

## УДК 656.256.3

А. М. БЕЗНАРЫТНЫЙ – ассистент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, tema\_szbist@mail.ru

В. И. ГАВРИЛЮК – д. физ.-мат. н., профессор, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, gvi\_dp@ukr.net

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРАТНОГО ТЯГОВОГО ТОКА НА РАБОТУ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ В УСЛОВИЯХ РАЗНЫХ ВИДОВ ТЯГОВОЙ НАГРУЗКИ

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

### Постановка задачи исследования

Рельсовые цепи являются основным путевым датчиком железнодорожной автоматики и, одновременно, проводником для канализации обратного тягового тока на тяговую подстанцию. Тяговый ток оказывает значительное электромагнитное влияние на рельсовые цепи, которое условно подразделяют на кондуктивное (гальваническое), электрическое и магнитное, которое, очевидно, является проявлением электромагнитного влияния [1 – 3]. Проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) тягового электроснабжения с рельсовыми цепями становится ещё более актуальной с учетом современных тенденций развития, как локомотивного парка так и устройств железнодорожной автоматики. Так, увеличение скоростей пассажирского движения потребовало внедрение современных электропоездов с асинхронными тяговыми двигателями и импульсным регулированием скорости их вращения, кроме того, развитие устройств железнодорожной автоматики идет по пути внедрение микропроцессорной и микроэлектронной элементной базы, что требует повышения электромагнитной совместимости слаботочных цепей железнодорожной автоматики с элементами обратной тяговой сети. Поэтому тема работы является актуальной.

Проведенные на сегодняшний день исследования [4 – 6, 13 – 15] выполнены в

условиях нагрузки тяговой сети подвижным составом с тяговым приводом на основе двигателей постоянного тока. Экспериментальные исследования по влиянию асинхронного тягового привода на рельсовые цепи в Украине проводятся, главным образом, в последнее десятилетие.

В связи с вышеизложенным, в данной работе поставлена задача изучить характер электромагнитного влияния обратного тягового тока на рельсовые цепи, в условиях нагрузки тяговой сети разными типами электроподвижного состава.

Для выполнения поставленной задачи проведен анализ работы асинхронных тяговых двигателей с инверторами напряжения, а также исследован спектр обратного тягового тока в условиях различных типов тяговой нагрузки.

### Анализ влияния электроподвижного состава рельсовые цепи

Можно выделить следующие основные источники влияния оборудования ЭПС на работу рельсовых цепей.

1. Кондуктивное влияние за счет протекания обратного тягового тока по рельсовой линии. Уровень влияния обуславливается количеством локомотивов в фидерной зоне, уровнем асимметрии рельсовой линии и её изоляцией относительно земли.

2. Электромагнитное влияние, обусловленное наведенной электродвижущей силой в рельсовых линиях.

Применение на современном электроподвижном составе асинхронных тяговых двигателей обусловило необходимость использования в цепях их управления двух и трех уровневых инверторов построенных на IGBT-транзисторах. Использование в схемах управления тяговыми двигателями IGBT-транзисторов обусловлено их следующими достоинствами [8]:

- полупроводниковая элементная база позволяет легко производить переключения выходных цепей;
- отпадает необходимость в демпферных цепях, что обусловило снижение веса и объёма инвертора;
- повышение эффективности инвертора, особенно при частичной нагрузке;
- снижение потерь при переключениях позволило обеспечить работу инвертора при повышенных частотах, что приводит к уменьшению линейных потерь в двигателе;
- увеличение мощности силовых цепей.

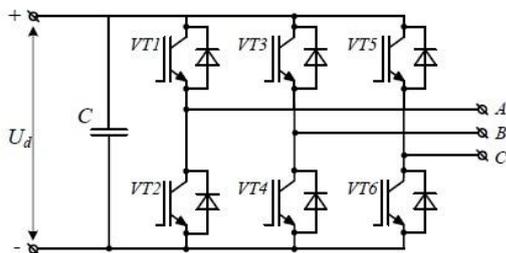


Рис. 1. Схема двухуровневого инвертора напряжения

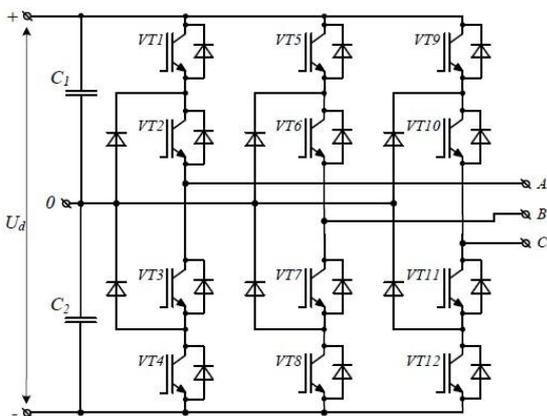


Рис. 2. Схема трёхуровневого инвертора

Достоинством трехуровневого инвертора напряжения является более синусоидальная характеристика выходного напряжения, что положительно сказывается на работе асинхронного тягового двигателя. Однако двухуровневая схема значительно дешевле, за счет применения меньшего количества IGBT-транзисторов и характеризуется меньшими электрическими потерями, поэтому она нашли широкое применение в схемах управления тяговыми электродвигателями, особенно работающими на участках электрифицированных напряжением 3,3 кВ [9, 11].

Сама система тягового электроснабжения железнодорожного транспорта характеризуется изменением конфигурации во времени и в пространстве. Нагрузка носит случайный характер, так как на её формирование влияют разнообразные факторы, такие как различное число поездов, на участке, метеорологические условия, нелинейный характер нагрузки и др. Несимметричность нагрузки приводит к несимметричности напряжения во внешней системе электроснабжения [10, 12].

### Исследования мешающего влияния обратного тягового тока

Исследования проводились на участке, электрифицированном постоянным током, на станции «Нижеднепровск-узел» Приднепровской железной дороги. Измерительная аппаратура подключалась к средней точке отсасывающего дроссель-трансформатора обратной тяговой сети.

Переменная составляющая обратного тягового тока снималась с помощью бесконтактного датчика тока, полученный таким образом сигнал подавался на аналогово-цифровой преобразователь ADA-1406/DAC и записывался на персональный компьютер. Дальнейшая обработка сигнала проводилась методом быстрого преобразования Фурье с помощью программы Spectra Lab 6.0.

На первом этапе исследований проводилась запись сигналов в обратной тяговой сети при отсутствии ЭПС в непосредственной близости от места измерений. При этом в спектре обратного тягового тока наблюдались как канонические гармоники с частотой 300, 600, 1200 Гц, так и неканонические гармонические составляющие с частотами 50, 100, 150, 200 Гц. Эти гармоники обусловлены, в основном, тяговой подстанцией.

Спектральный состав обратного тягового тока приведен на рис. 3.

На втором этапе проводилась запись и анализ сигналов в обратной тяговой сети при приближении поезда с локомотивом ЧС-8. При проследовании поездом иссле-

дуемого участка в спектре обратного тягового тока 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, 1200 Гц (рис. 4).

На третьем этапе производили исследования обратного тягового тока при движении поезда с асинхронным тяговым приводом. При движении поезда с асинхронным тяговым приводом по участку наблюдалось значительное увеличение амплитуды гармонических составляющих в диапазоне низких частот от 22 до 1000 Гц, а также в диапазоне 1.. 6 кГц (рис. 5).

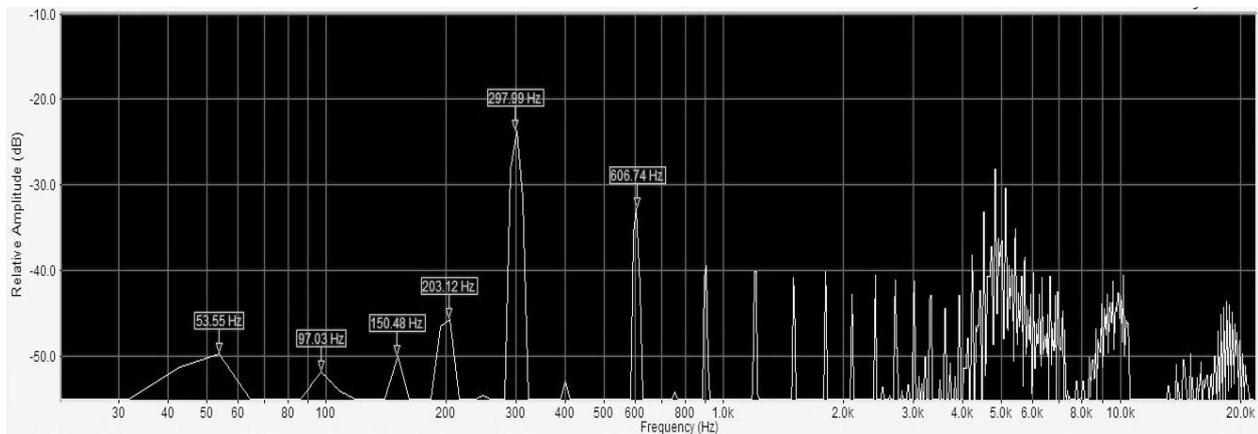


Рис. 3. Спектральный состав тягового тока при отсутствии поезда на участке

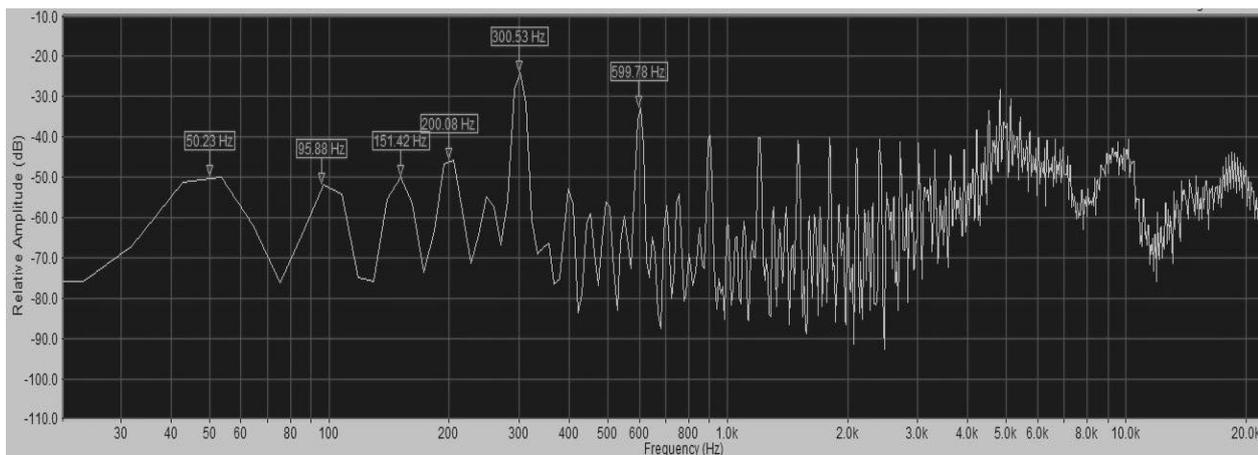


Рис. 4. Спектр тока в обратной тяговой сети при её нагрузке локомотивом ЧС-8

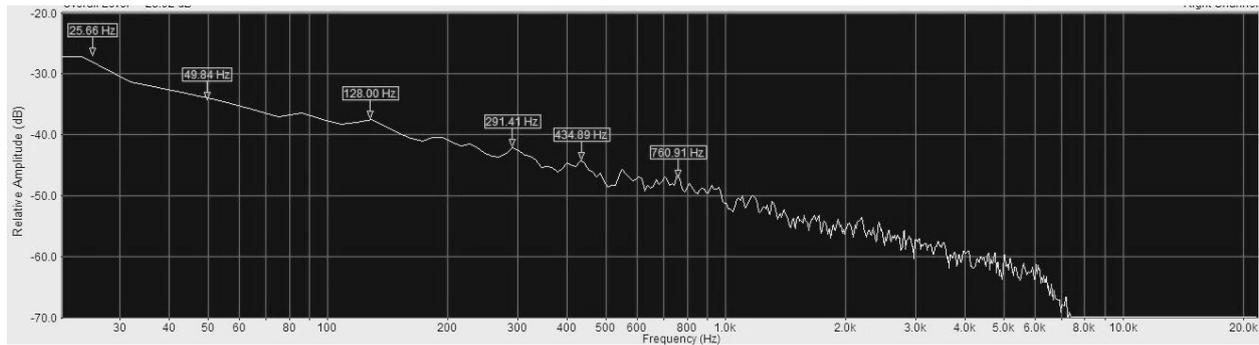


Рис. 5. Спектр сигнала в обратной тяговой сети при её нагрузке ускоренным подвижным составом с асинхронными тяговыми двигателями

### Выводы

Проведены исследования влияния тяговой сети на рельсовые цепи. Показано, что в спектре тягового тока присутствуют гармоники на частотах сигнального тока рельсовых цепей. Степень влияния тяговой сети на РЦ зависит от количества локомотивов в фидерной зоне, режима ведения поездов и параметров РЦ. В спектре обратного тягового тока наблюдались канонические гармоники с частотой 300, 600, 1200 Гц и неканонические с частотами 50, 100, 150, 200 Гц. Эти гармоники обусловлены, в основном, тяговой подстанцией.

При движении поезда с асинхронным тяговым приводом по участку наблюдалось значительное увеличение амплитуды гармонических составляющих в диапазоне низких частот от 22 до 1000 Гц, а также в диапазоне 1.. 6 кГц.

### Библиографический список

1. Шаманов, В. И. Электромагнитная совместимость систем железнодорожной автоматики и телемеханики: учебное пособие [Текст] / В. И. Шаманов – М.: Маршрут, 2013 – 244 с.
2. Кириленко, А. Г. Электрические рельсовые цепи: Учебное пособие [Текст] / А. Г. Кириленко, Н. А. Пельменева. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006. – 94 с.
3. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справоч-

ник [Текст] / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, Н. Ф. Котляренко – М.: Транспорт, 1992. – 384 с.

4. Бадер, М. П. Электромагнитная совместимость: Учебник для вузов [Текст] / М. П. Бадер. – М.: УМК МПС, 2002. – 638 с.
5. Шаманов, В. И. Помехи и помехоустойчивость автоматической локомотивной сигнализации: Учебное пособие [Текст] / В. И. Шаманов – Иркутск: Изд-во ИРГУПС, 2005. – 236 с.
6. Завгородний, А. В. Методические аспекты определения уровней опарного и мешающего влияния подвижного состава на работу рельсовых цепей [Текст] / А. В. Завгородний, В. И. Гаврилюк, В. Г. Сыченко // Наука і прогрес транспорту. Вісник дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна. – Д., 2005. – Вип. 9. – С. 11-14.
7. Костроминов, А. М. Об электромагнитной совместимости рельсовых цепей с перспективным электроподвижным составом [Текст] / А. М. Костроминов // Автоматика, телемеханика и связь. – 1989. – № 6. – С. 33-34.
8. Eckel, H.-G. A new family of modular IGBT converters for traction applications [Электронный ресурс] – Режим досту-

- па:  
[http://www.etenik.uni-rostock.de/ee/download/publications\\_LEA/uni\\_hro\\_publ\\_lea\\_26.pdf](http://www.etenik.uni-rostock.de/ee/download/publications_LEA/uni_hro_publ_lea_26.pdf)
9. Кабалык, Ю. С. Системы управления электроподвижным составом [Текст] / Ю. С. Кабалык. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2013. – 119 с.
  10. Маслов, Г. П. Электроснабжение железных дорог: Учебное пособие [Текст] / Г. П. Маслов, Г. С. Магарай, О. А. Сидоров. – Омск: Омский гос. университет путей сообщения, 2006. – 48 с.
  11. Вольдек, А. И. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов [Текст] / А. И. Вольдек, В. В. Попов. – Санкт-Петербург: Питер, 2007. – 350 с.
  12. Марквард, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог: Учебник для вузов [Текст] / К. Г. Марквард. – Москва: Транспорт, 1982. – 528 с.
  13. Карв, Ш. Активные фильтры гармоник [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://ssily.ru/admin/uploads/states/file/aktivnyie\\_filtryi\\_garmonik\(rus\).pdf](http://ssily.ru/admin/uploads/states/file/aktivnyie_filtryi_garmonik(rus).pdf)
  14. Бабаев, М. М. Анализ влияния электромагнитных факторов на работу рельсовых цепей [Текст] / М. М. Бабаев,

В. Ю. Гребенюк // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2011. – № 28. – С. 75–82.

15. Бадер, М. П. Электромагнитная совместимость: Учебник для вузов [Текст] / М. П. Бадер. – Москва: УМК МПС, 2002. – 638 с.

**Ключевые слова:** рельсовые цепи, тяговая сеть, обратный тяговый ток, электромагнитное влияние, спектр тока, электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями

**Ключові слова:** рейкові кола, тягова мережа, зворотній тяговий струм, електромагнітний вплив, спектр струму, електро рухомий склад з асинхронними тяговими двигунами.

**Key words:** track circuits, power supply network, return traction current, electromagnetic interference, the spectrum of the current, the electric train with asynchronous traction motors.

Поступила в редколлегию 29.10.2014

Принята к печати 10.11.2014