

# Смена караула

## В ограничителях перенапряжений полимер приходит на смену фарфору

*Торбьёрн Шютт, Ханс Э. Г. Глеймар*

"Постоянный охранник" - вот, пожалуй, наиболее удачное определение функции ограничителя перенапряжений (ОПН). К сожалению, оно ничего не говорит о тех качествах, которые нужны ОПН для того, чтобы выполнять эту функцию и не испытывать при этом повреждений. Предназначенный для защиты элементов энергосетей от бросков напряжения, вызываемых грозовыми разрядами и коммутационными процессами, сам ОПН не защищен от воздействия землетрясений и покушений хулиганов. Поэтому традиционный фарфор вряд ли можно отнести к наиболее подходящим материалам для корпусов ОПН. На самом деле так оно и есть.

ОПН PEXLIM компании АББ с полимерным корпусом не только свободен от недостатков фарфорового корпуса, но и имеет ряд других преимуществ: он в два с лишним раза легче, более долговечен, обладает водоотталкивающими свойствами, стоек к огню, не подвержен старению. PEXLIM обеспечивает также более эффективную защиту "компактных" ЛЭП, и его легче применять в тех случаях, когда имеются проблемы с заземлением. Кроме того, он открывает новые возможности применения, например, в ЛЭП сверхвысокого напряжения.

ОПН представляют собой устройства защиты, которые быстро и эффективно подавляют броски напряжения в линиях электропередачи, вызванные грозовыми разрядами, коммутационными операциями в сетях и другими нестационарными процессами. При отсутствии ОПН такие броски могут повредить дорогостоящее оборудование высоковольтных сетей. Поэтому электроэнергетические компании предусмотрительно устанавливают в своих сетях защитные ОПН.

### Эволюция ОПН

Вначале ОПН представлял собой обыкновенный воздушный промежуток между двумя электродами. Однако пробивное напряжение такого ОПН неизбежно зависело от погодных условий. Поэтому были созданы "традицион-

ные" ОПН, состоящие из искрового промежутка и включенного последовательно с ним нелинейного резистора из карборунда (SiC), которые заключались в фарфоровый корпус.

Эти первые устройства давно уступили по своим характеристикам ОПН нового поколения, в которых вместо искрового промежутка используются последовательно включенные вари-

сторы на основе оксида цинка (ZnO), отличающиеся высокой нелинейностью. Каждый варистор представляет собой плотный керамический блок из ZnO с небольшими добавками оксидов других металлов. ZnO и технология изготовления варисторов из этого материала хорошо зарекомендовали себя в реальных условиях эксплуатации и отлично выполняют свою функцию.

### Бурный рост производства

Чтобы удовлетворить спрос, вызванный отказом заказчиков от привычных решений, компании АББ пришлось удвоить мощности по производству ОПН PEXLIM и перенастроить производственные и деловые процессы. Некоторые страны сегодня заказывают ОПН исключительно с полимерными корпусами.



Корпуса таких ОПН было принято изготавливать из фарфора. Однако в фарфоре могут появляться трещины, к тому же фарфоровые изделия нередко становятся жертвами хулиганов.

По этой и ряду других причин изготовители давно занялись поисками возможности замены фарфора на более безопасный и технологичный материал.

Недавно компания АББ приступила к производству новых ОПН взамен фарфоровых. Эти ОПН (получившие название PEXLIM, что расшифровывается как Polymer EXcellent LIMiter - "превосходный полимерный ограничитель") снабжены специальным корпусом из полимерного материала - кремнийорганического каучука. Используемые в них блоки из оксида цинка ничем не отличаются от блоков, применявшихся в ОПН с керамическими корпусами.

#### Расчет на пробой

Благодаря сочетанию полупроводящих и изолирующих свойств столбики из варисторов обеспечивают защиту высоковольтных сетей от бросков напряжения. В непрерывном режиме при номинальном высоком напряжении ток утечки через них составляет около 1 мА. При этом уровне напряжения ток через варисторные предохранители близок к чисто емкостному, а его активная составляющая не превышает нескольких десятков микроампер. В нормальных условиях защита обеспечивается благодаря тому, что с повышением напряжения ток через ОПН повышается, ограничивая тем самым напряжение значением, которое определяется вольт-амперной характеристикой ОПН. Как только избыточное напряжение спадет, ток через ОПН также сразу спадает до малого значения. Характеристики ОПН всегда приходится выбирать на основе компромисса между требуемой степенью защиты и допустимым максимальным значением бросков напряжения. ОПН всегда проектируется с таким расчетом, чтобы он был самым слабым звеном в электрической

цепи, т. е. чтобы в случае броска напряжения в нем возникал пробой, обеспечивая тем самым защиту других, более ценных устройств.

#### У нового "упаковочного материала" характеристики лучше

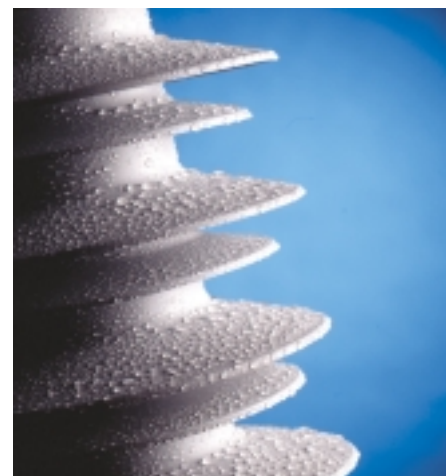
Новый легкий изоляционный материал обеспечивает сохранение основных характеристик ОПН, одновременно улучшая ряд других его параметров, существенно повышая его безопасность и облегчая обращение с ним. Этот материал был разработан в сотрудничестве с компанией АББ Corporate Research и ведущими производителями полимеров.

К числу преимуществ разработанного полимерного материала перед керамикой относятся:

- **Существенно большая прочность.** Кремнийорганический каучук эластичен и в то же время прочен и не имеет пористой структуры. Поскольку корпус из кремнийорганического каучука не хрупок, в местах установки ОПН PEXLIM не обязательно устанавливать ограждение, не опасаясь подвергнуть при этом риску ни людей, ни животных.

- **Гидрофобность.** Поверхность кремнийорганического каучука обладает гидрофобными (водоотталкивающими) свойствами. Попавшие

1 Капли воды на полимерном корпусе ОПН. Такой корпус проводит ток не столь легко, как фарфоровый, на поверхности которого вода растекается, образуя однородный слой.



на нее капли воды отталкиваются поверхностью, сливаются друг с другом и стекают с поверхности, благодаря чему такая поверхность проводит ток гораздо хуже поверхности, по которой вода растекается в виде равномерного слоя (рис. 1).

- **Намного меньший вес.** Кремнийорганический каучук гораздо легче фарфора, поэтому и весь ОПН получается более легким. Компания АББ сумела уменьшить вес ОПН ровно наполовину, что облегчило их транспортировку. Монтаж ОПН PEXLIM на опорах ЛЭП и подвешивание их к проводам ЛЭП также оказываются бо-

#### Технические характеристики ОПН PEXLIM

|                              |           |           |           |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Напряжение сети, кВ          | 52... 170 | 52... 420 | 52... 420 |
| Номинальное напряжение, кВ * | 30... 162 | 30... 360 | 30... 360 |
| Номинальный ток разряда, кА  | 10        | 10        | 20        |
| Класс разряда                | 2         | 3         | 4         |

\* Номинальное напряжение - это параметр, на котором базируются рабочие характеристики и характеристики защиты. Выбирается номинальное напряжение на основе компромисса между требуемой степенью защиты и максимально допустимым значением перенапряжения. Чем выше номинальное напряжение, тем лучше способность ОПН ограничивать кратковременные броски напряжения, но и тем меньше запас надежности при данном уровне изоляции.

**2** Монтаж ОПН с полимерным корпусом на ЛЭП. Теперь эта работа стала проще и безопаснее.



**3** Сейсмостойкий ОПН в полимерном корпусе.



лее простыми и безопасными. Еще одно преимущество этих ОПН - возможность установки в местах, где ОПН прежде не устанавливались, и применять новые методы монтажа (рис. 2).

■ *Меньшая вредность для окружающей среды.* Кремнийорганический каучук не содержит веществ, вредных для окружающей среды, а по истечении срока службы может использоваться в качестве наполнителя (например, в строительстве) или сжигаться (при температуре 400 ... 500 °С), причем после сжигания остается только безвредный песок.

■ *Высокая стойкость к старению и тяжелым климатическим условиям.* В процессе разработки новых ОПН РЕХЛИМ компания АББ усовершенствовала технологию их изготовления и свойства материала корпуса. Эти ОПН продемонстрировали хорошую стойкость к старению и высокую надежность даже в суровых климатических условиях.

■ *Отталкивание загрязнений.* Поверхность

кремнийорганического каучука отталкивает загрязнения, благодаря чему они легко смываются дождем.

■ *Хорошие электрические свойства, стойкость к свету, УФ-излучению и огню.* Кремнийорганический каучук, применяемый компанией АББ, содержит компоненты, улучшающие его электрические свойства и стойкость к огню, свету, УФ-излучению и эрозии под действием солей. Благодаря высокой нагрузочной способности и хорошим изолирующим свойствам кремнийорганический каучук отлично противостоит также токам утечки.

#### **Новые области применения**

Свойства ОПН РЕХЛИМ делают их весьма пригодными для применения в высокосейсмичных зонах. Благодаря малому весу и отличной способности поглощать механические напряжения, возникающие при землетрясениях, эти ОПН способны выдерживать удары и толчки.

Там, где используются ОПН очень большой длины, специальная конструкция крепления позволяет погасить любые гармонические колебания (рис. 3).

Наконец, новые более легкие ОПН способны заменить более дорогое и требующее большего ухода оборудование. Их можно подвешивать к опорам ЛЭП и к проводам в различных точках ЛЭП, повышая тем самым коэффициент рабочей готовности сети (рис. 4). Для большинства случаев такого рода применений фарфоровые ОПН слишком тяжелы, а в случае повреждения могут представлять опасность.

Компания АББ сотрудничает с другими организациями в области создания "компактных" ЛЭП. Такие линии характеризуются уменьшенной высотой и шириной и наводят вокруг себя более слабые магнитные поля. Для работы таких ЛЭП ОПН РЕХЛИМ имеют жизненно важное значение.

Полимерные ОПН привлекательны так-

же в качестве решения для сетей, в которых в прошлом существовали сложности с заземлением и, следовательно, с обеспечением работоспособности. Из-за опасности, связанной с риском падения осколков фарфора, до появления небьющихся ОПН PEXLIM такое решение было неосуществимым.

#### Новый материал: комплексное производство

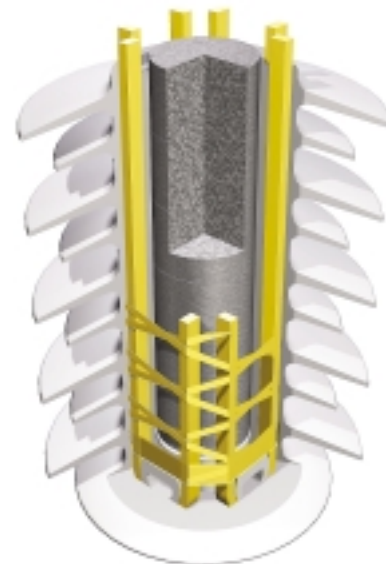
Кремнийорганический каучук отличается высокой химической активностью, поэтому его производство требует привлечения высококвалифицированных работников, обеспечения на производстве повышенной чистоты, поддержания постоянства характеристик рабочей атмосферы. Все это усложня-

ет производственный процесс.

Из кремнийорганического каучука формируется монолитный блок, облегающий столбик блоков из оксида цинка, который служит активным элементом ОПН. Очень большое значение имеют адгезионные свойства каучука, поскольку в готовом изделии недопустимы даже малейшие поры и отверстия. В сотрудничестве с основными поставщиками были проведены испытания технологии инъекционной формовки корпуса из полимерного материала, которые показали, что на сегодня эта технология отвечает самым высоким требованиям к надежности и производительности.

Сегодня компания АББ Switchgear производит уже третье поколение ОПН PEXLIM, используя для их изготовления запатентованную техно-

**5** ОПН PEXLIM с полимерным корпусом содержат меньше деталей, чем ОПН предшествующих поколений, имевшие фарфоровые корпуса.



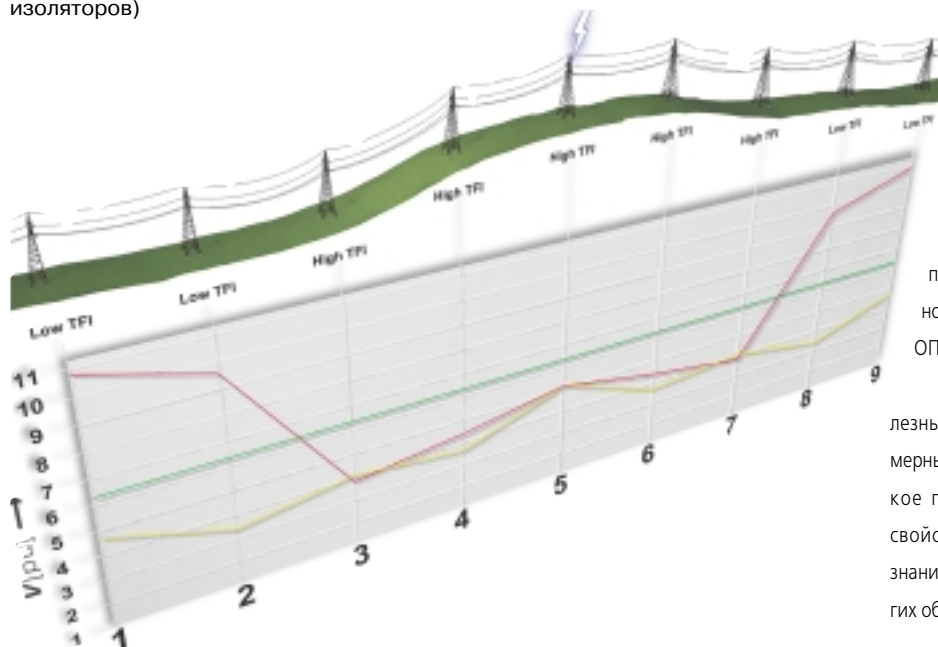
**4** Результат установки ОПН на участке ЛЭП с опорами, отличающимися большим полным сопротивлением заземлителя. Как следует из рисунка, ОПН требуется устанавливать и на опорах, находящихся на концах участка и характеризующихся малым сопротивлением заземлителя.

V - напряжение на изоляторе (красный цвет)

ОПН на опорах 3 - 7 (желтый цвет)

ОПН на всех девяти опорах (зеленый цвет)

Нормальная прочность изоляторов ЛЭП (основной уровень прочности изоляторов)



логию, специальное технологическое оборудование и кремнийорганический компаунд, отвечающий очень жестким производственным требованиям. Благодаря этому компания может гарантировать высокое качество на всех этапах производственного процесса. Новый материал открывает также возможности дальнейшего совершенствования конструкции. У ОПН PEXLIM меньше деталей, чем у их предшественников, а их производство базируется на общей платформе (рис. 5). Все это позволяет существенно сократить сроки поставки изделий с завода по сравнению с фарфоровыми ОПН.

Готовые ОПН с полимерным корпусом проходят испытания на том же специальном оборудовании и в том же объеме, что и ОПН с фарфоровым корпусом.

Для компании АББ дополнительным полезным результатом разработки ОПН с полимерными корпусами стало гораздо более глубокое понимание технологии полимеров и свойств кремнийорганического каучука. Эти знания будут очень ценными и во многих других областях передачи электроэнергии (рис. 6).



6 ОПН PEXLIM установленные на ЛЭП напряжением 400 кВ. Полный изолятор тоже изготовлен из полимерного материала.



#### "Инвестиции" в окружающую среду

Установка ОПН для защиты более ценного оборудования позволяет электроэнергетическим компаниям повысить объем передаваемой по сетям электроэнергии, а значит, и снизить потребность в инвестициях на строительство новых ЛЭП, устранив заодно все сопутствующие проблемы. От использования новых ОПН на протяжении всего их жизненного цикла от изготовления до утилизации выигрывает и экология. Благодаря снижению веса уменьшается воздействие ОПН на природу при их транспортировке, погрузке и разгрузке, а также появляется возможность размещать их ближе к защищаемому оборудованию, экономя тем самым место и затраты. Наконец, внедренный в компании

АББ комплексный технологический процесс не сопровождается вредными выбросами в атмосферу.

#### Рост доли на рынке

После успешного прорыва в область сравнительно низких напряжений ОПН PEXLIM начали быстро завоевывать позиции и в сфере высоких напряжений. Компания АББ уже начала поставлять их в США для сетей напряжением 800 кВ.

Когда АББ впервые выпустила в продажу полимерные ОПН, технология их производства была довольно дорогой, но со временем она стала вполне конкурентоспособной. Сроки поставки невелики, а изделия благодаря своим исключительно удачным

техническим характеристикам завоевали высокую репутацию.

Сегодня в энергосетях наблюдается быстрый переход с фарфоровых ОПН на полимерные, вследствие чего для удовлетворения спроса на ОПН PEXLIM компании АББ пришлось удвоить производственные мощности. Настройка параметров технологического процесса, внедрение статистических методов и более экономное использование материально-технических ресурсов позволили значительно сократить сроки выполнения заказов. Уже появились страны, которые заказывают только полимерные ОПН. В 2001 г. ОПН PEXLIM составили больше половины всех выпущенных ОПН на рабочее напряжение до 245 кВ. Столь решительный успех подкрепляется расширением доли компании на рынке и заменой фарфоровых ОПН в сетях ОПН PEXLIM.

#### Автор

Торбьёрн Шютт Ханс Глеймар

АББ Power Technology Products AB  
SE-771 80 Ludvika, Швеция.  
hans.gleimar@se.АББ.com Факс:  
+46 240 78 39 90