МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

БІЛУХІН ДМИТРО СЕРГІЙОВИЧ

УДК 629.423.32 : 621.3.072.2

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ КІЛ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Спеціальність 05.22.09 – електротранспорт

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2010

НТБ ДНУЗТ

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Електрорухомий склад залізниць” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв’язку України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ГЕТЬМАН Геннадій Кузьмич,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв’язку України, завідуючий кафедрою електрорухомого складу.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ПАНАСЕНКО Микола Васильович,
Харківська філія Державного науково-дослідного центру Укрзалізниці, головний науковий співробітник

кандидат технічних наук, доцент
ЧЕРНИХ Юрій Максимович,
Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ, завідуючий кафедрою тягового рухомого складу залізниць.

Захис ... ___ годині на засіданні спеціа-
лізов ... ональному університеті заліз-
ничн ... 010, м. Дніпропетровськ, вул.
Ак. Л

З дис ... ького національного університету :

Авто

Вчен
спеці
доктс ... *М. О. КОСТІН*

НТБ ДНУЗТ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На цей час на залізницях України гострою залишається проблема критичного стану електрорухомого складу, термін служби 70 % якого складає 30 років та більше. Утримання такого рухомого складу приводить до перевищення нормативних ремонтних витрат більш ніж в два рази і негативно позначається на рентабельності залізничних перевезень. Критичний стан склався з вантажним парком електровозів постійного струму, основою якого є електровози ВЛ8 в кількості 515 одиниць з 759. Для рішення проблеми тягового забезпечення підприємства Укрзалізниці виконують капітально-відновлювальні ремонти електрорухомого складу для продовження їх терміну служби до 15–20 років. Щоб отримати найбільший ефект від витрат на капітально-відновні ремонти, до них доцільно приурочити модернізацію деталей і вузлів електрорухомого складу, перш за все таких, модернізація яких не вимагає великих капітальних вкладень, але дозволяє знизити експлуатаційні витрати на утримання електрорухомого складу. Одним з таких вузлів є морально і фізично застаріла система автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу (ЕРС) постійного струму, зокрема електровозів ВЛ8.

Основними елементами систем автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу, який знаходиться в експлуатації, є акумуляторна батарея, генератор постійного струму та вузол керування генератором, який впливає на струм збудження генератора. Вихід з ладу любого з вказаних елементів може привести до відмови системи керування одиницею електрорухомого складу в цілому. Це може привести до порушення графіка руху поїздів або до аварійної ситуації. Найменш надійними з вказаних вузлів на ЕРС, який знаходиться в експлуатації, зокрема електровозів ВЛ8 та електропоїздів ЕР1 та ЕР2, є вузли керування напругою низьковольтних кіл на які приходиться 54 % відмов. Останні мають низькі експлуатаційні показники: рівень надійності, підтримання напруги в заданих межах, знос механічних частин, значні витрати на утримання.

У зв'язку з вищевикладеним на цей час є актуальним проведення комплексних досліджень специфіки роботи систем автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу з метою створення пристроїв, побудованих з використанням сучасних досягнень в галузі напівпровідникової техніки, які дозволяють покращити техніко-економічні показники при експлуатації електрорухомого складу зі збільшеним за рахунок капітально-відновлювальних ремонтів терміном служби.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відповідності з головними напрямками розвитку науки та техніки які визначені постановою Кабінету Міністрів України "Про заходи державної підтримки залізничного транспорту", щорічними координаційними планами НІОКР "Укрзалізниці", а також концепцією і програмою реструктуризації на залізничному транспорті України, які підтверджені рішеннями колегії Міністерства транспорту України відповідно від 18.06.1997 р. (протокол №14) і 18.08.1998 р. (протокол №30).

Основні результати роботи отримані в ході виконання за участю автора в

43469

Науково-технічна бібліотека Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

НТБ ДНУЗТ

Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна науково-дослідних робіт: 24.36.97.98 "Розробка та виготовлення експериментального зразку електронного регулятора напруги генератора кіл керування електровоза ВЛ8"(№ ДР 0197U001942); ПР/НТО(Т)-02-11/НЮ-152725/02 „ Підвищення надійності систем керування локомотивами у сучасних умовах " (№ ДР 0103U006393).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення експлуатаційних показників систем автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу залізниць України шляхом розробки та впровадження вузлів керування напругою на сучасній елементній базі з використанням асинхронного способу керування.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішені наступні задачі:

– розроблена структурна схема системи живлення низьковольтних кіл з вузлом керування на сучасній елементній базі для дослідження автоколивальних режимів при різних типах релейних характеристик регулятора з урахуванням параметрів кола навантаження;

– виконано аналіз нових схемних рішень для розробки вузлів керування напругою з урахуванням перехідних процесів, які виявлені при дослідженні структурної схеми;

– розроблено рекомендації щодо вибору типів та параметрів силових напівпровідникових ключів, які задовольняють вимогам до апаратури кіл керування ЕРС з урахуванням специфіки їх роботи в структурі систем автоматичного регулювання напругою;

– розроблено принципові схеми вузлів керування систем автоматичного регулювання напругою на сучасній елементній базі та визначено їх експлуатаційні показники.

Об'єкт дослідження – процес функціонування низьковольтних кіл керування бортової системи живлення електрорухомого складу.

Предмет дослідження – вузол керування рівнем напруги бортової мережі електрорухомого складу.

Методи дослідження. Для рішення поставлених задач в роботі застосовано: аналіз та узагальнення раніше виконаних досліджень; методи математичного моделювання електромеханічних систем. Розрахунки та аналіз параметрів автоколивань виконано двома методами: Л. С. Гольдфарба та операторним методом Лапласа. Побудова кривої перехідного процесу напруги низьковольтних кіл, оцінка його якості виконано операторним методом Лапласа та на ПЕОМ з використанням спеціалізованої програми SIMULINK. Для розрахунку показників надійності використано методика середньо групових інтенсивностей відмов. Аналіз та розробка варіантів схемних рішень вузла керування виконано з використанням загально прийнятих методик теорії електричних кіл, електричних машин, промислової електроніки.

Обробку експериментальних даних та розрахунки по отриманим виразам виконано на ПЕОМ з використанням спеціалізованих програмних забезпечень: EXCEL, MATHCAD, SIMULINK.

В цілому, методологічною основою досліджень, що визначає їх структуру

НТБ ДНУЗТ

та організацію, є концепція доцільного системного підходу до рішення проблеми підвищення експлуатаційних показників систем автоматичного регулювання напруги кіл керування електрорухомого складу залізниць України. Експериментальна перевірка основних положень роботи виконана на діючому електрорухомому складі Придніпровської залізниці.

Наукова новизна одержаних результатів. До основних наукових результатів, які отримані автором особисто та виносяться до захисту, відносяться:

– розроблено математичну модель системи автоматичного регулювання напруги кіл керування з генератором постійного струму та регулятором, яка відрізняється від існуючих наявністю динамічних ланок з параметрами, характерними для сучасної напівпровідникової елементної бази, що дає можливість підвищити експлуатаційні показники вузлів керування напруги низьковольтних кіл ЕРС;

– вперше визначено умови здійснення асинхронного способу керування в системі автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу при використанні безінерційних релейних елементів, що дозволяє визначити частотні діапазони, які забезпечують ефективне використання напівпровідникових приладів та підвищення показників надійності;

– вперше встановлено аналітичний взаємозв'язок координат межі стійких автоколивань в системі автоматичного регулювання напруги при різних типах релейних характеристик регулятора вузла керування та динамічних параметрах низьковольтних кіл керування електрорухомого складу, що дає можливість виконати вибір необхідної релейної характеристики регулятора, яка б створювала стійкість системи в будь-якому діапазоні параметрів кола навантаження;

– виявлено закономірності нового ефекту, який полягає в отриманні стійких автоколивань за рахунок уведення в структурну схему системи автоматичного регулювання напруги аперіодичної ланки першого порядку, що дозволяє забезпечити працездатність системи та її точність в широких межах зміни параметрів кола навантаження, що є суттєвим для низьковольтного кола керування ЕРС.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Запропоновані структурні та функціональні схеми, отримані аналітичні співвідношення та інші результати досліджень рекомендовані для розробки вузлів керування напругою джерел живлення схем керування електрорухомим складом з використанням мікроконтролерів та надійних, повністю керованих напівпровідникових ключів.

2. Створена математична модель системи автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл придатна для аналізу асинхронного способу керування та виявлення параметрів автоколивань в системі при різних типах релейних характеристик регулятора та зміні динамічних параметрів низьковольтних кіл в широких межах.

3. Розроблені варіанти схемотехнічних рішень, які за рахунок використання сучасної елементної бази забезпечують підвищення надійності, точності регулювання, зниження споживаної електроенергії та витрат на обслуговування систем автоматичного регулювання напругою низьковольтних кіл електрорухомого складу.

4. Практична цінність підтверджена актами про впровадження результатів

НТБ ДНУЗТ

дисертаційної роботи на Придніпровській залізниці та в навчальному процесі в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Результати дисертаційної роботи прийняті до використання Київським електровагоноремонтним заводом.

Особистий внесок здобувача. Автор самостійно сформулював ціль, задачі дослідження, наукові положення, провів теоретичні та експериментальні дослідження. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. В роботі [4], яка написана у співавторстві, здобувачу належить аналіз перспективи використання сучасних силових напівпровідникових приладів з польовим керуванням в електричних колах електрорухомого складу. Роботи [1–3, 5 – 10] написані автором особисто.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися на: XI-й міжнародній науково-технічній конференції „Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика” (Харків, ХПТУ, 2003); XIII-й міжнародній науково-технічній конференції „Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика” (Одеса, ОНПУ, 2006); міжнародній науково-технічній конференції „Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації” (Кременчук, КДПУ, 2006); LXVI-й міжнародній науково-технічній конференції „Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, ДІІТ, 2006); XIV-й міжнародній науково-технічній конференції „Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика” (Дніпродзержинськ, ДДТУ, 2007); I–й міжнародній науково-технічній конференції „Электрификация железнодорожного транспорта” (Днепропетровск, ДИИТ, 2007); III –й міжнародній науково-технічній конференції „Электрификация транспорта” (Днепропетровск, ДИИТ, 2009); на міжкафедральному науковому семінарі кафедр «Електрорухомий склад залізниць», «Електропостачання залізниць», «Теоретичні основи електротехніки», «Автоматизований електропривод», «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», «Локомотиви» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2010 р.

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано в 13 наукових роботах, в тому числі: 9 – у фахових виданнях; 3 – в тезах доповідей на міжнародних конференціях. Отримано 1 деклараційний патент України та 1 патент України на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, що викладені на 150 сторінках машинописного тексту, містять 60 рисунків та 9 таблиць, перелік літературних джерел зі 117 найменувань, що викладені на 13 сторінках, 8 додатків на 39 сторінках. Повний об’єм дисертації складає 202 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність досліджень, сформульовано мету і завдання досліджень, приведено основні наукові положення та результати, що винесені на захист, а також відомості про практичне значення результатів роботи, їх

НТБ ДНУЗТ

апробацію і публікацію матеріалів дослідження.

У першому розділі показано сучасний стан досліджуваної задачі. Проведено аналіз експлуатаційних показників систем автоматичного регулювання напругою низьковольтних кіл електрорухомого складу. Показано, що на більшості ЕРС постійного струму, який зараз знаходиться в експлуатації на залізницях України, в системах автоматичного регулювання напруги використовують вузли з низькими показниками надійності, що веде до значних витрат коштів та часу на їх технічне обслуговування та ремонт. Тому для електрорухомого складу, який підлягає плановій модернізації, актуальною є розробка таких систем бортового живлення, які б не вимагали великих вкладень коштів.

Принциповим розв'язанням проблеми підвищення експлуатаційних показників систем автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл ЕРС є застосування в вузлах керування елементної бази, яка не потребує технічних обслуговувань, поточних ремонтів і яка дає змогу істотно поліпшити експлуатаційні показники у порівнянні з існуючими. Таким вимогам відповідають сучасні мікроконтролери та силові напівпровідникові ключові елементи з польовим керуванням. Однак, в виконаних на цей час дослідженнях відсутні результати, які б слугували підґрунтям для розробки вузлів керування систем автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу з використанням досягнень сучасної напівпровідникової техніки.

Аналіз показав, що удосконалення систем автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл ЕРС дає змогу: підвищити ймовірність підтримки напруги кіл керування в заданих нормативними документами межах та надійність їх функціонування, зменшити вагу та габарити, зменшити споживану вузлом керування енергії та навантаження на генератор керування, зменшити витрати на утримання електрорухомого складу за рахунок значного збільшення міжремонтних термінів та невикористання дефіцитних деталей.

Другий розділ присвячено дослідженню динамічних властивостей систем автоматичного регулювання напругою (САРН) низьковольтних кіл з генераторами постійного струму методами теорії автоматичного регулювання. Метою проведення таких досліджень є визначення умов виникнення і параметрів автоколивань в системі та їх залежності від типу характеристики регулятора та параметрів низьковольтних кіл живлення.

Робота існуючих систем автоматичного регулювання напруги на ЕРС базується на реалізації асинхронного способу керування, коли в колі керування встановлюються автоколивання напруги відносно його заданого середнього значення. Такий спосіб в існуючих системах автоматичного регулювання напруги реалізовано за рахунок використання електромеханічних релейних пристроїв, робота яких математично описується рівняннями третього та вище порядку. Розробка вузла керування САРН з використанням сучасної напівпровідникової елементної бази вимагає детального аналізу умов, при яких реалізується асинхронний спосіб. За рахунок швидкодії сучасні ключові елементи вважаємо безінерційними. На відміну від відомих моделей процесу реалізації автоколивального режиму це вимагає урахування впливу параметрів таких динамічних ланок, як якір генератора та навантаження, якими звичайно в моделях з електромеханічними регуляторами

НТБ ДНУЗТ

нехтують.

Для побудови математичної моделі, що відображає динамічні процеси в САРН, запропоновано узагальнену схему системи автоматичного регулювання напругою (див. рис. 1) без електромеханічних регуляторів опору реостатів в колах вузла керування. Вона забезпечує простоту керування процесом стабілізації напруги при використанні сучасних швидкодіючих мікроконтролерів та силових напівпровідникових ключових приладів.

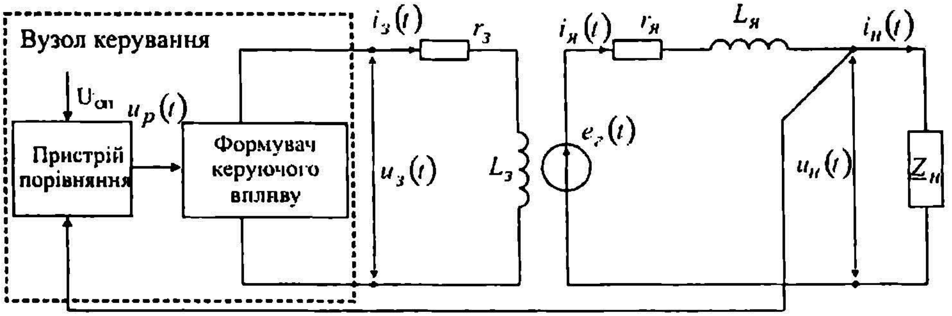

Рис. 1. Узагальнена схема системи автоматичного регулювання напругою низьковольтних кіл ЕРС

Запропонована схема має основне коло регулювання та одну вітку зворотного зв'язку по напрузі на навантаженні. Коло регулювання складається з послідовно з'єднаних: блоку порівняння опорного сигналу $U_{оп}$ та напруги на навантажені $u_н(t)$; блоку формування керуючого впливу на обмотку збудження генератора; обмотки збудження та якіря генератора керування; кола навантаження $\underline{Z}_н$.

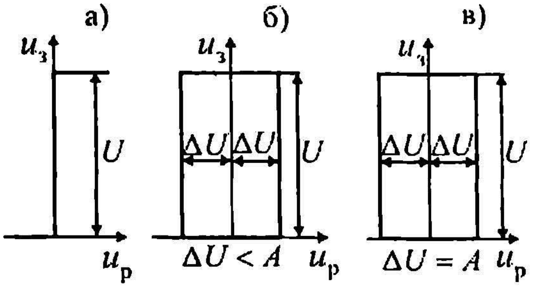

Рис. 2. Характеристики регулятора вузла керування САРН

U – вихідний сигнал при замкненому стані (В), ΔU – ширина петлі гістерезису (В), A – амплітуда автоколивань (В), $u_з$ – напруга збудження, $u_р$ – напруга розузгодження.

Вузол керування на основі мікроконтролера та напівпровідникового силового ключа дозволяє реалізувати три типи релейних характеристик: несиметричну ідеальну (рис. 2, а), несиметричну з гістерезисною петлею (рис. 2, б), несиметричну з гістерезисною петлею змінної ширини (рис. 2, в).

При розробці САРН не враховується вплив коливань напруги в контактній мережі на частоту обертання генераторів керування, оскільки на більшості ЕРС в якості приводу генераторів керування використовуються мотор-

НТБ ДНУЗТ

вентилятори, які, як відомо, пом'якшують вплив коливань напруги контактної мережі на частоту обертів двигуна. На електропоїздах постійного струму використовується двигун постійного струму для приводу генераторів, в якому вплив коливань напруги контактної мережі на частоту обертання зменшує обмотка паралельного збудження. Тому основним чинником, який визначає динамічні властивості САРН, є зміна параметрів кіл навантаження.

Аналіз функціонування кіл керування електрорухомого складу показав, що в умовах експлуатації для системи автоматичного регулювання напругою визначальними є декілька характерних варіантів одночасного паралельного ввімкнення споживачів, наведених в табл. 1. Для аналізу динамічних процесів використано еквівалентні параметри навантаження – стала часу навантаження $T_н$ та коефіцієнт навантаження $K_н$.

Таблиця 1

Варіанти режимів навантаження САРН

Назва споживача	Номер режиму навантаження				
	1	2	3	4	5
Елементи системи керування електровозом	+	+	+	+	+
Акумуляторна батарея	–	+	+	+	–
Прожектор	–	–	+	+	–
Прилади обігріву	–	–	–	+	–
Перетворювач рекуперації	–	–	–	–	+

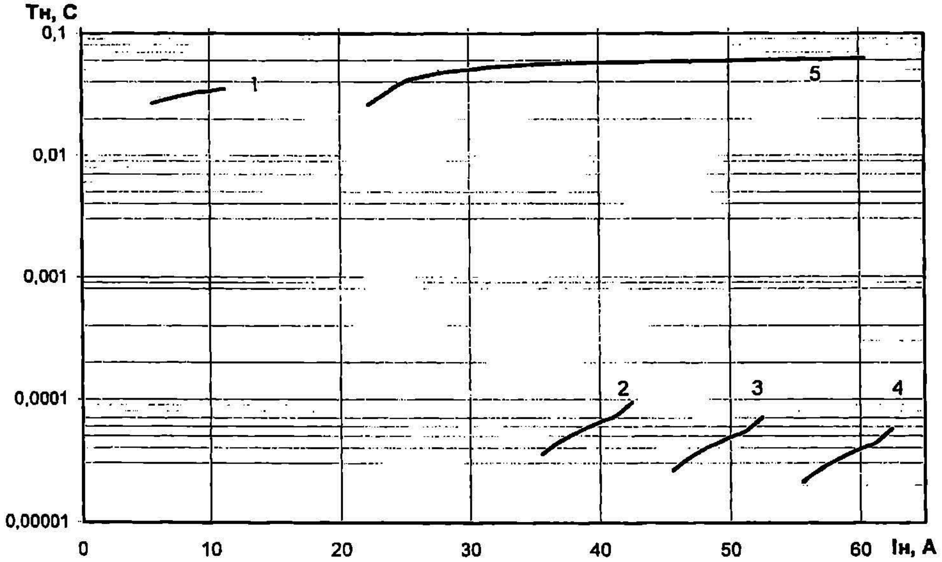

Рис. 3. Залежність сталої часу від струму навантаження при різних варіантах режимів навантаження САРН електровоза ВЛ10

НТБ ДНУЗТ

В роботі проведено дослідження параметрів кіл керування електровозів ВЛ8 та ВЛ10. Встановлено, що стала часу кіл навантаження цих електровозів може знаходитись під час роботи в межах 0,00002–0,062 с (див. рис. 3), а коефіцієнт навантаження в межах 0,1–1,3 (1/Ом) в залежності від режиму навантаження.

Для дослідження динамічних процесів в системі автоматичного регулювання напруги розроблено математичну модель функціонування системи у вигляді диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} u_p(t) = U_{\text{оп}} - u_н(t); \\ u_з(u_p) = \begin{cases} 0, u_p(t) < 0; \\ U, u_p(t) > 0; \end{cases} \\ u_з(t) = r_з \cdot i_з(t) + L_з \dfrac{di_з}{dt}; \\ e_г(t) = r_я \cdot i_я(t) + L_я \dfrac{di_я}{dt} + u_н(t) = K_г \cdot i_з(t); \\ u_н(t) = i_н(t) \cdot \underline{Z}_н = r_н \cdot i_н(t) + L_н \dfrac{di_н}{dt} = e_г(t) - \Delta u_я(t); \\ \Delta u_я(t) = r_я \cdot i_я(t) + L_я \dfrac{di_я}{dt}, i_я(t) = i_н(t), \end{cases} \tag{1}$$

де U – середнє значення напруги кіл керування ЕРС;

$u_p(t)$ – напруга розузгодження;

$U_{\text{оп}}$ – опорна напруга;

$u_з(t)$, $i_з(t)$– напруга та струм в колі обмотки збудження;

$L_з$, $r_з$ – індуктивність та активний опор обмотки збудження;

$e_г(t)$ та $i_я(t)$– відповідно е.р.с. генератора та струм кола якоря;

$L_я$, $r_я$– індуктивність та активний опір кола якоря;

$K_г$ – коефіцієнт передачі, який визначається по характеристиці холостого хода генератора;

$L_н$ и $r_н$– індуктивність та активний опір кола навантаження;

$i_н(t)$– струм кола навантаження;

$\Delta u_я(t)$– падіння напруги в колі якоря.

Запропонована математична модель у вигляді структурної схеми системи автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл ЕРС показана на рис. 4. Вона подана у прийнятому в теорії автоматичного керування вигляді, коли основні динамічні ланки відображаються як передаточні функції.

Основним результатом виконаного в дисертації дослідження динамічних процесів є визначення умов існування автоколивань в системі регулювання, тобто умови реалізації асинхронного способу керування при використанні сучасної елементної бази.

НТБ ДНУЗТ

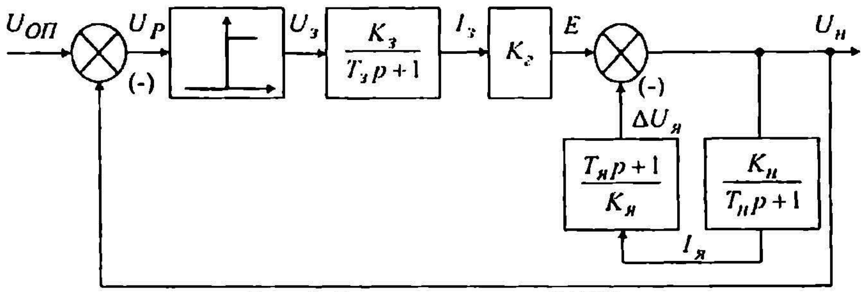

Рис. 4. Структурна схема САРН

$K_з$ – коефіцієнт передачі обмотки збудження генератора; $T_з$ – стала часу обмотки збудження; $K_я$ – коефіцієнт передачі обмотки якоря; $T_я$ – стала часу кола обмотки якоря; $U_{оп}$ – опорна напруга ; $U_р$ – напруга розузгодження; $U_з$ – напруга збудження; $I_з$ – струм збудження; $U_н$ – напруга на навантаженні; E – е.р.с. генератора; $I_я$ – струм якоря; $\Delta U_я$ – падіння напруги в обмотках якоря.

Для розв'язання цієї задачі застосовано графоаналітичний метод Гольдфарба з використанням гармонічної лінеаризації нелінійних елементів, в якості яких використано релейні елементи (див. рис. 2), які подають сигнал керування на лінійну частину системи

$$W_л(p)=\frac{K_г K_з K_я (T_н p+1)}{(T_з p+1)(p(K_я T_н+K_н T_я)+(K_я+K_н))}. \qquad (2)$$

Дослідженням годографів Гольдфарба встановлено, що в разі ідеальної релейної характеристики вузла керування САРН реалізація автоколивань в системі не можлива. Автоколивання можливі в системі при використанні релейного елементу з гістерезисом змінної ширини. При цьому основними факторами які впливають на це є параметри низьковольтних кіл $T_н$ та $K_н$. Частота автоколивань обчислюється як

$$\omega=\sqrt{\frac{K_я+K_н}{K_н[T_з T_я-T_н(T_з+T_я)]-T_н^2 K_я}}. \qquad (3)$$

Останній вираз дає можливість отримати співвідношення

$$K_н=\frac{T_н^2 K_я}{T_з T_я-T_н(T_з+T_я)}, \qquad (4)$$

що визначає межу здійснення стійких автоколивань при використанні вказаної релейної характеристики.

В дисертації розрахована залежність $K_н(T_н)$ для електровозів ВЛ8 та ВЛ10 (рис. 5) з використанням запропонованої структурної схеми (рис. 4) та існуючих параметрах навантаження.

Для отримання автоколивального режиму при існуючих параметрах навантаження необхідно збільшити ступінь полінома знаменника передатної функції лінійної частини системи $W_л(p)$. Для цього часто застосовують корекцію системи

НТБ ДНУЗТ

за рахунок введення зворотного зв'язку. Але при такому підході збільшується кількість елементів в системі, що зменшує загальну її надійність.

Для отримання стійких автоколивань в дисертації пропонується спосіб послідовної корекції системи. Така корекція полягає в імітації програмними засобами мікроконтролера динамічної ланки для збільшення ступеня полінома знаменника передатної функції лінійної частини на один порядок, як це показано на рис. 6. Останнє не вимагає додаткових схемних рішень, що підвищує надійність системи.

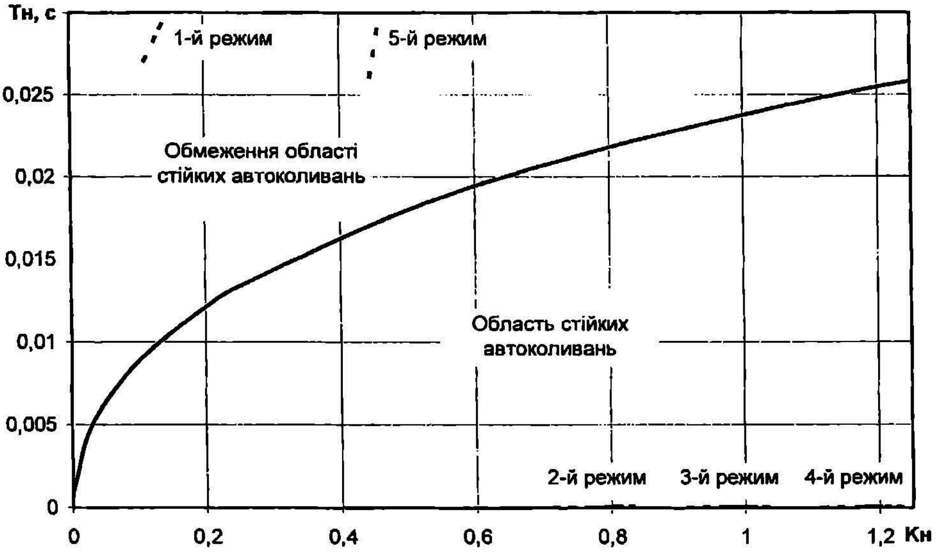

Рис. 5. Межа здійснення автоколивань в САРН при використанні релейної характеристики регулятора з петлею гістерезису змінної ширини

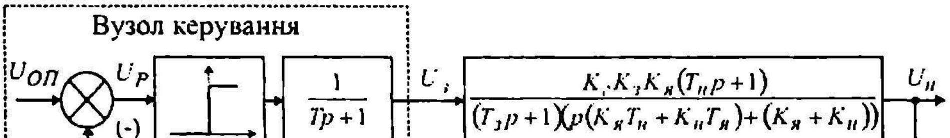

Рис. 6. Структурна схема САРН з послідовною корекцією

В дисертації вивчено можливість використання інтегруючої та аперіодичної ланок першого порядку. Дослідження показали, що використання інтегруючої ланки не дозволяє отримати стійких автоколивань в САРН низьковольтних кіл електрорухомого складу. Додавання аперіодичної ланки першого порядку забезпечує стійкі автоколивання при будь якому співвідношенні динамічних параметрів кіл керування та використанні релейних характеристик з гістерезисом любого

НТБ ДНУЗТ

типу. Виключенням є ідеальна релейна характеристика, при використанні якої автоколивання здійснюються при деяких співвідношеннях параметрів навантаження.

Частота та амплітуда автоколивань, а також межа значень параметрів навантаження, при яких можливий асинхронний спосіб керування при використанні ідеального реле, визначаються як:

$$\omega = \sqrt{\frac{T_н a_4 - a_3}{T_н a_2 - a_1}}, \tag{5}$$

$$A = \frac{-2UK\left(\left(a_4 - a_2\omega^2\right) + T_н\omega\left(a_3\omega - a_1\omega^3\right)\right)}{\pi\left(\left(a_4 - a_2\omega^2\right)^2 + \left(a_3\omega - a_1\omega^3\right)^2\right)}, \tag{6}$$

де $a_1 = TT_з\left(K_я T_н + K_н T_я\right)$; $a_2 = TT_з\left(K_я + K_н\right) + \left(T + T_з\right)\left(K_я T_н + K_н T_я\right)$; $a_3 = \left(T + T_з\right)\left(K_я + K_н\right) + K_я T_н + K_н T_я$; $a_4 = K_я + K_н$; $K = K_г K_з K_я$;

T – стала часу аперіодичної ланки першого порядку.

Частоту та амплітуду автоколивань в САРН низьковольтних кіл ЕРС при застосуванні релейної характеристики з петлею гістерезису постійної ширини можна визначити розв'язанням трансцендентного рівняння

$$\frac{2UK\left(\left(a_4 - a_2\omega^2\right) + T_н\omega^2\left(a_3 - a_1\omega^2\right) + j\omega\left(T_н\left(a_4 - a_2\omega^2\right) - \left(a_3 - a_1\omega^2\right)\right)\right)}{\left(\left(a_4 - a_2\omega^2\right)^2 + \left(a_3\omega - a_1\omega^3\right)^2\right)} +$$

$$+ \frac{\pi A}{\sqrt{1 - \frac{\Delta U}{A}\left(\frac{\Delta U}{A} + j\right)}} = 0. \tag{7}$$

Використання в колах вузла керування релейної характеристики з петлею гістерезису змінної ширини не є доцільним, тому що в цьому разі мають місце автоколивання низької частоти, а їх амплітуда виходить за межі, допустимі стандартами якості електроенергії в низьковольтних колах електрорухомого складу.

В результаті виконаних досліджень для вузлів керування систем автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу рекомендовано використання релейної характеристики з постійним гістерезисом та послідовної корекції системи аперіодичною ланкою першого порядку. Так, для електровозів ВЛ8 та ВЛ10 рекомендовано релейні характеристики регулятора вузла керування з гістерезисом постійної ширини 0,1В±10%, а сталу часу аперіодичної ланки 0,01...0,001 с, що дозволяє отримати коливання напруги до 2% середнього встановленого стандартами значення та частоти комутації силового ключа вихідного каскаду до 1000 Гц при будь-якому співвідношенні динамічних параметрів кіл навантаження.

В дисертаційній роботі проаналізовано перехідні процеси в розробленій САРН низьковольтних кіл електрорухомого складу. Дослідження проводили

НТБ ДНУЗТ

шляхом побудови кривої перехідного процесу в системі з параметрами електровозу ВЛ8 операторним методом. Завдяки тому, що використаний метод дослідження відноситься до точних методів, знайшли підтвердження висновки щодо параметрів автоколивань, які отримані методом Гольдфарба та визначені такі показники якості перехідного процесу в системі, як перерегулювання та час першого погодження. Показано, що перерегулювання САРН низьковольтних кіл електрорухомого складу залежить від сталої часу аперіодичної ланки першого порядку. Для кіл електровозів ВЛ8 та ВЛ10 рекомендовано підтримка сталої часу в межах 0,01–0,001 с. При цьому перерегулювання становить 3–0,4 % відповідно.

Результати розрахунків вказаними вище методами знайшли підтвердження в результаті моделювання на ЕОМ динамічних процесів в розробленій структурі в середовищі програми Simulink 5/6.

В дисертації також досліджено можливість реалізації асинхронного способу керування під час стабілізації напруги низьковольтних кіл ЕРС шляхом підключення паралельно колу навантаження конденсатора. Встановлено, що в цьому разі автоколивання можливі при використанні ідеальної релейної характеристики регулятора, однак амплітуди автоколивань при збільшені сталої часу кола навантаження збільшуються до значень, які перевищують допустиме діючими стандартами. Ці висновки підтверджено дослідженнями роботи запропонованої САРН на електровозах ВЛ8 та електропоїздах ЕР1, ЕР2 Придніпровської залізниці.

У третьому розділі виконано аналіз варіантів технічної реалізації вузла керування САРН з метою розробки рекомендацій щодо вибору схемних рішень цього пристрою на основі сучасної елементної бази з урахуванням особливостей низьковольтних кіл ЕРС.

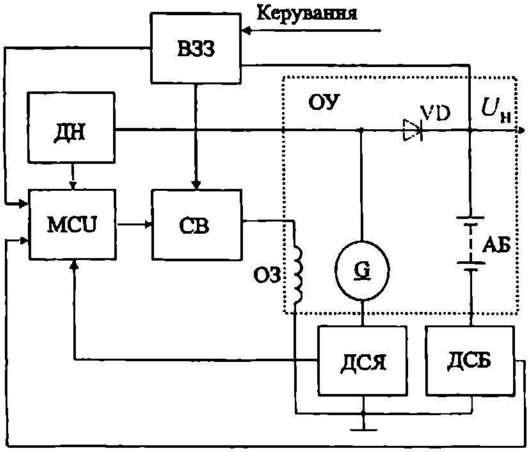

Рис. 7. Функціональна схема системи автоматичного регулювання напругою низьковольтних кіл

В роботі встановлено, що вузол керування систем автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл ЕРС, який відповідає сучасним вимогам, повинен: забезпечувати реалізацію релейної характеристики регулятора з петлею гістерезису постійної ширини; містити в своїй структурі аперіодичну ланку першого порядку, включену послідовно в коло регулятора; забезпечити стійкі автоколивання в САРН, необхідну стабільність напруги та частоту роботи силового ключа до 1 кГц; забезпечувати необхідні умови збудження генератора керування і мінімізацію кількості конструктивних елементів вузла керування.

Для розробки варіантів принципових схем в якості основи запропоновано представлену на рис. 7 узагальнену функціональну схему САРН. В схемі перед-

НТБ ДНУЗТ

бачено надходження до мікроконтролера (MCU) інформації від датчика напруги (ДН) в колі керування, датчика струму заряду акумуляторної батареї (ДСБ) та датчика струму якоря (ДСЯ) генератора керування. Схема має вузли запуску-захисту (ВЗЗ) та силовий вузол (СВ).

Дослідження процесу заряду акумуляторних батарей електрорухомого складу показали, що на більшості існуючих систем автоматичного регулювання напруги не забезпечується контроль та обмеження струму заряду батарей, чого вимагають діючі нормативні документи. При значному розряді батареї спостерігається кидок зарядного струму, який в 5–6 разів перевищує припустиме значення. Тому при розробці нових схемних рішень слід обов'язково передбачити контроль та обмеження цього струму. В такому випадку, гарантується відсутність недопустимого перевантаження струмом обмотки якоря генератора в умовах експлуатації та відпадає необхідність в його контролі та обмеженні.

Загально відомо, що силовий вузол (СВ) є основним пристроєм, який впливає на показники потужності, вартості та надійності систем на основі напівпровідникових елементів. Виявлено, що при розробці схемних рішень для систем автоматичного регулювання кіл керування слід враховувати наступні особливості, які дають обмеження до використання всіх існуючих варіантів:

– генератори керування, які використовуються на електрорухомому складі залізниць, конструктивно виконуються з трьома затискачами, що вимагає використання силового ключа побудованого за схемою верхнього плеча або з гальванічним відділенням силового вузла від системи керування, а це не дозволяє реалізувати асинхронний спосіб керування;

– режим самозбудження генераторів керування обмежує можливість використання силових каскадів на основі приладів з польовим керуванням.

З урахуванням вказаних особливостей проаналізовані схемні рішення на основі біполярних та IGBT- транзисторів.

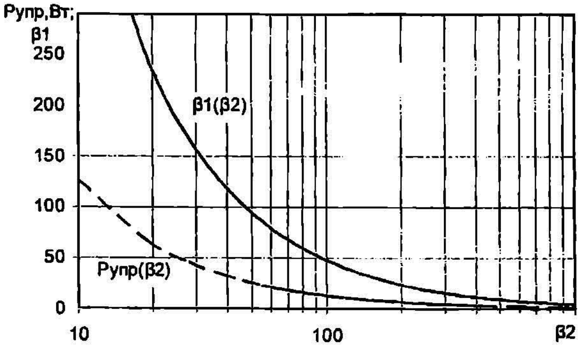

Рис. 8. Умови стійкої роботи біполярного транзисторного ключа на основі пари Дарлінгтона

Дослідження показали, що з існуючих типових схем найбільш придатна для використання в вузлі керування САРН низьковольтних кіл ЕРС схема біполярного транзисторного ключа на основі пари Дарлінгтона з транзисторами структур *n-p-n* на вході та *p-n-p* на виході схеми. Схеми з використанням таких силових вузлів дозволяють реалізувати режим самозбудження генератора керування та асинхронний спосіб регулювання напруги. Однак, в ході дослідження на діючому електрорухомому складі були виявлені випадки нестійкої роботи, які приводили

НТБ ДНУЗТ

до виходу її з ладу. Як показало детальне вивчення, щоб уникнути цього явища необхідно забезпечити виконання умови $\beta_1\beta_2 = const$ (рис. 8), де β_1 та β_2 – відповідно коефіцієнти передачі біполярних транзисторів в ключовому режимі по схемі з загальним емітером. Це можливо при використанні типового графоаналітичного розрахунку ключового режиму транзисторів для кожного окремого електровоза з попереднім зняттям реальних характеристик генератора керування, що не доцільно практично. Крім того, при малих коефіцієнтах передачі вихідного транзистора необхідна потужність керування (рис. 8) силовим вузлом рівна потужності, що споживається вугільними регуляторами напруги. За вказаними недоліками схема не рекомендована до використання в якості вихідного каскаду вузлів керування САРН електрорухомого складу залізниць.

Як показали виконанні дослідження, для силового вихідного каскаду доцільне використання сучасних біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT). Однак, в цьому випадку не можливе самозбудження генератора керування через кола IGBT- транзисторів, що необхідноураховувати при організації живлення схеми вузла керування.

Основні електричні параметри силового каскаду для вузла керування систем автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл ЕРС визначаються максимальною наведеною імпульсною завадою в колах електрорухомого складу $U_{зав.max}$, максимальним значенням струму колектора силового транзистора $I_{K\,max}$ та максимально частотою автоколивань в системі f_{max}.

$$U_{KE\,max} \geq \frac{U_{зав.max}}{0{,}8},\ I_{K\,max} \geq \frac{I_{з\,max}}{0{,}8}, \qquad (8)$$

де $U_{KE\,max}$ – максимальне значення напруги між виводами колектора та емітера обраного транзистора;

$I_{з\,max}$ – максимальне значення струму обмотки збудження генератора керування ЕРС.

Так, для САРН електровоза ВЛ8 в яких імпульсні повторні перенапруги на затисках системи живлення сягають 300 В рекомендовано використання силового вузла на основі IGBT- транзисторів 4-го класу зі струмом колектора не менш 11 А серії *Standart*. Дослідження показали, що в разі застосування транзисторів зі струмом не менш 14 А схему можна розглядати як уніфікований вузол керування для електровозів ВЛ8, ВЛ10 та електропоїздів ЕР1, ЕР2.

За результатами виконаних досліджень розроблено два варіанта схемних рішень, на які отримані деклараційний патент України та патент на корисну модель. Перший варіант з застосуванням дискретної елементної бази пройшов експлуатаційні випробування на діючому електрорухомому складі. Другий варіант схеми на основі сучасних мікроконтролерів та IGBT- транзисторів розроблено з урахуванням рекомендацій дисертації та випробувань першої схеми.

У четвертому розділі виконано порівняльний аналіз експлуатаційних показників існуючих вузлів керування САРН електрорухомого складу та з розробленими на сучасній елементній базі.

Проведено розрахунок показників надійності розроблених схем та вузлів керування типу СРН8 електропоїздів ЕР1, ЕР2.

НТБ ДНУЗТ

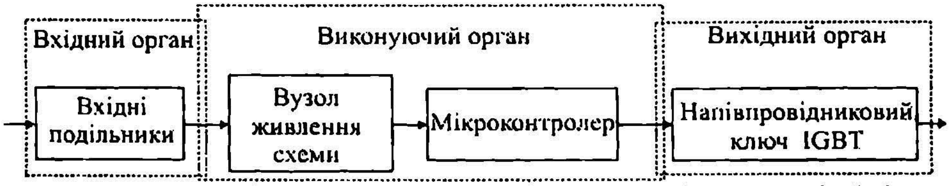

Рис. 9. Логічна схема вузла керування на сучасній елементній базі

Запропоноване схемне рішення на сучасній елементній базі представлене на рис. 9 у вигляді послідовно з'єднаних вузла живлення, цифрової частини та силового вузла. При розрахунку інтенсивності відмов розроблених схем використано методику, в основі якої лежить середньогрупова інтенсивність відмов елементів. У табл. 2 та табл. 3 представлені показники надійності запропонованої схеми та діючих на ЕРС.

Таблица 2

Показники безвідмовності вузлів керування САРН ЕРС

Тип вузла	Інтенсивність відмов λ_i, годин$^{-1}$	Середнє напрацювання на відмову, годин	Ймовірність безвідмовної роботи P(t) через 7 років експлуатації (22995 годин)
СРН8 (ЕР1, ЕР2)	$1{,}05 \cdot 10^{-3}$	950	$3{,}26 \cdot 10^{-11}$
Розроблена	$4{,}1 \cdot 10^{-6}$	240000	0,91

Таблиця 3

Показники ремонтопридатності САРН ЕРС

Тип вузла	Інтенсивність відновлення μ_B, годин$^{-1}$	Час відновлення, годин	Ймовірність відновлення $P_B(t)$ за одну годину
СРН8	1,317	0,759	0,732
Розроблена	4,808	0,235	0,985

Аналіз показав, що імовірність безвідмовної роботи схеми на сучасній елементній базі досягне величини 0,954 через ≈11,5 тис. годин, що складає половину терміну експлуатації електропоїздів ЕР1 та ЕР2 між капітальними ремонтами. Для блоків СРН8 імовірність безвідмовної роботи досягає такої ж величини за термін між технологічними обслуговуваннями за формою ТО3. Це доводить, що у випадку впровадження схемних рішень на сучасній елементній базі можна виключити з ремонтів форми ТО3 та ПР1, що дозволяє отримати економію коштів тільки на виплату оплати праці за тарифом близько 30 тис. грн. на одну електросекцію на 1 млн. км пробігу. Крім суттєвого підвищення показників надійності та економічних показників з цим пов'язаних, в колах кожного вузла керування САРН низьковольтних кіл досягається економія електричної енергії до 800 кВт·год на рік за рахунок виключення реостатного регулювання, що покращує експлуатаційні показники електрорухомого складу.

НТБ ДНУЗТ

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень вирішена актуальна науково-практична задача підвищення експлуатаційних показників систем автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу, що забезпечує підвищення його надійності і зниження експлуатаційних витрат шляхом розробки та впровадження схемних рішень на сучасній елементній базі.

Основні наукові результати, висновки і практичні рекомендації дисертаційної роботи полягають в наступному.

1. Існуючі вузли керування систем автоматичного регулювання напругою низьковольтних кіл електрорухомого складу мають низькі експлуатаційні показники, що обумовлює високі витрати на їх утримання.
2. Задача поліпшення експлуатаційних показників може бути вирішена за рахунок використання вузлів керування, виконаних на сучасній напівпровідниковій елементній базі – мікроконтролерах і силових ключових приладах та реалізації на основі схемних рішень з використанням цих приладів асинхронного способу керування режимом стабілізації напруги кіл керування.
3. Для забезпечення можливості дослідження режиму автоколивань розроблена вдосконалена математична модель і запропонована структурна схема системи автоматичного регулювання напруги, в якій відсутні динамічні блоки, характерні для електромеханічних регуляторів.
4. Навантаження САРН електрорухомого складу має активний і активно-індуктивний характер, а еквівалентна стала часу кола навантаження для існуючих електровозів може змінюватися в діапазоні 0,00001...0,1 с, що необхідно враховувати при визначенні умов асинхронного способу керування.
5. Автоколивання в системі автоматичного регулювання напруги кіл керування електрорухомого складу можна забезпечити за рахунок включення послідовно з регулятором аперіодичної ланки першого порядку, однак стійкість автоколивань забезпечується при застосуванні регулятора, який забезпечує релейну характеристику з постійною шириною петлі гістерезису при будь-якому співвідношенні параметрів кола навантаження.
6. Розроблений в результаті проведених досліджень вузол керування систем автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу дозволяє обмежити амплітуду автоколивань в межах ±2 % і отримати перерегулювання напруги не більше 3 % від заданого значення.
7. Застосування в якості силового вихідного каскаду САРН вузла керування сучасних напівпровідникових ключів виключає можливість самозбудження генератора керування, тому в роботі запропоновано використовувати вузол запуску, що забезпечує збудження генератора за рахунок короткочасного включення його обмотки збудження на стороннє джерело енергії.
8. Ключ на біполярних транзисторах по схемі Дарлінгтона не може використовуватися як вихідний вузол регулятора систем автоматичного регулювання ЕРС, оскільки для забезпечення режиму стабілізації напруги потрібна недосяжна на практиці точність розрахункових параметрів транзисторів.
9. Застосування запропонованих схемних рішень регулятора системи автоматич-

НТБ ДНУЗТ

ного регулювання напруги низьковольтних кіл дозволяє збільшити ймовірність безвідмовної роботи вузлів керування до 2,7 разів, підвищити точність підтримки напруги кіл керування більш ніж в 2,6 рази та виключити операції налагодження, понизити навантаження генератора від вузла керування до 4 %.

10. Впровадження перспективних вузлів керування САРН дозволяє істотно збільшити міжремонтні періоди і знизити на два порядки витрати на їх утримання.

Основні положення та результати дисертації опубліковано у таких працях.

1. Белухин Д. С. Блок защиты цепей управления электроподвижным составом от повышенного напряжения / Д. С. Белухин // Транспорт. Сб. науч. трудов Днепропетровского государственного технического университета железнодорожного транспорта. – Дн-вск: Наука і освіта. - 1999. – Вып.1. – С.14-20.
2. Белухин Д. С. Формирование режимов работы транзисторного ключа электронного регулятора напряжения / Д. С. Белухин // Транспорт. Зб. наук. праць. – Дн-ськ: Наука і освіта, 2001. – Вип. №7. – С. 25-27.
3. Белухин Д. С. Модель универсального узла управления вспомогательными машинами электроподвижного состава/ Д. С. Белухин //Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика». – Харків: НТУ "ХПІ", 2003, – № 10. – Т.2. – с.477–478.
4. Муха А. М. Перспективна елементна база електричних кіл електрорухомого складу залізниць України./ А. М. Муха, Д. С. Білухін // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Вип.4/2006 (39). Частина 1. – С. 32 – 34.
5. Білухін Д. С. Збудження генераторів постійного струму електрорухомого складу залізниць з біполярним транзистором у колі обмотки збудження. /Д. С. Білухін // Гірнича електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. –2006. – Вип.77. - С. 139-144.
6. Білухін Д. С. Конструктивні особливості та експлуатаційні показники регуляторів напруги вітчизняного електрорухомого складу постійного струму/ Д. С. Білухін // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007 – Вип. 15.– С. 19–22.
7. Білухін Д. С. Структурна схема системи автоматичного регулювання напруги електрорухомого складу залізниць з генераторами постійного струму /Д. С. Білухін // Гірнича електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. –2007. – Вип.78. - С.63-68.
8. Білухін Д. С. Динамічні властивості джерел живлення електрорухомого складу з генераторами постійного струму /Д. С. Білухін// Зб. наук. праць Дніпродзержинського державного технічного університету (Технічні науки). Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика». – Дніпродзержинськ: ДДТУ. 2007. – С. 145-156.
9. Патент на корисну модель 33080 України, МПК (2006) H02P9/14. Вузол керування автономною електроенергетичною установкою / Білухін Д. С.; заявник

73460

Дніпропетровського ... університету ... імені академіка В. Лазаряна

НТБ ДНУЗТ

та утримувач патенту Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – № u200801407; подано 04.02.2008, опубл. 10.06.2008. Бюл. №11.

10. Білухін Д. С. Дослідження можливості одержання автоколивань в системі автоматичного регулювання напруги кіл управління з релейним регулятором на основі силового ключа /Д. С. Білухін// Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 27. – С. 47-50.

Додаткові праці.

1. Деклараційний патент на винахід 33809А України, МПК 6 Н02Р9/30. Регулятор напруги генераторного джерела живлення / Лось В. А., Дубинець Л. В., Білухін Д. С.; заявник та патентообладач Дніпропетр. держ. техн. ун-т залізн. тр-ту - №99041921; Подано 06.04.1999. Опубл. 15.02.2001. Бюл. №1.
2. Білухін Д. С. Регулятори генераторів управління електрорухомого складу постійного струму. / Білухін Д. С. // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: LXVI междунар. науч.-практ. конф.: тезисы докл. – Дн-вск – 2006. – С.57-58.
3. Білухін Д. С. Функціональна схема уніфікованого регулятора напруги генераторів управління електрорухомого складу постійного струму/ Д. С. Білухін // Міжвідомчий науково-технічний збірник: Електромашинобудування та електрообладнання.– К.: Техніка, 2006. – Вип.66. –С. 150 – 152.
4. Білухін Д. С. Підвищення ефективності експлуатації джерел живлення з генераторами постійного струму електрорухомого складу /Д. С. Білухін// Электрификация железнодорожного транспорта: междунар. науч.-техн. конф.: тезисы докл. – Дн-вск, 2007. – С. 6.
5. Белухин Д. С. Использование современных полупроводниковых ключей в системах автоматического регулирования напряжения цепей управления / Д. С. Белухин// Электрификация транспорта: междунар. науч.-техн. конф.: тезисы докл. – Дн-вск, 2009. – С. 7.

АНОТАЦІЯ

Білухін Д. С. Підвищення експлуатаційних показників систем автоматичного регулювання напругою низьковольтних кіл електрорухомого складу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2010.

Дисертація присвячена дослідженням, пов'язаним з підвищенням експлуатаційних показників систем автоматичного регулювання напругою низьковольтних кіл діючого електрорухомого складу залізниць України. Запропоновано при модернізації вузлів управління вказаних систем використовувати сучасну напівпровідникову елементну базу.

НТБ ДНУЗТ

Показано, що нові схемні рішення можуть реалізовувати асинхронний спосіб керування при стабілізації напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу. Для визначення умов реалізації цього способу керування вдосконалена математична модель процесу регулювання напругою низьковольтних кіл електрорухомого складу при використанні в колах вузла керування сучасних мікроконтролерів та силових напівпровідникових приладів.

Розроблено рекомендації до проектування схемних рішень вузлів керування та варіанти схемних рішень з використанням сучасних мікроконтролерів та IGBT- транзисторів. Порівняльний аналіз по основних експлуатаційних показниках підтвердив доцільність проведення модернізації вказаних систем на запропоновані схемні рішення.

Наведено рекомендації по практичному застосуванню результатів роботи та показана техніко-економічна ефективність їх використання.

Ключові слова: надійність, структурна схема, математична модель, параметри автоколивань, варіанти схем.

АННОТАЦИЯ

Белухин Д. С. Повышение эксплуатационных систем автоматического регулирования напряжения низковольтных цепей электроподвижного состава. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.09 – электротранспорт. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2010.

Диссертация посвящена исследованиям, направленным на повышение эксплуатационных показателей систем автоматического регулирования напряжения низковольтных цепей действующего электроподвижного состава железных дорог Украины. Чтобы получить наибольший эффект от затрат на капитально-восстановительные ремонты, которые проводятся предприятиями Укрзализныци, к ним целесообразно приурочить модернизацию деталей и узлов электроподвижного состава, прежде всего таких, модернизация которых не требует больших капитальных вложений, но позволяет снизить эксплуатационные расходы на содержание электроподвижного состава. Одним из таких узлов является морально и физически устаревшая система автоматического регулирования напряжения низковольтных цепей ЭПС постоянного тока, в частности электровозов ВЛ8, которые составляют основную долю парка грузовых электровозов постоянного тока. В диссертации предложено для модернизации узлов управления указанных систем использовать современную полупроводниковую элементную базу. Применение современной элементной базы позволяет повысить надежность систем автоматического регулирования напряжения цепей управления электроподвижного состава, добиться требуемой действующими стандартами точности поддержания заданного напряжения, уменьшить вес и габариты узлов управления, уменьшить потребляемую узлом электрическую энергию и снизить нагрузку генератора управления, снизить расходы на содержания электроподвижного состава за счет

НТБ ДНУЗТ

увеличения срока межремонтных периодов и неиспользования дефицитных материалов.

Показано, что новые схемные решения могут реализовывать асинхронный способ управления с целью стабилизации напряжения низковольтных цепей электроподвижного состава. Для определения условий реализации этого способа управления усовершенствована математическая модель процесса регулирования напряжения низковольтных цепей электроподвижного состава при использовании в цепях узла управления современных микроконтроллеров и силовых полупроводниковых приборов. Разработанная математическая модель исключает динамические параметры элементов, характерные для традиционных электромеханических регуляторов, что вводит ограничение на применимость асинхронного способа управления. Ограничение вводится широким диапазоном изменения параметров цепи нагрузки, что характерно для низковольтных цепей управления электроподвижного состава. Однако, современные микроконтроллеры позволяют реализовать программно требуемые параметры динамических элементов без дополнения схемных решений элементами обратных связей. В диссертации предложен способ программной коррекции системы автоматического регулирования, при которой имитируется апериодическое звено первого порядка, подключаемое последовательно с релейным регулятором внутри самого микроконтроллера, что не влияет на снижение общей надежности схемных решений, но позволяет реализовать асинхронный способ управления при любом соотношении параметров цепи нагрузки.

Исследованы параметры автоколебаний в системе автоматического регулирования напряжения низковольтных цепей управления электроподвижного состава железных дорог при разных типах релейных характеристик регулятора узла управления. Показано, что наиболее целесообразным является применение релейной характеристики с постоянным гистерезисом, что позволяет получить устойчивые автоколебания в системе с допустимыми амплитудами.

Установлено, что в качестве силовых ключей выходного каскада узла управления на данном этапе наиболее эффективно применение силовых полупроводниковых приборов с полевым управлением. Разработаны рекомендации по проектированию схемных решений узлов управления. Разработаны принципиальные схемные решения с использованием современных микроконтроллеров и IGBT- транзисторов с учетом условий эксплуатации на электроподвижном составе.

Проведенный сравнительный анализ по основным эксплуатационным показателям подтвердил целесообразность проведения модернизации указанных систем по предложенным схемным решениям. Внедрение разработанных схем позволяет увеличить межремонтный период до 3 раз, исключить дефицитные материалы, применяемые при ремонте традиционных узлов, снизить нагрузку генератора управления до 4-х %, получить стабильность напряжения без промежуточных настроек во время эксплуатации.

Эксплуатация опытных образцов предлагаемой аппаратуры в реальных условиях на действующем электроподвижном составе подтвердила ее высокие технико-экономические показатели и правильность выводов и рекомендаций сде-

НТБ ДНУЗТ

ланных в диссертации.

Результаты диссертационной работы приняты к использованию в открытом акционерном обществе «Киевский электровагоноремонтный завод», на Приднепровской железной дороге, учебном процессе в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Ключевые слова: надежность, структурная схема, математическая модель, параметры автоколебаний, варианты схем.

ABSTRACT

Belukhin D. C. Increase of operating indexes of the systems of automatic control of tension of low-voltage chains of electro rolling-stock.. - the Nanuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.22.09 – Electric Transport. The Dnipropetrovsk national university of a railway transportation of a name of academician V.Lazarjana, Dnipropetrovsk, 2010.

Increase of operating indexes of the systems of automatic control of tension of low-voltage chains of electro-mobile composition.

Dissertation is devoted researches, to related to the increase of operating indexes of the systems of automatic control of tension of low-voltage chains of electro-mobile composition of railways of Ukraine. It is suggested for modernization of knots of management of the indicated systems to draw on modern accomplishments of semiconductor technique.

New schematics can realize the asynchronous method of management during stabilizing of tension of low-voltage chains of electro-mobile composition. For determination of terms of realization of this method of management the mathematical model of process of adjusting of tension is improved at the use in the chains of knot of management of modern microcontrollers and power semiconductor devices.

Developed recommendation on planning of schematics of management knots and the variants of schematics are developed with the use of modern microcontrollers and IGBT- of transistors. The conducted comparative analysis on basic operating indexes confirmed expedience of lead through of modernization of the indicated systems on the offered schematics.

Resulted recommendation on practical application of job performances. Technical and economic efficiency is rotined.

Keywords: reliability, flow diagram, mathematical model, autooscillations, variants of charts.

НТБ ДНУЗТ

БІЛУХІН ДМИТРО СЕРГІЙОВИЧ

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ КІЛ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 28.10.2010 р.
Формат паперу 60×48 1/16. Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0.

Замовлення № 1976. Тираж 100 пр.

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
49010, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010.

www.diitrvv.dp.ua

НТБ ДНУЗТ

Сканувала Камянська Н.О.