

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ РЕЗИСТОРОВ НА ПОДСТАНЦИЯХ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

*Кузьмин М.В., Чиндяскин В.И. (филиал ОАО «МРСК Волги»- Оренбургэнерго), ФГОУ ВПО Оренбургский ГАУ)*

В современном промышленном мире любое отключение электроэнергии приводит к самым печальным и непредсказуемым последствиям. В августе и сентябре 2003 года, аварии в электросетях потрясли почти все промышленные страны. В подавляющем большинстве подобных случаев причинами аварии являются перенапряжения в том числе, возникающие в случае однофазных замыканий на землю. Как правило, экономический ущерб от подобного рода ситуаций может достигать десятки и сотни тысяч рублей.

Следует отметить, что способ заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ является достаточно важной характеристикой и определяет:

- ток в месте повреждения и перенапряжения на неповрежденных фазах при однофазном замыкании;
- схему построения релейной защиты от замыканий на землю;
- уровень изоляции электрооборудования;
- выбор аппаратов для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений (ограничителей перенапряжений);
- бесперебойность электроснабжения;
- допустимое сопротивление контура заземления подстанции;
- безопасность персонала и электрооборудования при однофазных замыканиях.

В настоящее время в мировой практике используются следующие способы заземления нейтрали сетей среднего напряжения [1] (термин «среднее напряжение» используется в зарубежных странах для сетей с диапазоном рабочих напряжений 1-69 кВ):

- изолированная (незаземленная);
- глухозаземленная (непосредственно присоединенная к заземляющему контуру);
- заземленная через дугогасящий реактор;
- заземленная через резистор (низкоомный или высокоомный).

В России., согласно п. 1.2.16 последней редакции ПУЭ [2], введенных в действие с 1 января 2003 г., «...работа электрических сетей напряжением 3-35 кВ может предусматриваться как с изолированной нейтралью, так и с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор». Таким образом, сейчас в сетях 6-35 кВ в России разрешены к применению все принятые в мировой практике способы заземления нейтрали.

В сетях 6-35 кВ, работающих в режиме изолированной или резонанснозаземленной нейтрали, внутренние перенапряжения [3] являются причиной значительного числа аварий. Наиболее частым видом опасных перенапряжений являются перенапряжения при дуговых замыканиях (ОДЗ), возникающие в случае однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). Их доля среди всех видов аварий значительна (до 80%). Такие перенапряжения часто существуют в виде переходных процессов при перемежающейся дуге и опасны для электроустановок высокими кратностями перенапряжений  $U_{пер}=(3,0-3,5)U_{ф}$ , своей продолжительностью и шириной охвата сети, электрически связанной с местом повреждения.

Заземление нейтрали через дугогасящие реакторы компенсирует емкостные токи в месте замыкания и снижает в ряде случаев величины перенапряжений. Однако остается опасность возникновения больших кратностей перенапряжений при сочетании ОДЗ и неполнофазных режимов, возникающих при замедленной работе или отказе фаз

выключателя и неточной настройке дугогасящего реактора. Используемая автоматическая настройка реактора в силу инерционности и имеющегося допуска в настройке не позволяет полностью устранить максимальные кратности возникающих перенапряжений.

Значительную долю нарушений составляют повреждения вследствие феррорезонансных перенапряжений. Наиболее часто отмечаются выходы из строя измерительных трансформаторов напряжения при длительных перемежающихся дуговых замыканиях на землю. Вызывая относительно невысокие перенапряжения, они сопровождаются повышенными токами в обмотках, что приводит к термической неустойчивости и перегоранию обмоток.

Все применяемые способы ограничения перенапряжений основаны на использовании методов и средств, способствующих стеканию зарядов на землю, появляющихся в трехфазной сети, например, при дуговых замыканиях на землю и приводящих к появлению напряжения смещения нейтрали.

В настоящее время распределительные сети 3-35 кВ, особенно городские, достаточно резервированы и подготовлены как к более полной автоматизации, так и к переходу к работе с резистивно-заземленными нейтралью.

В этом случае снижение дуговых перенапряжений достигается заземлением нейтрали сети через активное сопротивление. Исключается и повреждение трансформаторов напряжения. В зависимости от конструктивного исполнения и величины сопротивления возможно ограниченное и постоянное подключение резистора в режиме ОЗЗ.

При ОЗЗ в сетях с заземленной через резистор нейтралью во всех присоединениях протекают собственные емкостные токи, а в поврежденном присоединении, кроме того, протекает активный ток, создаваемый резистором [4]. Это принципиальное отличие позволяет решить две важные задачи:

- селективно определить поврежденное присоединение (за счет применения простых релейных защит, действующих на отключение или сигнал) и незамедлительно принять меры по устранению повреждения;

- существенно ограничить уровень дуговых перенапряжений при ОЗЗ и исключить феррорезонансные процессы (при этом появляется возможность защиты оборудования ПС с помощью ОПН с более низким остающимся напряжением при коммутационном импульсе).

Применяются три варианта заземления нейтрали сетей 6-35 кВ [5] через резистор: низкоомное, высокоомное и комбинированное.

Низкоомное резистивное заземление нейтрали применяется в случаях, когда ОЗЗ должно быть селективно отключено в течение минимально возможного времени. При этом ток в нейтрали должен быть достаточным для работы релейной защиты на отключение.

Высокоомное резистивное заземление нейтрали целесообразно применять в случаях, когда сеть должна иметь возможность длительной работы в режиме ОЗЗ до обнаружения места ОЗЗ. При этом ток в нейтрали должен быть такой величины, чтобы исключить появление опасных дуговых перенапряжений и снижение электробезопасности, но и быть достаточным для определения поврежденного присоединения, и работы релейной защиты на сигнал. Комбинированное заземление нейтрали осуществляется путем присоединения высокоомного резистора параллельно ДГР и позволяет снижать уровень перенапряжений при неточной настройке ДГР, а также способствует работе релейных защит.

Выбор типа резистора для заземления нейтрали производится по трем основным критериям:

1. Резистор должен обеспечивать снижение уровня дуговых перенапряжений;
2. Сопротивление резистора в нейтрали должно гарантировать протекание активного тока в поврежденном присоединении, достаточного для действия релейных защит на сигнал или на отключение поврежденного присоединения;

3. При заземлении нейтрали через резистор должны соблюдаться условия электробезопасности для людей при ОЗЗ на ПС и РП с учетом существующего нормирования величины допустимого напряжения прикосновения.

Основной параметр резистора - его активное сопротивление  $R$ , величина которого выбирается по критерию снижения уровня перенапряжений и затем может корректироваться по условиям работы релейной защиты и условию электробезопасности.

На ПС, питающих преимущественно воздушную сеть и не имеющих высокой степени резервирования, необходимо устанавливать высокоомные резисторы, уменьшающие уровни перенапряжений и время их воздействия. Резисторы можно устанавливать параллельно ДГР. Особо благоприятна установка высокоомного резистора при высоком уровне напряжения смещения нейтрали, когда оно выше допустимого значения  $15\% U_{\phi}$ .

При технико-экономическом обосновании целесообразности резистивного заземления нейтрали сетей 6-35 кВ необходимо оценить четыре основных фактора:

- изменение параметров однофазного замыкания;
- повышение срока службы изоляции;
- дополнительные затраты на заземление нейтрали сетей 6-35 кВ через резистор;
- электробезопасность.

Быстрое отключение линий при однофазных замыканиях на землю снижает степень опасности поражения электрическим током людей и животных, оказавшихся вблизи места ОЗЗ.

Вариант подключения резистора величиной несколько кОм (1-3 кОм) предполагает постоянное присоединение резистора к нейтрали, что исключает вышеуказанные недостатки. Параметры резистора рассчитываются по условию ограничения перенапряжений до заданной величины (обычно до уровня испытательного для вращающихся машин), ток замыкания на землю при этом практически не меняется. Резистор изготавливается на базе композиционного материала и рассчитан на время воздействия наибольшего фазного напряжения не менее 6 часов, что позволяет обходиться без устройств автоматики и защиты для его отключения.

В сетях 6-35 кВ распределительных подстанций часто отсутствует явно выведенная нейтраль. В этом случае возможны варианты подключения резисторов к нейтралю специальных трансформаторов малой мощности со схемой соединения обмоток  $Y/\Delta$  или фильтров нулевой последовательности ФМЗО.

Совместно с ООО «ПНП Бolid» были рассчитаны, изготовлены и установлены на 1-й и 2-й секциях шин 10 кВ подстанции «Россия» филиала ОАО «МРСК Волги»-«Оренбургэнерго» резисторы типа РЗ-2000-17-10 (рис. 2). Следует отметить, что конструктивно резистор состоит из отдельных элементов, каждый из которых представляет собой резистивную пластину или несколько пластин, помещенных в кожух с электрической теплопроводной прокладкой между кожухом и пластиной. Элементы соединяют последовательно, ориентируют вертикально и закрепляют на раме. Величина зазора определяется уровнем допустимого пробивного напряжения и теплоотводом.



*Рис.2 Общий вид установленного резистора*

Полученные в результате эксплуатации резисторов результаты на подстанции «Россия» филиала ОАО «МРСК Волги»-«Оренбургэнерго» показывают снижение повреждаемости электрооборудования на присоединениях секций шин с установленными резисторами, что подтверждает реальное ограничение кратности дуговых перенапряжений при подключении резистора. Ограничение кратности дуговых перенапряжений приводит к уменьшению числа перекрытий изоляции и снижению общего числа ОЗЗ, и, кроме того, снижение кратностей коммутационных перенапряжений на "здоровых" фазах в режиме ОЗЗ приводит также к уменьшению количества переходов ОЗЗ в двойные замыкания. Также в результате эксплуатации было выявлено, что введение высокоомного резистора в нейтраль повышает селективность определения аварийного фидера существующими вариантами защит. Это объясняется тем, что протекание даже незначительного активного тока в аварийном присоединении позволяет демпфировать высокочастотные переходные процессы при однофазном замыкании, которые являются основной причиной неселективной работы существующих защит.

Для подтверждения вышеизложенного представлены данные из протокола №2 заседания инженерно – технического совета ОАО «Оренбургэнерго» от 29.02.08г. п.11.2 – «О проведении анализа работы высокоомных резисторов на ПС «Россия».

На ПС «Россия 110/10 кВ» было смонтировано два защитных резистора (далее РЗ):

- На 1 с.ш.10 кВ в июне 2006 установлен РЗ-2000-17-10 № 278
- На 2 с.ш. 10 кВ в мае 2007 установлен РЗ-2000-17-10 № 386

За период с 01.01.05 по 31.12.05 на ПС «Россия» зафиксировано 20 отключений линий 10кВ. **Повреждены 3 кабельных линий Р-6, 19, 17** (согласно данным зарегистрированных в «Журнале регистрации аварийных отключений на подстанциях ЦПО по г. Оренбургу»).

За период с 01.01.06 по 31.12.06 на ПС «Россия» зафиксировано 14 отключений линий 10кВ. **Кабельные линии не повреждались** (согласно данным зарегистрированных в «Журнале регистрации аварийных отключений на подстанциях ЦПО по г. Оренбургу»).

За период с 01.01.07 по 31.12.07 на ПС «Россия» зафиксировано 11 случаев длительного замыкания на «землю» (по записям в оперативном журнале).

Количество отключений линий 10кВ - 12. **Была повреждена одна кабельная линия Р-6** (согласно данным зарегистрированных в «Журнале регистрации аварийных отключений на подстанциях ЦПО по г. Оренбургу»).

За период с 01.01.08 г. по 21.05.08 г. на ПС «Россия» зафиксировано 150 случаев замыканий на «землю» (кратковременных - от 2 сек. (бленкера не выпадали) и продолжительных - до 40мин.), произошло 10 отключений линий действием РЗА (Данные взяты с программы ОИК «Диспетчер», распечатка прилагается).

Отключались 2 кабельные линия Р-1 (27.02.08г 20:03) в связи с повреждением на ТП 1Р и кабельная линия Р-18 (24.04.08г. 10:59) в связи с повреждением на ТП 10Р. **Кабельные линии не повреждались.**

Остальные линии - воздушные, отключались с успешным АПВ (Р12, Р16, Р21, Р22).

В связи с имевшими место замыканиями на «землю» в период после установки РЗ, повреждения оборудования на ПС «Россия» не происходило. Отсутствуют случаи перекрытия изоляции в РУ-10 кВ (что ранее случалось) и не зафиксированы случаи переходов ОЗЗ в двойные замыкания, что подтверждается программой ОИК «Диспетчер», распечатка прилагается. Значительно снизилось количество повреждений кабельных линий (ЗКЛ в 2005г. против 1КЛ за 2006-2008г.).

Опыт эксплуатации РЗ на ПС «Россия» можно считать положительным.

В настоящее время произведена установка резистора типа РЗ-500-67-10 в 1-ю секцию шин подстанции «Шелковая» Центрального производственного отделения и аналогичного резистора во 2-ю секцию шин подстанции «Елшанская» Восточного производственного отделения филиала ОАО «МРСК Волги» - «Оренбургэнерго».

### **Выводы**

1. Полученные в результате эксплуатации резисторов результаты на подстанции «Россия» филиала ОАО «МРСК Волги»-«Оренбургэнерго» показывают снижение повреждаемости электрооборудования на присоединениях секций шин с установленными резисторами.
2. В связи с имевшими место замыканиями на «землю» в период после установки РЗ, повреждения оборудования на ПС «Россия» не происходило. Отсутствуют случаи перекрытия изоляции в РУ-10 кВ (что ранее случалось) и не зафиксированы случаи переходов ОЗЗ в двойные замыкания.

### **Литература**

1. Двадцать пять лет изучения энергосистем Франции / Обзор работ национального энергетического управления. - Л.: Энергия, 1997.
2. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд., перераб. и доп. - 2003.
3. ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений и токов.
4. Шабад М. А. Обзор режимов заземления нейтрали и защиты от замыканий на землю в сетях 6-35 кВ России // Энергетик. -1999. - № 3.
5. Евдокунин Г. А., Титенков С. С. Анализ внутренних перенапряжений в сетях 6-10 кВ и обоснование необходимости перевода сетей в режим с резистивным заземлением нейтрали / Режимы заземления нейтралей сетей 6-10 кВ. Доклады научно-технической конференции. - Новосибирск, 2000.