

СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОПН С ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

О современных конструкциях, тенденциях, а также о перспективах развития нелинейных ограничителей перенапряжений типа ОПН с полимерной изоляцией наш корреспондент беседовала с Г. А. ГУСЕЙНОВЫМ, заведующим лабораторией факультета комплексной безопасности ГОУ СПб ГПУ.

— По мнению специалистов, за последнее десятилетие наблюдается значительный прогресс в разработке новых видов конструкций ограничителей перенапряжений нелинейных (ОПН). Особенно это касается ОПН с полимерной изоляцией. Гасан Алиевич, пожалуйста, остановитесь подробнее именно на этом виде ограничителей перенапряжений.

— В конце 70-х гг. в ЛПИ им. М. И. Калинина (ныне ГОУ СПб ГПУ) начались активные разработки в области создания ОПН с полимерной изоляцией. В начале 80-х гг. разработанные нами ОПН на напряжение 110 кВ подвешенного исполнения (ОПНп) в количестве 6 фаз были установлены в опытную эксплуатацию на участке ВЛ Мыслинская-1, на подходе к подстанции №37 III высоковольтного района ЛВС «Ленэнерго», г. Сясьстрой (указание главного инженера ЛВС «Ленэнерго» № 201 от 25.09.1981 г.). Впоследствии были изготовлены 3 фазы ОПНп-330 кВ подвешенного исполнения и, согласно Распоряжению № 020 ЛВС «Ленэнерго» от 29.02.1984 г., установлены между ПС «Восточная» и «Северная» на Л-416 и Л-417. Опытные образцы ОПН-110 кВ в опорном исполнении в количестве 6 фаз были установлены на подстанции №15 «Ленэнерго» на основании указания ЛВС «Ленэнерго» №163-м от 25.12.1987 г. С 1993 г. в «Челябэнерго» находятся в эксплуатации ОПН-110 кВ в количестве 15 фаз на ОРУ-110 кВ, ОПН-220 кВ в количестве 6 фаз на ОРУ-220 кВ, в Центральных электрических сетях ОПНп-110 кВ (для защиты нейтрали силовых трансформаторов) в количестве 4 шт. (письмо 1235/1 от 10.02.1993 г.). К настоящему времени предложенные нами ОПН-110 — 750 кВ опорного и подвешенного исполнения успешно эксплуатируются в различных энергосистемах страны и за рубежом («Тюменэнерго», «Дагэнерго», Нижегородская ГРЭС, МЭС Северо-Запада, МЭС Волги, МЭС Урала, МЭС Юга, Калининская АЭС, Южно-Украинская АЭС и др.). За время опытной эксплуатации на защищаемых участках не наблюдалось ни одного перекрытия изоляции ВЛ и высоковольтного оборудования. Изменения активного тока через образцы ОПН не зафиксированы.

Впоследствии были изготовлены низковольтные ОПН-0,22-0,66 кВ и высоковольтные ОПН-3-35 кВ (в том числе и ОПН-3,3 кВ постоянного тока, ОПН-27,5 кВ переменного напряжения для подвижного состава и контактных сетей железных дорог) опорного и подвешенного исполнения. Наряду с преимуществами, получаемыми потребителем в энергосистемах, внедрение новых защитных аппаратов ОПН с полимерной изоляцией обеспечивает значительные технико-экономические выгоды предприятию-изготовителю ОПН: замена фарфора более дешевым материалом, экономия цветных металлов, сокращение производственных площадей, повышение производительности труда. Сравнение технико-экономических данных показало, что стоимость одноколонковых ОПН в полимерных корпусах меньше стоимости ОПН в фарфоровых корпусах, причем эта разница возрастает при увеличении класса напряжения.

СБОРКА КОЛОНКИ ОКСИДНОЦИНКОВЫХ ВАРИСТОРОВ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ НА КОНЦАХ В ИЗОЛЯЦИОННОМ ЭЛЕМЕНТЕ ЖЕСТКОСТИ

Как известно, в процессе сборки ОПН, колонка оксидноцинковых варисторов с металлическими электродами на концах устанавливается в высокопрочном изоляционном корпусе (элемент жесткости), например, в стеклопластиковом цилиндре. При этом, для выхода газов (в случае повреждения варисторов — внутреннее замыкание в процессе эксплуатации) и исключения механических напряжений во внутренней полости аппарата (при естественных термических циклах нагрев-охлаждение) на теле стеклопластикового цилиндра механическим путем выполняются специальные отверстия (перфорация). Эти отверстия заполняются силиконовой резиной при формовании внешнего ребристого защитного покрытия. Количество указанных отверстий и их размеры определяют степень взрывобезопасности конструкции ОПН и снижение механического напряжения во внутренней полости аппарата при естественных термических циклах нагрев-охлаждение. Поэтому при разработке надежного ОПН необходимо достижение разумного компромисса между требованиями взрывобезопасности и механической прочностью конструкции.

— Какие существуют способы установки внутренних элементов в полимерном изоляционном корпусе?

— Их несколько. Намотка на колонку варисторов с металлическими электродами на

концах предварительно пропитанной связующим стеклоленты является наиболее распространенным способом при создании ОПН до 35 кВ. Созданная таким образом колонка устанавливается во внешнюю изоляционную ребристую покрывку из трекинго- и атмосферостойкого кремнийорганического каучука в присутствии герметика. В качестве элемента жесткости колонки применяется пропитанная связующим оплетка из стеклонити. Созданная таким образом колонка устанавливается в ребристую покрывку из силиконового каучука в присутствии герметика. В качестве элемента жесткости колонки варисторов и металлических электродов на концах может применяться термопластичный наполненный полиимид. Сверху на колонку устанавливается ребристая покрывка из силиконового каучука в присутствии герметика. В качестве элемента жесткости колонки пропитанной связующим стеклолентой. После установки внешней ребристой оболочки из силиконового каучука на колонку внутренняя полость конструкции заполняется жидким полимерным теплопроводящим составом на основе каучука. Колонка варисторов с металлическими электродами на концах закрепляется с помощью стеклопластиковых элементов квадратного сечения с поперечной намоткой пропитанной связующим стеклоленты. Внешняя ребристая оболочка из кремнийорганического каучука формируется непосредственно на созданную таким образом колонку. Колонка варисторов и металлические электроды на ее концах могут фиксироваться с помощью стеклопластиковых стержней круглого сечения. Собранный таким образом колонка устанавливается в ребристую покрывку из кремнийорганического каучука, а пространство между колонкой и внутренней полостью покрывки заполняется теплопроводящей полимерной композицией из жидкого каучука. Колонка варисторов с металлическими электродами на концах может устанавливаться и в перфорированную стеклопластиковую трубу. При этом необходимая перфорация на теле стеклопластиковой трубы формируется одновременно в процессе намотки на металлическую оправку пропитанной связующим стеклолентой. Пространство между колонкой и внутренней полостью конструкции, зона перфорации трубы, а также внешний зазор между трубой и покрывкой заполняются теплопроводящей полимерной композицией из жидкого каучука одновременно.

— Как происходит выбор перечисленных способов? Какими принципами руководствуются при этом специалисты?

— Основными критериями выбора из приведенных выше способов являются обеспе-

чение надежного электрического контакта варисторов в колонке между собой и с металлическими электродами на концах колонки (установленных в изоляционном корпусе) при воздействии естественных термических циклов нагрев-охлаждение, достаточной механической прочности и сохранении при этом герметичности за весь период эксплуатации, а также взрывобезопасности конструкции. Анализ исследований показывает, что не все вышеприведенные способы отвечают этим требованиям. Например, в способе изготовления ОПН минимальная перфорация стеклопластиковой трубы не обеспечивает высокой степени взрывобезопасности ОПН в процессе эксплуатации, а увеличение размеров и частоты перфорации на теле стеклопластиковой трубы приводит к потере механической прочности конструкции ОПН. Кроме того, отслоение изоляционного покрытия от стеклопластиковой трубы в зоне перфорированных отверстий при термических циклах нагрев-охлаждение приводит к существенно снижению электрической прочности покрышки ОПН и ее прочности.

— При изготовлении практически любого оборудования обнаруживаются недостатки. Что бы вы отметили в этой связи по ОПН?

— Основным недостатком в способах изготовления ОПН является жесткое соединение элементов ОПН в изоляционном элементе жесткости. Проведенные исследования показывают, что при приложении импульсов тока длительности 8/20 мкс. происходит хрупкое разрушение изоляционного покрытия, а в некоторых случаях и в самих варисторах — варианты 1, 2 [2] (см. далее). Выход из строя в виде хрупкого разрушения обнаружен также у образцов колонок после их погружения в камеру холода при температуре минус 60 °С в течение 30 мин. Это объясняется тем, что возрастание хрупкости полимерного материала (особенно при низких температурах) связано с происходящей при этом затрудненности движения дислокаций из-за значительного повышения предела текучести (вариант 3). Начиная с некоторой температуры, т. н. критической температуры хрупкости (или порога хладноломкости), хрупкое разрушение наступает раньше, чем состояние пластической текучести, особенно на соприкасающихся поверхностях материалов: варистор — изоляционное покрытие, металлические электроды — изоляционное покрытие. Поскольку склонность к появлению хрупкости (или значительное ее возрастание) при низких температурных режимах индивидуальна для каждого материала, разрушения с образованием трещин и сколов происходят как внутри самого материала, так и между отдельными слоями [7, 8].

Колонка варисторов устанавливается в разнообразных вариантах:

1 — колонка варисторов установлена в полимерную композицию из наполненной

эпоксидной смолы; 2 — колонка варисторов установлена в стеклопластиковую трубу (полученную методом протяжки пропитанного связующим однонаправленного стекложгута) в присутствии полимерной композиции из наполненной эпоксидной смолы; 3 — в качестве внешней изоляции применен жесткий наполненный полиимид.

Применение специального буферного слоя с порогом хладноломкости ниже температуры окружающей среды (до минус 60 °С) между соприкасающимися поверхностями колонки варисторов и металлических электродов на концах с изоляционным покрытием на их поверхности (элементом жесткости конструкции), а также установка контактной металлической пружины по высоте колонки полностью решает поставленную задачу. При этом исключается разрушение конструкции при любых допустимых термических циклах нагрев-охлаждение и при приложении импульсов токов. Возможно также получение положительного результата исследования конструкции при обеспечении колонки контактной пружины. Предложенная в работе [5] технология изготовления стеклопластиковых цилиндров (намоткой пропитанного связующим стекложгута на соответствующую оправку) специальной конструкции и нанесение на них ребристого защитного покрытия из трекинго- и атмосферостойкого кремнийорганического каучука не ограничивают длины покрышки, что позволяет изготавливать ОПН подвесного и опорного исполнения без технологических ограничений по высоте. При этом необходимая перфорация на теле стеклопластиковой трубы выполняется не механическим путем (сверлением), а формованием в процессе намотки. Количество необходимых отверстий на теле стеклопластика (степень оголенности поверхности колонки варисторов) достигает максимума. В процессе сборки ОПН колонка варисторов устанавливается в термоусаживаемую трубку [1–4]. Отсутствие адгезии указанной трубки к поверхности варисторов и низкая ее теплопроводность существенно снижает пропускную способность аппарата и надежность работы ОПН в целом. В нескольких работах [9–11] предложен специальный состав полимерной композиции на основе кремнийорганической резины для нанесения на боковую поверхность колонки варисторов с металлическими электродами на концах. При этом при заполнении внутренней полости аппарата эластичной теплопроводящей полимерной композицией на основе низкомолекулярной кремнийорганической резины исключается необходимость применения термоусаживаемой трубки, достигается высокая адгезионная прочность между варисторами и указанной заливочной композицией и тем самым исключается возможность искровых перекрытий по внутренней поверхности стеклопластиковой трубы и по поверхности варисторов. Комплекс воздействий указанных выше фак-

торов (применение стеклопластиковой трубы специальной конструкции с максимальным количеством отверстий), установка контактной пружины на колонку варисторов, применение эластичной полимерной композиции для покрытия поверхности колонок варисторов, а также заполнение внутренней полости ОПН эластичной теплопроводящей полимерной композицией с порогом хладноломкости ниже температуры окружающей среды (до –60 °С) приводят к значительному увеличению пропускной способности варисторов, к тому же повышается взрывобезопасность аппарата, исключается внутреннее механическое напряжение во внутренней полости конструкции при естественных термических циклах нагрев-охлаждение, повышается эксплуатационная надежность ОПН. ●

Беседовала Елена ХОХЛОВА

Литература

1. Г. Н. Александров, Г. А. Гусейнов «Нелинейный ограничитель перенапряжений серии ОПНП». Сборник трудов Второго международного симпозиума по транспортной триботехнике «Транстрибо-2002». — Санкт-Петербург: изд. «Нестор», 2002 г., стр. 152–157.
2. Г. А. Гусейнов и др. «Разработка исходных данных для создания подвесных одноколонок нелинейных ограничителей перенапряжений». Отчет АПИ и ВЭИ 221152, Гос. рег. 81100040, 198329.
3. Г. А. Гусейнов и др. «Ограничение коммутационных и грозовых перенапряжений одноколоночными ограничителями перенапряжений». // «Энергетика», №9, 1986 г.
4. Г. А. Гусейнов и др. «Оптимизация конструкции ОПН для работы в районах с повышенным загрязнением атмосферы». // «Электротехника», №3, 1988 г.
5. Г. А. Гусейнов и др. «Устройство для защиты от перенапряжений». Патент на изобретение 2313842, Н01С 7/12, Н01Т 4/02, 2008 г.
6. В. В. Титков «Проблемы взрывобезопасности полимерных ограничителей перенапряжений». Тезисы докладов на Международной научно-технической конференции «Перенапряжение и надежность эксплуатации электрооборудования», выпуск 5, ПЭИПК, 2006 г.
7. Г. А. Гусейнов и др. «Исследование характеристик нелинейных ограничителей перенапряжений разных классов напряжения». Отчет АПИ 208301, Гос. рег. 0284. 0010216, 1983 г.
8. Г. А. Гусейнов и др. «Исследование возможности создания ограничителей перенапряжений 110 кВ и выше в стеклопластиковых корпусах». Отчет АПИ 205607, Гос. рег. 0287. 0029175, 1983 г.
9. Г. А. Гусейнов и др. «Герметизирующий состав», Авт. свид-во 903991, Н01В 3/46, Б 5, 1982 г.
10. Г. А. Гусейнов и др. «Электроизоляционная композиция», Авт. свид-во 1369565, Н 01В 3/46, 1984 г.
11. Г. А. Гусейнов и др. «Изолятор, ограничитель перенапряжений и способ изготовления полимерной оболочки». Патент 2203514, Н01 В 17/50, Н 01В 19/04, Н 01С 7/12, 2003 г.