

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ ТОКОВ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Александров Александр Сергеевич

**Заместитель начальника отдела инновационного и научно-технического развития
ПАО «Россети Волга»**

2023 / 5–6 июля

Москва / Конгресс-центр ЦМТ



VIII Международная
научно-техническая конференция

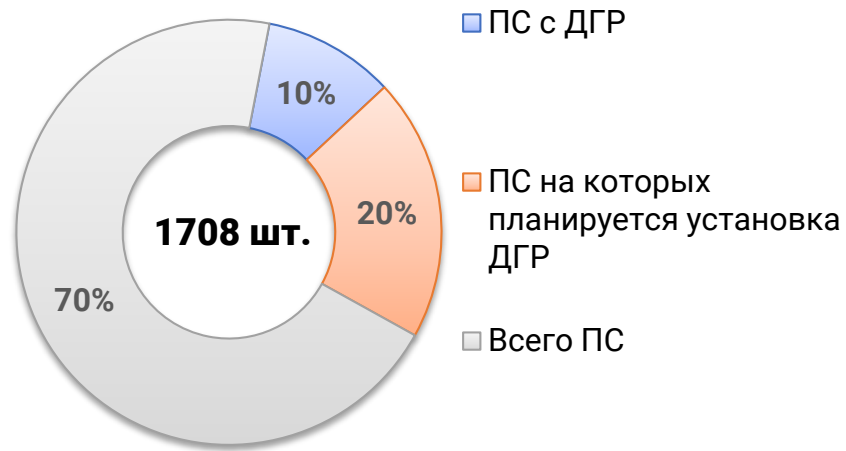
**«Развитие и повышение надежности
распределительных электрических сетей»**

ОРГАНИЗАТОРЫ

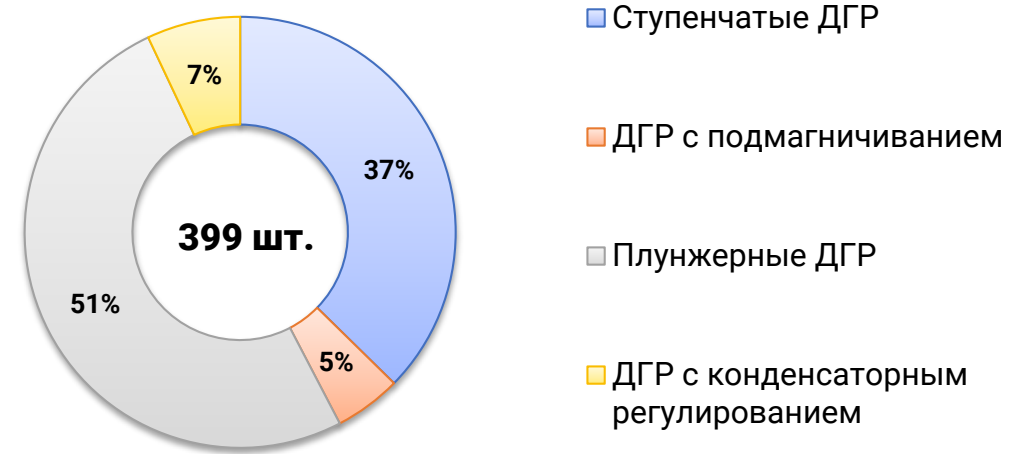


АКТУАЛЬНОСТЬ ВОПРОСОВ КОМПЕНСАЦИИ ТОКОВ ОЗЗ

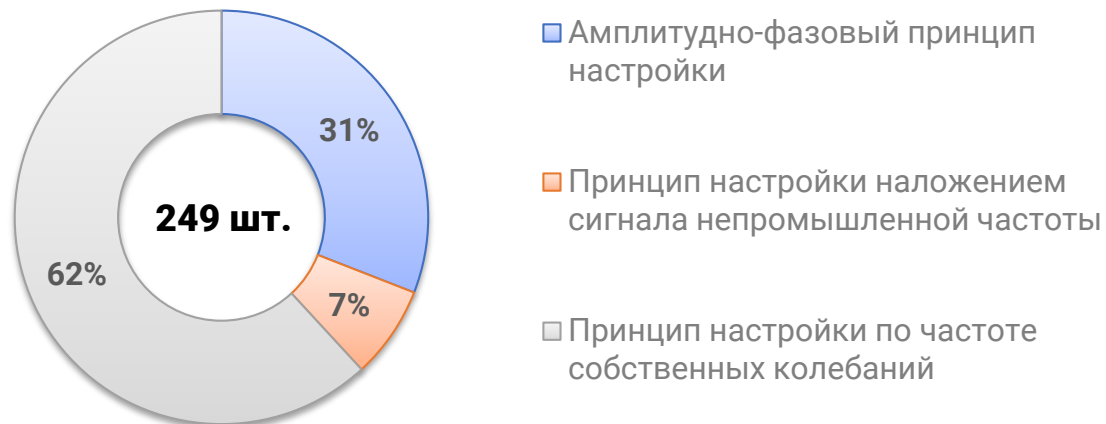
Количество ПС ПАО «Россети Волга» с установленными ДГР



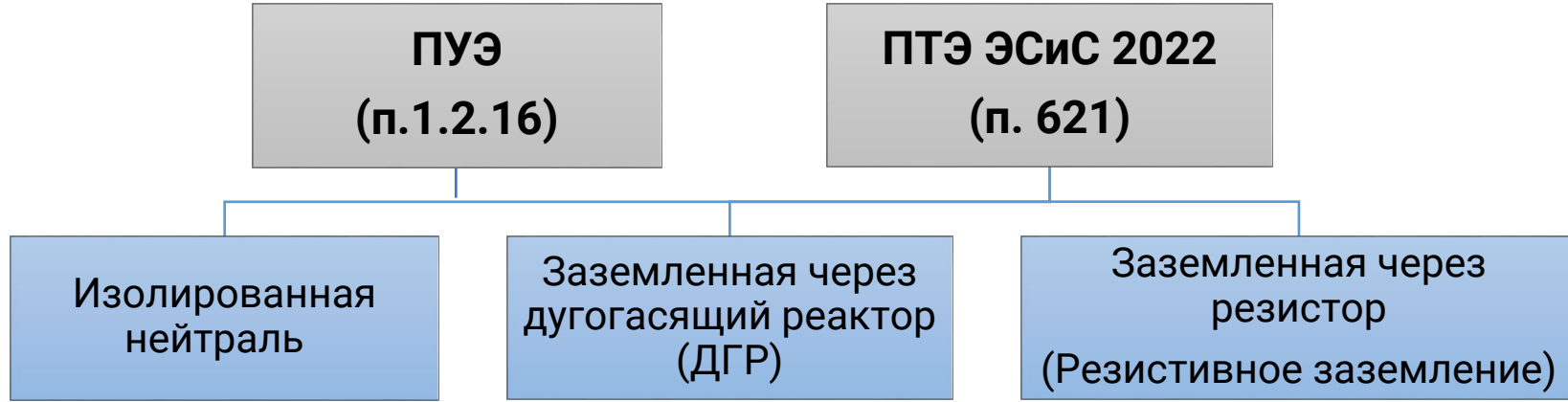
Количество ДГР, находящихся в эксплуатации в ПАО «Россети Волга»



Количество устройств настройки ДГР, находящихся в эксплуатации в ПАО «Россети Волга»

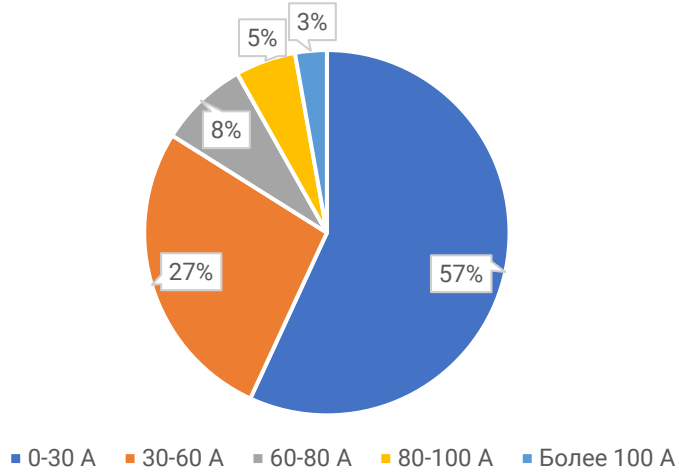


АКТУАЛЬНОСТЬ ВОПРОСОВ КОМПЕНСАЦИИ ТОКОВ ОЗЗ

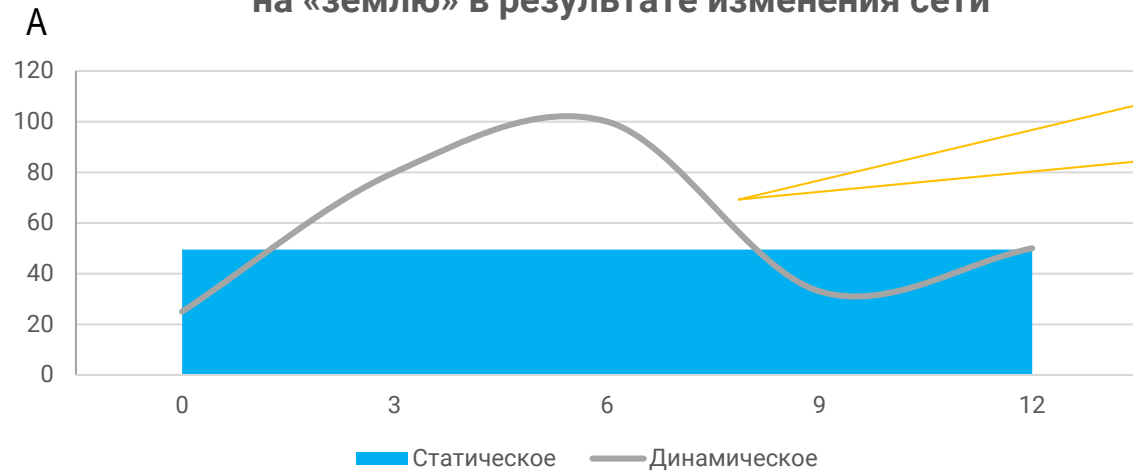


Работа электрических сетей напряжением 6-35 кВ без компенсации емкостного тока при его значениях, превышающих значений указанных в ПТЭ, **не допускается.**

Распределение значений токов замыкания на «землю» по результатам измерений



Возможные колебания значений токов замыкания на «землю» в результате изменения сети



Реальные значения токов изменяются непредсказуемым и меняются многократно в течение суток



ЗАДАЧИ ПО РАЗВИТИЮ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ ТОКОВ ОЗЗ

**Основные задачи,
направленные на
развитие систем
компенсации токов
однофазного
замыкания на
«землю» (ОЗЗ) в
распределительных
электрических сетях
6-10-35 кВ**

1

Разработать устройство (терминал) способное работать в автоматическом режиме в сетях с любой несимметрией и с любой добротностью, а также не чувствительное к изменению вектора несимметрии как по амплитуде, так и по фазе.

2

Разработать силовое оборудование, в том числе сухого исполнения и компактного исполнения, способное работать без электропривода.

3

Разработать оборудование (систему), способное работать совместно (параллельно) со ступенчатыми ДГР в режиме с плавной настройкой компенсации и работающее в режиме «master-slave» («ведущий – ведомый»).

4

Разработать устройство (оборудование и систему управления), способное полностью компенсировать токи ОЗЗ, включая емкостную, активную и гармоническую составляющие.

5

Создание системы управляемого заземления, превосходящей по совокупности эксплуатационные характеристики сети с другими режимами заземления.

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ ТОКОВ ОЗЗ

С целью повышения эффективности работы систем компенсации емкостных токов в электросетевом комплексе реализован ряд проектов НИОКР

2011-2012 гг.

- Быстродействующая система автоматического регулирования тока компенсации ОЗЗ в сетях 6-10-35 кВ
- Силовое оборудование для компенсации емкостной составляющей тока ОЗЗ в сетях 6-10 кВ



2013-2014 гг.

- Статистический дугогасящий агрегат сухого исполнения для компенсации емкостной составляющей тока ОЗЗ в сетях 6-10 кВ



2015 -2016 гг.

- Защита с улучшенными показателями чувствительности и селективности для присоединения заземляющих устройств в сетях 6-10-35 кВ

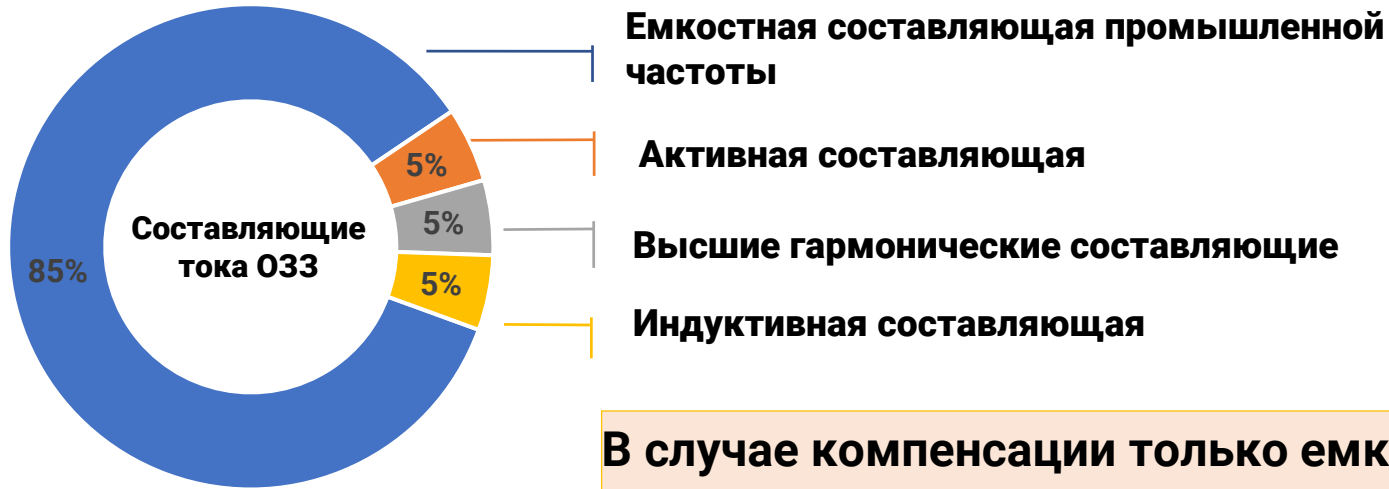


2017-2018 гг.

- Система заземления нейтрали распределительной сети с компенсацией полного тока ОЗЗ и активным принудительным гашением дуги в месте повреждения



СОСТАВЛЯЮЩИЕ ТОКА ОЗЗ В СЕТЯХ 6-35 КВ



Ток ОЗЗ может содержать следующие составляющие:

$$I_{\text{ОЗЗ}} = I_C + I_R + I_{\text{CR}} + I_L$$

В случае компенсации только емкостной составляющей тока, возможно горение дуги за счет не скомпенсированной активной и гармонических составляющих тока ОЗЗ.

Емкостная составляющая основной частоты (I_C),

Обусловлено наличием распределенной емкости неповрежденных фаз сети относительно «земли».

Активная составляющая (I_R),

Обусловлено наличием активной распределенной проводимости изоляции между неповрежденными фазами сети и землей и проводимости между нейтралью сети и «землей».

Емкостная составляющая высших гармоник (I_{CR}),

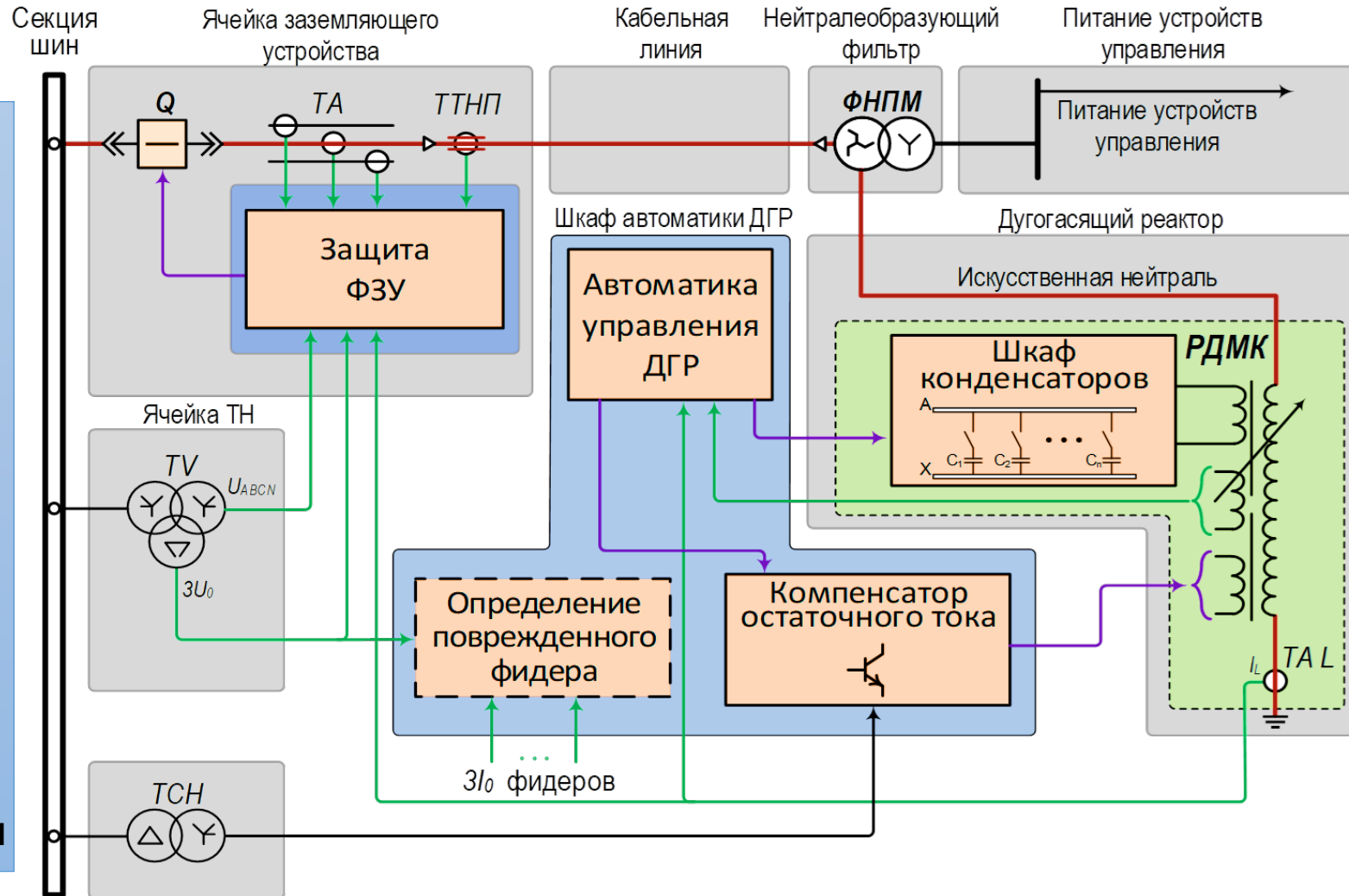
Обусловлено наличием в сети оборудования с нелинейными характеристиками (трансформаторы, выпрямители, ОПН, частотные преобразователи и т.д.).

Индуктивная составляющая (I_L),

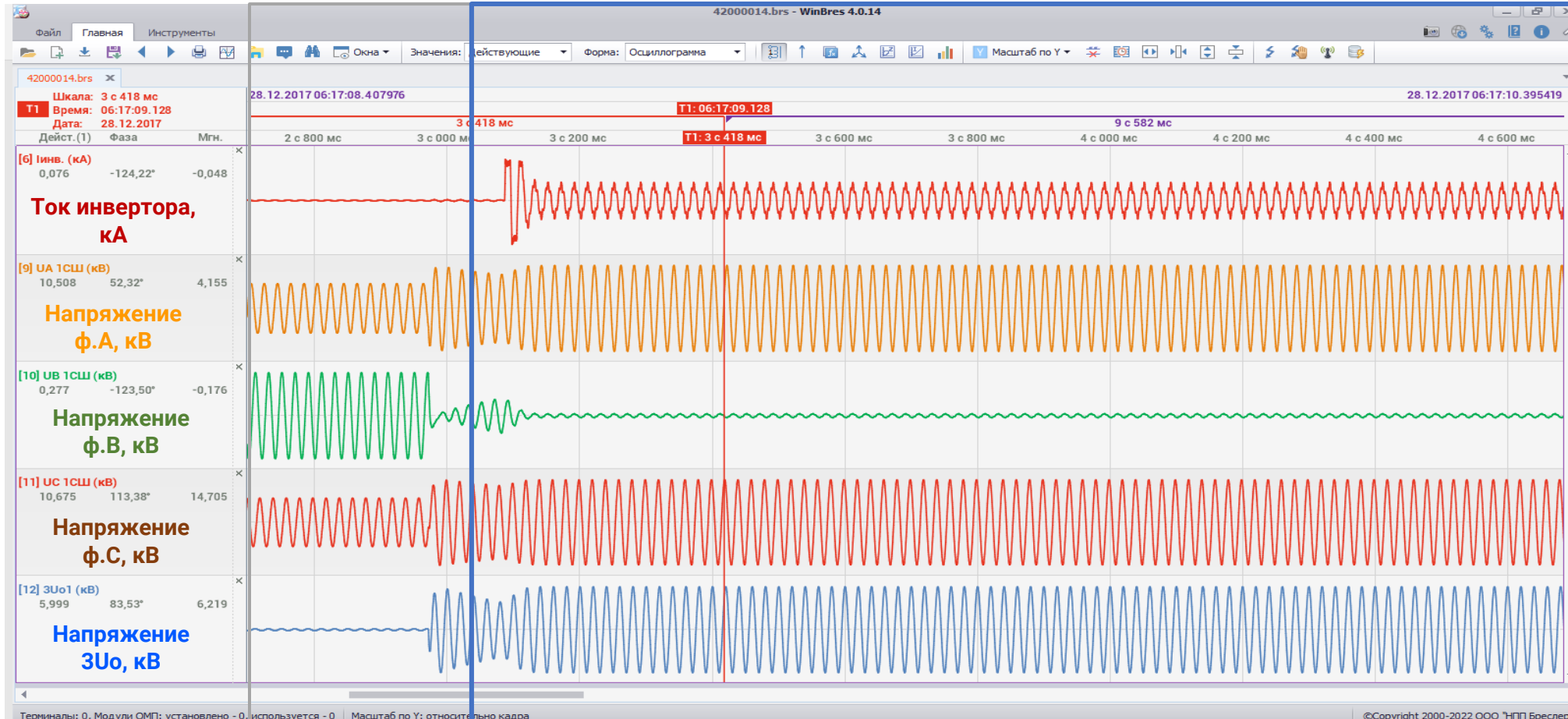
Обусловлено наличием в нейтрали сети дугогасящего реактора и других индуктивных элементов

УСТАНОВКА ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ПОЛНОГО ТОКА ОЗЗ

Разработан опытный образец системы заземления нейтрали распределительной сети с компенсацией полного тока замыкания на «землю» и активным принудительным гашением дуги в месте повреждения



РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ



ОЗЗ
произошло на
фазе В

Через выдержку времени началось подавление полного тока ОЗЗ.
Система отработала штатно.

**Система
компенсации
полного тока была
установлена и
введена в работу
на ПС «Юго-
Восточная»
филиала
ПАО «Россети
Волга» -
«Оренбургэнерго»**

РАБОТА СИСТЕМЫ ПОЛНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ТОКА 033

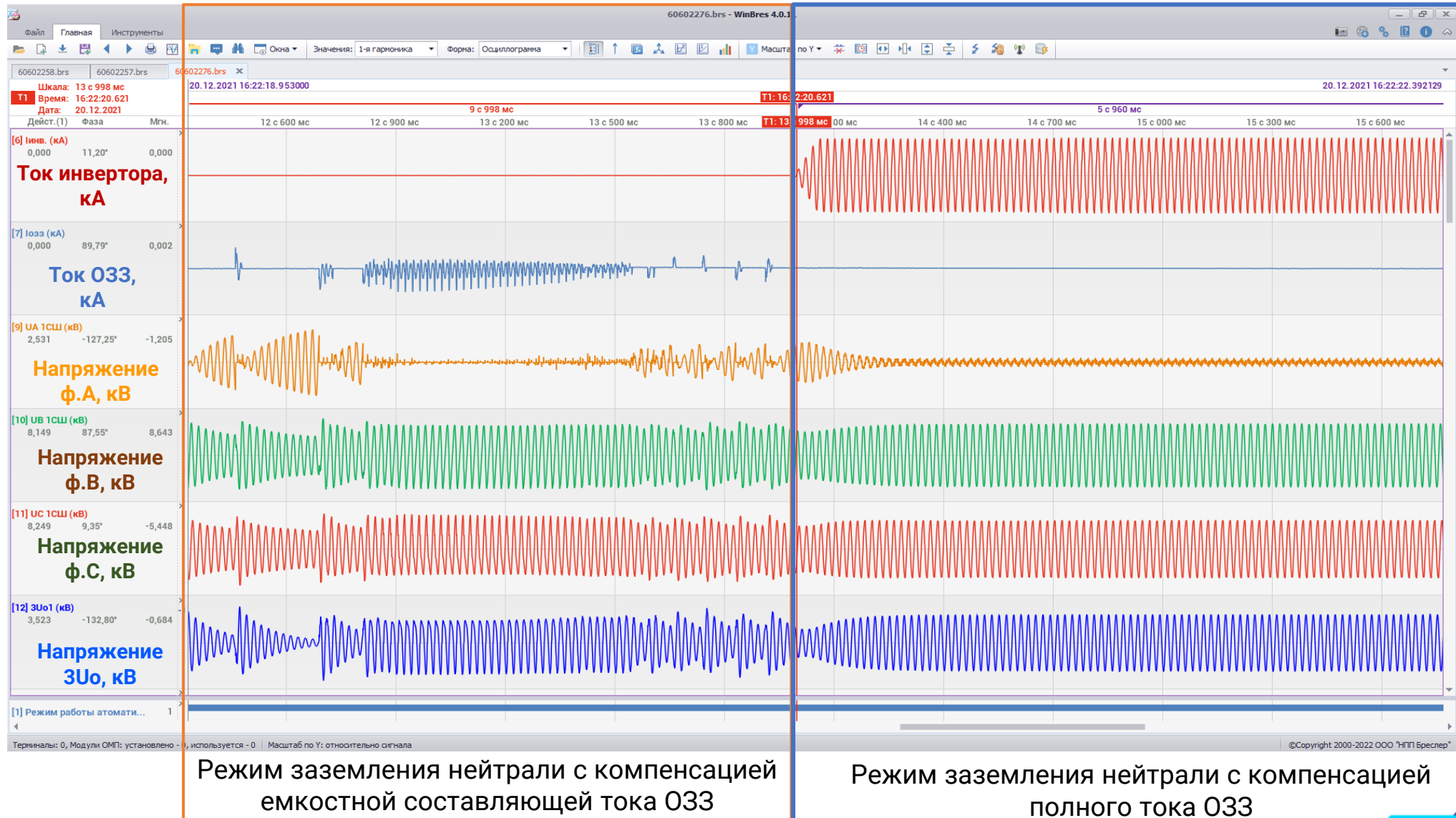
Установка для компенсации полного тока состоит из нейтралеобразующего трансформатора, специального дугогасящего реактора с дополнительной обмоткой для ввода в контур нулевой последовательности управляющего тока и терминала автоматики со встроенным источником тока.

Ёмкостная составляющая тока 033	Активная и гармоническая составляющая тока 033
<p>Для компенсации ёмкостной составляющей тока 033 применяется специальная индуктивность (принцип работы ДГР)</p>	<p>Полный ток в месте повреждения невозможно скомпенсировать пассивными элементами.</p> <p>Для компенсации активной и гармонической составляющей тока 033, в нейтрали сети подключается источник компенсации остаточного тока 033.</p> <p>Устройство компенсации включает в себя также измерительный блок для определения амплитуды, фазы и гармонического состава тока 033.</p>

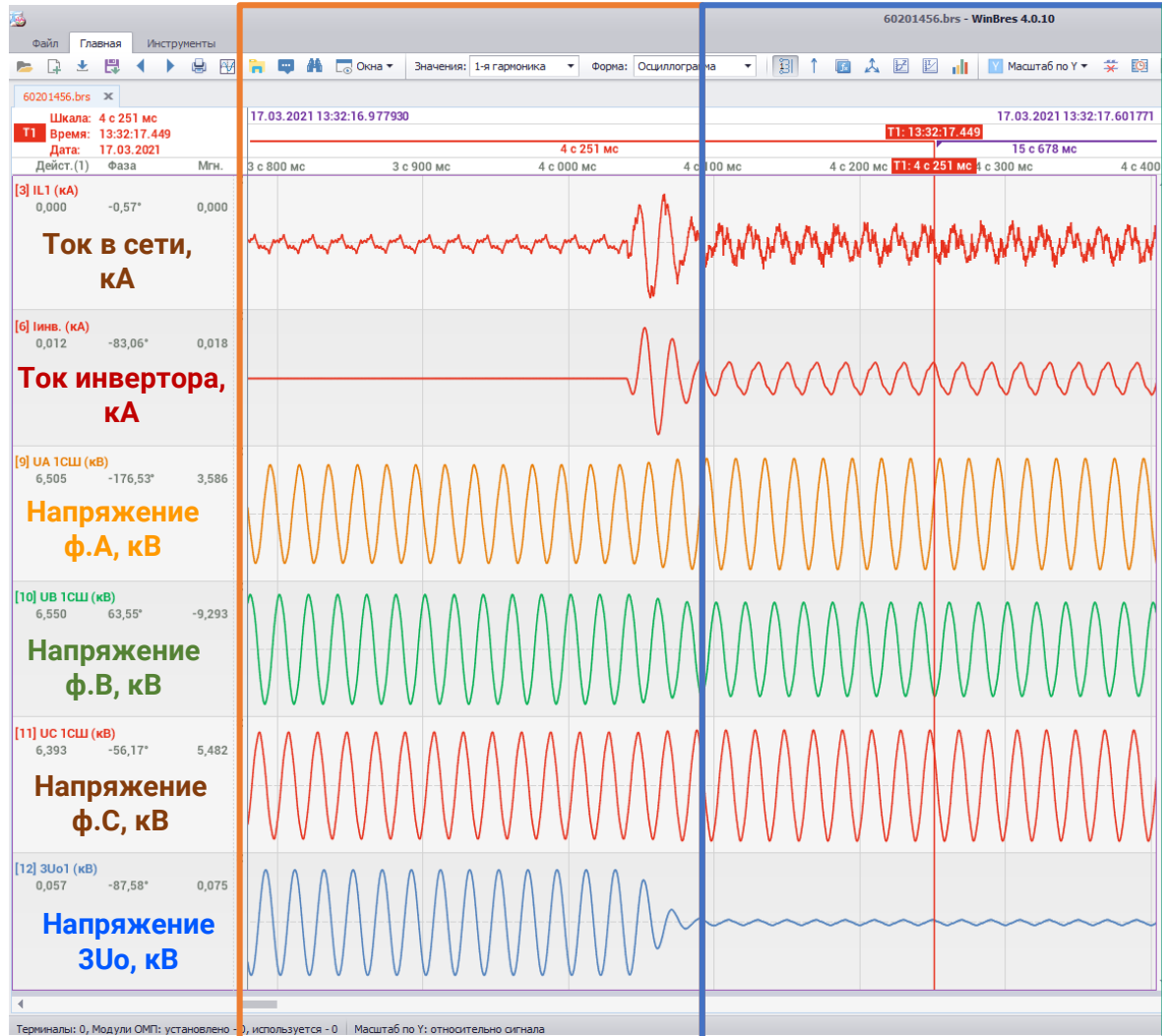
Симметрирование фазных напряжений в нормальном режиме работы сети (режим симметрирования фазных напряжений)

Система компенсации полного тока позволяет переключить режим регулирования источника тока с регулирования по напряжению поврежденной фазы на регулирование напряжения реактора. Данный режим позволяет снизить напряжение смещения нейтрали, практически, до нуля относительно «земли», независимо от степени несимметрии сети.

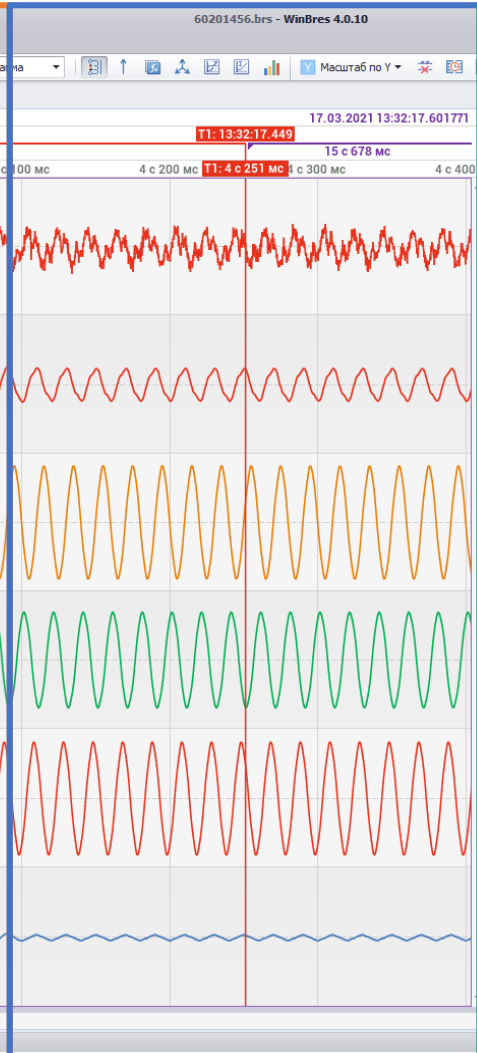
РЕЖИМ ПОЛНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ТОКА ОЗЗ



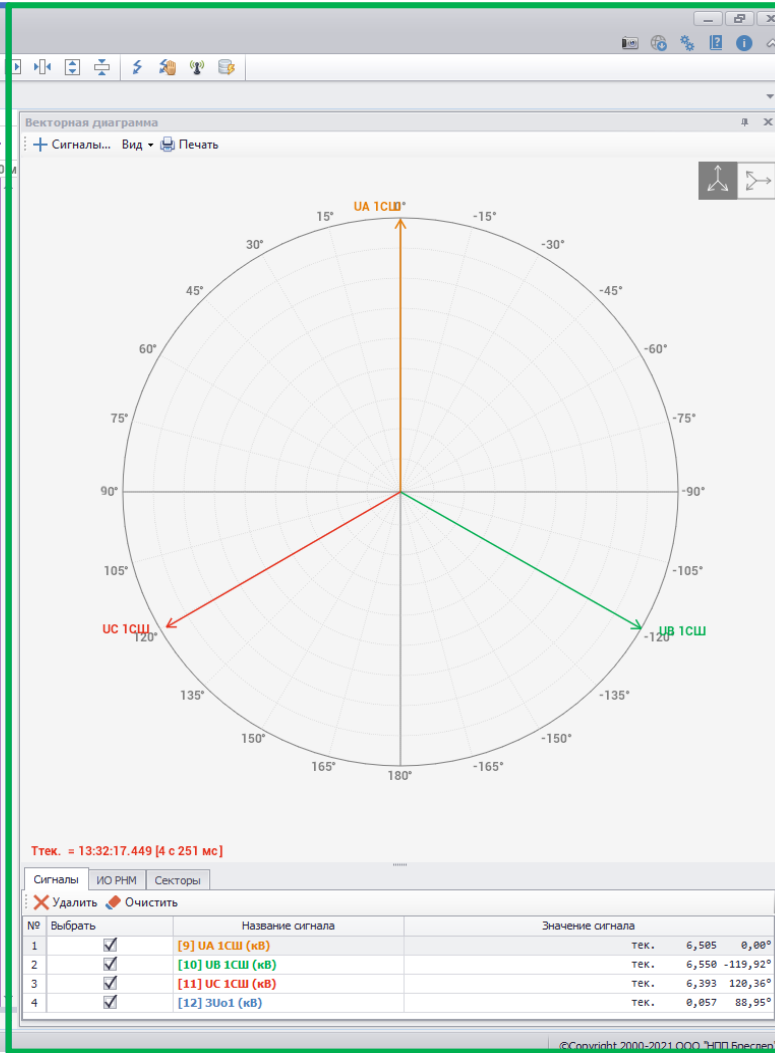
ОПЫТ СИММЕТРИРОВАНИЯ ФАЗНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ



Режим несимметрии сети



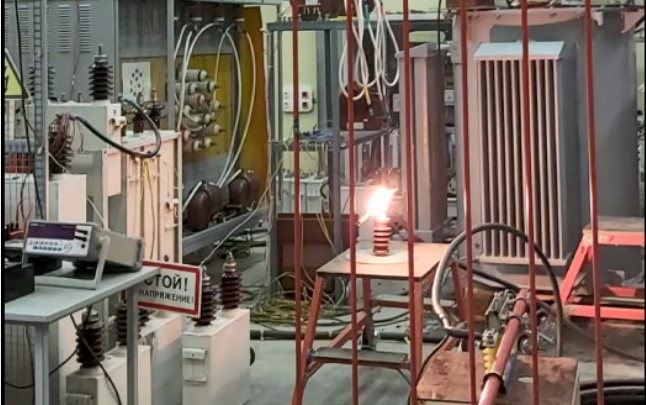
Режим симметрирования фазных напряжений



Происходит выравнивание фазных напряжений и потенциал на нейтрали уменьшается до значений менее 1%.

ОПЫТЫ КОМПЕНСАЦИИ ПОЛНОГО ТОКА ОЗЗ

Опыт ОЗЗ при компенсации только емкостной составляющей тока ОЗЗ



Опыт ОЗЗ при компенсации полного тока ОЗЗ



Опыты по применению компенсации остаточного тока проведены на производственной площадке ООО «НПП Бреслер».

В целях проверки условий горения дуги созданы следующие параметры искусственной сети:

- Реактор настроен на компенсацию емкостного тока 8,5 А (резонансная настройка ДГР);
- Остаточный ток составляет 3,5 А (активная составляющая тока ОЗЗ).

Даже при остаточном токе ОЗЗ менее 3,5 А **продолжается горение дуги.**

Для компенсации полного тока в месте замыкания разработано и испытано управляемое устройство, позволяющее практически полностью подавить ток в месте замыкания и существенно улучшить условия по пожаро- и электробезопасности.

ВЫВОДЫ

1. Стремительное развитие распределительных сетей 6-10 кВ (увеличение протяжённости и разветвленности линий электропередачи) приводит к увеличению токов ОЗЗ и появлению перенапряжений, вызывающих многоместные поражения изоляции в сети.
2. В условиях непредсказуемости и скорости изменения параметров распределительных сетей 6-10 кВ (в результате изменений конфигураций сетей, внедрения систем автоматического секционирования и т.п.) для эффективной работы ДГР необходима система компенсации, **работающая только в автоматическом режиме** с точной «резонансной» настройкой ДГР в любых условиях.
3. Но даже при автоматическом режиме работы компенсирующих устройств в сети остаются некомпенсированные составляющие тока ОЗЗ (активная и гармоническая составляющая), способные поддерживать горение дуги в месте повреждения.
4. Компенсация активной и гармонической составляющих тока ОЗЗ на фоне «резонансной» настройки ДГР является условием подавления дуговых пробоев.
5. При отсутствии дуговых пробоев исключаются перенапряжения, воздействующие в изоляции всей сети, что позволяет облегчить работу средств защиты от перенапряжений в режиме ОЗЗ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Экспериментально установлено, что условия горения дуги в месте повреждения сохраняются даже при значениях остаточного тока ОЗЗ менее 5 А, что влечет за собой повреждения оборудования.
2. Для компенсации полного тока ОЗЗ разработана и готова к серийному производству система, состоящая из нейтралеобразующего трансформатора (фильтр нейтралеобразующий), специального дугогасящего реактора конденсаторного типа, управляемого источника тока и терминала автоматики для управления всеми функциями компенсации полного тока ОЗЗ.
3. С 2018 по 2022 год проведен ряд экспериментов и получен положительный опыт эксплуатации систем компенсации полного тока, подтверждающий эффективность метода компенсации полного тока ОЗЗ.
4. При проведении опытно-промышленной эксплуатации дополнительно выявлено, что система компенсации полного тока ОЗЗ позволяет поддерживать симметрию фазных напряжений в нормальном режиме работы сети.
5. Компенсация полного тока ОЗЗ позволяет создать **систему управляемого заземления**, которая сочетает в себе все преимущества сети с компенсированной нейтралью и резистивной нейтралью (компенсация тока ОЗЗ, исключение дуговых замыканий и снижение уровней перенапряжений в сети). Для её реализации необходимо выполнить НИОКР.

Спасибо за внимание!

