

типах рухомого складу, сезону, періоду доби, співставлення графіків змін питомого енергоспоживання на одиницю транспортної роботи, на одного перевезеного пасажирів і на одиницю транспортних послуг дає змогу усвідомити основний напрямок заходів з енергозбереження. Наприклад, при великих обсягах транспортної роботи і порівняно невеликих обсягах наданих транспортних послуг та доходів від перевезень, що опосередковано вказує на недосконалість організації експлуатації, головним напрямком є перегляд нарядів на випуск; збільшення енергоспоживання на одиницю транспортної роботи при одночасному збільшенні витрат енергії на одиницю транспортних послуг означає перерозподіл пасажиропотоків і необхідність удосконалення маршрутної системи тощо [3].

Впровадження запропонованого нормування експлуатаційного енергоспоживання дозволяє перевести в площину практичних дій роботу з економії електроенергії на підприємствах міського електротранспорту.

1. Про енергозбереження: Закон України. – Постанова Верховної Ради України №75/94 - ВР від 1 липня 1994 р.

2. Байрьева Л.С., Шевченко В.В. Электрическая тяга. Городской наземный транспорт. – М.: Транспорт. - 1986. – 206 с.

3. Карпушин Е.І. Першочергові заходи з економії енергії на міському електротранспорті // Інформаційні технології на транспорті: стан справ та основні напрямки розвитку: Зб. ст. – К.: УТУ, 1998. – С. 70-73.

Отримано 07.10.2003

УДК 621.33

Н.В.ХВОРОСТ, канд. техн. наук
ГП «Харьковский метрополитен»

КОНЦЕПЦИЯ НОВОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ ДЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНА

Предлагается комплексный подход к совершенствованию системы электрической тяги метрополитена на основе последних достижений в областях асинхронного электропривода, преобразовательной техники и силовой электроники. Это позволит существенно улучшить технико-экономические характеристики как тягового электроснабжения, так и электроподвижного состава метрополитена, что особенно важно для метрополитенов с ограниченным стационарным развитием, с точки зрения допустимой составности метропоездов.

Современные достижения в областях силовой электроники и автоматизированного электропривода переменного тока позволяют перевести в русло практической реализации проблему качественного совершенствования системы электрической тяги метрополитенов с целью снижения энерго- и ресурсозатрат и увеличения производитель-

ности. Применительно к Харьковскому метрополитену, где станционное развитие рассчитано на эксплуатацию пятивагонных метропоездов, проблема дальнейшего повышения эффективности системы электрической тяги является особенно актуальной. Здесь нужно отметить, что станционный фактор, а также принятый сравнительно низкий уровень напряжения в тяговой сети обуславливают необходимость нетрадиционного подхода к решению данной проблемы.

Предлагаемый в настоящей работе нетрадиционный подход к повышению эффективности системы электрической тяги метрополитена заключается в необходимости изменения принятых структур ее подсистем, а именно тягового электроснабжения и электроподвижного состава в рамках концепции комплексного подхода к совершенствованию систем электрической тяги железных дорог [1].

Существующие подходы к совершенствованию системы электрической тяги метрополитенов в основном направлены на улучшение тяговых и энергетических характеристик метропоезда в рамках принятой концепции его мотор-вагонного построения [2-4]. Работы по совершенствованию тягового электроснабжения метрополитенов касаются его усиления за счет повышения мощности тяговых подстанций и применения накопителей энергии [5, 6]. Они не снимают вопроса о необходимости качественного улучшения их технико-экономических показателей. Поэтому разработка новых структур тягового электроснабжения и электроподвижного состава метрополитенов, позволяющих уменьшить энергозатраты и трудоемкость в обслуживании и ремонте, является важной научно-технической задачей дальнейших исследований в направлении повышения эффективности системы электрической тяги метрополитена.

В настоящее время на метрополитенах Украины применяется централизованная схема питания тяговой сети, при которой тяговые подстанции питаются от городских подстанций внешнего электроснабжения. Ее совершенствование за счет увеличения мощности тяговых подстанций и уменьшения расстояния между ними не снимает критических факторов, связанных с качественным отбором электроэнергии системой электротяги от системы внешнего электроснабжения. Кроме того, строительство новой тяговой подстанции при централизованной схеме питания тяговой сети требует значительных капитальных вложений в развитие внешнего электроснабжения. Децентрализованная или распределенная схема питания тяговой сети, классическим примером которой служит схема питания контактной сети постоянного тока железных дорог [7], не требует дополнительных капитальных вложений в систему внешнего электроснабжения при усилении

тягового электроснабжения. Следует также отметить, что в системе электрической тяги с распределенной схемой тягового электроснабжения практически снимаются критичные факторы как со стороны пиковых токовых нагрузок на внешнее электроснабжение, так и со стороны потребляемой реактивной энергии.

Учитывая высокий уровень существующих полупроводниковых приборов, кабельной продукции, изоляционных и ферромагнитных материалов, наиболее перспективной схемой тягового электроснабжения метрополитена является схема питания тяговой сети с двухпроводной продольной линией постоянного тока двухстороннего питания напряжением 6кВ и преобразовательными пунктами питания 6кВ на основе обратимых электронных трансформаторов постоянного напряжения (рис.1).

В схеме на рис.1 двухстороннее питание продольной линии напряжением 6кВ осуществляется от главных тяговых подстанций ГТП, располагаемых на станциях пересечений линий метрополитена и конечных станциях и имеющих по два - три независимых ввода трехфазными линиями внешнего электроснабжения 35(10) кВ.

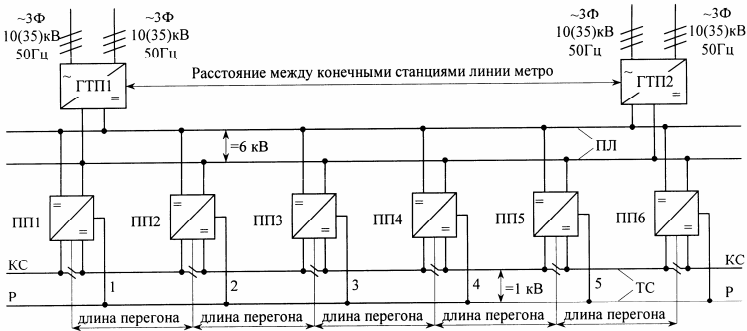


Рис.1 – Структурная схема электроснабжения метрополитена с продольной питающей линией постоянного тока

Структурно схема главной тяговой подстанции состоит из двух преобразовательных агрегатов 1ПА и 2ПА, включенных по выходу и входу параллельно (рис.2). В состав схемы преобразовательного агрегата входят тяговый трансформатор (Тр) с двумя вторичными обмотками и двенадцатипульсовый управляемый выпрямитель (УВ) на базе последовательного соединения двух трехфазных мостов, работающих с углом управления $\alpha = 0$. Применение управляемых трехфазных мостов, работающих с углом управления $\alpha = 0$, позволяет, наряду с

выполнением функций по преобразованию переменного напряжения в постоянное, реализовать бесконтактную токовую защиту главных тяговых подстанций при коротком замыкании в линии продольного питания 6 кВ [7].

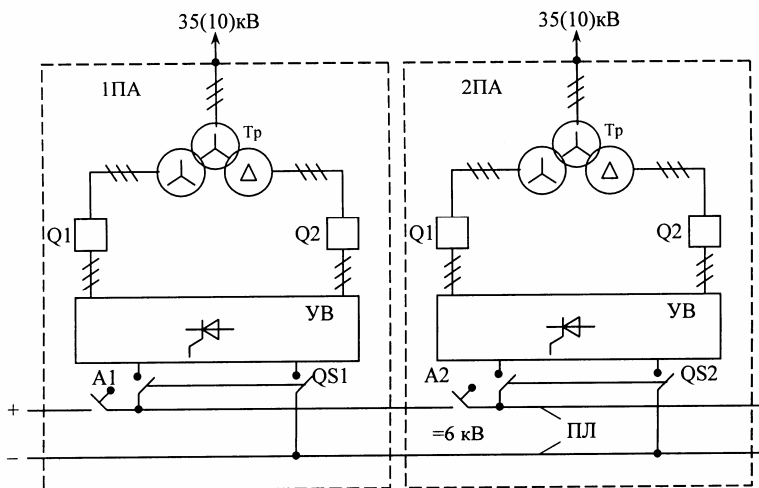


Рис.2 – Структурная схема главной тяговой подстанции для тягового электроснабжения метрополитена

От линии продольного питания 6 кВ напряжение поступает к одноагрегатным обратимым преобразовательным пунктам питания, обеспечивающим в тяговой сети напряжение 1000 В. Они располагаются на каждом межстанционном перегоне метрополитена. В состав схемы одноагрегатного обратимого преобразовательного пункта питания входят автономный инвертор напряжения (АИН), однофазный трансформатор повышенной частоты (Тпч) и выпрямительно-инверторный преобразователь (ВИП). Такая структура преобразовательного пункта питания обеспечивает двухсторонний обмен электроэнергией между продольной линией питания 6 кВ и тяговой сетью напряжения 1000 В, что существенно расширяет область использования рекуперативного торможения в системе электрической тяги метрополитена (рис.3). Дополнительный резонансный фильтр, настроенный на частоту звена повышенной частоты, и емкость, устанавливаемые на входе АИН, снижают уровень высших гармоник в такой степени, что между главными подстанциями и преобразовательными пунктами питания циркулирует только активная мощность [8].

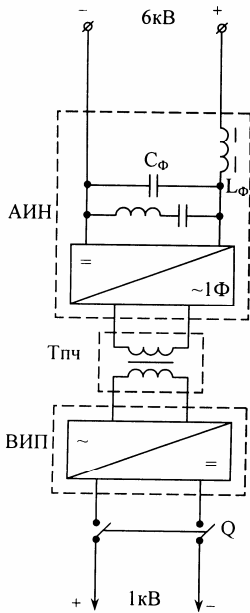


Рис.3 – Структурная схема преобразовательного пункта питания тяговой сети метрополитена

Таким образом, приведенная на рис.1 схема тягового электроснабжения с продольной линией питания 6кВ потребляет от системы внешнего электроснабжения метрополитена только ту реактивную мощность, которая обусловлена степенью несовершенства двенадцатипульсовых схем выпрямителей, а это, как известно [9], очень небольшая величина.

Одним из достоинств рассмотренной схемы децентрализованного тягового электроснабжения метрополитена является возможное использование гибкого способа резервирования мощности главных подстанций и пунктов питания. Так, работа главных тяговых подстанций метрополитена на общую продольную линию питания 6 кВ позволяет для резервирования их преобразовательных агрегатов использовать принцип минимальной избыточности, заключающийся в первоначальном

увеличении суммарной мощности подстанций на величину мощности одного преобразовательного агрегата и в установке на одной из главных подстанций одного резервного преобразовательного агрегата. При выходе из строя одного преобразовательного агрегата на одной из главных подстанций любой линии метрополитена нагрузку берут на себя оставшиеся в работе преобразовательные агрегаты плюс резервный преобразовательный агрегат. Выход из строя второго преобразовательного агрегата также не приведет к снижению размеров движения на линиях метрополитена, так как мощность оставшихся в работе преобразовательных агрегатов в этом случае будет соответствовать требуемой расчетной мощности для заданных размеров движения. При выходе из строя одноагрегатного преобразовательного пункта питания нормальный размер движения на перегоне должен обеспечиваться за счет полуторакратного запаса мощности преобразовательных пунктов питания смежных перегонов.

Основными требованиями к перспективному электроподвижному

составу метрополитенов являются повышение их мобильности и снижение эксплуатационных затрат при сохранении высоких мощностных и тяговых характеристик метropоездов, достигнутых в мировой практике к началу XXI века.

Вопросы повышения мобильности для метropоездов решаются за счет увеличения времени их среднесуточного пробега путем повышения общей надежности оборудования и составления оптимального графика движения. Следует отметить, что повышение мобильности – это единственный путь сохранения, а в некоторых случаях и уменьшения, количества метropоездов при возрастающем объеме пассажирских перевозок.

Существующая концепция формирования метropоездов предусматривает их постоянную составность на основе мотор-вагонной тяги с полным обмоториванием колесных осей всех вагонов. Такой подход при использовании тяговых коллекторных двигателей постоянного тока, в принципе, приводит к низкой эксплуатационной надежности парка метropоездов из-за конечной сравнительно низкой расчетной надежности моторного вагона метropоезда. Это обстоятельство, обуславливающее как значительную избыточность парка метropоездов, так и повышенные эксплуатационные расходы на обслуживание и ремонт, приводит при изменении размеров пассажирских перевозок к снижению их рентабельности.

Нами предлагается концепция формирования метropоездов по системе TGV, т.е. с обмоторенными только головными вагонами, что обуславливает их прицепляемость и отцепляемость и, следовательно, переменную составность метropоезда. Таким образом, метropоезд может состоять из переменного количества необмоторенных прицепных вагонов и двух головных обмоторенных вагонов, один из которых находится в голове, а другой – в хвосте метropоезда. Такой подход возможен при реализации достаточно высокой осевой мощности ($P_{oc} \approx 300$ кВт) головных обмоторенных вагонов.

Таким образом, при выполнении условия достаточности осевой мощности обмоторенных головных вагонов оснащение вагонного парка метрополитенов можно проводить на базе двух модификаций вагонов: головного обмоторенного и прицепного необмоторенного, что, на наш взгляд, позволяет реализовать переменную составность метropоездов и существенно снизить эксплуатационные расходы на обслуживание и ремонт. На рис.4 приведена силовая электросхема тяговой электропередачи головного обмоторенного вагона с двухфазными асинхронными тяговыми двигателями, позволяющими в существую-

щем габарите вагонной тележки реализовывать осевую мощность 300 и более кВт, а также обеспечить рекуперативное торможение до полной остановки метропоезда. В соответствии с низким питающим напряжением в тяговой электропередаче обмоточного головного вагона применяется двухуровневый мостовой коммутатор автономного инвертора напряжения мощностью 1200 кВт на базе IGBT модулей, который управляет четырьмя асинхронными двигателями мощностью 300 кВт каждый. Как показывают исследования фирмы Hitachi [10], при таком построении тяговой электропередачи метровагона достигаются довольно высокие тяговые и динамические характеристики метропоезда. Исследования показали, что применение двухфазных тяговых асинхронных двигателей позволяет реализовать в двухфазных инверторах напряжения однополярную широтно-импульсную модуляцию выходного напряжения и тем самым повысить ее частоту при сохранении допустимого уровня коммутационных потерь, упростить защиту от ударных моментов в тяговой передаче при отказах в инверторе напряжения, а также снизить отрицательное воздействие фронтов питающего модулированного напряжения на изоляцию их статорных обмоток.

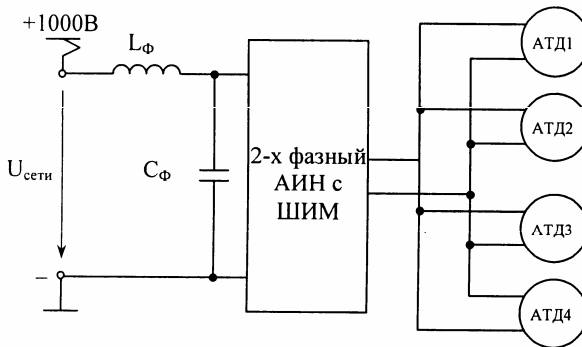


Рис.4 – Структурная схема тяговой электропередачи головного моторного вагона метрополитена

Таким образом, предлагаемая концепция структуры перспективной системы электрической тяги метрополитена отображает уровень развития технических средств преобразования электроэнергии, который достигнут к началу XXI века. Реализация комплексного подхода к совершенствованию системы электрической тяги метрополитена, который стал возможным благодаря последним достижениям в областях асинхронного электропривода, преобразовательной техники и силовой

электроники, позволит значительно улучшить технико-экономические характеристики как тягового электроснабжения, так и электроподвижного состава метрополитена, что особенно важно для метрополитенов с ограниченным станционным развитием, с точки зрения допустимой составности метropоездов. Для практической реализации концепции применительно к условиям Харьковского метрополитена необходимо выполнение ряда прикладных научно-исследовательских работ по разработке и исследованию отдельных звеньев тягового электроснабжения с продольной линией питания 6кВ и тяговой электропередачи обмоторенных метropоездов.

Хворост Н.В., Панасенко Н.В. Электрические железные дороги: этапы и перспективы развития // Электротехника та электромеханiка. – 2003. – №4. – С. 27-38.

Гаврилов Я.И., Мнацаканов В.А. Вагоны метрополитена с импульсными преобразователями. – М.: Транспорт, 1986. – 229 с.

Арефьев И.Б., Тулин С.А. Перспективный подвижной состав для Петербургского метрополитена // Тез. докл. на международном симпозиуме Eltrans 2001. – СПб.: ПГУПС, 2001. – С. 34.

Иньков Ю.М., Ротанов В.Н., Симонов М.Д. Система электрического торможения вагонов метрополитена до полной остановки // Тез. докл. IV Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития железнодорожного состава». – Новочеркасск: ОАО «ВЭлНИИ», 2003. – С. 61-62.

Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи. – М.: Транспорт, 2001. – 464 с.

Омельяненко В.И., Омельяненко Г.В. Применение накопителя энергии для тяговой сети метрополитена // Тез. докл. IV Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития железнодорожного состава». – Новочеркасск: ОАО «ВЭлНИИ», 2003. – С. 44-46.

Марикин А.Н. Схемотехника современных тяговых подстанций постоянного тока и перспективные системы электроснабжения // Электрификация и развитие железнодорожного транспорта России. Традиция, современность, перспективы. – СПб.: ПГУПС, 2002. – С. 147-155.

Новые силовые полупроводниковые приборы для тягового электроснабжения // Железные дороги мира. – 2000. – №1. – С. 46-51.

Двенадцатипульсовые полупроводниковые выпрямители тяговых подстанций / Под ред. докт. тех. наук М.Т.Шалимова. – М.: Транспорт, 1990. – 127 с.

10.Мияшита Т. Технологии НИТАСНИ для железных дорог // Тез. докл. IV Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития железнодорожного состава». – Новочеркасск: ОАО «ВЭлНИИ», 2003. – С. 16-20.

Получено 17.10.2003