УДК 621.314

Ю. В. Черняк
В. О. Гатченко
М. О. Ревчук
С. В. Каращук
С. В. Малюк

ВПЛИВ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ МОДЕЛІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА НА ЯКІСТЬ ЙОГО ВИХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

У статті розглянутий та досліджений вплив різного роду джерел живлення моделі тягового електропривода електровоза постійного струму з широтно-імпульсним регулюванням напруги тягових двигунів. Обґрунтовані заходи щодо підвищення точності моделювання відповідно до використання різноманітних вхідних ланок перетворювача, та виявлена необхідність виконання індивідуального розрахунку для певних типів широтно-імпульсних регуляторів напруги.

В статье рассмотрено и исследовано влияние разного рода источников питания модели тягового электропривода электровоза постоянного тока с широтно-импульсным регулированием напряжения тяговых двигателей. Обоснованы меры по повышению точности моделирования в соответствии с использованием различных входных звеньев преобразователя, и выявлена необходимость выполнения индивидуального расчета для определенных типов широтно-импульсных регуляторов напряжения.

The article reviewed and investigated the influence of electric traction power supplies. It works on the principle of pulse width voltage regulation. The article shows the measures to increase the accuracy of modeling. Form input voltage is important for the study of transient switching power IGBT-transistor. Question rectification circuit of three-phase power system is considered. Advantages and disadvantages of various rectification schemes are provided. Effect of the input filter on the form of voltage is researched.

Ключові слова: модель тягового електропривода, джерело живлення, широтно-імпульсне регулювання напруги, вхідний фільтр.

Постановка проблеми. В умовах сучасної експлуатації тягового рухомого складу постійно постає питання щодо економічної ефективності устаткування та

© Черняк Ю.В., Гатченко В.О., Ревчук М.О., Каращук С.В., Малюк С.В., 2014

принципу управління тяговим електроприводом електрорухомого складу залізниць України. З розвитком схемотехнічного та матеріального забезпечення пристроїв перетворення параметрів електроенергії повсякчас постає необхідність у застосуванні більш сучасніших технологій.

Застосування технології з використанням силових електропневматичних контакторів та пускорегулювальних резисторів викликають перевитрату електроенергії на живлення даного тягового електропривода.

Застосування тягового електропровода з широтно-імпульсним регулюванням напруги є одним із можливих засобів для поліпшення експлуатаційних та економічних параметрів електровоза постійного струму. Застосування технології широтно-імпульсного регулювання напруги може забезпечити зниження витрат енергії та збільшує надійність тягового привода.

Моделювання є важливим етапом проектування тягового електропривода. Побудова реальної моделі з параметрами, які максимально наближені до предмета моделювання, виявляє низку непередбачуваних проблем, котрі можуть виявитися в процесі експлуатації тягового електропривода електровоза.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянуто шляхи підвищення ефективності використання електроенергії на тяговому електрорухомому складі [1]. Розроблений стенд комплексного дослідження роботи електродвигунів з послідовним збудженням та живленням від керованого тиристорного випрямляча [6]. Розглянуто доцільність використання складових елементів моделі тягового електропривода електровоза постійного струму з широтно-імпульсним регулюванням напруги [4 8 9]. Для підвищення якості моделювання тягового електропривода слід обґрунтувати тип джерела живлення.

Мета статті. Розглянути та дослідити вплив різного роду джерел живлення моделі тягового електропривода електровоза постійного струму з широтно-імпульсним регулюванням напруги тягових двигунів. Обґрунтувати заходи щодо підвищення точності моделювання відповідно до використання різноманітних вхідних ланок перетворювача.

Виклад основного матеріалу дослідження. Основною причиною виходу з ладу напівпровідникових ключів є перенапруга, що з’являється при комутації силового ключа перетворювача та коливальні процеси, які виникають під час їхнього вимикання.

Електронні пристрої з ізольованими керуючими електродами особливо чутливі до таких негативних наслідків роботи перетворювачів, які працюють в системах живлення з активно-індуктивним навантаженням. Практика використання силових електричних пристроїв свідчить, що перенапруга на виходах силових ключів може перевищувати їх максимально допустимі параметри по напрузі в декілька разів. Коливальні процеси, які виникають при комутації ключів інвертора, можуть призвести до повторного вмикання силового ключа, тобто одночасного включення обох ключів плеча інвертора. Тому для дослідження перехідного процесу комутації силового IGBT-транзистора важливим фактором є форма вхідної напруги.

Під час побудови реальної моделі виникає питання щодо визначення схеми випрямлення трифазної системи живлення в постійний струм. Найрозповсюдженою схемою трифазного випрямлення є «три півмоста паралельно з’єднані зіркою» (зірка Ларионова), але величина середньої ЕРС була б занадто великою:

$$E_{\text{sr}} = \frac{6\sqrt{3}E_{\text{m}}}{2\pi} = \frac{3\sqrt{3}E_{\text{m}}}{\pi} = 1{,}65E_{\text{m}} = 2{,}34E_{2\text{eff}} \qquad (1)$$

$$E_{sr} = 2.34 \cdot 220 = 514.8 \text{ В}$$

Напруга 514,8 В є критичною для роботи транзистора 6 класу. Така напруга призведе до пробою ізоляції двигуна та викличе критичні величини перенапруг на затискачах транзистора, що як наслідок призведе до виходу приладів з ладу. Тому було обрано схему випрямлення «три четверть моста паралельно» (схема Миткевича В.Ф.) в якій діючі та амплітудні значення напруги значно менші.

При визначенні величини перенапруги на затискачах основного комутаційного елемента (IGBT-транзистора 6 класу) схеми (рис. 1.) доцільно визначати дану величину у режимі реального часу. Саме тому дані процесу комутації було визначено за допомогою цифрового осцилографа.

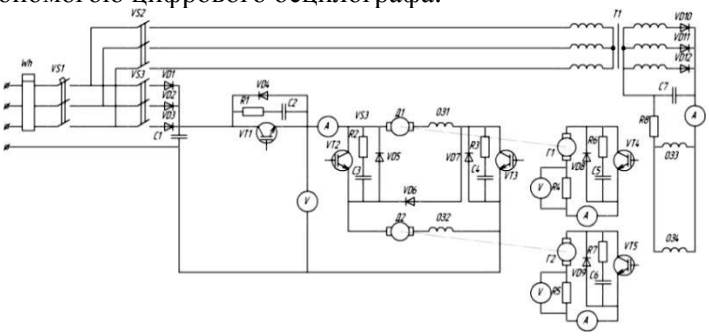

Рис. 1. **Силова схема моделі тягового електропривода електровоза постійного струму з широтно-імпульсним регулюванням напруги тягових двигунів із живленням від трифазної мережі через схему випрямлення «три четверть моста паралельно» (схема Миткевича В.Ф.)**

Оскільки схема живленням від трифазної мережі через «три четверть моста паралельно» (схема Миткевича В.Ф.), то трифазний випрямляч має величину частоти вихідної пульсації рівну 150Гц. Для їхнього згладжування встановлений вихідний фільтр. Він виконаний як згладжувальний конденсатор відповідного номіналу (рис.1.а конденсатор С1). Але наявність фільтра не змогла забезпечити якість та чистоту постійної напруги живлення через складні імпульсні процеси, що виникають під час комутації ключа на активно-індуктивне навантаження.

На осцилограмах перехідних процесів (рис. 2 та рис. 3) позначені величини напруги пульсації, які впливають на точність вимірювання, спричиняють хибність дослідження перенапруг на ключовому елементі перетворювача.

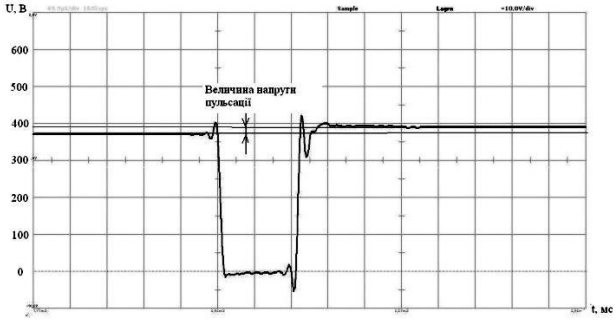

Рис. 2. **Осцилограма перехідного процесу комутації напруги на затискачах (Колектор-Емітер) силового IGBT-транзистора 6 класу при величині скважності 5%**

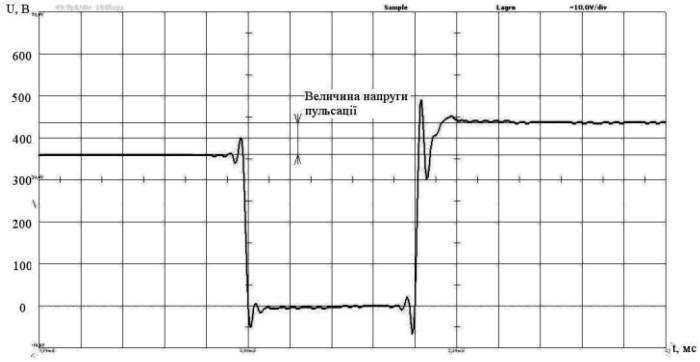

Рис. 3. **Осцилограма перехідного процесу комутації напруги на затискачах (Колектор-Емітер) силового IGBT-транзистора 6 класу при величині скважності 10%**

Подальше дослідження було призупинено в зв'язку зі збільшенням величини перенапруги на затискачах IGBT-транзистора 6 класу та виходу його з ладу.

У зв'язку з цим було вирішено замінити схему живлення моделі тягового електропривода на джерело постійної напруги гальванічно-розв'язаної з системою електропостачання (рис. 4).

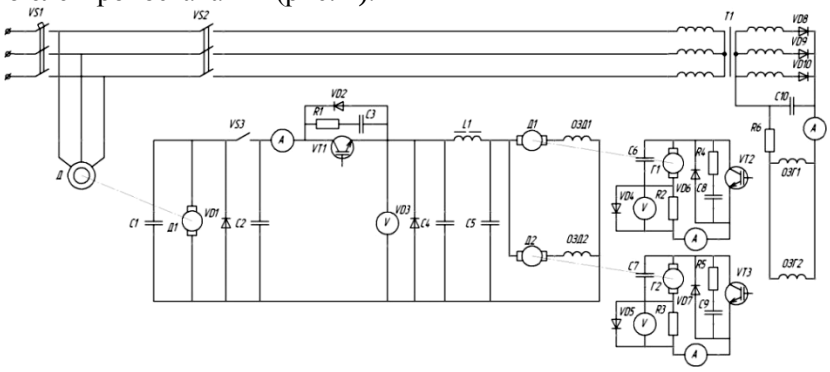

Рис. 4. **Силова схема моделі тягового електропривода електровоза постійного струму з широтно-імпульсним регулюванням напруги тягових двигунів із живленням від електромашинного перетворювача**

Висновки та пропозиції

1. Розглянуто та досліджено вплив різного роду джерел живлення моделі тягового електропривода електровоза постійного струму з широтно-імпульсним регулюванням напруги тягових двигунів. У результаті дослідження встановлено, що попередньо доцільно використовувати схему випрямлення «три четверть моста паралельно» (схема Миткевича В.Ф.).

2. Проведення експерименту свідчить про хибність дослідження при використанні схеми випрямлення «три четверть моста паралельно» (схема Миткевича В.Ф.).

3. Обґрунтовано заходи щодо підвищення точності моделювання, відповідно до використання різноманітних вхідних ланок перетворювача, та виявлена необхідність виконання індивідуального розрахунку для певних типів широтно-імпульсних регуляторів напруги.

4. Запропоновано змінити трифазну схему живлення з схемою випрямлення «три четверть моста паралельно» (схема Миткевича В.Ф.) на джерело постійної

напруги гальванічно-розв'язаної з системою електропостачання. Очікується стабільність вхідної напруги, відсутність гармонічних та аперіодичних складових напруги живлення, що дозволить продовжувати дослідження роботи моделі тягового електропривода з широтно-імпульсним регулюванням напруги тягових двигунів. Схема з даним джерелом живлення дозволяє досліджувати перехідні процеси моделі в широких діапазонах потужностей, частот комутації та типах навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Ревчук М.О., Гаюр А.В., Черняк Ю.В.* Підвищення ефективності використання електроенергії шляхом встановлення високоємнісних конденсаторів на тяговому рухомому складі // Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте. Материалы VI Международной научно-практической конференции ЭКУЖТ 2011. – 12–21 декабря 2011 г. – Киев. – С. 238 – 239.

2. *Ревчук М.О., Гаюр А.В., Черняк Ю.В.* Анализ повышения эффективности потребления электроэнергии на электропоездах путем установки накопителей энергии // Збірник науковіх праць державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології». – Випуск 20. – К., 2012. – С. 142 – 144.

3. *Ревчук М.О., Черняк Ю.В.* Выбор дросселя импульсного преобразователя современной электроники. // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса. Материалы III Международной научно-практической конференции. – Гомель БелГУТ, 17–18 октября 2013 г. – Гомель: БелГУТ, 2013. – 470 с. – С. 32 – 33.

4. *Ревчук М.О., Пилипенко А.Є., Черняк Ю.В.* Аналіз матеріалів, що використовуються в дроселях перетворювачів силової електроніки // Збірник наукових праць державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології». – Випуск 23. – К., 2013. – С. 81 – 86.

5. *Ревчук М.О., Черняк Ю.В.* Дослідження перехідних процесів у силовому електричному колі електровоза ВЛ-10 під час комутації груп тягових двигунів // Збірник тез XLI науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Залізничний транспорт: сучасні проблеми науки».–К.: ДЕТУТ, 2012. – Ч.1. – С. 146 – 147.

6. *Каращук С.В., Ревчук М.О., Олійник В.М., Гаюр А.В., Черняк Ю.В.* Розробка і монтаж стенду комплексного дослідження роботи електродвигунів з послідовним збудженням та живленням від керованого тиристорного випрямляча // Збірник тез XLII науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Залізничний транспорт: сучасні проблеми науки». – К.: ДЕТУТ, 2012. – 318 с. – С. 257.

7. *Ревчук М.О., Гаюр А.В.* Особливості керування силовими IGBT-транзисторами в статичних перетворювачах електрорухомого складу // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції. Серія «Техніка, технологія». – К.: ДЕТУТ, 2013. – 222 с. – С. 22.

8. *Каращук С.В, Гаюр А.В.* Системи захисту напівпровідникових пристроїв від негативних наслідків комутації // Збірник наукових праць державного економіко-технологічного університету транспорту серія транспортні системи і технології. – Випуск 23. – К., 2013. – С. 87 – 91.

9. *Русавський Д.В., Ревчук М.О., Черняк Ю.В.* Датчики струму на ефекті Холла, принцип роботи // Збірник тез XLIII науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Залізничний транспорт: сучасні проблеми науки». – К.: ДЕТУТ, 2013. – Ч.1. – 268 с. – С. 217.