

мах, і можуть бути рекомендовані до застосування у замкнених системах, які забезпечують достатню плавну зміну керуючого впливу.

Висновок та напрямок подальших досліджень. Розроблена система асинхронного ЕП з частотним управлінням і зворотним зв'язком за оцінкою динамічного моменту є астатичною за навантаженням і може бути рекомендована до застосування у широкому колі промислових механізмів. Переваги таких систем перед іншими відомими астатичними системами скалярного частотного управління [4] полягають перш за все у більшій простоті реалізації: замість 1 - 3 внутрішніх контурів регулювання струму або напруги достатньо організувати регулювання величини динамічного моменту за умови оцінювання його величини за допомогою спостерігачів стану. Результати теоретичного і експериментального дослідження дають підстави для вибору структур технічно оптимальних САУ, що забезпечують комплексне рішення задачі статичної і динамічної. При цьому, відкриваються можливості ефективного використання принципів підлеглого регулювання і елементів УБСК і, отже, єдиного підходу до проектування і уніфікації засобів управління електроприводами змінного і постійного струму.

Список літератури

1. Сандлер А. С., Аввакумова Г. К., Кудрявцев А. В., Никольский А. А. Преобразователи частоты на тиристорах для управления высокоскоростными двигателями. М., «Энергия», 1970.
2. Сандлер А. С., Сарбатов Р. С. Частотное управление асинхронными двигателями. М., «Энергия», 1986.
3. Сандлер А. С., Кудрявцев А. В., Никольский А. А. Системы частотного управления высокоскоростным электродвигателем средней мощности. – «Труды МЭИ. Электрооборудование промышленных предприятий», 1972, вып. 149.
4. Бродовский В. Н., Иванов Е. С. Бесконтактный электропривод с частотно – токовым управлением для замкнутых систем регулирования. – «Электричество», 1967, № 10.

Рукопис подано до редакції 19.03.14

УДК 621.331 (477)

О.В. ХРОМЕЙ, аспірант, Криворізький національний університет

ДО ПРОБЛЕМИ НЕОБХІДНОСТІ ТА НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Розглянуто найгостріші проблеми тягового електроприводу. Проаналізовано існуючі підходи до вирішення цих проблем на прикладі декількох типів локомотивів. Окреслено шляхи виходу з кризового становища електрорушійного складу з урахуванням державних програм та концепцій.

Проблема і її зв'язок з науковими та практичними завданнями. До проблем, які слід розв'язати для забезпечення подальшого розвитку тягового електроприводу, зокрема залізничного транспорту, належить низький рівень конкуренції на споживчому ринку [2]. Потребує вирішення питання щодо подолання відставання у розвитку мережі українських залізниць від залізниць країн ЄС та Росії, які також перебувають на різних стадіях реформування, але при цьому істотно випереджують залізниці України. Загальний ступінь зносу рухомого складу становить 68 відсотків, 30 відсотків загальної протяжності колій потребують ремонту [2]. 75 відсотків локомотивів випрацювали нормативний строк служби. Темпи старіння локомотивного парку значно перевищують темпи придбання нових сучасних зразків тягового рухомого складу. Станом на 2014 р. увесь парк електровозів ВЛ 8 потребує списання за строком служби, технічним станом і критерієм безпеки [4]. У зв'язку із цим обмежується швидкість руху поїздів, створюється реальна загроза безпеки руху на залізничному транспорті [2]. Отже, технічний стан рухомого складу не відповідає сучасним вимогам для транспортної системи ХХІ століття. Одна з найгостріших проблем - фізичне і моральне старіння локомотивного парку. Так, майже увесь тяговий рухомий склад українських залізниць побудовано згідно з вимогами шістдесятих років минулого століття, експлуатаційні витрати, якого постійно зростають, а економічність постійно знижується в порівнянні з новим поколінням локомотивів [4.] За обсягами вантажообігу «Укзалізниця» займає перше місце у Європі та друге в СНД. Є основним вузлом, що з'єднує Європу з Росією та Центральною Азією. На другій позиції у СНД та на четвертій у Європі за обсягами

пасажирообігу. Друга у СНД та шоста у Європі транспортна мережа за сукупною довжиною колійних шляхів. Парк рухомого складу налічує більше 4200 одиниць локомотивів та 132000 одиниць рухомого складу [3]. Тому «Укрзалізниця» повинна приводити парк рухомого складу, що виходить на іноземну мережу залізниць у відповідність з міжнародними стандартами і вимогами [1].

Аналіз досліджень та публікацій. Проблеми, що склалися довкола тягового рухомого складу, розглянуті у розпорядженні №651 Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2006 року «Про схвалення Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту», Постанові №840 КМУ від 01 серпня 2011 року «Про затвердження Програми оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012 – 2016 роки», Законі України «Про залізничний транспорт» від 04 липня 1996 року №273/96-15Р. Розв'язанням задач тягового електроприводу займаються такі підприємства як ДП «Електротяжмаш» (м. Харків), НВК «Электровозостроение» (м. Дніпропетровськ), ПАТ «Лугансктепловоз» та ін.

Постановка завдання. Оцінка стану та вибір напрямку розвитку сучасного тягового електроприводу.

Виклад матеріалу та результати. Основним елементом тягового електроприводу, що безпосередньо перетворює електричну енергію у механічну, є тяговий електричний двигун (ТЕД). ТЕД застосовуються у міському електротранспорті (трамваї, тролейбуси, метро), залізничному (електровози, електропотяги, тепловози, дизель-потяги, шахтні та кар'єрні електровози), електромобілях, електролітаках, мотор-колесах великих вантажних автомобілів, підводних човнах і т.п.[7]. На залізничному транспорті найбільше застосування в електрорушійному складі має індивідуальний привод, коли кожний двигун обертає одну колісну пару. Потужність тягового двигуна тепловоза у такому приводі знаходиться у межах 300÷350 кВт. Іноді застосовують груповий електричний привод, коли кожний двигун обертає дві-три колісних пари. У цьому випадку маса двигуна, що приходить на одну колісну пару зменшується, але ускладнюється конструкція тягової передачі, збільшується об'єм ремонту [7]. Завдяки тяговим двигунам використовується електричне гальмування: рекуперативне і реостатне (динамічне). Переважна більшість тягових двигунів – це машини колекторного типу постійного та пульсуючого струму. Однак, у зв'язку з важкими експлуатаційними умовами та жорсткими габаритними обмеженнями їх вважають машинами граничного використання [7]. З 60-х років ХХ століття застосовуються безколекторні ТЕД асинхронні і вентильні (синхронні з напівпровідниковим керуванням).

На роботу ТЕД як постійного, так і змінного струму впливають зовнішні і внутрішні фактори. Особливо гостро стоїть проблема зовнішнього забруднення. Тягові двигуни розміщуються у безпосередній близькості від колії, тому необхідно передбачувати заходи, які б перешкоджали проникненню забруднень, що захоплюються повітряним потоком під час руху потяга. Зовнішнє забруднення найбільш впливає на тягові двигуни колекторного типу. Сторонні частинки, потрапляючи до колекторно-щіткового механізму, викликають збільшений знос щіток і колектора, оскільки в тягових двигунах треба підвищувати натиск щіток [7]. Запиленість внутрішніх вентиляційних каналів значно знижує розсіяння теплоти з поверхні двигуна – майже у 3 рази. Внаслідок такого впливу, змінюються режими роботи тягового двигуна, що спричиняє зміну струму якоря в межах від $0,25I_n$ до $2I_n$ [7]. Коливання струмів викликає ще більші зміни електричних втрат потужності. Це, в свою чергу, впливає на коливання температури нагріву ізоляції і знижує її довговічність [7].

Електричні машини постійного струму виконуються зі змішаним, послідовним, паралельним чи незалежним збудженням. Конструктивно двигун зі змішаним збудженням має послідовну та незалежну обмотки збудження. Вони створюють сумарний магнітний потік. Номінальний режим роботи електричної машини такої конструкції характеризується використанням лише механічних та зовнішніх характеристик, створених фіксованим для даної машини відношенням складових магнітного потоку, створених паралельною та послідовною обмотками збудження. Але в режимах тяги, електричного гальмування це відношення не завжди є оптимальним. Аналіз [7] показав, що більш досконалою є електрична машина з покращеними експлуатаційними характеристиками. Вона дозволяє отримати поле плавно змінних зовнішніх характеристик, що встановлені відповідно до вимог технологічного процесу, який обслуговує ця електрична машина. Досягти таких результатів вдалося, удосконаливши конструкцію обмоток електромагнітного збудження з плавним регулюванням струмів у цих обмотках, де номінальний

режим роботи машини задає параметри кожній окремій послідовній та незалежній обмоткам. Струми збудження в обмотках регулюються окремими імпульсними перетворювачами, що регулюють складові магнітних потоків таким чином, щоб сумарний магнітний потік був завжди номінальним при номінальному режимові роботи [7].

Такий спосіб регулювання магнітного потоку, використовуючи послідовну та незалежну обмотки збудження та окремих імпульсних перетворювачів дозволяє плавно змінювати струми збудження в обмотках, отримувати зовнішні (у генераторному режимі) та механічні (у режимі роботи двигуна) характеристики електричної машини з незалежним, послідовним і змішаним збудженням. Тобто, такий двигун має властивість універсального електромагнітного збудження із реалізацією (при необхідності) протизбудження за рахунок плавного переходу від характеристик з незалежним збудженням до характеристик з послідовним збудженням, і навпаки [7]. Але, враховуючи усі переваги електричної машини з універсальним збудженням, наявність колектора зменшує її надійність, ускладнює ремонт тягових двигунів та характеризується збільшенням затрат на технічне обслуговування електрорушійного складу.

Силова схема з таким способом регулювання магнітного потоку була використана на українських електровозах типу ДЭ1, випущених у 1997 -2008 рр. науково-виробничим комплексом «Электровозостоеение» (колишній Дніпропетровський електровозобудівний завод). Усього випущено було 40 одиниць ДЭ1. Вони експлуатувались на Придніпровській залізниці та Червоному Лимані Донецької залізниці, що пов'язано з рівнинним характером цих доріг. В процесі експлуатації були виявлені два головних недоліки машини - боксування та ненадійна робота електронної частини, перший пояснюється великою потужністю і необладнаністю електровоза протирозвантажувальними пристроями, а другий - некваліфікованим обслуговуванням, багато датчиків після виходу із заводського ремонту працюють до першого масштабного ремонту в депо [8]. В результаті помилково ідентифікується боксування чи перегрів ТЕД, і навпаки - відсутність ідентифікації при боксуванні, що іноді призводить до руйнування ТЕД у розносному боксуванні [8]. Як наслідок, 21 січня 2009 р. по станції Червоний Лиман Донецької залізниці сталося сходження з колії електровоза ДЭ1.

ПАТ «Лугансктепловоз» в 2005 -2011 рр. випущено 18 вантажно-пасажирських електровозів 2ЭЛ5 з передачею змінно-постійного струму. Вони мають краще оснащення ніж електровози типу ДЭ1. На 2ЭЛ5 тягові електродвигуни виконані з опорно-рамним підвішуванням та моторно-осьовими підшипниками ковзання. На електровозі використані удосконалені ТЕД колекторного типу серії НБ-514Б, електричне рекуперативне гальмування, а також мікропроцесорна система керування, що забезпечує ручне і автоматичне керування рухом, діагностику параметрів і роботи усього обладнання електровоза [9].

За умови значного збільшення потужності електрорушійного складу та одночасному підвищенні його надійності доцільним є перехід на безколекторні тягові двигуни. Аналіз [7] показав, що існувало багато протиріч щодо розподілу навантажень між паралельно працюючими асинхронними тяговими двигунами (АТД) при розбіжності діаметрів колісних пар. Але експериментальні дані [7] вказують, що при допустимих в експлуатації розбіжностях у діаметрі коліс 10 мм різниця навантажень не перевищує 8÷10 відсотків, а при розбіжності 5÷6 мм в області номінальних навантажень ця різниця не перевищує 4÷6 відсотків.

У 2002 р. НВК «Электровозостроеение» спільно з компанією Siemens випустив перший електровоз змінного струму з асинхронним приводом серії ДСЗ. Тягові двигуни електровоза - трифазні асинхронні з короткозамкненим ротором СТА-1200 виробництва ПАТ «НПП«СЭМЗ» м. Сміла. Живлення ТЕД здійснюється від двох розташованих у середині кузова перетворювачів лінійною напругою до 2200 В [10]. Векторне управління перетворювачами, як і керування іншим обладнанням електровоза, здійснює мікропроцесорна система. Реверсивним перемикачем і двома рукоятками задається режим роботи ТЕД.

Одним із передових підприємств в Україні, що випускає тягове обладнання для електрорушійного складу є ДП «Електротяжмаш». Воно є комплексним постачальником і розробником електричного обладнання для різноманітних марок тепловозів, трамваїв, тролейбусів, вагонів метро, великовантажних автосамоскидів та екскаваторів [6]. Це підприємство постійно оновлює виробничі потужності, забезпечуючи цим конкурентоспроможність заводу у довгостроковій перспективі [6]. Завдяки впровадженню нового обладнання підприємство зводить «на ні»

ризик непередбачених збоїв із-за неполадок у роботі обладнання, підвищується якість продукції, знижується її собівартість [6].

Як і більшості підприємств «Електротяжмаш» теж має ряд проблем, особливо з фінансуванням. Але, не зважаючи на економічну кризу останніх років на заводі розпочато програму модернізації. Так, по підсумкам 2013 року підприємство отримало суттєвий ріст виробництва [6]. Об'єм капітальних вкладень у 2013 р. склав 100 млн грн., що більше ніж вдвічі перевищило показник 2013-2012 рр.

За даними 2013 р. у загальному обсязі продаж більше 63 відсотків займає електротягове обладнання [6]. Серед них тягові генератори і агрегати потужністю від 550 Вт до 2950 кВт, тягові двигуни як колекторного типу (ЭД-118, ЭД-133, ЭД-138, ЭД-139 та ін.) так і безколекторні (АД 902, АД 917). У січні 2014 р. на заводі було модернізовано дві печі у цеху тепловозних генераторів [6].

Ці печі входять у комплекс для пропитки і запікання якорів, які згодом використовуються у генераторному виробництві. Суть модернізації полягає в установці на кожній з печей додаткових термопар, щоб запікання кожного виробу відбувалося по чітко установленому технологічному процесу із дотриманням необхідного температурного режиму [6].

Водночас увесь процес автоматизований, протоколюється і контролюється. Як результат - суттєве підвищення якості продукції.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Технічний стан рухомого складу не відповідає сучасним вимогам транспортної системи ХХІ століття. Найгострішою проблемою локомотивного парку є його моральне та фізичне старіння. Обставини, що склалися, ніяк не можуть сприяти підвищенню конкурентоспроможності української залізниці як на внутрішньому так і на зовнішньому ринках.

Гостро стоїть питання про необхідність приведення локомотивного парку у відповідність з міжнародними стандартами і вимогами.

Концепцією Державної програми реформування залізничного транспорту передбачені такі необхідні умови реформування як підвищення ефективності діяльності та інвестиційної привабливості галузі [2].

Очікуваний результат цієї програми: забезпечення подальшого розвитку залізничного транспорту, підвищення ефективності його функціонування [2]. Відповідно до Програми оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012 -2016 роки заплановано придбання нових локомотивів за рахунок щорічного фінансування. Передбачені такі шляхи розв'язання проблеми:

технічне переоснащення і розвиток локомотивного господарства залізниць України шляхом розробки, створення і впровадження нових типів локомотивів, а також придбання існуючих зразків електровозів, що відповідають сучасним вимогам надійності і безпеки;

оптимізації витрат енергоносіїв, а також витрат на ремонт і поточне утримання нових локомотивів;

розвитку вітчизняної науково-технічної бази в результаті залучення українських науковців до спільних проектів з провідними виробниками залізничної техніки [4]. Програмою передбачено оновлення локомотивного парку залізниць України. Планується придбання 504 одиниць нових сучасних пасажирських і вантажних локомотивів як односистемних, так і подвійного живлення [4].

Список літератури

1. Про залізничний транспорт: закон України від 04 липня 1996 року №273/96-15Р // Відом. Верховної Ради України. – 1996. - №40 – ст.183.
2. Про схвалення Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту: розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2006 року №651 [Електронний ресурс] // Відділ баз даних нормативно-правової інформації: [веб-сайт]. – 27.12.2006. - Режим доступу: .<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/651-2006-p>. – Назва з екрану (11.03.2014).
3. Для інвесторів [Електронний ресурс] // Офіційний сайт «Укрзалізниці» [веб-сайт]. - Режим доступу - <http://www.uz.gov.ua/about/investors/>. – Назва з екрану (05.03.2014).
3. Про затвердження Програми оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012 – 2016 роки: постановою Кабінету міністрів України від 01 серпня 2011 року №840 [Електронний ресурс] // Відділ баз даних нормативно-правової інформації: [веб-сайт]. – 01.08.2011. Режим доступу: . <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/840-2011-p>. –

Назва з екрану (11.03.2014).

4. Новини «Укрзалізниці» [Електронний ресурс] // Прес-центр офіційного сайту «Укрзалізниці» [веб-сайт]. - Режим доступу - http://www.uz.gov.ua/press_center/latest_news/. - Назва з екрану (09.03.2014).

5. «Електротяжмаш» сьогодні [Електронний ресурс] // Офіційний сайт ДП «Електротяжмаш» [веб-сайт]. - Режим доступу – <http://www.spetm.com.ua/index.php/about>. - Назва з екрану (06.03.2014).

6. **Флора В.Д.** Тяговые электрические машины / **В.Д. Флора**. – Запорожье – Информационная система iElectro, 2011. – 318 с.

7. ДЭ1 [Електронний ресурс] // Вікіпедія [веб-сайт]. – Режим доступу - <http://ru.wikipedia.org/wiki/%C4%DD1> – 03.03.2014. – Назва з екрану (12.03.2014).

8. 2ЭЛ5 [Електронний ресурс] // Вікіпедія [веб-сайт]. – Режим доступу - <http://ru.wikipedia.org/wiki/2ЭЛ5>. - Назва з екрану (13.03.2014).

9. ДСЗ [Електронний ресурс] // Вікіпедія [веб-сайт]. – Режим доступу - <http://ru.wikipedia.org/wiki/%C4%D13>. – 18.09.2013.- Назва з екрану (12.03.2014).

Рукопис подано до редакції 19.03.14

УДК 621.315.052.7 – 621.395.14

А.П. СІНОЛИЦИЙ, д-р техн. наук, проф.,
В.А. КОЛЬСУН, О.О. УДОВЕНКО, кандидати техн. наук, доц., В.С. КОЗЛОВ, аспірант,
Д.В. РИЖЕНКОВ, магістрант, В.М. МАКОДЗЬОБ, студент
Криворізький національний університет

ЛАБОРАТОРНИЙ КОМПЛЕКС ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОПОТОКІВ МЕРЕЖІ ЖИВЛЕННЯ З РІЗНОМАНІТНИМИ РЕЖИМАМИ НАВАНТАЖЕННЯ

Створено лабораторний комплекс фізичного моделювання енергетичних потоків мережі живлення, основною складовою якого є пристрої активної корекції коефіцієнту потужності. Комплекс фізичного моделювання дозволяє створити широкий спектр різноманітних енергетичних станів мережі живлення, впливаючи як на струм, так і на напругу. До тестової мережі живлення лабораторного комплексу може бути підключено будь-яке навантаження, що є складовою стенду: лінійне, нелінійне, незбалансоване тощо. Також може бути створено режим викривлення ЕРС мережі, який майже не зустрічається на практиці, але може бути необхідним при тестуванні активних фільтрів із новими універсальними алгоритмами керування.

Для перевірки працездатності лабораторного комплексу проведено дослід із компенсації активним фільтром вищих гармонік струму. Умови досліді: до мережі живлення підключено нелінійне та активне трифазне навантаження. Задача активного фільтру струму полягає в усуненні вищих гармонік струму. В результаті досліді встановлено, що трифазний активний фільтр вдало виконав задачу, однак коефіцієнт спотворення напруги мережі після включення фільтру перевищує норми за ДСТУ 13109. Цей факт можна частково пояснити відсутністю пасивного фільтру на вході активного коректору енергопотуку.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Основною складовою лабораторного комплексу є активні фільтрокомпенсуючі пристрої (ФКП), які являють собою низку пристроїв, що розрізняють за топологією та величинами [4,11], на які пристрій може впливати (напруга або струм). Інші назви активних ФКП: активний фільтр, активний коректор коефіцієнту потужності, кондиціонер гармонік, статичний компенсатор тощо [4]. Сучасні пристрої активної корекції електричного енергопотуку є більш універсальними, надійними та ефективними, ніж такі розповсюджені технічні рішення, як косинусні конденсатори, пасивні фільтри, синхронні компенсатори.

Експериментальні дослідження, пов'язані з роботою вищезазначених та інших силових електротехнічних комплексів, є істотною проблемою, оскільки такі дослідження в промислових умовах вимагають великих матеріальних витрат і втрат часу або ж є зовсім неможливі.

Шляхом вирішення вищезазначеної проблеми експерименту є математичне [11] та фізичне моделювання. Останній спосіб дослідження є більш бажаним, оскільки фізична модель є більш близькою до реального об'єкту. Інші переваги стендових випробувань: прискорення процесу дослідження у порівнянні із втручанням до реального об'єкту, можливість дослідження різного режимів, у тому числі й аварійних тощо.