

УДК: 656.25: 621.318

БОНДАРЕНКО Б. М., к.т.н., доцент (ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна);
 РОМАНЦЕВ І. О., к.т.н., доцент (ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна);
 МОЗОЛЕВИЧ Г. Я., к.т.н., доцент (ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна).

Підвищення надійності електромагнітних приладів забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті

Вступ

Безпека руху на залізничному транспорті забезпечується пристроями залізничної автоматики першого класу надійності, основу яких складають електромагнітні реле, в яких ймовірність небезпечних відмов мінімізована за рахунок конструктивних особливостей.

Зараз у ремонтно-технологічних дільницях (РТД) дистанцій сигналізації і зв'язку використовують застаріле, громізде обладнання з низькою точністю вимірювання та великою кількістю ручних операцій, що призводить до значних затрат часу та утрудняє контроль [1].

У багатьох країнах розв'язуються

питання контролю електричних і часових параметрів електромагнітних реле за допомогою автоматичних цифрових пристроїв і систем, із автоматизованим збереженням результатів перевірок. Але, при цьому, такими пристроями не передбачено визначення механічних параметрів реле [2].

Удосконалення технічної експлуатації електромагнітних реле залізничної автоматики шляхом автоматизації процесів їх діагностування, впровадження нових автоматизованих діагностичних вимірювальних систем і комплексів дозволять істотно поліпшити технологічний процес обслуговування та підвищити їх надійність.

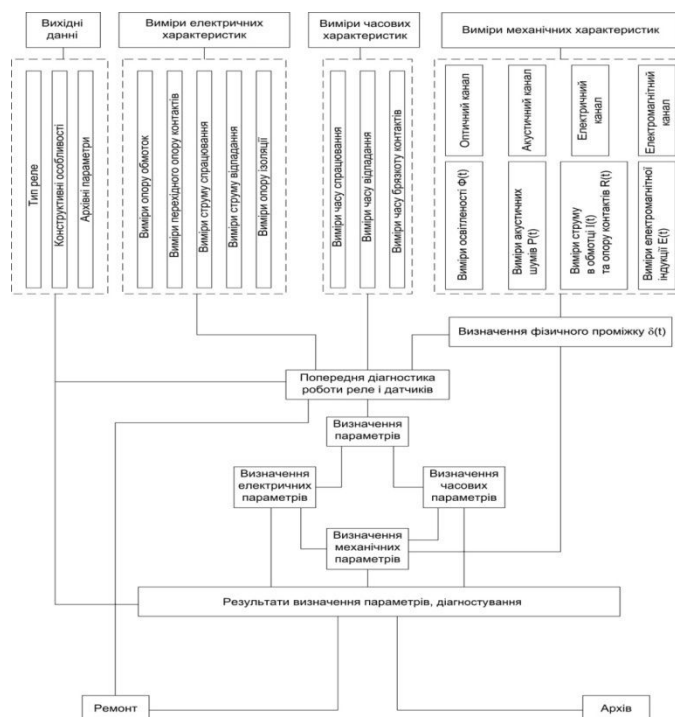


Рис. 1. Автоматизована система вимірювання параметрів реле

Автоматизована система вимірювання параметрів реле

Запропонована автоматизована система вимірювання параметрів реле (рис.1) забезпечує отримання інформації про тип, конструктивні особливості реле, здійснює визначення його електричних, часових і механічних параметрів та порівнює їх із збереженими попередніми (архівними) даними випробуваного реле [3].

Визначення електричних і часових параметрів не викликає труднощів, тому представимо математичну модель цієї автоматизованої системи тільки для визначення механічних параметрів реле у вигляді схеми, яка містить: вихідні дані, систему визначення діагностичних параметрів та отримані результати (рис. 2).

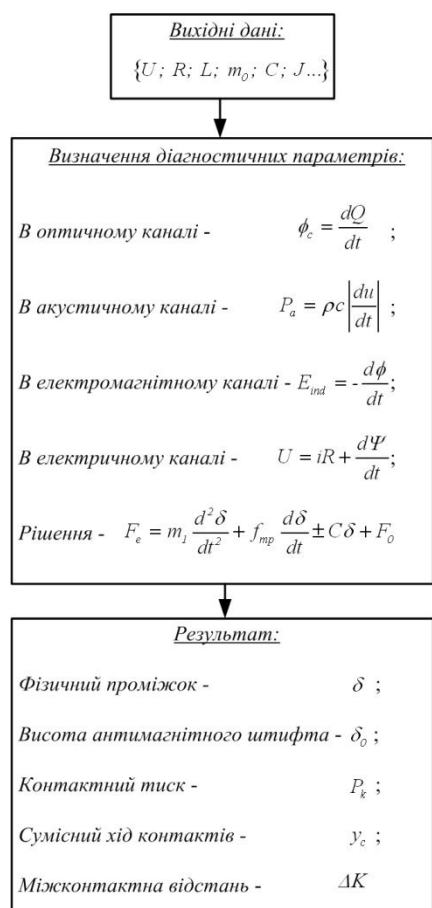


Рис.2. Схема автоматизованого визначення механічних параметрів реле

На рис. 2 – U ; R ; L ; m_0 ; C і т. д. – напруга, опір обмотки, розміри, маса, пружність контактів випробуваного реле; ϕ_c – потужність світлового потоку, Q – енергія фотонів, P_a – акустичний тиск, c – швидкість, ρ – густина середовища, E_{ind} – е.р.с. індукції, i – струм, ϕ – магнітний потік, Ψ – потокозчеплення.

На схемі (рис. 2) надано нелінійне диференціальне рівняння руху приведенних мас рухомої системи реле з одним ступенем свободи [4]. Інтеграція даного рівняння одним з відомих способів дає можливість одержати силові і кінематичні змінні тільки для тих реле, у яких немає прихованого ходу контактів. Прихований хід контактів у реле залізничної автоматики визначається наявністю регулюючих пружин, тому вирішити складну задачу його визначення пропонується шляхом безперервного введення в диференціальне рівняння даних про положення якоря реле, які автоматично отримуються за допомогою підсистем оптичного, електромагнітного і електричного каналів вимірювання.

Механічні параметри визначаються з механічних характеристик реле після отримання електричних і часових параметрів з використанням результату вимірювання фізичного проміжку [5].

Математична модель підсистеми оптичного каналу вимірювання представлена рівнянням струму, що протікає через фотодіод:

$$I_f = S_f \phi - I_s \left(\exp \left(\frac{eU_f}{k_B T} \right) - 1 \right), \quad (1)$$

де I_f – фотострум; S_f – чутливість фотодіода; ϕ – освітленість; I_s – струм насичення; k_B – стала Больцмана; T – температура, К [6].

Математична модель підсистеми акустичного каналу вимірювання. Для діагностування реле достатньо застосування вимірів імпульсу сили під час удару якоря об полюсний наконечник за визначений

час тривалості удару Δt і за номінальної напруги в обмотці. Тоді імпульс сили визначається як $S = \int_0^t F dt$, або:

$$S = F_{cp} \Delta t, \quad (2)$$

де F_{cp} – середня сила, Δt – час дії сили. За прямого удару штифта об полюс $F_{cp} = \frac{mV}{\Delta t}$ породжує акустичні хвилі, які мікрофоном перетворюються в електричну напругу U_c , при цьому для прямокутної ділянки акустичної характеристики мікрофона: $F_{cp} \equiv |U_c|$. З урахуванням параметрів пристрою і мікрофона:

$$|U_c| = \frac{m\delta}{t} k_c, \quad (3)$$

де δ – фізичний проміжок; k_c – коефіцієнт калібрування пристрою [7].

Математична модель підсистеми електромагнітного каналу вимірювання представлена у вигляді розрахунків тягового зусилля в робочому зазорі реле, які виконані за формулою Максвелла:

$$F = \frac{\phi^2}{2S_1\mu_0}, \quad \text{де } F \text{ – електромагнітна сила}$$

S_1 – площа полюсного наконечника, ϕ – магнітний потік, μ_0 – магнітна стала. За формулою Гопкінса магнітний потік ϕ визначається з урахуванням магнітних опорів ділянок магнітопроводу, $R_{\mu 1,2,\dots,5,\delta}$

$$\phi = \frac{E}{\sum_{i=1}^5 \frac{L_i}{S_i\mu_0\mu} + \frac{\delta}{S_1\mu_0}}, \quad (4)$$

де E – магніторушійна сила, створена обмоткою.

Для створення магнітної проникності, рівній одиниці на п'яти феромагнітних ділянках магнітопроводу, для реле НМШ витрачена МРС: $E_i = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5$. Із зростанням потоку вся додаткова МРС

E_z , яка прикладена до всього магнітопроводу E_n , додається до повітряного зазору: $E_n = E_z - E_i$ [8].

Визначення механічних параметрів та діагностування реле в цілому здійснюється автоматично після отримання механічних характеристик за допомогою розглянутих підсистем оптичного, акустичного, електромагнітного і електричного каналів вимірювання.

Визначення параметрів та діагностування реле

Вимірювання часових параметрів здійснюється шляхом перетворення аналогових сигналів у цифровий код під час реєстрації інтервалів комутації контактів, часу їх сумісного руху та брязкоту. Для вимірів використовується сертифікований АЦП і відповідне програмне забезпечення. Точність вимірів на декілька порядків перевищує можливості за існуючою технологією [9].

Визначення механічних параметрів з використанням оптичного методу вимірювання. Встановлено, що для вимірювання змінного поля яскравості повітряного зазору найбільш швидкісним і економічним є метод із застосуванням фотоеlementa з широкою фотоприймальною площею. Для точності вимірювань у випромінювачі застосовується коліматор прямокутної форми та метод сканування повітряного зазору променем цього перетину [10].

Індукційний метод вимірювання ходу якоря здійснюється за допомогою індукційного датчика з використанням динаміки зміни електромагнітного поля. Після вмикання реле, в обмотці датчика наводиться електрорушійна сила:

$$E_L = W_u S_u \frac{dB_D}{dt}, \quad \text{де } W_u \text{ – число витків вимірювальної обмотки; } S_u \text{ – переріз осердя датчика; } B_D \text{ – індукція потоку, що перетинає витки обмотки датчика, причому ця}$$

індукція пов'язана з індукцією поля в проміжку через коефіцієнт випинання

$$K_v = \frac{B_D}{K_\sigma}$$

Індукція B_D дорівнює:

$$B_D = \frac{E_L t}{W_u S_u}, \quad (5)$$

де t - час спрацьовування реле [8]. З урахуванням коефіцієнта σ знаходять індукцію в усіх ділянках магнітопроводу S_i :

$$B_i = \sigma \cdot B_D \cdot \frac{S_\delta}{S_i}. \quad (6)$$

Акустичний метод діагностування електромагнітного реле розроблений на базі положень теорії ймовірностей і математичної статистики з аналізом щільності імовірності розподілу шумових сигналів під час роботи реле [7].

Визначення моменту зрушення якоря та контактного тиску здійснюється за допомогою оптичного датчику, та сумісно із кривої струму, використовується для визначення контактного тиску одночасно на всіх контактах. Електромагнітну силу тяжіння якоря представимо як:

$$F_e(t) = \frac{\mu_0 i(t) W^2 S}{n \delta(t)^2}, \quad (7)$$

де μ_0 - магнітна проникність повітряного проміжку, W - кількість витків у обмотці реле, S - площа полюса сердечника реле, $\delta(t)$ - залежність проміжку від часу, n - число груп контактів [4]. Контактний тиск P_k в реле НМШ і РЕЛ створюється попереднім натисненням регулювальних пластин на фронтів і тиліві контакти P_0 і силою реакції сумісного ходу контактних пружин ΔP_k :

$$P_k = P_0 + \Delta P_k = C y_{np} + C y_c, \quad (8)$$

де C - жорсткість контактних пружин (відома), y_{np} - прихований хід контакту, y_c - сумісний хід (визначаються з отриманих динамічних характеристик) [11].

Автоматизоване діагностування контактної системи полягає в тому, що система виводиться із стану рівноваги з використанням механічного резонансу рухомої системи, шляхом розгойдування її імпульсами струму в обмотці, при цьому моментом інерції якоря можна нехтувати, оскільки через кожних півперіоду власних коливань знак моменту змінюється на протилежний. У результаті вся енергія витрачатиметься на нагрів та подолання сили тертя f_{mp} під час ковзання контактів. Зменшуючи струм I , систему зупиняють, нехтуючи нагрівом, отримуємо:

$$f_{mp} = \frac{W^2 G_M^2}{2 \mu_0 S} (I_P^2 - I_D^2), \quad (9)$$

де I_P - струм покою, I_D - струм зупинки G_M - магнітна провідність реле [5].

Експериментальні дослідження

Точність виміру фізичного проміжку в крайніх положеннях якоря випробуваного реле за допомогою оптичного каналу вимірювально-діагностичного комплексу (ВДК), створеного на базі автоматизованої системи (рис. 2) перевершує точність цих же вимірів, виконаних за допомогою набору вимірювальних щупів і не гірше за точність вимірів, виконаних за допомогою індикатора годинного типу (люфтмера), похибка з яким менше 1%. Структура ВДК подана на рис. 3.



Рис. 3. Структурна схема ВДК на основі АЦП

Проаналізуємо комплексні показники надійності випробуваного об'єкту при існуючій технології і після удосконалення технічного обслуговування електромагнітних реле шляхом автоматизації процесу їх діагностування.

Коефіцієнт готовності реле визначимо як ймовірність того, що реле опиниться в працездатному стані в довільний момент часу, крім планованих періодів, протягом яких застосування реле за призначенням не передбачається [12]:

$$K_G = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n \tau_i},$$

де t_i - інтервал працездатності, τ_i - інтервал відновлення. Результати наведено у табл. 1.

Коефіцієнт оперативної готовності реле визначимо як ймовірність того, що реле буде працездатне в довільний момент часу t і безвідмовно пропрацює заданий час τ [12]:

$$K_{OG} = K_G \cdot P(t_p),$$

де K_G - коефіцієнт готовності; $P(t_p)$ - імовірність безвідмовної роботи реле протягом часу t_p , необхідного для безвідмовного використання за призначенням:

$P(t_p) = e^{-\lambda t_p} = e^{-\frac{1}{T} t_p}$, де λ - відмова, T - час відмови.

Коефіцієнт технічного використання K_{Tv} визначимо як відношення математичного очікування сумарного часу перебування реле в працездатному стані за деякий період експлуатації до математичного сподівання сумарного часу перебування реле в працездатному стані і простоїв, обумовлених технічним обслуговуванням і ремонтом за той же період експлуатації [12]:

$$K_{Tv} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i \neq j}^m \tau_i + \sum_{j \neq}^k \tau_j},$$

де t_i - час збереження працездатності в i -му циклі функціонування реле; τ_i - час відновлення (ремонту) після i -го відмови реле; τ_j - тривалість виконання j -й профілактики, вимагає виведення об'єкта з працюючого стану (використання за призначенням); n - число робочих циклів за аналізований період експлуатації; m - число відмов (відновлень) за аналізований період; k - число профілактик, що вимагають відключення реле у розглянутий період [12].

Як бачимо з табл. 1 час відновлення реле τ_i зменшується, тому K_G і K_{OG} збі-

льшуються. При зменшенні τ_i тривалість виконання j -й профілактики τ_j також зменшується, тому K_{Tv} збільшується. Порівняні показники надійності реле до і після автоматизації (стенд вимірювальний (СВ-СЦБ) і ВДК відповідно) приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Показники надійності					
Показники	K_G	K_{OG}	K_{Tv}	$P(t_p)$	\hat{T}_B , годин
Стенд					
СВ-СЦБ	0,997 26	0,8 97	0,997 24	0,90	0,66
ВДК	0,999 99	0,9 69	0,999 99	0,97	0,16

Середній час відновлення \hat{T}_B реле визначається на підставі статистичних даних, одержаних для M однотипних відновлюваних реле

$$\hat{T}_B = \frac{\sum_{j=1}^M \tau_j}{\sum_{j=1}^M n_j}, \quad (10)$$

де M - кількість однотипних реле, для кожного з яких визначений загальний час відновлення τ_j за заданий час спостережень;

при чому $\tau_j = \sum_{i=1}^{n_j} \tau_{ij}$, де τ_{ij} час відновлення j -го об'єкту після i -го відмови; n_j - кількість відновлень j -го реле за час спостережень, причому $1 \leq j \leq M$.

Тобто, середній час відновлення (10) - це математичне очікування часу відновлення працездатного стану реле після його відмови. З визначення виходить, що

$$\hat{T}_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i, \quad (11)$$

де n - число відновлень реле, рівне числу відмов; τ_i - час, витрачений на відновлення (виявлення, пошук причини і усунення відмови), в годинах [12]. Як і для комплексних показників надійності час відновлення реле τ_i зменшується, тому \hat{T}_B (11) також зменшується.

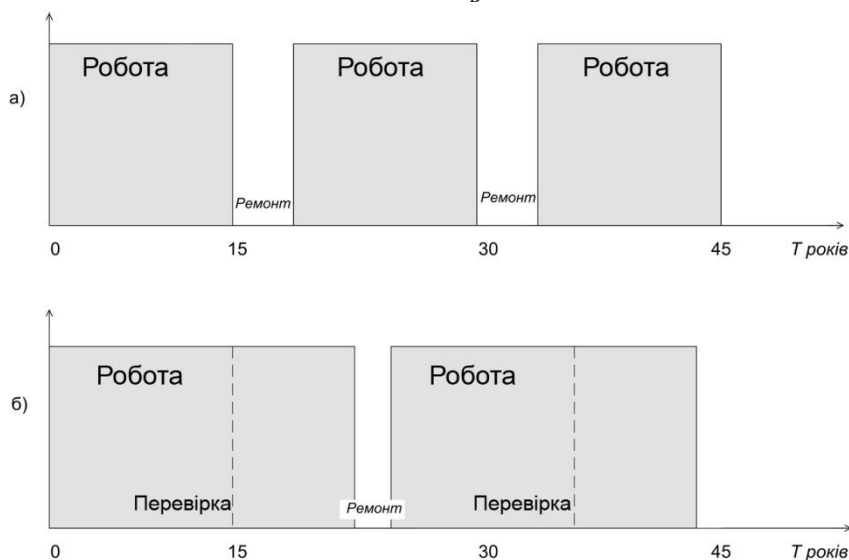


Рис. 4. Графік технічної експлуатації: а) без автоматизації; б) з автоматизацією

На рис. 4 наведено графіки технічної експлуатації реле до і після введення пе-

ревірки автоматизованим ВДК. Як бачимо, за рахунок зменшення періодів ремон-

ту після введення автоматизованої перевірки, періоди роботи реле збільшуються, що поліпшує їх техніко-економічні показники. Реалізація автоматизованого вимірювально-діагностичного комплексу на сучасній елементній базі дозволяє підвищити надійність та збільшити продуктивність з технічного обслуговування реле більше ніж у чотири рази.

Тобто поліпшуються комплексні показники надійності реле та середній час відновлення.

Висновки

Розроблені методи діагностування реле залізничної автоматики дозволяють автоматизувати вимірювання їх механічних параметрів. Реалізуються умови для оптимізації міжремонтного періоду за технічним станом.

Комплексно вирішено науково-практичне завдання підвищення надійності електромагнітних реле шляхом удосконалення їх технічного обслуговування.

Завдяки поєднанню чотирьох вимірювальних каналів під час автоматичного діагностування підвищуються показники надійності, зокрема коефіцієнт готовності – на 0,28%, коефіцієнт оперативної готовності – на 7,44%, коефіцієнт технічного використання – на 0,28%, імовірність безвідмовної роботи – на 7,22%. При цьому зменшується середній час відновлення більше ніж у чотири рази.

Автоматизація процесу діагностування електромагнітних реле залізничної автоматики першого класу надійності за допомогою автоматизованого комплексу підвищує достовірність контролю та надійність цих електромагнітних приладів які забезпечують безпеку руху залізничного транспорту.

Література

1. Аркатов В. С. Ремонтно-технологический участок СЦБ. /

В. С. Аркатов, А. И. Баженов, И. Е. Дмитренко М.: Транспорт, 1987. — 224 с.

2. Vasavi Electronics. Automatic test equipment for Relay: [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.vasavi.com>.

3. Разгонов А. П. Компьютерная технология контроля механических параметров электромагнитного реле / А. П. Разгонов, А. В. Андреевских, Б. М. Бондаренко // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005. – № 5. – с. 102 – 103.

4. Витенберг М. И. Расчет электромагнитных реле / М. И. Витенберг — М. : Энергия, 1975. – 416 с.

5. Бондаренко Б. М. Способы определения параметров электромагнитных реле / Б. М. Бондаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — 2007. – № 15. – С. 7-11.

6. Борн М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф [Пер. с англ. Изд.2, испр.] — М. : Наука, 1973. – 720 с.

7. Морозов Г. Л. Виброшумова діагностика електромагнітного реле / Г. Л. Морозов, А. П. Разгонов, Б. М. Бондаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – № 32. – С. 206-211.

8. Аркатов В. С. Теория распределения магнитодвижущей силы (МДС), создаваемой ампер-витками намагничивающей обмотки по участкам магнитопровода / В. С. Аркатов, Ю. В. Аркатов — М. : Оргсерв., 2005. –160 с.

9. Бондаренко Б. М. Методы проверки реле с помощью измерительного диагностического комплекса / Б. М. Бондаренко // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 4. – С. 127-133.

10. Бондаренко Б. М. Обгрунтування оптимальних характеристик оптического канала вимірювання механічних параметрів електромагнітного реле / Б. М. Бондаренко, А. П. Разгонов,

В. И. Профатилов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. № 29. – С. 121-125.

11. Разгонов А. П. К оценке сил трения в моменты трогания и остановки якоря реле / А. П. Разгонов, А. В. Андреевских, Б. М. Бондаренко, Д. А. Безрукавый // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – № 14. – С. 12-15.

12. Шишонок Н. А. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники / Н. А. Шишонок, В. Ф. Репкин, Л. Л. Барвинский. – М. : Сов. радио, 1964. – 551 с.

Анотації:

Представлен принцип повышения надежности электромагнитных реле систем автоматики и обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте, путем усовершенствования их технической эксплуатации.

Ключевые слова: повышение надежности, безопасность движения на железнодорожном транспорте

Представлено принцип підвищення надійності електромагнітних реле систем автоматики і забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті шляхом удосконалення їх технічної експлуатації.

Ключові слова: підвищення надійності, безпека руху на залізничному транспорті.

The principles of improving the reliability of electromagnetic relays for automation systems and railway traffic safety by improving their technical operation is presented.

Keywords: improvement of reliability, railway traffic safety.