

Р. фон Прондзински, Х. Ноймайер  
(R. von Prondzinski, H. Neumayer)

# Вакуумный выключатель с электроприводом

К современным высокоскоростным поездам вне зависимости от концепции тяги (локомотивная или моторвагонная) предъявляются более жесткие требования по сравнению с другими видами электрического тягового подвижного состава, поскольку тяговая мощность, потребляемая такими поездами, может превышать 10 МВ·А. В тяговых сетях постоянного тока напряжением 1500 и 3000 В такие мощности вряд ли достижимы, однако в сетях переменного тока напряжением 15 кВ, частотой 16,7 Гц и 25 кВ, 50 Гц потребляются токи соответственно до 670 А (15 кВ) и 400 А (25 кВ). Разработанный компанией Schaltbau (Германия) вакуумный выключатель обладает всеми качествами, необходимыми для главных выключателей подвижного состава, но лишен недостатков, характерных для подобных аппаратов с пневматическим приводом.

В классических силовых выключателях с пневматическим приводом возникающая при отключении электрическая дуга с помощью подвижных контактов растягивается до полного разрыва. В вакуумных выключателях отключение нагрузки происходит в безвоздушной среде, благодаря чему контакты подгорают и изнашиваются в меньшей степени, чем в классическом выключателе, где дуга горит в воздушной атмосфере.

Для выключателей обоих названных видов необходима специальная характеристика ускоряющегося движения контактов, реализуемая как при отключении, так и при включении. Если обеспечивать такое движение контактов за счет электрического привода, питаемого аккумуляторной батареей локомотива или электропоезда, то потребуются, хотя и кратковременно, потребление слишком большо-

го тока. Этот режим, в зависимости от величины скачка тока, может повредить аккумуляторы. Возможно также, что емкость аккумуляторов окажется недостаточной для срабатывания выключателя, если неоптимальна степень заряженности батареи. Поскольку последняя зависит от многих факторов, таких, как температура окружающей среды, величина остаточного заряда, интенсивность непрерывного разряда и саморазряда батареи, число циклов заряда/разряда, качество технического обслуживания и т. д., то еще на начальном этапе использования электрического тягового подвижного состава стали искать альтернативу аккумуляторной батарее.

В связи с высокими коммутационными напряжениями изоляция электрических аппаратов имеет особое значение, поэтому вариант гидравлического привода выключателей не рассматривался.

## Высокая надежность

Разработчики достаточно рано обратили внимание на пневматические системы, имеющие ряд важных преимуществ. К ним относятся:

- хорошая техническая реализуемость устройств;
- низкие затраты на изготовление;
- компактность;
- возможность накопления энергии;
- удобство управления системой, возможность скачкообразного отбора энергии.

В то же время эти системы имеют следующие недостатки:

- накопление внутри выключателя загрязнителей (часто попадающих даже через фильтр);
- зависимость от атмосферного давления (особые проблемы, требующие отдельного решения, возникают в зонах, расположенных на большой высоте над уровнем моря);
- охлаждение выключателя быстрыми потоками воздуха, в результате чего на внутренних поверхностях конденсируется влага. В связи с этим при температурах окружающего воздуха, еще далеких от точки замерзания воды, может произойти замораживание пневмосистемы.

Системное решение этих проблем еще не найдено, поэтому возможно лишь устранение возникших неисправностей. В некоторых случаях удалось снизить частоту их возникновения.

В рамках мер по решению указанных проблем разработаны требования к концепции дублированного энергоснабжения системы управления выключателем, так как для приведения его во включенное положение необходим механизм, который не только обеспечивает отключение по соответствующей команде, но также надежно разрывает силовую цепь при отключении системы электроснабжения привода, например, в результате выхода из строя аккумуляторной батареи или обрыва питающего провода.

На рельсовом тяговом подвижном составе традиционно применяются главные выключатели с пневматическим приводом, которые включаются в высоковольтную цепь сразу же после токоприемника. Привод главного выключателя при включении заряжает энергией механизм отключения, т. е. взводит соответствующий пружинный механизм. Для поддержания выключателя во включенном положении используют два решения — прямое и косвенное. В первом случае выключатель поддерживается во включенном положении электромагнитным способом, который является более надежным, хотя требует больше энергии, потребляемой из аккумуляторной батареи. Во втором случае используется давление сжатого воздуха, которое по команде на отключение сбрасывается с помощью электромагнитного клапана. Этот способ менее надежен, так как клапан может оказаться неработоспособным по причине замерзания.

### Возможности решения проблемы

Улучшение рассмотренной ситуации может быть достигнуто следующим образом:

- применением вакуумной камеры для уменьшения износа контактов;
- снижением повреждаемости путем использования энергоснабжения главного привода лишь от одного источника (без дополнительного привода);
- значительным уменьшением потребления энергии при включении, чтобы привод выключателя был работоспособен даже при низком заряде аккумуляторной батареи;
- обеспечением многократного включения и отключения через короткие промежутки времени;
- возможностью накопления необходимой энергии и сохранения ее в течение длительного времени без потерь;

- накоплением энергии отключения в процессе включения;
- применением механизма, отключающего выключатель при соответствующей команде или выпадении энергоснабжения привода;
- минимизацией объема работ по техническому обслуживанию.

В последние годы на многих транспортных выставках были представлены альтернативные решения. Некоторые из экспонированных выключателей еще не достигли уровня серийного производства, другие выпускались лишь для внутреннего применения на аппаратах данной компании или же не отвечали всем требованиям, предъявляемым к альтернативным приводам, так как для отключения выключателя требовался активный импульс энергии, например накопленный на конденсаторе.

### Вакуумный выключатель

Приведенным ранее требованиям отвечает вакуумный выключатель CVB с альтернативным приводом компании Schaltbau, показанный на рис. 1.

При первичном включении аппарата электродвигатель привода взводит пружину механического накопителя энергии и блокирует его в положении, близком к мертвой точке. В таком состоянии выключатель может оставаться как угодно долго без подвода энергии извне. Короткий импульс малой мощности включает электрический двигатель, который преодолевает мертвую точку пружинного накопителя. Последний срабатывает, разряжаясь через муфту свободного хода.

Скачкообразно высвобождающаяся энергия через кулачковый механизм воздействует на контакты вакуумной камеры, которые в результате этого замыкаются. Одновременно взводятся отключающие пружины. С помощью электромагнита контакты удерживаются в замкнутом положении при минимальном потреблении энергии катушкой магнита. Зарядка механического накопителя энергии происходит в течение 4 с после замыкания контактов выключателя независимо от состояния аппарата, в котором он до этого находился.



Рис. 1. Вакуумный выключатель CVB, установленный продольно на крыше электровоза компании MEG

ся (оставался во включенном состоянии или отключался в результате короткого замыкания в высоковольтной цепи).

Если прерывается цепь питания удерживающего электромагнита или напряжение управления пропадает по иной причине, быстродействующие отключающие пружины размыкают контакты выключателя в течение 40–60 мс. Благодаря этому схема управления выключателем может быть использована в качестве надежной защиты от перегрузки, если задана соответствующая уставка на отключение. Поскольку после включения пружинный накопитель энергии сразу заряжается, то выключатель оказывается готовым к следующему включению.

Анализ принципа действия вакуумного выключателя позволяет делать выводы о его отличиях от классического выключателя с пневмоприводом. Последний обеспечивает возможность накопления энергии для многократных и быстрых повторных включений и отключений, поэтому после неудачной попытки включения сразу следует повторный

процесс. Система с пружинным аккумулятором, представленная компанией Schaltbau, позволяет выполнять повторное включение с некоторой задержкой, так как пружинный аккумулятор требует для перезарядки 3–4 с. При этом повторное включение может выполняться с помощью отключающих пружин сразу же, без задержки.

То, что на первый взгляд воспринимается как недостаток, в ходе эксплуатации проявляется как преимущество. Каждый процесс отключения является достаточно большой нагрузкой для электромеханического выключателя, в том числе и вакуумного. В связи с этим между двумя отключениями под полной нагрузкой или при коротком замыкании необходима выдержка в несколько секунд для охлаждения контактов. Следует отметить, что существует лишь две причины неуспешных включений:

- произошло глухое, исчезающее короткое замыкание. В этом случае любое повторное замыкание на эту короткозамкнутую цепь будет неуспешным;

- на входе системы включено накопительное устройство (например, конденсаторная батарея), которое при включении вызывает процессы, сходные с коротким замыканием, если схема заряда конденсатора работает некорректно. В этом случае целесообразна некоторая выдержка времени, обеспечивающая успешное включение.

Отсюда можно сделать вывод, что наличие задержки между двумя следующими друг за другом включениями является преимуществом в смысле снижения износа и увеличения срока службы. Предлагаемый выключатель, выполняющий функции защиты от коротких замыканий и токовой перегрузки, лишен всех основных недостатков аппаратов с пневмоприводом и отвечает всем требованиям, предъявляемым к этим устройствам.

### Затраты на техническое обслуживание

Рассмотренное прогрессивное техническое решение является также экономически эффективным. При этом следует отметить, что компания-оператор и компания-разработчик рассматривают вопрос затрат с разных углов зрения.

Новый и модернизируемый подвижной состав предлагают на рынке компании, специализирующиеся в области разработки и изготовления железнодорожной техники, и приобретают компании-операторы. Последние рассматривают лишь отдельные отрезки срока жизни подвижного состава: фазы изготовления, сдачи в эксплуатацию, доводки до серийного уровня, а также собственно срок эксплуатации с соответствующими затратами жизненного цикла (LCC), включая гарантийный срок. Что касается компаний-разработчиков, то для них более важна цена на комплектующие.

Для компаний-операторов чрезвычайно важны затраты LCC. Снижение затрат на регулярно прово-



Рис. 2. Электровоз компании MÁV с поперечно установленным на крыше вакуумным выключателем CVB

димое техническое обслуживание и капитальные ремонты может в короткий срок компенсировать высокие расходы на изготовление и снизить таким образом общие затраты жизненного цикла.

При проведении типовых испытаний вакуумных выключателей рассматриваемого типа и традиционных с пневмоприводом было установлено, что последние в случае соответствия паспортным данным (200 тыс. циклов включения/отключения, в том числе отключений токов нагрузки, превышающих допустимые) требуют значительно более высоких затрат ЛСС, чем вакуумный CVB, который вообще не требует никаких работ по техническому обслуживанию, даже обычной смазки.

Система автоматической компенсации подгорания контактов (износа в вакуумной камере) до-

полняет эту не требующую ухода конструкцию и обеспечивает эксплуатацию без проведения работ с отключением аппарата. Основываясь на полученном опыте можно утверждать, что расходы на техническое обслуживание этой модели будут значительно ниже, чем у сравнивавшихся пневматических выключателей.

Вакуумный выключатель CVB оснащен системой диагностики, которая фиксирует и сохраняет в запоминающем устройстве важнейшие рабочие параметры и сообщения о сбоях в работе. Накопленные данные могут быть извлечены через порт USB для оценки и обработки.

Таким образом, новый аппарат представляет собой новое техническое решение. Цена выключателя сопоставима с рыночной, а затраты ЛСС значительно снижены.

### Выводы и перспективы

Результаты эксплуатационных испытаний подтверждают приведенные данные. С начала 2009 г. вакуумный выключатель CVB безотказно эксплуатировался на подвижном составе компании MEG (Германия) с системой тягового тока 15 кВ/16,7 Гц и Государственных железных дорог Венгрии (MÁV) — 25 кВ/50 Гц (рис. 2).

Эти испытания подтвердили пригодность нового аппарата для практической эксплуатации и его высокую надежность. Два таких выключателя эксплуатируются на сети РЖД. Они имеют исполнение, позволяющее их использовать при низких температурах (до  $-50^{\circ}\text{C}$ ). Работоспособность выключателей этой модификации проверена в испытательной лаборатории в Праге.



Журнал «Железные дороги мира»  
и издательство «Интекст»



## ПОИСК И ОБОБЩЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

о зарубежных рынках и инновациях  
в области магистрального и промышленного  
железнодорожного, а также городского рельсового транспорта

для компаний,

выходящих на внешний рынок,  
заинтересованных в инновационных решениях,  
ищущих поставщиков комплектующих.

Обзоры техники для железнодорожного  
и городского рельсового транспорта

Статистическая информация

Подборки статей и других материалов  
по железнодорожной тематике

Заинтересованные организации просим обращаться в редакцию журнала «Железные дороги мира»  
по телефону (499) 317-55-65 и электронной почте [zdm@css-rzd.ru](mailto:zdm@css-rzd.ru)