

Организация релейной защиты при переводе городских сетей 6 – 10 кВ с компенсацией ёмкостного тока на низкоомное резистивное заземление нейтрали

ВАЛОВ В. Н., ШИРКОВЕЦ А. И., канд. техн. наук, ООО «Болид»
630015, г. Новосибирск, Электrozаводская ул., д. 2, корп. 6
netlander2007@mail.ru

КУДРЯШОВ Д. С., канд. техн. наук, Кузбасский ГТУ им. Т. Ф. Горбачёва
650000, г. Кемерово, Весенняя ул., д. 28; kudryashov-DS@ako.ru



В. Н. Валов



А. И. Ширковец



Д. С. Кудряшов

Предложена концепция перевода распределительных сетей на режим 100 % отключения замыканий на землю, предусматривающая решение ряда технических и организационных вопросов. Выполнен анализ нормативной базы, особенностей и примеров реализации низкоомного резистивного заземления нейтрали в городских кабельных сетях. Проработаны варианты организации релейной защиты от замыканий на землю в зависимости от схемы электроснабжения потребителей прилегающей сети 6 – 10 кВ и режима нейтрали центров питания 110 – 220 кВ.

Ключевые слова: режим заземления нейтрали, компенсация ёмкостного тока, низкоомный резистор, городская кабельная сеть, релейная защита.

Эффективный способ управления надёжностью и безопасностью распределительных городских сетей в режимах однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) — корректный выбор способа заземления нейтрали, оказывающего существенное влияние на значение тока замыкания на землю и размеры повреждения, фазные напряжения относительно земли и связанные с ними условия работы изоляции, а также на надёжную работу устройств релейной защиты (РЗ) в части определения повреждённого присоединения.

В электрической сети с длительным удержанием ОЗЗ [1, 2], особенно с компенсацией ёмкостного тока, одна из наиболее актуальных задач — локализация ОЗЗ. Для этого, как правило, требуются специальные РЗ, призванные обеспечить селективность выявления отходящего фидера 6 – 10 кВ от шин центра питания (ЦП) с высшим напряжением 110 – 220 кВ. Однако даже при использовании таких защит следует учитывать сложность обеспечения их правильной работы, поскольку остаточный ток замыкания на землю зависит от текущего режима (конфигурации) сети, степени расстройки компенсации, характера и вида нагрузки и пр.

С другой стороны, сам принцип удержания замыкания на землю в сети 6 – 10 кВ представляет серьёзную опасность с позиций перехода в короткое замыкания (КЗ) с аварийным отключением. Вероятность этого повышается при неудовлетворительной (сверхнормативной)

расстройке дугогасящих реакторов (ДГР). Между тем хорошо известно, что настройку реакторов сложно отследить и поддерживать в эксплуатации, особенно в городской сети, схема которой может многократно изменяться даже в течение суток.

Ситуация осложняется тем, что в эксплуатации сохраняется большое число ступенчатых ДГР. Помимо этого, в одной и той же сети могут эксплуатироваться ДГР с разными принципами регулирования тока компенсации. В ряде случаев мощности существующих ДГР становится недостаточно из-за непрогнозируемого развития сети потребителей. Кроме того, ДГР не компенсирует высшие гармоники тока однофазного замыкания, которые могут составлять значительную долю относительно промышленной составляющей этого тока [3].

Указанные негативные факторы, определяющие высокий уровень повреждения электрооборудования, можно устранить посредством перевода сетей 6 – 10 кВ на режим отключения ОЗЗ с выводом из схемы заземления нейтрали устройств компенсации ёмкостного тока в пользу низкоомных резисторов [4]. Такое решение актуально и с позиции предупреждения междуфазных повреждений в кабельных сетях с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ), не обладающей свойством самовосстановления электрической прочности при однофазном пробое на землю. Селективное отключение ОЗЗ с минимальными выдержками времени также позво-

лит продлить срок службы изношенной бумажно-пропитанной изоляции силовых кабельных линий.

Для реализации всех преимуществ перевода сети на режим низкоомного заземления нейтрали требуется не только установка (замена) силового оборудования, но и автоматизация сети, предусматривающая настройку, модернизацию и дооснащение присоединений 6 – 10 кВ РЗ с функцией защит нулевой последовательности (НП), первичными датчиками тока НП, а также силовых секционных выключателей — устройствами автоматического ввода резерва (АВР).

Исходя из изложенного, определены задачи настоящего исследования: анализ нормативной базы и особенностей реализации низкоомного резистивного заземления нейтрали, проработка вариантов организации РЗ при переводе сети на такой режим в зависимости от схемы электроснабжения потребителей прилегающей сети 6 – 10 кВ.

Особенности эксплуатации сети с заземлением нейтрали через низкоомный резистор

В ПУЭ [1] разрешается применять заземление нейтрали сети через резистор. Использование последнего не переводит сеть в разряд сетей с эффективно заземлённой нейтралью, поскольку коэффициент замыкания на землю в сети с резистивно заземлённой нейтралью остаётся равным 1,73, как и для сетей с изолированной нейтралью. Расчёты показали, что эта ситуация справедлива даже для очень малых сопротивлений в нейтрали, сопоставимых с нормированным сопротивлением заземляющего устройства (ЗУ) 0,5 Ом [1].

Если переходить к низкоомному резистивному заземлению нейтрали, на ЦП класса 110 – 220 кВ не потребуются устанавливать или дооснащать схему ДГР на секциях шин, где формально требуется компенсация ёмкостного тока [2]. Включение резистора в нейтраль даёт возможность устранить практически все недостатки сети с изолированной нейтралью или компенсацией ёмкостного тока. Низкоомное заземление нейтрали через резистор в городских кабельных сетях — оптимальный вариант при условии резервирования потребителей [4], который предусмотрен во внутренних стандартах ПАО «МРСК Волги» (2009 г.), «МРСК Сибири» (2009, 2013 г.), «Ленэнерго» (2013 г.), «МРСК Центра» (2016 г.), АО «Объединённая энергетическая компания» (2014 г.).

Отключение ОЗЗ, реализуемое при переводе сети на режим заземления нейтрали через низкоомный резистор, регламентировано в нормативных документах по условию обеспечения электробезопасности [1]. Для поэтапного перехода от режима компенсации ёмкостного тока на низкоомное резистивное заземление нейтрали требуется решение не только технических, но и организационных вопросов по демонтажу, консервации или переносу на другие

подстанции не выработавших свой ресурс ДГР.

Режим низкоомного заземления нейтрали позволяет построить селективную РЗ от ОЗЗ на основе простых токовых реле с отключением только повреждённого участка сети и действием АВР на стороне 6 – 10 кВ или 0,4 кВ и ограничить перенапряжения при дуговых замыканиях на землю до значений, которые не превышают амплитуду фазного напряжения сети более чем в 2,5 раза. За счёт этого существенно снижаются объём повреждений, сроки и стоимость восстановительных ремонтов электрооборудования [5].

Исходя из схемы построения и конструкции сети, требований по настройке РЗ в расчётных режимах, наличия первичных датчиков тока НП и условий электробезопасности, выбирается номинальное сопротивление резистора, как правило, обеспечивающее активный ток 50 – 200 А в каждой части сети. В этом случае ограничение перенапряжений при дуговых ОЗЗ достигает 30 % по сравнению с режимом изолированной нейтрали сети или сетью со сверхнормативной расстройкой ДГР.

Важное преимущество режима низкоомного заземления нейтрали с отключением ОЗЗ — существенное снижение опасности поражения электрическим током людей и животных, что актуально как для городских, так и сельских распределительных сетей. Электробезопасность в кабельной сети с низкоомным резистором обеспечивается минимизацией времени существования режима ОЗЗ и растеканием 80 – 90 % тока замыкания по свинцовым, алюминиевым и медным оболочкам силовых кабелей 6 – 10 кВ. Оболочки заземлены, как правило, с двух сторон и связаны с главными контурами заземления на питающих подстанциях класса 110 – 220 кВ, где сопротивление ЗУ не превышает 0,5 Ом [1].

Согласно зарубежным исследованиям систем электрического заземления в городских условиях [6] при использовании в кабельной сети низкоомного резистора с током 200 А ожидаемые значения напряжения прикосновения и шага с вероятностью 0,95 не превысят 50 В, что при отключении однофазных повреждений за время до 1 с не представляет опасности согласно ГОСТ 12.1.038–82 [7].

В анализе условий электробезопасности справедливой представляется аналогия сети, где происходит отключение ОЗЗ, с сетью, имеющей эффективное заземление нейтрали, а КЗ отключаются за время до 4 с. При этом допущении выдержку времени срабатывания РЗ от ОЗЗ можно увеличить свыше 1 с (но не более 5 с), поскольку допустимым напряжением прикосновения по ГОСТ в этом случае будет 65 В [7]. Для городских распределительных сетей характерное время срабатывания защит от ОЗЗ составляет 0,2 – 2,5 с, минимальные значения соответствуют срабатыванию выключателей присоединений на распределительном пункте (РП), макси-

мальные — на вводах 6 – 10 кВ питающей подстанции.

При расчётах допустимых напряжений следует иметь в виду возможность коррозионного разрушения участков свинцовых или алюминиевых оболочек силовых кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией, а также возникновения режимов одностороннего разземления медных экранов одножильных кабелей со СПЭ-изоляцией при их прокладке в плоскости. Это может привести к некоторому ограничению активного тока от резистора и снижению чувствительности РЗ.

Режим заземления нейтрали через низкоомный резистор в настоящее время находит активное применение в электрических сетях среднего напряжения в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Перми и других крупных городах. Кабельная сеть напряжением 20 кВ в Московской энергосистеме строится исключительно с указанным заземлением нейтрали в ЦП 110 – 220 кВ. В ПАО «Ленэнерго» такое заземление с применением резисторов РЗ-30-1222-10 реализовано в 2012 – 2013 гг. в городской кабельной сети 10 кВ на ПС № 75 «Лахта» и ПС № 155 «Пискаревская».

Всего на двух подстанциях было установлено 12 резисторов сопротивлением 30 Ом и номинальным током 200 А каждый. Подстанции имеют разветвлённую сеть общей протяжённостью более 220 км, ёмкостный ток — 50 ÷ 70 А на секцию. Присоединения питающихся от подстанций более 50 РП дооснащены кабельными трансформаторами тока НП (ТТНП) и токовыми реле. При возникновении ОЗЗ происходит отключение не магистрали от ЦП, а исключительно участка с повреждением на РП или трансформаторном пункте (ТП).

За полтора года эксплуатации резисторов во всей сети произошло 11 селективных отключений ОЗЗ. Это существенно меньше ранее отмечаемых показателей по повреждаемости в кабельной сети ПАО «Ленэнерго», где в среднем имело место 38 аварийных отключений в год главным образом из-за развития однофазных повреждений в междуфазные КЗ. Сокращение наблюдаемого числа замыканий на землю связано со стеканием избыточных объёмных зарядов, концентрирующихся на дефектах изоляции [8], через низкоомный резистор в нейтрали и со снижением за счёт этого скорости развития частичных разрядов в кабелях и арматуре.

К настоящему времени низкоомное резистивное заземление реализовано на пяти подстанциях ПАО «Ленэнерго» [кроме указанных ранее это ещё ПС № 218 «Лаврики» (2013 г.), ПС № 711 «Пушкин-Северная» (2014 г.), ПС 330 кВ «Ржевская» (2014 г.)], в ближайшей перспективе — ещё две подстанции. Следует отметить, что 18 декабря 2015 г. в ПАО «Ленэнерго» утверждена программа 2016 – 2032 гг. по переводу кабельной сети 6 – 10 кВ Санкт-Петербурга на низкоомное резистивное заземление нейтрали.

Организация РЗ в кабельной сети с низкоомным резистивным заземлением нейтрали

В целях перевода сети с компенсацией на низкоомное резистивное заземление нейтрали в части организации селективной защиты от ОЗЗ предполагается реализация ряда мероприятий. Для резервирования потребителей следует предусмотреть АВР в сети 6 – 10 кВ, что легко выполняется при типовых двухлучевых схемах питания и чётном числе секций на питающих подстанциях и РП. Затраты на реализацию низкоомного резистивного заземления нейтрали связаны не только с установкой первичного оборудования, но и с дооснащением датчиками тока НП и РЗ в следующем объёме (вариант использования индивидуальных защит):

- дополнительно установить при необходимости ТТНП в ячейки ЦП на всех отходящих присоединениях. Для действующей сети возможно использование разъёмных трансформаторов ТЗРЛ, монтируемых без пересоединения кабеля;

- установить цифровые терминалы с функцией защит от ОЗЗ в ячейках ЦП на всех отходящих присоединениях, подключить токовые входы $3I_0$ защит к ТТНП, ввести функцию ненаправленной (направленной) защиты от ОЗЗ в терминале и выставить уставки срабатывания;

- укомплектовать ячейки РП прилагающей сети 6 – 10 кВ ТТНП и цифровыми терминалами защит (где необходимо) или комплектами электромеханических реле, подключить токовый вход защит к ТТНП и выставить уставки срабатывания;

- для организации резервирования проверить наличие и работоспособность устройств АВР на секционных выключателях ЦП и РП, при необходимости следует их дооснастить и настроить.

Отметим несколько важных факторов. Во-первых, в городских кабельно-воздушных сетях большой протяжённости со сложной конфигурацией не всегда удаётся обеспечить селективную работу ненаправленной токовой защиты НП. Так как в аварийных режимах возможно кратное увеличение суммарной длины и соответственно ёмкостного тока присоединения, при внешних ОЗЗ токовая ненаправленная защита НП будет неселективно отключать это присоединение. Снижение ёмкостного тока присоединения при внешних ОЗЗ не повлияет на селективность защиты.

Предусмотреть в городской сети всё многообразие аварийных режимов, приводящих к изменению ёмкостных токов присоединений, весьма затруднительно. С учётом непрогнозируемого изменения схемы сети 6 – 10 кВ даже в течение одних суток возникают проблемы обеспечения чувствительности ненаправленных токовых защит при большом многообразии эксплуатационных режимов, а также необходимость их частой перенастройки. Поэтому в общем случае рассматривается возможность применения направленных защит, а также цен-

трализованных ненаправленных защит по принципу относительного измерения — сопоставления уровней тока НП во всех присоединениях секции в момент срабатывания пускового органа.

Во-вторых, применение электромеханических реле не соответствует современным требованиям. Формально их использование запрещено Положением о технической политике ПАО «Российские сети». Однако, например, в технической политике ПАО «Энергетические системы Востока» запрета на электромеханические реле, превосходящие по надёжности любые цифровые терминалы, нет.

Учитывая низкую стоимость простейшего комплекта электромеханических реле для реализации защиты от ОЗЗ (реле тока, времени, указательное, их комбинация), применение таких комплектов может оказаться оправданным на тех объектах сети 6 – 10 кВ, где реконструкция и замена ячеек в ближайшей перспективе не планируется — в первую очередь это старые РП городских сетей.

В-третьих, оснащение защитами от ОЗЗ и датчиками тока НП ячеек с силовыми выключателями на ЦП и РП 6 – 10 кВ городской сети позволяет оперативно локализовать и отключить участок сети с однофазным повреждением, однако при выполнении определённого условия. Необходимо обеспечить работоспособность РЗ при совместной работе секций тех РП, которые нормально запитаны от ЦП с разными режимами работы нейтрали (компенсация ёмкостного тока и резистивное заземление с отключением ОЗЗ), но могут быть объединены в ремонтных, аварийных режимах или при оперативных переключениях потребителей в прилегающей сети. Поскольку схема сети 6 – 10 кВ должна оставаться радиальной, объединить можно лишь секции одного и того же РП с отключением ввода на одной из них. Следовательно, только одна из секций конкретного РП (или нескольких РП) переходит в этом случае в состав сети с нестандартным для неё режимом заземления нейтрали. Далее схемы такого режима рассмотрены подробнее.

1. Нормальный радиальный режим работы с питанием всех секций РП 6 – 10 кВ от разных секций одного и того же ЦП 110 – 220 кВ (рис. 1).

Особенностей в организации защиты от замыканий на землю нет, так как при отключении ввода на любую секцию РП и включении межсекционного выключателя режим заземления нейтрали сети остаётся прежним — низкоомный резистивный. Токовая ненаправленная защита НП действует на отключение на всех присоединениях 6 – 10 кВ.

2. Нормальный радиальный режим работы с питанием разных секций РП 6 – 10 кВ от разных ЦП 110 – 220 кВ при разных режимах нейтрали (низкоомный резистор и ДГР) (рис. 2).

В случае объединения сетей 6 – 10 кВ с разными режимами работы нейтрали РП переходит в режим экс-

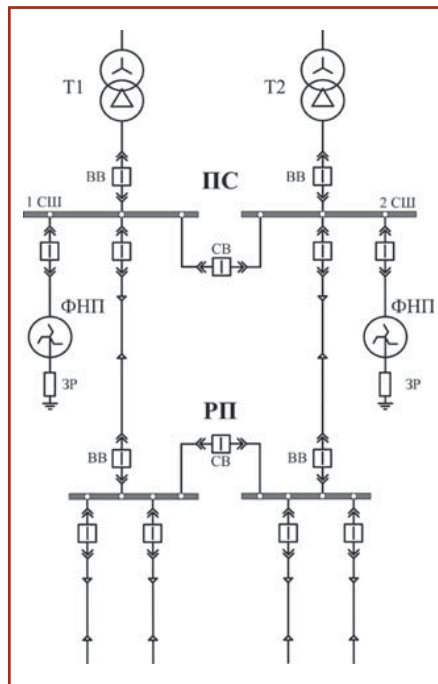


Рис. 1. Схема питания секций РП от одной подстанции с резистивным заземлением нейтрали:

Т1, Т2 — питающие силовые трансформаторы подстанции с высшим напряжением 110 – 220 кВ; СШ — секция шин; ВВ — вводный выключатель; СВ — секционный выключатель; ФНП — фильтр нулевой последовательности (нейтралеобразующий трансформатор без вторичной обмотки); ЗР — защитный резистор (низкоомный)

плуатации сети с низкоомным резистором в нейтрали.

В городской кабельной сети этот вариант возможен при потере питания одной из секций РП со стороны ПС с ДГР в нейтрали: срабатывает АВР с включением межсекционного выключателя на РП. Вся прилегающая к этому РП сеть переходит

в режим эксплуатации с заземлением нейтрали через низкоомный резистор. В течение всего времени существования такого режима в ячейках 6 – 10 кВ конкретного РП работает уже не штатная защита (предположительно на сигнал), а резервная — на отключение. В такой ситуации сеть, переведённая в режим резистивного заземления нейтрали, должна иметь блок выбора защиты, переключающий на работу с резервной защитой.

При объединении сетей 6 – 10 кВ с разными режимами заземления нейтрали РП переходит в режим эксплуатации сети с ДГР в нейтрали.

В городской кабельной сети этот вариант возможен при потере питания одной из секций РП со стороны ПС с резистивным заземлением: срабатывает АВР с включением межсекционного выключателя на РП. Вся прилегающая к этому РП сеть переходит в режим эксплуатации с заземлением нейтрали через ДГР. В течение времени существования такого режима в ячейках 6 – 10 кВ конкретного РП работает уже не штатная защита на отключение, а резервная.

При питании секций РП от двух разных ПС с различными режимами заземления нейтрали в случае аварийного режима (отключения одного питающего ввода, включения СВ) одна секция РП переходит в режим работы с другим заземлением нейтрали. Защиты от ОЗЗ присоединений этой секции оказываются неработоспособными. В этом случае на время ликвидации аварии может допускаться работа сети с неотключённым ОЗЗ и поиск присоединения силами оперативных бригад либо организация отключения ОЗЗ комплектом резервных защит, работающих на ином принципе.

Следовательно, для организации селективной защиты от ОЗЗ необходимо предусмотреть два разных комплекта

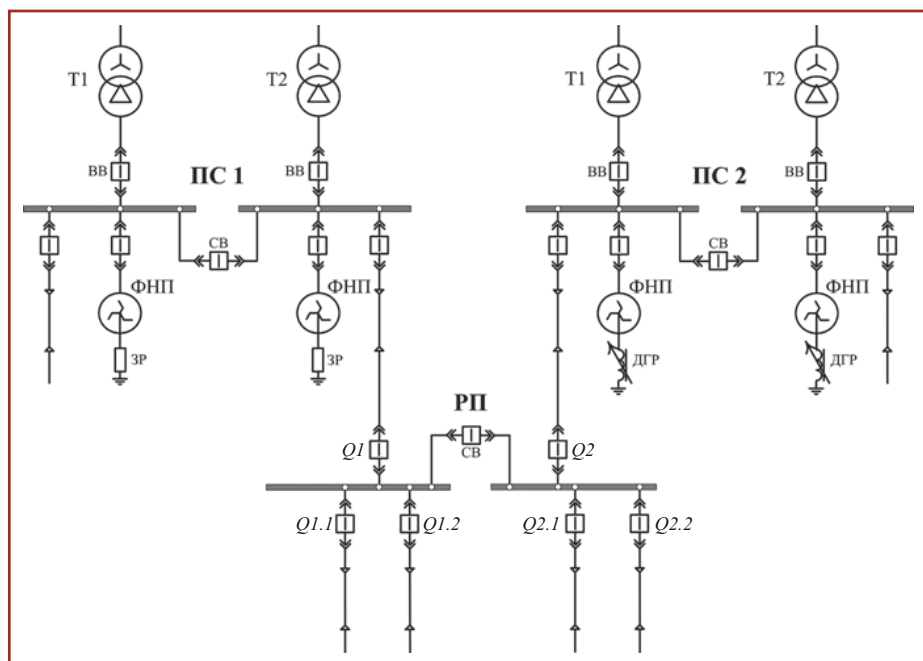


Рис. 2. Схема питания секций РП от подстанций с разным способом заземления нейтрали

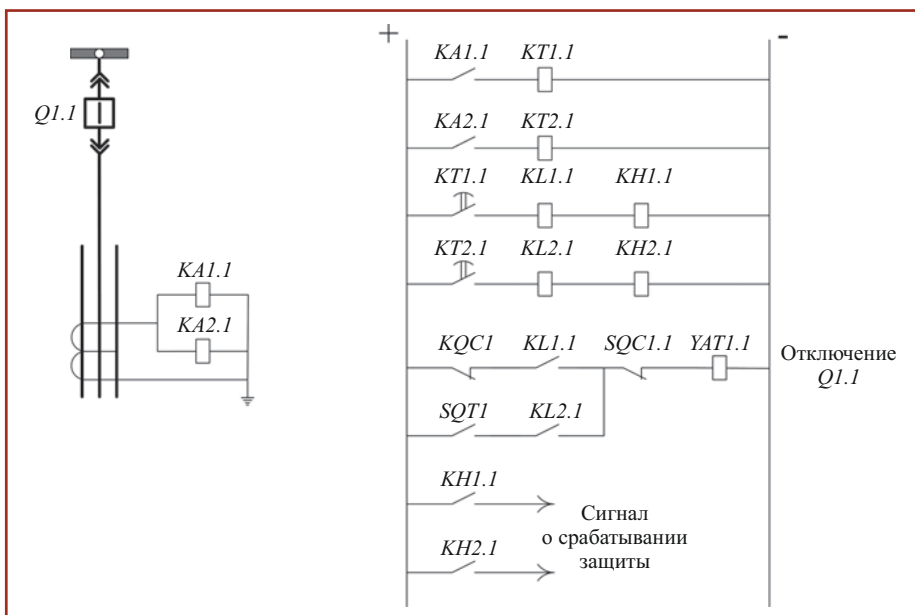


Рис. 3. Принципиальная схема логической части защиты от ОЗЗ:

KT — реле времени; KL — промежуточное реле; KH — указательное реле; KQC, KQT — реле фиксации положения выключателя «включено» и «отключено» соответственно; YAT — электромагнит отключения

(типа) защит, переключение между которыми организуется следующим образом. В нормальном режиме токовые цепи обеих защит подключены к ТНП (рис. 3). Для определения защиты, действующей на отключение выключателя Q1.1, необходимо предусмотреть включение контактов реле положения вводного выключателя SQC1 последовательно с контактами промежуточного/выходного реле защиты. При включённом вводном выключателе контакты SQC1 замкнуты. В случае срабатывания реле KA1.1 (с выдержкой времени реле KT1.1), замкнёт свои контакты промежуточное реле KL1.1 и произойдёт отключение выключателя Q1.1 (цепь SQC1 → KL1.1 → SQC1.1 → YAT1.1). При отключённом вводном выключателе контакты SQT1 замкнуты, а контакты SQC1 разомкнуты. В случае срабатывания реле KA2.1 (с выдержкой времени реле KT2.1), замкнёт свои контакты промежуточное реле KL2.1 и произойдёт отключение выключателя Q1.1 (цепь SQT1 → KL2.1 → SQC1.1 → YAT1.1).

Схема, представленная на рис. 3, справедлива для токовой защиты НП. Однако для ряда других защит она будет упрощённой, поскольку в них между токовым входом и выходным реле «спрятано» множество логических и физических реле. В нормальном режиме токовые цепи подключены к обеим защитами. Для выбора защиты, которая будет действовать на отключение выключателя или сигнализацию ОЗЗ, дополнительно предусматривается возможность получения сигнала с блок-контакта вводного выключателя. В схеме РЗ этот сигнал и сигнал с выходного реле защиты включены последовательно, поэтому при включённом вводном выключателе срабатывает одна защита, при отключённом — другая.

Для перевода сети на низкоомное резистивное заземление нейтрали с точной локализацией повреждённого участка сети предполагается анализ существующей схемы построения РЗ от ОЗЗ (наличие комплектов защит, соответствующих реле, функций в микропроцессорных терминалах, кабельных ТТ) и в соответствии с его результатами осуществляется дооснащение необходимым оборудованием.

Все ячейки питающих подстанций и РП 6 – 10 кВ, где возможно объединение участков сетей с разными режимами работы нейтрали, оснащаются основной и резервной защитой от ОЗЗ. В качестве резервных защит (относительно токовой защиты НП для режима резистивного заземления), обеспечивающих относительно селективное выявление повреждённого присоединения, целесообразно использовать цифровые централизованные защиты на следующих принципах: инжекции сигнала тока не промышленной частоты, сравнения полярностей первых полувольт $3I_0$ и $3U_0$, сравнительного измерения токов присоединений. Возможно применение индивидуальных терминалов импульсных защит. Вариант организации РЗ и её производитель определяются на этапе проектирования.

При отказе в работе РЗ повреждённого присоединения защита НП с выдержкой времени действует на отключение присоединения с резистором, переводя тем самым сеть в режим работы с изолированной нейтралью. Выдержка времени не должна превышать время термической стойкости резистора, составляющее не менее 10 с по стандарту IEEE 32 [9]. Если присоединение с резистором по каким-либо причинам не отключилось, эта защита должна действовать на отключение выключателя ввода и секционного выключателя (если он

включён), при этом должен быть выполнен запрет АВР.

Предлагаемое техническое решение с установкой двух комплектов защит позволяет поэтапно переходить на режим низкоомного резистивного заземления нейтрали в схемах городских распределительных сетей 6 – 10 кВ, где на одних ЦП нейтраль заземлена через низкоомные резисторы, на других — ещё стоят ДГР. В целом низкоомное резистивное заземление нейтрали в городских распределительных сетях представляется универсальным способом обеспечения работоспособности простых токовых защит от замыканий на землю и надёжной защиты оборудования от перенапряжений.

В заключение следует отметить, что для реализации концепции 100 % отключения замыканий на землю в городских условиях при наличии развитой инфраструктуры и принятого порядка технологического присоединения потребителей с разными категориями надёжности электроснабжения потребителям требуется решение ряда организационных задач. В первую очередь они связаны с переводом на режим низкоомного резистивного заземления нейтрали крупных ЦП 110 – 220 кВ с протяжённой прилегающей сетью 6 – 10 кВ и множеством РП и ТП, находящимися на балансе и в эксплуатации разных собственников.

Выводы

1. Существующие проблемы надёжного электроснабжения потребителей и повреждаемости силового оборудования в сетях 6 – 10 кВ с компенсацией ёмкостного тока в значительной мере связаны с длительным удержанием замыканий на землю. Ситуация усугубляется сложностью обеспечения резонансной настройки дугогасящих реакторов из-за непрогнозируемых оперативных изменений схемы сети, а также отсутствием селективных релейных защит, надёжно определяющих повреждённый участок сети в этих условиях.

2. Локализация участка сети с однофазным повреждением и предупреждение аварийных ситуаций достигается быстрым и селективным отключением любого замыкания на землю. Это возможно при переводе сети в режим низкоомного резистивного заземления нейтрали со 100 % резервированием потребителей. Сопротивление резистора для городской кабельной сети 6 – 10 кВ выбирается таким образом, чтобы обеспечить активный ток в пределах 50 — 200 А в каждой части сети. Значение активного тока может быть скорректировано, исходя из схемно-режимных условий эксплуатации, требований электробезопасности, типов и настроек релейных защит.

3. При резервировании потребителей с помощью устройств АВР на секционных выключателях центров питания и РП возможно кратковременное объединение участков прилегающей сети 6 – 10 кВ (при правильной настройке защит, как правило, в пределах одного или

нескольких РП), в нормальном режиме питающихся от подстанций с разными режимами заземления нейтрали. В этом случае штатные релейные защиты от замыканий на землю на участках сети, переведённых в режим нейтрали, не соответствующий нормальной схеме, могут оказаться неработоспособными. Для организации селективной защиты в таких режимах следует предусмотреть резервирование штатной защиты от замыканий на землю. Это достигается установкой в каждой ячейке 6 – 10 кВ соответствующих РП двух комплектов (типов) релейных защит на разных принципах работы.

4. Для перевода городской распределительной сети, в том числе с компенсацией ёмкостного тока, из режима удержания однофазных замыканий на режим их отключения за счёт реализации низкоомного резистивного заземления требуются согласования новой схемы заземления нейтрали, а также действия релейных защит и устройств АВР между поставщиками электроэнергии (или организациями, эксплуатирующими городские центры питания 110 – 220 кВ с протяжённой прилегающей сетью 6 – 10 кВ) и потребителями, на балансе и в эксплуатации которых находятся РП и ТП этой сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила устройства электроустановок. 7-е изд.* — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.
2. *Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. СО 34.20.501–03.* — М.: ОРГРЭС, 2003.
3. *Вильгельм Р., Уотерс М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах / Под ред. Д. В. Разевига, перевод с англ.* — М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959. — 416 с.
4. *Востросаблина В. А. Резисторное заземление нейтрали в сетях среднего напряжения: «за» и «против» // Электроэнергия. Передача и распределение. 2014. № 4 (25). С. 76 – 79.*
5. *Ширковец А. И., Хадыев И. Г., Кудряшов Д. С. О переводе сетей 6 – 10 кВ горных и металлургических предприятий на режим эксплуатации с резистивно-заземлённой нейтралью // Безопасность труда в промышленности. 2016. № 1.*
6. *Fickert L., Schmutz E., Raunig C., Lindinger M. Verification of Earthing Global Systems / In Proc. on 22nd International Conference on Electricity Distribution CIREN 2013. Stockholm, June 2013. P. 0035.*
7. *ГОСТ 12.1.038–82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.* — М.: Изд-во стандартов, 1982.
8. *Ушаков В. Я. Электрическое старение и ресурс монолитной полимерной изоляции.* — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 152 с.
9. *IEEE Standard 32–1972 (Reaffirmed 1997). Standard Requirements, Terminology, and Test Procedure for Neutral Grounding Devices.*



А. А. Челазнов



М. В. Ильиных

Разработка регламента по способам подключения, обслуживанию и ремонту устройств заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ

**ЧЕЛАЗНОВ А. А., доктор техн. наук
АО «Объединённая энергетическая компания»
115035, Москва, Раушская наб., д. 8
chelaznova@uneco.ru
ИЛЬИНЫХ М. В., ООО «Болид»
630015, г. Новосибирск,
Электрозаводской пр., д. 1
nio_bolid@ngs.ru**

Приведены общие требования к применяемым и вновь разрабатываемым резисторным устройствам заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ, их основные параметры и характеристики, требования по способам подключения, приёмке, обслуживанию и ремонту, а также положения по расчёту оптимального значения сопротивления резистивного заземления нейтрали.

К л ю ч е в ы е с л о в а: регламент, резистивное заземление нейтрали, резисторные установки заземления нейтрали, сеть 20 кВ, технические требования, способы подключения.

Электрическая сеть 20 кВ Москвы выполняется с резистивным заземлением нейтрали при действии устройств релейной защиты (РЗ) на отключение однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) [1, 2]. Для правильной эксплуатации устройств резистивного заземления нейтрали разработан и утверждён «Регламент организации ОАО «ОЭК» по способам подключения, обслуживанию и ремонту устройств заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ» (далее Регламент) [3].

Основные цели данного Регламента:

- осуществление безопасной и надёжной эксплуатации электрических сетей 20 кВ при резистивном режиме заземления нейтрали 20 кВ силовых трансформаторов 220(110)/20 кВ;
- контроль технического состояния устройств заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ, в том числе для раннего обнаружения их дефектов в целях своевременного выполнения мероприятий по техническому обслуживанию, ремонтам и замены, а также отключения электрооборудования при рисках его повреждения.

Регламент содержит основные требования по способам подключения устройств резистивного заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ АО «ОЭК», их приёмке, обслуживанию и ремонту.

В общей части Регламента приведены назначение, цели, область применения, нормативные ссылки.

Содержательная часть включает в себя следующие разделы:

1. Технические требования к устройствам заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ;
2. Способы подключения резисторных установок заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ;
3. Приёмка устройств заземления нейтрали в эксплуатацию;
4. Порядок эксплуатации, возможные неисправности и способы их устранения;
5. Техническое обслуживание и ремонт резисторных устройств заземления нейтрали (РУЗН) сетей 20 кВ;
6. Требования по транспортированию, хранению и утилизации;
7. Расчёт оптимального значения сопротивления резистивного заземления нейтрали в целях обеспечения допустимого тока однофазного короткого замыкания (КЗ) в сети 20 кВ.

Технические требования к устройствам заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ

В данном разделе Регламента приведены общие требования к применяемым и вновь разрабатываемым РУЗН электрических сетей 20 кВ, их основные параметры и характеристики, требования к изоляции, стойкости к внешним воздействующим факторам, конструкции, нагреву, надёжности, комплектности, маркировке и упаковке, безопасности.

Основные параметры и характеристики РУЗН

Номинальное напряжение, кВ 11,55
Номинальное напряжение сети с РУЗН, кВ 20