

СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОПН С ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Ограничение коммутационных и грозовых перенапряжений в электрических сетях имеет большое значение для обеспечения надежной работы электротехнического оборудования. Широко применяемые в электрических сетях разрядники серий РВС, РВМ, РВМГ не позволяют обеспечить глубокое ограничение перенапряжений из-за наличия искровых промежутков, отделяющих рабочую нелинейную сопротивляемость разрядника от сети при отсутствии перенапряжений.

Одним из путей решения поставленной задачи является создание принципиально новых видов защитных аппаратов — ограничителей перенапряжений нелинейных (ОПН) на основе оксидноцинковых варисторов (ОЦВ) без искровых промежутков. Степень нелинейности их рабочих сопротивлений такова, что они выдерживают длительное воздействие рабочего напряжения, пропуская ток, измеряемый долями миллиампера. При перенапряжениях ток увеличивается до сотен и тысяч ампер, что и приводит к ограничению перенапряжений. Эта особенность ОПН определяет возможность значительно более глубокого ограничения перенапряжений, чем при использовании разрядников.

Современные ОПН позволяют ограничить коммутационные перенапряжения до уровня 1,6–1,8 U ф.н.р. (U ф.н.р. — наибольшее рабочее фазовое напряжение), а грозовые перенапряжения — до уровня 2,0–2,2 U ф.н.р. При таком глубоком ограничении могут быть сокращены изоляционные расстояния на линиях и подстанциях, а надежность работы внутренней изоляции всего высоковольтного оборудования резко возрастает [1].

Первые публикации в области создания ОПН с полимерной изоляцией появились в конце 70-х гг. Так, в ЛПИ им. М. И. Калинина были начаты работы по созданию одноколонковых ОПН с полимерной изоляцией [1–3]. Активное участие в разработке ОПН с полимерной изоляцией принимали ученые и специалисты НИИ «Электрокерамика», отраслевых институтов Минтопэнерго (ВЭИ, ВНИИЭ, НИИПТ, «Энергосетьпроект», СибНИИЭ), ряда вузов страны (ЛПИ им. М. И. Калинина, НЭТИ, МЭИ и др.). Их совместный труд позволил создать широкую программу улучшения технико-экономических показателей сетей высокого, сверхвысокого и ультравысокого клас-

сов напряжения, дал возможность уменьшить габариты ОРУ и ЗРУ, сократить площади, занимаемые ими, снизить объемы строительных и монтажных работ, сэкономить материалы при строительстве и производстве кабельных работ, сократить сроки и стоимость строительства, а во многих случаях уменьшить испытательное напряжение защищаемого электрооборудования.

За последнее десятилетие наблюдается значительный прогресс в разработке новых видов и конструкций ОПН. Существенно увеличена допустимая плотность тока при грозовых и внутренних перенапряжениях: до 800–850 А/кв. см при грозовых и до 40 А/кв. см при коммутационных импульсах [1]. Такие характеристики варисторов при высокой степени нелинейности их вольт-амперной характеристики (ВАХ) обеспечивают возможность значительного уменьшения размеров и массы ОПН, в частности, путем применения варисторов большего диаметра. Такие варисторы заменяют несколько параллельных колонок из варисторов меньшего диаметра. Это в свою очередь дает возможность создания одноколонковых ОПН на все классы напряжения. При одноколонковом исполнении обеспечивается максимальная степень использования объема корпуса ОПН, что определяет значительное снижение их массы по сравнению с многоколонковыми конструкциями. Дальнейшее уменьшение массогабаритных показателей (и тем самым повышение удельных характеристик ОП) возможно при заливке боковой поверхности варисторов полимерной композицией и при замене фарфоровой покрышки на стеклопластиковую с ребристым покрытием из трекинго- и атмосферостойких материалов [2–5].

Стеклопластик имеет высокую механическую прочность и малый удельный вес по сравнению с фарфором. Прочность на изгиб стеклопластиковых цилиндров достаточно высока — составляет около 50 кН/кв. см, удельный вес — около 2 г/кв. см, одномоментная электрическая прочность при переменном напряжении — на уровне 60 кВ/см. При таких технических характеристиках разрушение стеклопластикового корпуса практически невозможно, т. к. необходимая толщина стенки корпуса определяется допуском на изгиб при нормированных горизонтальных нагрузках (примерно 1% на каждый метр высоты корпуса) и составляет 4–12 мм при из-

менении высоты корпуса от 1 до 8 м [1–5]. Кроме того, технология изготовления стеклопластиковых покрышек различного сечения и нанесение на них защитного покрытия не ограничивают длины покрышки, что позволяет изготавливать ОПН подвесного и опорного исполнения без технологических ограничений по высоте.

ОПН подвесного исполнения имеет существенное преимущество перед аппаратами опорного варианта. Корпус этого подвесного аппарата работает только на растяжение и имеет минимальное сечение, что приводит к существенному уменьшению массогабаритных показателей ОПН. Кроме того, подвесной аппарат устанавливается на определенной высоте, при этом паразитные емкости на землю по столбу варисторов минимальны. Это приводит к более равномерному распределению напряжения по высоте аппарата.

ОПН подвесного исполнения могут прикрепляться к проводам воздушных линий непосредственно под поддерживающими гирляндами изоляторов с креплением заземляющего спуска к стойке опоры, к траверсам опор параллельно гирляндам изоляторов либо вместо гирлянд изоляторов при условии обеспечения достаточно высокой несущей способности, что вполне достижимо. ОПН могут также устанавливаться между фазами ЛЭП или подвешиваться к несущим металлоконструкциям подстанций непосредственно вблизи выводов трансформаторов и шунтирующих реакторов, что обеспечивает наиболее глубокий уровень ограничения перенапряжений. При этом площадь поперечного сечения столба варисторов определяется исходя из требуемой и допустимой энергоемкости, с учетом длины импульсов тока и совместной работы ОПН при ограничении всех видов перенапряжений.

Незначительная толщина стеклопластикового цилиндра и возможность повышения теплопроводности заливочной композиции для заполнения внутренней полости ОПН обеспечивают значительное уменьшение теплового сопротивления изоляционного корпуса аппарата и соответственно увеличение его срока службы в эксплуатации.

Стеклопластиковый цилиндр изготавливается методом намотки на соответствующую металлическую оправку стеклонаполнителя, пропитанного связующим, в виде ткани или жгута. Длина стеклопластикового цилиндра, изготовленного на основе стеклоткани,

ограничивается ее шириной (около одного метра). Это в свою очередь определяет количество отдельных модулей (ОПН выше 110 кВ) и препятствует изготовлению таких аппаратов в одноэлементном исполнении. Жгутовая намотка на металлическую оправку соответствующего размера стеклопластикового цилиндра, пропитанного связующим, позволяет изготовить стеклопластиковый цилиндр практически без ограничения по длине и диаметру.

Толщина стенки стеклопластиковых цилиндров не превышает 5–15 мм, обеспечивая необходимую механическую прочность ОПН. Толщина сплошного покрытия из кремнийорганической резины — 5 мм, поэтому диаметр аппарата на межреберной части корпуса немного превышает диаметр варисторов (максимальное превышение — 35 мм). Малый диаметр корпуса определяет относительно низкую его стоимость. Однако при опорном исполнении таких ограничителей большей высоты (330 кВ и выше) необходимо применение изоляционных оттяжек в трех направлениях под углом 120° для обеспечения устойчивости конструкции под воздействием натяжения проводов, ветровых и гололедных нагрузок. Наиболее благоприятны условия работы таких ограничителей при подвесном исполнении, когда корпус ОПН подвергается воздействию только растягивающих усилий, по отношению к которым полимерные корпуса имеют большие запасы прочности.

Все ограничители до 330 кВ выпускаются в цельном корпусе высотой около трех метров. Ограничители на более высокие напряжения (500 кВ и выше) выпускаются сборными из двух и более модулей. Каждый модуль имеет необходимую высоту, полностью герметизирован, транспортируется и складывается отдельно. Сборка ОПН из отдельных модулей производится на месте установки. При этом соединительным элементом является цилиндрическая муфта с внутренней резьбой, которая наворачивается на стыкуемые оконцеватели модулей. Для обеспечения электрического соединения модулей предусмотрен розеточный контакт, надежно изолированный от металлического оконцевателя. Поэтому токи утечки по поверхности корпусов ОПН при увлажнении их поверхности не могут попасть в столб варисторов, что опасно в связи с возможным перегревом варисторов и преждевременным повреждением.

Выравнивание распределения напряжения вдоль столба варисторов при рабочем напряжении производится с помощью тороидальных экранов: большого диаметра — со стороны высокого напряжения и малого диаметра — со стороны заземленного конца. Этот способ значительно дешевле способа выравнивания распределения напряжения с помощью шунтирующих варисторов керамических конденсаторов, применяемых в ряде конструкций ОПН. Вместе с

тем он обеспечивает значительно большую надежность работы ОПН, поскольку полностью исключает использование конденсаторов, надежность работы которых не высока [1–5]. В промышленности выпускаются ограничители перенапряжений нескольких типоразмеров на каждый класс напряжения. Эти типоразмеры отличаются длительностью допустимым рабочим напряжением и расчетным током коммутационных перенапряжений. Основной тип ОПН имеет наибольшее длительно допустимое напряжение, равное наибольшему рабочему напряжению сети. Дополнительный тип ОПН допускает длительное воздействие напряжения (на 5% большее), что определяется особенностями условий эксплуатации участков сети. Однако следует иметь в виду, что повышение длительно допустимого напряжения промышленной частоты приводит к повышению уровня перенапряжений, ограничиваемых ОПН. Поэтому без специального обоснования не следует применять этот дополнительный тип аппарата [1–5].

Различие расчетного тока коммутационных перенапряжений определяется, как правило, местом установки ОПН. При установке аппарата на выводах (вблизи выводов) силовых трансформаторов, реакторов и измерительных трансформаторов напряжения целесообразно ориентироваться на облегченное их исполнение, поскольку в этих условиях воздействие перенапряжений воспринимается одновременно несколькими ограничителями. Напротив, при установке ограничителей на шинах подстанций на входе линий на подстанцию следует ориентироваться на исполнение повышенной пропускной способности. При этом следует учитывать, что повышение пропускной способности ОПН достигается за счет применения варисторов большего диаметра, стоимость которых увеличивается пропорционально квадрату диаметра варисторов (и даже значительно быстрее, что связано с технологическими трудностями производства варисторов большого диаметра) [1–5].

Полимерная крышка позволяет не только значительно снизить вес ОПН, но и значительно облегчает условия работы варисторов в нем, что, в конечном счете, значительно повышает надежность работы аппарата. Дело в том, что кремнийорганическая резина по своим технологическим и прочностным свойствам (как механическим, так и электрическим) позволяет создавать ребра малой толщины (около 7 мм в основании и 2 мм у конца). Поэтому необходимую длину пути тока утечки можно обеспечить большим количеством ребер с небольшим вылетом. При этом повышается эффективность использования длины пути тока утечки и значительно уменьшается напряжение на подсушенном межреберном участке крышки. Уменьшение напряжения на

подсушенных зонах поверхности крышки приводит к уменьшению дополнительных токов смещения, протекающих через варисторы и вызывающих дополнительный разогрев и ускоренное старение. Поэтому полимерные крышки определяют значительное преимущество ОПН перед ограничителями с фарфоровыми крышками. В связи с этим не требуется увеличения длины пути тока утечки ОПН с полимерными крышками по сравнению с рекомендуемыми для высоковольтного оборудования, как это принято для ОПН в фарфоровых корпусах. Высокая механическая прочность и малая масса ОПН в полимерных крышках позволяет изготавливать их в подвесном и опорном исполнении и устанавливать их не только на подстанциях, но и непосредственно на линиях, и не только между фазой и землей, но и между фазами. Последнее обстоятельство обеспечивает возможность ограничения междуфазовых перенапряжений до того уровня, что и перенапряжений относительно земли. При этом площадь поперечного сечения столба варисторов определяется исходя из требуемой и допустимой энергоемкости, с учетом длины импульсов тока и совместной работы ОПН при ограничении всех видов перенапряжений. Высокие защитные характеристики, простота и надежность конструкции, значительное улучшение массогабаритных показателей обеспечивают технически рациональные и экономически эффективные решения ряда проблем передачи и распределения электрической энергии, в том числе значительное сокращение габаритов линии электропередачи и подстанции, а также уменьшение испытательных напряжений высоковольтных аппаратов и трансформаторов. ●

Г. А. ГУСЕЙНОВ, зав. лабораторией факультета комплексной безопасности ГОУ СПб ГПУ

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.
2. Г. А. Гусейнов и др. «Разработка исходных данных для создания подвесных одноколонковых нелинейных ограничителей перенапряжений». Отчет ЛПИ и ВЭИ 221152, Гос. рег. 81100040, 198329.
3. Г. А. Гусейнов и др. «Ограничение коммутационных и грозовых перенапряжений одноколонковыми 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, H01C 7/12, H01T 4/02, 2008 г.