

Применение накопителей энергии в системах электроснабжения городского электрического транспорта

А. А. ШТАНГ, доцент Новосибирского государственного технического университета (НГТУ),

Е. А. СПИРИДОНОВ, доцент НГТУ,

М. В. ЯРОСЛАВЦЕВ, аспирант, кафедра электротехнических комплексов НГТУ



Накопители энергии для аккумуляции избыточной энергии рекуперации целесообразно размещать в межподстанционных зонах на специально оборудованных автоматических постах секционирования. Разработанная электрическая схема поста секционирования с емкостным накопителем энергии позволяет эффективно использовать энергию рекуперации, а также увеличивать зону ее распространения.

Середины XX в., еще до применения силовых полупроводниковых приборов, на магистральном и городском электрическом транспорте использовалось реостатное и рекуперативное торможение. При рекуперативном торможении на уклоне, для снижения скорости, а также перед остановкой электрического подвижного состава (ЭПС) тяговые двигатели переводятся в генераторный режим. Накопленная ЭПС механическая энергия превращается в электрическую и передается через тяговую сеть другим потребителям, в первую очередь ЭПС, работающему в тяговом режиме (активному ЭПС). Таким образом, при рекуперации ЭПС работает параллельно с источниками питания. Данная особенность определяет работу ЭПС при рекуперативном торможении и создает особые условия для функционирования системы электроснабжения.

Во время рекуперативного торможения на участках контактной сети появляется подвижный источник энергии, который разгружает подстанции и повышает напряжение в тяговой сети, тем самым улучшая условия работы ЭПС, находящегося в тяговом режиме. При рекуперации наиболее экономичен такой режим, при котором вся вырабатываемая ЭПС энергия передается находящимся поблизости в режиме тяги ЭПС, однако это не всегда возможно [1; 2].

Основная особенность работы системы тягового электроснабжения (СТЭ) при рекуперации состоит в том, что зависимость условий работы устройств электроснабжения от уровня напряжения значительно больше, чем в режиме тяги. В связи с этим точные расчеты при рекуперативном торможении должны вестись с учетом действительных уровней напряжения как на тяговых подстанциях (ТП), так и на ЭПС. Кроме этого, следует принять во внимание, что если в режиме тяги напряжение в контактной сети в той или иной мере влияет на скорость ЭПС, пропускную способность и другие показатели, то при рекуперативном торможении от уровня напряжения в контактной сети и на подстанциях зависят не только экономические показатели, но и сама возможность рекуперации. Напряжение в тяговой сети городского электрического транспорта (ГЭТ), предусмотренное ГОСТ 6962-75, во время рекуперативного торможения не должно превышать 720 В. Указанное условие является необходимым, но не достаточным. В нем учтено ограничение, накладываемое на ЭПС по максимально допустимому напряжению, но для рекуперации необходимо, чтобы в момент проведения данного режима к контактной сети были присоединены те или иные потребители энергии. В противном случае осуществить рекуперативное торможение невозможно.

Наряду с рекуперативным возможно применение и регенеративного тормо-

жения, когда вырабатываемая тяговым электродвигателем энергия перераспределяется на самом ЭПС. При этом требований к допустимому уровню напряжения в контактной сети не предъявляется.

Использование энергии рекуперации

На данном этапе технического развития в качестве приемников избыточной энергии рекуперации могут применяться инверторы, с помощью которых энергия передается в первичную сеть, где всегда имеются потребители. Однако использование энергии электрических торможений на основе инверторов малоэффективно в связи с тем, что потери энергии вследствие нагрева проводников тяговой сети составляют существенную долю от энергии рекуперации, а разница в цене потребляемой от первичной энергосистемы и отдаваемой обратно энергии весьма значительна. Поэтому наиболее перспективно применение накопителей энергии (НЭ) большой емкости, позволяющих максимально эффективно использовать избыточную энергию рекуперации.

Приемники избыточной энергии можно располагать как на тяговых подстанциях, так и на различных участках контактной сети (рис. 1).

Рассмотрим четыре варианта размещения накопителей:

- на тяговой подстанции;
- на выводах питающих линий;
- в межподстанционной зоне;
- вдоль контактной сети.

Выбор места размещения в первую очередь зависит от экономической эффективности и удобства в эксплуатации; кроме того, учитываются потери электрической энергии, которые связаны с особой спецификой передачи электроэнергии. В связи с этим возникает необходимость введения понятий «полудуплексная передача» и «симплексная передача».

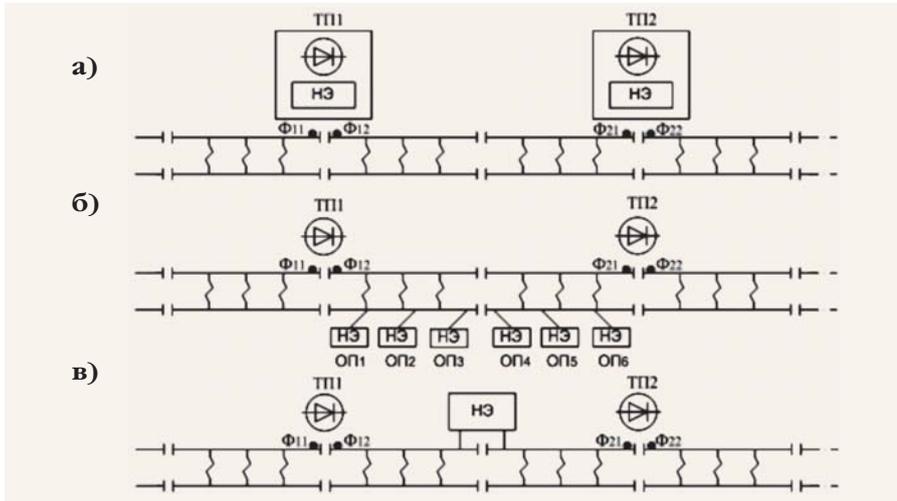


Рис. 1. Различные варианты размещения накопителей энергии: а) на тяговой подстанции; б) вдоль контактной сети; в) в межфидерной зоне.

По аналогии с устройствами связи будем понимать под полудуплексной передачей электроэнергии двунаправленную передачу электрической энергии по контактной сети от рекуперирующего ЭПС к НЭ и обратно к ЭПС, находящемуся в тяговом режиме. Симплексная передача — это однонаправленная передача электрической энергии по контактной сети от рекуперирующего ЭПС к НЭ.

При рекуперации наиболее экономичен такой режим, при котором вся

вырабатываемая ЭПС энергия передается находящемуся поблизости НЭ, а в момент разряда НЭ — ближайшему ЭПС, работающему в режиме тяги. Согласно данному принципу наиболее рациональным с точки зрения снижения потерь будет размещение накопителя на остановочном пункте, так как здесь всегда (наиболее длительно) действуют режимы торможения и тяги.

Существующие схемы питания и секционирования в пределах одного фи-

дерного участка включают в себя, как правило, три остановочных пункта, поэтому количество НЭ (при распределенном питании) на одном участке должно быть не менее трех. Это приведет к резкому увеличению капитальных и эксплуатационных затрат, а экономия электрической энергии за счет внедрения накопителей будет меньше, чем эксплуатационные издержки.

С точки зрения удобства обслуживания оптимальным местом размещения НЭ является ТП, где уже установлено оборудование, позволяющее проводить отключения в аварийных режимах работы как СТЭ, так и самого НЭ. Дополнительными преимуществами размещения НЭ на ТП является постоянство температуры, что позволяет увеличить срок эксплуатации накопителя. Можно спроектировать НЭ с таким запасом удельной энергии, который позволит накапливать избыточную энергию нескольких фидерных зон. В зависимости от интенсивности движения один НЭ, устанавливаемый на ТП, может обслуживать от 2 до 4 фидеров. При определении количества обслуживаемых фидеров одним НЭ обязательным является условие, что время разряда $t_{раз}$ должно быть меньше, чем время заряда $t_{зар}$ ($t_{раз} \leq t_{зар}$). В противном случае накопитель не



www.ctsspb.ru, Санкт-Петербург

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМИ ПОДСТАНЦИЯМИ

На базе современных технических средств и программного обеспечения



ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА, МЕТРОПОЛИТЕНОВ



- Снижение эксплуатационных затрат, повышение надежности и энергоэффективности электроснабжения подвижного состава
- Улучшенный контроль энергосистемы
- Продление времени эксплуатации оборудования подстанций
- Повышение качества транспортного обслуживания населения

будет успевать заряжаться и значительного улучшения режима работы СТЭ не произойдет. Основными недостатками такого размещения НЭ являются большие потери, связанные с передачей энергии и невозможностью проведения рекуперативных актов при большом удалении ЭПС от питающего фидера.

Схема автоматического поста секционирования с накопителем энергии

Внедрение НЭ в межподстанционную зону является наиболее рациональным вариантом [3]. При данном способе размещения капитальные затраты, обусловленные установкой одного накопительного элемента на две секции, значительно ниже, чем при размещении НЭ на остановочных пунктах, где требуется шесть НЭ (рис. 1) с системами контроля токов и напряжений процессов «заряд — разряд» (рис. 2). Сложность создания НЭ сопряжена в первую очередь с изготовлением блоков, работающих при высоких уровнях напряжений, так как все высоковольтные энергоемкие конденсаторы двойного электрического слоя (КДЭС) собираются в блочную конструкцию из низковольтных. Поэтому технически сделать один высоковольтный более энергоемкий блок проще, чем несколько высоковольтных, но менее энергоемких.

С внедрением НЭ в межподстанционную зону появляется возможность с помощью источника ограниченной мощности в значительной мере поддерживать средний уровень напряжения; уравнивать его в смежных плечах, частично разгружая и снижая потери при передаче энергии в конец межподстанционной зоны питания ТП; проводить акты рекуперации независимо от наличия активного потребителя.

Принципиальное включение НЭ в систему СТЭ с выбором схемы импульсного регулятора зависит от уровня напряжений на блоке накопительных конденсаторов (БК) в процессах «заряд — разряд». Если допустимый заряд аккумуляторного устройства не должен превышать напряжение 720 В, предусмотренное ГОСТ 6962-75, то выбор уровня разряда при проектировании накопительного устройства может варьироваться в широких пределах.

Разряд НЭ до половины номинального напряжения ($0,5 U_H$) с повышением эффективности использования энергоемкости до 75 % приводит к усложнению схемы и значительному (в 3,2 раза) снижению емкости блока КДЭС по сравнению с разрядом НЭ до уровня напряжения холостого хода ТП $U_{хх}$.

На основе анализа схемных решений может быть предложен вариант с совместным использованием НЭ и автоматического поста секционирования (АПС), устанавливаемого в межподстанционной зоне.

Преимуществом такой комбинированной схемы (рис. 3) НЭ с АПС является значительное снижение небаланса в уровнях напряжений между первым (C1) и вторым (C2) секционными разделами. Схема позволяет существенно увеличивать пропускную способность участка контактной сети за счет применения АПС и подключать НЭ без дополнительной коммутационной аппаратуры к двум секциям.

При понижении напряжения на одном из секционных участков C1 или C2, когда разница между показаниями датчиков напряжения TV_1 и TV_2 составляет 15–30 В, открывается один из тиристоров TS_1 TS_2 , входящих в блок АПС, что позволяет уравнивать U_{c1} и U_{c2} и использовать смежную (противоположную) ТП

в качестве дополнительного источника энергии.

При повышении напряжения более 630 В на одном из секционных участков включается импульсный регулятор, который позволяет проводить заряд БК. Сам регулятор состоит из $L_{\phi}C_{\phi}$ -фильтра, индуктивности (добавочного дросселя) L_d и блока, включающего четыре IGBT-модуля. Контроль напряжения в сети во время заряда позволяет пополнять запас энергии на НЭ только от энергии рекуперированного ЭПС и иметь минимальный энергетический объем БК, способный аккумулировать избыточную энергию рекуперации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шлюссер В., Ойрих С. Современные тормозные системы // Железные дороги мира. 1997. № 4.
2. Ито Ж., Ито Т. Система тягового электроснабжения постоянного тока для участков обращения электропоездов с рекуперативным торможением // Железные дороги мира. 1997. № 4.
3. Щуров Н. И., Сопов В. И., Штанг А. А., Прокушев Ю. А. Повышение эффективности использования электрической энергии в подсистеме электрического транспорта // Совершенствование технических средств электрического транспорта: сб. науч. тр. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002.

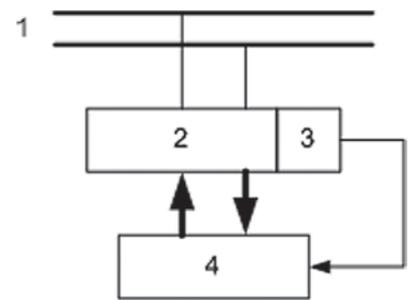


Рис. 2. Блок-схема подключения НЭ к тяговой сети ГЭТ: 1 — контактная сеть; 2 — преобразователь; 3 — блок управления; 4 — блок КДЭС.

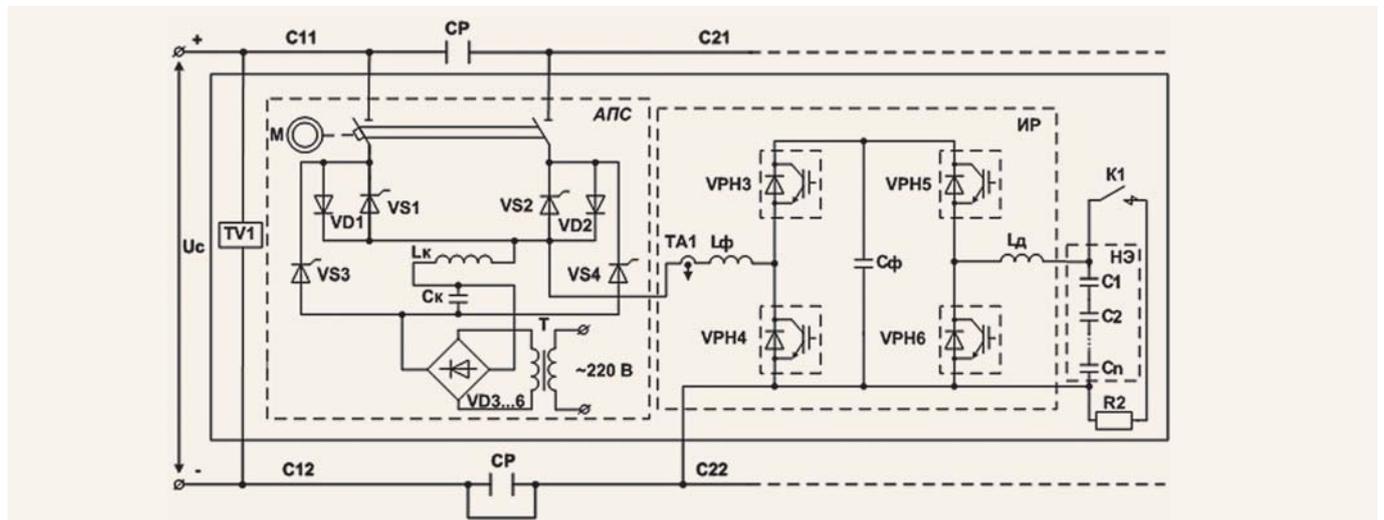


Рис. 3. Комбинированная схема НЭ с АПС