

Сила отключения

Новое в технике вакуумных прерывателей

Курт Кальтенеггер, Герхард Зальге, Дитмар Гентш

Сложно представить нашу жизнь без электрической энергии. В промышленно развитых странах практически все сферы жизни зависят от наличия безопасного и надежного источника электроснабжения. В развивающихся странах тоже все больше и больше людей получают возможность подключения к электрическим сетям.

Безопасное электроснабжение нельзя было бы обеспечить без возможности включать и отключать ток. Эти функции важны для отключения при аварийных ситуациях, например, в случае короткого замыкания. На уровне распределительных сетей (10–40 кВ) для этой цели обычно используют вакуумные прерыватели.

История производства вакуумных прерывателей АББ – история успеха. На протяжении последних лет объемы производства их росли экспоненциально, и в 2004 году компания АББ стала крупнейшим изготовителем этих устройств. Вакуумные прерыватели АББ имеют самую компактную конструкцию и являют собой пример лидерства на рынке благодаря лидерству в технологии.



В электрических сетях по всему миру применяются разные уровни напряжения. Для снижения потерь при передаче электроэнергии на большие расстояния используют напряжение до 800 кВ. На уровне районных распределительных сетей чаще всего применяется напряжение в диапазон 10–40 кВ. Низкое напряжение (менее

1 кВ) применяется в жилых домах и низковольтных промышленных установках.

За последние несколько десятилетий были разработаны различные технологии прерывания тока в сети. При прерывании электрического тока, независимо от того, какая среда заполняет про-

межутки между контактами, неизбежно возникает дуга. Принципы гашения этой дуги и надежной изоляции контактов могут различаться. Для гашения дуги в выключателях применялись различные среды – газы, жидкости и аблятивные среды из твердых материалов. Среди них: воздух, элегаз (SF_6), масло и даже вода высокой очистки (применялась ранее в очень ограниченных масштабах).

Создание технологий производства синтетического газа SF_6 привело к появлению дугогасящей среды, обладающей высокой эффективностью. Этот газ нашел применение в устройствах самого различного напряжения в магистральных и распределительных сетях. Кроме того, SF_6 использовался и до сих пор иногда используется вне электрической отрасли – при производстве спортивной обуви, в подводном плавании и медицине.

Первые серийные вакуумные прерыватели тока появились на рынке в 1960-х годах. Их разработка началась в США и Японии. Последующие десятилетия показали, что вакуум позволяет очень эффективно гасить электрическую дугу, в особенности при уровнях напряжения в распределительных сетях (10–40 кВ). Номенклатура представленных на рынке в настоящее время вакуумных прерывателей покрывает названный диапазон напряжений при токах короткого замыкания (токах отключения) до 80 кА. При более низких номиналах применение воздуха в качестве среды оказывается более экономически оправданным, тогда как при более высоких номиналах целесообразно использовать элегаз.

Существует техническая возможность производства автоматических выключателей на базе полупроводников, что было продемонстрировано фирмой АББ с помощью экспериментальной установки на предприятии заказчика. Однако такие решения до сих пор слишком дороги и не могут соперничать с вакуумными выключателями.

История успеха АББ

Производство вакуумных прерывателей на фирме АББ было запущено в начале 1980-х годов. Ежегодный объем производства возрос приблизительно до 30 тыс. единиц в середине 1990-х. На протяжении последних 10 лет шло бурное развитие технологии – компания АББ резко активизировала НИОКР в этой области. В совместной работе ведущего исследовательско-конструкторского центра вакуумных прерывателей в г. Ратинген (Германия) и швейцарского исследовательского подразделения компании АББ (ABB Corporate Research) были построены экспериментальные установки и разработаны средства моделирования, что позволило компании АББ выйти на лидирующие позиции в этой области. Благодаря тщательно проработанным технологиям разработки и передовым средствам

Надежность сети

моделирования, компания в настоящее время производит самые компактные в мире вакуумные прерыватели. Компактность и простота конструкции – это важнейшие предпосылки обеспечения надежности и отказоустойчивости устройств.

Помимо этого, сотрудничество с университетами Германии и России привело к организации совместных исследовательских проектов и набору специалистов.

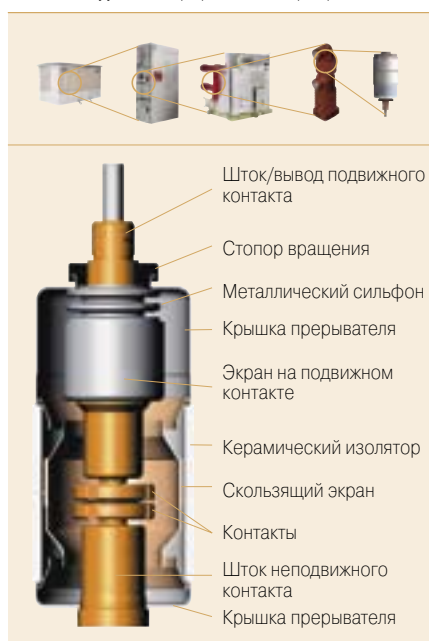
Ежегодные объемы производства устройств возросли экспоненциально. Производство 220 тыс. изделий в 2004 году сделало компанию АББ мировым лидером в области производства вакуумных прерывателей.

Что происходит при работе вакуумного прерывателя?

На рис. 1 показан типичный вакуумный прерыватель фирмы АББ. Он состоит из двух меднохромовых контактов, один из которых неподвижно закреплен, а другой подвижен. Контакты размещаются в вакуумной камере под давлением менее 10^{-5} Па. Камера конструктивно состоит из керамического изолятора, металлического сильфона для подвижного контакта и экрана между керамикой и областью образования дуги.

При разведении контактов вакуумного прерывателя возникает дуга. Горение дуги поддерживается за счет подвода энергии извне до очередного перехода тока через ноль. Дуга формируется за счет паров металла, образующихся в так называемых катодных пятнах из материала контактов прерывателя. Благодаря особой форме контактов, предотвращается горение дуги в одной точке

1 Вид вакуумного прерывателя в разрезе.



на протяжении длительного времени. В вакуумных прерывателях АББ применяются контакты спиральной формы, генерирующие радиальное магнитное поле (рис. 2). За счет этого достигается вращательное движение дуги по поверхности контактов с линейной скоростью до нескольких сотен метров в секунду. При этой скорости снижается интенсивность эрозии поверхности контактов, что позволяет продлить срок службы прерывателя. По мере снижения тока генерация новой плазмы замедляется. В правильно сконструированном прерывателе при прохождении тока через ноль новая плазма не образуется. Рекомбинация остаточных ионов и электронов и конденсация паров металла на контактах и экране происходит за короткое время. Восстановление изоляционных свойств промежутка между контактами должно произойти за максимально короткое время для предотвращения повторного розжига дуги. Высокая электрическая прочность вакуума позволяет восстановить свойства среды на пути тока дуги гораздо быстрее, чем в любом газонаполненном выключателе. За несколько микросекунд электрическая прочность достигает такого значения, что выдерживаемое напряжение при расстоянии между контактами всего в 1 см составляет 150 кВ. К сожалению, диэлектрическая прочность вакуума нелинейно меняется при изменении расстояния между электродами. Именно по этой причине вакуумные прерыватели применяются обычно при уровнях напряжения, характерных для распределительной сети, и очень редко – при более высоких.

Платформа с базовым компонентом

Компания АББ предлагает широкий модельный ряд прерывателей. Они представляют собой базовые компоненты, которые в комбинации с другими базовыми технологиями, такими как технология эпоксидного компаундирования, формируют систему модульных функциональных блоков.

Серия автоматических выключателей и автоматов повторного включения VG представлена изделиями, рассчитанными на напряжение от 12 кВ до 36 кВ с максимальным номинальным током до 3150 А, при максимальном токе КЗ (токе отключения) 63 кА (при 12 кВ).

Изделия серии VS предназначены для использования в контакторах и выключателях-разъединителях. Выпускаются изделия на номинальное напряжение от 3,3 кВ до 24 кВ, конструкция которых рассчитана на 1 000 000 коммутационных операций. Данные две линейки вакуумных прерывателей формируют платформы для ряда конструктивных задач.

Одним из вариантов исполнения является «компаундированный полюсный модуль» [2] – платформа изделий с эпоксидным компаундированием.

Поскольку вакуумный прерыватель не нуждается в обслуживании, он может быть залит эпоксидным компаундом (рис. 3) для защиты от неблагоприятного воздействия окружающей среды.

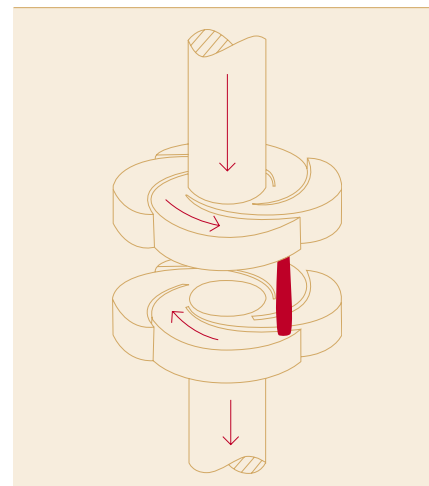
Благодаря тщательно проработанным технологиям разработки и передовым средствам моделирования, компания АББ в настоящее время производит самые компактные в мире вакуумные прерыватели.

Вакуумные прерыватели и компаундированные полюсные модули содержат минимально возможное число подвижных и неподвижных контактных элементов, благодаря чему они не нуждаются в обслуживании на протяжении всего срока службы. К основным преимуществам компаундированных полюсных модулей можно отнести следующие: высокую диэлектрическую прочность изоляции без применения дополнительных внешних приспособлений, возможность эксплуатации в широком диапазоне климатических условий и оптимальную защиту вакуумного прерывателя от пыли и влаги.

Другим вариантом является «компаундированный полюсный модуль наружной установки», при изготовлении которого применяется особый эпоксидный компаунд с водоотталкивающей поверхностью.

Гидрофобный эпоксидный компаунд обладает превосходными свойствами. В условиях низ-

2 Контакты спиральной формы, обеспечивающие создание радиального магнитного поля. Красными стрелками показано направление тока.



ких температур (до -60°C) прочие материалы подвергаются растрескиванию, тогда как свойства компаунда данного типа не ухудшаются.

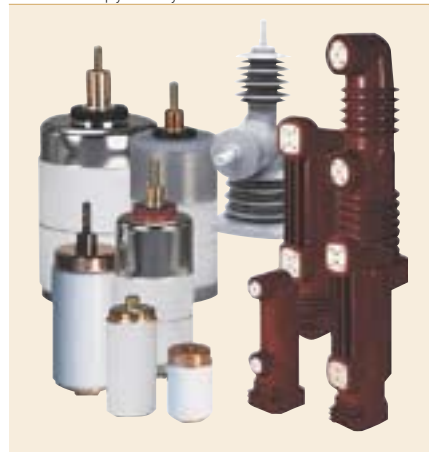
3 Компаундированный полюсный модуль с вакуумным прерывателем на 12 кВ в разрезе.



4 Автоматический выключатель VD4 фирмы АББ.



5 Вакуумный прерыватель, компаундированные полюсные модули и автомат повторного включения наружной установки.



Однако основной целью при разработке этой технологии было не обеспечение низкотемпературных свойств, а возможность длительной эксплуатации при наружной установке. Новый автомат повторного включения был проверен в испытательной лаборатории KIPS (ESCOM) в Кейптауне и с легкостью прошел испытания годичным воздействием неблагоприятных условий среды. Некоторые устройства других компаний, в конструкции которых применяется фарфор или обычная эпоксидная смола, едва выдерживают полгода.

Данная технологическая платформа также применяется и при изготовлении других устройств, например, измерительных трансформаторов наружной установки.

Вакуумные прерыватели с пружинными или электромагнитными приводами, как в составе компаундированных модулей, так и открытой конструкции, являются основным коммутирующим элементом автоматических выключателей АББ, рассчитанных на напряжения до 50 кВ.

В 2003 и 2004 годах компания АББ начала производство двух типов полюсных модулей для автоматов повторного включения – на 15–27 кВ и на 38 кВ. Эти модули также снабжены встроенными малогабаритными трансформаторами тока, расположенными в горизонтальном токоведущем выводе. Это – пример универсальности технологии компаундированных модулей, которая позволяет объединять в одном изделии коммутирующее устройство и средство измерения.

Вакуумные прерыватели, как в составе компаундированных модулей, так и открытой конструкции, являются основным коммутирующим элементом автоматических выключателей АББ, рассчитанных на напряжения до 50 кВ.

Прерыватели в них приводятся в действие пружинными или электромагнитными приводами. АББ предлагает серию выключателей VD4 (рис. 4) с компаундированными или сборными полюсами и пружинным приводом, модельный ряд которой покрывает практически весь диапазон возможных вариантов применения, основных и побочных. Предлагаются также выключатели с электромагнитным приводом на 12 кВ с током отключения до 50 кА и на 24 кВ – до 25 кА.

На различных выставках устройства новой конструкции позволили продемонстрировать новый принцип интегрирования функций измерения и управления в автоматических выключателях высокого напряжения.

Компания АББ также выпускает выключатели меньших габаритов и веса под названием Vmax. Диапазон номинальных параметров этих выключателей доходит до 17 кВ/25 кА. В состав выключателей входят открытые или залитые силиконовым компаундом вакуумные прерыватели и пружинные приводы, рассчитанные на малую интенсивность эксплуатации.

Независимо от применяемого способа изоляции основной задачей остается прерывание тока в сети. Технологическая платформа, сформированная рядом вакуумных прерывателей АББ, служит основой целого семейства высоковольтных устройств (рис. 5).

На международном рынке во многих секторах существует тенденция к переходу на вакуумную технику, и компания АББ располагает прекрасной возможностью удовлетворить спрос благодаря своему технологическому лидерству.

Литература

- [1] И. Клеберг, В. Шенг, Изучение процесса дугового разряда – Моделирование силовоточных вакуумных дуговых разрядов, АББ Ревю 1/2004.
- [2] Э. Дуллини, Форма и содержание, АББ Ревю 1/2005.
- [3] E. Dullni, H. Fink, M. Heimbach, C. Reuber, A Family of Vacuum Circuit Breakers with Worldwide Applications using common Components, CIGRE 2001.

Курт Кальтенеггер

ABB Power Technology
Цюрих, Швейцария
kurt.kaltenegger@ch.abb.com

Герхард Зальге, Дитмар Гентш

ABB CMS GmbH
Ратинген, Германия
gerhard.salge@de.abb.com
dietmar.gentsch@de.abb.com