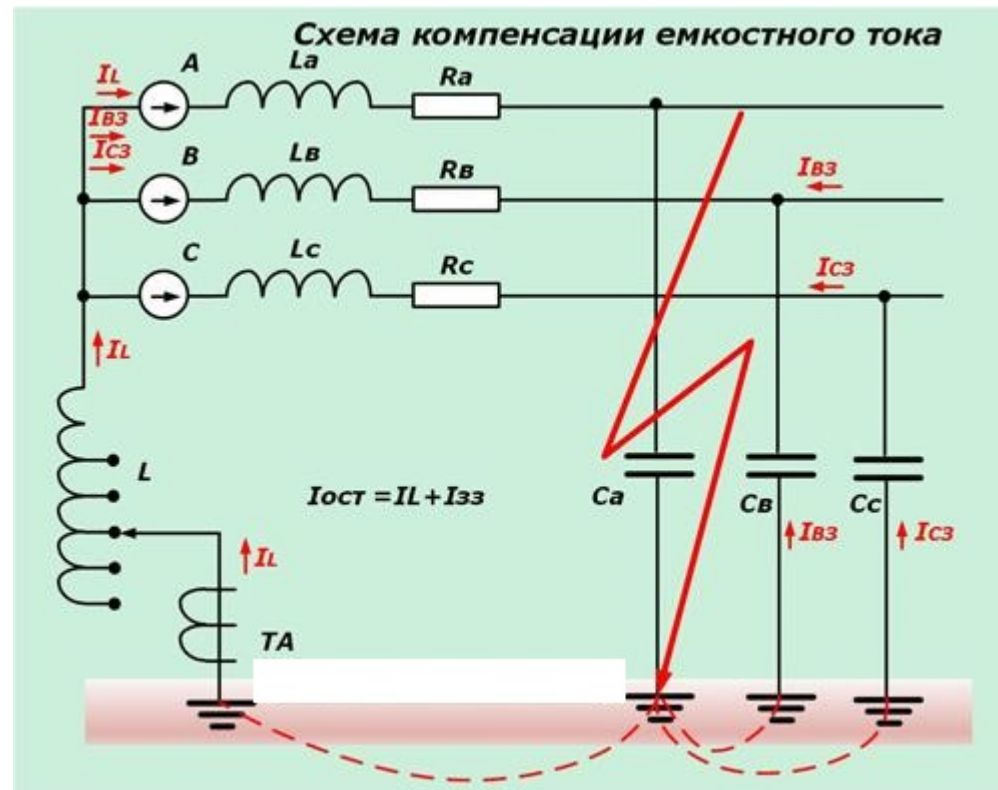
### Двойная опасность ОЗЗ:

1. попадание человека под действие шагового напряжения, оказавшегося в случайном месте возникновения неисправности;

2. Возникновение электрической дуги, когда емкостной ток станет превышать величину в 20 ампер.

Горение дуги разрушает изоляцию проводов и кабелей, переводит однофазное замыкание в двух- или трехфазное КЗ со всеми негативными последствиями. Ее действие ограничивают защитными устройствами.

### **Назначение дугогасящих реакторов**



Обмотка катушки  $L$  включается между нейтралью генератора и контуром земли. Она обладает индуктивным сопротивлением, которое можно регулировать посредством переключения числа витков. Измерительный трансформатор ТА позволяет контролировать проходящий ток для принятия действенных мер.

Такой способ подключения обмотки катушки позволяет создавать последовательную цепочку, состоящую из емкости и индуктивности, к которой приложено напряжение источника фазы с поврежденной изоляцией.

Емкостной и индуктивный токи находятся в противофазе, сдвинуты на общий угол  $180$  градусов.

Действие емкостного тока ограничивается индуктивным, направленным встречно. В итоге суммарная величина, проходящая через поврежденную изоляцию, значительно уменьшается.

Дугогасящие реакторы могут создаваться под индивидуальные условия эксплуатации, не требующие специальных настроек для линий ограниченной длины или изготавливаться с возможностью регулировки индуктивного сопротивления катушки:

1. ступенчато:

2. плавно.

В первом случае изменение индуктивности осуществляется за счет переключения числа обмоток, подключенных к отпайкам.

Плавную регулировку выполняют:

- плунжерные конструкции, регулирующие воздушный зазор магнитопровода;
- реакторы с подмагничиванием постоянным током, использующие принципы магнитных усилителей.

Виды управления

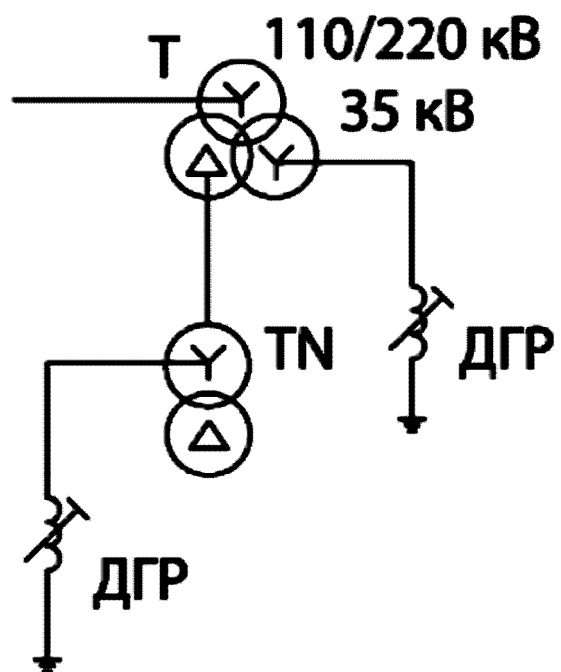
Дугогасящие реакторы постоянной индуктивности создаются без систем управления.

Для регулирования индуктивности используются конструкции с:

- ручным переключением числа работающих витков. Этот процесс не только трудоемкий, но и требует снятия напряжения с реактора;
- приводом, работающим автоматически под нагрузкой сети;
- измерителем емкости, позволяющим автоматически подстраивать индуктивность под результат замера за счет плавного регулирования тока.

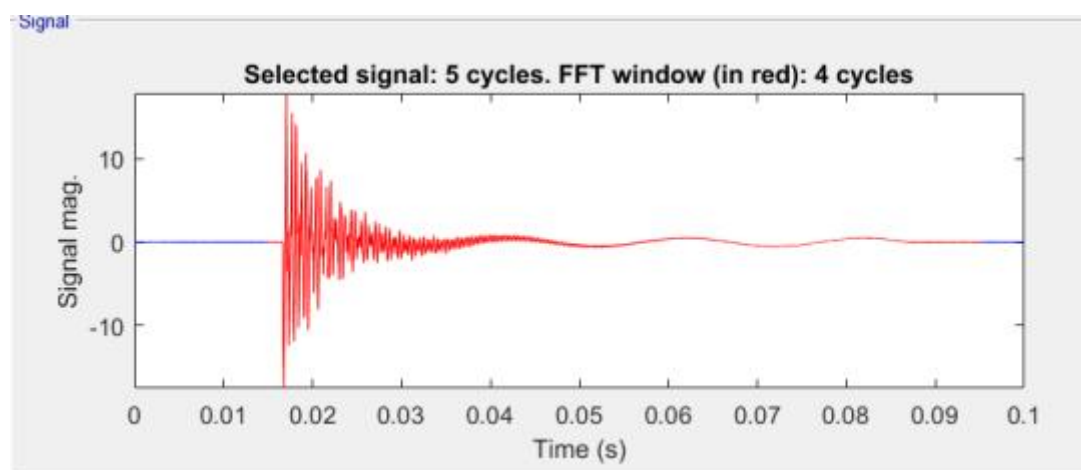


## Схема подключения ДГР к нейтрали сети 35 кВ и 6–10 кВ с помощью TN

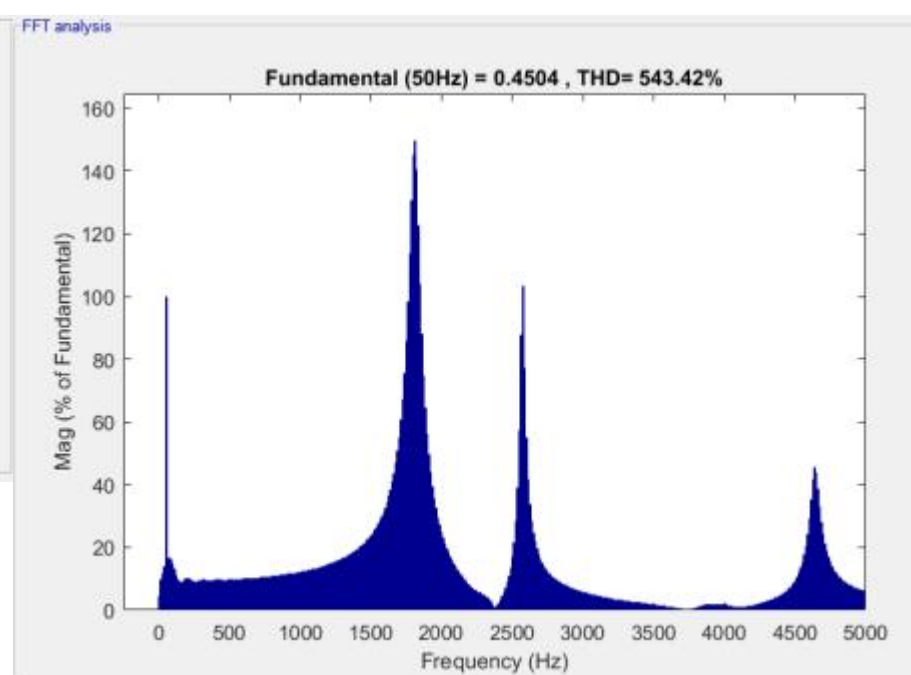




Спектральный анализ высших гармоник представлен на рисунках. Появление «всплеска» высших гармоник указывает на наличие в сети однофазного замыкания на землю. С помощью показаний блока выделения можно определить в какой части моделируемой линии произошло ОЗЗ.



Временная диаграмма тока нулевой  
последовательности  
в начале линии



Спектральный анализ высших гармоник в начале линии



Различные формы АЧХ цифрового фильтра высших частот, реализуемые в устройстве «Сириус-ОЗЗ»

