

Инновации в развитии электроэнергетической инфраструктуры железнодорожного транспорта

А. В. МИЗИНЦЕВ, канд. техн. наук, председатель совета директоров ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО», профессор кафедры «Электроснабжение железных дорог» Петербургского государственного университета путей сообщения



На сегодняшний день значительная часть электроэнергетической инфраструктуры железнодорожного транспорта России уже исчерпала ресурс и требует замены или поэтапной реконструкции и обновления. Кроме того, необходимо повышать эффективность использования имеющегося оборудования, сокращать эксплуатационные расходы и переходить на ресурсо- и энергосберегающие технологии. Решению этих проблем способствует внедрение новейших разработок в области энергообеспечения тяги поездов.

Развитие экономики страны обуславливает постоянный рост объема перевозок грузов и пассажиров, в том числе и по железной дороге. Более 85 % грузов перевозится по электрифицированным линиям железной дороги длиной свыше 43 тыс. км. При этом на перевозки расходуется 4,5 % электроэнергии, вырабатываемой в России. Для дальнейшего обеспечения потребностей российской экономики электроэнергетическая инфраструктура железнодорожного транспорта нуждается в интенсивном развитии.

Факторы повышения надежности оборудования

Развитие тяжеловесного, скоростного и высокоскоростного движения и рост его интенсивности, применение электроподвижного состава (ЭПС) нового поколения требуют замены устаревшего оборудования и элементов низкой эксплуатационной надежности на высокотехнологичные устройства повышенной надежности и увеличенного ресурса.

Надежность оборудования растет прежде всего в результате применения современных компонентов в системах энергообеспечения инфраструктуры, а также цифровых интеллектуальных систем управления. Системы диагностирования оборудования, обеспечивающие возможность обслуживания его по состоянию, с использованием малолюдных технологий, тоже способствуют повышению его надежности. Расши-

рение практики построения систем инфраструктуры из функционально законченных блоков позволяет наиболее полно использовать преимущества современных компонентов и дает возможность вести текущий мониторинг как отдельных функциональных блоков, так и системы в целом.

Современные компоненты используются на всех уровнях распределения электрической энергии объектов инфраструктуры железных дорог. Защитные выключатели и коммутирующая аппаратура линейных устройств электроснабжения во многом определяют надежность электроснабжения и обеспечивают бесперебойность работы электроснабжения при возникновении нештатных ситуаций.

Выключатели постоянного и переменного тока и распределительные устройства на их основе

Для железных дорог постоянного тока в ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» разработан и выпускается быстродействующий выключатель постоянного тока ВАБ-206 и распределительное устройство РУЗ,3 кВ с установленным на выкатном элементе выключателем (рис. 1).

Выключатель ВАБ-206 по отключающей способности заменяет два последовательно включенных выключателя ВАБ-49, обладает повышенным ресурсом по электрической износостойкости, имеет встроенное реле тока с «сухими» контактами (вместо РДШ) и малогабаритную станцию управления.



Рис. 1. Распределительное устройство РУЗ (3 кВ) с выключателем, установленным на выкатном элементе



Рис. 2. Распределительное устройство на базе вакуумного выключателя с малым током среза, с выкатными элементами и воздушной изоляцией

Благодаря быстродействию встроенного реле тока есть возможность изменять чувствительность к скорости нарастания тока. По сравнению с зарубежными аналогами выключатель отличается значительно лучшим токоограничением в индуктивных цепях и



Рис. 3. Сухой трансформатор с твердой изоляцией, мощность до 12,5 МВА, напряжение обмоток до 24 кВ

имеет на порядок больший ресурс работы дугогасительной камеры. Существенно меньший выброс ионизированных газов из дугогасительной камеры позволил уменьшить общие габариты ячейки распределительного устройства и повысить безопасность.

Для тяговых подстанций широко используются современные вакуумные выключатели с малым током среза, номинальным током до 3,15 кА и напряжением до 20 кВ в одно-, двух- и трехполюсном исполнении. На базе этих выключателей строятся распределительные устройства с выкатными элементами и воздушной изоляцией, что обеспечивает уменьшение габаритов и высокую степень безопасности (рис. 2).

Для тяговых подстанций переменного тока используются ячейки с выключателями до 2 кА и напряжением 27,5 кВ. Автоматическое соединение вторичных цепей при выкатывании и размыкание при выкатывании тележки с выключателем существенно повысили надежность работы встроенных блокировок ячейки.

Все типы ячеек распределительных устройств оборудованы интеллектуальными цифровыми защитами, позволяющими построить систему управления, защиты и автоматики присоединений, сбор и хранение информации об аварийных и нештатных ситуациях, а также информацию для системы диагностики нижнего уровня.

Трансформаторы

Другим важным компонентом тяговых подстанций является трансформаторное оборудование. Для инфраструктуры энергообеспечения и преобразователей тяговых подстанций ООО «НИИЭФА-

ЭНЕРГО» поставляет сухие трансформаторы с твердой изоляцией. Они отличаются повышенной пожаробезопасностью (минимальное содержание горючих веществ) и высокой перегрузочной способностью, достигаемой за счет открытых хорошо охлаждаемых обмоток. Данные качества особенно важны, поскольку для тяговых трансформаторов характерны импульсно-периодические нагрузки, особенно при организации пакетного режима движения ЭПС. Выпускаемые трансформаторы имеют мощность до 12,5 МВА с напряжением обмоток до 24 кВ (рис. 3). Они постепенно замещают в энергохозяйстве железных дорог масляные трансформаторы, требующие сложной организации обслуживания при эксплуатации.

Экономия ресурсов на постоянном токе

Оборудование тяговых подстанций постоянного тока в соответствии с требованиями обеспечения надежности электроснабжения имеет двукратный запас по мощности, который используется только на 40%.

Создавая новое оборудование, ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» стремится обеспечить максимальную преемственность новинок по отношению к существующему оборудованию. При этом важна модернизация уже имеющегося на тяговых подстанциях оборудования; она осуществляется путем применения дополнительных устройств компенсации, благодаря которым снижаются потери электроэнергии и достигается необходимый уровень напряжения в контактной сети и на ЭПС.

Для тяговых подстанций постоянного тока была разработана серия новых преобразователей. Они отличаются меньшими габаритами, работают с меньшими потерями и обеспечивают надежное электроснабжение тяговых сетей. Количество диодов в преобразователях сокращено в 4 раза; этого удалось достичь благодаря использованию современных полупроводниковых приборов (рис. 4). Возрастание удельных потерь, происходящих на полупроводниковый прибор, компенсируется за счет применения более эффективной сис-



Рис. 4. Преобразователь новой серии, разработанный ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» для тяговых подстанций постоянного тока



Рис. 5. Двенадцатипульсовый инвертор, разработанный для использования при строительстве новых тяговых подстанций

дованием и оборудованием распределения энергии, размещаемым в аналогичных модулях. Такое решение упрощает и делает гибкой систему построения тяговых подстанций, позволяет быстро вводить системы в эксплуатацию. Завершенность модулей, имеющих внутреннюю систему диагностирования, сокращает сроки проектирования и ввода их в эксплуатацию, повышает надежность функционирования всей подстанции как единой системы.

Инверторы для возврата энергии торможения

Важной тенденцией последнего времени является использование инверторов для частичного возврата энергии торможения ЭПС в питающую сеть.

Разработаны шестипульсовые инверторы для реконструкции старых тяговых подстанций (ТП) и двенадцатипульсовые для использования при строительстве новых ТП на базе типовых конструктивных решений преобразовательного оборудования (рис. 5).

Выпускаемые инверторы рассчитаны на длительное преобразование тока рекуперации 2 кА при напряжении 3,8 кВ и кратковременной двойной перегрузке по току. Они имеют встроенные защиты от опрокидывания, неполнофазного режима, отказов системы управления и силовых элементов.

Инверторы, обеспечивая частичный возврат энергии торможения в питающую сеть, сокращают износ тормозных колодок на электроподвижном составе, а также позволяют повысить безопасность эксплуатации участков с уклонами значительной протяженности.

Профилактический подогрев

В 2011 г. ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» был разработан регулируемый источник для профилактического подогрева контактной сети постоянного тока и предотвращения гололедных явлений. В нем используются те же конструкторские решения, что и для тяговых выпрямителей.

Источник профилактического подогрева контактной сети позволяет осуществлять регулирование тока по двенадцатипульсовой эквивалентной схеме выпрямления в диапазоне до 2 кА и напряжении на выходе до 1200 В. При этом, благодаря шунтированию управляемых выпрямителей диодами, достигается снижение уровня гармоник в цепях постоянного тока при глубоком регулировании и снижении уровня потребления реактивной

темы охлаждения на основе тепловых труб.

Диагностика элементов преобразователя осуществляется современными инфракрасными тепловыми датчиками; таким образом, удаленная диагностика оборудования ведется по наиболее информативному параметру — тепловому состоянию диодов, — что позволяет прогнозировать вероятность развития аварийных процессов.

Вольтодобавочные устройства

В серию преобразователей с использованием типовых конструктивных решений входят и управляемые выпрямители. На основе таких выпрямителей 500 В / 3,2 кА созданы вольтодобавочные устройства (ВДУ), обеспечивающие стабилизацию напряжения на тяговых подстанциях при изменяющейся тяговой нагрузке. ВДУ включаются последовательно по току с основным тяговым выпрямителем. Такие системы используются для организации скоростного движения на участке Москва — Санкт-Петербург.

За счет ВДУ мощность тягового оборудования была увеличена на 15 %, что позволило на 300–400 В повысить напряжение на пантографе ЭПС и более эффективно использовать имею-

щееся оборудование тяговых подстанций. При этом удалось сохранить старую структуру энергоснабжения участка железной дороги и обойтись без строительства новых промежуточных подстанций, которые могли бы потребоваться для организации высокоскоростного движения электропоездов «Сапсан».

Применение ВДУ обеспечивает регулируемое энергоснабжение межподстанционных зон, позволяет снизить потери в контактной сети из-за снижения уравнильных токов между подстанциями и более эффективно использовать существующее оборудование.

Кроме того, в ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» разработаны DC/DC-преобразователи мощностью 6 МВт, работающие на повышенном уровне напряжения питания 6 кВ от специально созданной сети постоянного тока. Их применение необходимо при организации тяжеловесного движения, когда дополнительная мощность должна быть передана в середину межподстанционной зоны.

Все преобразователи с необходимым вспомогательным оборудованием размещаются в относительно малогабаритных модулях. Функциональная завершенность изделий обеспечивает стыковку с трансформаторным обо-



Рис. 6. Устройства продольной компенсации

мощности из сети переменного тока. За счет автоматического изменения величины тока профподогрева обеспечивается необходимый уровень напряжения на ЭПС при проходе его по участку и восстановление тока до необходимого уровня при исчезновении тяговых нагрузок.

Переменный ток

Для электрифицированных железных дорог на переменном токе разработаны компенсирующие устройства (КУ) мощностью до 6 МВар, фильтр-компенсирующие устройства (ФКУ) мощностью 3 МВар по первой гармонике с компенсацией высших гармоник.

В настоящее время создаются компенсирующие устройства с режимом автоматического ступенчатого регулирования уровня компенсации реактивной мощности. Они дают возможность регулировать напряжение в контактной сети во всем диапазоне изменения тяговых нагрузок.

Освоено серийное изготовление устройств продольной компенсации (УПК) (рис. 6). Около 20 таких устройств введены в эксплуатацию на Восточно-Сибирской и Красноярской железных дорогах. Выбор параметров УПК выполняется с учетом пакетного движения поездов повышенной массы до 6300 т с минимальным межпоездным интервалом.

Узким местом для пропуска тяжелых поездов на дорогах переменного тока с затяжными подъемами и большим уклоном является «нейтральная вставка» в контактной сети. Для обеспечения прохода высокоскоростным поездом зоны нейтральных вставок важно обеспечение плавности хода поезда с непрерывным питанием тяговых двигателей без разбора схемы ЭПС. Разработано устройство непрерывного тока, которое позволяет осуществлять поочередное подключение быстродействующими выключателями нейтральной вставки контактной сети сначала к одной, а затем к другой сек-

циям контактной сети. При этом время отсутствия напряжения на нейтральной вставке в процессе переключения не влияет на режим движения электропоезда.

Автоматизированная система управления тяговой подстанцией (АСУ ТП)

Появление систем управления и встроенной диагностики функционально завершенных узлов и модулей послужило толчком к развитию автоматизированных систем управления (АСУ) объектами электроснабжения (рис. 7).

Обязательной опцией становится функция диагностики оборудования, а именно коммутационного оборудования, благодаря чему возможен переход от обслуживания по регламенту к обслуживанию по состоянию оборудования. Соответствующее программное обеспечение устанавливается на оборудовании АСУ ТП тяговой подстанции. Данные по диагностике оборудования передаются по скоростным каналам системы передачи данных общетехнического назначения. Накопление информации, ее обработка, представление данных пользователям осуществляются с помощью серверов, устанавливаемых на энергокругах.

В настоящее время участок скоростного движения Москва — Санкт-Петербург оборудован системой диагностики фидеров контактной сети всех тяговых подстанций. Информация о состоянии выключателей (его ресурсных характеристиках) доступна всем техническим специалистам службы. Кроме того, система предоставляет информацию об аварийных отключениях и текущих параметрах,

на основе которой можно вносить коррективы в планы профилактических работ.

Необходимо отметить, что система диагностики строится на тех же аппаратных средствах, что и АСУ ТП — на интеллектуальных фидерных терминалах присоединений, которые реализуют функции защиты, управления и автоматизации присоединений. Дополнительные опции по диагностике решаются на программном уровне. Это позволяет снизить общие затраты на оборудование тяговых подстанций, а также улучшить показатели надежности в целом.

Основными целями создания системы диагностирования оборудования остаются:

- повышение эффективности работы системы тягового электроснабжения;
- эксплуатация ТП без постоянного дежурного персонала;
- техническое обслуживание наиболее значимого электротехнического оборудования ТП по его фактическому состоянию.

Широкое применение современных электронных систем постоянно адаптируется под развивающиеся потребности эксплуатационников.

В ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» большое внимание уделяется работе над новыми вспомогательными подсистемами. В настоящее время в серийное производство внедряются устройства, обеспечивающие снижение электромагнитного влияния контактной сети на линии продольного электроснабжения, устройства автоматического обогрева стрелочных переводов. Они повышают надежность работы систем, влияющих на безопасность движения.

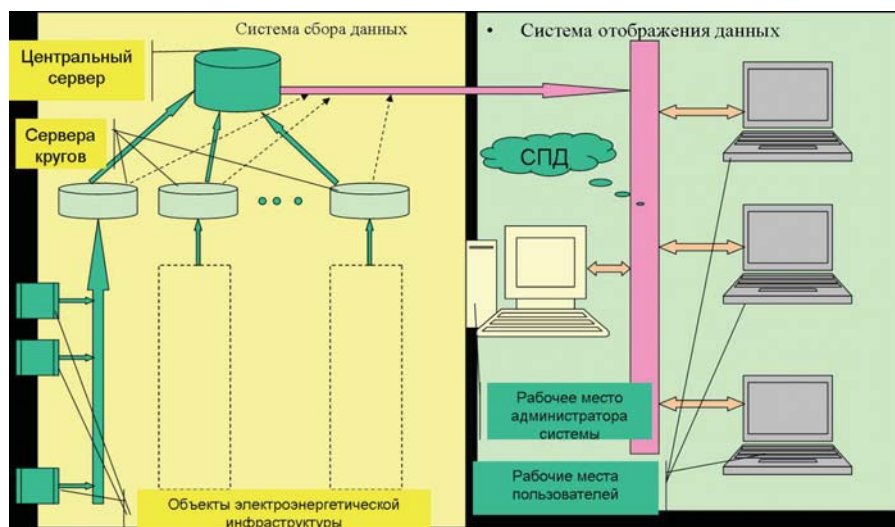


Рис. 7. Схема автоматизированной системы управления объектами электроснабжения