

Продолжаем представлять новые исследования и разработки для защиты сетей от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ).

Традиционное решение с применением ДГР (катушек индуктивности), основанное на компенсации емкостной составляющей тока ОЗЗ, дает хорошие результаты только на одной частоте и при отсутствии существенных потерь. Новое решение, предложенное чебоксарскими разработчиками, предполагает компенсацию полного тока ОЗЗ.

КОМПЕНСАЦИЯ ТОКА ОЗЗ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6–10 кВ

Новые технологии

Задача снижения тока и гашения электрической дуги в месте однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) в сетях 6–35 кВ традиционно решается с помощью дугогасящих реакторов (катушек индуктивности), включаемых между нейтралью сети и землей [1]. Однако это элегантное решение, основанное на компенсации только емкостной составляющей тока ОЗЗ противоположно направленной индуктивной составляющей тока, создаваемой дугогасящим реактором (ДГР), дает хорошие практические результаты только на одной частоте и при отсутствии существенных потерь.

В реальных сетях, где токи ОЗЗ большие и превышают, например, 100 А, остаточный, не скомпенсированный ДГР ток в месте ОЗЗ, обусловленный потерями, гармониками и неидеальной настройкой ДГР, может превышать 5 А и поддерживать горение электрической дуги в месте ОЗЗ. Даже один фактор из перечисленных – расстройка ДГР (допускается 5% от номинального тока ДГР) может вызвать остаточный ток, способный поддерживать дугу в месте ОЗЗ.

Значение тока, при котором возможно устойчивое горение дуги в месте замыкания (5 А), определено в результате все-

сторонних исследований и зафиксировано в нормативных документах [2, 3, 4]. Таким образом, в сетях с током ОЗЗ 100 А и более ДГР не является гарантирующим средством гашения дуги, так как остаточный ток может превышать значение 5 А. Это означает, что ДГР большой мощности оказываются неэффективными, т. к. не выполняют в полной мере свою основную функцию гашения дуги в месте ОЗЗ.

ЗАЗЕМЛЕНИЕ С ФУНКЦИЕЙ КОМПЕНСАЦИИ

В сложившихся условиях поступательного развития сетей и увеличения токов ОЗЗ, для эффективного снижения тока до уровня ниже 5 А и гашения электрической дуги в месте ОЗЗ необходимо компенсировать не только емкостную составляющую тока ОЗЗ на частоте сети, но и полный ток ОЗЗ, включая активную составляющую и составляющие других частот. Кроме этого, необходимо поддерживать в месте повреждения условия, в которых невозможно повторное зажигание электрической дуги.

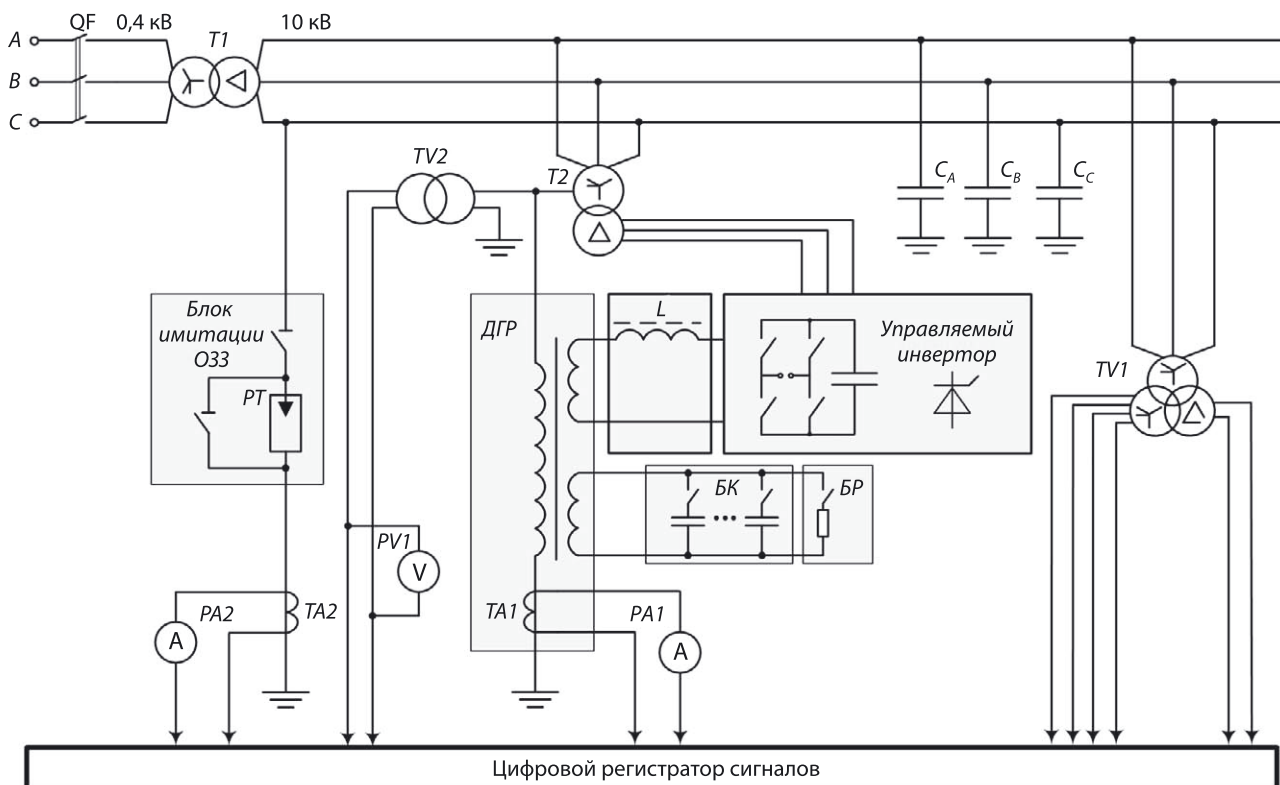
Практический интерес представляет решение, при котором остаточный ток (не скомпенсированный ДГР) компенсируется током специального управляемого источника и создаются

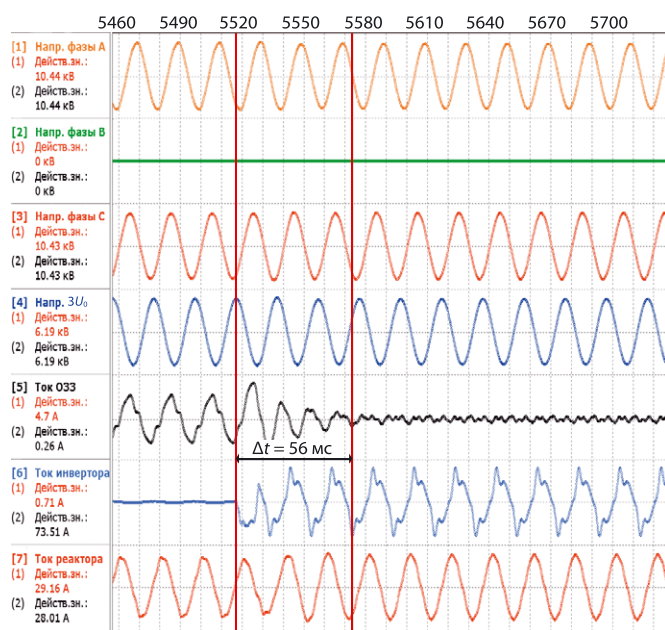
Александр Булычев,
д.т.н., технический директор

Юрий Дементий,
ведущий инженер

Владимир Козлов,
главный конструктор
ООО «НПП Бреслер», г. Чебоксары

• Рис. 1. Схема испытательной установки



Осциллограмма процессов при устойчивом ОЗЗ и активном характере остаточного тока**Рис. 2 •**

условия для предотвращения повторного зажигания электрической дуги в месте ОЗЗ [5, 6]. Всё это реализовано в комплексе оборудования для управляемого заземления нейтрали, разработанном ООО «НПП Бреслер» в рамках НИОКР по заказу ПАО «МРСК Волги».

Было создано управляемое заземление нейтрали с функцией компенсации полного тока для сетей 6–10 кВ, обладающее новыми свойствами снижения тока и гашения электрической дуги в месте ОЗЗ, повышающее надежность и безопасность этих сетей. Решение дает возможность снижать ток в месте ОЗЗ до уровня, обеспечивающего гашение дуги, и создавать условия для предотвращения ее повторного зажигания.

В процессе разработки были созданы математическая и физическая модели управляемого заземления, доказано их соответствие реальному объекту. Всесторонние теоретические и экспериментальные исследования подтвердили правомочность принятых в процессе разработки ограничений и допущений, доказали работоспособность системы и позволили определить ее основные эксплуатационные параметры.

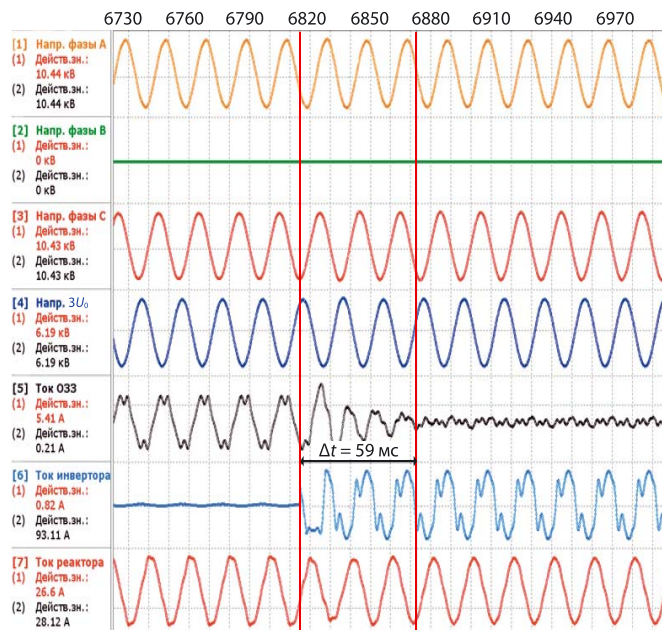
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ

Модель сети (рис. 1) сформирована из элементов с сосредоточенными параметрами и работает на напряжении, соответствующем напряжению реальной сети 10 кВ. Она содержит повышающий трансформатор Т1 0,4/10 кВ, сосредоточенные емкости фаз сети относительно земли C_A , C_B , C_C , нейтралеобразующий трансформатор Т2, вторичная обмотка которого соединена по схеме «треугольник», и блок имитации ОЗЗ.

Предусмотрена возможность моделирования замыканий на землю с помощью разрядников двух видов – роговых и вращающихся, а также однополюсного разрядника и отрезков высоковольтного кабеля с искусственно созданными дефектами изоляции.

Управляемое заземление нейтрали сети построено на основе специального ДГР с одной основной и двумя дополнительными обмотками. Основная обмотка ДГР включена между искусственной нулевой точкой сети, сформированной нейтралеобразующим трансформатором Т2, и землей. Первая дополнительная обмотка подключена к выходу управляемого инвертора через дроссель L, а вторая подключена к блоку конденсаторного регулирования БК и к блоку резисторов БР. Питание управляемого инвертора осуществляется от вторичной обмотки трансформатора Т2.

Для измерения электрических величин в модели сети использованы измерительные трансформаторы тока ТА1–ТА2, трансформаторы напряжения TV1–TV2 и показывающие измерительные приборы соответственно РА1–РА2 и PV1. Для получения осциллограмм процессов использован цифровой

Осциллограмма процессов при устойчивом ОЗЗ и емкостном характере остаточного тока**Рис. 3 •**

регистратор сигналов, к входам которого подключены соответствующие вторичные цепи измерительных трансформаторов.

Программа экспериментальных исследований предусматривала проведение натурных ОЗЗ в физической модели сети и последующий анализ процессов при этих ОЗЗ.

Устойчивые металлические ОЗЗ реализовывались путем включения разъединителя, шунтирующего разрядник, в блоке имитации ОЗЗ. Дуговые ОЗЗ – с помощью разрядников при разомкнутом шунтирующем разъединителе.

Процессы организовывались по следующему алгоритму. Собирались электрические цепи, имитирующие определенный вид ОЗЗ. Подавалось питание на модель сети и управляемый инвертор. С помощью последовательного разъединителя к фазе модели сети подключался блок имитации ОЗЗ (тем самым создавалось искусственное ОЗЗ). Затем управляемое заземление начинало действовать по своим алгоритмам и таким образом осуществлялась компенсация тока ОЗЗ.

Статические погрешности компенсации полного тока оценены на основании опытов компенсации тока ОЗЗ при устойчивом металлическом замыкании на землю. В первом опыте (рис. 2) ДГР был настроен практически на резонансный режим (расстройка составляла –0,2%), остаточный ток в месте замыкания (4,7 А) создавался в основном блоком резисторов, т. е. имел активный характер.

Во втором опыте остаточный ток (5,41 А) создавался расстройкой ДГР, которая составляла +3,2% (недокомпенсация), т. е. в основном имел емкостный характер.

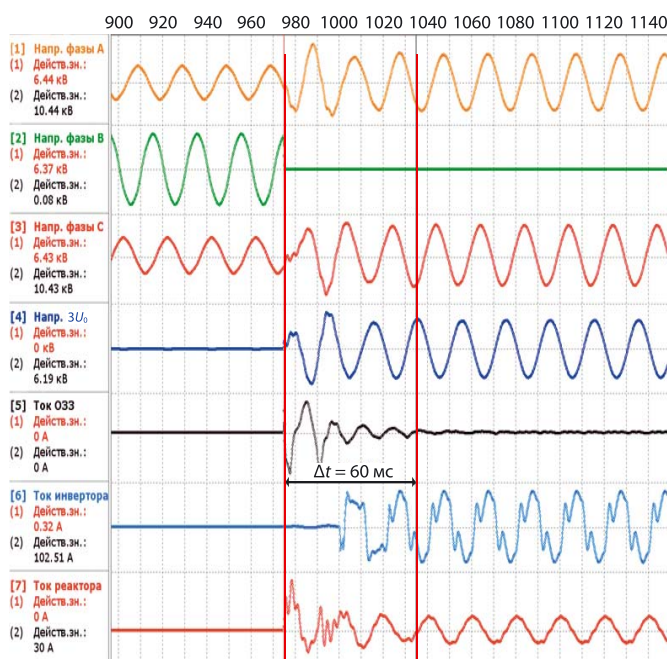
Цель создания остаточного тока в месте ОЗЗ различными способами – убедиться, что для системы компенсации не имеет значения причина появления остаточного (нескомпенсированного) тока и его характер. Коэффициент трансформации между основной первичной обмоткой и обмоткой ДГР, к которой подключен управляемый инвертор, равен 15.

Из первой осциллограммы (рис. 2) видно, что через 56 мс после включения системы компенсации (момент показан первой вертикальной указкой) действующее значение тока в месте повреждения уменьшилось в 18 раз: с 4,7 до 0,26 А (вторая указка). Таким образом, абсолютная величина статической погрешности составила 260 мА.

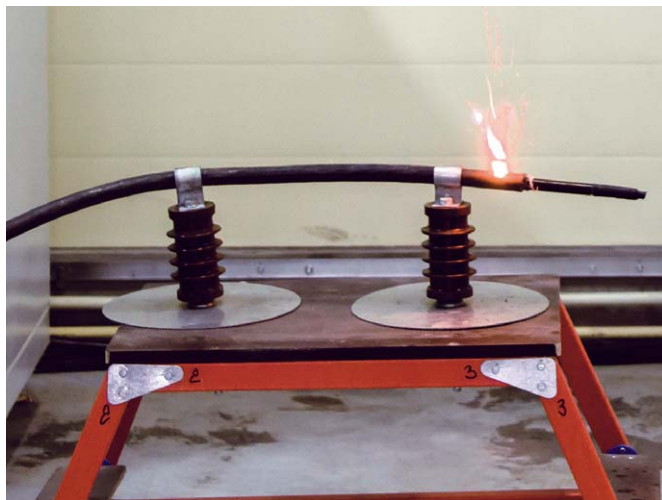
Во втором опыте (рис. 3) через 59 мс действующее значение тока в месте повреждения уменьшилось в 26 раз: с 5,41 до 0,21 А (вторая указка). Абсолютная величина статической погрешности в данном случае составила 210 мА.

Результаты, полученные при опыте металлического ОЗЗ, позволяют сделать вывод о том, что система устойчива, так как при начальном возмущении (включении системы) в регулируемом параметре (токе в месте повреждения) возникают

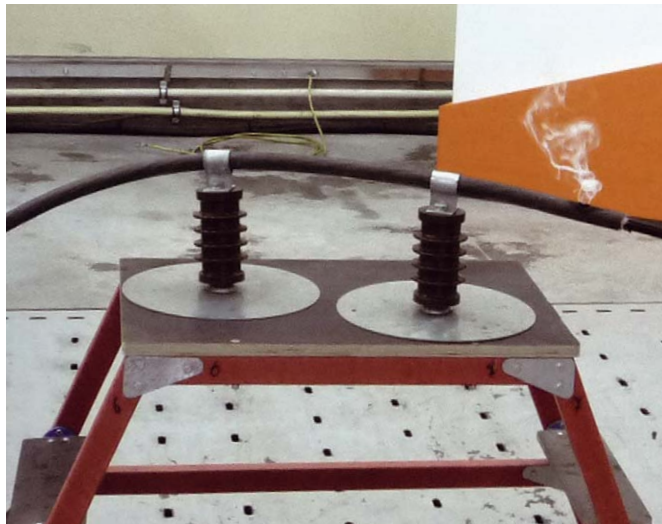
• Рис. 4. Осциллограмма процессов при дуговом ОЗЗ



• Фото 1. Дуговое ОЗЗ в кабеле со СПЭ-изоляцией при компенсации тока ОЗЗ с помощью только ДГР с остаточным током 8 А



• Фото 2. Вид места ОЗЗ в кабеле после гасящего воздействия системы компенсации полного тока



колебания, имеющие затухающий характер. Остаточные колебания тока, которые видны на осциллограммах, обусловлены статической ошибкой регулирования и непрерывным (шумовым) входным воздействием.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Динамические свойства системы компенсации полного тока можно оценить на основании опытов дугового замыкания на землю (рис. 4).

Через 25 мс после возникновения замыкания включается инвертор и начинается процесс уменьшения тока в месте повреждения и гашения дуги. После включения инвертора за время, приблизительно равное одному периоду промышленной частоты, ток в месте повреждения практически прекращается вследствие полного гашения дуги и отсутствия условий для ее повторного зажигания в месте повреждения. С начала замыкания до полного гашения дуги проходит не более трех периодов колебаний промышленной частоты (60 мс).

Для предотвращения повторных электрических пробоев в месте повреждения система управления компенсацией поддерживает близкое к нулю значение напряжения поврежденной фазы относительно земли, создавая таким образом виртуальное замыкание на землю. Оно отличается от обычного ОЗЗ тем, что является полностью управляемым состоянием сети, вследствие чего ток в месте повреждения отсутствует.

Предельные динамические возможности управляемого заземления при использованных алгоритмах управления ограничены в основном физическими свойствами дуги и мало зависят от параметров системы компенсации. Таким образом, можно сделать вывод о том, что время гашения дуги в месте повреждения составляет не более трех периодов промышленной частоты.

Предельный ток, который остается некомпенсированным, зависит от параметров основных силовых компонентов (инвертор и дугогасящий реактор) и чувствительности системы управления. Неидеальность преобразовательных трактов системы автоматического управления не позволяет установить высокий коэффициент обратной связи из-за риска возникновения автоколебаний, что является причиной ненулевой статической ошибки компенсации в режиме устойчивого замыкания.

Наглядное представление о работе управляемого заземления дают фотографии, полученные при проведении экспериментов с дугowymi ОЗЗ. На фото 1 – место ОЗЗ в кабеле в исходном состоянии при остаточном активно-емкостном токе ОЗЗ 8 А, когда компенсация осуществлялась только с помощью ДГР. На фото 2 – место ОЗЗ через 60 мс после начала действия системы гашения (компенсации) полного тока ОЗЗ.

Опытный образец управляемого заземления после испытаний и всесторонних исследований в заводских лабораторных условиях был введен в опытную эксплуатацию на действующей подстанции ПАО «МРСК Волги». В настоящий момент накоплен опыт эксплуатации системы в реальных условиях. Анализ работы опытного образца при реальных ОЗЗ подтвердил все основные параметры управляемого заземления, заданные при разработке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вильгейм Р., Уотерс М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах. М.: Госэнергоиздат, 1959. 416 с.
2. Лихачев Ф.А. Инструкция по выбору, установке и эксплуатации дугогасящих катушек. М.: Энергия, 1971. 106 с.
3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: утв. Приказом Минэнерго России от 13 января 2003 г. № 6. М.: Энергосервис, 2003.
4. Сирота И.М., Кисленко С.Н., Михайлов А.М. Режимы нейтрали электрических сетей. Киев: Наукова Думка, 1985. 254 с.
5. Булычев А.В., Дементий Ю.А., Козлов В.Н. Экспериментальные исследования управляемого заземления нейтрали с функцией компенсации полного тока замыкания на землю в сетях 6–10 кВ // Релейная защита и автоматизация. 2017. № 4(29). С. 37–41.
6. Устройство для компенсации полного тока однофазного замыкания на землю: авторское свидетельство (СССР) № 813587; опубл. БИ № 10, 1981.

В первой части статьи («Новости ЭлектроТехники» № 3(111) 2018) был рассмотрен опыт эксплуатации в ПАО «Россети» систем компенсации ёмкостного тока замыкания на землю, содержащих дугогасящие реакторы (ДГР) типа РУОМ, и сформулированы выводы относительно аттестации и мониторинга работы ДГР в целом.

Вторая часть статьи посвящена опыту эксплуатации систем компенсации на основе ДГР типа РДМК с конденсаторным регулированием.

СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНОГО ТОКА ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Соответствие требованиям нормативных документов

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДГР ТИПА РДМК С КОНДЕНСАТОРНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

В начале 2015 г. на 2-й секции шин (2 СШ) 10 кВ ПС 110/35/10 кВ «Никифоровская» ПАО «МРСК Центра» была введена в работу новая система компенсации ёмкостных токов замыкания на землю в составе дугогасящего реактора серии РДМК-500/11, нейтралеобразующего трансформатора ТМГН-500/11 и шкафа управления ДГР. Эта система компенсации состоит из статического реактора с постоянной индуктивностью, рассчитанной на максимальный ток компенсации (80 А).

Во вторичную силовую обмотку реактора с помощью коммутационной аппаратуры по командам системы автоматического управления подключаются конденсаторные батареи, добавляющие к ёмкостному току сети дополнительный ёмкостный ток для резонансной настройки с индуктивным током реактора.

Расчетный ёмкостный ток нормального режима работы сети 2 СШ 10 кВ ПС «Никифоровская» составляет 34 А. От секции шин подстанции отходят 7 воздушных линий и 2 кабельные линии с изоляцией из сшитого полиэтилена. Ёмкостный ток в основном определяется кабельными линиями.

В октябре 2016 г. по инициативе ПАО «МРСК Центра» для проверки эффективности работы системы компенсации ёмкостных токов на ПС «Никифоровская» был установлен восьмиканальный высокочастотный регистратор аварийных событий РВЦ-801Д. Регистрировались фазные напряжения и напряжение $3U_0$ с ТН 2 СШ, а также токи основной обмотки и вторичной силовой обмотки РДМК.

Запись осциллограмм происходила при превышении действующим значением $3U_0$ величины 16 В и в конце события (при снижении напряжения $3U_0$ ниже 16 В). Частота дискретизации 50 кГц. Максимальная продолжительность записи 5,2 с с фиксацией предыстории.

По результатам анализа осциллограмм был составлен технический отчет [12].

За период с октября 2016 г. по март 2017 г. было зафиксировано 12 событий (18 осциллограмм):

- 2 события с «клевками» – кратковременными однофазными замыканиями на землю (ОЗЗ) (рис. 8, 9);
- 6 случаев установившихся (металлических) ОЗЗ (рис. 10), два из которых перешли в междофазные замыкания, а остальные были отключены вручную;
- 1 междофазное замыкание;
- 3 коммутационных события в сети мощных потребителей.

Эффективность работы системы компенсации определялась степенью расстройки компенсации, рассчитанной по измененным на осциллограммах значениям периода свободных колебаний напряжения на нейтрали сети ($3U_0$) после погасания дуги ОЗЗ во время восстановления напряжения поврежденной фазы. Расчет выполнялся по методике Ф.А. Лихачева (формула 6-2 из книги «Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов»).

Валерий Брыкин,
начальник сектора диагностики
электротехнической службы,
АО «Тюменьэнерго»,
г. Сургут

Николай Дроздов,
главный эксперт,
Управление научно-технического
развития, организации и
контроля за реализацией НИОКР
Департамента технологического
развития и инноваций
ПАО «Россети»,
г. Москва

Юрий Корчмарик,
главный инженер,
ООО ВП «НТБЭ»,
г. Екатеринбург

Анализ осциллограмм:

Расстройку достоверно удалось определить только по двум событиям ОЗЗ («клевкам»):

- 21.01.2017 в 11:15:31 при «клевке» фазы С расстройка системы компенсации составила –23,2% (перекомпенсация, рис. 8);
- 15.03.2017 в 15:30:19 при «клевке» фазы А расстройка системы компенсации составила 6,8% (недокомпенсация) (рис. 9).

По нашему мнению, такая значительная расстройка может быть вызвана следующими причинами:

- некорректной работой автоматики управления ДГР;
- отказом элементов в шкафу блока конденсаторов (конденсаторов и/или коммутационной аппаратуры);
- изменением индуктивного сопротивления реактора при изменении первичного напряжения на реакторе, то есть нелинейностью вольт-амперной характеристики реактора.

Последнюю причину подтверждает анализ осциллограмм, который показал, что при изменении напряжения на нейтрали сети изменяется величина расстройки системы компенсации (табл. 8).

Еще большее изменение величины расстройки компенсации в зависимости от напряжения на нейтрали зафиксировано в сети 10 кВ 2 СШ подстанции «Никифоровская» по осциллограмме 29200111.brs от 02.08.15 в 14:40:03 регистратора автоматики.

Во время дугового перемежающегося ОЗЗ после погасания дуги ОЗЗ при восстановлении напряжения поврежденной фазы начальная расстройка системы компенсации составила –18,53% при напряжении $3U_0 = 113\% U_{нр}$, а при малом напряжении $3U_0 = 11\% U_{нр}$ расстройка уменьшилась до –1,31% (табл. 9). То есть при достаточно точной настройке системы компенсации автоматикой до возникновения ОЗЗ, во время ОЗЗ из-за нелинейности вольт-амперной характеристики реактора расстройка компенсации выросла до 18,53% в сторону перекомпенсации.

Это противоречит п. 8.4.7 стандарта ПАО «Россети» СТО 34.01-3.2-008-2017, который устанавливает, что отклонение вольт-амперной характеристики реактора от линейной должно быть не более 1%. Реактор РДМК-500/11 удовлетворяет этому условию лишь в диапазоне значений $3U_0$ до 56% $U_{нр}$ (табл. 9).

Очевидно, при проектировании реактора были заложены величины индукции, в два раза превосходящие требуемые для ДГР. То есть наблюдается значительное снижение массы активных материалов, таких как электротехническая сталь и обмоточный провод.

По этой же причине при металлических ОЗЗ реактор РДМК-500/11 становится источником высших гармонических составляющих в токе реактора I_p (рис. 10). На осциллограмме действующее значение $3U_0 = 110$ В и равно номинальному напряжению реактора.

Рис. 8 •

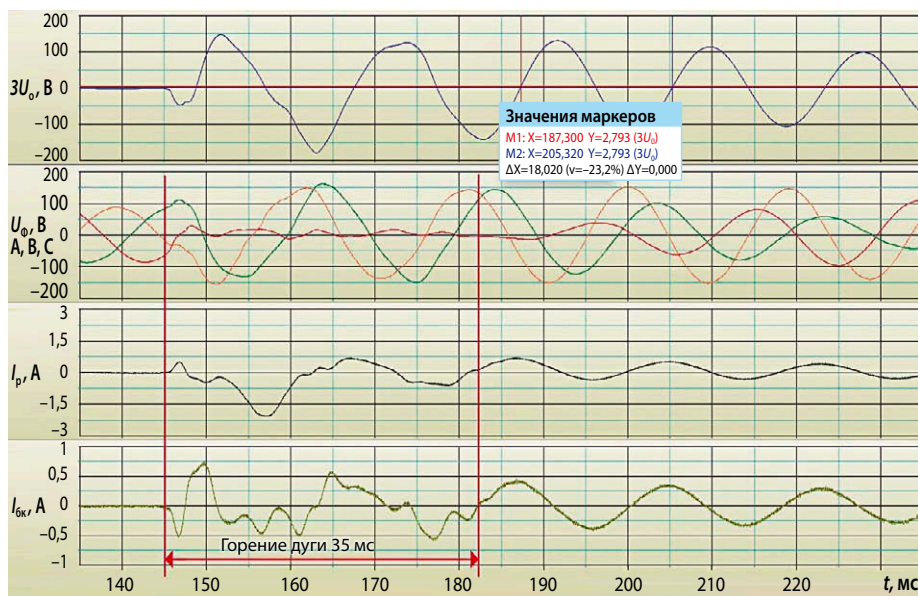


Рис. 9 •

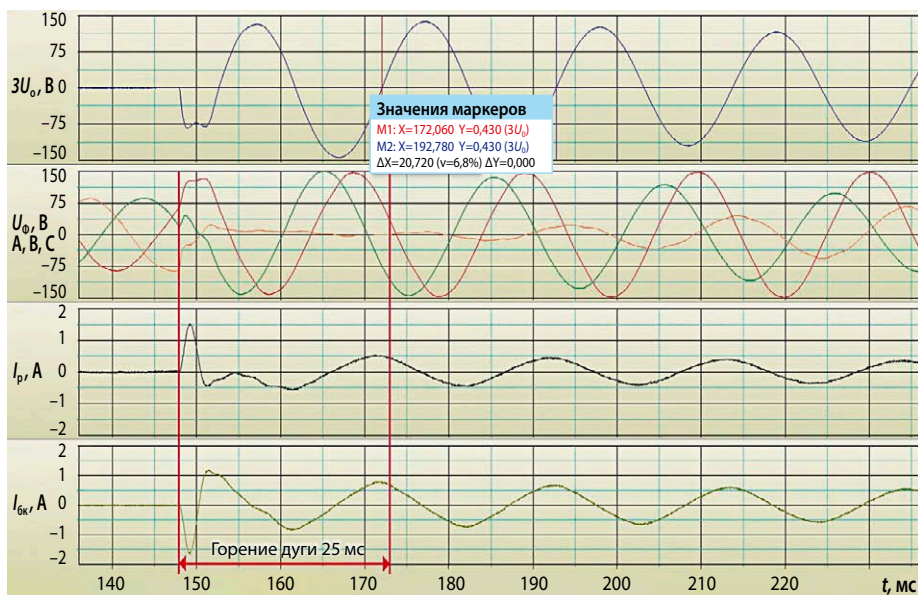
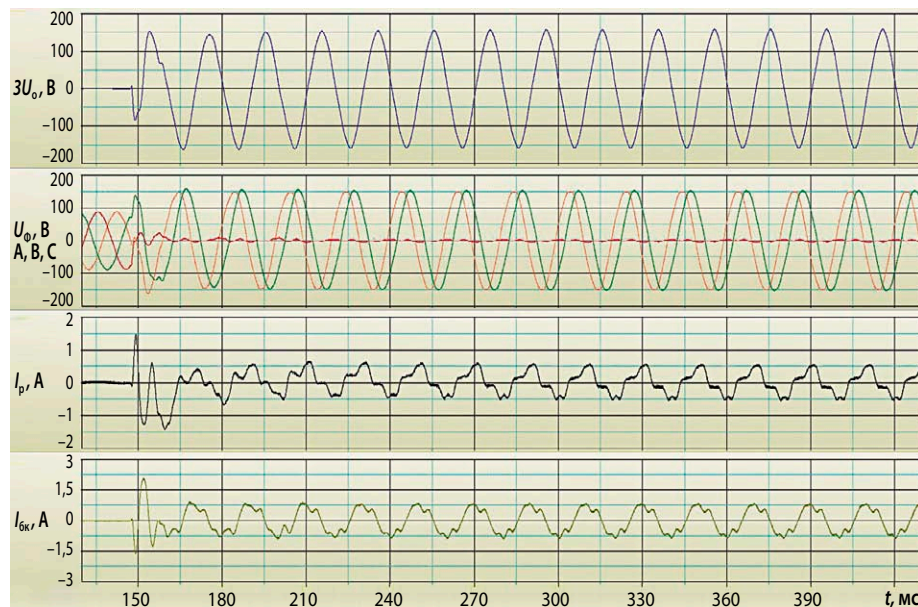


Рис. 10 •



Событие 21.01.2017, 11:15:31.

«Клевов» фазы С.

Расстройка компенсации -23,2%
(перекомпенсация). I_p – ток реактора,
 $I_{бк}$ – ток батареи конденсаторов

Событие 15.03.2017, 15:30:19.

«Клевов» фазы А.

Расстройка компенсации +6,8%
(недокомпенсация). I_p – ток реактора,
 $I_{бк}$ – ток батареи конденсаторов

Событие 30.01.2017, 01:01:58.

Металлическое ОЗЗ фазы С.

Действующее значение напряжения
 $3U_0 = 157/\sqrt{2} = 110$ В –
соответствует номинальному
напряжению РДМК-500/11.В токе реактора наблюдаются
высшие гармонические составляющие

► • **Таблица 8** Изменение величины расстройки компенсации в зависимости от напряжения на нейтрали сети

№ события	Наименование файла	Дата, время	Тип события	1-й период				5-й период				10-й период			
				Период, мс	Расстройка, %	$3U_0^*$, В	$3U_0$ в % от $U_{нр}^{**}$	Период, мс	Расстройка, %	$3U_0^*$, В	$3U_0$ в % от $U_{нр}^{**}$	Период, мс	Расстройка, %	$3U_0^*$, В	$3U_0$ в % от $U_{нр}^{**}$
1	170121_111531	21.01.17 11:15	«Клевов» фазы С	18,02	-23,2	89,1	81	18,26	-20	52	47,3	18,28	-19,4	27,2	24,7
2	170315_153019	15.03.17 15:30	«Клевов» фазы А	20,72	+6,8	95	86,4	21,3	+11,8	68,1	61,9	21,48	+13,3	47	42,7

* Действующее значение напряжения $3U_0$, измеренное на вторичной обмотке – разомкнутом треугольнике трансформатора напряжения 2 СШ 10 кВ.

** Процент от номинального напряжения реактора – $11/\sqrt{3}$ кВ.

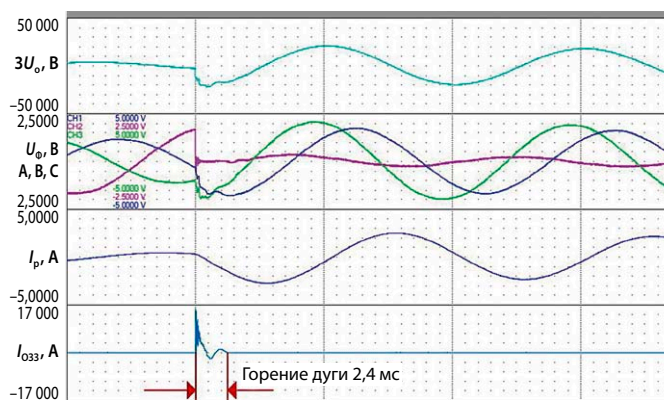
• **Таблица 9** Изменение величины расстройки компенсации в зависимости от напряжения на нейтрали сети 10 кВ 2 СШ ПС «Никифоровская» по осциллограмме 29200111.brs от 02.08.15 в 14:40:03 регистратора автоматики

№ периода, Т	Время периода, мс	Расстройка, %	$3U_0$ действующее значение, В	$3U_0$ в % от $U_{нр}^{**}$
1	18,37	-18,53	124	113
2	18,99	-10,92	111	101
3	19,28	-7,61	100	91
4	19,44	-5,84	92	84
5	19,58	-4,34	85	77
6	19,62	-3,91	78	71
7	19,72	-2,86	72	65
8	19,73	-2,76	67	61
9	19,81	-1,93	62	56
10	19,81	-1,93	58	53
11	19,85	-1,52	53	48
12	19,87	-1,31	50	45
...				
32	19,87	-1,31	12	11

• **Рис. 11** Событие 30.01.2017 в 01:01:58
Металлическое замыкание фазы С.
Спектрограмма гармонических составляющих тока реактора I_p



• **Рис. 12** Событие 02.11.2016 г.
Дуговое перемежающееся ОЗЗ на 2 СШ 10 кВ ПС «Казарово». Плунжерный дугогасящий реактор РДМР-485/10 с автоматикой УАРК-105. Емкостный ток сети 71 А. Степень расстройки компенсации < 1%



Спектрограмма гармонических составляющих тока реактора I_p представлена на рис. 11. Видно, что величина 3-й гармоники тока составила 31,7% относительно 1-й гармоники (50 Гц), 5-й и 7-й гармоник соответственно 9,6 и 9,4%, где величина действующего значения тока 1-й гармоники $I_p = 34$ А.

Следовательно, в месте повреждения дополнительно, помимо нескомпенсированного тока, вызванного расстройкой компенсации, будут протекать высокочастотные (ВЧ) токи 3-й, 5-й и 7-й гармоник, что не только оказывает термическое воздействие на место повреждения, но и угрожает безопасности людей при растекании токов в земле, поскольку их величина может значительно превысить предельные токи, указанные в ПТЭ, при которых требуется установка систем компенсации емкостных токов (для сетей 10 кВ это > 20 А). Эти требования ПТЭ определялись безопасными значениями шагового напряжения и напряжения прикосновения, которые могут появиться при протекании ВЧ-токов гармоник в контурах заземлений.

Кроме того, при анализе осциллограмм зафиксирован бросок тока реактора I_p в момент начала ОЗЗ (рис. 8, 9), связанный с током заряда блока конденсаторов $I_{бк}$. Этот бросок тока I_p добавляется к току в месте ОЗЗ и приводит к затягиванию горения дуги (в наших случаях до 35 и 25 мс). При дуговом перемежающемся ОЗЗ эти повторяющиеся броски тока приведут к дополнительному термическому воздействию в месте повреждения кабеля, существенно снижая эффективность дугогашения реактора.

Для сравнения на рис. 12 приведена осциллограмма дугового перемежающегося ОЗЗ на 2 СШ 10 кВ ПС «Казарово» (емкостный ток сети 71 А) при работе плунжерного ДГР РДМР-485/10, настроенного автоматикой УАРК-105 со степенью расстройки компенсации около 1%. Дуга погасла через 2,4 мс после протекания ВЧ-тока ОЗЗ. В токе реактора и токе в месте замыкания высшие гармонические составляющие не наблюдаются.

ВЫВОДЫ

1. Сетевые испытания системы компенсации на базе ДГР серии РДМК-500/11 показали:
 - Система в составе ДГР серии РДМК-500/11, нейтралеобразующего трансформатора ТМГН-500/11 и шкафа управления ДГР не удовлетворяет требованиям п. 5.11.10 ПТЭ (степень расстройки должна быть не более 5%) и СТО 34.01-3.2-008-2017 как в части защиты оборудования сети во время ОЗЗ, так и в части обеспечения безопасности людей при растекании токов ОЗЗ в земле.
 - Конструкция ДГР нового типа с конденсаторным регулированием требует существенной доработки, а процессы, происходящие во время ОЗЗ при работе системы компенсации на базе этих реакторов, нуждаются в тщательном исследовании в составе действующих электроустановок. Только после этого можно будет сделать выводы о возможности их широкого применения.
2. Результаты испытаний вынуждают повторить выводы, сделанные в первой части статьи (№ 3(111) 2018, с. 42–47):
 - Необходимо исключить возможность поставки в адрес ДЗО ПАО «Россети» некачественного оборудования. Для этого следует обязать всех производителей ДГР и систем управления для ДГР выполнять требования как общероссийских стандартов, касающихся любой продукции производственно-технического назначения (ГОСТ 15.309-98, ГОСТ Р 15.301-2016), так и стандарта ПАО «Россети» СТО 34.01-3.2-008-2017, касающегося непосредственно ДГР. Производители должны подтверждать заявленные характеристики оборудования квалификационными испытаниями.
 - Следует срочно организовать мониторинг работы ДГР, введенных в эксплуатацию на объектах ПАО «Россети», если данное оборудование изготовлено предприятиями, недавно работающими в этом сегменте электротехнического рынка и не практикующими проведение необходимых квалификационных испытаний. Для этого при необходимости следует установить высокочастотные аварийные регистраторы, фиксирующие переходные сигналы токов и напряжения во время ОЗЗ.

ЛИТЕРАТУРА

12. Технический отчет по работе системы компенсации емкостных токов 2-й секции шин 10 кВ ПС 110/35/10 кВ «Никифоровская» (филиал ПАО «МРСК Центра» – «Тамбовэнерго») // ООО ВП «НТБЭ». 2017. 12 с. ■