

УДК 629.4.014.24

Ю. В. ЧЕРНЯК, кандидат технических наук, В. И. ДАНИЛЕВСКИЙ, кандидат технических наук, М. О. УСВАТОВ, старший преподаватель, А. В. ГАЮР, аспирант, Государственный экономико-технологический университет транспорта, г. Киев, Украина

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

В статье рассматриваются различные виды накопителей энергии для использования на мотор-вагонном подвижном составе железных дорог. Проведен расчет эффективности применения электрохимических конденсаторных элементов в силовой цепи электропоездов.

Экономия эксплуатационных затрат в железнодорожной сфере за счет сокращения потребления топлива и электрической энергии является одной из важнейших задач в повышении эффективности перевозок, а возможность влияния на ее величину при помощи технологических и технических инноваций достаточно велика. С учетом прогнозируемого роста цен на энергоресурсы работа в этой области становится еще более актуальной.

В большом количестве теоретических исследований и экспериментов изучается возможность использования достаточно мощного накопителя энергии, который способен осуществлять рекуперацию энергии торможения подвижной единицы и отдавать накопленную энергию для ускорения движения.

В решении транспортных проблем больших городов и их связи с населенными пунктами весомое место занимают пригородные перевозки, а именно использование для перевозки пассажиров мотор-вагонного подвижного состава (электропоездов).

Характерным для электропоездов режимом работы является разгон – движение на выезде – торможение – стоянка, что обусловлено небольшим междустаночным расстоянием посадочных узлов (станций, посадочных платформ и т.п.) и сравнительно высокой загруженностью участков их оборотов, предусматривает быстрый разгон до установленной скорости и частые остановки.

Такой режим движения электропоездов ставит задачу уменьшения использования электрической энергии, которая потребляется из внешней тяговой сети, путем рекуперации при торможении и накоплении этой энергии для дальнейшего ее использования при разгоне.

Нынешний электротранспорт, как правило, использует реостатное электрическое торможение, когда энергия, которая генерируется электродвигателями, сбрасывается на резисторы и преобразовывается в тепло. Эффективность рекуперативного торможения, которое используется на некоторых линиях железных дорог, когда энергия возвращается непосредственно в контактную сеть, в реальных условиях не превышает 8–10%. Это связано с тем, что рекуперированная энергия своевременно не потребляется другими электропоездами, которые разгоняются, и фактически бесплатно передается поставщику либо теряется на нагрев контактного провода. Часто рекуперация не используется вследствие возникновения больших перегрузок в сети поезда и на подстанциях, что приводит к срабатыванию защитного

оборудования или выхода его из строя, поэтому рекуперированную энергию целесообразно использовать для дополнительного питания того же электропоезда без возвращения в электрическую сеть [1].

Известны следующие разновидности накопителей: аккумуляторные, инерционные и высокоемкостные конденсаторы.

Аккумуляторный накопитель. В качестве накопителей можно использовать батареи свинцовых и никель-кадмиевых аккумуляторов. Другие типы аккумуляторов не могут быть использованы из-за неудовлетворительных экономических показателей.

Высокую кратковременную мощность можно получить только при очень большой емкости батареи аккумуляторов, что обуславливает большие размеры и массу накопителя. К другим недостаткам аккумуляторных батарей относятся невысокая циклическая стабильность и, следовательно, ограниченный срок службы, а также наличие в них кислоты, свинца, кадмия и других экологически опасных материалов.

По этим причинам аккумуляторные батареи, вероятно, не найдут применения в качестве накопителей энергии для систем тягового электроснабжения.

Инерционный накопитель. Первые публикации о применении инерционных накопителей, или гироаккумуляторов, появились еще в 1992 г. С тех пор значительно возросла прочность материалов, из которых их изготавливают, что позволяет при большой частоте вращения накапливать значительное количество энергии в небольшой массе. На периферии маховика возникают слишком большие для традиционных материалов центробежные силы, поэтому его изготавливают из композитов с армирующим углеродным волокном.

Новые силовые полупроводниковые приборы, обладающие высоким быстродействием и низкими потерями, позволили создать статические преобразователи для привода скоростных электрических машин, работающих в чередующемся двигатель-генераторном режиме и являющихся звеном преобразования накапливаемой энергии, общий вид которого приведен на рисунке 1.

Прогресс в области магнитных, а также сверхпроводящих материалов для электромагнитов позволил создать «магнитные подшипники» без трения для быстро вращающихся масс (в данном случае ротора и маховика), не требующие технического обслуживания в течение долгого времени [2].

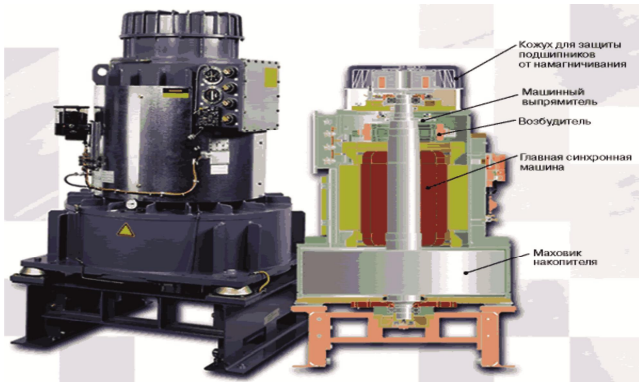


Рисунок 1 – Общий вид инерционного накопителя энергии

Высокоемкостные конденсаторы. Суперконденсаторами, или ионисторами, называют конденсаторы большой электрической емкости, накапливающих энергию в двойном электрическом слое на поверхности высокопористой структуры. Они характеризуются большой удельной емкостью, большой удельной мощностью, низкими токами потерь, большим количеством циклов заряд-разряд.

Существуют серии суперконденсаторов емкостью от 10 до 12000 Ф и рабочим напряжением от 1 до 15 В. Удельная энергия приборов достигала 10 кДж/л, а удельная мощность – 2,9 кВт·А / л.

Конденсатор на двойном электрическом слое представляет собой вторичный источник тока, объединяющий в едином приборе свойства аккумулятора и электролитического конденсатора. В частности, обладая плотностью запасаемой энергии, близкой к аккумуляторам, суперконденсатор в то же время имеет электрические свойства (закономерности изменения емкости при последовательном соединении, симметричные токи заряда и разряда, возможность изменения рабочего напряжения в широком диапазоне, возможность глубокого разряда, большое количество циклов заряда и разряда), характерные для электролитических конденсаторов.

Предлагаемая система использования кинетической энергии торможения поезда за счет накопления её на высокоемкостных электрохимических конденсаторных элементах с последующим применением на разгон, как показали исследования, является эффективной. Для определения ее эффективности был принят участок «городской электрички» г. Киева протяженностью 23,4 км с 7 остановочными пунктами и электропоезд ЭР-9м в 6-вагонной комплектации. Проведенными тяговыми расчетами было определено количество расхода электрической энергии на тягу электропоезда с применением конденсаторной системы и без ее применения.

Для определения эффективности использования электроэнергии определен коэффициент объема рекуперированной энергии на исследованном участке. С учетом расчетного коэффициента эффективности рекуперации $E_F = 0,44$ энергия торможения, которая возвращается для дальнейшего использования, определяемая расчетным путем, составляет 32 МДж за цикл [3, 4]. Количество циклов накопления энергии рекуперации на исследованном участке составляет

$$N_s = K_o = 6, \quad (1)$$

где K_o – количество остановок.

Энергия рекуперации на участке

$$\sum E_{p_3} = 32 \cdot 6 = 192 \text{ МДж} = 53,33 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (2)$$

На основании расчетных данных расход электроэнергии на участке без применения конденсаторной системы равен около 144 кВт·ч, а эффективность от использования конденсаторной системы на исследованном участке

$$E_{\Phi_d} = \frac{\sum E_{p_3}}{\sum E_{3_3}} \cdot 100\% = \frac{53,33}{144} \cdot 100\% = 37\%, \quad (3)$$

где $\sum E_{p_3}$ – суммарная энергия рекуперации на участке;

$\sum E_{3_3}$ – суммарная затраченная энергия электропоездом на исследуемом участке.

Поскольку на маршруте «городской электрички» на сегодня работает 14 остановочных пунктов, а электропоезда – в среднем по 8 «колец» в сутки, то количество циклов одного электропоезда

$$N_{\text{сут}} = 14 \cdot 8 = 112. \quad (4)$$

В год это количество будет составлять

$$N_r = 112 \cdot 365 = 40880 \text{ циклов}. \quad (5)$$

Общая энергия рекуперации за год

$$\sum E_{p_r} = 32 \cdot 40880 = 1308160 \text{ МДж} = 363377,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (6)$$

С учетом стоимости промышленной электроэнергии I группы в Украине (27,5 кВт и выше) 0,97 грн/кВт·ч (0,122 \$/кВт·ч) (по данным «КиевЭнерго» по состоянию на 01.10.2013 г.) общий объем сэкономленной электроэнергии за год в денежном выражении составит около

$$\sum E_{\text{экт}} = \sum E_{p_r} \cdot C_s = 363377,8 \cdot 0,122 = 40698,31 \text{ \$}, \quad (7)$$

где C_s – цена 1 кВт·ч электроэнергии с учетом НДС.

Расчетная стоимость конденсаторной системы 60x30ЭК405 составляет:

– опытный образец – 194250 \$;

– промышленный выпуск (при условии модернизации 40 электропоездов в год) – 97125 \$;

Сроки окупаемости конденсаторных модулей, исключительно за счет экономии электроэнергии, составят:

– опытного образца – 4,77 лет;

– промышленного выпуска – 2,39 года.

Расчет показал высокую экономическую эффективность применения системы. Сроки окупаемости при промышленной модернизации только за счет экономии электроэнергии составляют около 3 лет. Кроме того, система обладает высокой эксплуатационной надежностью, большим сроком службы (не менее 15 лет) и практически не требует технического обслуживания.

Во время проведения теоретических исследований для определения наиболее эффективного применения электрохимических конденсаторных элементов на электроподвижном составе были получены следующие результаты:

– применение высокоемкостных электрохимических конденсаторных элементов перспективно на подвижном составе, в котором потребляемая энергия расходуется в основном на изменение его кинетической энергии, т.е. режим ведения поезда сопровождается частыми остановками и разгонами, который характерен для пригородного сообщения, маневровой работы, а также метрополитена;

– низкая эффективность применения конденсаторных систем на магистральном подвижном составе объясняется тем, что при ведении поезда основная часть затраченной энергии расходуется на преодоление сил сопротивления движению поезда, а количество остановок и разгонов, во время которых используется рекуперированная энергия, незначительно;

– использование конденсаторной системы во внутренней силовой цепи электроподвижного состава и практически полного накопления энергии рекуперации дает возможность существенно повысить КПД «рекуперативного» и «реостатного» торможения и использования накопленной энергии на нужды этого же состава;

– принимая во внимание использование на современном мотор-вагонном электроподвижном составе двигателей постоянного тока, отпадает необходимость в использовании дорогостоящего и сложного в техническом исполнении преобразователя электрической энергии из постоянного в переменный ток, что придает данной системе универсальность установки на практически всем эксплуатируемом электроподвижном составе;

– уменьшение износа тормозных колодок и соответственно увеличение их срока службы.

Подводя итог, можно сделать вывод, что модернизация электропоезда путем установки высокоемкостной системы конденсаторных элементов для накопления энергии торможения с последующим использованием накопленной энергии на разгон является экономически выгодным и целесообразным шагом на пути улучшения работы и технико-экономических показателей электроподвижного состава при работе в пригородном движении.

Список литературы

1 **Костюковский, М. А.** Управление электропоездом и его обслуживание / М. А. Костюковский. – М. : Транспорт, 1987. – 253 с.

2 Инерционный накопитель энергии для тяговой сети // Железные дороги мира. – 2004. – Вып. 2.

3 Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.

4 **Охорзин, В. А.** Компьютерное моделирование в системе Mathcad / В. А. Охорзин. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 144 с.

Получено 12.05.2014

Y. V. Chernyak, V. I. Danilevskiy, M. O. Usvatov, A. V. Gayur. Efficiency of using electrochemical capacitor on railroad.

This article discusses the various types of energy storage devices for use in motor-wagon rolling stock of railways. The author gives calculation of the efficiency of using electrochemical capacitor elements in the electric power circuit of electric trains.