

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.424:621.318.563

В. Н. СЕРДЮК^{1*}, О. Б. ОЧКАСОВ^{2*}

^{1*}Каф. «Локомотиви», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, ел. пошта vns1201@gmail.com, ORCID 0000-0003-2337-3478

^{2*}Каф. «Локомотиви», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, ел. пошта abochkasov@gmail.com, ORCID 0000-0002-7719-7214

Розробка напівпровідникового реле часу для локомотивів

Мета. Необхідність заміни застарілої елементної бази електричних апаратів локомотивів є актуальною в умовах проведення капітально-відновлюваних ремонтів локомотивів для продовження терміну їх експлуатації. Основною метою роботи є скорочення витрат на експлуатацію та ремонт рухомого складу за рахунок підвищення надійності електричних апаратів, упровадження уніфікованих технічних рішень. **Методика.** Із використанням системно-історичного підходу з'ясовано переваги та недоліки основних принципів побудови електричних апаратів локомотивів. Визначено напрями вдосконалення елементної бази реле часу. Обґрунтовано необхідність розробки уніфікованих технічних рішень для реалізації реле часу локомотивів. За допомогою методів прикладної теорії цифрових автоматів та схемотехніки розроблено напівпровідникове реле часу локомотивів, що забезпечує можливість реалізації 23 варіантів витримки часу без зміни конструкції реле. Запропонована методика дозволяє проектувати універсальні електронні реле з будь-якими діапазонами часових затримок. Як основні елементи регулювання витримки часу використано комбінацію двійкових лічильників імпульсів та мультиплексора. Відсутність у схемі запропонованого напівпровідникового реле часу елементів регульованої ємності та активного опору (RC-контурів) дозволяє забезпечити стабільність характеристик реле часу на всьому інтервалі експлуатації, зменшити витрати на обслуговування та ремонт електричних апаратів. **Результати.** Розроблено уніфіковане реле часу з широким діапазоном витримки часу та можливістю під'єднання електричних схем локомотивів із напругою живлення 50 та 110 В. Отримані результати дозволяють спрогнозувати подальший розвиток напівпровідникових реле часу та застосувати розроблене напівпровідникове (електронне) реле часу для всіх видів рухомого складу залізниць. **Наукова новизна.** У роботі проведено аналіз розвитку технологій та елементної бази електричних апаратів локомотивів. Обґрунтовано необхідність удосконалення елементної бази електричних апаратів на прикладі реле часу. **Практична значимість.** На базі запропонованих технічних рішень можливе виготовлення універсального напівпровідникового реле часу локомотивів.

Ключові слова: електричні апарати локомотивів; напівпровідникове реле; уніфікація електричних апаратів

Вступ

Високий ступінь зношення локомотивного парку вимагає розробки та впровадження заходів із комплексної модернізації наявних транспортних засобів для подовження термінів їх експлуатації та зменшення експлуатаційних витрат. Комплексна модернізація локомотивів передбачає впровадження енергоощадних технологій, розробку енергоефективних методів і систем управління, заміну силового обладнання. Найбільший економічний ефект очіку-

ється від заміни силового обладнання (дизель-генератора, гідравлічної передачі та ін.), оскільки ці агрегати мають досить суттєвий вплив на загальні експлуатаційні витрати, проте і вартість такої модернізації, відповідно до даних АТ «Укрзалізниця», складає до 75 % від вартості нового тепловоза. Скорочення експлуатаційних витрат та підвищення надійності тепловозів можна досягти і за рахунок модернізації електричного обладнання.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Останнім часом у підприємств, які експлуатують локомотиви, виник попит на розробку технічних рішень щодо вдосконалення систем управління допоміжним обладнанням. Метою цієї модернізації є скорочення витрат енергоресурсів на привід такого обладнання та підвищення надійності систем відбору потужності дизеля. Серед варіантів модернізації – заміна механічних, гідравлічних та гідромеханічних систем відбору потужності на електричні, бажано асинхронні, із подальшим упровадженням економічних методів управління.

Для тепловозів з електричними машинами приводу допоміжних агрегатів актуальним є впровадження електронного управління режимами їх роботи, наприклад, розробка засобів регулювання частоти роботи вентиляторів систем охолодження залежно від реальної потреби у відведенні тепла, упровадження систем плавного пуску електричних машин. Цей варіант модернізації вимагає значних конструкційних змін, але дозволить отримати відчутну економію енергоресурсів. За даними досліджень, скорочення витрат енергоресурсів на привід вентиляторів ТЕД складає до 30 %.

Заміна колекторних електричних машин на асинхронні електричні машини, заміна компресорних агрегатів, заміна електромашинних перетворювачів на статичні перетворювачі є варіантом вузлової модернізації і вирішує певну технічну проблему. Відомі приклади такої модернізації локомотивного парку промислових підприємств, а також електровозів. Як правило, такий варіант модернізації використовують у комплексі з попереднім.

Упровадження сучасних електронних систем управління та діагностування тепловоза в цілому є складною технічною задачею, воно є доцільне в рамках глибокої модернізації тепловоза із заміною силових агрегатів. Прикладом упровадження систем електронного управління в масштабах модернізації вузлів та агрегатів є системи управління тяговим приводом локомотивів.

Розвиток промислової електроніки, перетворювальної техніки та інформаційних технологій протягом останніх років сприяв створенню бази для модернізації електричного обладнання локомотивів під час капітальних ремонтів та розробки нових типів електричного

обладнання. Це обумовлює необхідність пошуку подальших наукових і технічних рішень для модернізації електричного обладнання тепловозів [2].

Мета

Відповідно до викладеного метою роботи є скорочення витрат на експлуатацію та ремонт електричного обладнання локомотивів за рахунок провадження універсальних напівпровідникових реле.

Методика

Для з'ясування переваг та недоліків основних принципів роботи побудови електричних апаратів локомотивів використано системно-історичний підхід. Виконано огляд наявних реле часу для умов роботи та тяговому рухомому складі, обґрунтовано необхідність розробки уніфікованих технічних рішень для реалізації реле часу локомотивів. Застосовано методи прикладної теорії цифрових автоматів і схемотехніки для розробки напівпровідникового реле часу локомотивів. За основні елементи регулювання витримки часу взято комбінацію двійкових лічильників імпульсів та мультиплектора.

Результати

В електричних схемах локомотивів використовують значну кількість типів реле часу [3–5, 11] з різними напругами живлення та різноманітними діапазонами затримки й конструкційними особливостями, що ускладнює ремонт та експлуатацію схем. Крім того, вимоги та умови роботи на рухомому складі суттєво відрізняються від умов експлуатації промислових приладів.

Актуальність розробки уніфікованих електричних апаратів підтверджено низкою досліджень, виконаних під керівництвом проф. Л. В. Дубинця [3–5]. У роботі [3] терміном «уніфікація» позначено раціональне скорочення кількості релейних елементів однакового функціонального призначення. Низький відсоток уніфікації електричних апаратів призводить до збільшення суми коштів, які витрачають на створення оборотного фонду електричних апаратів у локомотивних депо. Збільшення номенклатури реле ускладнює процеси ремонту та

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

випробування апаратів, оскільки вимагає додаткових витрат на налаштування обладнання й навчання персоналу.

Особливість електричних апаратів захисту та управління локомотивів полягає в тому, що, незважаючи на відносно невисоку вартість самих електричних апаратів, їх вплив на надійність локомотива та вартість усунення відмов обладнання значно перевищує вартість самих апаратів. Відмови електричних апаратів також впливають на безпеку руху локомотивів [1, 11, 12]. Відповідно до результатів досліджень [1], вартість усунення наслідків відмов електричних апаратів у десятки разів перевищує вартість цих апаратів, що також підтверджує актуальність нашого дослідження.

Пристрої релейної автоматики будують із використанням електромеханічного, мікроелектронного або мікропроцесорного принципів. Аналіз переваг і недоліків принципів побудови пристроїв релейної автоматики наведено в [7, 10].

Найбільшу кількість пристроїв релейної автоматики побудовано з використанням електромеханічного та мікроелектронного принципів. До переваг такого типу пристроїв належать:

- порівняно невисока вартість;
- значний досвід експлуатації та обслуговування;
- простота конструкції;
- наявність ремонтного обладнання.

Недоліками пристроїв релейної автоматики, побудованих із використанням електромеханічного та мікроелектронного принципів, є:

- значне зниження надійності та зміна характеристик елементної бази під час експлуатації;
- відсутність можливості зміни режиму роботи апаратури (як правило, кожен апарат має жорсткі характеристики, закладені на етапі проектування);
- унаслідок невисокої надійності збільшуються витрати на обслуговування.

Методологія створення сучасних електричних апаратів орієнтована на уніфіковані мікропроцесорні пристрої. Перевагою мікропроцесорного покоління електричних апаратів є:

- висока точність характеристик;
- стабільність характеристик апаратів під час експлуатації;
- широкий діапазон уставок із можливістю їх дистанційної зміни та перепрограмування;
- наявність зворотного зв'язку щодо спрацьовування та засобів самодіагностування;
- низькі затрати на обслуговування;
- мале енергоспоживання.

Із метою усунення недоліків наявних реле часу для умов роботи на тяговому рухомому складі виконаємо їх огляд. Із розвитком технологій та переходом від макрорівня до мікрорівня в експлуатацію локомотивів впроваджено напівпровідникові (електронні) реле часу: ВЛ–21, ВЛ–31, ВЛ–50. Сьогодні напівпровідникові реле часу ВЛ–21, ВЛ–31, ВЛ–41, ВЛ–50, ВЛ–51А, ВЛ–52 застосовують у локомотивах для отримання необхідних витримок часу під час вмикання та вимикання електричних апаратів в автоматичних системах управління й захисту (попереднє прокачування масла перед пуском, тривалість пуску дизеля і тощо).

Щоб усунути перелічені вище недоліки реле часу для умов роботи на тяговому рухомому складі, в [6, 8, 9] розроблено напівпровідникове реле часу з широким діапазоном інтервалів витримки часу та робочою напругою живлення від 50 до 110 В (рис. 1).

Уніфіковане реле часу конструкцій складається з двох частин, замкнених в електричне коло за допомогою клем *a* і *b* (рис. 2). Вхідний сигнал із постійною напругою 110 В знаходить на вхідні клеми 1, 2.

Через нормально замкнутий контакт *K1* герконового реле типу РПГ–8–2602 вхідна напруга (110 В) завдяки параметричному стабілізатору (резистори *R1*, *R2* та стабілітрон *UD1*) перетворюється на понижену напругу, яка по клемі *a – b* надходить на другу плату для живлення інтегральних мікросхем. Мікросхему DD1 (561ЛА7) використано у двох генераторах. Тактовий генератор, побудований на інверторі DD1.1 та кварцовому резонаторі ZQ1 (2 097 кГц) із резисторами *R2*, *R3* та конденсаторами *C2*, *C3* подає через інвертор DD1.2 сигнали прямокутної форми та стабільної частоти на вхід *C* чотирнадцятирозрядного двійкового лічильника DD2 (561ИЕ16).

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

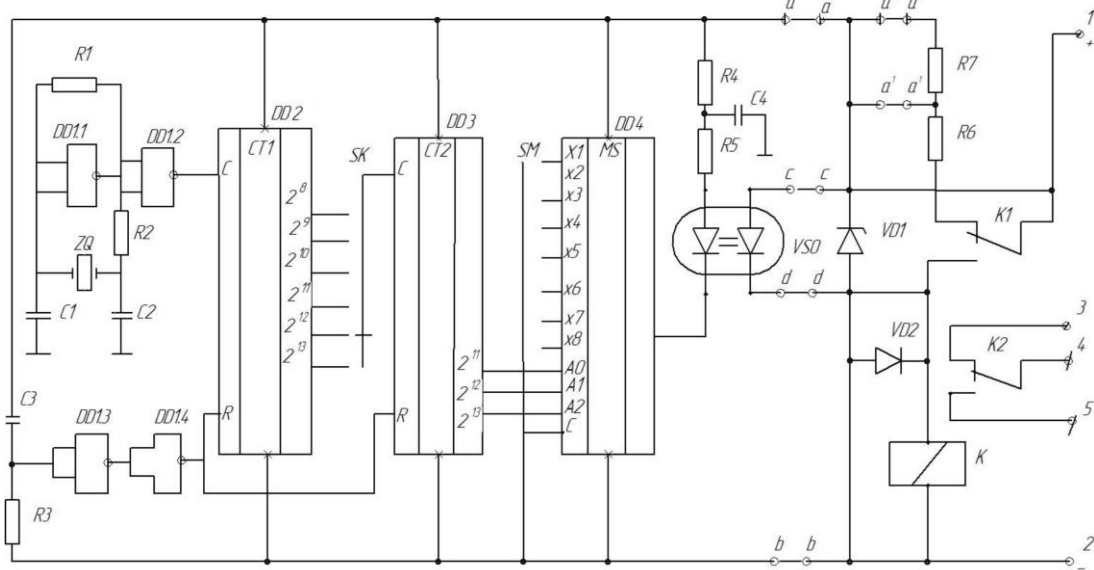
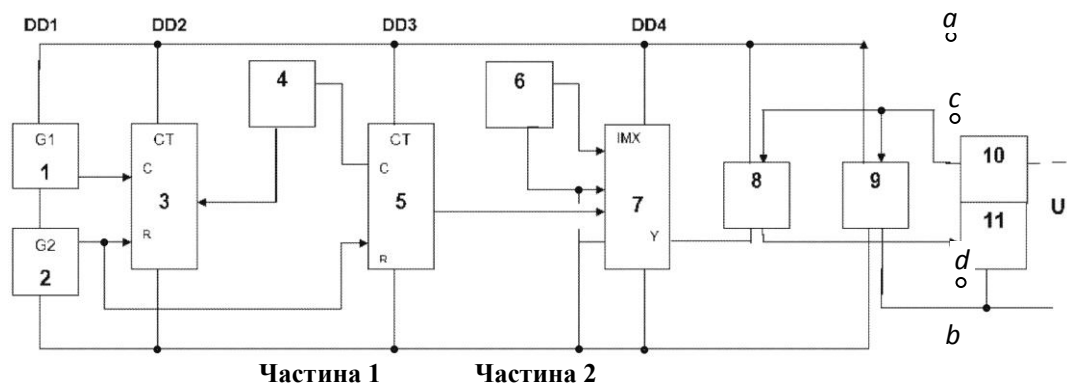


Рис.1. Принципова електрична схема електронного реле часу

Fig. 1. Block schematic diagram of an electronic time relay



Мікросхема DD1	1 – Генератор 1 Тактовий генератор (кварцовий резонатор ZQ) (мікросхема 561JA7)	9 – Параметричний стабілізатор живлення інтегральних мікросхем. Постійна напруга 110 В (75 В) перетворюється на понижену (7 В)
Мікросхеми DD2, DD3	2 – Генератор 2 Одновібратор (установлення двійкових лічильників у нульове початкове положення) 3, 5 – Двійкові лічильники (мікросхема 561IE16) 4, 6 – Перемикачі виходів-входів лічильників DD2 та DD3 (зміна коефіцієнтів перерахунку лічильників 3 та 5; перемикачі витримки часу: 4 – одиниць секунд, 6 – десятків секунд)	10 – Котушка герконового реле типу РПГ–8–2602
Мікросхема DD4	7 – Мультиплексор (мікросхема 561KP2) 8 – Тиристорна оптронна пара (світотиристор, оптронний тиристор) – забезпечує електричне розділення кіл Части 1 та 2; виключає потенціальний зв'язок (світлодіод – оптронний тиристор)	11 – Перемикальні контакти герконового реле РПГ–8–2602

Рис. 2. Принципова блок-схема електронного реле часу

Fig. 2. Block schematic diagram of an electronic time relay

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Для встановлення двійкових лічильників DD2 та DD3 в нульове початкове положення в момент під'єднання схеми до напруги живлення використовують одновібратор, зібраний на інверторах DD1.3 і DD1.4 та вхідному R–C колі (R1, C1). Сформований прямокутний імпульс надходить на R виходи вказаних лічильників (рис. 1).

На виходах $2^8, 2^9, 2^{10}, 2^{11}, 2^{12}, 2^{13}$ лічильника DD2 формуються прямокутні сигнали з частотами 4 096, 2 048, 1 024, 521, 256, 128 Гц відповідно, які через перемикач SK надходять на вхід C лічильника DD3 (561IE16). Цей лічильник працює зі змінною частотою залежно від положення SK. Виходи $2^{11}, 2^{12}, 2^{13}$ лічильника DD3 під'єднані до адресних входів A0, A1, A2 мультиплектора DD4. Вихідна частота останнього розряду 2^{13} (DD3), яка надходить на старший адресний розряд A2 мультиплектора (DD4), змінюється залежно від положення перемикача SK від мінімальної $7,8128 \cdot 10^{-3}$ Гц до максимальної 0,25 Гц. Відповідно на молодший адресний розряд A0 мультиплектора (DD4) надходить сигнал від мінімальної частоти 0,03125 Гц до максимальної 1 Гц.

Сигнал із Y-виходу мультиплектора формується з затримкою за часом ($\Delta t_{\text{затр}}$) залежно від положення перемикача SM, яким з'єднано один з інформаційних виходів (X2–X8) мультиплектора з нульовою шиною. Активний нульовий сигнал виходу Y мультиплектора (DD4) через резистори R4, R5 вмикає світлодіод тиристорної оптронної пари US1. Накопичувальний конденсатор C6 дозволяє сформувати крутий фронт імпульсу на світлодіоді для чіткого відкриття фототиристора оптронної пари US1, яким до вхідної напруги приєднується котушка K герконового реле РПГ–8–2602. На деякий нетривалий час опрацювання герконового реле фототиристор оптронної пари US1 виконує роль елемента пам'яті. Після закінчення перемикачання контакту K1 із герконового реле знімається живлення з мікросхем електронної плати реле часу та шунтується фоторезистор.

Із цієї миті знімається струм із фототиристора, а герконове реле стає в режим саможивлення по колу: клемма +1 – контакт реле K1 – котушка K реле – клемма 2.

Перемикальним контактом K2 герконового реле через вихідні клемми 3–4 можна здійснити

розрив електричного кола, а через вихідні клемми 4–5 здійснити ввімкнення електричного кола будь-якого апарата локомотива. Указана операція розмикання 2^{13} або вмикання по вихідних клеммах 3–4–5 здійснюється після подання напруги на вхідні клемми 1–2 через деякий час затримки ($\Delta t_{\text{затр}}$), який залежить від положення двох перемикачів – SK та SM.

Шість положень перемикача SK дозволяє отримати сорок два значення затримки – від 0,5 до 112 с. Найменша затримка часу має місце для положення SK на виході 2^8 (DD2) та положення SM на вході X2 (DD4). У цьому разі затримка часу складає одну восьму частину періоду за частоти на виході двійкового лічильника DD3 0,25 Гц. Для відтворення максимальної затримки часу ($\Delta t_{\text{затр(max)}} = 112$ с) перемикач SK повинен стояти на виході лічильника DD2, а перемикач SM – на вході X8 мультиплектора DD4. Цей випадок відповідає 7/8 частинам періоду за частоти на виході (0,25 Гц). Проміжні положення перемикачів SK та SM дають можливість отримати, крім названих крайніх значень, ще такі значення затримок часу: 1; 1,5; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6; 7; 8; 10; 12; 14; 16; 20; 24; 28; 32; 48; 56; 64; 80; 96 секунд.

Особливістю розробленого реле часу є те, що під час увімкнення після необхідної затримки герконового реле припиняється живлення мікросхем електронної частини схеми на весь час увімкненого стану реле.

У разі зняття напруги з вхідних клем припиняється струм у котушці K і реле зразу ж переходить у початкове положення, розриваючи своїми контактами K1 коло між клеммами 1 – 2; контактом K2 – коло між клеммами 4 – 5.

Шунтувальний діод UD2 не дає можливості під час розмикання виникати перенапруженості на індуктивній котушці K1. У разі чергової подачі живильної напруги на вхід 1 – 2 процеси в електронній частині повторюються, здійснюючи задану $\Delta t_{\text{затр}}$ витримку часу під час опрацювання герконового реле. Мікросхеми реле працюють тільки у період часу затримки. Для використання електронної частини реле в локомотивах із бортовою системою живлення з напругою 110 та 50 В передбачено перехід на перемикачання клем на a^{II} / a^{II} клемми a^I / a^I .

Таким чином, електронна частина реле є універсальною, дає можливість відтворювати

великий діапазон часових затримок, її можна використовувати з різними типами контактних реле.

Наукова новизна та практична значимість

Із використанням методу історичної ієрархії в роботі проведено аналіз розвитку технологій та елементної бази електричних апаратів локомотивів. Обґрунтовано необхідність удосконалення елементної бази електричних апаратів на прикладі реле часу. Практична значимість дослідження полягає в розробці технічних рішень на базі яких можна виготовити універсальне напівпровідникове реле часу локомотивів.

Висновки

Проведений аналіз розвитку та використання електричних апаратів локомотивів показав необхідність переходу до впровадження мікроелектроніки та мікропроцесорної техніки як елементної бази електричного обладнання. Упровадження зазначених технічних рішень забезпечить підвищення надійності електричних апаратів за рахунок зменшення кількості елементів та з'єднань між ними, дозволить скоротити витрати на технічне обслуговування та ремонт електричного обладнання за рахунок універсальності електричних апаратів, сприятиме зменшенню габаритних розмірів, маси та споживання електричної потужності за рахунок сучасної елементної бази.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гришечкіна Т. С. *Удосконалення системи утримання технічних об'єктів залізничного транспорту з урахуванням залежних відмов їх елементів* : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Дніпро, 2021. 21 с.
2. Дорохин Б. П., Сердюк Т. Н. Внедрение новых типов двигателей стрелочных электроприводов. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2013. № 6. С. 71–84.
3. Дубинець Л. В., Муха А. М., Карзова О. О. Уніфікований блок захисту допоміжних електричних машин рухомого складу залізниць. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія : Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика*. 2008. № 7. С. 54–57.
4. Карзова О. О. *Підвищення ефективності захисту силових кіл електрорухомого складу залізниць постійного струму* : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Дніпропетровськ, 2012. 23 с.
5. Момот А. И. *Унификация релейных элементов в схемах подвижного состава железных дорог Украины* : дис. ... канд. техн. наук. Днепропетровск, 1999. 205 с.
6. *Напівпровідникове реле часу* : пат. 136629 Україна : МПК H02M7/515. № u201902584 ; заявл. 18.03.2019 ; опубл. 27.08.2019, Бюл. № 16, 3 с.
7. Панченко С. В., Блиндюк В. С., Баженов В. М. *Релейний захист і автоматика* : навч. посібник. Харків : УкрДУЗТ, 2020. Ч. 1. 250 с.
8. *Реле часу* : пат. 61186 Україна : МПК H01H 45/00. № u201015673 ; заявл. 24.12.2010 ; опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13. 2 с.
9. Чілікін Г. М. Уніфіковане електронне реле часу для рухомого складу залізниць. *Транспорт*. 1999. Вип. 1. С. 112–115
10. Яндульський О. С., Дмитренко О. О. *Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматизації та управління електроенергетичних систем* : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 102 с.
11. Bodnar V., Ochkasov O., Hryscheckina T., Bodnar E., Skvireckas R. Consideration of Dependent Failures Impact on Selecting the System of Locomotive Maintenance. *Transport Means 2019 : Proc. of the 23rd Intern. Sci. Conf.* (Palanga, Oct. 02–04 2019). Kaunas Univ. of Technology [et al.]. Kaunas, 2019. Pt. III. P. 1103–1107.
12. Bodnar V., Ochkasov O., Bodnar Ye., Hryscheckina T., Keršys R. Safety Performance Analysis of the Movement and Operation of Locomotives. *Transport Means 2018 : Proc. of the 22nd Intern. Sci. Conf.* (Trakai, Oct. 03–05 2018). Kaunas Univ. of Technology, Klaipėda Univ., JSC Lithuanian Railways (AB «Lietuvos Geležinkeliai») [et al.]. Kaunas, 2018. Pt. II. P. 839–843.

V. N. SERDIUK^{1*}, O. B. OCHKASOV^{2*}^{1*}Dep. «Locomotives», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, e-mail vns1201@gmail.com, ORCID 0000-0003-2337-3478^{2*}Dep. «Locomotives», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, e-mail abochkasov@gmail.com, ORCID 0000-0002-7719-7214

Development of a Semiconductor Time Relay for Locomotives

Purpose. The need to replace the outdated element base of locomotive electrical apparatuses is urgent under conditions of locomotive overhaul to extend their service life. The main aim of the work is to reduce costs for the operation and repair of rolling stock by increasing the reliability of electrical apparatuses, the introduction of unified technical solutions. **Methodology.** Using the system-historical approach, the advantages and disadvantages of the main design principles of electrical apparatuses of locomotives are found out. The improvement directions of the elemental base of the time relay have been determined. The need to develop unified technical solutions for the implementation of locomotive time relays is substantiated. Using the methods of applied theory of digital machines and circuit engineering, a semiconductor time relay for locomotives was developed, which provides the possibility of implementing 23 options for time delay without changing the relay design. The proposed methodology allows designing universal electronic relays with any ranges of time delays. A combination of binary counters and a multiplexer is used as the main elements of the time delay control. The absence of elements of control capacitance and active resistance (RC circuits) in the scheme of the proposed semiconductor time relay allows ensuring the stability of the time relay characteristics over the entire operating interval, reducing the maintenance and repair costs of electrical apparatuses. **Findings.** A unified time relay with a wide range of time delay and the possibility of connecting electrical circuits of locomotives with a supply voltage of 50 and 110 V has been developed. The obtained results make it possible to predict the further development of semiconductor time relays and to apply the developed semiconductor (electronic) time relay for all types of railway rolling stock. **Originality.** In the work, the development of technologies and the element base of locomotive electrical apparatuses were analysed. The need to improve the element base of electrical apparatuses is substantiated using a time relay example. **Practical value.** Based on the proposed technical solutions, it is possible to produce a universal semiconductor time relay for locomotives.

Keywords: electrical apparatuses of locomotives; semiconductor relay; unification of electrical apparatuses

REFERENCES

1. Hryshechkina, T. S. (2021). *Udoskonalennia systemy utrymannia tekhnichnykh ob'ektiv zaliznychnoho transportu z urakhuvanniam zaleznykh vidmov yikh elementiv* (Extended abstract of PhD dissertation). Dnipro, Ukraine. (in Ukrainian)
2. Dorohin, B. P., & Serdiuk, T. M. (2013). Implementation of new types of points motors. *Electromagnetic compatibility and safety on railway transport*, 6, 71-84. (in Russian)
3. Dubinets, L. V., Mukha, A. M., & Karzova, O. O. (2008). Unifikovanyi blok zakhystu dopomizhnykh elektrychnykh mashyn rukhomoho skladu zaliznyts. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice*, 7, 54-57. (in Ukrainian)
4. Karzova, O. O. (2012). *Pidvyshchennia efektyvnosti zakhystu sylovykh kil elektrorukhomoho skladu zaliznyts postiinoho strumu* (Extended abstract of PhD dissertation). Dnipropetrovsk, Ukraine. (in Ukrainian)
5. Momot, A. I. (1999). *Unifikatsiya releynykh elementov v skhemakh podvizhnogo sostava zheleznykh dorog Ukrainy* (PhD dissertation). Dnepropetrovsk, Ukraine. (in Russian)
6. Serdiuk, V. N., & Krasyl'nykov, V. M. (2019). *UA Patent № 136629 Semiconductor time relay*. (in Ukrainian)
7. Panchenko, S. V., Blyndiuk, V. S., & Bazhenov, V. M. (2020). *Releinyi zakhyst i avtomatyka: navchalnyi posibnyk*. (Vol. 1). Kharkiv: UkrDUZT. (in Ukrainian)
8. Serdiuk, V. N., Ustsov, T. A., & Stetsenko, O. O. (2011). *UA Patent № 61186 Time relay*. (in Ukrainian)
9. Chilikin, H. M. (1999). Unifikovane elektronne rele chasu dlia rukhomoho skladu zaliznyts. *Transport*, 1, 112-113. (in Ukrainian)
10. Yandul'skyi, O. S., & Dmytrenko, O. O. (2016). *Releinyi zakhyst. Tsyfrovi prystroi releinoho zakhystu, avtomatyky ta upravlinnia elektroenerhetychnykh system: navchalnyi posibnyk*. Kyiv: NTUU «KPI». (in Ukrainian)

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

11. Bodnar, B., Ochkasov, O., Hryscheckina, T., Bodnar, E., & Skvireckas, R. (2019). Consideration of Dependent Failures Impact on Selecting the System of Locomotive Maintenance. In *Transport Means 2019: Proc. of the 23rd Intern. Sci. Conf.* (Pt. III, pp. 1103-1107). Palanga, Lithuania. Kaunas Univ. of Technology [et al.]. Kaunas, Lithuania. (in English)
12. Bodnar, B., Ochkasov, O., Bodnar, Ye., Hryshechka, T., & Keršys, R. (2018). Safety Performance Analysis of the Movement and Operation of Locomotives. In *Transport Means 2018: Proc. of the 22nd Intern. Sci. Conf.* (Pt. II, pp. 839-843). Kaunas Univ. of Technology, Klaipėda Univ., JSC Lithuanian Railways (AB «Lietuvos Geležinkeliai») [et al.]. Kaunas, Lithuania. (in English)

Надійшла до редколегії: 22.11.2021

Прийнята до друку: 21.03.2022