

Особенности производства защитных аппаратов для ВЛ 35–500 кВ

Сергей ЖУРАВЛЁВ,

к.т.н., заместитель директора по производству ЗАО «Полимер-Аппарат»

В мае 2012 года в Санкт-Петербурге состоялась Третья Российская конференция по молниезащите. Как и на первых двух конференциях, здесь широко обсуждалась молниезащита воздушных линий электропередач с помощью аппаратов, собранных на основе оксидно-цинковых варисторов — ограничителей перенапряжений и линейных разрядников. Приятно отметить, что по сравнению с первой конференцией (г. Новосибирск, 2008 г.), где в основном обсуждались методики определения параметров защитных аппаратов, проблемы установки и целесообразность данного способа молниезащиты, появилась возможность оценить реальный опыт применения защитных аппаратов на ВЛ.

За пять неполных лет в Российской Федерации защитными аппаратами были оснащены линии всех классов напряжения от 35 до 500 кВ. При этом использовались как ограничители перенапряжений, непосредственно подключённые к фазному проводу, так и ОПН с внешним искровым промежутком — линейные разрядники. Защитные аппараты устанавливались на опорах ВЛ различными способами: закреплялись на траверсе опоры и гибким проводником подключались к проводу, подвешивались непосредственно на фазные провода, устанавливались на дополнительные металлоконструкции и т.д.

Основные вопросы, задаваемые представителям ЗАО «Полимер-Аппарат» как производителям защитных аппаратов, следующие:

- каково количество уже установленных защитных аппаратов;
- какова продолжительность их эксплуатации;
- сколько защитных аппаратов вышло из строя.

Эффективность же защиты ВЛ ограничителями перенапряжений или линейными разрядниками уже принимается как факт и подтверждается на всех выполненных объектах.

Конкретные примеры реализованных проектов молниезащиты с применением продукции ЗАО «Полимер-Аппарат» описаны в статье П. Журавлёва «Защита ВЛ от грозы: история, опыт, перспективы»*.

В настоящее время опыт отдельных проектов действительно невелик. Например, двухцепная ВЛ 110 кВ «Шепси — Туапсе тяг.» эксплуатируется с ограничителями перенапряжений на верхних фазах и без грозозащитного троса уже с 2007 года, но длина этой линии всего 10 км. А ВЛ 330 кВ «Баксан — Кисловодск» и «Черкесск—Кисловодск» общей протяжённостью 138 км эксплуатируется с ограничителями перенапряжений всего 1 год.

Попробуем суммировать небольшой опыт, полученный на отдельных воздушных линиях. За неимением достоверной информации в данной статье рассматривается опыт эксплуатации только защитных аппаратов производства ЗАО «Полимер-Аппарат». С 2007 по 2012 гг. компания выполнила поставку защитных аппаратов на 18 объектов строительства и реконструкции воздушных линий электропередач классов напряжения 35–500 кВ. Суммарный опыт эксплуатации составляет 10 тысяч лет. То есть можно представить, что в РФ существует одна воздушная линия протяжённостью 40 км и опыт эксплуатации этой линии — 25 лет. При этом повреждений защитных аппаратов, установленных на каждой опоре и каждой фазе данной линии, не зафиксировано.

Ограничитель перенапряжений на ВЛ 330 кВ



* Журнал «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение», № 6 (9), ноябрь-декабрь 2011 г., с. 98–101.

Линейные разрядники на ВЛ 220 кВ



Естественно, можно возразить, что некорректно сравнивать большое число практически новых аппаратов с малым числом аппаратов, проработавших практически весь срок службы. Однако опыт применения подстанционных ограничителей перенапряжений производства ЗАО «Полимер-Аппарат» (с 2003 года выпущено около 50000 аппаратов классов 35–750 кВ) может как-то оправдать приведенное сравнение.

При изготовлении защитных аппаратов для воздушных линий производитель должен обеспечивать их соответствие особым требованиям эксплуатации. При использовании ОПН на ВЛ ключевую роль играет надёжность самих защитных аппаратов. Если на обычной линии установлено только 6 защитных аппаратов (на подстанциях), то на ВЛ, защищённой ОПН, их может быть несколько сотен. Соответственно, чтобы сохранить надёжность ВЛ на том же уровне, надёжность ОПН должна быть на два порядка выше обычной, что возможно только при применении современных технологий массового производства, снижающего до минимума использование ручного труда и, соответственно, зависимость от человеческого фактора. Фактически в России только два-три производителя отвечают указанным требованиям.

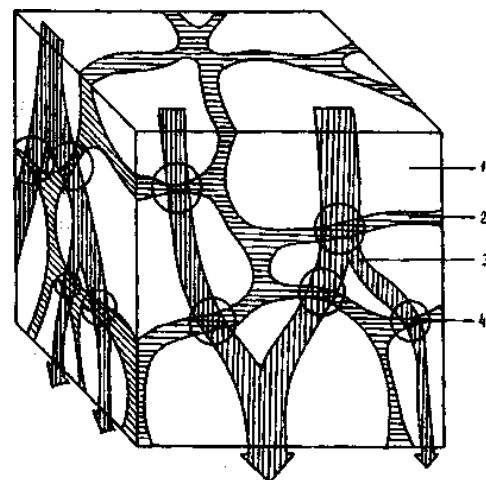
Кроме того, производитель должен обладать достаточными ресурсами, чтобы обеспечить поставку большого объёма продукции в короткие сроки. Это касается как производительности оборудования, так и наличия компонентов для производства защитных аппаратов. Материалы, используемые при производстве защитных аппаратов — металл, стекловолокно, полимерные смолы и даже электротехнический силикон, — российский изготовитель может получать из разных источников, не меняя при этом качества конечной продукции.

Основным же компонентом защитных аппаратов являются оксидно-цинковые варисторы. На российском рынке представлено большое количество производителей оксидно-цинковой керамики, в том числе и отечественных, но отвечают требованиям массового производства качественной продукции только два производителя.

Высоконелинейные резисторы (варисторы), основу которых составляет оксид цинка с добавлением оксидов некоторых других металлов, впервые были изготовлены в 50-х годах и ограниченно применялись в радиотехнике. В конце 60-х — начале 70-х годов технология синтеза оксидно-цинковых композиций быстро совершенствовалась, и в нашей стране и Японии практически одновременно были произведены варисторы, способные работать в силовых аппаратах.

Специфика производства оксидно-цинковых варисторов (ОЦВ) состоит в необходимости применения химически чистого исходного материала, соблюдения требований чистоты в процессе производства и тщательности перемешивания компонентов, близких к требованиям, используемым при производстве полупроводников [1]. Основным компонент сырья — оксид цинка ZnO — является полупроводником n -типа с удельным объёмным сопротивлением 0,1–1,0 Ом·см. Обжиг кристаллов ZnO в окислительной среде при температуре 300 °С приводит к уменьшению их проводимости на порядок и появлению нелинейных свойств

Рис. Структура материала варисторов



- 1 — кристаллы оксида цинка (p -полупроводник);
- 2 — межкристаллические прослойки (n -полупроводник);
- 3 — линии тока;
- 4 — активные зоны (p - n -переходов).



Производство варисторов ЗАО «Полимер-Аппарат»

(коэффициент нелинейности ВАХ $\alpha = 0,3-0,5$). Для резкого уменьшения α варисторов оксид цинка смешивают с незначительным количеством оксидов других металлов: висмута (Bi_2O_3), кобальта (CoO , Co_2O_3), марганца (MnO), сурьмы (Sb_2O_3). После перемешивания (как правило, мокрого, в шаровых мельницах) проводят формовку (прессование) ОЦВ при давлении 30–40 МПа и их обжиг в силитовых электропечах в присутствии кислорода при температуре 1200–1350 °С.

Микроструктура полученных таким образом варисторов (рис.) включает в себя кристаллы оксида цинка 1 (полупроводник n-типа) размером 1–10 мкм, окружённые прослойкой 2 толщиной 0,1–1,0 мкм (полупроводник р-типа). Удельное объемное сопротивление кристаллов ZnO составляет 1–10 Ом·м, межкристаллической прослойки — 10^{12} – 10^{13} Ом·м. Таким образом, варисторы на основе ZnO представляют собой систему последовательно и параллельно включённых р-п переходов, которые и определяют их нелинейные свойства.

В Российской Федерации до 2000 года варисторы серийно изготавливались на Корниловском фарфоровом заводе. Также существовали и существуют несколько небольших варисторных производств. Непосредственное участие в производстве варисторов принимали также научные сотрудники ЗАО «Полимер-Аппарат». Но до настоящего времени технологий и оборудования, по-

зволяющих обеспечить стабильное качество варисторов, создать не удалось.

В августе текущего года в ЗАО «Полимер-Аппарат» запущен новый цех по производству металло-оксидных варисторов. Производство создано на принципиально новом для российских производителей варисторов технологическом уровне. В производстве варисторов отсутствуют так привычные отечественным производителям шаровые мельницы, грануляторы, котлы для выпаривания воды из шликера, увлажнители и т.д.

С помощью зарубежных специалистов установлена автоматическая линия производительностью 0,9 тонны варисторов в сутки. Линия включает в себя систему подготовки шликера, распылительную сушилку для получения гранулята, гидравлические пресс-автоматы для прессования варисторов, туннельную печь для обжига, шлифовальную установку, участки металлизации и высоковольтных испытаний варисторов.

Внедрение самой современной технологии позволило получить варисторы стабильного качества, чего так не хватало отечественным изготовителям, и вплотную приблизиться по качественным показателям к ведущим мировым компаниям-производителям. На предприятии реализован 100% выходной контроль основных электрических характеристик варисторов. Результаты испытаний постоянно подтверждают, что варисторы обладают повышенной энергоёмкостью и стойкостью к импульсам тока, характерным для прямых ударов молнии, что особо важно при комплектации ОПН, работающих на воздушных линиях.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 А.И. Афанасьев, И.М. Богатенков. *Высоковольтные испытания электрических аппаратов. Часть 1. Испытания нелинейных ограничителей перенапряжения. Учеб. пособие для вузов. Санкт-Петербург. Издательство СПбГТУ. 1998 г.*



Туннельная печь для обжига оксидно-цинковой керамики