ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 3 (51)

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 656.256.3

А. М. БЕЗНАРЫТНИЙ[1*], В. И. ГАВРИЛЮК[1], И. О. РОМАНЦЕВ[2], В. И. ЩЕКА[3]

[1*]Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта beznarytny.am@gmail.com, ORCID 0000-0003-2545-6621
[1]Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ORCID 0000-0001-9954-4478
[2]Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта rio_mail.@i.ua
[3]Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта, shcheka_v@mail.ru, ORCID 0000-0002-2184-2827

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ОБРАТНОЙ ТЯГОВОЙ СЕТИ С УСТРОЙСТВАМИ СИГНАЛИЗАЦИИ, ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ И БЛОКИРОВКИ

Цель. В работе необходимо выявить характер влияния электроподвижного состава на аппаратуру рельсовых цепей, используемых в устройствах автоблокировки и электрической централизации. **Методика.** При подготовке работы были проведены экспериментальные исследования в реальных условиях работы рельсовых цепей, во время проведения анализа экспериментальных данных использовалась методика быстрого преобразования Фурье. **Результаты.** Проведенные исследования дали возможность оценить спектральный состав тягового тока в рельсовой линии при влиянии тягового электроподвижного состава с различными характеристиками тяговых двигателей. **Научная новизна.** В результате исследований получены характеристики тягового тока в рельсовых линиях, который формируется современным ускоренным тяговым подвижным составом с асинхронными тяговыми двигателями. Показана опасность влияния тягового тока, производимого таким подвижным составом, на работу рельсовых цепей железнодорожной автоматики. **Практическая значимость.** Экспериментально показано увеличение мешающего влияния обратной тяговой сети на устройства сигнализации и блокировки при внедрении на участке ускоренного движения. Полученные результаты могут быть положены в основу разработки средств защиты рельсовых цепей от мешающего влияния, повышения электромагнитной совместимости тяговой сети со смежными линиями и в разработку систем технической диагностики.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость; рельсовые цепи; обратная тяговая сеть; электроподвижной состав; тяговый ток; спектральный состав тока; мешающее и опасное влияния

Введение

В настоящее время на сети железных дорог Украины активно внедряется ускоренное движение, что потребовало внедрения нового типа подвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями. Также для повышения эффективности

© А. М. Безнарытний, В. И. Гаврилюк, И. О. Романцев, В. И. Щека, 2014

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)
Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 3 (51)

грузовых перевозок активно внедряется движение тяжеловесных грузовых составов. Все это приводит к изменению амплитуды и спектрального состава обратного тягового тока [13, 14]. Так как рельсовые цепи одновременно являются как элементом систем электрической централизации и автоблокировки, так и элементом обратной тяговой сети, обратный тяговый ток, протекая по элементам рельсовой линии, в условиях ее асимметрии в той или иной мере, может негативным образом влиять на работу устройств автоматической локомотивной сигнализации и автоблокировки [1]. Таким образом, возникает вопрос об электромагнитной совместимости системы тягового электроснабжения и устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) в условиях влияния новых факторов.

Несмотря на очевидную важность данного вопроса, имеющиеся на сегодняшний день исследования [2, 9] не дают окончательного ответа на вопрос об электромагнитной совместимости обратной тяговой сети (ОТС) с устройствами СЦБ.

Цель

Целью данной работы является исследование электромагнитной совместимости ОТС с устройствами СЦБ в условиях влияния ускоренного тягового подвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями. Для изучения электромагнитной совместимости ОТС с рельсовыми цепями и устройствами автоматической локомотивной сигнализации необходимо изучить спектральный состав обратного тягового тока в ОТС в условиях отсутствия нагрузки, при нагрузке тяговой сети классическим электроподвижным составом и при ее нагрузке подвижным составом с асинхронными тяговыми двигателями и выявить степень его влияния на устройства СЦБ. Для выполнения поставленных задач авторами работы проведены исследования на линии Приднепровской железной дороги с движением классического и ускоренного подвижного состава. Исследования проводились согласно техническому заданию на научно исследовательскую работу [10].

Методика

При разработке работы были проведены экспериментальные исследования в реальных условиях работы рельсовых цепей на участке обращения классического и ускоренного электроподвижного состава, для анализа экспериментальных данных использовалась методика быстрого преобразования Фурье.

Анализ особенностей работы железнодорожной тяговой сети.

Как известно [6, 7], тяговая сеть состоит из контактной сети, рельсового пути, питающих и отсасывающих фидеров и других устройств, присоединяемых по длине линии и контактной подвески непосредственно или через автотрансформаторы.

Работа системы тягового электроснабжения железнодорожного транспорта имеет следующие особенности:

– место подключения тяговой нагрузки к источнику питания изменяется непрерывно;

– нагрузка носит случайный характер, так как на ее формирование влияют разнообразные факторы, такие как: случайное число поездов на участке, сбои в движении поездов, метеорологические условия;

– вследствие нелинейности нагрузки появляются дополнительные потери электроэнергии от высших гармоник, увеличивается влияние на смежные линии;

– несимметричность нагрузки приводит к несимметричности напряжения во внешней системе электроснабжения [8, 12].

Приведенные факты осложняют аналитический анализ электромагнитной совместимости тяговой сети с устройствами СЦБ, что обуславливает необходимость проведения исследований обратной тяговой сети в реальных условиях эксплуатации, при различных типах тяговой нагрузки.

Исследования спектрального состава тока в обратной тяговой сети.

Исследования проводились на участке, электрифицированном постоянным током, на станции Нижнеднепровск-Узел, Приднепровской железной дороги. Исследовательская аппаратура подключалась к средней точке отсасывающего дроссель-трансформатора обратной тяговой сети.

Переменная составляющая тока в ОТС снималась с помощью бесконтактного датчика тока AmpFLEX A100-0.3-3к/3, полученный таким

© А. М. Безнарытний, В. И. Гаврилюк, И. О. Романцев, В. И. Щека, 2014

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 3 (51)

образом сигнал дискредитировался с помощью аналогово-цифрового преобразователя ADA-1406/DAC и записывался в память персонального компьютера. Дальнейшая обработка сигнала проводилась с помощью программы Spectra Lab 6.0.

Исследования проводились в три этапа. На первом этапе проводилась запись сигналов ОТС при отсутствии нагрузки тяговой сети подвижным составом. При этом в спектре тока в ОТС наблюдались как канонические гармонические составляющие с частотой 300, 600, 1 200 Гц, так и неканонические гармоники с частотами 50, 100, 150, 200 Гц. Временная характеристика и спектральный состав тока в ОТС при отсутствии тяговой нагрузки в фидерной зоне приведены на рис. 1 и 2 соответственно.

На втором этапе исследований проводилась запись и анализ сигналов в ОТС при нагрузке тяговой сети локомотивом ЧС-8 с синхронным тяговым двигателем. При проследовании поездом исследуемого участка в спектре тока в ОТС наблюдалось увеличение амплитуды гармонических составляющих с частотами, близкими к 50, 100, 150, 200 Гц, а также наблюдалось увеличение амплитуды канонических гармоник с частотой 300, 600, 900, 1 200 Гц, как видно на рис. 3.

На третьем этапе производились исследования тока в ОТС при нагрузке тяговой сети ускоренным подвижным составом с асинхронными тяговыми двигателями SKODA VAGONKA EJ 675 в составе ускоренного регионального поезда интерсити «Днепропетровск–Донецк». Исследования показали значительное повышение амплитуды гармонических составляющих в диапазоне низких частот от 22 до 1 000 Гц, при непрерывности спектра гармоник, также наблюдалось наличие гармоник помех в диапазоне 1…6 кГц, в диапазоне высоких частот наблюдалось резкое снижение амплитуды гармонических составляющих. Спектр сигнала в ОТС при прохождении ускоренного подвижного состава по участку показан на рис. 4.

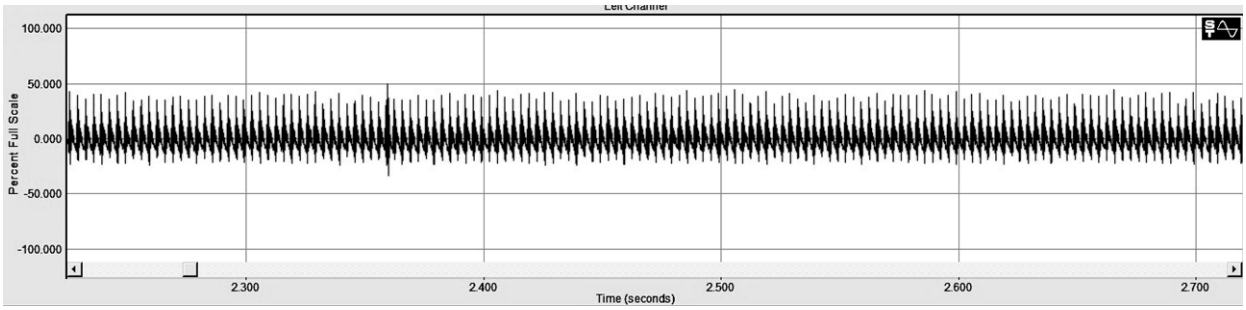


Рис. 1. Временная характеристика тока в ОТС при отсутствии поезда на участке

Fig. 1. The timing characteristic of the current in return traction network (RTN) in the absence of the train in the area

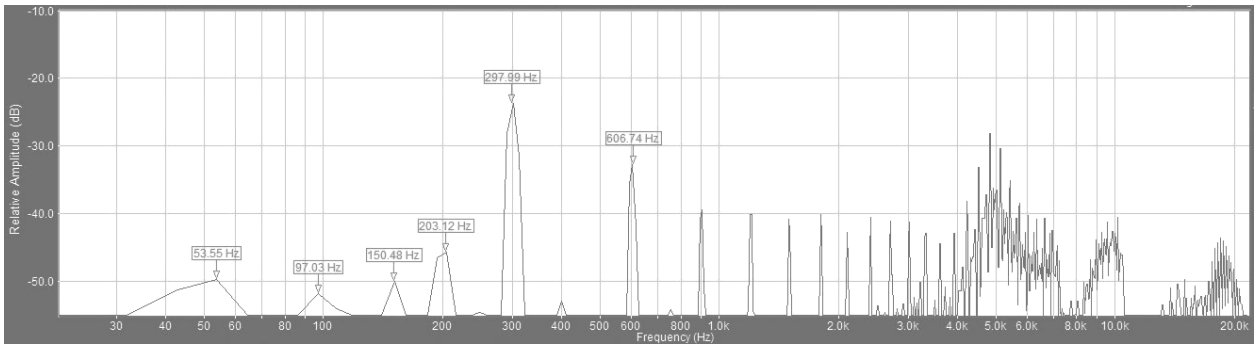


Рис. 2. Спектральный состав тока в ОТС при отсутствии поезда на участке

Fig. 2. Spectral structure of the current in RTN in the absence of the train in the area

© А. М. Безнарытний, В. И. Гаврилюк, И. О. Романцев, В. И. Щека, 2014

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 3 (51)

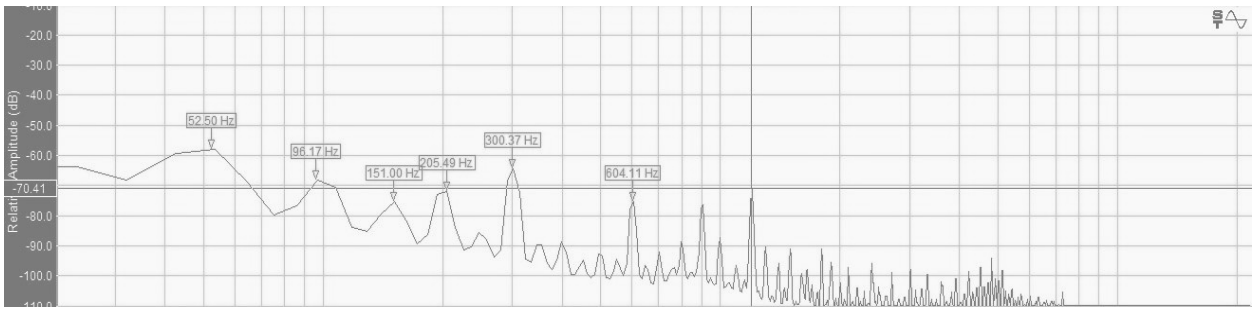


Рис. 3. Спектр тока в ОТС при нагрузке тяговой сети локомотивом ЧС-8

Fig. 3. Current spectrum in the RTN under load of traction network by CHS-8 locomotive

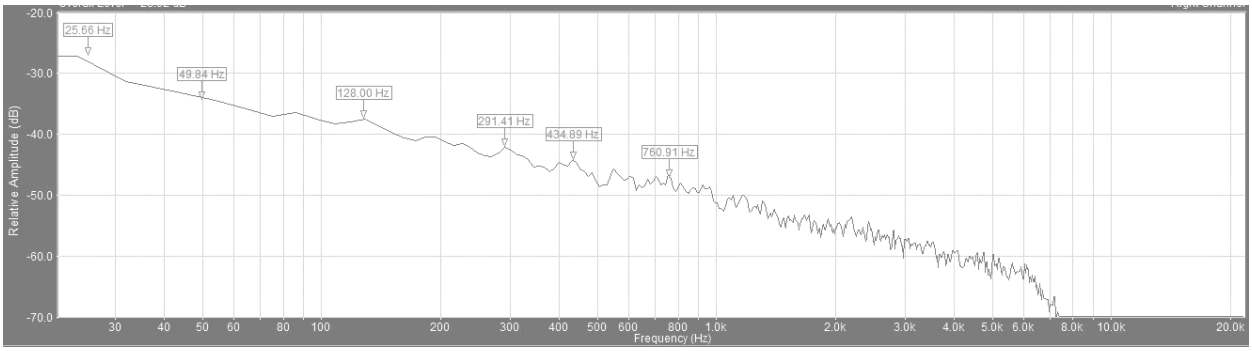


Рис. 4. Спектр сигнала в ОТС при движении электропоезда SKODA VAGONKA EJ675

Fig. 4. Signal spectrum in the RTN at movement of the SKODA VAGONKA EJ675 electric train



Рис. 5. График изменения амплитуды тока на тяговой подстанции

Fig. 5. Graph of current amplitude change at a traction substation

Параллельно проводилась регистрация амплитуды тока в тяговой сети при помощи щитового килоамперметра тяговой подстанции, изменения показали увеличения амплитуды тока в тяговой сети до 2,5 кА при движении электропоезда SKODA VAGONKA EJ 675 при

© А. М. Безнарытний, В. И. Гаврилюк, И. О. Романцев, В. И. Щека, 2014

средней амплитуде тока 1,4 кА. График изменения амплитуды тока в тяговой сети за период измерений показан на рис. 5. Проезд электропоезда по участку происходил на 30, 31, 32 минуте измерений.

Таким образом исследование доказали предположение о повышении фона гармонических помех, при внедрении на участке железной дороги ускоренного электроподвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями. В диапазон гармонических помех попадают рабочие частоты кодовых и тональных рельсовых цепей, а также рабочие частоты автоматической локомотивной сигнализации. Таким образом, мешающее влияние тягового тока может приводить к непредвиденным сбоям в работе устройств СЦБ, а как следствие – к сбоям в графике движения поездов.

Приведенные результаты исследований определяют необходимость применения на тяговых подстанциях постоянного тока дополнительных средств фильтрации, настроенных на уменьшение гармонических составляющих на частотах, близких к рабочим частотам устройств СЦБ.

На современном этапе развития электронной техники пассивные LC-фильтры во многом требовательны к применению дорогостоящих материалов и сложны при точной настройке [5, 3, 12], в связи с этим предлагается для уменьшения амплитуды гармонических помех в ОТС применять современные активные фильтры, построенные на принципе компенсации гармонических составляющих, в случае их выявления.

Результаты

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований спектрального состава тока в рельсовой линии в условиях влияния тягового тока, при различных видах тяговой нагрузки. Исследования показали значительное изменение фона гармонических помех в рельсовой линии при внедрении на участке ускоренного движения тягового подвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями. Результаты работы обусловливают необходимость применения дополнительных средств фильтрации гармонических помех как на тяговых подстанциях, так и в аппаратуре рельсовых цепей, а также автоматизированных средств технической диагностики.

Научная новизна и практическая значимость

В настоящей работе экспериментально определен спектральный состав тягового тока в обратной тяговой сети при ее нагрузке современным электроподвижным составом, а также получило подтверждение предположение об увеличении влияния тягового тока на аппаратуру рельсовой цепи, на участках с обращением ускоренного электроподвижного состава.

Выводы

Тяговая сеть электрифицированных железных дорог является мощным источником помех для работы устройств СЦБ. Амплитуда таких помех увеличивается при внедрении ускоренных электропоездов с асинхронными тяговыми двигателями. Уменьшение негативного влияния ОТС на устройства СЦБ возможно путем применения средств дополнительной фильтрации, основанных на технологиях активных фильтров гармоник, на тяговых подстанциях постоянного тока.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, Н. Ф. Котляренко – М. : Транспорт, 1992. – 384 с.
2. Бадер, М. П. Электромагнитная совместимость : учеб. для вузов / М. П. Бадер. – М. : УМК МПС, 2002. – 638 с.
3. Дослідження умов роботи локомотивних пристроїв АЛС при безупинному проходженні поїзда через станцію / Ю. В. Соболєв, С. В. Кошевий, М. С. Кошевий, С. М. Бібіков // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2009. – № 1 (74). – С. 32−43.
4. Завгородний, А. В. Методические аспекты определения уровней опасного и мешающего влияния подвижного состава на работу рельсовых цепей / А. В. Завгородний, В. И. Гаврилюк, В. Г. Сыченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2005. – Вип. 9. – С. 11−14.
5. Карв, Ш. Активные фильтры гармоник [Электронный ресурс] / Ш. Карв. – Режим доступа: http://ssily.ru/admin/uploads/states/file/aktivnyie_filtryi_garmonik(rus).pdf. − Загл. с экрана.
6. Кириленко, А. Г. Электрические рельсовые цепи : учеб. пособие / А. Г. Кириленко, Н. А. Пельменева. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2006. – 94 с.

© А. М. Безнарытний, В. И. Гаврилюк, И. О. Романцев, В. И. Щека, 2014

7. Крюков, А. В. Моделирование электромагнитных влияний контактной сети железных дорог на смежные линии электропередачи / А. В. Крюков, В. П. Закарюкин, Д. С. Кобычев // Энергет. системы. – 2009. − № 1. – С. 2−7.
8. Маслов, Г. П. Электроснабжение железных дорог : учеб. пособие / Г. П. Маслов, Г. С. Магарай, О. А. Сидоров. – Омск : Омский гос. ун-т путей сообщ. − 2006. – 48 с.
9. Марквард, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог : учеб. для вузов / К. Г. Марквард. – М. : Транспорт, 1982. – 528 с.
10. Технічне завдання на виконання науково-дослідної роботи за темою «Дослідження роботи тягової мережі на дільницях з рухом великовантажних та прискорених поїздів, розробка пропозицій щодо зменшення втрат електроенергії в зворотній тяговій мережі» за договором № 46.17.12.12 ПР/НТО-12341/НЮ від 07.06.2012 р. – 4 с.
11. Шаманов, В. И. Помехи и помехоустойчивость автоматической локомотивной сигнализации : учеб. пособие / В. И. Шаманов. – Иркутск : Изд-во ИРГУПС, 2005. – 236 с.
12. Щека, В. І. Дослідження впливу зворотного тягового струму на режими роботи тональних рейкових кіл / В. І. Щека, І. О. Романцев, К. І. Ящук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 24−28.
13. Direct-drive induction motor for railway traction applications / Vasile Hoancă, Toma Dordea, Ştefan Păun et al. // Proc. of Romanian Academy, Series A. − Timişoara, 2011. − Vol. 12, № 3. − P. 239−248.
14. Eckel, H.-G. A new family of modular IGBT converters for traction applications [Электронный ресурс] / H.-G. Eckel. – Режим доступа: http://www.etenik.unirostock.de/ee/download/publications_LEA/uni_hro_publ_lea_26.pdf. − Загл. с экрана.

А. М. БЕЗНАРИТНИЙ[1*], В. І. ГАВРИЛЮК[1], І. О. РОМАНЦЕВ[2], В. І. ЩЕКА[3]

[1*]Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, тел. +38 (056) 247 18 66, ел. пошта beznaryny.am@gmail.com, ORCID 0000-0003-2545-6621
[1]Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ORCID 0000-0001-9954-4478
[2]Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта rio_mail.@i.ua
[3]Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта shceka_v@mail.ru, ORCID 0000-0002-2184-2827

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ЗВОРОТНОЇ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ З ПРИСТРОЯМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ, ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЯ

Мета. У роботі необхідно виявити характер впливу електрорухомого складу на апаратуру рейкових кіл, що використовуються в пристроях автоблокування та електричної централізації. **Методика.** При підготовці роботи були проведені експериментальні дослідження рейкових кіл, під час проведення аналізу експериментальних даних була використана методика швидкого перетворення Фур'є. **Результати.** Проведені дослідження надали можливість оцінити спектральний склад струму в рейковій лінії в умовах впливу тягового струму електрорухомого складу з різними характеристиками тягових двигунів. **Наукова новизна.** У результаті досліджень отримано характеристики тягового струму в рейкових лініях, який формується пришвидшеним тяговим рухомим складом з асинхронними тяговими двигунами. Показано небезпечність впливу тягового струму, що генерується таким рухомим складом, на роботу рейкових кіл залізничної автоматики. **Практична значимість.** Експериментальним шляхом показано збільшення негативного впливу зворотної тягової мережі на пристрої сигналізації та зв'язку при впровадженні на дільниці пришвидшеного руху. Отримані результати можуть бути покладені в основу розробки засобів захисту рейкових кіл від негативного впливу, підвищення електромагнітної сумісності тягової мережі зі суміжними лініями, а також у розробку систем технічного діагностування.

Ключові слова: електромагнітна сумісність; рейкові кола; зворотна тягова мережа; електрорухомий склад; тяговий струм; спектральний склад струму; негативний і небезпечний впливи

© А. М. Безнарытний, В. И. Гаврилюк, И. О. Романцев, В. И. Щека, 2014

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 3 (51)

A. M. BEZNARITNYY[1*], V. I. GAVRILYUK[1], I. O. ROMANTSYEV[2], V. I. SHCHYEKA[3]

[1*]Dep. «Automation, Remote Control and Communication», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, tel. +38 (056) 247 18 66, e-mail beznarytny.am@gmail.com, ORCID 0000-0003-2545-6621
[1]Dep. «Automation, Remote Control and Communication», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, ORCID 0000-0001-9954-4478
[2]Dep. «Automation, Remote Control and Communication», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail rio_mail.@i.ua
[3]Dep. «Automation, Remote Control and Communication», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail shceka_v@mail.ru, ORCID 0000-0002-2184-2827

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY RESEARCH OF RETURN TRACTION NETWORK WITH SIGNALING DEVICES, CENTRALIZATION AND BLOCKING

Purpose. It is necessary to identify the influence nature of the electric stock on the equipment of rail circuits that is used in automatic blocking devices and electrical centralization. **Methodology.** During the preparation phase the experimental investigations in real operating conditions of track circuits were conducted. The method of fast Fourier transform was used during the analysis of experimental data. **Findings.** The conducted research made it possible to evaluate the spectral composition of the traction current in a rail line under the influence of electromotive traction rolling stock with different characteristics of traction motors. **Originality.** As a result of research the characteristics of traction current, which is formed by modern accelerated traction rolling stock with asynchronous traction motors in rail lines were obtained. The harmful influence of traction current generated by such rolling stock on the operation of rail circuits of railway automatics was presented. **Practical value.** Experiments show the increase of harmful influence of return traction network on signaling and blocking devices during adoption on accelerated motion section. The obtained results can be used as a basis for development of rail circuits protection from interference, increase of electromagnetic compatibility of traction network with the adjacent lines and the development of technical diagnostics systems.

Keywords: electromagnetic compatibility; track circuits; return traction network; electric rolling stock; traction current; spectral structure of current; harmful and dangerous influences

REFERENCES

1. Arkatov V.S, Bazhenov A.I., Kotlyarenko N.F. *Relsovyye tsepi magistralnykh zheleznykh dorog* [Track circuits of mainline railways]. Moscow, Transport Publ., 1992. 384 p.
2. Bader M.P. *Elektromagnitnaya sovmestimost* [Electromagnetic compatibility]. Moscow, CMD MPS Publ., 2002. 638 p.
3. Sobolev Yu.V., Koshevyi S.V., Koshevyi M.S., Bibikov S.M. Doslidzhennia umov roboty lokomotyvnykh prystroiv ALS pry bezupynnomu prokhodzhenni poizda cherez stantsiiu [Work environment research of locomotive-ALS devices under non-stop passing of a train through the station]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti − Information management system for rail transport,* 2009, no. 1, pp. 32-43.
4. Zavgorodniy A.V., Gavrilyuk V.I., Sychenko V.G. Metodicheskiye aspekty opredeleniya urovney oparnogo i meshayushchego vliyaniya podvizhnogo sostava na rabotu relsovikh tsepey [Methodological aspects to determine the levels of dangerous and harmful influence on the track circuits operation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2005, issue 9, pp. 11-14.
5. Karv Sh. *Aktivnyye filtry garmonik* [Active harmonic filters]. Available at: http://ssily.ru/admin/uploads /states/file/aktivnyie_filtryi_garmonik (rus). Pdf (Accessed 24 February 2014).

© А. М. Безнарытний, В. И. Гаврилюк, И. О. Романцев, В. И. Щека, 2014

6. Kirilenko A.G., Pelmeneva N.A. *Elektricheskiyye relsovyye tsepi* [Electric track circuits]. Khabarovsk, Izd-vo DVGUPS Publ., 2006. 94 p.
7. Kryukov A.V., Zakaryukin V.P., Kobychev D.S. *Modelirovaniye elektromagnitnykh vliyaniy kontaktnoy seti zheleznykh dorog na smezhnyye linii elektroperedachi* [Modeling of electromagnetic influences of contact network of railways in the adjacent power lines]. *Energeticheskiye sistemy − Energy Systems*, 2009, no. 1, pp. 2-7.
8. Maslov G.P., Magaray G.S., Sidorov O.A. *Elektrosnabzheniye zheleznykh dorog* [Electricity of railways]. Omsk, Omskiy gos. un-t putey soobshch. Publ., 2006. 48 p.
9. Markvard K.G. *Elektrosnabzheniye elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog* [Electricity of electrified railways]. Moscow, Transport Publ., 1982. 528 p.
10. *Tekhnichne zavdannia na vykonannia naukovo-doslidnoi roboty za temoiu «Doslidzhennia roboty tiahovoi merezhi na dilnytsiakh z rukhom velykovantazhnykh ta pryskorenykh poizdiv, rozrobka propozytsii shchodo zmenshennia vtrat elektroenerhii v zvorotnii tiahovii merezhi», za dohovorom no. 46.17.12.12 PR/NTO-12341/NIu vid 07.06.2012 r.* [Technical assignment for execution of research work «Research of electric traction network at sections with heavy traffic and accelerated trains, development of proposals concerning reducing the loss of electric power in the return electric traction network»]. Contract no. 46.17.12.12 PR/NTO-12341/NYU, 2012. 4 p.
11. Shamanov V.I. *Pomekhi i pomekhoustoychivost avtomaticheskoy lokomotivnoy signalizatsii* [Interference and immunity of automatic locomotive signaling]. Irkutsk, Izd-vo IRGUPS Publ., 2005. 236 p.
12. Shcheka V.I., Romantsev I.O., Yashchiuk K.I. Doslidzhennia vplyvu zvorotnoho tiahovoho strumu na rezhymy roboty tonalnykh reikovykh kil [Research of influence of return traction current on operating mode of tonal rail circuits]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 24-28.
13. Vasile Hoancă, Toma Dordea, Ştefan Păun, Marius Biriescu, Gheorghe Madescu, Gheorghe LiubA, Marţian Moţ. Direct-drive induction motor for railway traction applications. Proc. of Romanian academy, Series A. Timişoara, 2011, vol. 12, no. 3, pp. 239-248.
14. Eckel H.-G. A new family of modular IGBT converters for traction applications. Available at: http://www.etenik.unirostock.de/ee/download/publications_LEA/uni_hro_publ_lea_26.pdf (Accessed 26 February 2014).

Статья рекомендована к печати к.т.н., доц. А. Н. Самковым (Украина); д.физ.-мат.н., проф. О. В. Коваленко (Украина)

Поступила в редколлегию 24.02.2014
Принята к печати 11.04.2014

© А. М. Безнарытний, В. И. Гаврилюк, И. О. Романцев, В. И. Щека, 2014