

Б. М. БОНДАРЕНКО (ДНУЗТ)

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДІВ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИЛАДІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

Запропоновано комплексне використання методів неруйнівного контролю для автоматизованого діагностування електромагнітних реле залізничної автоматики першого класу надійності. Наведено способи визначення їх механічних параметрів, що дозволяє виключити людський фактор з контролю, підвищити надійність приладів залізничної автоматики та безпеку руху залізничного транспорту.

Ключові слова: електромагнітні реле, діагностика реле, підвищення безпеки руху на залізниці

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.

Електромагнітні реле є найбільш поширеними електромагнітними приладами в системах залізничної автоматики і телемеханіки, на перевірці та регулюванні яких витрачається багато ресурсів і часу, на одній дистанції сигналізації і зв'язку Укрзалізниці їх майже 30 000 штук.

Досвід експлуатації підтверджує факт їх надійної роботи: ресурс реле типів НМШ, НР та ін. перевищує 40 років, однак цей факт не скасовує необхідність періодичного контролю параметрів таких реле, для запобігання небезпечних відмов систем автоматики де вони працюють. Частка відмов за 2006 – 2011 роки складає 2,5–3 % загальної кількості відмов приладів автоблокування й електричної централізації, які застосовуються на Укрзалізниці [1].

Постановка завдання

Реле першого класу надійності не мають елементів вбудованого контролю і діагностування, тому технологією передбачено обов'язковий періодичний контроль їх електричних, часових і механічних параметрів [2]. При цьому, незалежно від стану та умов роботи реле в процесі експлуатації, застосовуються довготривалі ручні операції із залученням висококваліфікованих фахівців і відповідного обладнання в ремонтно-технологічній дільниці (РТД). Також, згідно технології, передбачається неавтоматизований вихідний контроль параметрів, який частково повторює перелік зроблених перевірок. Як наслідок, значна кількість відмов під час експлуатації реле відбувається за рахунок порушень технології регулювання реле в РТД (12 %), відсутності контакту в штепсельному

з'єднанні (35 %) та з інших причин [1]. До недоліків існуючої технології слід віднести відсутність автоматизації вимірювань та призначення періодичності ремонту для всього парку реле з урахуванням найбільш важких за рівнем струму режимів роботи контактів, тоді як 70 % реле працюють в полегшеному режимі та не потребують регулювання з відкриттям герметичного кожуху [2].

В багатьох країнах, що використовують електромагнітні реле в залізничній автоматичній, розв'язуються питання контролю електричних і часових параметрів електромагнітних реле за допомогою різних автоматичних цифрових пристроїв і систем без відкриття герметичного кожуха із автоматизованим збереженням результатів перевірок. Але, при цьому, такими пристроями не передбачено визначення механічних параметрів реле. Існуючі розробки для визначення механічних параметрів реле без розкриття його герметичного блока, є одиничними екземплярами та не набули широкого застосування через низьку точність вимірювань, складність їх конструкцій та використання [3].

Наразі існує потреба в удосконаленні технології обслуговування, вимірювання параметрів електромагнітних реле та в розробці нових підходів зі створення автоматизованих діагностичних комплексів, що дозволить підвищити надійність реле, точність вимірювання їх параметрів, а отже підвищити безпеку руху.

Шляхи вирішення завдання

Під час створення автоматизованого діагностичного комплексу пропонується одночасне застосування декількох методів неконтактного діагностування стану реле. Одним з ефективних методів неконтактного діагностування радіоелементів, у тому числі і реле, є акустичний метод [4].

Акустичне діагностування полягає у тому, що акустичний шумовий сигнал реле породжується при перетворенні енергії під час руху ме-

ханічних частин реле. Так енергія маси якоря під час тяжіння і зіткнення з полюсним наконечником перетворюється у теплову енергію та енергію деформації, породжуючи механічні хвилі у деталях реле, корпусі та навколо нього.

Максимальне значення амплітуди шуму U_c співпадає з зупинкою якоря реле під час його удару об полюсний наконечник реле та залежить від зносу механічних частин, зокрема антимагнітного штифту δ_n (рис. 1 а-г).

Для діагностування реле достатньо застосування вимірів імпульсу сили під час удару якоря о полюсний наконечник за визначений час тривалості удару. При цьому імпульс сили визначається

$$S = \int_0^t F dt, \quad (1)$$

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

де S – імпульс сили;

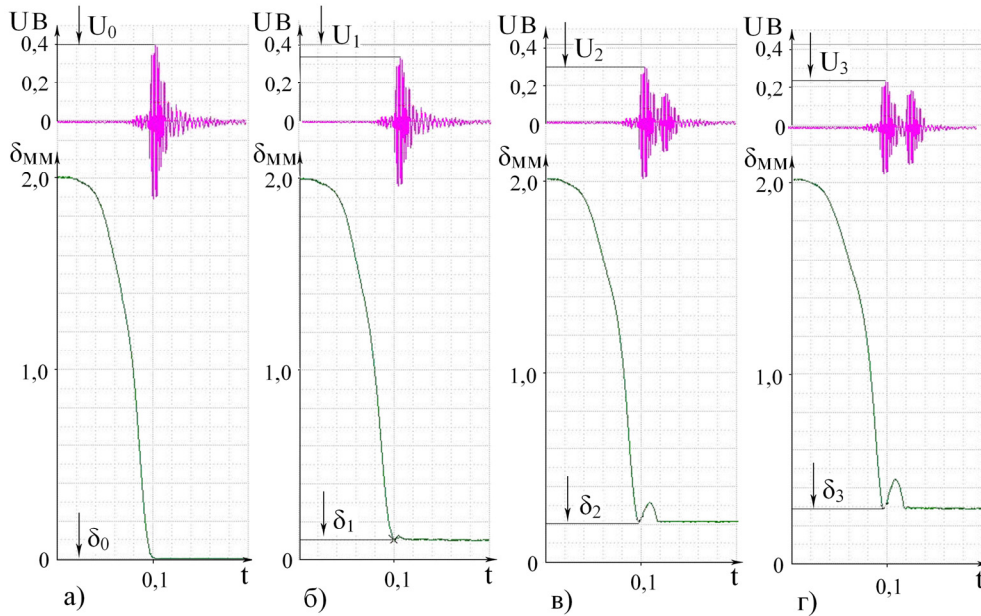


Рис. 1. Амплітуди шумових сигналів реле U_c при різній висоті антимагнітного штифту δ_n :

а – $\delta_0 = 0,0$ мм; б – $\delta_1 = 0,1$ мм; в – $\delta_2 = 0,2$ мм; г – $\delta_3 = 0,3$ мм

На основі накопичення статистичної інформації, визначається об'єкт, який шумить із значно меншим відхиленням від еталону, за результатами чого з певною імовірністю можна робити висновки про справність об'єкту.

Оптичне діагностування стану реле за розмірами його повітряного проміжку базується на рівнянні струму, що протікає через фотодіод, який реєструє освітленість створену випромінювачем:

$$I_f = S_f \Phi - I_s \left(\exp \left(\frac{eU_f}{k_B T} \right) - 1 \right), \quad (5)$$

де I_f – фотострум;

S_f – чутливість фотодіода;

F_{cp} – середня сила»;

Δt – час дії сили [5].

При прямому ударі антимагнітного штифту о полюсний наконечник імпульс тіла $p = mV$ буде рівний імпульсу сили

$$mV = F_{cp} \cdot \Delta t, \quad (3)$$

де m – приведена маса якоря;

V – швидкість якоря, звідси $F_{cp} = \frac{mV}{\Delta t}$.

При ударі імпульс маси якоря рівний імпульсу сили породжує акустичні хвилі, які мікрофоном перетворюються в електричну напругу – U_c від акустичних коливань, при цьому, на прямокутній ділянці акустичної характеристики мікрофону:

$$p \equiv |U_c|. \quad (4)$$

Φ – освітленість;

I_s – струм насичення;

k_B – стала Больцмана;

T – температура, К [6].

Відомі форми коліматорів випромінювача – прямокутна і кругла (рис. 2).

На рис. 2 зображений фізичний проміжок з проєкціями двох форм коліматорів, де 1 – якір, 2 – повітряний проміжок, 3 – полюс, δ_e – відстань, яка вимірюється і знаходиться на рівні $-h$, H – висота полюса, r – радіус круглого коліматору. До цих форм отримано залежності для визначення відстані якоря реле – δ_e по значенню площі яскравості змінного повітряного проміжку S . Так якщо висота прямокутного коліматора випромінювача, менше висоти H :

$$\delta_g = \frac{H-h}{h} 2S(2+H). \quad (6)$$

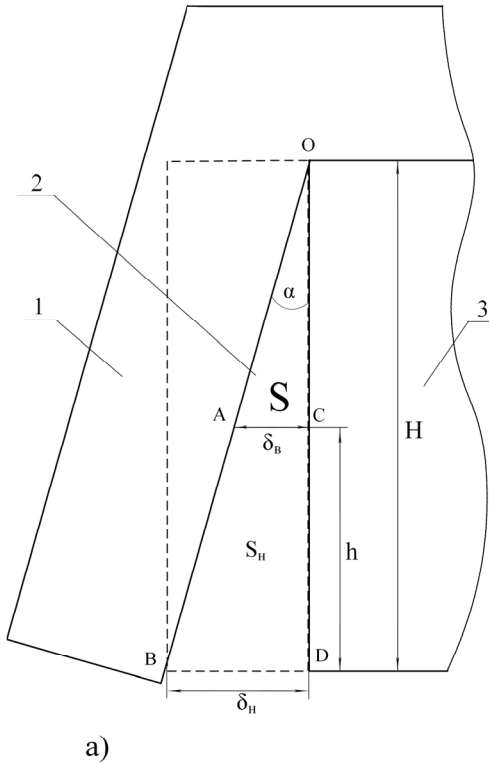
Якщо висота коліматора, більше або рівна висоті Н:

$$\delta_g = \frac{2S(H-h)}{H^2}. \quad (7)$$

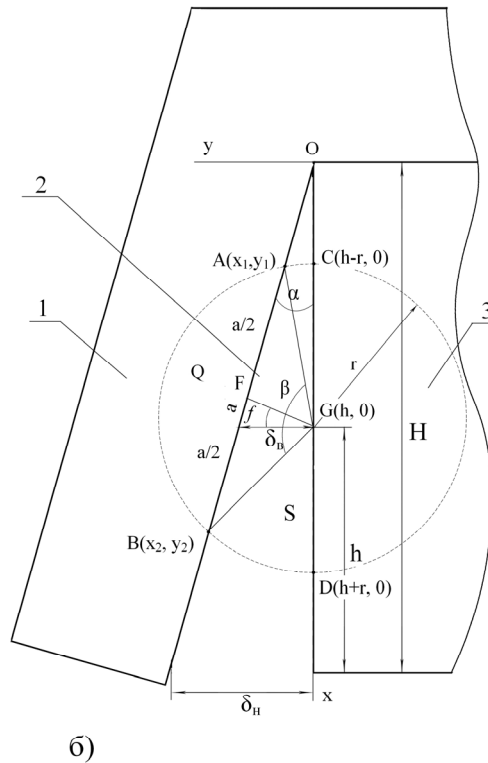
де S – площа яскравості ($S = I_{fS} \cdot k_k$);

k_k – коефіцієнт калібрування (у припущенні, що корисний сигнал визначається розмірами площі поля яскравості S і освітленістю Φ на приймальній апертурі).

Для коліматору круглої форми:



а)



б)

Рис. 2. Фізичний проміжок з проєкціями двох форм коліматорів випромінювача:
а – прямокутної форми; б – круглої форми

Електромагнітне діагностування реле полягає у визначенні електромагнітних зусиль під час роботи реле, їх співвідношенні з розмірами повітряного зазору та комутацією контактів, це надає можливість автоматизувати процес визначення контактного тиску.

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

$$\text{Максвелла: } F = \frac{\Phi^2}{2S_1\mu_0},$$

де F – електромагнітна сила;

S_1 – площа полюсного наконечника;

Φ – магнітний потік;

$$\delta_g = \frac{hr\sqrt{1-\sin^2\beta/2}}{\sqrt{h^2-r^2(1-\sin^2\beta/2)}}, \quad (8)$$

де $\beta = \sqrt[3]{\frac{6\pi r^2 - 12S}{r^2}}$ – кут якоря,

r – радіус коліматора випромінювача [7].

Оптичний метод надає можливість у будь який час знати положення якоря, яке використовується для визначення механічних параметрів реле.

Поряд з іншими методами пропонується використовувати електромагнітне діагностування стану реле.

μ_0 – магнітна стала [8].

За формулою Гопкінса магнітний потік Φ визначається з урахуванням магнітних опорів ділянок магнітопроводу, $R_{\mu 1,2,\dots,5,6}$

$$\Phi = \frac{E}{\sum_{i=1}^5 \frac{L_i}{S_i\mu_0\mu} + \frac{\delta}{S_1\mu_0}}, \quad (9)$$

де E – магніторушійна сила, створювана обмоткою. Магнітний потік, що протікає по магнітопроводу реле НМШ при різній проникності

буде $\Phi = \frac{S_1\mu_0\mu E_1}{L_1}$, або $\Phi = \frac{E_1}{R_{m1}}$, та $E_1 = R_{m1} \cdot \Phi$.

Прийнято, що за будь-якої величини потоку МРС наконечника:

$$E_1 = \frac{L_1}{S_1 \mu_0 \mu} \cdot \frac{S_1 \mu_1 \mu E_1}{L_1} = 1 \quad (10)$$

Тоді на будь-якій ділянці $\Phi = \frac{E_1}{R_{вз}}$, звідки

$$\frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \mu - \epsilon \text{ лінійна залежність [9].}$$

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

Із зростанням потоку вся додаткова МРС, яка прикладена до всього магнітопроводу, додається до повітряного зазору: $E_{вз} = E_{загал} - E_m$, тоді МРС, прикладена до зазору: $E_{вз} = \frac{\delta \Phi}{S_1 \mu_0} = 1$, при $\mu = 1$ [9].

Це відбудеться, якщо потік досягне величини $\frac{L_1}{\delta}$, що відповідає рівнянню для визначення магнітної проникності.

Визначення моменту зрушення якоря та контактної тиску здійснюється за допомогою оптичного датчику, та сумісно із кривою струму, використовується для визначення контактної тиску шляхом рішення диференційного рівняння руху рухомих частин реле

$$F_e = m_1 \frac{d^2 \delta}{dt^2} + f_{тр} \frac{d\delta}{dt} \pm C\delta + F_0, \quad (11)$$

де m_1 – приведена маса рухомих частин реле;

δ – переміщення якоря;

$f_{тр}$ – питома сила опору руху якоря і рухомих частин реле;

C – приведена жорсткість контактних і поворотних пружин;

F_0 – початкове значення електромагнітної протидіючої сили;

F_e – сила тяжіння, що діє на якір [8].

Визначення сумісного ходу тилових і фронтних контактів здійснюється шляхом зіставлення залежності руху якоря під час вмикання реле і відповідних моментів комутації. Електромагнітну силу тяжіння якоря (11) представимо як:

$$F_e(t) = \frac{\mu_0 i(t) w^2 S}{n \delta(t)^2}, \quad (12)$$

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.

Контактний тиск P_k в реле НМШ і РЕЛ створюється попереднім натисненням упорних пластин на фронтіві і тиліві контакти P_0 та силою реакції сумісного ходу контактних пружин ΔP_k :

$$P_k = P_0 + \Delta P_k = C y_{прих} + C y_{сум}, \quad (13)$$

де C – жорсткість контактних пружин;

$y_{прих}$ – прихований хід контакту;

$y_{сум}$ – сумісний хід.

Система рівнянь для реле НМШ з n – групами контактів матиме наступний вигляд.

Для тилових контактів:

$$\left. \begin{aligned} F_e(T_1) &= K_{я}(m a(T_1)) + (C_T + C_O) \times \\ &\times n y_{T1} + C_T y_{TC1} \\ F_e(T_2) &= F_e(T_{i-1}) + K_{я}(m a(T_i)) + ((n - i + 1) \times \\ &\times C_T + n C_O)(y_{Ti} - y_{Ti-1}) + C_T y_{TCi} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Для фронтних контактів:

$$\left. \begin{aligned} F_e(F_1) &= F_e(T_n) + K_{я}(m a(F_1)) + n C_O \times \\ &\times (\delta_{\max} - \delta_0 - y_{Tn} - y_{F1}) + C_F y_{FC1} \\ F_e(F_i) &= F_e(F_{i-1}) + K_{я}(m a(F_i)) + (i - 1) \times \\ &\times (C_F + n C_O)(y_{Fi-1} - y_{Fi}) + C_F y_{FCi} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

де T_i , F_i – це моменти часу у порядку розмикання тилових і замикання фронтних контактів при включенні реле;

C_T , C_O , C_F – жорсткість пружин, відповідно тилових, загальних і фронтних контактів;

y_{Ti} , y_{Fi} – сумісний хід тилових і фронтних контактів;

y_{TCi} , y_{FCi} – прихований хід тилових і фронтних контактів.

При цьому, для визначення F_e окремого контакту $\delta(t)$ отримують за допомогою розглянутого вище оптичного методу.

Розв'язанням систем рівнянь (14) і (15) визначається прихований хід кожного контакту реле і, отже, визначається попереднє натиснення контактів реле P_0 та отримуємо P_k з (13).

Висновок

Запропоновані методи дозволяють успішно розв'язати проблему автоматизації діагностування реле залізничної автоматики типів НМШ, РЕЛ та ін., визначити їх електричні і механічні параметри, зокрема контактний тиск і повітряний зазор, які в РГД досі визначають уручну із розбиранням блоку реле.

Автоматизація діагностування виключає

людський чинник з контролю параметрів реле, що підвищує надійність приладів залізничної автоматики, за рахунок чого підвищується безпека руху на залізничному транспорті.

Результати автоматизованого контролю зберігаються у паперовому і електронному вигляді до чергової перевірки, що підвищує достовірність результатів і виключає втрату даних на протязі всього терміну експлуатації приладу. Скорочується час перевірки параметрів, реалізуються умови для визначення перевірки працездатності реле за його станом.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ЦШ/14/546 Аналіз експлуатаційної роботи галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку за 9 місяців 2011 року, від 01.11.2011.
2. Сороко, В. И. Реле железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст] / В. И. Сороко. – М. : НПФ «ПЛАНЕТА», 2002. – 696 с.
3. Грачев, Г. Н. Автоматизированный комплекс ремонтно-технологического участка для проверки реле и релейных блоков [Текст] / Г. Н. Грачев, К. О. Колжунный, Ю. А. Липовецкий // Автоматика, телемеханика и связь. – 1993. – № 5. – С. 19–21.
4. Разгонов, А. П. Акустичний моніторинг електромагнітних реле [Текст] / А. П. Разгонов, Г. Л. Морозов, Б. М. Бондаренко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 2. – С. 85–93.
5. Контроль шума в промышленности [под ред. Дж. Д. Вебба. пер. с англ]. – Л. : Судостроение, 1981. – 312 с.
6. Борн, М. Основы оптики [Текст] / М. Борн, Э. Вольф [пер. с англ. ; изд. 2, испр.] – М. : Наука, 1973. – 720 с.
7. Разгонов, А. П. Моделирование оптических измерений электромагнитного реле [Текст] / А. П. Разгонов, В. В. Лагута, Б. М. Бондаренко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 5. – С. 68–73.
8. Витенберг, М. И. Расчет электромагнитных реле [Текст] / М. И. Витенберг. – М. : Энергия, 1975. – 416 с.
9. Аркатов, В. С. Теория распределения магнитодвижущей силы (МДС), создаваемой ампер-витками намагничивающей обмотки по участкам магнитопровода [Текст] / В. С. Аркатов, Ю. В. Аркатов. – М. : Оргсерв, 2005. – 160 с.

Надійшла до редколегії 22.11.2012.
Прийнята до друку 23.11.2012.

Б. М. БОНДАРЕНКО

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПУТЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИКИ ПРИБОРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Предложено комплексное использование методов неразрушающего контроля для автоматизированной диагностики электромагнитных реле железнодорожной автоматики первого класса надежности. Приведены способы определения их механических параметров, что позволяет исключить человеческий фактор из контроля, повысить надежность приборов железнодорожной автоматики и безопасность движения железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: электромагнитные реле, диагностика реле, повышение безопасности движения железнодорожного транспорта

B. M. BONDARENKO

SAFETY MOTION INCREASE OF TRAINS BY IMPROVEMENT DIAGNOSTICS PROCESS DEVICES OF RAILWAY AUTOMATION

The complex use of methods of nondestructive check for the automated diagnostics electromagnetic relays of railway automation the first class reliability is offered. The methods determination of their mechanical parameters are resulted, that allows to exclude a human factor from the control, promote reliability of devices railway automation and safety motion of railway transport.

Keywords: electromagnetic relays, diagnostics of relay, safety motion increase of trains