

УДК 681.11.031.12

ПРИМЕНЕНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ РЕКУПЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ЭД9М

Жукова К. М., студентка гр. ВОЭТ-312, III курс

Научный руководитель: Лукина В. Б.

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
филиал в г. Воронеж
г. Воронеж

Введение. В условиях постоянного роста энергопотребления и ужесточения экологических требований к транспортным системам особую актуальность приобретает задача повышения энергоэффективности железнодорожного транспорта. Одним из перспективных направлений в этой области является рекуперативное торможение – технология, позволяющая возвращать часть энергии, выделяемой при торможении подвижного состава, в электрическую сеть или накапливать её для последующего использования [2].

Электропоезда, такие как ЭД9М, потребляют значительную мощность при разгоне, но во время торможения генерируют избыточную энергию, которая без накопителей часто рассеивается в виде тепла через реостатное торможение. Это приводит к потерям до 30–50% энергии в традиционных системах. Сама эффективность работы системы рекуперативного торможения ограничивается рядом факторов: нестабильностью потребления энергии в сети; потерями при передаче электроэнергии; необходимостью мгновенного использования возвращаемой энергии [1].

Накопители энергии (энергоёмкие конденсаторы, аккумуляторные батареи, маховики и др.) способны решить эти проблемы, выступая в роли буфера между процессом рекуперации и потреблением энергии. Их внедрение позволяет: сглаживать пиковые нагрузки в сети; накапливать энергию для повторного использования при разгоне поезда; повышать общую энергоэффективность подвижного состава; снижать нагрузку на контактную сеть и тяговые подстанции [1; 4].

Основной материал исследования. Существует несколько технологий накопления энергии, которые могут быть интегрированы в системы рекуперации электропоездов. Выбор конкретного типа или их комбинации зависит от специфических требований к энергоёмкости, мощности, сроку службы и условиям эксплуатации.

К основным типам накопителей энергии для электропоездов относят: литий-ионные аккумуляторные батареи и энергоёмкие конденсаторы (суперконденсаторы).

Литий-ионные аккумуляторные батареи (ЛИАБ) являются на сегодняшний день одним из самых распространенных и перспективных решений для накопления энергии. Их популярность обусловлена высокой

удельной энергоемкостью, что позволяет хранить значительные объемы энергии при относительно небольшом весе и объеме.

Рассмотрим принцип работы. ЛИАБ функционируют на основе обратимой электрохимической реакции. При заряде ионы лития перемещаются от катода к аноду через электролит, накапливая энергию. При разряде этот процесс происходит в обратном направлении, высвобождая накопленную энергию для питания внешнего устройства.

Характеристики ЛИАБ в контексте рекуперации:

- ЛИАБ обладают высокой удельной энергоемкостью, позволяющей накопить существенное количество энергии. Это означает, что при длительном торможении или на участках с частыми остановками, ЛИАБ могут поглотить большую часть рекуперированной энергии, снижая потребление из внешней сети;

- современные ЛИАБ способны выдерживать тысячи циклов заряда-разряда, что обеспечивает длительный период эксплуатации;

- эффективность преобразования энергии обычно находится в пределах 90-95%, что минимизирует потери при зарядке и разрядке;

- ЛИАБ нуждаются в сложных системах управления батареями, которые контролируют напряжение, ток, температуру каждого элемента, обеспечивая безопасную эксплуатацию, балансировку зарядов и предотвращая деградацию;

- работа батарей может ухудшаться при очень низких или высоких температурах, что требует систем терморегулирования;

- по сравнению с суперконденсаторами, ЛИАБ имеют более низкую удельную мощность. Это означает, что они не могут мгновенно отдавать или принимать очень большие токи, что может быть критичным в моменты резкого торможения или ускорения [3; 7].

Энергоёмкие конденсаторы (суперконденсаторы) представляют собой устройства, занимающие промежуточное положение между традиционными конденсаторами и аккумуляторными батареями. Они накапливают энергию не за счет химических реакций, а посредством электростатического разделения зарядов на границе раздела электрод-электролит.

Рассмотрим принцип работы. В суперконденсаторах энергия накапливается в виде электростатического заряда между двумя электродами, разделенными диэлектриком (электролитом). При подаче напряжения ионы из электролита мигрируют к поверхности электродов, образуя двойной электрический слой [6].

Характеристики суперконденсаторов в контексте рекуперации:

- главное преимущество суперконденсаторов заключается в том, что они способны поглощать и отдавать энергию практически мгновенно, с очень высокими токами. Это идеальное решение для поглощения пиковых выбросов энергии при интенсивном торможении;

- суперконденсаторы выдерживают сотни тысяч, а порой и миллионы циклов заряда-разряда без существенной деградации ёмкости;

- они менее чувствительны к перепадам температур по сравнению с ЛИАБ, что упрощает их эксплуатацию в жестких условиях;
- нет риска возгорания, как у некоторых типов ЛИАБ, и они менее склонны к необратимым повреждениям при перезаряде;
- суперконденсаторы обладают низкой удельной энергоёмкостью, так как не могут хранить такой же объем энергии, как батареи, при сравнимых габаритах и весе. Их полезно использовать для накопления кратковременных всплесков энергии;
- по сравнению с батареями, энергия в суперконденсаторах может теряться быстрее, если они не подключены к нагрузке;
- суперконденсаторам требуются специальные преобразователи для согласования напряжений, так как напряжение на суперконденсаторе изменяется в широком диапазоне в зависимости от степени заряда [6].

Для системы рекуперации электропоезда ЭД9М комбинированное (гибридное) решение является оптимальным. Каждый тип накопителя имеет свои сильные стороны, и их совместное применение позволяет компенсировать недостатки друг друга [5].

Суперконденсаторы отлично подходят для первичного поглощения мощных, но кратковременных всплесков энергии, генерируемых при интенсивном торможении. Они мгновенно «принимают» эту энергию, предотвращая перегрузку тяговых преобразователей и необходимость использования тормозных резисторов. Благодаря своей долговечности и надёжности, они могут служить долгие годы, практически не требуя обслуживания.

Литий-ионные аккумуляторные батареи дополняют суперконденсаторы, обеспечивая накопление большей энергии в течение более длительного времени. Когда суперконденсаторы заряжены, или когда рекуперируемая энергия генерируется с меньшей пиковой мощностью, но продолжительно, эта энергия может быть передана в ЛИАБ для последующего использования. ЛИАБ также могут использоваться для питания вспомогательных цепей поезда, что снижает нагрузку на основную контактную сеть [3].

Этот подход позволяет максимально эффективно использовать потенциал рекуперативного торможения, повышая общую энергоэффективность, надежность и экологичность эксплуатации подвижного состава. Суперконденсаторы берут на себя работу с пиковыми нагрузками, а литий-ионные батареи обеспечивают глубокое накопление энергии, создавая синергетический эффект, который недостижим при использовании только одного типа накопителя [5].

Рассмотрим ниже гибридную систему, которая обеспечивает мгновенную реакцию на скачки нагрузки, улучшает стабильность сети и продлевает срок службы аккумуляторов, сглаживая пиковые нагрузки (рисунок 1).



Рисунок 1 – Структурная схема рекуперативного торможения электропоезда ЭД9М с аккумуляторно-конденсаторными накопителями энергии

Заключение. Применение накопителей энергии в системе рекуперации электропоезда ЭД9М – это перспективное направление, ориентированное на повышение энергетической эффективности, снижение операционных затрат и оптимизацию работы на железнодорожной инфраструктуре [1; 2]. Применение накопителей энергии, в частности гибридной системы из литий-ионных батарей и суперконденсаторов, в системе рекуперации электропоезда ЭД9М открывает широкие перспективы для повышения его энергоэффективности и экономической целесообразности. Грамотно спроектированная система управления, учитывающая динамику зарядки и разрядки, а также состояние контактной сети и самих накопителей, позволит максимально использовать потенциал рекуперативного торможения, снижая эксплуатационные расходы и минимизируя воздействие на окружающую среду [4; 7].

Список литературы:

1. Титова, Т. С. Применение накопителей энергии для повышения энергетической эффективности тягового подвижного состава / Т. С. Титова, А. М. Евстафьев, В. В. Никитин // Электротехника. – 2018. – № 10. – С. 21-25. – EDN VAKSSW.
2. Щуров, Н. И. Применение накопителей энергии в системах электрической тяги / Н. И. Щуров, К. В. Щеглов, А. А. Штанг // Сборник

научных трудов Новосибирского государственного технического университета. – 2008. – № 1(51). – С. 99-104. – EDN YGHVVP.

3. Арефьев, Е. М. Математическая модель определения энергоемкости аккумуляторной батареи монорельсового локомотива с учетом рекуперации энергии / Е. М. Арефьев, К. А. Рябко // Горное оборудование и электромеханика. – 2023. – № 3(167). – С. 42-48. – DOI 10.26730/1816-4528-2023-3-42-48. – EDN XMFBLX.

4. Рябко, Е. В. Повышение энергоэффективности моторвагонного подвижного состава за счет использования емкостного конденсаторного накопителя энергии / Е. В. Рябко, К. А. Рябко, А. В. Сацюк // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – 2020. – № 59. – С. 73-82. – EDN QCRRZB.

5. Буткина, А. А. Математическое моделирование и оптимизация режимов работы микросети с накопителями электрической энергии : специальность 05.13.18 "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. А. Буткина. – Ульяновск, 2018. – 28 с. – EDN NXZVII.

6. Стародубцева, В. А. Разработка схемы управления зарядом модуля суперконденсаторов и определение ее работоспособности путем моделирования / В. А. Стародубцева, М. О. Шкляев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2017. – Т. 15, № 2. – С. 94-104. – DOI 10.22213/2410-9304-2017-2-94-104. – EDN ZBTQOJ.

7. Рябко, К. А. Переходные процессы в приводе шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге / К. А. Рябко // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2022. – № 7(61). – С. 129-134. – EDN YDJFFG.