

Повышение надёжности электроснабжения сетей 6-35 кВ путём применения резисторов для заземления нейтрали



Михаил ИЛЬИНЫХ,
начальник НИО ООО «Болид»

Леонид САРИН,
Директор ООО «Болид»

Николай ЕМЕЛЬЯНОВ,
заместитель директора ООО «Болид»
г. Новосибирск

Применение резистивного и комбинированного заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ – эффективное решение для повышения надёжности электроснабжения.

В современных условиях задача надёжной, бесперебойной работы сетей среднего класса напряжения 6–35 кВ, обеспечивающих функционирование промышленных предприятий, объектов социальной инфраструктуры, является крайне актуальной.

Работа электрических сетей 6–35 кВ сопровождается возникновением перенапряжений различного вида и уровня. Именно за счёт перенапряжений происходит значительное число повреждений ответственного электрооборудования, зачастую с последующим развитием аварии с каскадным отключением нескольких присоединений, отключением подстанции в целом.

Несмотря на значительное многообразие сетей 6–35 кВ, можно утверждать, что основопо-

лагающим фактором, определяющим свойства этих сетей, является режим заземления нейтрали сети.

Режим заземления нейтрали сети определяет величины различных видов перенапряжений, воздействующих на изоляцию всей электрически связанной сети, и, в конечном итоге, определяет исход «аварийных событий», степень тяжести аварийных повреждений, время ликвидации аварии, и в целом надёжность электроснабжения.

Задачи ограничения перенапряжений, исключения феррорезонансных явлений, организации селективной защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в сетях 6–35 кВ могут быть решены путём перехода к резистивному либо комбинированному режиму заземления нейтрали. Указанные режимы заземления нейтрали успешно реализуются применением высоковольтных резисторов производства ООО «Болид».

Широко применяемые на протяжении многих последних лет в сетях 6–35 кВ режимы изолированной нейтрали, либо нейтрали, заземлённой через дугогасящий реактор (ДГР), обладают по своей физической сущности значительным рядом принципиальных недостатков, связанных с режимом однофазного замыкания на землю.

Основным недостатком работы сети в режиме изолированной и компенсированной нейтрали является возможность возникновения однофазного замыкания на землю через перемежающуюся дугу. Это приводит к значительным перенапряжениям на неповреждённых фазах. Доля таких однофазных дуговых замыканий на землю (ОДЗ) среди всех видов аварий весьма значительна (до 80 %).

Однофазные дуговые замыкания на землю с перемежающейся дугой в месте замыкания вызывают опасное воздействие на изоляцию оборудования сети. Возникающие при ОДЗ перенапряжения опасны для электроустановок высокими кратностями $(3...3,5)U_{ф\max}$ своей продолжительностью и шириной охвата сети, электрически связанной с местом повреждения. Воздействие этих перенапряжений приводит к перекрытию или пробоем дефектной или ослабленной изоляции оборудования, развитию аварийной ситуации с переходом однофазного замыкания на землю в междуфазные и многоместные КЗ, накоплению и развитию дефектов изоляции.

Значительную опасность для электрооборудования в рассматриваемых сетях представляет возникновение перенапряжений при феррорезонансных явлениях. Устойчивый феррорезонанс возможен при выполнении условий равенства реактивных параметров схемы на конкретном уровне перенапряжений и выполнении условий по балансу энергии.

При попадании значения ёмкости сети в резонансный диапазон феррорезонансные перенапряжения имеют максимальное значение и достигают величин $U_{\max} \geq 3U_{ф\max}$. Данный режим опасен возникновением длительных перенапряжений высокой кратности на основной частоте и на субгармониках, возникновением свёртываний в обмотках ТН с их дальнейшим повреждением.

В сетях 6–35 кВ с дугогасящими реакторами при резонансной нагрузке возможно возникновение значительного смещения нейтрали сети с возникновением длительных перенапряжений высокой кратности на основной частоте. При установке ДГР схема сети представляет собой резонансный контур, в котором возможны значительные повышения напряжения на индуктивности катушки. Повышение напряжения на реактированной нейтрали в нормальном режиме происходит за счёт резонанса напряжений в контуре: ёмкость линии – индуктивность ДГР. При резонансном заземлении и большой добротности реактора $q = X_p/R_p$ напряжение на нейтрали может быть определено упрощённо по выражению $U_N \approx q \cdot U_{Nxx}$, где U_{Nxx} – напряжение несимметрии сети (ДГР отсутствует). Поскольку добротность современных ДГР весьма велика (50–100), то даже при небольшой несимметрии сети при точной настройке катушки (или при попадании настройки катушки в резонанс), на нейтрали и, следовательно, на фазах могут возникнуть опасные перенапряжения. В нормальном режиме эксплуатации смещение нейтрали может возникнуть в основном из-за различия ёмкости фаз ВЛ. Значительное смещение нейтрали может возникнуть при попадании схемы в резонанс в случаях возникновения неполнофазных режимов, например, неполнофазном включении и отключении фаз выключателя линии.

В сети с изолированной нейтралью или нейтралью, заземлённой через ДГР, зачастую сложно обеспечить правильную работу релейных защит от однофазных замыканий, так как реальный ток однофазного замыкания на землю, протекающий через трансформатор тока нулевой последовательности повреждённого присоединения, зависит от текущего режима (конфигурации) сети, степени расстройки компенсации, характера и вида нагрузки и пр.

Кардинально решить проблемы перенапряжений при замыканиях на землю через перемежающуюся дугу, феррорезонансных и резонансных явлений, обеспечить сокращение повреждений изоляции высоковольтного оборудования возможно переходом от режима изолированной нейтрали сети к резистивному либо комбинированному (нейтраль заземлена через парал-

лельно включенные дугогасящий реактор и резистор) режиму заземления нейтрали.

Кроме того, активный ток, создаваемый резистором, позволяет организовать эффективную работу релейной защиты от ОЗЗ, обеспечить требуемую селективность определения повреждённого присоединения, что способствует повышению уровня электробезопасности для людей и животных.

Эффективное снижение перенапряжений при однофазных замыканиях, резонансных и феррорезонансных явлениях, возможность организации селективной релейной защиты являются неоспоримыми преимуществами режима резистивного заземления нейтрали. Именно эти преимущества способствовали широкому распространению в разных странах режима заземления нейтрали через резистор. Оценка мировой практики свидетельствует, что резистивное заземление нейтрали – наиболее широко применяемый способ заземления нейтрали в сетях среднего напряжения.

В сетях 6–35 кВ для заземления нейтрали могут быть применены либо низкоомные, либо высокоомные резисторы.

Высокоомное резистивное заземление нейтрали либо комбинированное заземление нейтрали (при необходимости компенсации ёмкостного тока ОЗЗ согласно требованиям ПУЭ и ПТЭ) необходимо применять в случаях, когда сеть должна иметь возможность длительной работы в режиме ОЗЗ до обнаружения места ОЗЗ и устранения повреждения, или имеются ограничения по величине тока в месте повреждения. При этом ток от высокоомного резистора должен быть такой величины, чтобы исключить появление опасных негативных явлений, связанных с перенапряжениями и электробезопасностью, а также в большинстве случаев быть достаточным для селективного определения повреждённого присоединения.

Заземление нейтрали при использовании высокоомного резистора характеризуется: отсутствием перенапряжений высокой кратности при однофазных дуговых замыканиях на землю и множественных повреждений в сети; снижением напряжения смещения нейтрали до уровня, нормируемого ПТЭ (в сети с ДГР и высоко-

омным резистором); отсутствием феррорезонансных явлений и повреждений трансформаторов напряжения, другого оборудования; возможностью организации селективной токовой защиты от ОЗЗ с действием на сигнал (а при необходимости и на отключение); возможностью продолжительной работы сети в режиме ОЗЗ.

Область применения высокоомных резисторов заземления нейтрали: кабельные, воздушные, смешанные сети без резервирования (зачастую с высоким уровнем износа изоляции), сети опасных производств, ответственных социальных объектов и т. п., в которых отключение питания при ОЗЗ без перевода на другой источник энергоснабжения недопустимо.

Низкоомное резистивное заземление нейтрали применяется в случаях, когда повреждённое присоединение при ОЗЗ должно быть обязательно селективно отключено релейной защитой в течение минимально возможного времени. При этом ток, создаваемый низкоомным резистором, должен быть достаточным для работы релейной защиты на отключение. Низкоомное резистивное заземление нейтрали характеризуется: отсутствием перенапряжений высокой кратности при однофазных дуговых замыканиях на землю (значительное снижение уровня перенапряжений достигается в т. ч. и за счёт перевода дуги к устойчивому горению); отсутствием феррорезонансных явлений и повреждений трансформаторов напряжения; возможностью организации простой и эффективной защиты от ОЗЗ с быстрым отключением повреждённого присоединения; практически полным исключением возможности перехода однофазного замыкания на землю в многофазное или множественное; уменьшением опасности поражения электрическим током персонала и посторонних лиц за счёт быстрого отключения однофазного замыкания на землю.

Область применения низкоомного резистивного заземления нейтрали: сети с достаточным резервированием, сети, содержащие кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, сети с повышенными требованиями к электробезопасности с обязательным отключением ОЗЗ.

Резисторы ООО «Болид»

ООО «Болид» с 1997 года занимается разработкой, серийным выпуском и внедрением на различных электроэнергетических объектах конкурентоспособных и патентозащищённых высоковольтных резисторов различного номинала.

Особенностью резисторов, выпускаемых ООО «Болид», является то, что их резистивная часть изготавливается из композиционного электропроводного материала «ЭКОМ» многофункционального назначения. В основе материала «ЭКОМ» – железофосфатные связующие, структурирующей добавкой. По совокупности свойств материал «ЭКОМ» превосходит зарубежные и отечественные аналоги. Состав материала «ЭКОМ» защищён патентом Российской Федерации.

Материал «ЭКОМ» стал основой конструктивных элементов всей номенклатуры выпускаемых изделий: высоковольтные резисторы защитные типа РЗ и РЗ1 для заземления нейтрали в сетях 3–35 кВ, блочно-модульные нагрузочные устройства для проведения пуско-наладочных работ газотурбинных и газопоршневых электростанций, нагревательные приборы – панели электрические греющие типа ПЭГ, системы обогрева гидротехнических сооружений, нагревательные элементы для различных систем обогрева.

Разработаны унифицированные конструкции блоков резисторов для установки в помещениях ЗРУ, территории ОРУ, для комплектации ячеек КРУ.

По заявке Заказчика изготавливаются резисторы на требуемые габаритные размеры, величину напряжения, сопротивления, мощности, климатического исполнения, времени работы в режиме максимальной мощности (в том числе неограниченно).

Резисторы для заземления нейтрали аттестованы для применения в сетях ПАО «Россети» и рекомендованы для применения на объектах ДЗО ПАО «Россети».

В 2011 г. ООО «Болид» подтвердило соответствие выпускаемых резисторов принятым международным нормам IEC-Std. 32-1972, что удостоверяется документами «TUV Rheinland InterCert Kft».

Нагревание композиционного элемента из материала «ЭКОМ», вследствие наличия отрицательного температурного коэффициента, ведёт не к росту сопротивления, а к некоторому его снижению (до 10 %) при эксплуатационных температурах перегрева 115 °С относительно эффективной температуры окружающей среды 40 °С по ГОСТ 15543.1-89. Таким образом, у резисторов из композиционного материала температура на поверхности элементов в рабочем режиме в несколько раз меньше, чем у металлических аналогов, что удовлетворяет требованиям всех отечественных нормативных документов (ГОСТ, ПУЭ) по допустимым температурам нагрева. Применение композиционных резисторов с предельной температурой токопроводящих элементов менее 180 °С позволяет обеспечить высокую надёжность эксплуатации резисторной установки, а повышение активного тока при нагревании резистора гарантирует требуемую чувствительность релейных защит.

Преимущества резисторов, производимых ООО «Болид» из материала ЭКОМ, по сравнению с металлическими аналогами, производимыми за рубежом:

- Простота конструкции, удобство в эксплуатации, конкурентная стоимость.
- Протекание тока в резистивном элементе по всему объёму материала от одного электрода к другому.
- Большая объёмная теплоёмкость при одном и том же сопротивлении и равных прочих параметрах.
- Отрицательный температурный коэффициент сопротивления при последовательном соединении элементов, позволяющий равномерно распределять тепловую нагрузку,
- Отсутствие теплоносителя, позволяющее изготавливать сухие пожаробезопасные изделия.
- Возможность изготовления резистора с любым номинальным сопротивлением в зависимости от количества и типа резистивных элементов и способа их соединения в резисторе.
- Возможность изготовления резистора для эксплуатации в условиях любой степени загрязнения атмосферы.

- Максимальная теплоотдача благодаря отсутствию теплоотражающих элементов конструкции (защитный кожух, шкаф и др.).

- Высокая степень защиты оболочки элемента резистора защитного (ЭРЗ): от IP 54 и выше.

- Высокая сейсмостойкость (7 баллов по шкале MSK-64 и выше).

- Практически неограниченный диапазон рабочих температур (от –60 до +50 °С).

- Температура на поверхности резистивных элементов в процессе длительной работы в режиме ОЗЗ – не более 155 °С.

- Возможность конверсии резисторов (использование одного и того же резистора в сетях различного напряжения путём комбинирования количества резистивных элементов и способа их подключения).

- Ремонтопригодность конструкции, возможность замены как функциональных (электрических) так и опорных (механических) элементов.

- Гарантия производителя до 5 лет.

- Резисторы прошли аттестацию ПАО «Россети» и рекомендованы для применения на её объектах.

- Высокая надёжность работы, подтверждённая более чем 20-летним опытом эксплуатации.

- Инжиниринговое сопровождение резисторов на всех стадиях – от выбора резистора до прохождения текущей эксплуатации.

ООО «Болид» за 25-летний период деятельности ввело в успешную эксплуатацию на предприятиях России (ОАО «Газпром», ОАО «Российские сети», ОАО «Лукойл» и др.), Украины, Белоруссии, Казахстана, Узбекистана, Монголии, Вьетнама, Ирана более 2500 резисторных установок.

Резисторы установлены в электрических сетях крупных тепловых и атомных (Калининская АЭС, Белоярская АЭС, Ростовская АЭС, АЭС «Бушер») электростанций, сетях региональных распределительных компаний, металлургических, целлюлозно-бумажных, нефтехимических, горнорудных комбинатов, угольных разрезов, городских сетях больших городов и т. д.

Резисторы ООО «Болид» также установлены на многих объектах Казахстана (см. Таблицу).

Объект	Год	Тип резистора	Кол-во
Усть-Каменогорская ТЭЦ	2000	P3-500-24-6	1 шт
Соколово-Сарбаевский ГОК (ПС электроснабжения)	2006	P3-2100-6-6	8 шт
	2007	P3-1400-9-6 P3-600-20-6	7 шт 6 шт
Жайремский ГОК (ПС «УКР»)	2008	P3-1000-12-6	2 шт
KEGOC (ПС «Восточная», ПС «Заводская»)	2012	P3-2200-16-10	2 шт
		P3-900-38-10	2 шт
Атырауский НПЗ (ОРУ-35, РУ-6)	2013	P3-300-40-6	1 шт
		P3-800-15-6	1 шт
		P3-7000-58-35	2 шт
ВЭС Ерейментау	2014	P3-50-8167-35	1 шт
Актау, месторождение Дунга	2015	P3-300-40-6	4 шт
Алматинская ТЭЦ	2015	P3-800-15-6	2 шт
		P31-200-6-Б	2 шт
Жезказганская ТЭЦ	2016	P3-500-24-6	1 шт
		P3-3000-136-35	2 шт
АО «Казахстанский электролизный завод»	2017	P3-400-84-10	2 шт

Опыт эксплуатации резисторов заземления нейтрали производства ООО «Болид» показывает, что установка резистора на шинах собственных нужд электростанции, подстанции предприятия позволяет защитить все двигатели, присоединённые к шинам, увеличить срок службы и надёжность работы электрооборудования (повреждаемость снижается в среднем 4–6 раз), уменьшить недоотпуск электроэнергии потребителям, значительно снизить экономические ущербы от простоя и невыпуска продукции. Срок окупаемости резистивной установки составляет 3,5–5 лет.

На сегодняшний день, базируясь на успешном опыте эксплуатации резисторов ООО «Болид», их активно используют при выполнении своих работ многие проектные организации.

Выводы

1. Выбор режима заземления нейтрали в сетях 3–35 кВ является исключительно важным вопросом при проектировании и модернизации сетей.

2. От выбора режима заземления нейтрали зависит уровень аварийности в сети, правильная работа защиты от замыканий на землю, автоматизация поиска повреждённого фидера и последствия от возникновения однофазных замыканий на землю.

3. Подтверждён значительный опыт эксплуатации резисторов заземления нейтрали ООО «Болид» в сетях 6–35 кВ различного назначения (с 1998 г., более 2500 установленных резисторов): схемах выдачи мощности и собственных нужд электростанций, распределительных подстанций

различного уровня, в том числе в сетях электроснабжения промышленных предприятий и объектов городской инфраструктуры и т. д. Этот опыт является, несомненно, положительным, поскольку после установки резисторов в нейтраль наблюдается заметное снижение повреждаемости ответственного оборудования сети и соответствующее уменьшение экономических ущербов.

4. Применение в сетях 3–35 кВ резисторов производства ООО «Болид» позволяет существенно повысить надёжность работы сетей, автоматизировать процесс поиска поврежденного фидера и снизить аварийность при однофазных замыканиях на землю в 4...6 раз.

5. Включение в перспективные планы реконструкции и развития сетей среднего класса напряжения перехода к резистивному либо комбинированному заземлению нейтрали является технико-экономически обоснованным.

КОНТАКТЫ

630015, Россия,
г. Новосибирск-15, а/я 119,
ул. Электrozаводская, 2, корп. 6
Тел.: +7 (383) 325-33-17,
325-33-79
pnp_bolid@ngs.ru,
nio_bolid@ngs.ru
www.pnpbolid.com



Резисторы типа P3 производства ООО «Болид» в действующих электрических сетях