

Тяговый электропривод постоянного тока

модернизированного трамвайного вагона «Татра-3Е»

Владимир Кривовяз, к. т. н.
Павел Васильев
Вячеслав Маевский

krivovяз@asc-ural.ru

Рассмотрена система управления тяговыми двигателями модернизированного трамвая «Татра-3Е», позволяющая значительно повысить его электродинамические характеристики до уровня современных моделей трамвайных вагонов и в случае внедрения способная эффективно решить проблему критического износа парка городского электротранспорта.

Цель разработки

В настоящее время в России подавляющее большинство трамваев приводятся в движение тяговыми коллекторными двигателями постоянного тока, и лишь небольшая часть имеет асинхронный электропривод. Для управления коллекторными двигателями на трамваях в основном используется релейно-контакторная схема и специальный мощный реостат с электромеханическим приводом — «ускоритель» (система РКСУ) [1]. Ее основные недостатки — повышенный расход электрической энергии (до 150 Вт·ч/т/км) и низкая надежность ускорителя. Небольшая часть трамваев оборудована тиристорно-импульсной системой управления (ТИСУ), которая обеспечивает расход электрической энергии порядка 110 Вт·ч/т/км и возможность рекуперации. Основной недостаток ТИСУ — наличие узла емкостной коммутации, надежность которой зависит от напряжения контактной сети, тока и параметров нагрузки.

Актуальность разработки обусловлена критическим уровнем износа парка городского электротранспорта, ростом тарифов на электроэнергию и все возрастающими требованиями энергопотребления. Основу трамвайных парков многих городов России составляют трамваи «Татра-3» с устаревшей морально и физически системой РКСУ. Количество вагонов такого типа настолько велико, что полностью заменить их новыми вагонами в ближайшее время не представляется возможным, и трамвайные хозяйства обречены эксплуатировать старые чехословацкие вагоны. Невзирая на почтенный возраст, многие из них продолжают оставаться в строю не только по финансовым соображениям, но и вследствие удачной и надежной конструкции ходовой части и кузова. Содержать устаревшую мо-

рально и физически систему РКСУ становится все сложнее, так как запасные части заводом-изготовителем не производятся, а созданные заменители недолговечны, ненадежны, не обеспечивают требуемые характеристики вагона, в составе всего оборудования вагона их работа не гарантируется изготовителями. Многие трамвайные депо имеют развитую ремонтную базу, предназначенную для эксплуатации таких вагонов, поэтому для них переход на новый тип подвижного состава будет сопровождаться дополнительными затратами. Вариант глубокой модернизации сопоставим по стоимости с новым трамвайным вагоном. Оптимальным решением представляется замена тягового электрооборудования вагона, дающего наибольший процент отказов.

Для модернизации трамвайных вагонов «Татра-3» авторами разработан и внедрен комплект преобразовательного оборудования тягового электропривода постоянного тока с микропроцессорным управлением. Целью разработки являлось создание высокоэффективной, современной, надежной, дешевой системы управления тяговыми коллекторным двигателем трамвая «Татра-3», которая должна продлить срок их эксплуатации еще на 15 лет и обеспечить современные требования по электродинамическим параметрам для вновь создаваемых вагонов. Перед проектированием был изучен отечественный опыт разработок систем управления коллекторными двигателями с последовательным возбуждением [2, 3], а также опыт зарубежных фирм (Ganz Ansaldo, Kiepe Elektrik, Cegelec и др.). Для достижения лучших характеристик привода разработана оригинальная силовая схема, не совпадающая на сегодняшний день ни с одной из известных.

Структурная схема электропривода

На вагонах «Татра-3» применяются тяговые двигатели постоянного тока типа ТЕ-022 с последовательным возбуждением. В каждой из двух тележек используется по 2 последовательно соединенных двигателя.

Ключевые требования реконструкции электрооборудования вагона:

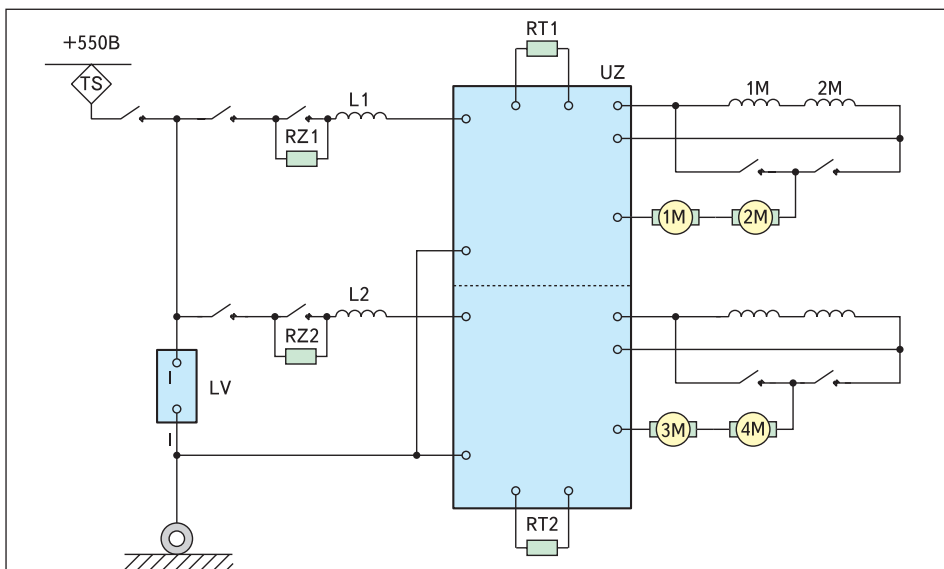


Рис. 1. Структурная схема тягового электрооборудования вагона «Татра-3Е»

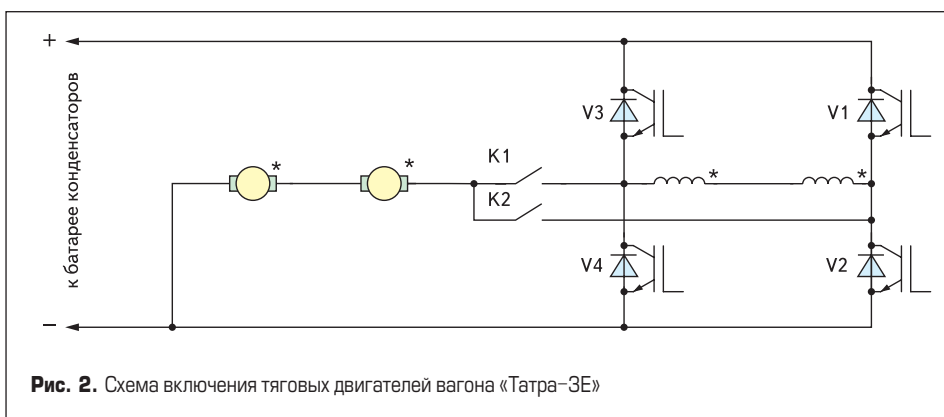


Рис. 2. Схема включения тяговых двигателей вагона «Татра-3Е»

1. Исключение из схемы ускорителя.
2. Возможность рекуперации электроэнергии.
3. Разделение тяговых приводов передней и задней тележек.
4. Использование полупроводникового преобразователя на IGBT-транзисторах.

Структурная схема тягового привода приведена на рис. 1. Конструкция преобразователя UZ представляет собой форму отсека ускорителя и помещается на его место. Контактры — из имеющихся на вагоне и оставлены в схеме исключительно для удешевления конструкции. Кроме того, на пульте водителя устанавливается опционная информационная панель.

Все работы по переоборудованию вагонов проводятся в условиях трамвайных депо. Силовые схемы электроприводов передней и задней тележек работают независимо. Кроме двигателей и преобразователя, они включают в себя также входные дроссели L1, L2, зарядные резисторы RZ1, RZ2 и тормозные резисторы RT1, RT2.

Преобразователь UZ имеет в качестве ключей IGBT-транзисторы, микропроцессорную систему управления, батареи конденсаторов, датчики тока и напряжения.

Работа электропривода

Полупроводниковый преобразователь является центральным звеном системы управления тягового электропривода. Его силовая

часть состоит из двух независимых секций (для передней и задней тележек), объединенных общей микропроцессорной системой управления. Регулирование тягового усилия в преобразователе происходит за счет переключения силовых элементов — IGBT-транзисторов (широотно-импульсное регулирование). Программно-реализованные цифровые

регуляторы тока с обратной связью в каждом такте ШИМ формируют управляющие воздействия на силовые ключи в виде импульсов требуемой скважности. Входными воздействиями являются сигналы органов управления в кабине водителя. Выходные сигналы регуляторов тока формируются с учетом текущего состояния силовой схемы, величин скорости, ЭДС, напряжения на батарее конденсаторов, температур транзисторов и др. В режиме торможения генерируемая энергия возвращается обратно в сеть, а при отсутствии в сети потребителей (других трамваев) автоматически включаются тормозные резисторы.

Оригинальные алгоритмы вычисления скорости позволили обойтись без датчика скорости. Это отличает рассматриваемый электропривод от всех остальных схем модернизации. Вычисленная скорость используется не только для индикации в кабине водителя, но и для работы противоюзовой и противобуксовочной систем. В процессе работы производится непрерывная диагностика узлов преобразователя и связанного с ним оборудования вагона с возможностью последующей выдачи сообщений на информационную панель водителя. В реальном времени ведется журнал событий, который можно «пролистать» на дисплее панели водителя.

На рис. 2 изображена в упрощенном варианте силовая схема управления тяговыми двигателями. В рабочем режиме замкнут либо K1, либо K2. Эти контакторы служат для выбора направления тяги двигателя, причем схема соединения якоря с обмоткой возбуждения для торможения при движении «вперед» совпадает со схемой соединения для разгона «назад», и наоборот.

Рассмотрим принцип работы силовой схемы для случая (условно) движения «вперед». При движении назад работа схемы аналогична, но пути протекания токов обеспечивают другие комбинации элементов. Как в случае разгона, так и при торможении двигатель мо-

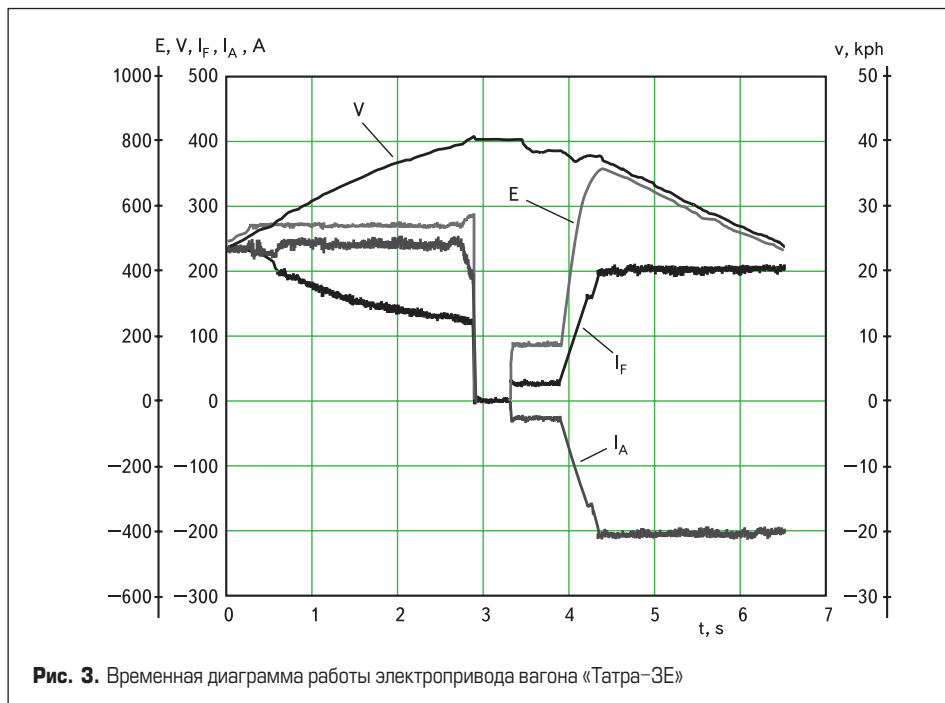


Рис. 3. Временная диаграмма работы электропривода вагона «Татра-3Е»

жет работать в двух режимах: с принудительным ослаблением поля (ток возбуждения меньше тока якоря) и без него (токи возбуждения и якоря совпадают по величине).

В режиме разгона без ослабления поля реализуется классическая схема включения коллекторных двигателей с последовательным возбуждением («+» источника питания, ключ V1, обмотка возбуждения, контактор K1, обмотка якоря, «-» источника питания). Широтно-импульсное регулирование тока якоря осуществляется ключами V1, V2. В режиме разгона с ослаблением поля применяется импульсное шунтирование обмотки возбуждения ключом V3.

В режимах торможения размыкается K1 и замыкается K2, широтно-импульсное регулирование тока якоря осуществляется ключами V4, V3. При открытом ключе V4 двигатель включен по схеме динамического торможения с самовозбуждением («-» источника питания, обмотка якоря, контактор K2, обмотка возбуждения, ключ V4, «-» источника питания), ток нарастает. При закрытом ключе осуществляется рекуперативное генераторное торможение («-» источника питания, обмотка якоря, контактор K2, обмотка возбуждения, ключ V3, «+» источника питания), ток спадает, накопленная энергия возвращается источнику питания. В режиме торможения с ослаблением поля применяется импульсное шунтирование обмотки возбуждения ключом V1.

На рис. 3 изображен фрагмент временной диаграммы работы электропривода передней тележки, соответствующий переходу из режима разгона (с ослаблением поля) в режим торможения. На диаграмме: I_F — ток обмотки возбуждения; I_A — ток якоря; E — ЭДС двигателя; v — вычисленная скорость. Диаграмма получена экспериментально в процессе ходовых испытаний модернизированного трамвая.

Апробация и перспективы

Разработка комплекта преобразовательного оборудования тягового электропривода постоянного тока с микропроцессорным управлением для модернизации трамвайных вагонов «Татра-3» доведена до стадии готовой инновации. В Екатеринбурге с середины мая 2006 года успешно эксплуатируется модернизированный вагон «Татра-3Е», на котором установлен разработанный комплект преобразовательного оборудования. Тягово-энергетические испытания вагона «Татра-3Е» проводились сертифицированной организацией ФГУП Государственный ракетный центр «КБ им. академика В. П. Макеева» по программе, разработанной НИИГЭТ. По решению Межведомственной комиссии по результатам испытаний данный комплект рекомендован к промышленному серийному производству. За год эксплуатации пробег вагона «Татра-3Е» превысил 60 000 км. По результатам испытаний энергопотребление вагона «Татра-3Е» на тягу составило в среднем 41, 42 Вт·ч/т/км.

В целом модернизация позволит экономить в среднем за год более 40% электроэнергии (с учетом отопления вагона и пр.) и увеличить объем перевозок как минимум на 30–40% без увеличения нагрузки на питающую сеть. Помимо экономии электроэнергии, внедрение данной инновации приводит к сокращению эксплуатационных расходов, увеличению пробега, использованию высвобождающегося оборудования при поэтапном проведении модернизации трамвайного парка. Конструктивное исполнение рассмотренного комплекта электрооборудования может быть различным для трамваев других типов, а также троллейбусов.

Литература

1. Ефремов И. С. Технические средства электрического транспорта / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. В. Шевченко: Учебное пособие для студентов вузов. М.: Высшая школа, 1985.
2. Каган В. Г. Электроприводы с предельным быстродействием для систем воспроизведения движений. М.: Энергия, 1975.
3. Каган В. Г. и др. Полупроводниковые системы с двигателями последовательного возбуждения / М.: Энергия, 1971.