УДК 629.423.31(043)

ЛЕ СУАН ХОНГ, аспирант (НИУ МЭИ)
г. Москва

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

Пассажирский транспорт обеспечивает базовые условия жизнедеятельности крупных городов и является важным инструментом для достижения социальных и экономических целей развития России.

В систему пассажирского транспорта входят как автобусные предприятия, так и предприятия электрического транспорта, осуществляющие перевозку пассажиров полвижным составом (трамвай, троллейбус, метрополитен и т.д.)

Электрический транспорт (ЭТ) – важная область народного хозяйства. Без четкой функционирующей транспортной системы современный город не может существовать. Во многих городах России ЭТ играет большую роль в обслуживании населения. На его частицу приходится более 60 % всех городских перевозок пассажиров. В Москве перевозка пассажиров ЭТ составляет близко 70% – 75% (троллейбусным транспортом перевозится 10,4%, трамваями – 9,7%, метрополитеном – 56% от общего количества перевезенных пассажиров в городах).

Метрополитен – это самый удобный и самый надёжный вид ЭТ. Если автобус поздно вечером можно ждать целый час, то интервалы движения поездов метро даже поздно вечером не превышают 5 минут. В метро нет автомобильных пробок, поэтому войдя в него, вы можете точно рассчитать, когда окажетесь на нужно станции.

В частности, в Москве метрополитен был открыт уже 15 мая 1935, а сегодня его доля в перевозке пассажиров среди предприятий городского пассажирскоготранспортастолицы превышает 56%. По сведениям официального сайта Мосметрополитена [1] “его услугами с среднем ежедневно пользуются более 7 млн. пассажиров, а в будние дни этот показатель превышает 9 млн. пассажиров. Это навысший показатель в мире”. В этом же сайте утверждается, что сегодня “по интенсивности движения, наёжности и объёмам перевозок Московский метрополитен стабильно занимает первое место в мире. Он в первой тройке метрополитенов мира практически по всем другим показателям.”

Несмотря на интенсивное развитие метрополитенов их загрузка быстро достигает предельной. В частности, в Москве в часы пик на многих линиях интенсивность движения достигает 40 пар поездов в час. При этом интервал между поездами составляет только 80 сек. и является наимень-

шим в мире. Такая интенсивность движения предъявляет повышенные требования к надежности вагонов метрополитена (ВМ).

Метрополитен становятся крупными потреблями электроэнергии, например, по известным данным в 2007 г. длина линий Мосметрополитена составляла около 305 км, а потребление энергии из внешнего электроснабжения около 1,6 млрд. квт.ч в год.

При этом "удельное" потребление электроэнергии составляло 5,246 млн. кВт. ч./км линий и в случае сохранения существующих условий эксплуатаци, включая и энергетические показатели метропоездов, приращение потребления или электроэнергии у внешнего электроснабжения при росте длины линий до 467 км (плановая цифра), т.е. на 162 км, составит 162х5,246 около 850 млн. кВт.ч, а общее потребление энергии в контрольно – 2020 г. достигнет 2,5 млрд. кВт. ч. Эта же цифра, естественно, получится умноженнием удельного потребления энергии на 1 км пути и его плановой длины (467х 5,246=2,447 млрд. кВт. ч.) При цене электроэнергии около 3 руб./кВт.ч затраты Мосметрополитена на оплату потребляемой на тягу электроэнергии составят около 8 млрд. руб. В связи с этим чрезвычайно актуальна проблема снижения удельного потребления метрополитенами электроэнергии на единицу транспортной работы.

Одним из технических решений указанной проблемы является примение системы тягового электропривода (ТЭП) постоянного тока с автоматически регулируемым независимым возбуждения тяговых машин (АР НВ ТМ).

Выполненные в Московском энергетическом институте (МЭИ) и ВНИИ вагоностроения теоретические и экспериментальные исследования подвердили высокую эффективность и практическую возможность реализации в короткие сроки теоретических преимуществ применения АР НВ ТМ на ВМ.

На рис. 1. показана разработанная на базе предложенного МЭИ технического решения схема силовых цепей ТЭП с АР НВ ТМ и дискретно-резисторным управлением (ДРУ) [2], обеспечивающая следующие режимы работы:

– реостатным пуск вагона с перегруппировкой групп ТМ с плавным ослаблением поля после выхода на безреостатную характеристику параллельного соединения ТМ в соответствии с ограничениями тяговой области;

– электрическое рекуператнвно-реостатное торможение в диапазоне скоростей от конструкционной до близкой к нулю с сохранением максимальной тормозной силы до скоростей 2–3 км/ч, рекуперативного торможения до скоростей около 20 км/ч и замещении рекуперативного торможения реостатным без потери тормозной силы в случаях срыва рекуперации или снижения скорости движения до значения, при котором нельзя обеспечить требуемую для рекуперации ЭДС ТМ.

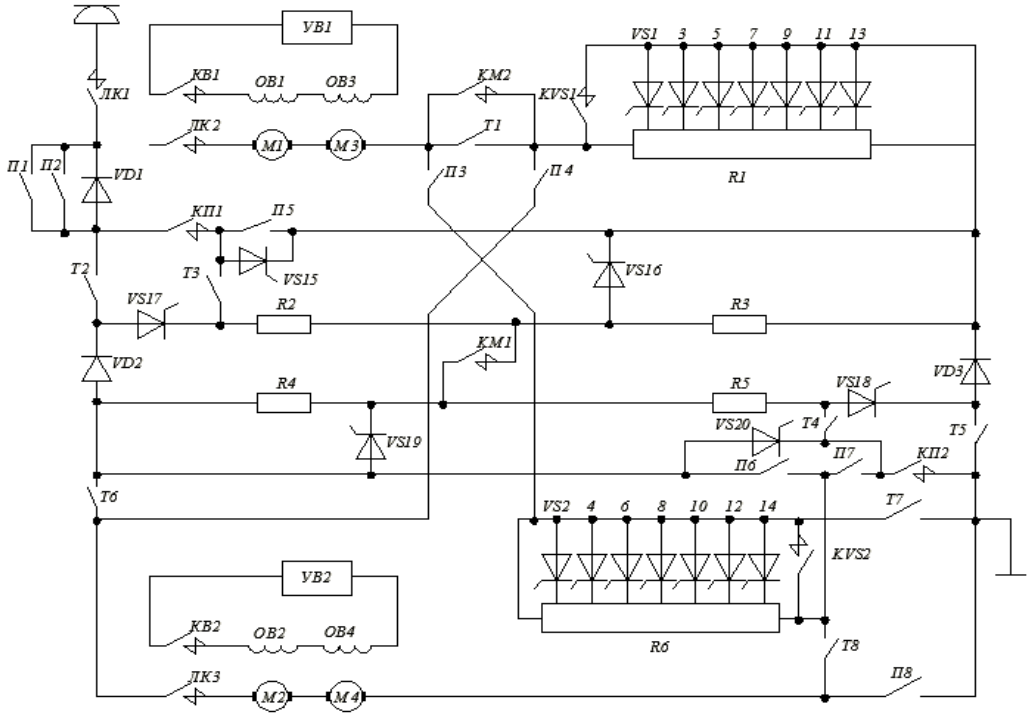

Рис. 1. Принципиальная силовая схема вагона метрополитена с АР НВ ТМ, разработанной кафедрой «Электрический транспорт» (МЭИ)

При использовании системы с АР НВ ТМ реализуются:

– улучшение тяговых свойств в зоне ограничения динамической жесткости тяговых характеристик и регулирования силы тяги условиями сцепления и в зоне ослабления поля ТМ соответственно за счет повышения силы тяги согласно с фактически действующим ограничением при уменьшении разброса нагрузок параллельно включенных групп ТМ;

– повышение эффективности тормозного процесса за счет более плавного регулирования тормозной силы в зоне высоких скоростей движения и сохранения максимальной тормозной силы до существенно меньшей скорости движения;

– рекуперативное торможение, являющееся основным резервном повышения энергетической эффективности вагонов метрополитена, с осуществлением в этом режиме перегруппировки ТМ;

– возможность использования более эффективных энергосберегающих алгоритмов управления в пусковых режимах.

Об энергетической эффективности применения АР НВ ТМ на вагонах моделей 81-714 и 81-717 свидетельствуют приведенные в таблице 1. результаты тягово-энергетических расчетов. Выполнены два варианта расчетов: для скоростей сообщения V_c=40; 43 и 46 км/ч на основе полученных в усредненных условии эксплуатации вагонов в Московском метрополитене (средняя длина перегона 1670 м, уклон нулевой, масса пассажиров 9 т, масса вагона 42 т, напряжение контактной сети при тяге 750 В и

при рекуперации 1000 В); для V_c=48 км/ч – на основе данных принятого расчетного режима работы вагонов типа 81-717 и 81-714 (длина перегона 1700 м. уклон +3%, масса вагона с пассажирами при полной загрузке 56,4 т, напряженке в контактной сети при тяге 750 В и при рекуперации 1000 В). Из таблицы следует, что увеличение скорости сообщения с 40 до 46 км/ч, т.е на 15%, приводит в средних условиях эксплуатации к росту потребления энергии на пуск $A_п$ вагонами с последовательным возбуждением (ПВ) ТМ (графы ПВ) почти на 40%. Возврат энергии в сеть при рекуперации у вагонов с НВ ТМ увеличивается более чем в 2 раза. В результате общее потребление энергии на сети $A_т$ при условии полного полезного использования энергии рекуперации у вагонов е ПВ ТМ при V_c=46 км/ч с учетом возможного уменьшения потерь энергии в контактной сети (вследствие повышения напряжения сети н передачи энергии от рекуперирующего поезда потребляющему энергию на меньшее расстояние, чем при передаче энергии от тяговой подстанции) остается приблизительно равным потреблению энергии вагонами при V_c=40 км/ч. При этом теоретически (при условии полного полезного потребления всей энергии рекуперации) возможно снизить примерно на 35% расход энергии на тягу поездов при V_c=46 км/ч.

Таблица 1

Приведенные результаты тягово-энергетических расчетов

Параметр	Усредненные условия эксплуатации						Расчетный режим	
V_c, км/ч / %	40 / 100		43 / 107,5		46 / 115		48 / 130	
	ПВ	НВ	ПВ	НВ	ПВ	НВ	ПВ	НВ
$A_п$, Вт.ч/т.км / %	35,3 / 100,3	35,2 / 100	42,5 / 120,7	42,3 / 120,2	49,2 / 139,8	48,8 / 138,6	67,9 / 192,9	64,9 / 184,4
$A_{рек}$, Вт.ч/т.км / %	—	5,8 / 16,5	—	8,8 / 20,9	—	12,1 / 24,8	—	19,49 / 30
$A_т$, Вт.ч/т.км / %	35,3 / 100,3	29,4 / 83,5	42,5 / 120,7	33,5 / 95,2	49,2 / 139,8	36,7 / 104,3	67,9 / 192,9	45,41 / 129
$A_{т\ отн}$, %	100,3	100	120,7	113,9	139,8	124,8	192,9	154,5

В табл. 1. также показано теоретически возможное изменение расхода энергии $A_т$ на тягу поездов при увеличении скорости сообщения с 40 до 48 км/ч, причем за 100% принят расход энергии при V_c=40 км/ч как для поезда с традиционным тяговым приводом, так и для поезда с АР НВ ТМ. Установлено, что применение рекуперации резко уменьшает темп роста расхода энергии при повышении скорости движения.

Очевидно, что полное полезное использование рекуперативной энергии практически недостижимо, т. е. реальная эффективность применения

рекуперации ниже теоретической, но может быть достаточно высокой. Так, во всех исследовано эффективности применения рекуперативного торможения на метрополитене сделаны практически сопадающие выводы о возможности использованя в межпоездком обмене не менее 75% энергии рекуперации. Повышение эффективности межпоездного обмена возможно за счет синхронизации процессов пуска и торможения поездов. При высокой эффективности рекуперации целесообразно оборудование тяговых подстанций инверторами или накопителями энергии, в частности маховичными.

Вывод: Сегодня в Мосметрополитене эксплуатируются более 5000 вагонов, большинство из которых с тяговыми машиннами постоянного тока (ТМ ПТ). Из них около 4000 не отработали срок годности, но считаются морально устаревшими и не отвечающими ряду современных требований, в том числе по энергоэффективности. Это требует решение возникшей проблемы. Администрация Мосметрополитена и некоторые его специалисты без необходимых обоснований считали возможность заменить за 2 года все электропоезда (ЭП) с ТМ ПТ поездами с асинхронными тяговыми машинами (АТМ) на основании очевидного предведения возможности снижения экономии или электроэнергии. Такой поход не раз приводил к серьезным ошибкам.

Объективные данные и получнные результаты тягово-энергетических расчетов выше показаывают, что при реализации на ЭП с ТМ ПТ простых и проверенных на опытных образцах технических решений по совершенствованию их ТЭП [3] они не будут уступать поездам с АТМ ни по одному показателю. При цене ориентировочно вдвое меньшей они будут существенно эффективнее чем поезда с АТМ, которые в последнее время имеют и ряд недостатков [4]. Важнейшим их премуществом является возможность использования полученных результатов при модернизации эксплуатируемых ЭП, значительная часть которых ещё не отработала расчётного срока. Поэтому использование ТЭП с ТМ ПТ перспективно.

Список литературы:

1. Официальный сайт Мосметрополитена [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mosmetro.ru/about/information/.

2. Тулупов, В. Д. Схема силовых цепей вагонов метрополитена с независимым возбуждением тяговых машин и тиристорным реостатным контроллером / В. Д. Тулупов, А.П. Марченков, С.И Кабанец и другие // Тр. МЭИ , 1992. – Вып. 641. – С. 36-45.

3. Электропривод постоянного тока. Состояние и тенденции // Докл. Научно-практического семинара. – М. : Изд. МЭИ, 2002.

4. Ле Суан Хонг. Анализ и оценка энергетической эффективности альтернативных систем тягового электропривода электропоездов метропо-

литена // Энергосбережение, информационные технологии и устойчивое развитие: электронное научное издание : сборник материалов Международной научно-практической интернет-конференции. ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова». –Ижевск, 2014. – С. 46–51.