

# Распределительные устройства среднего напряжения с газовой изоляцией

*Распределительные устройства среднего напряжения с газовой изоляцией широко используются для тягового электроснабжения. Определяющими факторами при этом являются надежность, эксплуатационная готовность, удобство обслуживания и безопасность. Наряду с эффективностью работы электротехнических устройств должна учитываться также их экологичность.*

В мире продолжают расти требования, предъявляемые к железнодорожному транспорту. Основой электрифицированных железных дорог является сеть электроснабжения. Исторически сложилось так, что для железных дорог местного и дальнего сообщения утвердились разные системы электроснабжения. Общим для обеих систем является то, что они должны обеспечивать бесперебойное снабжение тягового подвижного состава энергией необходимой мощности, в достаточном количестве и соответствующего качества.

Важным звеном в цепочке от производства электрической энергии до токоприемника на подвижном составе являются распределительные устройства среднего уровня напряжения на тяговых подстанциях. По сравнению с электрическими сетями общего пользования или электроснабжения промышленных предприятий в системе тягового электроснабжения гораздо чаще происходят короткие замыкания.

Для входных распределительных устройств переменного тока, питающих тяговые подстанции постоянного тока, это не имеет особого значения, так как при коротких замыканиях в контактной сети срабатывают быстродействующие автоматические выключатели распределительных устройств постоянного тока. Однако значительная частота возникновения коротких замыканий в сочетании с большой величиной токов определили специфику распределительных устройств, непосредственно питающих контактную сеть как постоянного, так и переменного тока.

Основными элементами распределительных устройств являются силовые выключатели. Рабочие токи большой величины и токи коротких замыканий обуславливают повышенные требования к надежности этих устройств, высокой эксплуатационной готовности, удобству обслуживания и безопасности как для персонала, так и для самого оборудования.

За последние 50 лет удалось достичь значительных успехов в области силовых выключателей. Если в распределительных устройствах постоянного тока требуется проводить ревизию быстродействующих выключателей не реже одного раза в год, то в сетях переменного тока ситуация лучше. За счет внедрения вакуумной коммутационной техники удалось совершить прорыв в области надежности, эксплуатационной готовности и существенно сократить объемы обслуживания.

Сначала вакуумные выключатели имели полностью выдвижную конструкцию. Позже появились распределительные устройства для внутренней установки в виде шкафов с выкатной частью, содержащей силовую вакуумный выключатель.

В отношении силовых выключателей переменного тока удобство обслуживания не является главным приоритетом при выборе концепции. Более важными показателями являются компактность и модульный принцип компоновки. В связи с этим на смену шкафам и ячейкам с выкатной частью пришли модульные воздушные выключатели.

Распределительные устройства с газовой изоляцией оборудованы встроенными силовыми выключателями, не требующими обслуживания. Выбор в пользу выкатной или встроенной техники зачастую зависит исключительно от стоимости. Поэтому в сетях электроснабжения железных дорог можно встретить как открытые, так и закрытые распределительные устройства с воздушной или газовой изоляцией, на выкатных тележках или в виде встроенной техники. Потребители нуждаются в распределительных устройствах, которые обеспечивают:

- максимальную безопасность для людей;
- соответствие возросшим техническим требованиям и действующим стандартам;
- минимальный объем технического обслуживания;
- высокую экономическую эффективность.

При этом особое значение сегодня придается вопросам обеспечения безопасности людей. С точки зрения экономической эффективности предпочтение отдается техническим решениям на базе типовой техники, прошедшей заводские испытания и обеспечивающей поэтому минимальные дополнительные расходы и максимальный срок гарантийного обслуживания.

### Конструкция распределительных устройств с газовой изоляцией

В распределительных устройствах с газовой изоляцией все токоведущие части, такие как токовые шины, разъединяющие и заземляющие устройства, а также вакуумные дугогасящие камеры силовых выключателей находятся в заполненной изолирующим газом герметичной емкости. Последняя выполнена таким образом, что в течение всего срока службы, составляющего не менее 35 лет (на практике до 40 – 50 лет), не требуется никакого обслуживания, связанного с заполняющим газом. Величина утечки составляет менее 0,1% в год.

Панель распределительного устройства 8DN для вторичных сетей имеет газовый бак из нержавеющей стали, который изготавливается с помощью лазерной сварки, на заводе испытывается на вакуумную плотность с помощью интегрирующей измерительной аппаратуры и заполняется газом. Высокое качество изготовления позволяет закрывать этот резервуар на длительный срок эксплуатации без установки каких-либо клапанов для дополнительной заправки газом. Таким образом, в эксплуатации исключаются любые дополнительные работы, связанные с газом. Благодаря модульной конструкции потребность в проведении таких работ не возникает также и при необходимости расширения распределительного устройства.

Распределительные устройства 8DA предназначены для первичных распределительных сетей. Они подразделяются на отдельные секции, соответствующие таким функциональным элементам как сборные шины с шинным соединителем и силовой выключатель с кабельной подводкой. Кроме того, отдельную секцию образует трансформатор напряжения сборной шины. Отдельные секции имеют преимущество в эксплуатации с большим числом переключений, а также когда возникает необходимость в замене силовых выключателей в связи с окончанием их срока службы. В остающейся в эксплуатации установке при этом отключается напряжение только на соответствующем фидере. Если в течение предусмотренного срока эксплуатации (не менее 35 лет) не требуется доступ к внутренним рабочим элементам, то газовые баки распределительных устройств 8DA тоже не вскрывают в течение всего срока службы.

### Распределительные устройства с газовой изоляцией для тягового электроснабжения

Распределительные устройства переменного тока с газовой изоляцией используются во многих сетях тягового электроснабжения. На тяговых подстанциях постоянного тока с первичным электроснабжением от трезфазной сети переменного тока:

- городская железная дорога Берлина;
- модернизированное пригородное сообщение в Южной Англии;
- метрополитен Барселоны в Испании;
- метрополитены Гуанчжоу, Тяньцзиня и Шанхая в Китае;

- метрополитен Сантьяго в Чили

Одно- и двухполюсные устройства с газовой изоляцией эксплуатируются:

- на посту секционирования Грибнице в Германии;
- на линии Nord-Süd в Германии;
- компанией Cores Mill & Cathcard в Великобритании;
- на высокоскоростной линии Мадрид — Барселона в Испании;
- на портовой линии Havenspoorlijn в Нидерландах;
- на модернизированной линии Дупница — Кулата в Болгарии;
- на линии Бостон — Нью-Хейвен в США;
- на линии West Rail ( Гонконг).

Анализ причин, по которым в приведенных примерах были применены распределительные устройства с газовой изоляцией, показал, что наряду с упомянутыми ранее критериями, такими как безопасность и экономичность, важную роль играют также следующие аспекты:

- высшая степень надежности, например, в напряженном местном и высокоскоростном сообщении;
- независимость от окружающих условий, таких например, как влажность воздуха и непосредственная близость железнодорожных путей;
- малая занимаемая площадь, что наиболее важно например, в условиях города или контейнерного терминала.

### Надежность, эксплуатационная готовность, удобство обслуживания и безопасность

#### Степень надежности

Надежность — это качество продукта, определяющее вероятность исполнения требуемых от него функций при заданных условиях в течение определенного времени. При оценке неисправностей следует различать повреждения и аварии. Последние приводят к нарушению работы с отключением всего распределительного устройства или отдельных его частей. К таким неисправностям относятся, например отказы силовых выключателей и образование электрической дуги на элементах распределительного устройства. К обычным отказам относятся, например, повреждения промежуточного реле.

Мерой надежности является ожидаемая средняя величина интервала времени между двумя последова-

тельными отказами (MTBF). Важнейшее условие для определения величины MTBF — это наличие достаточной базы данных. Для получения надежных выводов требуется охват большого числа находящихся в эксплуатации сравнимых по конструктивным характеристикам распределительных устройств.

Такие данные имеются для любых серийных типовых устройств, и они могут быть в любое время дополнены в рамках существующих систем управления качеством продукции по стандарту ISO 9001. Так, например, для распределительных устройств типа 8DA/8DB, которые эксплуатируются более чем в 30 тыс. панелей, величина MTBF для неисправностей, относящихся к авариям, составляет более 3 тыс. лет в расчете на одну распределительную панель. Это означает, что вероятность возникновения одного серьезного повреждения на распределительном устройстве с шестью распределительными панелями составляет 500 лет. Однако MTBF для распределительной панели, как составной части общей системы, является лишь одним из исходных параметров для оценки надежности всей системы, в которую также входят здание, системы защиты и управления, а также оборудование собственных нужд.

Приведенные выводы действительны также и для используемых в сетях тягового электроснабжения переменного тока однофазных и двухфазных распределительных устройств типа 8DA, если они имеют

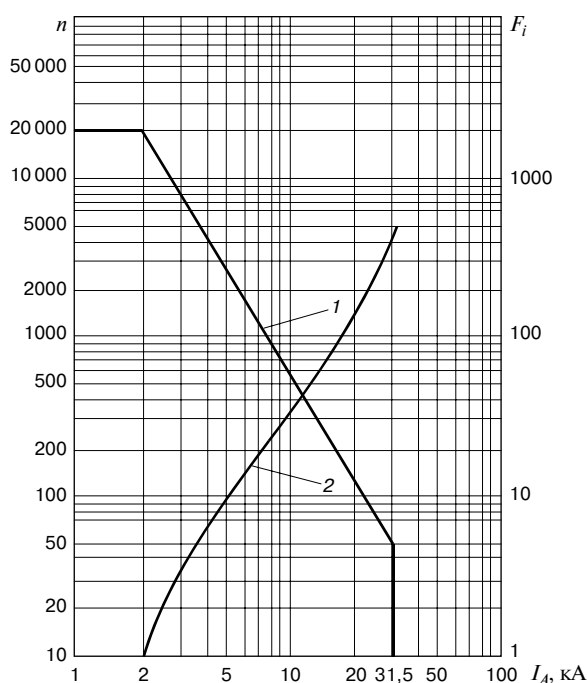


Рис. 1. Диаграмма числа циклов отключений силового вакуумного выключателя типа ЗАН4785:

$n$  — число отключений;  $I_d$  — разрываемый ток аварийных режимов;  $I$  — изменение допустимого числа циклов отключения в функции тока  $I_d$ ;  $2$  — эквивалентное число циклов отключений;  $F_i$  — оценочный коэффициент

сравнимую конструкцию. Если же в различных распределительных устройствах однотипными являются только отдельные компоненты, такие, например, как силовые выключатели, то выводы по поводу величины MTBF для всей распределительной панели с точки зрения статистики возможны лишь с большими ограничениями.

#### Эксплуатационная готовность

Эксплуатационная готовность также является величиной статистической. Она выражает соотношение между длительностью работы и требуемой длительностью использования. Эксплуатационная готовность распределительного устройства зависит от того, насколько часто оно нуждается в профилактическом обслуживании и ремонте, и от доступности его составных частей. Эксплуатационная готовность распределительных устройств в настоящее время в существенной степени определяется сроком службы его составных частей. С этой точки зрения особенно подробно следует рассмотреть вакуумные дугогасительные камеры силовых выключателей в распределительных устройствах переменного тока, так как при большой частоте возникновения коротких замыканий именно их остаточный срок службы имеет большое значение для эксплуатационной готовности.

Однофазные и двухфазные распределительные устройства контактной сети переменного тока должны быть рассчитаны на большое число отключений короткого замыкания. Токи коротких замыканий очень сильно различаются по величине в зависимости от удаленности замыкания от подстанции.

В сетях тягового электроснабжения с частотой 16,7 Гц продолжительность горения электрической дуги может быть в 2–3 раза больше, чем в сетях с частотой 50/60 Гц, что приводит к увеличению нагрузки на контакты. Предполагаемый срок службы вакуумных дугогасительных камер силовых выключателей в сетях тягового электроснабжения переменного тока с частотой 50/60 Гц составляет 15–20 лет, а с частотой 16,7 Гц — от 10 до 15 лет. Более точное прогнозирование срока службы затрудняется из-за того, что он зависит в первую очередь от реальных разрываемых токов короткого замыкания и от частоты их возникновения. В связи с этим срок службы выключателей может быть разным даже для фидеров одного и того же распределительного устройства.

При оценке срока службы вакуумных выключателей нельзя руководствоваться только задаваемым максимальным числом отключений, как это принято в отношении обычных выключателей. Аналогичная ситуация складывается и с регулярными измерениями сопротивления контактов, которое в вакууме почти не меняется.

Более рациональным является способ определения остаточного срока службы путем регистрации суммы всех отключаемых токов с помощью современного цифрового реле. При каждом отключении это реле измеряет разрываемый ток выключателя, присваивает ему в соответствии с характеристикой выключателя (рис. 1) оценочный коэффициент  $F_i$ , и суммирует эти значения. Остаточный срок службы, выраженный остаточным числом отключений  $n_r$ , тогда определяют по следующему уравнению:

$$n_r = n_{zul} - \sum F_i(I_A),$$

где  $n_{zul}$  — допустимое число отключений при номинальном токе;  $I_A$  — разрываемый ток аварийного режима;  $\sum F_i(I_A)$  — эквивалентное число аварийных отключений.

Если эффективное значение тока отключения  $I_A$  равно, например 10 кА, то из кривых, приведенных на рисунке, получает число эквивалентных циклов, равное 33. Подставляя эту величину в уравнение, получают остаточное число отключений, равное  $20\,000 - 33 = 19\,967$ . После каждого нового отключения эта величина уменьшается. Когда она станет меньше 1000, это означает, что вакуумную дугогасительную камеру следует в ближайшее время заметить.

Внедрение этого метода является важным шагом на пути перехода от технического обслуживания в определенные сроки к обслуживанию в зависимости от состояния оборудования и обещает значительное сокращение эксплуатационных расходов. Опыт эксплуатации показал, что новый метод обеспечивает достаточную точность при определении остаточного срока службы вакуумных силовых выключателей.

### Техническое обслуживание

В распределительных устройствах с газовой изоляцией не происходит загрязнения контактов и других элементов. В связи с этим работы по текущему содержанию здесь ограничиваются осмотрами и проверкой работоспособности. В этом случае можно считать, что установка не требует обслуживания. Отсутствие обслуживания означает, что в течение определенного времени (не менее 20 лет) параметры установки не изменяются сверх допустимых пределов, и в связи с этим не требуются дополнительная регулировка, смазка и т. п.

Потребность в других работах по техническому обслуживанию определяется только сроком службы коммутационных приборов, то есть максимально допустимым числом циклов коммутации. Если какой-нибудь коммутационный прибор требует замены в связи с истечением его срока службы, то в распределительных устройствах с газовой изоляцией эта замена также не вызывает трудностей. На распределительном

устройстве типа 8DA/8DB это к тому же облегчается однополюсной конструкцией и требует минимальных затрат труда. На устройствах со сварными вакуумированными емкостями подобным образом заменяют весь модуль распределительной панели.

### Безопасность

К мерам по обеспечению безопасности относятся как предотвращение несанкционированных переключений, так и защита персонала. В зависимости от изготовителя и типа распределительного устройства блокировка от несанкционированных переключений может быть механической, электрической или электромеханической. Механическая блокировка имеет то преимущество, что даже при полном отключении оперативного напряжения все действия могут производиться вручную без риска совершения неправильной коммутационной операции. С этой точки зрения механическая блокировка, то есть возможность ручного управления силовыми выключателями, выгодна. Это в особой степени относится к распределительным устройствам тягового электроснабжения, так как они располагаются в основном вдоль линии и не имеют резервного или автономного подвода питания для собственных нужд. При длительной остановке, например, для проведения на полностью отключенной подстанции работ большого объема, необходим вспомогательный источник питания собственных нужд.

К защите персонала относится, прежде всего, защита от непосредственного контакта с элементами, находящимися под высоким напряжением. Полностью закрытое распределительное устройство с газовой изоляцией обеспечивает максимальную степень безопасности. Благодаря особенностям конструкции исключается как прикосновение к частям установки, находящимся под высоким напряжением, так и случайное открытие обслуживающим персоналом газового резервуара, которое может привести к несчастным случаям.

Защита от несчастных случаев распространяется также и на чрезвычайные ситуации, связанные с действиями обслуживающего персонала при возникновении внутренних повреждений распределительного устройства, которые могут привести к образованию открытой электрической дуги. Несмотря на то, что по действующим нормам испытание на перекрытие предусматривается лишь в качестве дополнительного типового испытания, большинство заказчиков во всем мире предъявляет очень высокие требования в отношении этого фактора.

Компактная конструкция распределительных устройств с газовой изоляцией имеет преимущества во многих отношениях. Благодаря газовой изоляции расстояние между частями, находящимися под на-

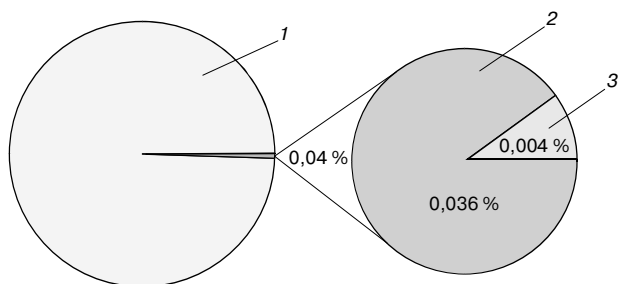


Рис. 2. Доля выбросов газа SF<sub>6</sub> распределительными устройствами в системе передачи и распределения электроэнергии Германии по сравнению с общим потенциалом парникового эффекта:

1 — общий потенциал парникового эффекта; 2 — доля высоковольтных установок; 3 — доля установок среднего уровня напряжений

пряжением, мало, в результате чего длина электрической дуги и выделяющаяся при этом энергия значительно меньше, чем при воздушной изоляции.

В герметичных газовых емкостях сброс излишнего давления происходит через специальные клапаны. При этом срабатывание клапанов влияет лишь на определенную небольшую часть распределительного устройства, не затрагивая остальные. Не менее важным является то, что герметичность установки уже сама исключает возможность возникновения открытой дуги. Установка надежно предохраняется от внешних воздействий, таких как загрязнение, влажность, проникновение грызунов или насекомых, которые могут вызывать перекрытие высокого напряжения на корпус.

### Экологические аспекты

С 1960 г. в выключателях высокого и среднего напряжения в качестве изолирующей и гасящей среды применяется газ SF<sub>6</sub>. Хорошие электротехнические, химические и физические характеристики этого газа способствовали прогрессу в области силовых выключателей. Газ SF<sub>6</sub> постепенно вытеснял все материалы, применявшиеся ранее в качестве изолирующей среды, в том числе масло. Благодаря этому заметно уменьшилась опасность как для персонала, так и для окружающей среды.

В то же время фторид серы SF<sub>6</sub> является одним из шести газов, оказывающих влияние на климат, наряду с углекислым газом (CO<sub>2</sub>), закисью азота (N<sub>2</sub>O), метаном (CH<sub>4</sub>), фтористыми углеводородами (HFC) и (PFC). В отличие от CO<sub>2</sub> газ SF<sub>6</sub> обладает очень высокой химической устойчивостью и поэтому не наносит вреда озоновому слою. Способность этого газа вызывать парниковый эффект, пересчитанная с помощью коэффициента GWP (Global Warming Potential) в эквивалент CO<sub>2</sub>, оценивается величиной 20 900 – 22 500. Это означает, что 1 т газа SF<sub>6</sub> по своему отрицательному воздействию на климат соответствует примерно 22 тыс. т CO<sub>2</sub>.

Несмотря на многолетний положительный опыт и испытанные методики обращения с газом SF<sub>6</sub>, дискуссии вокруг него, порожденные Киотским протоколом, не прекращаются. При этом часто не принимается во внимание то, что при использовании SF<sub>6</sub> в распределительных устройствах мы имеем дело с закрытым использованием, при котором газ не попадает в атмосферу, а циркулирует в закрытом контуре с момента его производства вплоть до утилизации. Как показано на рис. 2, в Германии в общем объеме выбросов парниковых газов в атмосферу с учетом всех стадий изготовления, испытания, монтажа, эксплуатации и утилизации на долю установок среднего напряжения приходится всего лишь около 0,004 %.

Производители газа SF<sub>6</sub>, изготовители распределительных устройств и эксплуатирующие компании в 1997 г. в Германии, а затем и по всей Европе приняли на себя обязательства по сокращению и предотвращению выбросов газа в атмосферу, переработке и утилизации отработанного газа без ущерба для окружающей среды. Недавно опубликованные результаты исследования в области экологического баланса распределительных устройств и сетей среднего напряжения в Германии подтверждают преимущества технологии, связанной с газом SF<sub>6</sub>, по сравнению с альтернативными традиционными технологиями с учетом всех экологических критериев, в том числе парникового эффекта и потребности в первичных энергоносителях.

*J. Hilsle, L. Werth. Elektrische Bahnen, 2004, № 1/2, S. 68 – 73.*

### Редакция журнала «Железные дороги мира»

приглашает на внештатную работу переводчиков с английского, немецкого и французского языка, имеющих опыт работы на железнодорожном транспорте и проживающих в Москве или Московской области.

Обращаться по телефону (095) 317-55-65.