

Центр для испытания систем тягового привода в Нюрнберге

Испытательный центр в Нюрнберге создан для испытаний разрабатываемых и изготавливаемых здесь систем тягового привода. Спектр нагрузок, которым подвергаются системы привода на испытательных стендах, охватывает обычные и экстремальные эксплуатационные, а также нагрузки, возникающие в аварийных ситуациях. Эти испытания служат основой для повышения эксплуатационной надежности железнодорожного подвижного состава.

В связи с тяжелыми условиями эксплуатации, разнообразием и высоким уровнем предъявляемых эксплуатационных требований, а также дефицитом свободного пространства для установки на подвижном составе многие элементы современных систем тягового электропривода должны обладать высокой прочностью, удельной мощностью и надежностью, а также иметь большой срок службы. Нормальная работа элементов системы как в отдельности, так и в составе всей системы в целом является необходимым условием.

Из-за постоянного сокращения сроков обновления техники в целом и систем привода в частности, а также в результате повышения роли железнодорожной промышленности в разработке новой техники после приватизации различных железнодорожных компаний усиливается необходимость в интенсивных испытаниях отдельных элементов и проверке их взаимодействия в системе. Выпуск и ввод в эксплуатацию подвижного состава новых серий или новых компонентов привода без проведения таких испытаний были бы связаны для изготовителя с высоким риском как с технической, так и с экономической точки зрения.

Большое разнообразие вариантов и сложность стыковки различных компонентов, полученных

от различных изготовителей, требует также проведения предварительных испытаний всей системы для снижения расходов при вводе в эксплуатацию и уменьшения риска при эксплуатации.

Предварительные испытания системы являются целесообразными также и потому, что некоторые режимы работы и предельно допустимые условия сложно воспроизвести в эксплуатации, а в ходе стендовых испытаний они могут быть воспроизведены и проверены с меньшими затратами.

Требования к испытаниям с учетом многообразия вариантов привода

Уже почти три десятилетия тяговые преобразователи и асинхронные двигатели трехфазного тока являются основными элементами типичного привода железнодорожного подвижного состава. Дальнейшее совершенствование привода при этом связано в основном с дальнейшим совершенствованием силовой электроники, с одной стороны, и с развитием микропроцессорной техники и управляющих программ — с другой. Определенный отпечаток на развитие привода для железнодорожного подвижного состава накладывают также особые требования к тяговому оборудова-

нию на железнодорожном транспорте, частично объясняемые историческими причинами.

В условиях городского транспорта преобладающими являются тяговые сети постоянного тока напряжением 600 В, 750 В и 1,5 кВ. В дальнейшем сообщении в различных странах Европы исторически установились самые различные системы тягового электроснабжения. В Германии, Австрии, Швейцарии и Скандинавских странах преобладают железные дороги, оборудованные тяговыми сетями переменного тока напряжением 15 кВ, частотой 16,7 Гц. Появившаяся позднее и поэтому более современная система переменного тока 25 кВ, 50 Гц утвердилась в таких странах, как Великобритания, Франция и Португалия, а также частично в странах Азии с частотой 60 Гц. В Испании, Италии, Бельгии и странах Восточной Европы преобладающими являются сети постоянного тока напряжением 3 кВ. Сети постоянного тока с напряжением 1,5 кВ имеются во Франции и Нидерландах. Кроме того, следует учитывать эксплуатационные допуски на уровень напряжения в контактной сети, которые могут в зависимости от номинального напряжения достигать $\pm 33\%$, и различные переходные режимы. Все эти обстоятельства оказывают значительное влияние на результаты расчета параметров электрических компонентов, в частности их долговечности, а также определяют уровень требований к испытаниям.

Стремление проектировщиков как можно более эффективно использовать пространство в вагонах для увеличения числа пассажирских мест отодвигает на второй план вопросы размещения оборудования, в том числе и элементов тягового привода. Кроме того, дополнительные трудности для размещения устройств привода создает узкая колея (например, шириной 1067 мм), оставляющая для их установки на тележке и осях колесных пар слишком мало места. В связи с этим возникают повышенные тре-

бования к массе и объему оборудования, направленные на получение максимальной удельной мощности и зависящего от этого термического диапазона эксплуатации привода.

Наряду с высокими требованиями в отношении удельной мощности к компонентам тягового привода предъявляются также высокие требования по долговечности — срок службы должен составлять не менее 30 лет.

Ударные и переменные нагрузки на железнодорожном транспорте подразделяются на три категории. При нагрузках наивысшей категории (в случае размещения на оси колесной пары) компоненты привода должны испытываться с нагрузками, достигающими 100g. Высокие динамические нагрузки подвижного состава сочетаются также с экстремальными климатическими воздействиями. Компоненты привода должны обеспечивать высокую надежность при температуре окружающей среды от -40 до $+70$ °C, а для экстремальных ситуаций — от -50 до $+85$ °C. Важную роль при расчете параметров играют не только абсолютные предельные значения температур, но также и циклические тепловые нагрузки, возникающие в результате часто чередующихся процессов трогания и торможения.

В связи с требованиями, вытекающими из этих экстремальных условий, необходима устойчивая конструкция компонентов привода с использованием проверенных материалов и надежных технических решений, специально разработанных для железных дорог.

Сочетание жестких технических требований с относительно малыми партиями изделий является характерным признаком проектов, связанных с разработкой компонентов тягового привода и определяющих уровень требований к испытаниям.

Конфигурация привода

Современные системы тягового привода электрического подвижного состава местного и дальнего

сообщения состоят из следующих основных компонентов:

- силового выключателя, а в сетях переменного тока — также главного трансформатора;
- сетевого фильтра;
- входного регулирующего устройства (например, четырехквadrантного регулятора 4QS);
- конденсаторов промежуточного звена постоянного напряжения с поглощающей цепочкой в сетях переменного тока;
- тормозного резистора;
- импульсного инвертора (PWR);
- трехфазных тяговых двигателей с редуктором;
- системы управления и регулирования;
- вспомогательных устройств.

Взаимодействие всех этих компонентов с подвижным составом обеспечивается системой управления подвижным составом в сочетании с одной или несколькими системами управления тяговым и вспомогательными приводами.

На тяговом подвижном составе постоянного тока преобразователь обычно соединяется с сетью через сетевой фильтр, причем напряжение промежуточного звена определяется непосредственно напряжением тяговой сети. На электроподвижном составе переменного тока, а также на дизельном с электрической передачей трехфазного тока напряжение промежуточного контура может задаваться с помощью входного регулятора на выходе трансформатора или генератора. Топология схем соединения в тяговых цепях зависит от типа применяемых полупроводниковых силовых вентилялей. В настоящее время наибольшее распространение получили биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT) для следующих трех уровней напряжения: с запирающим напряжением 1,7 кВ для сетей постоянного тока напряжением 750 и 600 В, 3,3 кВ — для сетей с напряжением 1,5 кВ и 6,5 кВ для сетей 3 кВ. С внедрением IGBT отпала необходимость в последовательном соедине-

нии нескольких полупроводниковых элементов зачастую в сочетании со сложной и дорогостоящей схемой регулирования на входе или с трехточечным преобразователем на выходе.

Наряду с такими общеизвестными преимуществами по сравнению с запираемыми (GTO) и обычными тиристорами, как более высокая тактовая частота, низкие потери на коммутацию, более простая и дешевая схема управления и отсутствие снабберных цепей, IGBT обладают еще одним неоспоримым достоинством: их можно соединять параллельно и за счет этого изменять шкалу мощности.

Устанавливаемый на вторичной стороне трансформатора четырехквadrантный регулятор 4QS состоит из таких же модулей, как и автономный импульсный инвертор PWR. Кроме регулирования напряжения в промежуточном контуре, он должен выполнять еще следующие функции:

- поддерживать коэффициент мощности $\cos\phi = 1$ и таким образом способствовать отбору из сети только активной мощности;
- совместно с сетевым фильтром сокращать до минимума токи высших гармоник;
- постоянно обеспечивать согласование мощности между сетью и промежуточным звеном постоянного напряжения при динамических процессах в ходе рекуперации.

С внедрением тиристорных GTO, т.е. с появлением возможности запирающих полупроводниковых элементов без использования громоздких схем гашения, был сделан окончательный выбор в пользу преобразователей напряжения и соответственно промежуточного звена постоянного напряжения. С помощью импульсного инвертора напряжения, подключенного к выходу промежуточного звена, осуществляется независимое регулирование напряжения и частоты для питания тяговых двигателей. Устанавливаемый в случае необходимо-

сти индуктивно-емкостной фильтр, используемый в качестве поглощающей цепочки, подавляет гармонику, частота которой равна удвоенной сетевой (33 Гц в сетях 15 кВ, 16,7 Гц и 100/120 Гц в сетях 25 кВ, 50/60 Гц). Этот фильтр подключается параллельно емкости промежуточного звена.

Развитие в 1970-е и 1980-е годы быстроразвивающейся микропроцессорной техники в сочетании с новыми системами регулирования способствовало тому, что основным видом тягового двигателя стал асинхронный трехфазный. Эта современная техника обеспечивает значительно лучшую динамику регулирования по сравнению с двигателями постоянного тока при юзе и боксовании, а также при активном подавлении колебаний и мешающих токов. Кроме того, по сравнению с двигателем постоянного тока асинхронный двигатель является более надежным и эффективным, требует меньше ухода.

Крутящий момент и частота вращения двигателя приводятся в соответствие с потребностями подвижного состава при помощи передачи. Габаритные размеры двигателя при этом определяются крутящим моментом. Передаточное число ограничивается клиренсом и расстоянием между осями в тележке. Таким образом, оптимальная концепция привода, зависящая от скорости подвижного состава, должна согласовываться между изготовителями двигателя, редуктора и тележки.

Сейчас для подвижного состава различных видов наибольшее распространение получили следующие типы привода:

- с опорно-осевой подвеской для локомотивов малой скорости;
- полностью подрессоренный привод с полым валом для локомотивов высокой скорости;
- наполовину подрессоренный поперечный привод с зубчатой муфтой, допускающей относительные горизонтальные и вертикальные смещения валов двигателя и

редуктора. Этот вид привода используется на поездах метрополитена и городских железных дорог, а также для высокоскоростного подвижного состава;

- интегрированный поперечный привод для городских железных дорог;
- продольный привод для поездов метрополитена;
- ступичный привод для вагонов трамвая.

Оптимальный вид привода для подвижного состава выбирают на стадии проектирования с учетом скорости, динамики движения, места для установки и требуемых затрат.

Тенденции развития

Тенденции развития техники привода могут оказывать сильное влияние на уровень требований к испытаниям, так как испытательная техника, объем и методы испытаний должны соответствовать уровню развития техники привода.

Замена запираемых тиристорных ГТО транзисторами IGBT в основном уже завершена в тяговых приводах всех классов мощности. В настоящее время основное внимание разработчиков полупроводниковой техники направлено на то, чтобы уменьшить массу и объем приборов, а также повысить их надежность и коэффициент полезного действия. Транзисторы IGBT останутся на ближайшие годы определяющим элементом в технике тягового привода.

В более отдаленной перспективе исходный материал кремний, возможно, будет заменен карбидом кремния, за счет чего будет достигнуто дальнейшее снижение прямых и коммутационных потерь. Снижения расхода энергии можно также достичь с помощью накопителей энергии. Так, используя накопитель UltraCap, можно регенерировать тормозную энергию на дизель-электрическом подвижном составе, сохранять ее, а затем снова использовать для движения подвижного

состава. С помощью накопленной энергии вагон трамвая может проходить участки линии без контактной подвески. Еще одно достоинство накопителя энергии состоит в том, что при кратковременных пиковых нагрузках он может обеспечивать питание электрических тяговых двигателей дополнительной энергией. В связи с этим не требуется, чтобы дизель и главный генератор были рассчитаны на пиковую мощность. Наряду с экономией энергии эта технология способствует также снижению вредных выбросов в атмосферу.

В настоящее время в качестве тяговых в основном используются асинхронные двигатели, которые через редуктор приводят во вращение колесные пары. В качестве альтернативы может использоваться непосредственный привод на базе синхронных трехфазных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов. Эта техника будет применяться в сочетании с высокоинтегрированной ходовой частью. Большой удельный крутящий момент двигателей и высокая степень интеграции ходовой части подвижного состава позволят значительно уменьшить массы, участвующие в возвратно-поступательном и вращательном движении, и получить до 20% экономии энергии. Кроме того, при такой концепции тормозная характеристика синхронного двигателя с возбуждением постоянными магнитами при подключении сопротивления может использоваться для электродинамического торможения до полной остановки. За счет этого функции подверженной износу классической механической тормозной системы могут быть существенно ограничены и даже сведены до уровня стояночного тормоза.

Испытательный центр

Чтобы быть на уровне высоких требований, предъявляемых к компонентам тягового привода, а также для повышения качества и сни-

жения затрат за счет сокращения сроков ввода в эксплуатацию подвижного состава компания Siemens Transportation Systems приняла в 1984 г. решение о строительстве стенда для испытания компонентов тягового привода пригородных поездов. Для его размещения был выбран завод в Эрлангене, поскольку здесь, а также в Нюрнберге располагались наиболее важные подразделения компании. После двух лет разработки и строительства стенда в 1986 г. были проведены его первые испытания, и уже после небольшого срока эксплуатации в 1988 г. он был оборудован системой тягового электроснабжения 15 кВ, 16,7 Гц.

Благодаря убедительным результатам работы и увеличивающемуся объему заказов испытательный стенд в 1990 г. был доукомплектован современным высокопроизводительным оборудованием, необходимым для испытаний тягового привода поездов дальнего сообщения. Постоянно возрастающий объем работ потребовал впоследствии перехода на двухсменный режим работы, в результате чего появилась возможность испытывать одновременно до четырех приводов.

В 2001 г. в связи с переводом в Нюрнберг всех подразделений, занимающихся испытаниями мощных приводов, было принято решение о строительстве здесь нового испытательного центра для тяговых приводов и их комплектующих, поставляемых промышленностью. Перевод испытательного стенда из Эрлангена в Нюрнберг был закончен в 2002 г. Новый центр открылся в январе 2003 г.

Оборудование испытательного центра

В современном испытательном центре на площади 4000 м² могут моделироваться рабочие режимы и любые нарушения их при различных предельных условиях. В испытательном центре в Нюрнберге могут испытываться любые новые системы привода в полном объеме поставки. Это могут быть приво-

ды для использования в промышленности или на железнодорожном транспорте, приводы постоянного тока или трехфазные переменного тока. Здесь могут проводиться системные, типовые, конструкторские или приемо-сдаточные испытания.

Испытательный центр образуют следующие структурные подразделения:

- отдел разработки и испытаний машин и систем промышленного использования;
- стенды для систем, применяемых только на железных дорогах;
- климатическая испытательная камера;
- стенды для конструкторских и типовых испытаний приводов, используемых в промышленности;
- испытательные стенды для конструкторских и типовых испытаний железнодорожных тяговых приводов.

На испытательных стендах для машин и систем могут испытываться приводы с длительной предельной мощностью до 5 МВт, максимальным моментом до 80 кН·м, максимальной частотой вращения до 6000 об/мин и с диапазоном напряжений до 13,8 кВ (максимально до 20 кВ) при частоте 50 или 60 Гц.

Предельная мощность испытательных стендов для железнодорожной техники в длительном режиме составляет 1,6 МВт на двигатель. Частота вращения двигателя может быть до 6000 об/мин, регулируемое и рекуперированное напряжение для систем постоянного тока может изменяться от -4 до +4 кВ, для систем переменного тока с частотой 50 Гц — от 14,2 до 31,5 кВ. Кроме того, в результате подключения непосредственно к сети тягового электроснабжения подается принятое на железных дорогах переменное напряжение 15 кВ с частотой 16,7 Гц.

Стенды для железнодорожного транспорта

В рамках указанной структуры испытательного центра стенды для железнодорожной техники обору-

дованы с учетом различных этапов разработки и испытаний. В отделе разработки и испытаний машин и систем производится предварительная разработка и проверка основных функций новой техники. В одном из подразделений этого отдела по заказам проводят типовые испытания преобразователей.

Самую большую площадь занимают испытательные стенды для систем, которые обладают наибольшим количеством функций. Здесь производится окончательная проверка взаимодействия всех компонентов привода. Стенды для испытания железнодорожных тяговых приводов подразделяются на два вида: для приводов подвижного состава пригородного и дальнего сообщения. В распоряжении испытателей имеются также климатическая станция и камера для акустических испытаний.

Тяговые двигатели, редукторы, нагрузочные агрегаты и соответствующие вентиляторы размещаются в отдельном машинном зале со звукоизоляцией. Установки энергоснабжения и нагрузочные агрегаты стендов для местного и дальнего сообщения работают независимо друг от друга как с точки зрения подвода энергии, так и управления и поэтому могут комбинироваться произвольным образом. Принципиальная схема испытательного стенда для техники пригородных поездов показана на рис. 1, а для поездов дальнего сообщения — на рис. 2. Оба стенда различаются только мощностными характеристиками и должны обеспечивать как можно более реальное моделирование взаимодействия между контактной сетью и выходным валом тягового привода.

С помощью автотрансформаторов со ступенчатым регулированием имеется возможность при использовании как регулируемого, так и нерегулируемого подвода энергии оптимально согласовывать напряжение с испытываемой системой, так чтобы преобразователи постоянно работали с высоким

коэффициентом использования линейного участка характеристики управления и чтобы пульсации напряжения были минимальными. Это позволяет как можно более реалистично имитировать диодные выпрямители, работающие на тяговых подстанциях.

Преобразовательные трансформаторы имеют отпайки на первичной и вторичной стороне и две вторичные обмотки, которые могут включаться последовательно или параллельно. За счет этого имеется еще одна возможность получения необходимого переменного напряжения. Кроме того, эти трансформаторы образуют две системы, сдвинутые по фазе на 30°, благодаря чему образуется условная 12-фазная схема выпрямления. Благодаря этому обеспечивается значительное снижение пульсаций напряжения по сравнению с 6-фазной схемой и, следовательно, меньшее не-

гативное воздействие гармоник на сеть. Выпрямители в системах питания постоянного тока реализованы в виде трехфазных мостовых схем со встречно-параллельным включением тиристоров, чем обеспечивается возможность их работы в режиме четырехквadrантного регулятора. Это позволяет испытывать системы привода в тяговом и тормозном режимах для обоих направлений движения и при рекуперации энергии в процессе торможения.

Поскольку все преобразователи, питающие нагрузочные машины, также могут работать в режиме рекуперации, то при любых режимах испытаний заводская сеть с напряжением 20 кВ компенсирует только мощность потерь. Для питания испытываемых приводов с высоким сетевым током и низким сетевым напряжением (например, 600 или 750 В) преобразователи могут быть через дроссель включены па-

раллельно, что позволяет удвоить нагрузочные токи. Большое число возможных переключений позволяет таким образом получать напряжение постоянного тока от -4 до +4 кВ с низким содержанием гармоник при длительной мощности до 5 МВт.

При испытании дизельных приводов с электрической передачей мощности напряжение с выхода трансформатора, моделирующее выходное напряжение главного генератора, может подаваться непосредственно на диодный выпрямитель испытываемой установки. Обычно же из-за изменяемого возбуждения генератора используется регулируемое напряжение постоянного тока.

На первом этапе эксплуатации благодаря удобству эксплуатации в качестве нагрузочных устройств применялись машины постоянного тока с аналоговым регулированием. Од-

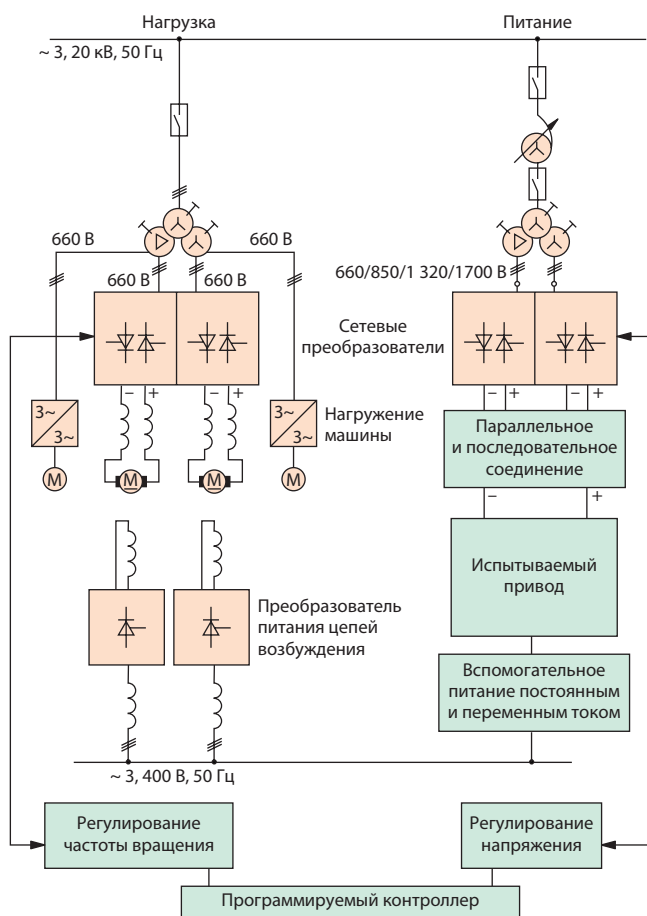


Рис. 1. Принципиальная схема стенда для испытания тяговых приводов пригородных поездов

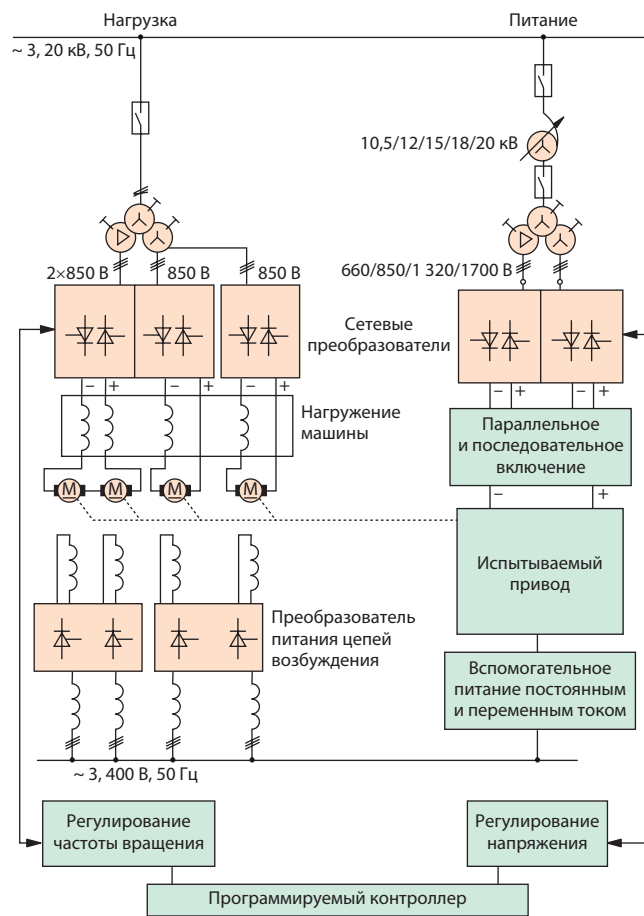


Рис. 2. Принципиальная схема стенда для испытания тяговых приводов поездов дальнего сообщения

нако постепенно их заменили асинхронные машины, а вместо выпрямителей стали использоваться преобразователи с регулируемой частотой и цифровыми схемами управления.

Система регулирования воздействует на частоту вращения машин и уровень напряжения. Кроме того, предусмотрено регулирование тока. Требуемые значения частоты вращения и напряжения для моделирования режимов работы могут задаваться оператором вручную с пульта управления или автоматически с помощью компьютера, управляющего приводом.

Путем изменения ограничений тока моделируют:

- поглощающую способность сети при торможении с использованием смешанного реостатного и рекуперативного торможения;
- динамические процессы, такие, как движение юзом и боксование ведущих колесных пар.

С помощью других несложных приемов можно моделировать:

- проезд изолирующей вставки контактной сети;
- прерывание контакта между токоприемником и контактным проводом, например, при наличии гололеда;
- короткое замыкание в сети, например, в результате въезда на заземленный участок.

Каждый испытательный стенд контролируется системой управления высшего уровня.

В качестве механических соединительных элементов между тяговым двигателем, редуктором и нагрузочным агрегатом используются обладающие высокой крутильной жесткостью стальные пластинчатые и зубчатые муфты. Они применяются в комбинации с защитными гидравлическими элементами, ограничивающими крутящий момент. Величина крутящего момента, вызывающая срабатывание этих элементов, может быть установлена с большой точностью благодаря плавному регулированию. Благодаря этому гидравлические элементы обеспечивают защиту любого привода от механических перегрузок. Некоторые из муфт оборудованы тензодатчиками и телеметрическими системами для измерения крутящего момента в диапазонах от нуля до 3, 10 и 20 кН·м.

Производительность испытаний может быть увеличена вдвое при использовании нагрузочных агрегатов постоянного тока в двухсменном режиме, при котором испытываемые образцы подсоединяются к обоим концам вала нагрузочного агрегата. При этом один из образцов работает под нагрузкой, в то время как привод другого образца работает на холостом ходу. Трансформаторы и преобразователи нагрузочных машин переменного тока также могут работать в двухсменном режиме. При переходе от одной смены к другой на вы-

ходе преобразователя производится переключение на другой нагрузочный агрегат.

Благодаря тому что у нагрузочных машин постоянного тока оба конца вала являются рабочими, валы двух машин можно механически соединить между собой (соединение в тандем), если требуется большая величина крутящего момента (до 35 кН·м). При этом два редуктора мощностью 1,6 МВт передают необходимые для испытания локомотивного тягового двигателя частоту вращения (до 4200 об/мин) и крутящий момент (до 14 кН·м).

В шкафах измерительных трансформаторов, предназначенных для испытания тяговых двигателей, имеются необходимые для измерения мощности специальные трансформаторы тока и делители напряжения для схемы питания преобразователей. Кроме того, шкафы защищены плавкими вставками для их отключения при проведении каких-либо работ или при переключении с одного испытываемого образца на другой, а также оборудованы трехполюсными заземляющими выключателями и разъединителями для обеспечения безопасности при проведении работ на установке или для быстрого отключения с последующим заземлением. Эти устройства используются при необходимости снятия нагрузочной кривой для определения величины превышения температуры обмотки над температурой окружающей среды.

Содержание и объем испытаний

Целью испытаний электрических компонентов привода является проверка и оптимизация их взаимодействия между собой, а также с системами управления подвижным составом и регулирования тягового привода с контролем необходимых параметров.

На стендах для железнодорожного подвижного состава моделируются типичные и экстремальные ситуации и условия эксплуатации для привода подвижного состава от трамваев и тяжелых грузовых локомотивов до

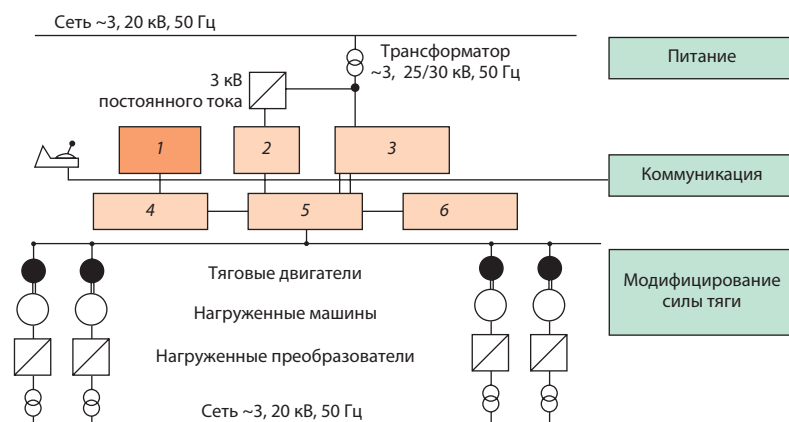


Рис. 3. Общая схема испытательных устройств центра:

- 1 — система управления; 2 — фильтр в сети постоянного тока; 3 — трансформатор; 4 — входной блок электроснабжения; 5 — преобразователь; 6 — тормозной резистор

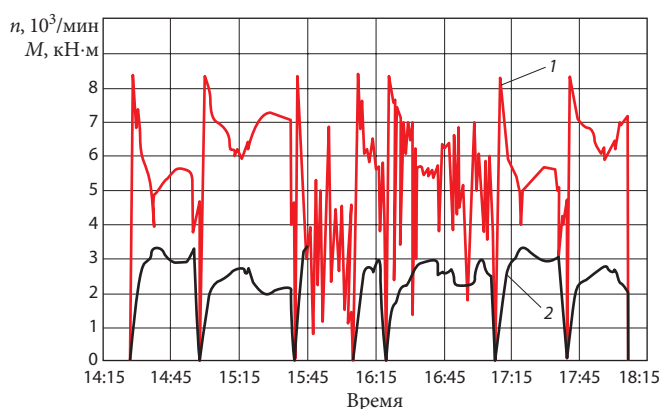


Рис. 4. Моделирование изменения во времени крутящего момента и частоты вращения тяговых двигателей на локомотиве:
1 — кривая изменения момента M ; 2 — кривая частоты вращения n

высокоскоростных моторвагонных поездов. Воздействующие на вал двигателя вращательные и возвратно-поступательные усилия моделируются нагрузочным агрегатом. Подробный обзор возможностей моделирования от подачи питания до вала двигателя приведен на рис. 3.

Основные цели испытаний:

- подтверждение работоспособности системы во всех режимах тягово-тормозной характеристики, при всех допустимых параметрах тяговой сети и при различных климатических условиях;
- подтверждение работоспособности и оптимизация системы охлаждения;
- испытание компонентов привода в продолжительных режимах работы и при работе с перегрузкой;
- определение потерь и КПД;
- моделирование рабочих циклов (рис. 4 и 5);
- моделирование динамических процессов, возможных в эксплуатации (движение юзом, боксование колесных пар, отрывы токоприемника);
- оценка величины мешающих токов в сети;
- моделирование возможных неисправностей, таких, как короткое замыкание, замыкание на землю, перенапряжения, а также неисправностей компонентов привода, таких, как отказы датчиков, нарушение работы системы охлаждения;
- проверка срабатывания системы защиты привода;

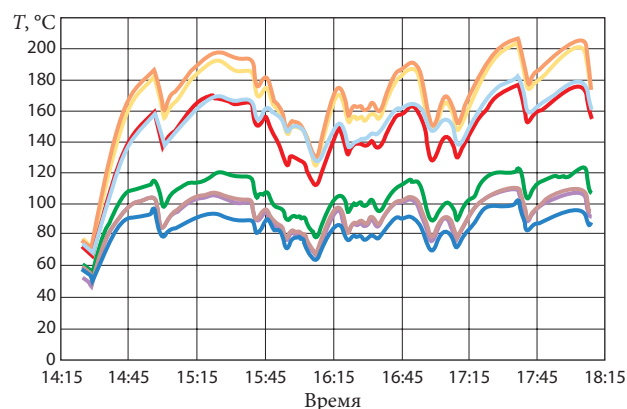


Рис. 5. Изменение температуры T в некоторых точках тягового двигателя, работающего в режиме, приведенном на рис. 4

Выборочный список систем тягового привода, испытанных в 2003 г.

Метро Tucheng	Тайвань
Поезд городской железной дороги Avanto	Хьюстон (США)
Метро RUBIN	VAG, Нюрнберг
Локомотив серии KNR8200	Республика Корея
Многосистемный поезд Velaro E	RENFE, Испания
Метро Гуанчжоу	Гуанчжоу (Китай)
Метро Pearl Line 2	Шанхай (Китай)
Двухсистемный поезд метро Avanto Paris	SNCF (Франция)
Поезд городской железной дороги Цюриха	SBB (Швейцария)
Четырехсистемный электровоз серии ES64U4	ÖBB (Австрия)
Метро NYCT/R160	Нью-Йорк (США)
Двухсекционный локомотив серии DJ4	CR (Китай)
Тепловоз серии BB 47500	SNCF (Франция)
Двухсистемный поезд для Бомбея	Mumbai Railways Vikas (Индия)
Опытный поезд метро Syntegra	MVG (Мюнхен)

- контрольные измерения для определения электромагнитной совместимости и уровня шума;
- климатические испытания отдельных компонентов;
- обучение обслуживающего персонала заказчика;
- передача заказчику и приемка заказчиком.

Статистика испытаний

С 1986 по 2002 г. в Эрлангене и с 2003 г. в Нюрнберге было проведено более ста системных проверок и приемо-сдаточных испытаний с участием заказчиков.

Перспективы

Уже с первых испытаний в 1980-е годы использовавшаяся системная методика показала себя как надежный инструмент для совершенствования и оптимизации электриче-

ских систем тягового привода. Такие испытания позволяют значительно сократить сроки сдачи систем в эксплуатацию и их оптимизации. Хорошие результаты и растущее число проектов обеспечили высокую загруженность испытательного оборудования. Системные испытания являются сегодня неотъемлемой частью всех проектов, связанных с компонентами тягового привода.

Возможности, предлагаемые испытательным центром, используются уже на стадии разработки для своевременного обнаружения слабых мест с целью использования полученных результатов в дальнейших проектах. Наряду с компонентами тягового привода испытывают все в большем объеме и вспомогательное оборудование.

E. Achenbach, M. Brauer. *Elektrische Bahnen*, 2007, № 1/2, S. 106–114.