

Средства и методы ограничения внутренних перенапряжений в сетях 6 – 35 кВ

ЕМЕЛЬЯНОВ Н. И., канд. техн. наук, ИЛЬИНЫХ М. В., САРИН Л. И., инженеры
ООО «Болид»

630015, г. Новосибирск, Электрозаводская ул., д. 2, корп. 6
nio_bolid@ngs.ru

Приведена краткая характеристика перенапряжений, характерных для электрических сетей среднего класса напряжения. Изложены принципы ограничения различных видов перенапряжений и сформулированы общие положения по комплексному подходу к выбору средств защиты от перенапряжений для сетей 6 – 35 кВ. Рассмотрены подходы к определению параметров резисторов для заземления нейтрали в сетях с различной степенью резервирования и токами замыкания на землю.

Ключевые слова: перенапряжения, режим нейтрали, релейная защита, резистивное заземление.

Безаварийная надёжная работа электротехнического оборудования электрических станций и подстанций крупных предприятий не может быть обеспечена без использования различных средств и аппаратов, ограничивающих перенапряжения до безопасного для электрической изоляции уровня. Защитные средства необходимо выбирать на основе комплексного подхода.

Основные виды перенапряжений в сетях 6 – 35 кВ связаны со следующими воздействиями: однофазным дуговым замыканием на землю (ОДЗ), коммутацией выключателями индуктивных элементов, феррорезонансными явлениями, резонансными процессами в сети с дугогасящим реактором (ДГР), ультрагармоническим резонансом, атмосферными перенапряжениями. Следует отметить, что перенапряжения при ОДЗ, а также различных феррорезонансных и резонансных явлениях охватывают целиком всю электрически связанную сеть и существенно зависят от способа заземления её нейтрали.

Значение ёмкостного тока однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) для секций электрических станций и подстанций крупных предприятий может находиться в достаточно широких пределах: от единиц до сотен ампер. В связи с этим сети 6 – 35 кВ работают в режиме изолированной или компенсиро-

ванной нейтрали, заземлённой через ДГР. Последний уменьшает ёмкостный ток в месте замыкания, создавая тем самым условия для самогашения дуги и ликвидации ОЗЗ.

Наличие в сети элементов с нелинейными характеристиками и источников высших гармоник способствует возникновению опасных для изоляции электрооборудования резонансных и феррорезонансных процессов, а присутствие ВЛ обуславливают воздействие атмосферных перенапряжений. Грозовые перенапряжения могут также трансформироваться через силовые трансформаторы со стороны ВЛ 110 – 220 кВ. Защита от них в данной статье не рассматривается.

К наибольшим перенапряжениям в сети с изолированной и компенсированной нейтралью приводят ОЗЗ с перемежающейся дугой и коммутации индуктивных элементов [1 – 5, 10].

Перенапряжения при ОДЗ

Наибольшая доля всех аварийных повреждений (до 80 %) связана с возникновением дуговых перенапряжений при ОЗЗ. Последние существуют в виде переходных процессов при перемежающейся дуге и опасны для электроустановок высокими кратностями перенапряжений $U_n = (3 – 3,5)U_{фн}$, продолжительностью и значительным охватом

сети, электрически связанной с местом повреждения [6].

Дуговые перенапряжения приводят к перекрытию или пробоем дефектной или ослабленной (загрязнённой и увлажнённой) изоляции оборудования. Кроме того, воздействие перенапряжений на изоляцию способствует накоплению и развитию дефектов, что снижает уровень изоляции и повышает вероятность её повреждения при последующих воздействиях перенапряжений (рис. 1, 2).

Перенапряжения при коммутации выключателями индуктивных элементов (электрических двигателей, трансформаторов)

Опасные перенапряжения для изоляции оборудования, особенно электрических двигателей, могут возникать при включении и отключении выключателей [1, 7]. При выполнении технических операций отдельные присоединения включаются и отключаются с помощью выключателей, коммутирующих электродвигатели вместе с соответствующими питающими кабелями. Кроме того, возможны коммутации электродвигателей в процессе автоматического ввода резерва, отключения заторможенных электродвигателей и пр. Все эти коммутационные операции сопровождаются перенапряжениями различной кратности и частоты.

Кроме того, источником перенапряжений в сети может быть сам выключатель. Уровень и вероятность их появления существенно зависят от типа и качества настройки выключателя. Опасные коммутационные перенапряжения возможны как при включении, так и отключении выключателя, даже если он работает идеально, т. е. замыкание контактов происходит мгновенно (без предпробоев), а размыкание — в нуле тока промышленной частоты (без повторных зажигания и гашений дуги).

Работа выключателя в реальных условиях существенно отличается от идеальной и связана с возникновением «среза» тока до его нулевого значения, пробоем межконтактного промежутка при включении и отключении, гашения дуги высокочастотного (ВЧ) тока переходного процесса. Эти явления в различной сте-

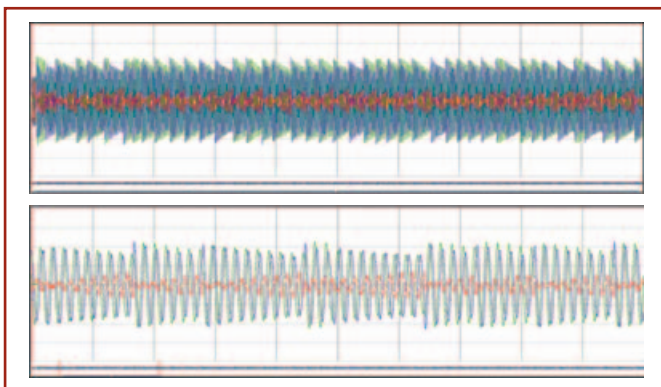


Рис. 1. Осциллограмма при многократном ОДЗ в разном масштабе

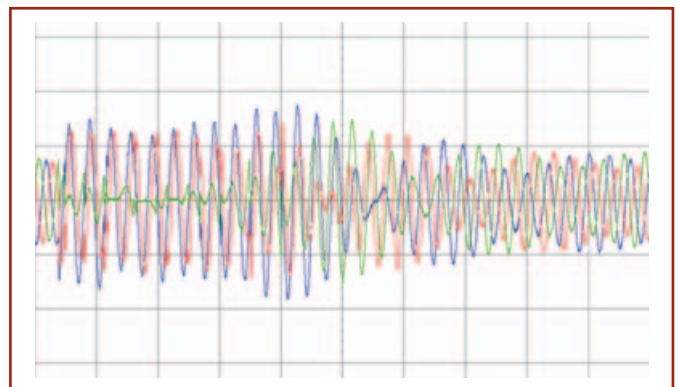


Рис. 2. Осциллограмма при ОДЗ в сети с ДГР

пени обнаруживаются во всех выключателях. Особенно они присущи вакуумным выключателям (ВВ), создающим нестабильную дугу при ВЧ характере изменения тока, который затем очень быстро прерывается.

Перенапряжения на зажимах двигателя при «срезе» тока с последующей эскалацией в случае пробоя межконтактного промежутка ВВ могут достигать $(6 - 7)U_{\phi}$ и более. На рис. 3 показана для примера экспериментальная осциллограмма коммутации ВВ присоединения с двигателем, максимальная кратность перенапряжений $5,2U_{\phi}$. Высокие частоты собственных колебаний, сопровождающие процессы отключения ВВ двигателей, приводят к повреждению витковой изоляции двигателей. В эксплуатации довольно часто наблюдаются повреждения именно витковой изоляции статора.

Перенапряжения в сети при феррорезонансных явлениях

На секциях шин, работающих в режиме разземлённой нейтрали, нередко возникает феррорезонанс [8], который развивается при наличии индуктивности с насыщающимся сердечником, включённой параллельно фазной ёмкости сети на землю. Такой индуктивностью могут служить обмотки трансформатора напряжения, режы — силового трансформатора блока или трансформатора собственных нужд.

Началом развития феррорезонанса может стать любое аварийное и коммутационное перенапряжение. Устойчивый феррорезонанс возможен при равенстве реактивных параметров схемы на конкретном уровне перенапряжений. При попадании значения ёмкости шин в резонансный диапазон феррорезонансные перенапряжения достигают максимальных значений $U_{\max} \geq 3U_{\phi}$.

Перенапряжения при резонансных явлениях в сети с ДГР

При наличии ДГР схема сети представляет собой резонансный контур, в котором на индуктивности катушки возможно значительное повышение напряжения [1]. Последнее на реактированной нейтрали в нормальном режиме происходит за счёт резонанса напряжений в контуре «ёмкость линии – индуктивность ДГР». В цепь протекания токов входит индуктивность трансформатора, в нейтраль которого подключён ДГР.

При резонансном заземлении и большой добротности реактора $q = X_p/R_p$

напряжение на нейтрали определяется упрощённо, по выражению $U_N \approx qU_{NXX}$ [где U_{NXX} — напряжение на нейтрали при холостом ходе (ХХ) трансформатора]. Поскольку добротность ДГР весьма велика (50 – 100), даже при небольшой несимметрии сети в случае точной настройки катушки (или при попадании настройки катушки в резонанс) на нейтрали и, следовательно, на фазах могут возникнуть опасные перенапряжения.

В нормальном режиме эксплуатации смещение нейтрали происходит в основном из-за различия ёмкости фаз ВЛ. Значительное её смещение возникает при попадании схемы в резонанс в случае неполнофазного режима, например, неполнофазного включения и отключения фаз выключателя линии.

Перенапряжения при ультрагармоническом резонансе

Существование высших гармоник в электрической сети в сочетании с возникновением ОДЗ или неполнофазного режима провоцирует появление ультрагармонического резонанса, сопровождающегося значительным повышением напряжения, в ряде случаев свыше $5U_{\phi}$ с последующим пробоем изоляции.

Защита от внутренних перенапряжений

Внутренние перенапряжения ограничивают различными средствами:

- заземляющими ДГР;
- резистивным заземлением нейтрали;
- ОПН и вентильными разрядниками;
- резисторами, шунтирующими дугогасящие промежутки выключателей;
- RC-цепями, ограничивающими коммутационные перенапряжения при отключении ненагруженных трансформаторов и электродвигателей посредством ВВ.

Комплексное применение оборудования для защиты от перенапряжений (при правильном выборе характеристик и параметров) позволяет обеспечить эффективное ограничение внутренних перенапряжений (при ОДЗ до уровня 2,6; при коммутациях выключателями до 3,2), а также устранить феррорезонансные и резонансные явления.

Защита от перенапряжений, связанных с феррорезонансными и резонансными процессами, а также при ОДЗ. Режим заземления нейтрали сетей 6 – 35 кВ при аварийном замыкании на землю определяет значения перенапряжений при ОДЗ и предопределяет

возможность возникновения и характер протекания феррорезонансных и резонансных процессов в сети. В настоящее время в мировой практике используют следующие режимы заземления нейтралей в сетях среднего напряжения:

- изолированная (незаземлённая);
- глухозаземлённая (присоединённая непосредственно к заземляющему контуру);
- заземлённая через ДГР;
- заземлённая через резистор (низко- или высокоомный);
- заземлённая через ДГР и резистор.

При этом резистивное заземление нейтрали — наиболее широко применяемый способ в сетях среднего напряжения зарубежных энергоснабжающих предприятий. Отечественный опыт применения в сетях 6 – 35 кВ схем с изолированной и компенсированной нейтралью свидетельствует, что зачастую при данных режимах заземления нейтрали не удаётся обеспечить высокую эксплуатационную надёжность работы сети и исключить множественные повреждения оборудования.

Заземление нейтрали сети через резистор позволяет кардинально решить проблемы дуговых и феррорезонансных перенапряжений, сокращая число повреждений изоляции оборудования высокого напряжения за счёт:

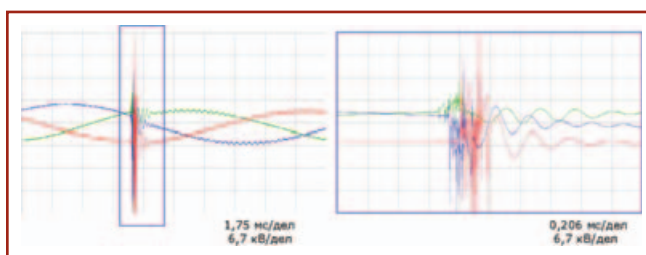
- отсутствия перенапряжений высокой амплитуды при ОДЗ и, как следствие, множественных повреждений в сети;
- подавления феррорезонансных и резонансных процессов (устраняются связанные с ними повреждения трансформаторов напряжения и другого основного оборудования).

На рис. 4 показаны экспериментальные осциллограммы процессов при ОДЗ для сети 10 кВ с изолированной нейтралью и ёмкостным током ОЗЗ примерно 9 А (рис. 4, а), а также для сети с заземлённой нейтралью через высокоомный резистор 500 Ом (рис. 4, б). В первом случае наблюдается эскалационный рост перенапряжения с максимальной кратностью $2,83U_{\phi}$, во втором — $2,48U_{\phi}$.

Сравнительные экспериментальные осциллограммы, иллюстрирующие влияние высокоомного заземления нейтрали на возникновение феррорезонансных процессов после ликвидации устойчивого ОЗЗ, приведены на рис. 5, а для сети с изолированной нейтралью (возникает устойчивый феррорезонанс) и на рис. 5, б для сети с нейтралью, заземлённой через высокоомный резистор 800 Ом (явление феррорезонанса полностью отсутствует).

Резистивное заземление нейтрали либо заземление через параллельно включённые ДГР и высокоомный резистор позволяет сохранить преимущество схем с разземлённой нейтралью. Кроме того, резистивное заземление создаёт условия для быстрого и надёж-

Рис. 3. Осциллограмма переходного процесса при отключении двигателя конденсатного насоса ВВ



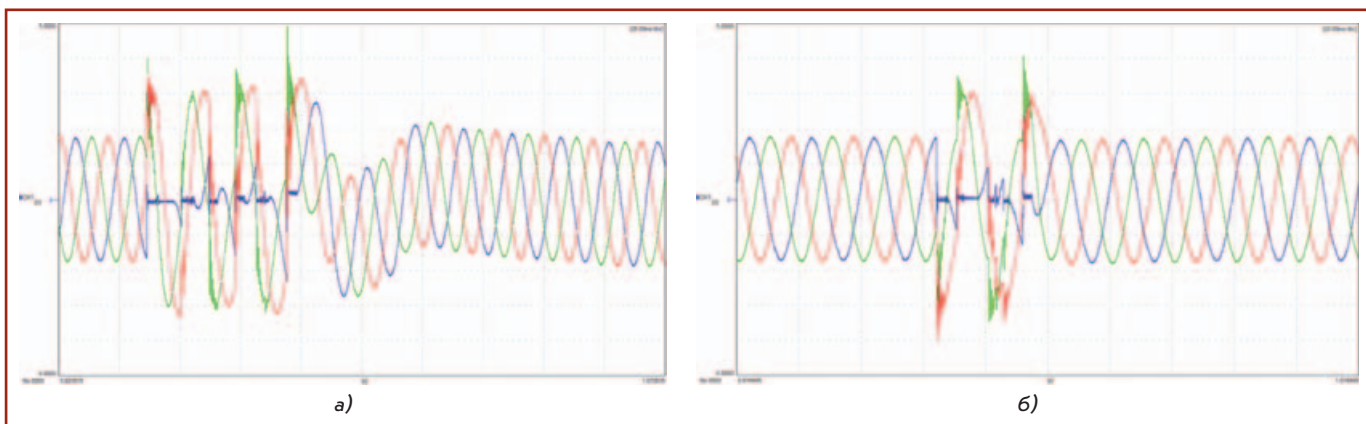


Рис. 4. Осциллограммы ограничения перенапряжений при ОДЗ с помощью резистивного заземления изолированной (а) и заземлённой через высокоомный резистор (б) нейтрали сети 10 кВ

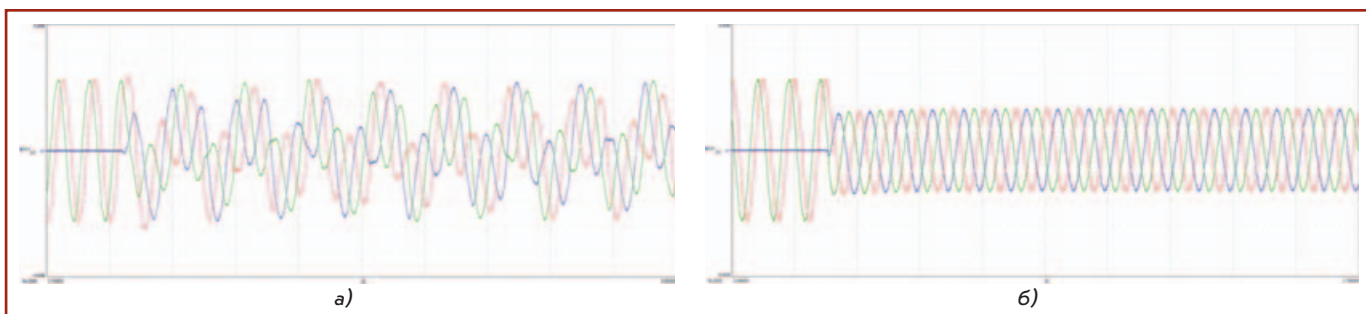


Рис. 5. Осциллограммы подавления феррорезонансных процессов с помощью резистивного заземления изолированной (а) и заземлённой через высокоомный резистор (б) нейтрали сети 10 кВ

ного определения места повреждения, позволяет организовать чувствительную и селективную релейную защиту (РЗ) от ОЗЗ, основанную на токовом или фазовом принципе. Номинальное сопротивление резистора следует выбирать по следующим условиям:

снижения напряжения на нейтрали между дугowymi пробоями до значения, исключающего эскалацию перенапряжений при последующих пробоях ослабленной изоляции аварийной фазы; обеспечения подавления резонансных и феррорезонансных процессов;

устойчивого срабатывания защит от ОЗЗ (в ряде случаев дополнительно).

Низкоомные резисторы, создающие в режиме ОЗЗ дополнительный ток до нескольких сотен ампер, необходимо использовать с некоторой осторожностью. Термическое воздействие такого тока ОЗЗ даже в течение ограниченного времени может привести: к повреждению элементов изоляции оборудования и кабеля, а также несущего троса самонесущего кабеля (который начинает применяться в России); к переходу ОЗЗ в двух- и трёхфазное КЗ.

Рекомендуемое ПУЭ заземление нейтрали через ДГР обеспечивает компенсацию ёмкостных токов в месте замыкания, что создаёт условия самогашения дуги и в ряде случаев снижает перенапряжения. Однако остаётся опасность возникновения больших кратностей перенапряжений при сочетании ОДЗ и неполнофазных режимов, возни-

кающих в случае одновременной работы или отказа фаз выключателя и неточной настройки ДГР. Автоматическая настройка реактора не всегда позволяет полностью устранить возникающие при ОДЗ перенапряжения высокой кратности из-за блокировки настройки в режиме ОЗЗ, либо в силу инерционности и имеющегося допуска в управлении индуктивным током.

Для исключения таких явлений параллельно ДГР следует включать высокоомные резисторы. К этому решению приходят многие организации, эксплуатирующие сети 6 – 35 кВ, оснащённые ДГР. Включение в нейтраль активного сопротивления параллельно ДГР способствует быстрому уменьшению свободных колебаний, гашению биений и снижению напряжения на повреждённой фазе. В этом случае резистор обеспечивает перевод процесса из колебательного в аperiodический.

При условии правильной настройки контура нулевой последовательности практически полностью исключаются переходы ОЗЗ в двойные КЗ, а число дугowych перемежающихся замыканий, перешедших в «металлическое», сокращается в 4 – 6 раз. Опыт эксплуатации сетей 6 кВ Кемеровской ТЭЦ, Саратовской ТЭЦ-2 и пр. показал, что введение резистора в нейтраль повышает селективность определения аварийного фидера существующими вариантами защит.

Положительный опыт эксплуатации резисторов производства ООО «Болид»

в сетях с компенсацией ёмкостного тока ряда электростанций и подстанций (Волжской ТГК, Омскэнерго, Кузбассэнерго, Хакасэнерго, Вологдаэнерго, Ленэнерго, Оренбургэнерго), городских сетей г. Пермь и г. Череповец, а также в сетях электроснабжения крупных промышленных предприятий позволяет говорить о целесообразности и достаточной технической обоснованности такого режима нейтрали.

Релейная защита от ОЗЗ. Это значимый элемент системы защиты от перенапряжений при замыканиях на землю в сетях 6 – 35 кВ. Такая защита должна быть прежде всего селективной, т.е. надёжно определять повреждённое присоединение. При этом исключается поиск повреждённого присоединения вручную, приводящий зачастую к возникновению дальнейших повреждений в сети, а при действии защиты на отключение сокращается и время нахождения сети в режиме ОЗЗ. К сожалению, селективность защиты от ОЗЗ обеспечить весьма сложно.

Резистивное заземление нейтрали позволяет организовать селективную работу защит на простых токовых реле, а также улучшить работу направленных защит. Дополнительный активный ток резистора, протекающий по защите повреждённого присоединения при ОЗЗ, повышает чувствительность ненаправленных токовых защит. Кроме того, из-за уменьшения коэффициента броска с 2,5 – 5,0 до 1,2 – 3 могут

быть снижены уставки защит, выбираемые по условию селективности.

Для направленных токовых защит нулевой последовательности увеличение тока ОЗЗ за счёт гарантированного значения тока резистора позволяет выбрать уставку по току (при этом отстроиться от токов небаланса) независимо от ёмкостного тока ОЗЗ, который может существенно изменяться в соответствии с текущей конфигурацией сети (это особенно актуально при очень малых ёмкостных токах ОЗЗ).

Современные терминалы РЗ от ОЗЗ позволяют при высокоомном заземлении нейтрали обеспечивать необходимую селективность. В сетях с достаточным резервированием потребителей можно использовать низкоомное заземление для реализации быстродействующего отключения присоединения с ОЗЗ при использовании ненаправленных токовых защит. Конструктивно такой резистор может быть выполнен как для длительной, так и кратковременной работы в режиме ОЗЗ.

Во втором случае резистор рассчитывается на работу в течение нескольких секунд и будет иметь меньшие размеры, но, являясь, по сути, частью РЗ, из-за ограниченной термической стойкости должен иметь собственную РЗ на отключение при неустранении ОЗЗ. Кроме того, в случае многократных ОЗЗ резистор может оказаться выведен из работы, и сеть окажется незащищенной при повторных ОЗЗ. Чтобы использовать резисторы с ограниченной термической стойкостью в режиме ОЗЗ для заземления нейтрали, необходимо более детальное и глубокое рассмотрение режимов работы сети и РЗ в целом.

В сети с изолированной нейтралью эскалация перенапряжений при ОДЗ и, соответственно, развитие аварии может произойти за крайне малое время (2 – 3 периода промышленной частоты), в течение которого защита не успевает сработать. Таким образом, даже селективная РЗ не гарантирует отсутствие перенапряжений при ОДЗ, а следовательно, и возможных повреждений.

Защита от коммутационных перенапряжений. В качестве защиты могут быть использованы нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН) и RC-цепи. Для надёжной защиты изоляции двигателей от перенапряжений указанные элементы необходимо устанавливать непосредственно на выводах двигателя [11]. При больших длинах кабеля установка ограничительных аппаратов непосредственно за выключателем присоединения (в начале кабеля) может оказаться неэффективной, так как за счёт волновых процессов в протяжённом кабеле напряжение на двигателе превышает напряжение в месте установки аппарата на 20 – 30 %.

Анализ процесса коммутационных перенапряжений при «срезе» тока и

многократном пробое межконтактного промежутка показывает, что ОПН обеспечивает ограничение по максимуму, т.е. защищает корпусную изоляцию двигателя до допустимого значения. Однако поскольку ОПН «подключается» лишь при определённом повышении напряжения на двигателе, он практически не оказывает действия на начальной стадии процесса, характеризующейся довольно высокими частотами, а следовательно, и возможными значительными перенапряжениями на витковой изоляции двигателя.

Применение же RC-цепей существенно влияет на изменение частоты собственных колебаний процесса при отключении тока промышленной частоты. Поэтому вероятность повторных зажигания дуги в вакуумной дугогасительной камере (ВДК) при оснащении двигателя RC-цепью уменьшается. Конденсаторы снижают волновое сопротивление цепи, ограничивая перенапряжения, вызванные «срезом» тока. Резисторы способствуют затуханию высокочастотного тока, уменьшают вероятность повторных зажигания, ограничивают воздействие на другие фазы.

Если же при относительно низкой скорости восстановления электрической прочности в ВДК даже при установке RC-цепи произойдёт повторное зажигание дуги, на дальнейшее развитие процесса, характеризующееся весьма высокими частотами собственных колебаний, эта цепь практически не влияет. В связи с этим её параметры следует выбирать по условию отсутствия повторного зажигания дуги в ВДК.

В отличие от ОПН RC-цепь существенно ограничивает крутизну импульса, а следовательно, и возможные значительные перенапряжения на витковой изоляции двигателя. Необходимо также отметить, что повсеместный переход от разрядников к нелинейным ОПН привёл к повышенной их аварийности в сетях 6 – 35 кВ при ОДЗ. Длительные воздействия дуговых перенапряжений при отсутствии средств их подавления обуславливают необходимость применения ОПН с высоким уровнем ограничения, что снижает их эффективность во время коммутационных перенапряжений.

При некачественном подходе к выбору ОПН они, не выдерживая режима ОДЗ, выходят из строя, зачастую с развитием аварии. В сетях с разземлённой нейтралью наблюдаются случаи повреждения ОПН в режиме длительного ОЗЗ, приводящего к тепловой нестабильности ОПН, которые описаны в информационных материалах Башкирэнерго, Челябинэнерго, Саратовэнерго, Кузбассэнерго, Новосибирскэнерго. В такой ситуации для ограничения дуговых перенапряжений ОПН используются только при подключении резисторов к нейтрали.

Общие положения комплексного подхода к выбору средств ограничения перенапряжений в сетях 6 – 35 кВ

Анализ повреждений в указанных сетях показывает, что выбор схемных решений и оборудования при проектировании происходит зачастую без учёта особенностей режимов и перенапряжений, возможных в сетях этих классов напряжения. Несмотря на их значительное многообразие, можно утверждать, что основополагающий фактор надёжной и безаварийной работы данных сетей — выбор режима заземления нейтрали.

Широко применяемая в последние годы в России система изолированной нейтрали сетей 6 – 35 кВ (с компенсацией ёмкостных токов и без неё), обладающая рядом принципиальных недостатков, связанных с режимом ОЗЗ, должна быть модернизирована путём перехода на резистивную и комбинированную систему заземления нейтрали.

Следует отметить, что в ряде отраслей нефтегазодобывающего комплекса [13, 14] введены в действие нормативные документы, регламентирующие условия применения оборудования для заземления нейтрали. Аналогичные документы готовятся в филиалах ОАО «Холдинг МРСК». Выбор режима заземления нейтрали сети и номинального сопротивления резистора для неё зависит от следующих условий:

значения тока ОЗЗ, который определяет необходимость применения ДГР для его компенсации;

электрической прочности изоляции электрооборудования (значительно снижающейся в процессе эксплуатации), влияющей на выбор допустимых значений перенапряжения при ОДЗ и способ подавления феррорезонансных и резонансных процессов;

наличия вращающихся электрических машин. Это принципиальный фактор, обуславливающий при токах ОЗЗ более 5 А обязательное отключение присоединения с двигателем (или генератором), на котором произошло ОЗЗ, и более «жёсткие» требования к допустимым значениям перенапряжений;

возможности отключения присоединения с ОЗЗ, не нарушая интересов потребителя (наличие резерва нагрузки присоединений). Если отключение нагрузки недопустимо, необходимо использовать высокоомный резистор для заземления нейтрали сети;

возможности организации селективной защиты от ОЗЗ. При этом может потребоваться резистор с более низким номинальным сопротивлением, чем необходимо для ограничения перенапряжений при ОДЗ. Для РЗ наиболее рационально применение низкоомных резисторов с токами примерно десятки-сотни ампер. В данном случае ток ОЗЗ существенно увеличивается и возрастает опасность повреждения оборудования из-за его термического воздействия, поэтому повреждённое присо-

единение должно быть отключено без выдержки времени. В этих условиях электробезопасность определяется сопротивлением заземляющего устройства, током ОЗЗ, длительностью существования режима ОЗЗ, уровнем напряжения прикосновения [9];

требований электробезопасности [12].

Высокочастотные коммутационные перенапряжения мало зависят от режима заземления нейтрали. Вместе с тем резистивное заземление нейтрали за счёт ограничения перенапряжений при ОДЗ позволяет использовать ОПН с параметрами, обеспечивающими более глубокий уровень ограничения коммутационных перенапряжений без опасения потери тепловой стабильности ОПН в режиме ОДЗ.

На основании перечисленного предлагается следующий комплексный подход к выбору средств ограничения перенапряжений в сетях 6 – 35 кВ.

1. Проведение детального анализа сети в различных режимах, определение ёмкостных токов ОЗЗ и режима ведения его компенсации, выполнение экспериментальных и расчётных исследований возможных перенапряжений.

2. Организация эффективной системы защиты от перенапряжений с помощью взаимно дополняющих друг друга мероприятий:

- оснащения нулевой точки сети высокоомным резистором (при больших ёмкостных токах ОЗЗ резистор устанавливается параллельно ДГР) в целях исключения опасных для всего оборудования сети перенапряжений при ОДЗ, эффективного подавления различных резонансных и феррорезонансных процессов, улучшения селективности работы РЗ от ОЗЗ;

- использования для заземления нейтрали сети низкоомного резистора при наличии достаточного резервирования и допустимости отключения повреждённого присоединения без выдержки времени;

- оснащения присоединений с двигателями и трансформаторами защитными аппаратами (ОПН или РС-цепями), устанавливаемыми, как правило, непосредственно у защищаемых объектов для обеспечения надёжной работы корпусной и витковой изоляции.

В процессе эксплуатации должно осуществляться грамотное техническое обслуживание электротехнического оборудования (в том числе и РЗ) с контролем всех требуемых настроек и параметров. Работы, проводимые с применением комплексного подхода к выбору средств ограничения перенапряжений, были выполнены на Сеgezском ЦБК, ОАО «Металлургический завод им. А. К. Серова», Нижнетагильском металлургическом комбинате, ООО «Томскнефтехим», Кемеровском ОАО «АЗОТ», подстанции Ферросплав (МРСК Урала) и многих других предприятиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Защита сетей 6 – 35 кВ от перенапряжений* / Под ред. Ф. Х. Халилова, Г. А. Евдокунина, А. И. Таджикибаева. — СПб.: Изд-во ПЭИПК, 1997. — 216 с.

2. *Перенапряжения в электрических сетях 6 – 35 кВ* / Ф. А. Гиндуллин, В. Г. Гольдштейн, А. А. Дульзон, Ф. Х. Халилов. — М.: Энергоатомиздат, 1989.

3. *Беляков Н. Н., Кузьмичева К. И., Ивановски А.* Ограничение перенапряжений при дуговых замыканиях на землю в сети 6 кВ собственных нужд электростанций с помощью ОПН // *Электрические станции.* 1991. № 4.

4. *Базуткин В. В., Евдокунин Г. А., Халилов Ф. Х.* Ограничение перенапряжений, возникающих при коммутациях индуктивных цепей вакуумными выключателями // *Электричество.* 1994. № 2.

5. *Перенапряжения в электрических системах и защита от них* / В. В. Базуткин, К. П. Кадомская, М. В. Костенко, Ю. А. Михайлов. СПб.: Энергоатомиздат, 1995. — 320 с.

6. *Лихачев Ф. А.* Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью с компенсацией ёмкостных токов. — М.: Энергия, 1971.

7. *Кадомская К. П., Лавров Ю. А., Рейхердт А. А.* Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник для вузов. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. — 368 с.

8. *Поляков В. С.* Исследование феррорезонансных явлений и мер их предотвращения в цепи с трансформаторами напряжения: Дисс. ... канд. техн. наук. — ЛПИ, 1988. — 215 с.

9. *Глушко В., Ямный О., Ковалев Э.* Белорусские сети 6 – 35 кВ переходят на режим заземления нейтрали через резистор // *Новости электротехники.* 2006. № 3(39).

10. *Режимы заземления нейтрали сетей 3 – 6 – 10 – 35 кВ* // Доклады науч.-техн. конф. — Новосибирск: ГЦРО, 2000.

11. *Ограничители перенапряжений в электроустановках 6 – 750 кВ: Методическое и справочное пособие* / Под ред. М. А. Аронова. — М.: Знак, 2001.

12. *Материалы II Российской конф. по заземляющим устройствам: Сборник докладов* / Под ред. Ю. В. Целебровского. Новосибирск: Сибирская энергетическая академия, 2005.

13. *СТО 2-1.11-070–2006.* Методические указания по выбору режима заземления нейтрали в сетях напряжением 6 и 10 кВ дочерних обществ и организаций. — М.: Газпром, 2006.

14. *РД 13.260.00-КТН-166–08.* Технические решения на систему защиты электрооборудования ЗРУ 6 – 10 кВ НПС и линейной части МН от перенапряжений при замыканиях на землю в сетях 6 – 10 кВ, 2007.

Высоковольтные резисторы для сетей 3 – 35 кВ

ВАСИЛЬЕВА А. Ю., ПАВКИНА Е. М., инженеры, ООО «Болид»
nio_bolid@ngs.ru

Резисторы для заземления нейтрали ООО «Болид» выпускает более 10 лет. Приведена краткая технология производства резисторов, а также их основные технические характеристики и особенности.

Ключевые слова: резисторы для заземления нейтрали, технология производства, селективная релейная защита, перенапряжения при ОДЗ, коммутационные перенапряжения.

Главная деятельность ООО «Болид» связана с производством высоковольтных резисторов для заземления нейтрали сетей 3 – 35 кВ. К настоящему времени предприятием изготовлено и введено в эксплуатацию более 1000 резисторов, которые установлены в распределительных кабельно-воздушных сетях с различными режимами заземления нейтрали. Основные потребители продукции – дочерние общества и организации ОАО «Газпром», ОАО «Холдинг МРСК», заводы горнорудной и нефтедобывающей отраслей.

Технология производства

Современная рыночная экономика предъявляет высокие требования к качеству выпускаемой продукции — од-

ному из важнейших показателей деятельности предприятия, который определяет его выживаемость и успех в условиях рынка. Достойное качество выпускаемых резисторов достигается соблюдением основных принципов общего управления качеством (Total Quality Management):

- выработки и строгого следования стратегии;
- выбора надёжных поставщиков;
- обучения, управления и мотивации персонала;
- совершенствования производственной среды;
- использования многоуровневой системы сплошного контроля и пр.