

УДК 621.333.4

Использование энергии рекуперации для обогрева стрелочных переводов от контактной сети постоянного тока с напряжением 3 кВ

М. Ю. Изварин, И. А. Ролле, Е. В. Денисенко

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Изварин М. Ю., Ролле И. А., Денисенко Е. В. Использование энергии рекуперации для обогрева стрелочных переводов от контактной сети постоянного тока с напряжением 3 кВ // Бюллетень результатов научных исследований. 2024. Вып. 4. С. 134–141. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-04-134-141

Аннотация

Цель: создание системы для использования энергии рекуперации на участках железных дорог, электрифицированных на постоянном токе с напряжением 3 кВ. Предлагаемая система должна давать возможность использовать для обогрева стрелочных переводов энергию рекуперативного торможения, вырабатываемую электровозом или электропоездом постоянного тока при рекуперативном торможении и недостаточной мощности тяговых потребителей или их отсутствии в тяговой сети. **Методы:** анализ статистических данных по режимам работы электроподвижного состава и тяговой сети, выполнения графика движения поездов, анализ и синтез схмотехнических решений, изучение отечественного и зарубежного опыта утилизации энергии рекуперации на железнодорожном транспорте. **Результаты:** предложен принцип использования энергии рекуперации, которую невозможно использовать из-за малой нагрузки в контактной сети, для обогрева стрелочных переводов, повышающий энергоэффективность перевозок на электрифицированном железнодорожном транспорте. **Практическая значимость:** показана возможность использования электрической энергии рекуперации электрического подвижного состава для обогрева стрелочных переводов в зимний период при невозможности ее потребления другими электровозами и электропоездами. Данную систему можно использовать на участках, электрифицированных на постоянном токе с грузовым и пассажирским движением, где эксплуатируется электрический подвижной состав (ЭПС) с рекуперативным и рекуперативно-реостатным торможением.

Ключевые слова: рекуперативное торможение, контактная сеть, система электроснабжения, обогрев стрелочного перевода.

Введение

На большинстве типов современного ЭПС применяется электрическое торможение — рекуперативное или реостатное, а также и комбинированное — рекуперативно-реостатное. При таком режиме работы тяговые электродвигатели (ТЭД) ЭПС переводятся в генераторный режим, а выработанная ими энергия либо отдается в контактную сеть, либо переводится в тепловую на тормозных резисторах. С каждым годом доля энергии, возвращенной в сеть при рекуперативном торможении, возрастает и достигла к настоящему времени около 6% от потребленной на тягу [1]. И если с экономической точки зрения наиболее

эффективным является рекуперативное торможение, то с точки зрения надежности и безопасности — реостатное. Причина этого состоит в том, что эффективность рекуперативного торможения зависит от состояния контактной сети и наличия потребителей в ней, а для реостатного — нет. Срабатывание защиты на подстанции, отключение тяги электровоза или выход его с фидерного участка на ЭПС с рекуперативным торможением приведет к срыву торможения и пропаданию тормозной силы.

1. О возможности повышения надежности рекуперации и возможности использования выработанной энергии

На новейшем ЭПС с преобразовательными установками применяется комбинация двух видов электрического торможения — рекуперативно-реостатное. При этом рекуперативное торможение может постепенно замещаться реостатным. И если вопрос надежности такая система решает, то энергоэффективность она не повышает [1, 2, 5]. Большинство же современных видов электровозов и электропоездов при отсутствии нагрузки в контактной сети переходят в режим реостатного или пневматического торможения, и выработанная энергия утилизируется в виде тепла [3, 4, 5].

По-прежнему особенно остро стоит вопрос полезного использования энергии рекуперации на участках железных дорог, электрифицированных на постоянном токе с напряжением 3 кВ. Особенно это важно на участках с небольшими объемами движения, где энергия рекуперации не может использоваться для тяги, так как вероятность нахождения на одном фидерном участке двух единиц электрического подвижного состава мала. В то же время можно обеспечить дополнительную нагрузку на сеть с целью полезного применения энергии рекуперации.

Одними из значительных и наиболее мощных потребителей являются стрелочные электрообогреватели. Использование энергии рекуперации для питания таких потребителей создало бы хороший резерв для роста энергоэффективности перевозочного процесса.

Питание электронагревателей стрелок осуществляется, как правило, от промышленной системы электроснабжения с напряжением 380/220 В либо, если мощность сети недостаточна, — от ЛЭП 10 кВ через трансформаторы, что по сути одно и то же, так как ЛЭП 10 кВ обеспечивает и питание устройств СЦБ и нетяговых потребителей станций и перегонов. Однако в этом случае значительно увеличиваются затраты на покупку электроэнергии, и не во всех случаях электрические сети станций или подстанций могут обеспечить обогреватели достаточной мощностью. Поэтому в последние годы было предпринято немало попыток по использованию для обогрева стрелок тепла земли, например, тепловых насосов [6], замене обогревателей на систему обработки антиобледенительными жидкостями и прочее.

В то же время использование с этой целью системы тягового электроснабжения было бы экономически целесообразным, так как у нее большой резерв мощности, передача энергии сопровождается меньшими потерями, и из-за недостаточного количества потребителей недоиспользуется энергия рекуперации, которая могла бы быть возвращена электровозами.

2. Система питания обогревателей стрелок от контактной сети

Наиболее эффективно питать обогреватели стрелочных переводов от контактной сети. Это позволяет не только установить нагревательные элементы высокой мощности, но и использовать энергию рекуперации (см. выше). При этом стрелочные обогреватели на трамвайных линиях давно и успешно питаются от контактной сети в различных странах мира. Этот же способ используется на магистральных железных дорогах, электрифицированных на переменном токе [7, 8].

До недавнего времени камнем преткновения в вопросе использования энергии контактной сети для нетяговых нужд на участках постоянного тока с напряжением 3 кВ была система преобразования постоянного тока высокого напряжения в переменный с обеспечением изоляции (гальванической развязки). При существовавшем в 1980–1990-х годах уровне преобразовательной техники система питания получалась бы громоздкой и дорогой, а ее КПД редко превышал бы 70–80%. В настоящее время многие компании освоили производство многоячейковых (иногда их также называют многоуровневыми) высоковольтных инверторов напряжения на основе IGBT-транзисторов, которые имеют компактные габариты и большую мощность, КПД систем доходит до 91% и выше (имеются и другие схемы).

Данный агрегат подключается к контактной сети постоянного тока с напряжением 3кВ и имеет два гальванически развязанных друг с другом и с контактной сетью выхода, на каждом из которых имеется напряжение 230 В частотой 50 Гц. Одним из примеров является преобразователь, предлагаемый компанией EVPU (Словакия).

Источник состоит из следующих основных элементов: входного индуктивно-емкостного фильтра, высоковольтного IGBT-инвертора и мощного разделительного понижающего трансформатора с двумя вторичными обмотками и выходным фильтром.

Первичная обмотка трансформатора получает питание от инвертора. Соотношение числа витков первичной и вторичной обмоток обеспечивает уровень напряжения на выходе 230 В, а алгоритм работы инвертора (так называемая широтно-импульсная модуляция, ШИМ) и специальный фильтр на выходе позволяют получить напряжение, приближенное к синусоидальному, с промышленной частотой 50 Гц. При этом выходное напряжение стабилизируется по величине.

Цепи управления питаются от однофазного переменного напряжения 230 В, 50 Гц. Цепи сигнализации позволяют контролировать работу и выявлять неисправности источника.

Конструктивно преобразователь будет выполнен в виде шкафа, устанавливаемого у железной дороги либо на опоре контактной сети. Входной фильтр, высоковольтный инвертор, аппараты управления и выходной трансформатор находятся на одной раме, которая закреплена в шкафу. Конструкция последнего имеет защищенное исполнение и позволяет эксплуатировать систему вне помещений с установкой непосредственно в горловинах станций.

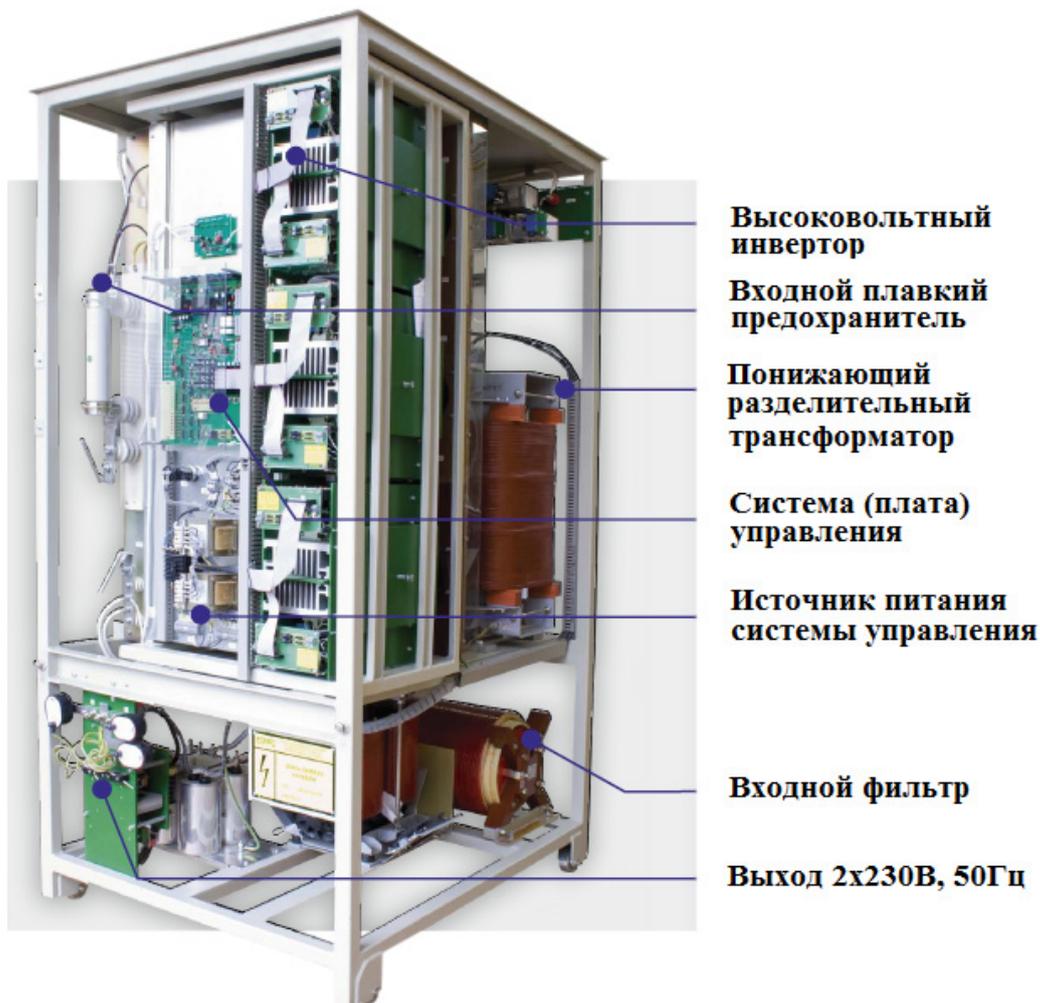
Источник питания имеет плату управления, расположенную внутри шкафа. Доступ к ней и к клеммовым рейкам осуществляется персоналом, обученным для работы с высоковольтными установками. Для предотвращения короткого замыкания контактной сети при выходе из строя преобразователя в конструкции имеется плавкий высоковольтный предохранитель.

Система работает следующим образом. При повышении напряжения в контактной сети до значения 3,7 кВ, что говорит о рекуперации, а также по команде от тяговой подстанции система начинает обогрев стрелочных переводов. Энергия запасается в виде тепла разогретых элементов переводов. При значительном понижении температуры окружающего воздуха система просто обогревает стрелочные переводы от контактной сети, снижая нагрузку на ЛЭП 10 кВ. Система может быть использована в качестве резервирования для питания нетяговых потребителей (СЦБ, станции и пр.) на случай повреждения ЛЭП 10 кВ.

ТАБЛИЦА. Технические характеристики преобразователя

Напряжение питания, В	3000 ± 33 %, пост. ток.
Максимально допустимое перенапряжение, кВ при длительности 4 мС	16
Номинальная мощность, кВт	60
Выходное напряжение	2 × 230 В, 50 Гц
Коэффициент искажений, %	5
КПД, %	91
Уровень шума не более, дБА	60
Масса, кг	1100

Конструктивно преобразователь выполняется в виде модуля, пригодного для подвешивания на опоре контактной сети. На этой же опоре закрепляются разъединитель, контактор и аппаратура защиты.



Источник питания систем обогрева стрелочных переводов от контактной сети с напряжением 3 кВ на примере блока питания нетяговых потребителей от контактной сети EVPU (фото автора)

Основной проблемой при создании подобной системы станет способ определения режима рекуперации электровозом или электропоездом, так как постоянное ее подключение приведет лишь к увеличению расхода энергии от тяговой подстанции — система должна работать лишь в момент, когда подвижной состав рекуперировывает энергию торможения.

С этой целью можно использовать алгоритм, построенный на двух принципах:

- 1) включение системы лишь при повышении напряжения в контактной сети выше 3,7 кВ;
- 2) включение системы по команде, передаваемой от подвижного состава с использованием какой-либо системы передачи данных.

Первый из способов наиболее просто реализовать, однако при его использовании потребуются индивидуальная настройка системы управления, так как

уровень напряжения в контактной сети зависит от расположения точки подключения преобразователя относительно подстанции (близко к питающему фидеру либо на большом расстоянии от него). Однако даже при использовании такого простого алгоритма система даст экономический эффект.

Более сложно реализовать второй вариант, так как потребуется оборудовать электрический подвижной состав устройствами передачи информации, подключенными к системе управления электровоза или электропоезда. Однако в данном случае можно будет точно определить момент начала рекуперации и заблаговременно создать дополнительную нагрузку в контактной сети. Наиболее перспективными в качестве устройств передачи данных являются системы наподобие GSM-R, однако полигон применения такой системы в России невелик. Поэтому можно рассмотреть возможность применения системы PLC, при которой каналом передачи информации будет сама контактная сеть [9].

Заключение

Выполненный анализ показал, что для повышения энергетической эффективности электрической тяги при невысокой интенсивности движения поездов и невозможности в связи с этим эффективного потребления рекуперированной энергии электроподвижным составом на участках постоянного тока возможна утилизация этой энергии в зимний период в электроустановках для обогрева стрелочных переводов. Предложены структурная схема системы питания обогревателей, включающая статический преобразователь, и принцип работы системы управления.

Библиографический список

1. Кузнецов А. А., Изварин М. Ю. Использование энергии рекуперативного торможения в системе отопления пассажирских вагонов // Инновационные транспортные системы и технологии. 2023. Т. 9. № 2. С. 33–43. DOI: 10.17816/transsyst20239233-43
2. Оценка энергоэффективности работы железнодорожного транспорта применением специализированных удельных единиц измерения / Т. С. Титова [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2017. Т. 14. № 1. С. 119–126.
3. Тихменев Б. Н., Трахтман Л. М. Подвижной состав электрических железных дорог. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1969. 408 с.
4. Перспективы развития тягового подвижного состава. Часть 2 / Т. С. Титова [и др.] // Транспорт Российской Федерации. 2019. № 2(81). С. 52–55.
5. Смаглюков Д. А. Устройство и эксплуатация электровоза ЭП20: учебное пособие. М.: Российские железные дороги, 2015. 360 с.
6. Steingraber J. Eisenbahn Ingenieur. 2007. № 9. S. 32–34.
7. Обогрев стрелочных переводов на железных дорогах Германии // Железные дороги мира. 2011. № 2. С. 75–78.

8. Система обогрева трамвайных стрелочных переводов «НСТ» // Официальный сайт компании ООО «Альфа Инжиниринг». URL: <https://al-teh.ru/category/sistema-obogreva-tramvajnyh-strelochnyh-perevodov> (дата обращения: 10.03.2024).

9. Шишкин Ф. Д., Бростилов С. А., Трусов В. А. Технология Power Line Communication и ее применение // Новые информационные технологии в автоматизированных системах: материалы семинара. 2015. № 18. С. 402–406.

Дата поступления: 13.09.2024

Решение о публикации: 05.10.2024

Контактная информация:

ИЗВАРИН Михаил Юльевич — канд. техн. наук, доцент; misha3568723@yandex.ru

РОЛЛЕ Игорь Александрович — канд. техн. наук, доцент; igor.rollet@inbox.ru

ДЕНИСЕНКО Елена Владимировна — инженер; denisenko@pgups.ru

The use of recuperation energy for heating railroad switches from a DC contact network with a voltage of 3 kV

M. Yu. Izvarin, I. A. Rolle, E. V. Denisenko

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: *Izvarin M. Yu., Rolle I. A., Denisenko E. V. The use of recovery energy for heating railroad switches from a DC contact network with a voltage of 3 kV // Bulletin of scientific research results. 2024. Iss. 4. P. 134–141. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2024-04-134-141*

Abstract

Purpose: to create a system for the use of energy recovery on sections of railways electrified with direct current with a voltage of 3 kV. The proposed system should make it possible to use the energy of regenerative braking generated by an electric locomotive or a DC electric train for heating switches during regenerative braking and insufficient power of traction consumers or their absence in the traction network. **Methods:** analysis of statistical data on the modes of operation of electric rolling stock and traction network, execution of train schedules, analysis and synthesis of circuit solutions, study of domestic and foreign experience in the utilization of energy recovery in railway transport. **Results:** the principle of using energy recovery, which cannot be used due to the low load in the contact network, for heating switches, increasing the energy efficiency of transportation on electrified rail transport, is proposed. **Practical significance:** the possibility of using electric energy recovery of electric rolling stock for heating switches in winter is shown, if it is impossible to consume it by other electric locomotives and electric trains. This system can be used in areas electrified with direct current with freight and passenger traffic, which operates electric rolling stock (EPS) with regenerative and regenerative-rheostatic braking.

Keywords: regenerative braking, contact network, power supply system, switch heating.

References

1. Kuznecov A. A., Izvarin M. Yu. Ispol'zovanie energii rekuperativnogo tormozheniya v sisteme otopleniya passazhirskih vagonov // Innovacionnye transportnye sistemy i tekhnologii. 2023. T. 9. No. 2. S. 33–43. DOI: 10.17816/transsyst20239233-43 (In Russian)
2. Ocenka energoeffektivnosti raboty zheleznodorozhnogo transporta primeneniem specializirovannyh udel'nyh edinic izmereniya / T. S. Titova [i dr.] // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. 2017. T. 14. No. 1. S. 119–126. (In Russian)
3. Tihmenev B. N., Trahtman L. M. Podvizhnoj sostav elektricheskikh zheleznykh dorog. 3-e izd., pererab. i dop. M.: Transport, 1969. 408 s. (In Russian)
4. Perspektivy razvitiya tyagovogo podvizhnogo sostava. Chast' 2 / T. S. Titova [i dr.] // Transport Rossijskoj Federacii. 2019. No. 2(81). S. 52–55. (In Russian)
5. Smaglyukov D. A. Ustrojstvo i ekspluatatsiya elektrovoza EP20: uchebnoe posobie. M.: Rossijskie zheleznye dorogi, 2015. 360 s. (In Russian)
6. Steingraber J. Eisenbahn Ingenieur. 2007. № 9. S. 32–34.
7. Obogrev strelochnykh perevodov na zheleznykh dorogah Germanii // Zheleznye dorogi mira. 2011. No. 2. S. 75–78. (In Russian)
8. Sistema obogreva tramvajnykh strelochnykh perevodov “NST” // Oficial'nyj sajt kompanii OOO “Al'fa Inzhiniring”. URL: <https://al-teh.ru/category/sistema-obogreva-tramvajnykh-strelochnykh-perevodov> (data obrascheniya: 10.03 2024) (In Russian)
9. Shishkin F. D., Brostilov S. A., Trusov V. A. Tekhnologiya Power Line Communication i ee primenenie // Novye informacionnye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemah: materialy semina- ra. 2015. No. 18. C. 402–406. (In Russian)

Received: 13.09.2024

Accepted: 05.10.2024

Author's information:

Michael Yu. IZVARIN — PhD in Engineering, Associate Professor; misha3568723@yandex.ru

Igor A. ROLLE — PhD in Engineering, Associate Professor; igor.rollet@inbox.ru

Elena V. DENISENKO — Engineer; denisenko@pgups.ru