

номинальной. Интерполирующий расчет показал, что при номинальной нагрузке температура повысилась бы до 70 °С.

С помощью термографического контроля высоковольтной линии напряжением 110 кВ удалось обнаружить лопнувшую соединительную клемму алюминиевого провода. При нагрузке, составлявшей 20 % номинальной, температура клеммы была 61 °С. Это значит, что при полной нагрузке она достигла бы 360 °С. Без использования термографии дефект могли бы заметить лишь при плавлении алюминиевой клеммы.

## Выводы

С точки зрения надежности и безопасности электрифицированных железных дорог и электротехнических установок польза термографических измере-

ний несомненна. Во всех распределительных устройствах под действием высоких передаваемых нагрузок и значительных переходных сопротивлений в соединениях возможен местный перегрев элементов оборудования, который может привести к искрению, загоранию и оплавлению. Любое из используемых разъемных соединений (винтовое, штекерное или прессовое) может оказаться дефектным. С помощью термографической техники можно быстро и надежно контролировать винтовые или штекерные соединения трансформаторной ошиновки, опрессованные кабельные наконечники или соединения несущего троса контактной подвески, места стыковки шин и т. д. Термография делает видимым то, что недоступно человеческому глазу. Локализация дефектов позволяет оперативно устранять их и тем самым предотвращать более тяжелые аварии.

S. Krüll. *Elektrische Bahnen*, 2004, № 1/2, S. 74 – 78.

УДК 621.332.6:621.316.37.048:621.315.618

# Распределительное устройство с газовой изоляцией на посту секционирования

*На посту секционирования Грибнице железных дорог Германии (DBAG) впервые было применено распределительное устройство на напряжение 15 кВ с газовой изоляцией. Оно обладает определенными преимуществами перед использующимися на DBAG распределительными устройствами с воздушной изоляцией, предназначенными для внутренней установки, и хорошо зарекомендовало себя на многих тяговых подстанциях переменного тока с частотой 50 и 60 Гц.*

С 1984 г. на DBAG в системе тягового электроснабжения применяются распределительные устройства типовой конструкции — однополюсные на напряжение 15 кВ с воздушной изоляцией, предназначенные для внутренней установки. При этом соблюдалась высокая степень стандартизации как на строящихся, так и реконструируемых распределительных устройствах (РУ).

На DBAG ко всем РУ предъявляются требования высокой эксплуатационной готовности в сочетании с минимальными затратами на текущее содержание и обеспечением максимальной безопасности для обслуживающего персонала. С целью уменьшения затрат потребовалось разработать распределительное устройство для системы тягового электроснабжения переменного тока частотой 16,7 Гц на базе уже вы-

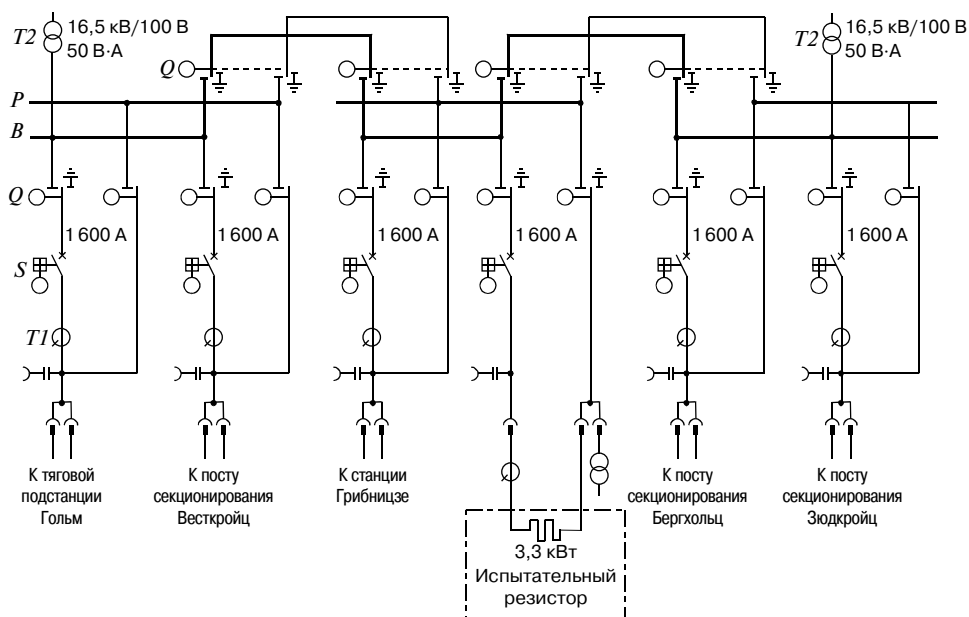
пускаемых промышленностью компонентов с газовой изоляцией. Такая аппаратура с 1997 г. широко использовалась в установках тягового электроснабжения переменного тока частотой 50 – 60 Гц среднего напряжения.

В 1998 г. компания Siemens предложила на базе прошедшего типовые испытания стандартного трехполюсного распределительного устройства типа 8DA10 среднего напряжения со стандартизованным интерфейсом создать для системы тягового электроснабжения напряжением 15 кВ переменного тока частотой 16,7 Гц однополюсное распределительное устройство с газовой изоляцией, оборудованное испытательной шиной.

Поставляемое промышленностью однополюсное устройство типа 8DA/DB в модульном исполнении не потребовало значительной доработки для условий тягового электроснабжения при токе частотой 16,7 Гц, однако значительный объем работ пришлось выполнить по системам защиты и управления.

Для установки нового распределительного устройства с газовой изоляцией был выбран строящийся пост секционирования Грибнице в районе Берлина (рисунок). Он соединяет контактные сети магистральных линий, идущих от Магдебурга и Дессау, с берлинским направлением. Новый пост включен между тяговой подстанцией Гольм и постами сек-

**Принципиальная схема поста секционирования Грибнице:**  
*P* — испытательная шина; *B* — рабочая шина; *Q* — разъединитель; *S* — силовой выключатель; *T1* — трансформатор тока; *T2* — трансформатор напряжения



ционирования Бергхольц, Весткройц и Зюдкройц, оборудованными стандартными распределительными устройствами с воздушной изоляцией. Они построены с 1994 по 2002 г., дистанционно управляются и контролируются с центрального пульта энергодиспетчера в Берлине.

### Предъявляемые требования

Распределительные устройства с газовой изоляцией на напряжение 15 кВ отвечают требованиям действующих инструкций, и поэтому их можно использовать без ограничений, в том числе в режиме дистанционного управления в сочетании с аналогичными устройствами, имеющими воздушную изоляцию.

В 1999 г. на DBAG были разработаны и утверждены Федеральным ведомством железных дорог (EVA) технические условия на пилотную установку, в которых изложены требования к новому распределительному устройству и его отдельным компонентам.

Так, должны быть достигнуты высокая надежность и безопасность нового распределительного устройства без существенных дополнительных расходов на разработку и изготовление, что возможно при использовании в качестве базовой аппаратуры, применяемой в промышленных и общественных сетях электропитания.

Для того чтобы снизить расходы на текущее содержание и ремонт, следует применить в новом распределительном устройстве стандартные компоненты и детали. Элементы стыкования отдельных узлов распределительного устройства должны быть значительно упрощены с целью облегчения и ускорения его монтажа.

### Основные изменения

Использование в распределительном устройстве на 15 кВ газовой изоляции обусловило необходимость внесения ряда изменений, касающихся:

- его расположения, включая размещение испытательного резистора;
- кабельных подключений;
- оборудования собственных нужд;
- аппаратуры управления;
- устройств защиты.

Новая установка в деталях явно отличается от стандартных, применяемых на DBAG, в связи с чем потребовалось получить для нее допуск к эксплуатации от EVA.

### Конструкция распределительного устройства с газовой изоляцией

Распределительное устройство, разработанное для поста секционирования Грибнице, сконструировано на базе аналогичного устройства с газовой изоляцией SITRAS 8DA 11, относящегося к семейству хорошо зарекомендовавших себя силовых устройств компании Siemens типа 8DA/DB на напряжение 40,5 кВ. В течение более чем 20 лет компания поставила различным заказчикам более 30 тыс. установок этого типа, являющихся частью типоряда РУ среднего напряжения с газовой изоляцией. Важным конструктивным признаком такого распределительного устройства является однополюсное модульное исполнение. Благодаря модульной конструкции эти устройства можно выпускать для систем с одним напряжением, а также для систем одного напряжения с испытательной шиной.

**Технические характеристики устройства SITRAS 8DA 11  
(для частоты 16,7 Гц)**

|  |               |
|--|---------------|
| Номинальное напряжение, кВ.....                              | 15            |
| Уровень изоляции, кВ.....                                    | 17,5          |
| Испытательное напряжение переменного тока, кВ:               |               |
| по отношению к земле.....                                    | 50            |
| на изолирующей вставке.....                                  | 60            |
| Испытательное напряжение грозового импульса, кВ:             |               |
| по отношению к земле.....                                    | 125           |
| на изолирующей вставке.....                                  | 145           |
| Отключающая способность по току короткого замыкания, кА..... | 25            |
| Номинальный ток включения при коротком замыкании, кА.....    | 85            |
| Ток в сборной шине, А.....                                   | не более 2500 |
| Ток в ответвлении, А.....                                    | не более 2000 |
| Время отключения выключателя, мс.....                        | менее 25      |

Для автотрансформаторных систем выпускается модификация 8DA 12 на номинальное напряжение до 25 кВ при частоте 50 и 60 Гц.

Силовые выключатели стационарного исполнения 8 DA/DB, кроме того, отвечают требованиям, предъявляемым к модулям с металлическими корпусами, а также действующим стандартам и нормам.

Однополюсные модули и стандартное разделение на отдельные газонаполненные каналы для каждого проводника сборных шин позволяют реализовать однополюсную конструкцию с испытательной шиной. Размещение рабочей и испытательной шин в отдельных газовых каналах не представляет проблемы, как и выполнение испытательного ответвления или установка соответствующего разъединителя на отходящих фидерах. Таким образом, функциональные возможности, которыми должны обладать распределительные устройства на DBAG, в частности на посту секционирования Гривницзе, были реализованы без особых затрат на разработку.

Для новых установок системы тягового электроснабжения DBAG характерны следующие признаки:

- высокая эксплуатационная надежность и безопасность, обусловленные герметичностью модуля и встроенной защитой, исключающей ошибки управления;
- небольшая занимаемая площадь в связи с компактностью модулей;
- минимальные затраты на обслуживание, связанные с длительными интервалами между проверками состояния устройства — визуальный контроль через 5 лет, генеральная ревизия через 20 лет;
- высокая экологичность благодаря использованию газа ( $SF_6$ ) только в качестве изолирующей среды в замкнутом контуре.

Модульная конструкция со стандартными корпусами обеспечивает возможность создания различных вариантов распределительных щитов и дополнительных узлов, таких, например, как продольное секционирование сборной шины. При любых вариантах исполнения длина панели составляет 600 мм, а глубина 1245 мм.

Исходя из расчетного уровня изоляции 17,5 кВ, корпуса заполняют газом  $SF_6$  с избыточным давлением не более 50 кПа (0,5 бар). Изоляционная способность распределительных устройств с газовой изоляцией не зависит от климатических условий и высоты расположения.

Каждая из отдельных камер, заполненных газом, снабжена контактным манометром. Благодаря качественной обработке уплотнительных элементов, сохраняющих свои качества в течение долгого времени, допускаемые потери в виде утечек из герметично закрытой системы составляют менее 0,5 % в год. В действительности же потери гораздо меньше, благодаря чему дополнительная заправка требуется не ранее чем через 20 лет после сдачи в эксплуатацию. То, что камеры отделены одна от другой, позволяет ограничить последствия возможных неисправностей и обеспечивает надежную работу остальных частей.

Включение нагрузки производится с помощью вакуумных силовых выключателей, уже давно используемых в сетях тягового электроснабжения и хорошо зарекомендовавших себя. Газ  $SF_6$  применяется здесь только в качестве изолирующей среды для сигнальных ламп и цепей их подключения между высоковольтной цепью и заземленным корпусом. Соответствие показаний сигнальных ламп и положения привода быстродействующего выключающего механизма позволяет не проводить дополнительной проверки срабатывания. Приводы силовых выключателей, как и все другие приводы, располагаются вне газонаполненных объемов, благодаря чему к нему в любое время обеспечивается свободный и безопасный доступ. Части привода, находящиеся внутри модуля, не требуют обслуживания.

Типичный для новых распределительных устройств трехпозиционный разъединитель рабочей шины, используемый также в качестве выключателя ответвлений и цепи заземления, расположен в коробе сборной шины. Он имеет три положения:

- контактный нож замкнут на сборную шину;
- цепь между сборной шиной и силовым выключателем разомкнута, подается испытательное напряжение на изоляционный промежуток;
- заземление подготовлено — контактный нож замкнут на контакт заземления в коробе сборной шины; ответвление заземляется при включении силового выключателя.

Таким образом, этот разъединитель в сочетании с силовым выключателем обеспечивает надежное заземление ответвлений. Другой разъединитель на установках с испытательной шиной соединяет отходящие фидеры с испытательным устройством.

Наряду с электроприводом все коммутирующие элементы имеют также ручной привод с рычагом включения; предусмотрена также механическая блокировка между силовым выключателем и трехпозиционным разъединителем. Благодаря этому распре-

делительное устройство полностью сохраняет работоспособность и управляемость даже при отсутствии напряжения в оперативных цепях.

Трансформаторы тока, выполненные с кольцевым сердечником, располагаются вне корпуса установки. Трансформаторы напряжения устанавливаются на сборной шине и испытательном ответвлении. На сборной шине их располагают в специальной газонаполненной камере; трансформатор напряжения, предназначенный для установки на испытательном ответвлении, выполняют в безопасном корпусе из листовой стали. Благодаря высокой надежности трансформаторов напряжения и размещению их в отдельных корпусах не требуется применять предохранители. При необходимости могут быть также использованы трансформаторы напряжения пониженной мощности.

Для проверки ответвлений на отсутствие напряжения используются индикаторы с емкостной связью по стандарту ИТС 61243-5.

Подключения кабелей к фидерам контактной сети напряжением 15 кВ выполнены полностью изолированными. Различные по назначению устройства подключения имеют разные корпуса, которые могут быть также использованы для подключения разрядников. Испытательные резисторы подключают с помощью обычных концевых кабельных муфт.

## Здание

Здание поста секционирования нового типа было спроектировано на базе стандартного. В нем предусмотрен достаточный запас площади для четырех дополнительных щитов. Устройства среднего напряжения, собственных нужд, а также защиты и управления расположены в одном помещении и занимают площадь 35 м<sup>2</sup>. С учетом резерва эта площадь на 47 % меньше предусмотренной традиционным проектом здания для распределительных устройств с воздушной изоляцией.

Испытательный резистор взят из стандартных установок без изменения, но размещен в изолированном помещении, имеющем отдельный вход. Охлаждается резистор с помощью естественной циркуляции воздуха.

Вместо ленточной конструкции фундамента применена модульная из отдельных элементов. Кабели подводятся через забетонированные кабельные вводы. Конструкция фундамента позволяет свободно разводиться кабели под помещением РУ и без особых проблем изменять их раскладку и подводить новые.

В качестве основания пола служит двойное перекрытие на опорах. В местах монтажа РУ и приборных шкафов выполнены соответствующие ниши. В здании поддерживается давление 16 кПа (160 мбар); предусмотрены предохранительные клапаны и вен-

тиляционные отверстия для снижения пиков давления, возникающих при отключении под нагрузкой силовых выключателей.

Оборудование собственных нужд было доработано с целью согласования его с новым устройством. В цепи собственных нужд применяется оперативный постоянный ток напряжением 60 В. В системе питания его цепей используются выпрямители и необслуживаемые гелевые аккумуляторы; система выполнена резервированной. Распределительный щит размещен в шкафах системы питания постоянного тока. Блокировки силовых выключателей, разъединителей, модулей и аппаратов защиты расположены над отдельными автоматами на соответствующих панелях, а также в низковольтных шкафах распределительного устройства с газовой изоляцией. Каждая из трех секций сборных шин получает питание через цепь собственных нужд.

## Устройства защиты и управления

Для упрощения стыкования и обеспечения электромагнитной совместимости устройства защиты и управления связаны с панелями распределительных щитов системой световодов. Для отходящих фидеров использованы применяемые на железных дорогах цифровые реле дистанционной защиты, а для испытательных отводов — реле максимального тока с независимой выдержкой времени, которые установлены также и в распределительных устройствах с воздушной изоляцией. Для подключения приборов защиты к системе управления применены оптические интерфейсы.

Основой системы управления поста является стандартная схема управления распределительными установками с воздушной изоляцией. Однако она дополнена панелью для децентрализованного управления ответвлениями. Приборы защиты и модули распределительных панелей установлены в низковольтных шкафах распределительного устройства с газовой изоляцией. Непосредственно на месте установки прокладывают заранее подготовленные световоды и подключают разъемы. Кроме световодов и цепей вспомогательного тока, не требуется дополнительная вспомогательная проводка. Блоки передачи электроэнергии, охватывающие до пяти распределительных узлов, соединяют на месте установки заранее подготовленной проводкой с разъемами, благодаря чему значительно уменьшается расход кабеля.

Поскольку система управления является децентрализованной, цифровыми устройствами ввода и вывода системы управления регистрируются только некоторые общие сообщения, поступающие из сети собственных нужд. Температура в помещении для испытаний учитывается в системе управления испытательным отводом.

Одной из функций защиты является срабатывание вместо силового выключателя. В случае отказа силового выключателя или устройства защиты отключаются все остальные выключатели поста секционирования. Защита от замыкания на корпус отсутствует, так как в РУ с газовой изоляцией протекание тока между токоведущей частью и кожухом модуля соответствует короткому замыканию.

Компоненты автоматизации стандартной системы распределения, автоматики контроля воздушной контактной сети и защиты от ошибок при коммутации необходимо было доработать в связи с наличием трехпозиционного разъединителя и заземления через силовой выключатель. Потребовалось также улучшить отображение на экране центрального поста управления, чтобы привести его в соответствие с требованиями, разработанными в свое время для стандартных распределительных устройств, и обеспечить простоту их обслуживания.

### Результаты и перспективы

Для монтажа установки и ее отладки на месте потребовалось в общей сложности всего пять рабочих дней, т. е. значительно меньше, чем для стандартного

распределительного устройства. Так как необходимо было испытать только узлы связи с оборудованием собственных нужд и центральным постом управления, монтаж вели особо тщательно, чтобы не допустить погрешностей и не задержать сдачу в эксплуатацию.

РУ с газовой изоляцией по надежности и безопасности работы отвечают современным международным требованиям к системам электроснабжения. Использование прошедшего типовые испытания распределительного устройства SITRAS 8DA11 значительно удлиняет интервалы технического обслуживания; предполагается, что срок его службы превысит 30 лет.

Ожидается повышение надежности работы цепей высокого напряжения по сравнению со стандартными распределительными устройствами, так как среднее время безотказной работы находящихся в эксплуатации базовых панелей 8DA/DB составляет более 4000 лет.

Общая концепция РУ с газовой изоляцией для тягового энергоснабжения может быть использована как при строительстве новых, так и при реконструкции имеющихся установок.

*R. Braun et al. Elektrische Bahnen, 2003, № 4/5, S. 182 – 187.*

УДК 629.4.027.4.002.3:669.14.018.294

## Усталостные свойства колесной стали при высоких нагрузках

*При исследовании усталостных свойств колесной стали марок R7 и B6, соответствующей рекомендациям МСЖД, и механики разрушения изготовленных из нее цельнокатаных колес и бандажей большое значение имел микроструктурный анализ материала. Помимо этого, проводились механические измерения, по результатам которых строили зависимость напряжений от деформаций, а также термометрический и резистометрический анализы. Для оценки предела усталости испытывали образцы с постепенным повышением нагрузки. Исследования с помощью оптической и электронной микроскопии служили для определения различий в микроструктуре, зависящих от режимов термообработки и конструкции детали, в данном случае колеса. Главной задачей исследования было изучение влияния структуры на усталостные свойства колесных сталей.*

В Германии через десять лет в перевозках на дальние расстояния ожидается удвоение грузооборота до 150 млрд. ткм. В свете изменившихся требований, свя-

занных с более высокими осевыми нагрузками, необходимо дальнейшее совершенствование системы колесо — рельс до максимально возможных технических пределов.

В пятне контакта колеса с рельсом площадью около 1 см<sup>2</sup> возникает сложная термомеханическая картина нагрузки. Оптимизация колесных пар предполагает всесторонние знания обо всех параметрах используемой колесной стали, важных с точки зрения конструкционной и эксплуатационной прочности. В настоящее время расчет цельнокатаных колес выполняется в соответствии с уже известными стандартами, например МСЖД 510-5 или проектом европейского стандарта EN-13262-1.

Рассматриваемое исследование усталостных характеристик при высоких нагрузках и с использованием микроструктурного анализа проведено на цельнокатаных колесах стандарта МСЖД и бандажах,ковка и термообработка которых выполнены Объединением предприятий транспортной промышленности в г. Бохум (BVV). При этом важную роль играла оценка различных влияющих факторов, та-