

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

Всероссийская научно-техническая конференция по релейной защите и автоматизации энергетических систем
«Технологический суверенитет России в области РЗА и АСУ ТП и устойчивость в условиях санкционных ограничений»

Секция «Применение оборудования РЗА и АСУ ТП в текущих условиях»

Александров А.С., Багаев Д.В., ПАО «Россети Волга»
Булычев А.В., Соловьёв И.В., ООО «НПП Бреслер»

23 апреля 2024, г. Чебоксары

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

1

Разработать устройство 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.

4

Разработать защиту с улучшенными показателями чувствительности и селективности для присоединения заземляющих устройств в электрических сетях 6-35 кВ.

5

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

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

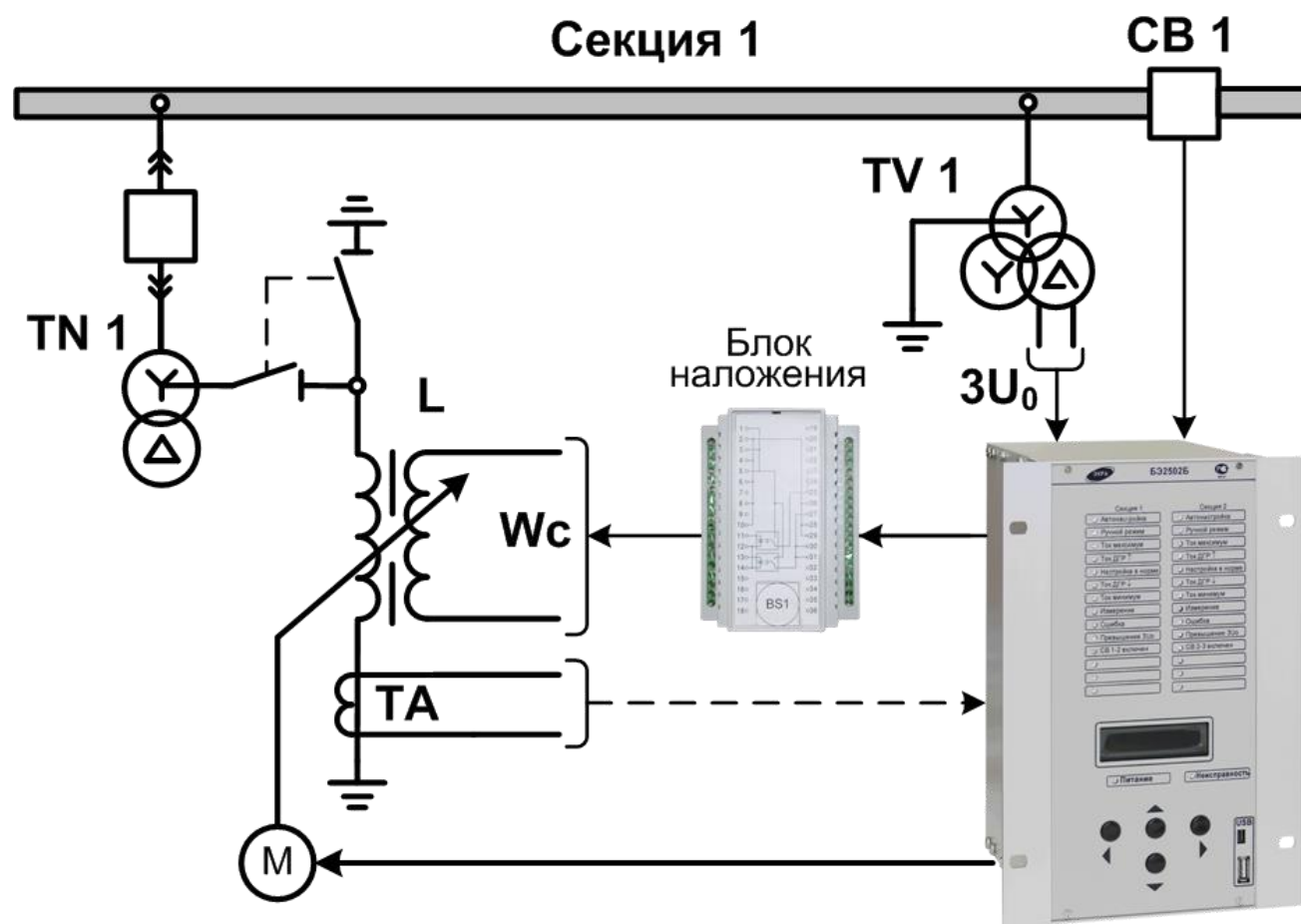


2017-2018 гг.

- Система заземления нейтрали распределительной сети с компенсацией полного тока ОЗЗ и активным принудительным балансом емкостных токов



Разработан метод быстросействующего автоматического регулирования тока компенсации в сетях среднего напряжения (6-35 кВ), а так же разработан комплекс устройств для его осуществления. Создана и опробована на практике быстросействующая система автоматического регулирования тока компенсации, основанная на регулировании введенной базовой индуктивной составляющей тока компенсации.



Достоинством оборудования для компенсации емкостных токов ОЗЗ с конденсаторным регулированием является:

- **Надежная и простая статическая конструкция**, не требующая обслуживания.
- **Быстродействие**, которое ограничивается лишь скоростью определения автоматикой нужной уставки тока ДГР. Перенастройка от минимума до максимума диапазона происходит за доли секунд, что делает такое оборудование самым быстродействующим из существующих.
- **Высокая точность настройки**, с любым шагом регулирования, зависящего от количества конденсаторов.
- **Линейная зависимость** тока компенсации от емкости конденсаторов.

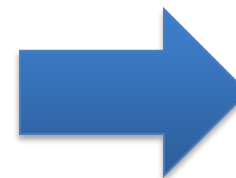
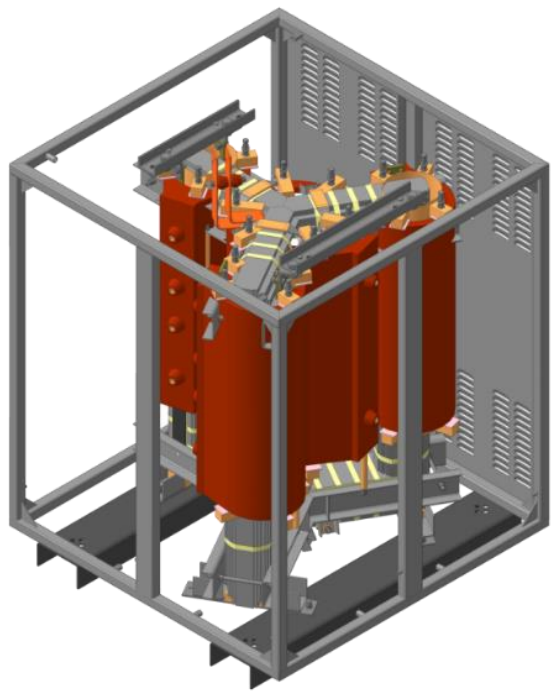


Разработано силовое оборудование, состоящее из дугогасящего реактора и присоединительного трансформатора сухого исполнения, предназначенное для совместной работы с устройством автоматической настройки компенсации.



ЭТАП 2. НИОКР 2013-2014

Разработано силовое оборудование, предназначенное для компенсации емкостных токов замыкания на «землю» в сетях 6-10 кВ. Оборудование представляет собой статическое устройство, выполненное в едином корпусе и на едином магнитопроводе. Разработанное оборудование совмещает в одном устройстве все необходимые функции для компенсации емкостных токов замыкания на «землю».



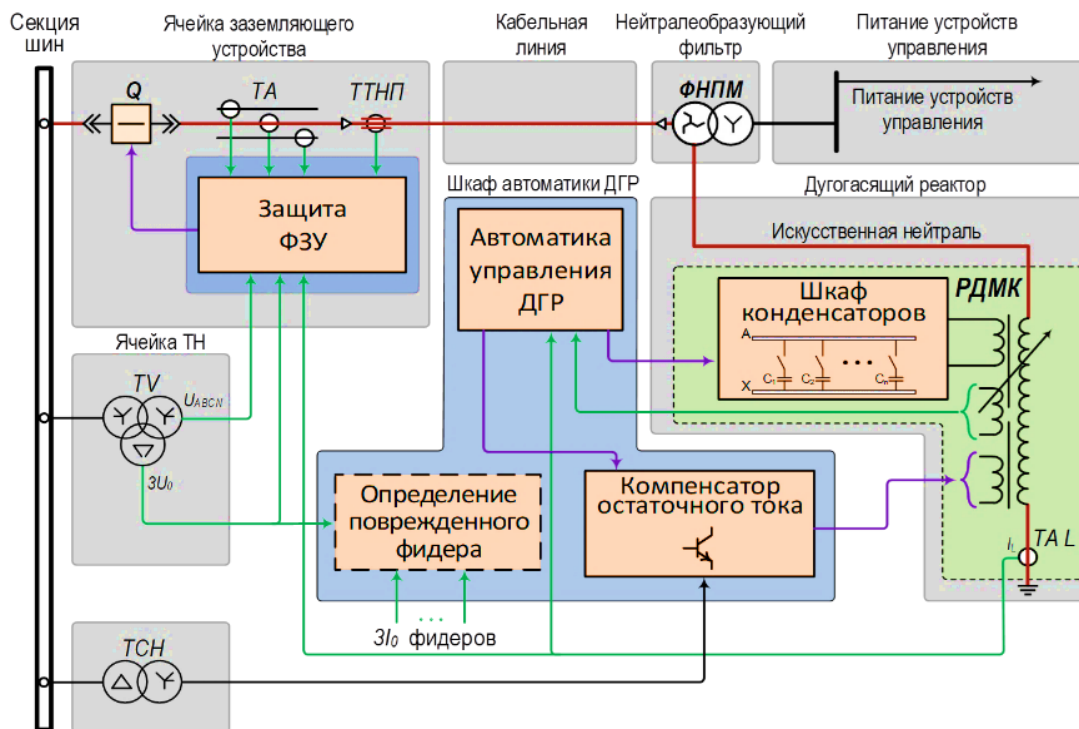
Разработана микропроцессорная защита (ЗЗУ) с улучшенными показателями чувствительности и селективности для присоединения заземляющих устройств в электрических сетях. Отличается от имеющихся аналогичных устройств, повышенной чувствительностью – зона ее действия охватывает все элементы присоединения от ячейки до заземленных выводов ДГР и резистора (при наличии).

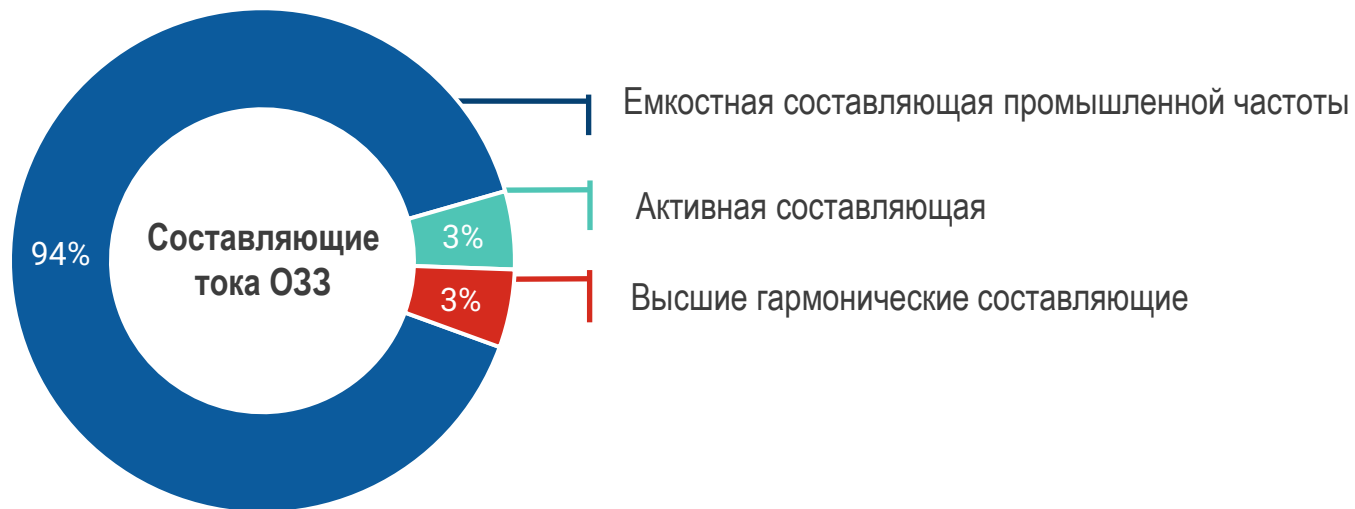


Защита заземляющих устройств составляет:

- Классическая трехступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ);
- Ненаправленная МТЗ от междуфазных замыканий в зонах кабельной вставки и нейтралеобразующего трансформатора;
- Дифференциальная токовая защита кабельной вставки;
- Дифференциальная токовая защита нулевой последовательности;
- Защита от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ);
- Тепловая защита (по температуре) заземляющего резистора (при его наличии);
- Тепловая защита (по температуре) дугогасящего реактора;
- Срабатывание от дуговой защиты ячейки;
- Защита от обрыва фазы;
- Действие на реле логической защиты шин;
- Действие на отключение фидера нейтралеобразующего трансформатора, либо на сигнализацию;
- Местное и дистанционное управление цепями включения и отключения выключателя фидера;
- Формирование сигналов неисправности защит, цепей включения и отключения.

Разработано управляемое устройство заземления нейтрали с функцией компенсации полного тока ОЗЗ. Устройство обеспечивает анализ сети с обратной связью. При возникновении замыкания включается управляемый источник и начинается процесс компенсации тока в месте повреждения (включая активную и гармоническую составляющие). Для предотвращения повторных электрических пробоев места повреждения система управления компенсацией поддерживает близкое к нулю напряжение повреждённой фазы.

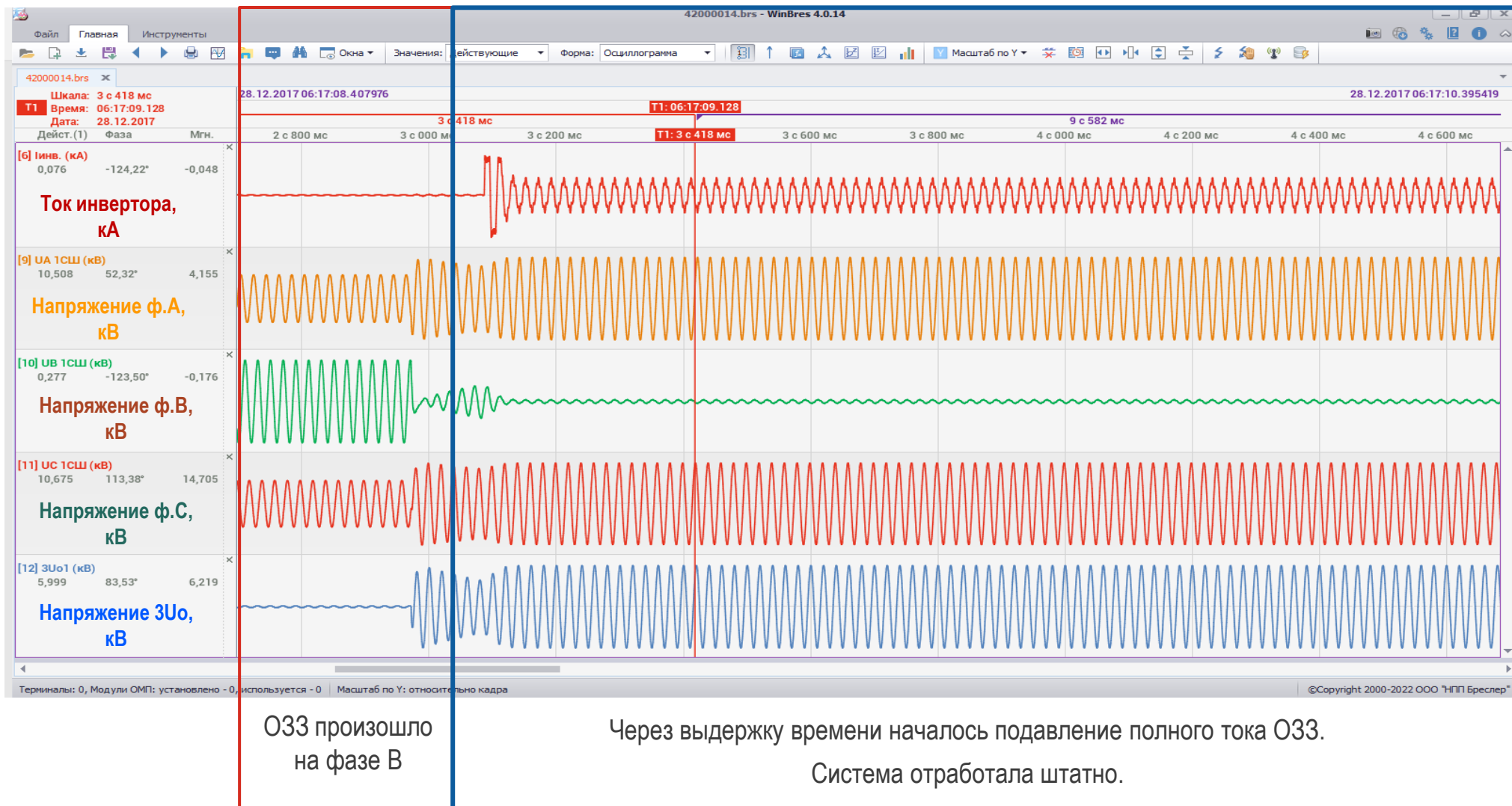




Ток ОЗЗ может содержать следующие составляющие:

$$I_{O33} = I_C + I_R + I_{CR}$$

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.).



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

Планомерная реализация поставленных задач позволила комплексно подойти к проблемам связанных с компенсацией токов ОЗЗ и создать ряд нового оборудования:

1. Разработан метод и создано оборудование для автоматического регулирования тока компенсации, основанный на определении частоты свободных колебаний контура нулевой последовательности сети.
2. Разработан комплекс устройств и созданы образцы современного оборудования для компенсации емкостных токов ОЗЗ с конденсаторным регулированием.
3. Разработан и создан силовой дугогасящий агрегат, выполненный в едином корпусе и на едином магнитопроводе, совмещающий все необходимые функции для компенсации емкостных токов замыкания на «землю», что существенно отличает его от устройств аналогичного назначения.
4. Разработана и создана защита, предназначенная для обеспечения защиты фидера нейтралеобразующего трансформатора, дугогасящего реактора и резистора, с достаточной селективностью и быстродействием, отличающаяся от имеющихся аналогичных устройств, повышенной чувствительностью с зоной охвата всех элементов присоединения от ячейки до заземленных выводов ДГР и резистора (в случае его установки параллельно ДГР).
5. Разработана и создана быстродействующая система заземления нейтрали для распределительных электрических сетей, обеспечивающая компенсацию полного тока в месте ОЗЗ с принудительным гашением дуги в месте повреждения.

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.
6. В целях обеспечения надежного электроснабжения ответственных потребителей целесообразно применение системы заземления нейтрали обеспечивающей компенсацию полного тока в месте ОЗЗ с активным принудительным гашением дуги в месте повреждения.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!