

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Краснова Олексія Олександровича

**«Активний тяговий перетворювач для електровозів змінного струму
з колекторними тяговими двигунами»,**

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.22.09 — електротransпорт

Актуальність теми дисертації

Залізничний транспорт є надзвичайно важливою галуззю економіки України, оскільки він забезпечує значну частину пасажирських та вантажних перевезень у внутрішньому та міжнародному сполученні. При цьому, більша частина загального вантажообороту здійснюється на електрифікованих залізницях, що обумовлює актуальність економного використання електроенергії на тягу поїздів.

Разом з тим, існуюча на сьогоднішній день системи електричної тяги залізниць змінного струму має ряд невирішених енергетичних проблем. Зокрема, непродуктивні втрати енергії в такій системі утворюються за рахунок споживання та генерації реактивної потужності, при цьому мають місце погіршені показники якості електроенергії.

Більша частина електровозів змінного струму «Укрзалізниці» побудована у 70-80 рр., такі електровози обладнані колекторними тяговими двигунами, які отримують живлення від діодних або тиристорних випрямлячів. Як показали дослідження, коефіцієнт потужності такого електровоза становить близько 0,6...0,8, а в режимі рекуперації — 0,3...0,7. Напруга та струм на струмоприймачі є несинусоїдальними. За коефіцієнтом потужності та показниками якості електроенергії вказані електровози не відповідають сучасним європейським нормам і є однією з причин низької енергетичної ефективності системи електричної тяги.

Відомо, що на електрорухомому складі з безколекторним тяговим приводом використовують вхідні тягові чотириквADRантні перетворювачі з широтно-імпульсною модуляцією, які дозволяють забезпечувати споживання енергії з контактної мережі з коефіцієнтом потужності, близьким до одиниці, і практично синусоїдальну форму струму в контактній мережі. Ідея розробки подібних перетворювачів для модернізації існуючих електровозів змінного струму з колекторними тяговими двигунами є, на нашу думку, раціональною.

Отже, тема дослідження дисертаційної роботи, направленою на підвищення енергетичної ефективності електрорухомого складу змінного

струму з колекторними тяговими двигунами шляхом вдосконалення тягових перетворювачів є актуальною.

Актуальність теми та вагомість результатів дисертації підтверджується тим, що вона виконувалась відповідно до Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки (Постанова Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 № 1390) та Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року (схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16.01.2009 № 1555-р).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, базуються на детальному вивченні та критичному аналізі світової науково-технічної літератури за останні роки, застосуванні сучасних методів дослідження електромеханічних систем, збіжності результатів експериментальних досліджень, проведених на імітаційних моделях, з результатами досліджень інших авторів.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях, а також опубліковані в наукових фахових виданнях та іноземних спеціалізованих виданнях.

Достовірність результатів досліджень

Достовірність отриманих наукових результатів підтверджується кореляцією числового моделювання з раніше отриманими експериментальними результатами інших авторів, використанням в теоретичних дослідженнях раніше апробованих методик, несуперечливістю результатів роботи загальновідомим фізичним сутностям процесів.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

— Отримали подальшого розвитку теоретичні дослідження режимів роботи тягових перетворювачів на повністю керованих вентилях в електроприводі електровозів змінного струму з колекторними тяговими двигунами.

— На основі математичного апарату алгебри логіки отримано уніфікований опис алгоритмів фазового регулювання, а також широтно-

імпульсної модуляції з синусоїдальним, трапецеїдальним та прямокутно-ступінчатим модуляційним сигналом.

— Вперше отримано порівняльні енергетичні характеристики однофазного активного випрямляча струму при роботі на електродвигун постійного струму для трьох алгоритмів однополярної широтно-імпульсної модуляції: з синусоїдальним, трапецеїдальним та прямокутно-ступінчатим модуляційним сигналом.

— Вперше отримано залежність коефіцієнта потужності від випрямленої напруги для електровоза з двозонним активним тяговим перетворювачем при широтно-імпульсній модуляції.

— Досліджено гармонічний склад напруги на струмоприймачі та струму електровоза з двозонним активним тяговим перетворювачем при широтно-імпульсній модуляції, встановлено закономірності розподілу вищих гармонік напруги та струму за амплітудою.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані при розробці тягових напівпровідникових перетворювачів при випуску нових та модернізації існуючих електровозів змінного струму, і при проектуванні систем тягового електропостачання залізниць, зокрема, для вибору схемотехнічних рішень з компенсації реактивної потужності та підвищення якості електроенергії на електроухомому складі та в контактній мережі.

Теоретичні положення і комп'ютерні моделі, розроблені в дисертації, можуть використовуватись в навчальному процесі при підготовці фахівців локомотивного господарства та господарства електропостачання.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 15 наукових працях: 7 статей в наукових фахових виданнях України (з них 6 статей у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз); 8 матеріалів і тез доповідей науково-технічних конференцій. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку джерел інформації і додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, показано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, подано відомості про апробацію результатів дисертації і публікації за темою дослідження.

У **першому розділі** проведено аналіз публікацій, присвячених ефективності сучасних систем тягового електроприводу електровозів змінного струму з колекторними тяговими двигунами. На електрорухомому складі з діодними випрямлячами та тиристорними випрямно-інверторними перетворювачами зниження коефіцієнта потужності та несинусоїдальність напруги і струму зумовлені процесами фазового регулювання та комутації вентилів, а також перехідними процесами в системі «контактна мережа — електровоз». Серед відомих технічних рішень, які забезпечують підвищення енергетичних характеристик електровозів, можна виділити: 1) удосконалені схеми тягових перетворювачів та алгоритми їх управління; 2) пасивні і активні компенсатори реактивної потужності, встановлені на електрорухомому складі; 3) перетворювачі на повністю керованих напівпровідникових приладах (активні перетворювачі). Останній напрямок можна вважати перспективним, оскільки при широтно-імпульсній модуляції такі перетворювачі забезпечують високі енергетичні показники електровоза без суттєвого ускладнення його силової схеми та системи управління.

У **другому розділі** розроблено математичну модель однофазного активного випрямляча струму з трансформатором та двигуном постійного струму. Отримано уніфікований математичний опис алгоритмів широтно-імпульсної модуляції з синусоїдальним, трапецеїдальним та прямокутно-ступінчастим модуляційним сигналом. За допомогою програмного пакета MATLAB виконано імітаційне моделювання кола з активним випрямлячем струму при частоті модуляції 900 Гц, 1200 Гц і 1800 Гц. Результати дослідження дозволили обґрунтовано запропонувати варіант силової схеми тягового перетворювача на базі активного випрямляча струму та алгоритму його управління для подальшої реалізації в тяговому електроприводі електровоза змінного струму з колекторними тяговими двигунами (на прикладі електровоза 2ЕЛ5).

У **третьому розділі** розроблено математичну модель системи електричної тяги змінного струму напруги 25 кВ, 50 Гц. Розроблено моделі двох варіантів

тягового перетворювача електровоза з колекторними тяговими двигунами — тиристорного та активного тягового перетворювача з широтно-імпульсною модуляцією (частота 1200 Гц) і двозонним регулюванням випрямленої напруги. На основі логічних функцій формування та розподілу імпульсів розроблено уніфікований математичний опис алгоритмів управління тиристорним випрямно-інверторним перетворювачем та активним тяговим перетворювачем на IGBT транзисторах. Імітаційну модель системи електричної тяги реалізовано в програмному пакеті MATLAB / Simulink. Проведені експерименти показали адекватність розробленої моделі теоретичним уявленням про електромагнітні процеси в тягових перетворювачах і експериментальним даним, представленим у відомих роботах.

У **четвертому розділі** проведено імітаційне моделювання електромагнітних процесів в системі «тягова мережа — електровоз» в MATLAB. Результати моделювання дозволили порівняти енергетичну ефективність активного тягового перетворювача і тиристорного випрямно-інверторного перетворювача, а також визначити напрямки подальших досліджень активних тягових перетворювачів електровозів змінного струму. Встановлено, що електровоз з активним тяговим перетворювачем має високий коефіцієнт потужності (до 0,99), що більше, ніж у електровоза з тиристорним тяговим перетворювачем. Алгоритм широтно-імпульсної модуляції дозволив зменшити коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої струму — до 17 %. Проведено дослідження гармонічного складу напруги та струму на струмоприймачі електровоза і встановлено характерні групи гармоніки напруги та струму, які в основному визначають несинусоїдальність форми відповідних кривих. Це дозволяє зосередити подальші дослідження на корекції форми напруги та струму електровоза з активним тяговим перетворювачем та розробці системи автоматичного управління транзисторним тяговим випрямлячем.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

У **додатках** представлено розрахунок економічної ефективності схемотехнічних рішень, запропонованих в дисертації, список публікацій та відомості про апробацію результатів, а також наведено акти впровадження результатів дисертації.

Список використаних джерел є досить повним і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації (всього — 124 найменування).

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

Зауваження щодо змісту дисертації

1. У пункті 1.1 (с. 16 і далі) доцільно було б для порівняння навести реальні значення коефіцієнта потужності та гармонічного складу напруги та струму електрорухомого складу з асинхронним тяговим приводом, який експлуатується на залізницях України (електровози ДСЗ, електропоїзди ЕКр1 тощо).

2. З тексту дисертації незрозуміло, яким чином робота активного тягового перетворювача впливає на тягові властивості електровоза.

3. У п. 2.2 (с. 54) не акцентовано увагу на регулювальних характеристиках активного випрямляча струму. Доцільно було б вивести формули регулювальних характеристик та побудувати їх графіки. Тому характер залежності випрямленої напруги або вхідного змінного струму від коефіцієнта модуляції та навантаження залишається незрозкритим.

4. У п. 2.3 (с. 56) при аналізі широтно-імпульсної струму не розглянуто алгоритм широтно-імпульсну модуляції з вибірковою виключенням гармонік, який також використовується у інверторах струму.

5. У пункті 2.4 (с. 66) не сказано, чому для моделювання активного випрямляча струму обрано частоти модуляції 900 Гц, 1200 Гц та 1800 Гц.

6. У п. 2.4 (с. 67-69) не пояснюється, з яких елементів пакету MATLAB побудовані ім'їтаційні моделі трансформатора, активного випрямляча струму та електрорушійної сили якоря двигуна постійного струму.

7. У п. 2.5 (с. 82) немає чіткого пояснення, чому обрано саме двозонну схему активного тягового перетворювача, а не чотиризонну, як на електровозах 2ЕЛ5.

8. У п. 4.4 (с. 149) не надається пояснення характеру зміни коефіцієнта спотворення синусоїдальності форми кривої напруги для електровоза з активним тяговим перетворювачем.

9. У розділах 3, 4 не розглянуто роботу електровоза з активним тяговим перетворювачем в режимі рекуперації, оскільки рекуперація є однією з технологій енергозбереження.

10. У розділах 3, 4 при побудові математичної моделі та дослідженні електромагнітних процесів в силових колах електровоза не розглянуто автоматичне регулювання струму тягового двигуна і не враховано його вплив на електромагнітні процеси.

Слід зазначити, що вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертація Краснова Олексія Олександровича на тему «Активний тяговий перетворювач для електровозів змінного струму з колекторними тяговими двигунами» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.22.09 — електротранспорт. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу підвищення енергетичної ефективності електрорухомого складу змінного струму з колекторними тяговими двигунами шляхом вдосконалення тягових напівпровідникових перетворювачів. Дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами), а здобувач Краснов Олексій Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 — електротранспорт.

Офіційний опонент:

директор центру заочного навчання,
професор кафедри електричного транспорту
Харківського національного університету
міського господарства
імені О. М. Бекетова,
доктор технічних наук, професор



Микола ХВОРОСТ

Підпис	<i>М. Хворост</i>
Засвідчую:	<i>Хв</i> <i>Краснова В.О.</i>
" <i>10</i> " <i>листопада</i>	відд. кадрів

