

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 621.33:656.259.12/.2

В. И. ГАВРИЛЮК^{1*}, В. И. ЩЕКА^{2*}, В. В. МЕЛЕШКО^{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 diitats@mail.ru, 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, shcheka_v@mail.ru, ORCID 0000-0002-2184-2827

^{3*}Главное управление автоматики, телемеханики и связи ГП «Укрзализныця», ул. Тверская, 5, Киев, Украина, 03680, эл. почта soyuz_at@mail.ru, ORCID 0000-0001-6833-964X

ИСПЫТАНИЯ НОВЫХ ТИПОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ С УСТРОЙСТВАМИ СИГНАЛИЗАЦИИ И СВЯЗИ

Цель. В работе предусматривается проведение сравнительного анализа норм и методов измерений электромагнитных помех, создаваемых электрооборудованием новых типов подвижного состава при электротяге переменного и постоянного тока в соответствии с нормативными документами, принятыми в Украине и Евросоюзе. Необходимой также является разработка на этой основе метода измерений тока помех в тяговой сети, генерируемых электрооборудованием электроподвижного состава (ЭПС), примененного для испытаний новых типов подвижного состава на электромагнитную совместимость (ЭМС) с различными системами железнодорожной сигнализации. **Методика.** Предложена методика испытаний, включающая измерения как в силовых цепях ЭПС, так и в путевых устройствах систем сигнализации. **Результаты.** Проведен анализ норм и методов испытаний подвижного состава на электромагнитную совместимость с рельсовыми цепями (РЦ). Установлено, что большое разнообразие систем электроснабжения, сигнализации и связи в европейских странах вызывает необходимость проведения испытаний новых типов электроподвижного состава на электромагнитную совместимость с рельсовыми датчиками в каждой стране отдельно, с учетом особенностей используемых в ней систем. Это значительно увеличивает стоимость внедрения новых типов подвижного состава. Разработан метод испытаний ЭПС на ЭМС с рельсовыми цепями, включающий измерения как в силовых цепях ЭПС, так и в путевых устройствах систем сигнализации. Проведены измерения в соответствии с предложенной методикой для ЭПС с асинхронным тяговым приводом при движении по участкам, электрифицированным на постоянном и переменном токе. Определены значения тока помех в рельсовых цепях для всех частот сигнального тока РЦ. Показано, что при некоторых режимах ведения поезда ток помех превышает допустимые значения. **Научная новизна.** Предложен метод измерения тока помех в тяговой сети, генерируемых электрооборудованием ЭПС. Метод предполагает одновременную регистрацию сетевого тока электропоезда, сигнала автоматической локомотивной сигнализации, скорости поезда, положения рукоятки контроллера машиниста. А также обратного тягового тока в рельсовой линии при проезде поезда по измерительному участку с последующей компьютерной обработкой результатов и применением компьютерного и физического моделирования. **Практическая значимость.** Использование разработанной методики повышает достоверность испытаний и снижает расходы на их проведение.

Ключевые слова: электроподвижной состав; электромагнитная совместимость; рельсовые цепи

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Введение

Электромагнитной совместимостью (ЭМС) технических средств называется способность их функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех (ЭМП) другим техническим средствам [5, 10, 14]. Электрифицированные железные дороги (ЭЖД) являются мощным пространственно распределенным источником электромагнитных помех. Вопросы обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) ЭЖД со слаботочными линиями автоматики и связи решались в процессе электрификации железных дорог. Однако проблема ЭМС на ЭЖД сохраняет свою актуальность и в настоящее время. Этому способствует широкое применение на магистральном транспорте электроподвижного состава (ЭПС) с асинхронным тяговым приводом (АТП), увеличение скорости движения поездов, внедрение новых микропроцессорных систем управления движением. Новые типы подвижного состава (ПС) перед вводом в эксплуатацию подвергаются испытаниям по определенной программе, которая включает испытания на ЭМС [7, 10–12, 17].

Проблемы, возникающие при испытании новых типов ЭПС на ЭМС заключаются в следующем. Большое разнообразие систем электропитания, сигнализации и связи в европейских странах вызывает необходимость проведения испытаний в каждой стране отдельно, с учетом особенностей, используемых в ней систем, что значительно увеличивает стоимость внедрения новых типов подвижного состава.

Национальными нормативными документами определены предельно допустимые нормы электромагнитных помех, создаваемых ЭПС [5, 14]. В условиях расширения кооперации украинских железных дорог в плане модернизации подвижного состава с использованием асинхронного тягового привода на ЭПС необходимо совершенствование национальной нормативной базы путем гармонизации с европейскими стандартами.

В последнее время в рамках Евросоюза разрабатываются общеевропейские нормы на электромагнитные помехи, генерируемые ЭПС. Несмотря на то, что нормативные значения допустимых по условиям безопасности помех

разработаны с достаточным запасом, на отдельных участках железной дороги наблюдаются сбои в работе систем сигнализации и связи при проезде новых типов подвижного состава. Особенно это проявляется в случае экстремальных условий работы железнодорожных систем.

Цель

Целью работы является проведение анализа норм и методов измерений электромагнитных помех, создаваемых электрооборудованием новых типов подвижного состава при электротяге переменного и постоянного тока, определенных нормативными документами Евросоюза и Украины, а также разработка на этой основе метода измерений тока помех в рельсовой линии, генерируемых электрооборудованием ЭПС.

Методика

В процессе испытаний новых типов ПС на электромагнитную совместимость с устройствами сигнализации и связи проводят измерения следующих параметров:

- уровень мешающего и опасного влияния электрооборудования ПС на рельсовые цепи, путевые устройства сигнализации;
- уровень мешающего напряжения, наведенного в контрольной цепи связи;
- уровень напряженности поля радиопомех от оборудования ПС;
- уровень радиопомех, создаваемых на частотах технологической радиосвязи и передачи данных.

Ниже приведено краткий обзор норм и методов контроля трех первых параметров, а также более подробный анализ метода измерения помех от подвижного состава в рельсовой линии.

Уровень мешающего напряжения, наведенного в контрольной цепи связи. В качестве расчетного принимается контрольный участок кабеля типа МКПАБ $7 \times 4 \times 1,05 + 5 \times 2 \times 0,7 + 1 \times 0,7$ при длине сближения линии связи с тяговой сетью 25 км и ширине сближения между проводом связи и влияющей линией 25 м. На расчетном участке принимается консольное электропитание двухпутного участка на пле-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

че 25 км. Удельная проводимость земли σ принимается равной 0,025 см/м. Расчетный уровень мешающего напряжения (его психофотметрическое значение) определяется по формуле:

$$U_{\text{ш}} = \sqrt{\sum_{50}^{3450} U_{\text{ш}f}^2},$$

где $U_{\text{ш}f}$ – уровень гармонической составляющей мешающего напряжения с частотой f в диапазоне 50–3 450 Гц, мВ. Психофотметрическое значение мешающего напряжения $U_{\text{ш}}$ не должно превышать уровень 1,2 мВ.

Уровень напряженности поля радиопомех от оборудования ПС. Нормы и методы измерений радиопомех от электротранспорта устанавливает ГОСТ 29305 в полосе частот 0,15–300 МГц. Для частот 0,15–30 МГц допустимые значения напряженности поля радиопомех (E , дБ) вычисляют по следующим формулам:

– для электровоза в установившемся режиме при частотах $f = 0,15 \dots 30$ МГц:

$$E = 66 - 11,3 \lg \frac{f}{0,15},$$

а при частотах $f = 30 \dots 300$ МГц – $E = 46$ дБ;

– для пригородного электропоезда в установившемся режиме при частотах $f = 0,15 \dots 30$ МГц:

$$E = 60 - 11,3 \lg \frac{f}{0,15},$$

а при частотах $f = 30 \dots 300$ МГц – $E = 40$ дБ;

– для пригородного электропоезда в переходном режиме при $f = 0,15 \dots 30$ МГц:

$$E = 70 - 11,3 \lg \frac{f}{0,15}.$$

В Евросоюзе нормы электромагнитных помех радиопомехам железнодорожного транспорта установлены стандартом EN 50121 Railway applications – Electromagnetic compatibility, который состоит из 6-ти частей: Part 1: General, Part 2: Emission of the whole railway system to the outside world, Part 3-1: Rolling stock – Train and complete vehicle, Part 3-2: Rolling stock –

Apparatus, Part 4: Emission and immunity of the signaling and telecommunications apparatus, – Part 5: Emission and immunity of fixed power supply installations and apparatus [10, 14].

Предельные нормы радиопомех от электроподвижного состава определены частью 3-2 стандарта EN 50121 для полосы частот 9 кГц до 1 ГГц. В Украине из этих стандартов введены в действие только части 1 и 4.

Уровень радиопомех, создаваемых на частотах технологической радиосвязи и передачи данных. Допустимые уровни радиопомех приведены в табл. 1.

Таблица 1

Допустимые уровни радиопомех

Table 1

Permissible levels of radio interference

| Вид ЭПС | Уровень радиопомех, дБ, на частоте в МГц | | | |
|---------------------------------|---|-------|--------------|-------|
| | 2,1 | 153,0 | 2,1 | 153,0 |
| | на стоянке | | при движении | |
| Электровоз: | | | | |
| постоянного тока 3 кВ | 45 | 18 | 58 | 30 |
| переменного тока 25 кВ 50 Гц | 46 | 26 | 60 | 46 |

Испытания на электромагнитную совместимость с рельсовыми цепями. Уровни влияния электрооборудования ЭПС на рельсовые цепи и путевые устройства сигнализации определены нормами безопасности для всех частот, на которых работают рельсовые цепи (25, 50, 420, 480, 580, 720, 780, 4 545, 5 000, 5 555 Гц). Требования по ЭМС подвижного состава с рельсовыми датчиками в Евросоюзе определены нормами EN 50238:2003: Railway applications – Compatibility between rolling stock and train detection systems, EN 50238:2003: Railway applications – Compatibility between rolling stock and train detection systems – Part 2: Compatibility with track circuits.

Измерения проводят в определенных диапазонах частот, соответствующих частотам сигнального тока РЦ, при максимальной тяговой мощности ПС во всех эксплуатационных режимах работы электрооборудования, преду-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

смотренных технической документацией.

Разнообразие систем электроснабжения, сигнализации и связи в европейских странах вызывает необходимость проведения испытаний для каждой системы сигнализации и электроснабжения. [3, 4, 6, 15] Разработанный в Евросоюзе новый стандарт призван унифицировать методику испытаний подвижного состава на ЭМС с рельсовыми цепями. В стандарте указаны ограничения на ток ЭПС в зависимости от типа РЦ и методы измерений для определения показателей электромагнитной совместимости электроподвижного состава и рельсовых цепей.

Измерения тока помех в РЦ производят в цепи средней точки дроссель-трансформатора с помощью бесконтактного датчика тока (катушки Роговского), сигнал от которого подают через делитель напряжения на АЦП (в нашем случае использовался 12-разрядный АЦП) и регистрируют на персональном компьютере с соответствующим программным обеспечением [2–4, 8, 17].

К ограничениям методики следует отнести то, что ток помех в рельсовой линии измеряется в течение ограниченного периода времени между моментами вхождения головы поезда на участок непосредственно перед точкой измерения, в течение проезда поезда и удаления его хвоста на расстояние в несколько метров. Ограничения вызваны тем, что по мере удаления поезда от точки измерения ток в рельсовой линии уменьшается вследствие стекания его в землю, а также растекания от поезда в две стороны по рельсовой линии и земле.

В дополнение к измерениям в рельсовой линии проводят измерения тока помех в силовых цепях ЭПС. В этом случае возможна длительная регистрация тягового тока при движении поезда с реализацией всех требуемых режимов ведения. Токовый датчик включается в общую цепь «заземления» силового оборудования ЭПС, регистрацию тока проводят аналогично описанной выше методике.

В работе предлагается метод, при котором регистрируют одновременно ряд параметров, а именно: сетевой ток электропоезда, сигнал автоматической локомотивной сигнализации, скорость поезда, положение рукоятки контроллера машиниста, а также обратный тяговый ток

в рельсовой линии. Анализ измеренных данных производят с применением компьютерного и физического моделирования. [1, 2, 13, 17].

Спектральный анализ обратного тягового тока проводят с помощью математического пакета MatLab с предварительной фильтрацией измеренного тока для устранения высокочастотных помех и с последующим применением быстрого преобразования Фурье с окном Ханна с перекрытием $\sim 75\text{--}80\%$. Длительность окна Ханна выбирают по минимальной длительности помехи, способной вызывать сбои в нормальной работе путевого приемника. [2, 11, 16].

Результаты

Для апробации методики и программ обработки результатов проведены измерения обратного тягового тока для электропоезда с АТП на участках с электротягой постоянного и переменного тока. Некоторые результаты приведены ниже. На рис. 1 приведена временная зависимость и спектральный состав обратного тягового тока электропоезда с асинхронным тяговым приводом в режиме тяги при наборе скорости до ~ 140 км/ч на участке с подъемом $\sim 5\%$.

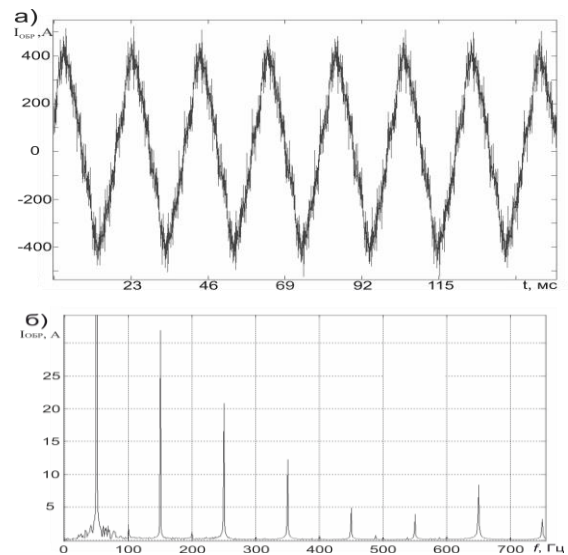


Рис. 1. Временная зависимость (а) и спектральный состав (б) обратного тягового тока электропоезда в режиме тяги при наборе скорости до ~ 140 км/ч

Fig. 1. Time dependence (a) and spectral composition (b) of the reverse traction current of an electric train in traction mode at a set rate to ~ 140 km/h

Как видно из рисунка, в спектре обратного тягового тока присутствуют помехи с частота-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

ми, близькими к частотам работы рельсовых цепей 25, 480 и 580 Гц, причем уровень помех в полосе частот ~ 25 Гц близок к опасному значению, а в полосе частот ~ 480 Гц уровень помехи кратковременно превышал допустимое значение.

На рис. 2 приведен фрагмент временной зависимости и спектральный состав обратного тягового тока электропоезда с асинхронным тяговым приводом в режиме экстренного торможения без рекуперации от ~ 140 км/ч на ровном участке.

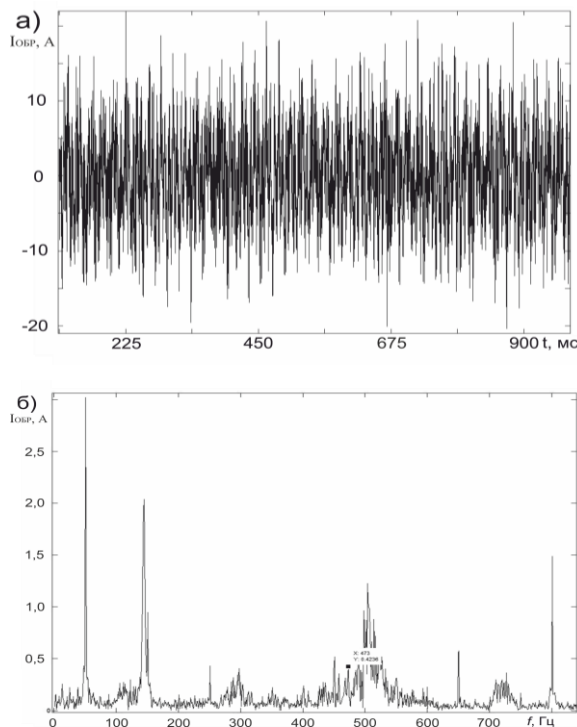


Рис. 2. Временная зависимость (а) и спектральный состав (б) обратного тягового тока электропоезда в режиме экстренного торможения

Fig. 2. Time dependence (a) and spectral composition (b) of the reverse traction current of the electric train at emergency braking mode

Несмотря на небольшие значения обратного тягового тока (~ 20 А) в спектре наблюдалась помеха с частотой ~ 480 Гц и уровнем, превышающем предельно допустимое значение.

После обработки результатов измерения помех при движении электропоезда во всех режимах, предусмотренных нормативными документами, максимальное значение тока помех на частотах работы рельсовых цепей для электротяги переменного и постоянного тока сведены

в табл. 2, 3.

Таблица 2

Ток помехи в рельсовой линии при электротяге переменного тока

Table 2

The interference current in a rail line with electric traction of AC

| Частота, Гц | Диапазон частот, Гц | Максимально допустимый ток помехи, А | Максимальный измеренный ток помехи, А |
|-------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 25 | 21–29 | 1 | 1,41 |
| 420 | 408–432 | 0,35 | 0,37 |
| 480 | 468–492 | 0,35 | 0,40 |
| 580 | 568–592 | 0,35 | 0,55 |
| 720 | 708–732 | 0,35 | 0,12 |
| 780 | 768–792 | 0,35 | 0,52 |
| 4 545 | 4 508–4 583 | 0,2 | 0,50 |
| 5 000 | 4 963–5 038 | 0,2 | 0,15 |
| 5 555 | 5 518–5 593 | 0,2 | 0,13 |

Таблица 3

Ток помехи в рельсовой линии при электротяге постоянного тока

Table 3

The interference current in a rail line with electric traction of DC

| Частота, Гц | Диапазон частот, Гц | Максимально допустимый ток помехи, А | Максимальный измеренный ток помехи, А |
|-------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 25 | 21–29 | 1 | 0,39 |
| 50 | 46–54 | 1,3 | 0,10 |
| 420 | 408–432 | 0,35 | 0,42 |
| 480 | 468–492 | 0,35 | 0,48 |
| 580 | 568–592 | 0,35 | 0,36 |
| 720 | 708–732 | 0,35 | 0,06 |
| 780 | 768–792 | 0,35 | 0,38 |
| 4 545 | 4 508–4 583 | 0,2 | 0,12 |
| 5 000 | 4 963–5 038 | 0,2 | 0,30 |

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

| | | | |
|-------|-------------|-----|------|
| 5 555 | 5 518–5 593 | 0,2 | 0,13 |
|-------|-------------|-----|------|

Научная новизна и практическая значимость

Предложен метод измерения тока помех в тяговой сети, генерируемых электрооборудованием ЭПС, который предполагает одновременную регистрацию сетевого тока электропоезда, сигнала автоматической локомотивной сигнализации, скорости поезда, положения рукоятки контроллера машиниста, а также обратного тягового тока в рельсовой линии при проезде поезда по измерительному участку с последующей компьютерной обработкой результатов и с применением компьютерного и физического моделирования.

Выводы

Проведен анализ норм и методов измерений электромагнитных помех, создаваемых электрооборудованием новых типов подвижного состава при электротяге переменного и постоянного тока в соответствии с нормативными документами, принятыми в Украине и Евросоюзе.

Большое разнообразие систем электроснабжения, сигнализации и связи в европейских странах вызывает необходимость проведения испытаний в каждой стране отдельно, с учетом особенностей используемых в ней технических систем, что значительно увеличивает стоимость внедрения новых типов подвижного состава. Особенно это относится к испытанию воздействия ЭМП на рельсовые путевые датчики. Разработанный в Евросоюзе новый стандарт призван унифицировать методику испытаний подвижного состава на ЭМС с рельсовыми цепями.

Решение проблемы применимости результатов испытаний ЭПС к другим национальным системам сигнализации и связи возможно путем применения расширенной методики измерений тока помех в тяговой сети, генерируемых электрооборудованием ЭПС с последующей компьютерной обработкой результатов и применением компьютерного и физического моделирования.

Разработан метод и методика испытаний подвижного состава на электромагнитную совместимость с рельсовыми цепями.

Предложенная методика апробирована при испытаниях новых типов ЭПС с асинхронным

тяговым двигателем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гаврилюк, В. І. Розробка математичної моделі для дослідження електромагнітних завад від тягових перетворювачів з асинхронним двигуном / В. І. Гаврилюк, В. І. Щека // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 31. – С. 221–225.
2. Исследование электромагнитной совместимости обратной тяговой сети с устройствами сигнализации, централизации и блокировки / А. М. Безнарытний, В. И. Гаврилюк, И. О. Романцев, В. И. Щека // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 3 (51). – С. 7–14. doi: 10.15802/stp-2014/25778.
3. Сердюк, Т. Н. Измерение электромагнитных помех в обратной тяговой сети / Т. Н. Сердюк, А. В. Завгородний, В. И. Гаврилюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 29. – С. 134–139.
4. Bellan, D. Monitoring of Electromagnetic Environment Along High-Speed Railway Lines Based on Compressive Sensing / D. Bellan, S. A. Pignari // Progress In Electromagnetics Research C. – 2015. – Vol. 58. – P. 183–191. doi: 10.2528/proc-15051103.
5. CENELEC DS/CLC/TS 50238-2:2010. Railway Applications – Compatibility Between Rolling Stock And Train Detection Systems. – Part 2 : Compatibility With Track Circuits. – ERTMS. – 2010. – 42 p.
6. Fedeli, E. Fast and accurate measurement of radiated emissions of moving trains according to IEC 62236 / E. Fedeli, S. A. Pignari, G. Spadacini // Proc. 9th World Congress on Railway Research (WCRR 2011). – Lille, France, 2011. – С. 1–8.
7. Holmstrom, F. R. Rail transit EMI-EMC Electromagnetic Compatibility / F. R. Holmstrom, D. Turner, E. Fernald // Magazine IEEE. – 2012. – Vol. 1. – Iss. 1. – P. 79–82. doi: 10.1109/MEMC.-2012.6244954.
8. Measuring, modeling and correction actions for EMC assessment between high speed railway and medical equipment / D. Alonso, J. Rulf, F. Silva, M. Pous // Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion (ESARS). – 2010. – P. 1–5. doi:10.1109/ESARS.2010.5665252.
9. Mitigation of Electromagnetic Interference in Rolling stock / Pranay Soni, Prerna Soni, L. P. Singh, S. S. Deswal // Intern. J. of Electrical, Electronics

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- and Computer Engineering. – 2013. – Vol. 2, № 1. – P. 22–27.
10. Pignari, S. A. Measurement of rolling-stock radiated emissions according to standard EN 50121 / S. A. Pignari, D. Bellan, G. Spadacini // 17th Intern. Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility. – Singapore, 2006. – P. 250–255.
 11. Place, C. Managing rolling stock EMC / C. Place, D. Hayes // Electromagnetic Compatibility in Railways. IET Seminar. – London, 2009. – P. 1-8.
 12. Rhee, E. Electromagnetic Compatibility Analysis for the Railway Telecommunication Intrasubsystem / E. Rhee, K. Changjae // Intern. J. Of Software Engineering & Its Applications. – 2014. – Vol. 8, № 5. – P. 115–126. doi: 10.14257/ijseia.2014.8.5.10.
 13. Space-frequency analysis and experimental measurement of magnetic field emissions radiated by high-speed railway systems / D. Bellan, G. Spadacini, E. Fedeli, S. A. Pignari // Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on. – 2013. – Vol. 55, № 6. – P. 1031–1042. doi:10.1109/TEMC.2013.2258150.
 14. Standard EN 50121. Railway applications. Electromagnetic compatibility. – London : BSI. – 2015. – 24 p.
 15. Study on Distribution Coefficient of Traction Return Current in HighSpeed Railway / W. Huang, Zh. He, H. Hu, Q. Wang // Energy and Power Engineering. – 2013. – Vol. 5. – Iss. 4. – P. 1253–1258. doi: 10.4236/epe.2013.54B238.
 16. Test Analysis and Modeling of Power Frequency Magnetic-Field Environment in Carbodies of Electrified Trains / F. Zhu, L. Guanghui, Y. Jiaquan, D. Hui // J. of Southwest Jiaotong University. – 2015. – Vol. 50. – P. 400–404.
 17. Zhao, L.-H. Induction coupling between jointless track circuits and track-circuit-reader antenna / L.-H. Zhao, W.S. Shi // Progress in Electromagnetics Research. – 2013. – Vol. 138. – P. 173–196. doi: 10.2528/pier13012904.

В. І. ГАВРИЛЮК^{1*}, В. І. ЩЕКА^{2*}, В. В. МЕЛЕШКО^{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, ел. пошта diitats@mail.ru, 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 shcheka_v@mail.ru, ORCID 0000-0002-2184-2827

^{3*}Головне управління автоматики, телемеханіки та зв'язку ДП «Укрзалізниця», вул. Тверська, 5, Київ, Україна, 03680, ел. пошта soyuz_at@mail.ru, ORCID 0000-0001-6833-964X

ВИПРОБУВАННЯ НОВИХ ТИПІВ РУХОМОГО СКЛАДУ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНУ СУМІСНОСТЬ ІЗ ПРИСТРОЯМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Мета. В роботі передбачається проведення порівняльного аналізу норм і методів вимірювань електромагнітних завад, що створюються електроустаткуванням нових типів рухомого складу при електротязі змінного та постійного струму у відповідності до нормативних документів, прийнятих в Україні та Євросоюзі. Необхідним є також розробка на цій основі методу вимірювань струму перешкод у тяговій мережі, що генеруються електроустаткуванням електрорухомого складу (ЕРС). Він може застосовуватися для випробувань нових типів рухомого складу на електромагнітну сумісність із різними системами залізничної сигналізації.

Методика. Запропоновано методіку випробувань, що включає вимірювання як у силових колах ЕРС, так і в колійних пристроях систем сигналізації. **Результати.** Проведено аналіз норм і методів випробувань рухомого складу на електромагнітну сумісність із рейковими колами (РК). Встановлено, що велика різноманітність систем електропостачання, сигналізації та зв'язку в європейських країнах викликає необхідність проведення випробувань нових типів електрорухомого складу на електромагнітну сумісність із рейковими датчиками в кожній країні окремо, з урахуванням особливостей кожної із систем. Це значно збільшує вартість впровадження нових типів рухомого складу. Розроблено метод випробувань ЕРС на ЕМС із рейковими колами, що включає вимірювання як у силових колах ЕРС, так і в колійних пристроях систем сигналізації. Проведено вимірювання у відповідності з запропонованою методикою для ЕРС із асинхронним тяговим приводом при русі по ділянках, електрифікованих на постійному та змінному струмі. Визначено значення струму завад у рейкових колах для всіх частот сигнального струму РК. Показано, що при деяких режимах ведення поїзда струм перешкод перевищує допустимі значення. **Наукова новизна.** Запропоновано метод вимірювань стру-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

му перешкод у тяговій мережі, що генеруються електроустаткуванням ЕРС. Метод зумовлює одночасну реєстрацію мережевого струму електропоїзда, сигналу автоматичної локомотивної сигналізації, швидкості поїзда, положення рукоятки контролера машиніста. А також зворотного тягового струму в рейковій лінії при проїзді поїзда по вимірювальній дільниці з подальшою комп'ютерною обробкою результатів і застосуванням комп'ютерного та фізичного моделювання. **Практична значимість.** Використання розробленої методики підвищує достовірність випробувань та знижує витрати на їх проведення.

Ключові слова: електрорухомий склад; електромагнітна сумісність; рейкові кола

V. I. HAVRILYUK^{1*}, V. I. SHCHEKA^{2*}, V. V. MELESHKO^{3*}

^{1*}Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», 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 diitats@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

^{2*}Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», 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 shcheka_v@mail.ru ORCID 0000-0001-9954-4478

^{3*}Head Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Ukrzaliznytsia, Tverskaia St., 5, Kiev, Ukraine, 03680, e-mail soyuz_at@mail.ru, ORCID 0000-0001-6833-964X

TESTING NEW TYPES OF ROLLING STOCK FOR ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY WITH SIGNALING AND COMMUNICATION DEVICES

Purpose. In the paper there is the comparative analysis of standards and methods of measurements of electromagnetic interference, those are caused by electrical equipment of new types of rolling stock with AC and DC-current electric traction in accordance with the normative documents are adopted in Ukraine and the EU. The development on this basis the measuring method of current interference in traction network, generated by the electrical equipment of electric rolling stock (ERS) applicable to testing the new types of rolling stock for electromagnetic compatibility (EMC) with different systems of railway signaling is also needed. **Methodology.** The testing method has been offered. It includes measurements in power circuits of rolling stock, as well as in track devices of signalization systems. **Findings.** Norms and methods tests of a rolling stock on electromagnetic compatibility with track circuits (TC) were analyzed. It was found that a large variety of electricity supply systems, signalization and link in Europe makes it necessary to test new types of electric rolling stock for electromagnetic compatibility with pick up unit in each country separately, taking into account the features used in its systems. It is greatly increases the cost of introducing new types of rolling stock. The test method of electric rolling stock EMC with track circuits has been developed; it includes measurement in power circuits of rolling stock, as well as in track devices of signalization systems. Measurements in accordance with the proposed methodology for electric rolling stock with asynchronous traction drive when driving on sections electrified at AC and DC have been carried out. The values of the interference current in track circuit to all the frequencies of the signal current have been defined. It is shown that under some modes of the train the interference current exceed the permissible values. **Originality.** The method for measuring interference current generated by rolling stock electrical equipment in the traction network was offered. The method assumes the simultaneous recording of the network current of electric train, automatic locomotive signaling current, train's speed, driver's controller handle position and reverse traction current in a track line when trains passing over the measuring section with subsequent computer processing results, computer and physical simulations. **Practical value.** Using of the developed method improves the accuracy of the tests and reduces their cost.

Keywords: electric rolling stock; electromagnetic compatibility; track circuits

REFERENCES

1. Havryliuk V.I., Shcheka V.I. Rozrobka matematychnoi modeli dlia doslidzhennia elektromahnitnykh zavad vid tiahovykh peretvoriuvachiv z asynkhronnym dvyhunom [The development of mathematical model for the study of electromagnetic interference from the traction converters with asynchronous motor]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 31, pp. 221-225.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

2. Beznarytniy A.M., Gavrilyuk V.I., Romantsev I.O., Shcheka V.I. Issledovaniye elektromagnitnoy sovmestnosti obratnoy tyagovoy seti s ustroystvami signalizatsii, tseentralizatsii i blokirovki [Electromagnetic compatibility research of return traction network with signaling devices, centralization and blocking]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 3 (51), pp. 7-14. doi: 10.15802/stp2014/25778.
3. Serdyuk T.N., Zavgorodniy A.V., Gavrilyuk V.I. Izmereniye elektromagnitnykh pomekh v obratnoy tyagovoy seti [The measurement electromagnetic interference in the reverse traction network]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 29, pp. 134-139.
4. Bellan D., Pignari S.A. Monitoring of Electromagnetic Environment Along High-Speed Railway Lines Based on Compressive Sensing. *Progress In Electromagnetics Research C*, 2015, issue 58, pp. 183-191. doi: 10.2528/pierc15051103 .
5. CENELEC DS/CLC/TS 50238-2:2010. Railway Applications – Compatibility Between Rolling Stock And Train Detection Systems. Part 2: Compatibility With Track Circuits. ERTMS, 2010. 42 p.
6. Fedeli E., Pignari S.A., Spadacini G. Fast and accurate measurement of radiated emissions of moving trains according to IEC 62236. Proc. 9th World Congress on Railway Research (WCRR 2011). Lille, France, 2011, pp. 1-8.
7. Holmstrom F.R., Turner D., Fernald E. Rail transit EMI-EMC Electromagnetic Compatibility. *Magazine IEEE*, 2012, vol. 1, issue 1, pp. 79-82. doi: 10.1109/MEMC.2012.6244954.
8. Alonso D., Rulf J., Silva F., Pous M. Measuring, modeling and correction actions for EMC assessment between high speed railway and medical equipment. Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion (ESARS), 2010, pp. 1-5. doi:10.1109/ESARS.2010.5665252.
9. Soni Pranay, Soni Prerna, Singh L.P., Deswal S.S. Mitigation of Electromagnetic Interference in Rolling stock. *Int. Journal of Electrical, Electronics and Computer Engineering*, 2013, vol. 2, no. 1, pp. 22-27.
10. Pignari S.A., Bellan D., Spadicini G. Measurement of rolling-stock radiated emissions according to standard EN 50121. 17th Intern. Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility. Singapore, 2006, pp. 250-255.
11. Place C., Hayes D. Managing rolling stock EMC. Electromagnetic Compatibility in Railways. IET Seminar. London, 2009, pp. 1-8.
12. Rhee E., Changjae G. Electromagnetic Compatibility Analysis for the Railway Telecommunication Intrasubsystem. *Int. Journal of Software Engineering & Its Applications*, 2014, vol. 8, no. 5, pp. 115-126. doi: 10.14257/-ijseia.2014.8.5.10.
13. Bellan D., Spadacini G., Fedeli E., Pignari S.A. Space-frequency analysis and experimental measurement of magnetic field emissions radiated by high-speed railway systems. *Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on*, 2013, vol. 55, no. 6, pp. 1031-1042. doi:10.1109/TEM.2013.2258150.
14. Standard EN 50121. Railway applications. Electromagnetic compatibility. London, BSI, 2015. 24 p.
15. Huang W., He Zh., Hu H., Wang Q. Study on Distribution Coefficient of Traction Return Current in High-Speed Railway. *Energy and Power Engineering*, 2013, vol. 5, issue 4, pp. 1253-1258. doi: 10.4236/epe.2013.54B238.
16. Zj wF., Guanghui L., Jiaquan Y., Hui D. Test Analysis and Modeling of Power Frequency Magnetic-Field Environment in Carbodies of Electrified Trains. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2015, vol. 50, pp. 400-404.
17. Zhao L.-H., Shi W.S. Induction coupling between jointless track circuits and track-circuit-reader antenna. *Progress in Electromagnetics Research*, 2013, vol. 138, pp. 173-196. doi: 10.2528/pier13012904.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. В. Скалозубом (Украина); д.физ.-мат.н., проф. О. В. Коваленко (Украина)

Поступила в редколлегию: 02.07.2015

Принята к печати: 10.09.2015