

НЕЛИНЕЙНЫЕ ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ. НАЗНАЧЕНИЕ. КОНСТРУКЦИЯ. ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ

АВТОРЫ:

КУЗЬМИЧЕВА К. И.,
К. Т. Н.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Существенную роль в продлении срока службы электрооборудования, в первую очередь трансформаторов и реакторов, играет снижение грозового и коммутационного перенапряжения. Это достигается применением аппаратов защиты. При создании электропередачи высокого (ВН) и сверхвысокого (СВН) напряжения основным защитным аппаратом был вентильный разрядник. В настоящее время вентильные разрядники

заменяются нелинейными ограничителями перенапряжения (ОПН). Последние являются аппаратами, предназначенными для защиты изоляции высоковольтного оборудования от грозового и коммутационного перенапряжения. ОПН представляет собой ряд последовательно соединенных нелинейных сопротивлений (варисторов), без каких-либо искровых промежутков, заключенных в единый изоляционный корпус (фарфор или полимер).



ОПН – основной аппарат для защиты электрооборудования электрических сетей от грозовых и коммутационных перенапряжений

Механизм защитного действия ОПН обусловлен сильной резко выраженной нелинейностью вольт-амперной характеристики варистора. В нормальном режиме работы сети через варисторы ОПН протекает ток порядка долей миллиампер. Однако при возникновении перенапряжения в сети вследствие высокой нелинейности вольт-амперной характеристики через ОПН идет ток до десятков кА. Тем самым величина перенапряжения снижается до уровня, безопасного для изоляции высоковольтного оборудования. В современных ОПН широко используются варисторы на основе окиси цинка (металлооксидные варисторы), что обусловлено, во-первых, относительной простотой их изготовления и, во-вторых, хорошей способностью окиси цинка поглощать высокоэнергетические импульсы тока. Варисторы получают в результате высокотемпературного обжига металлооксидной керамики, состоящей из окиси цинка с добавлением некоторого количества

окислов других металлов, например, висмута, сурьмы, кобальта, марганца и т. п.

Большинство отечественных и зарубежных изготовителей ОПН используют варисторы фирмы EPCOS (рис. 1). Варисторы этого производителя нестареющие, т. е. не изменяют свои характеристики в течение всего срока службы и обладают хорошими защитными характеристиками. Каждый варистор имеет маркировку, в которой указано: класс разряда линии (пропускная способность), допустимое напряжение, характеризующее наибольшее рабочее напряжение, остающееся при номинальном разрядном токе. Такая маркировка существенно упрощает формирование столба варисторов с требуемыми характеристиками.

Большинство крупных фирм, производящих ОПН, используют одни и те же конструкторские решения. На рис. 2 приведена конструкция модуля ОПН фирмы АВВ. Ограничители высокого напряжения могут состоять из нескольких модулей. ОПН 330 кВ и выше имеют экранное кольцо для выравнивания напряжения по элементам конструкции. Модули ОПН могут соединяться последовательно и параллельно между собой, образуя одноколоночную и многоколоночную конструкцию. Например, ограничители 330–750 кВ фирмы «Феникс» и ограничители фирмы TUCO Electronics имеют схожую многоколоночную конструкцию.

Первые отечественные ограничители были разработаны и созданы еще в конце 70-х годов прошлого столетия в НИИ «Электрокерамика» и на Корниловском фарфоровом заводе (КФЗ). Ограничители, выпускавшиеся заводом, оснащались варисторами малого диаметра, производившимися на КФЗ по собственной рецептуре и технологии. Поскольку пропускная способность варисторов определяется площадью



Рис. 1. Варистор EPCOS

ИНФОРМАЦИЯ

ВАРИСТОР

Варистор (англ. *variable resistor*) – полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление (проводимость) которого нелинейно зависит от приложенного напряжения, то есть обладающий нелинейной симметричной вольт-амперной характеристикой и имеющий два вывода.

Благодаря отсутствию сопровождающих токов при скачкообразном изменении приложенного напряжения варисторы являются основным элементом для производства устройств защиты от импульсных перенапряжений.

Конструктивно варисторы выполняются обычно в виде дисков, таблеток, стержней; существуют бусиновые и пленочные варисторы. Широкое распространение получили стержневые подстроечные варисторы с подвижным контактом.

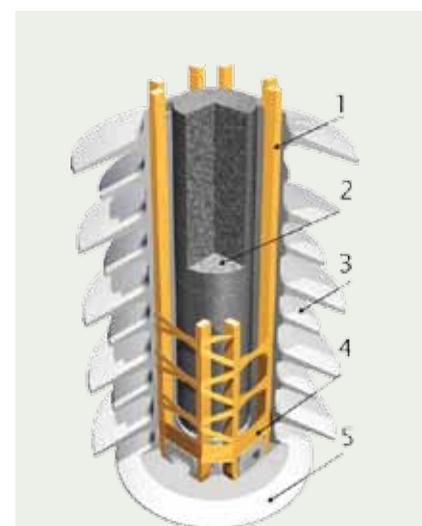


Рис. 2. Конструкция модуля ОПН серии EXLIM
1 – стеклоэпоксидный цилиндр, обеспечивающий требуемую механическую прочность
2 – варисторы
3 – полимерная покрывка
4 – защитная лента
5 – фланец

Рис. 3.
Преимуществами ОПН являются возможность ограничения перенапряжений, в том числе междуфазных, малые габариты, позволяющие использовать их в качестве опорных изоляционных колонн, большая пропускная способность



поперечного сечения и градиентом напряжения, то для получения требуемой пропускной способности защитного аппарата были применены параллельные колонки варисторов. Так, ОПН-110 имел 4 параллельные колонки варисторов, ограничители 500 и 750 кВ имели 18 и 27 параллельных колонок соответственно.

В конце 80-х годов ведущими зарубежными фирмами (ABB, Siemens и др.) были разработаны технологии изготовления варисторов, позволяющие создавать варисторы существенно большего диаметра и высокой пропускной способности. Это дало возможность производить одноколонковые ограничители с высокой пропускной способностью на все классы напряжения вплоть до 750 кВ. В результате многолетних исследований и испытаний была создана методика квалификационных и приемо-сдаточных испытаний варисторов и ОПН в сборе, вошедшая в стандарт МЭК 60099-4 [1]. Рекомендации МЭК позволяют обеспечить высокую надежность работы

защитного аппарата и исключить эксплуатационный контроль на всем сроке эксплуатации. Особенно важно для эксплуатации нормирование тока взрывобезопасности и требование проверки герметичности ОПН при приемо-сдаточных испытаниях. Испытание на взрывобезопасность гарантирует отсутствие повреждения оборудования подстанции (ПС) при взрывном разрушении ОПН. В то время как проверка на герметичность предотвращает проникновение влаги внутрь ОПН, которая способна спровоцировать перекрытие по поверхности стеклопластикового цилиндра даже при рабочем напряжении.

В 2007 году был введен в действие отечественный ГОСТ Р 52725 [2] на ОПН, который учитывает практически все рекомендации стандарта МЭК 60099-4. Строгое соблюдение изготовителями ОПН требований этих стандартов гарантирует надежность работы как самого ОПН, так и всего электрооборудования ПС. Известно, что эффектив-

ная защита от перенапряжения электрооборудования ПС является необходимым элементом обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей. Именно поэтому новое Положение о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС» рекомендует применение ОПН в сетях 6–750 кВ и отказ от применения устаревших вентильных разрядников.

В настоящее время в энергосистемах РФ устанавливаются ограничители различных отечественных и зарубежных фирм. Некоторые отечественные ограничители, изготовленные до 2007 г., не соответствовали требованиям МЭК. Например, КФЗ базировался на старящихся варисторах, т. е. варисторах, изменяющих свои характеристики в процессе эксплуатации. Также отсутствовали клапаны взрывобезопасности на ОПН 110–220 кВ. Неудовлетворительной была герметичность ОПН. Все эти недостатки привели к тому, что в настоящее время ОПН производства КФЗ сняты с эксплуатации.

В начале 90-х годов прошлого столетия появилось большое число отечественных изготовителей ОПН. Однако отсутствие должного контроля изготовления и соответствия квалификационных и приемо-сдаточных испытаний требованиям МЭК приводило к снижению надежности работы защитных аппаратов.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Обеспечение работы электрооборудования и сети напрямую зависит от надежности работы защитных

аппаратов. Поэтому необходимо проанализировать повреждаемость ОПН, определить типы ОПН с наибольшей повреждаемостью и их изготовителей. Был проанализирован весь массив официальных актов технологических нарушений за период 1998–2007 годы. Оказалось, что по актам технологических нарушений был отмечен 101 случай повреждения нелинейных ограничителей перенапряжения (ОПН). Структура была следующей:

- 66 случаев повреждения ОПН были на напряжение 110 кВ;
- 26 случаев повреждения ОПН были на напряжение 220 кВ;
- 2 случая повреждения ОПН были на напряжение 330 кВ;
- 7 случаев повреждения ОПН были на напряжение 500 кВ.

Кроме этого, были зафиксированы 2 случая повреждения ограничителей перенапряжения, включенных в разземленные нейтрали трансформаторов (ОПНН 110 кВ). Оба случая произошли при неполнофазных режимах в сети. К сожалению, производители этих ОПН не были определены в имеющихся актах технологических нарушений.

Данные по основным причинам повреждения ОПН приведены в таблице 1. Наибольшее число повреждений (20) приходится на КФЗ. Остальные производители имели единичные повреждения (1–2).

Все повреждения ОПН можно разделить на повреждения из-за дефектов изготовления и повреждения из-за ошибок эксплуатации. Причем основной причиной повреждения ОПН всегда является разгерметизация. Анализ статистики поврежде-

ПРИЧИНЫ АВАРИЙ ОПН РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ НАПРЯЖЕНИЯ, УСТАНОВЛЕННЫХ ПО СХЕМЕ «ФАЗА-ЗЕМЛЯ»

Причина повреждения	Число аварий ОПН суммарное за 1997-2007 годы				Всего
	ОПН 110 кВ	ОПН 220 кВ	ОПН 330 кВ	ОПН 500 кВ	
Разгерметизация	45	15		3	63
Излом контактных пластин		6			6
Трещина нижнего фланца		1	1		2
Ошибки эксплуатации	5	2			7
Воздействие стихийных явлений	4				4
Дефект конструкции	3	1	1	1	6
Повреждения при коммутации		1		1	2
Повреждения при грозе	4				4
Нерасчетный режим			2		2
Посторонние воздействия	4				4
Причина не установлена	1				1
ИТОГО	66	26	2	7	101

Таблица 1

ИНФОРМАЦИЯ

ОГРАНИЧИТЕЛЬ
ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ
НЕЛИНЕЙНЫЙ (ОПН)

Аппарат, предназначенный для защиты изоляции электрооборудования от грозового и коммутационного перенапряжения. Представляет собой последовательно соединенные металлооксидные варисторы, заключенные в изоляционный корпус. Защитное действие ОПН объясняется нелинейной вольт-амперной характеристикой варисторов, сопротивление которых меняется от нескольких порядков мегаом при рабочем напряжении до нескольких ом на волне перенапряжения. Активная часть ОПН состоит из металлооксидных нелинейных варисторов, изготавливаемых по керамической технологии из окиси цинка (ZnO) с небольшими добавками окислов других металлов. Варисторы впрессовываются в оболочку из полимерных материалов, которая обеспечивает механическую прочность и изоляционные характеристики. Полимерный корпус обеспечивает надежную защиту от внешних воздействий на протяжении всего срока службы. Такая конструкция отлично зарекомендовала себя во всех условиях эксплуатации, включая районы с высоким уровнем атмосферных загрязнений.

ний ОПН показывает, что главной причиной разгерметизации является чаще всего дефект изготовления уплотнительной прокладки, что приводит к появлению влаги во внутреннем объеме ОПН и образованию конденсата на внутренних стенках стеклопластикового цилиндра, в который помещены варисторы. Более того, если ОПН не оснащен взрывопредохранительным устройством, то повреждение происходит со взрывом ОПН. Наблюдалось также случаи разрушения ОПН под рабочим напряжением и при отсутствии каких-либо коммутаций.

Как известно, стандарт МЭК 60099-4 [1] и ГОСТ Р 52725 [2] подразумевают обязательное проведение испытаний на герметичность ОПН с газовыми полостями. Таковыми ОПН являются ограничители с фарфоровой внешней изоляцией и некоторые ограничители, имеющие полимерную изоляцию. Частая разгерметизация ОПН в процессе эксплуатации обычно свидетельствует о том, что производители не провели необходимые испытания на герметичность ОПН при приемосдаточных работах. Проведенный анализ повреждений ОПН показал, что конструктивным недостатком защитного аппарата является возможный излом контактных пластин при ветровых нагрузках. Такое повреждение характерно для ограничителей 220 кВ производства КФЗ.

Повреждения при коммутациях и грозовых воздействиях также говорят о дефектах конструкции, поскольку воздействия при грозовых и коммутационных перенапряжениях ниже нормированных изготовителями. Кроме того, при анализе повреждений не было отмечено случаев прожогов или трещин варисторов, что говорит об отсутствии теплового пробоя варисторов.

К повреждениям при эксплуатации следует отнести также поврежде-

ния из-за нерасчетных режимов, которые могли быть следствием неадекватной реакции релейной защиты. Наблюдалось повреждение ОПН из-за разрушения и взрывов оборудования ПС (масляных выключателей и ТН), находящегося вблизи защитного аппарата. Отмечались также случаи падения деревьев. Последнее свидетельствует о недостаточной расчистке и подготовке трассы ВЛ. Был случай, когда ошибочно к фазе был подключен ОПНН-110, предназначенный для защиты разземленной нейтрали трансформатора и имеющий более низкое по сравнению с фазным ОПН наибольшее рабочее напряжение.

Ряд повреждений произошел по вине эксплуатационного персонала. Так, не был отключен ограничитель, у которого при тепловизионном контроле была обнаружена неравномерность нагрева варисторов, что свидетельствовало о проникновении влаги внутрь корпуса ОПН. Следует отметить, что срок службы ограничителей гарантируется изготовителем не менее чем 25–30 лет. Однако большинство зафиксированных повреждений происходит на ОПН, находящихся в эксплуатации не более 5–10 лет. На рис. 4 приведена гистограмма числа поврежденных ОПН от числа проработанных лет.

Как видно из рис. 4, все поврежденные ограничители имели срок эксплуатации существенно меньше нормированного изготовителем. Нормативный срок эксплуатации ограничителей всех отечественных и зарубежных производителей составляет 25–30 лет. Тем не менее 56% зафиксированных случаев повреждений ОПН произошли на аппаратах, эксплуатируемых менее 5 лет.

Следует отметить также, что акты технологических нарушений составляются обычно крайне неудовлетворительно, что порождает дополнительные проблемы. Так, в 99 случаях

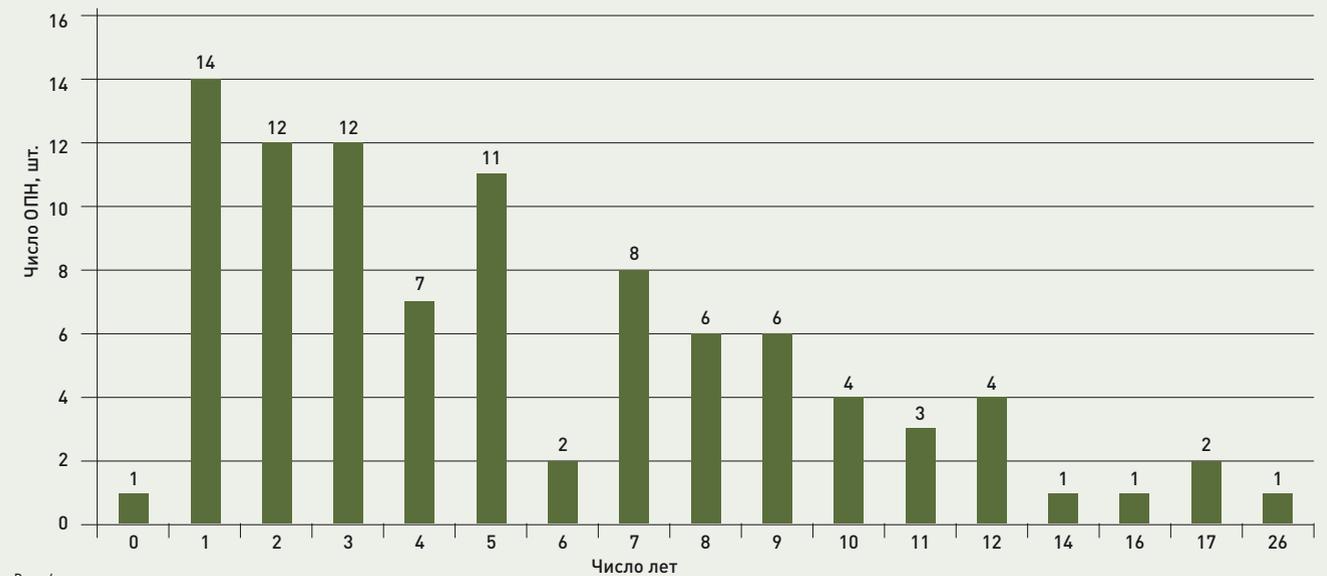
ГИСТОГРАММА ЧИСЛА ПОВРЕЖДЕННЫХ ОПН ОТ ЧИСЛА
ПРОРАБОТАННЫХ ЛЕТ

Рис. 4

из 101 не приведены конкретные типы ОПН. В 51 случае не приведены изготовители ОПН. Часто в графе «Изготовитель» появляется совершенно непонятная запись «прочие заводы». Хотя все эти данные имеются в эксплуатирующихся организациях в сопроводительных документах (паспортах, инструкциях по монтажу и эксплуатации и на шильдике аппарата).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ, приведенный выше, позволяет сделать вывод, что следует продолжить статистический анализ аварийности ОПН всех классов напряжения. При этом в актах технологических нарушений обязательно необходимо указывать конкретные типы ОПН и его изготовителя, срок эксплуатации до повреждения либо год изготовления ОПН, место установки (трансформатор, реактор, сборные шины, ВЛ), режим работы сети, при котором

произошло повреждение (рабочее напряжение, наличие переключений в момент повреждения и коротких замыканий), повреждения различных элементов ОПН, например, состояние варисторов (их прожог, излом и т. п.) и изоляции (обугливание, следы перекрытия и т. д.).

Для повышения надежности работы ОПН при аттестации ограничителей напряжения, используемых на предприятиях ОАО «ФСК ЕЭС», изготовители должны представлять протоколы квалификационных и приемосдаточных испытаний, предусмотренных ГОСТ Р 52725 и МЭК 60099-4, и обязательно протоколы испытаний на герметичность. В паспорте на ОПН должно быть указано, что аппарат прошел испытания на герметичность.

Необходимо также существенно повысить ответственность эксплуатационного персонала за составление актов технологического обследования, поскольку качественный

анализ причин повреждения любого оборудования, включая ОПН, является одним из элементов предупреждения аварийности и обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. МЭК 60099-4:2004. Разрядники для защиты от перенапряжений. Часть 4. Металлооксидные разрядники без искровых промежутков для защиты от перенапряжений сетей переменного тока.
2. ГОСТ Р 52725-2007. Ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ. Общие технические условия.
2. Кренгауз Э. Б., Розет В. Е., Зилес Л. Д., Кузьмичева К. И. Анализ эксплуатационной надежности распределительных устройств 110 – 750 кВ, защищенных ограничителями перенапряжений. В сб. Эффективность и надежность нелинейных ограничителей перенапряжений. НИИПТ, 1987, с. 5 – 10.