

УДК: 656.25: 621.318

БОНДАРЕНКО Б.М., к.т.н., доцент (ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна);

Автоматизоване діагностування контактної системи електромагнітних реле

Вступ

Сучасна робота систем безпеки залізничної автоматики і телемеханіки в Україні і СНД побудована з використанням електромагнітних реле першого класу надійності. Досвід експлуатації підтверджує факт їх надійної роботи, ресурс деяких типів реле перевищує десятки років. Перехід від релейних на мікропроцесорні системи управління є перспективним, але він пов'язаний із вирішенням значних технічних труднощів та великими матеріальними витратами. Виходячи з цього, у в найближчому майбутньому електромагнітні реле будуть продовжувати виконувати найважливіші функції на багатьох залізницях світу [1].

Зараз на залізницях України знаходяться в експлуатації сотні тисяч електромагнітних реле, розроблених у середині та в другій половині минулого століття. У середньому на обслуговуванні в одній дистанції сигналізації і зв'язку України таких електромагнітних пристроїв майже 30 000 штук. Для їх перевірки витрачається багато часу, при цьому використовується труд висококваліфікованих спеціалістів, а рівень об'єктивного контролю за виконанням великого об'єму робіт потребує поліпшення.

Технологія перевірки параметрів електромагнітних реле, яка розроблена багато років тому, відповідно до тогочасного рівня технічного розвитку в основному не змінилася дотепер, в ній відсутня автоматизація діагностування, всі роботи з перевірки та ремонту реле виконуються уручну, включаючи запис результатів виконаних робіт у відповідні журнали [2]. Як наслідок, витрачається багато ресурсів і часу та існує велика залежність робіт від

кваліфікації окремого спеціаліста.

Для забезпечення належного рівня надійності, продовження ресурсу електромагнітних реле необхідно удосконалення технології контролю в ремонтно-технологічній дільниці з використанням автоматизованих засобів діагностування, що дозволить підвищити надійність та скоротити час виконання цих робіт [3].

Одною з головних перевірок реле є перевірка стану його контактної системи, у тому числі діагностування якості контактних поверхонь. Зараз не існує чіткого критерію визначення чистоти контактних поверхонь. Тому для автоматизації визначення чистоти контактних поверхонь необхідно визначити її кількісний показник.

Оцінка коефіцієнта тертя контактів під час їх ковзання

Відомо, що для визначення тягової сили у момент початку руху якоря електромагнітного реле важливо знати величину сил тертя, що утримують систему в початковому положенні після подачі струму в обмотку реле.

Рівняння руху рухомої системи реле:

$$F_e = m_1 \frac{d^2 \delta}{dt^2} + f_{mp} \frac{d\delta}{dt} \pm C\delta + F_0, \quad (1)$$

де m_1 - приведена маса рухомих частин реле; δ - переміщення якоря; f_{mp} - 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 діюча на якор [4].

Для наближеного вирішення цього

нелінійного рівняння користуються графоаналітичним методом послідовних наближень. При цьому, як правило, нехтують початковою протидіючою силою F_0 і питомою силою опору руху f_{mp} [4]. Питому силу опору руху слід враховувати в розрахунках, оскільки за її величиною при функціональному контролі можна оцінити стан рухомої системи реле, у тому числі і контактних поверхонь елементів, що труться.

Проте скрутно існуючими технічними засобами визначити відносно малу початкову величину, механічній реакції якоря на струм в обмотці реле у момент зрушення якоря. Аналіз (1) показує, що реакція якоря на струм в обмотці обумовлена як електромагнітними (струм, напруга, потоки) так і механічними параметрами реле. Перед моментом зрушення швидкість руху якоря нульова, отже початковим значенням протидіючої сили F_0 (протидіючої електрорушійної сили) можна нехтувати.

До моменту зрушення якоря питома сила опору руху f_{mp} обумовлена наявністю на поверхні рухомих зв'язаних елементів сил зчеплення (якоря, контактів, регулювальних пружин та ін.), за рахунок тертя першого роду (тертя ковзання), яке в початковий момент максимально і є тертям спокою. Ця величина залежить від якості обробки поверхонь деталей, що труться, і від сили їх стискування (нормальної реакції):

$$f_{mp} = k \cdot N, \quad (2)$$

де k - коефіцієнт тертя при ковзанні; N - величина нормальної реакції (сили стискування).

Сила тертя спокою дорівнює модулю і спрямована проти зовнішньої сили, що викликає ковзання однієї деталі по іншій.

Відомо, що коефіцієнт тертя ковзання k не є постійною величиною (як у спо-

кої), він залежить від властивостей і стану поверхонь деталей [5].

Таким чином, стан поверхонь взаємодіючих деталей характеризується коефіцієнтом тертя при ковзанні k , у тому числі контактів реле, який значною мірою визначає величину сили тертя f_{mp} в рухомій системі.

З початком руху системи коефіцієнт тертя спокою переходить в коефіцієнт тертя ковзання, який дещо менше коефіцієнта тертя спокою і визначається виразом (2). Для оцінки коефіцієнта тертя ковзання запропонований метод вимірювання тягового зусилля з використанням механічного резонансу рухомої системи реле.

Суть методу полягає в тому, що система виводиться із стану рівноваги (спокою) шляхом використання властивості механічного резонансу рухомої системи реле. Це дозволяє автоматичними засобами визначити момент зрушення і зупинки якоря, а також відповідні їм струм і силу тертя.

Якщо вирішувати цю задачу традиційним способом - шляхом вимірювання напруги на обмотці реле при зрушенні якоря, то необхідно разом з силами тертя спокою додатково визначати момент інерції якоря. Останній можна визначити експериментальним шляхом, якщо розташувати якор на ножовій опорі так, щоб він гойдався як фізичний маятник.

Частота коливань такого маятника:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{mgl_c}{J}}. \quad (3)$$

Звідси момент інерції якоря :

$$J = \frac{mgl_c}{4\pi^2 f^2}, \quad (4)$$

де m - інертна маса якоря; l_c - відстань від центру тяжіння якоря до осі обертання; g - прискорення сили тяжіння; f - число коливань якоря в секунду [4, 6].

При рішенні задачі з використанням механічного резонансу рухомої системи,

шляхом розгойдування її імпульсами струму, моментом інерції якоря можна нехтувати, оскільки через кожних півперіоду власних коливань знак моменту змінюється на протилежний, при незмінному його модулі. В результаті цього уся енергія, що подається в систему, витрачається на подолання сил тертя першого роду (ковзання).

Діагностування рухомої системи реле

Визначення частоти власних коли-

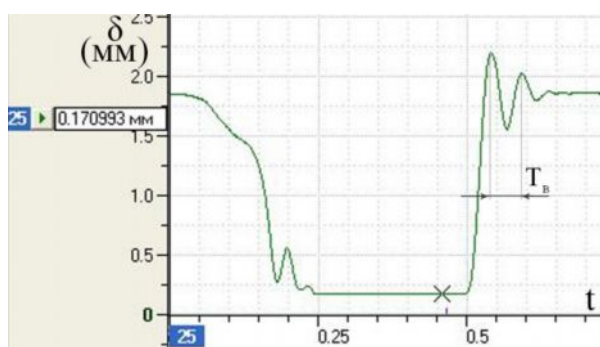


Рис. 1. Осцилограма для визначення власних коливань рухомої системи реле за вібрацією якоря

На рис. 2 пояснюється метод діагностування рухомої системи реле. Імпульси напруги (струму) резонансної частоти подають в знеструмлену обмотку реле (рис. 2 а), що виводить рухому систему реле із стану спокою. Потім, плавно зменшуючи амплітуду імпульсів, визначають значення струму в обмотці, при якому відбувається повне згасання механічних коливань в системі (рис. 2 б). За початком і закінченням коливань якоря здійснюється стеження за допомогою оптичного каналу [5]. Визначаючи різницю в значенні сили струму, отриманої розглянутим методом і сили струму, отриманої при традиційному вимірі можна з достатньою мірою точності визначити величину сили тертя рухомої системи реле.

У загальному вигляді сила тяжіння (тяга) якоря електромагніту виражається виразом (1). До моменту зупинки рухомої

реле рішенням та рівнянь(1) – (4) складно, по тій причині, що складно знайти істинні значення механічних параметрів (сили тертя якоря, контактів, пружності контактних пружин та ін.) тим більше, що значення деяких з них випадкові, тому запропоновано вирішити це завдання експериментальним шляхом, використовуючи осцилограми вібрації якоря при відключенні струму в обмотці реле (рис. 1), де T_B період вібрації якоря.

системи реле f_{mp} виражає величину сили тертя руху f_{mpD} з урахуванням стану поверхонь тилкових контактних груп. Струм I_D , при якому рухoma система зупиняється визначається за допомогою запропонованого методу і відрізняється від струму до моменту зрушення якоря I_C (рис. 2 а).

В цьому випадку, до моментів зрушення якоря та його зупинки отримуємо дві сили опору $f_{mp} = \frac{(IW)^2 G_i^2}{2\mu_0 S}$, які залежать від I_C і I_D [6]. Остаточного отримаємо:

$$f_{mp} = \frac{W^2 G_M^2}{2\mu_0 S} (I_C^2 - I_D^2). \quad (5)$$

Для визначення стану поверхонь фронтних контактних груп, запропоновано збільшити амплітуду резонансних

імпульсів струму до величини, при якій станеться зіткнення рухомих і фронткових контактів. При цьому повного притягання якоря не допускають. В цьому випадку, коливання рухомої системи відбуваються з урахуванням тертя у фронткових контактних групах.

Тоді, сила тяжіння якоря у момент руху описується відомою формулою:

$$F_T = - \frac{(IW)^2 G_i^2}{2G_\delta^2} \cdot \frac{dG_\delta}{d\delta}, \quad (6)$$

де G_δ - загальна магнітна провідність фізичного зазора; δ - величина фізичного зазора [4].

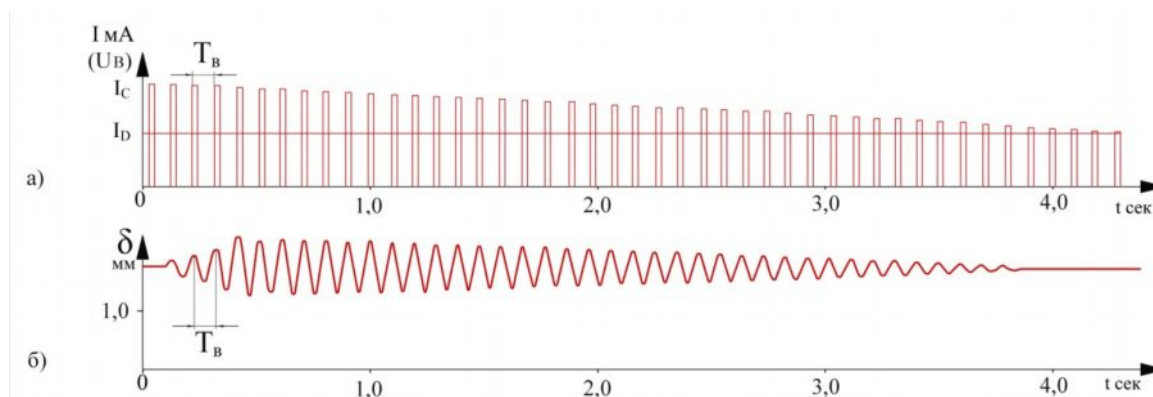


Рис. 2. Коливання якоря реле при поданні в обмотку імпульсів напруги (струму), що зменшуються по амплітуді, з частотою власних коливань рухомої системи

При цьому імпульси струму в обмотці характеризують їх номінальну величину, при якій резонансні коливання відбуваються з урахуванням тертя у фронткових контактних групах. Тоді амплітуда зміни фізичного зазора, при номінальному струмі резонансних коливань характеризуватиме, вже з урахуванням сили тертя f_{mp} у фронткових контактних групах, f_{mp} буде отримана з (5) шляхом підстановки значень.

Дослідження показують, що зміна сил тертя в рухомої системі в діапазоні 14-20 гс більшою мірою пов'язана із зміною якості поверхні контактних груп, чим із зміною якості поверхонь, що труться, в інших місцях цієї рухомої системи (робоча тяга, ярмо, регулювальні пружини і так далі), та може використовуватись для діагностування поверхонь контактів.

Інформативним методом визначення чистоти поверхні окремих контактних груп є вимір зміни перехідного опору контактів під час їх сумісного руху (ковзан-

ня). Дослідження показують, що при вимірюванні опору контактів під час їх сумісного руху, кола провідності на поверхні ковзання створюються і розриваються в залежності від чистоти контактів, чим чистіше контакт тим більша кількість точок провідності виникає і триваліше існує (рис. 3 а). Це підтверджує теорію залежності стабільності контакту від чистоти контактних поверхонь [7].

Збільшення опору чистих металевих контактів унаслідок викривлення і стягування ліній струму до провідної плями називається опором стягування. Опір стягування контакту виражається формулою:

$$R_c = \frac{\rho}{2a}, \quad (7)$$

де ρ питомий опір матеріалу контактів, ом-см; a — радіус провідної контактної площі (плями, в см, або еквівалентний радіус сумарної площі декількох контактних плям) [7].

У разі коли обидва контакти однієї контактної пари виготовлені з різних матеріалів,

$$R_c = \frac{\rho_1 + \rho_2}{4a}, \quad (8)$$

де ρ_1 і ρ_2 — питомі опори матеріалів обох контактів пари. При замиканні контактів спостерігається як пружна, так і пластична деформація матеріалу на контактних площах (плямах) [7].

У разі багатоточкового контакту, перехідний опір є паралельним з'єднанням опорів стягування кожної контактної плями які утворюються не тільки у місці комутації але і у роз'ємах та у місці приєднання вимірювача. Тому для точнішого вимірювання опору стягування комутаційних контактів важливим є забезпечення надійного контакту у інших вищеперелічених місцях.

Вважаючи середнє питоме натиснення на контактному майданчику рівним контактній твердості матеріалу, можна написати:

$$F_k = H\pi a^2, \quad (9)$$

де F_k — контактне натиснення, H — контактна твердість матеріалу, яка приблизно в три рази більше натиснення, відповідного початку пластичної деформації (величина контактної твердості мало відрізняється від твердості по Бринеллю і Віккерсу) [8].

З урахуванням радіусу провідної контактної площі для контактів з різних матеріалів контактне натиснення можна записати:

$$F_k = H\pi \left(\frac{\rho_1 + \rho_2}{4R_c} \right)^2. \quad (10)$$

Вираз (10) можна використовувати для автоматизації процесу вимірювання

контактного тиску для усунення похибки вимірювання. Нестабільність отриманих результатів вимірювання перехідного опору контактів може бути наслідком їх забруднення яке необхідно діагностувати [4].

Відомо, якщо плавно збільшувати напругу на контактах, то при деякій величині напруги опір окисної плівки раптом зникає (плівка як би пробивається), тобто має місце явище фріттингу (початкової стадії пробою) плівки. При падінні напруги на контактах до величини 0,35—1,1В (відповідної напрузі плавлення матеріалу хоча б одного з контактів), має місце А-фріттинг. В цьому випадку матеріал контакту плавиться і втягується електростатичними силами в канал пробою плівки, утворюючи провідний перехідок (місток) між контактами [9]. Якщо при фріттинзі плівок потужність джерела струму мала і падіння напруги на контактах недостатньо для розплавлення матеріалу одного або обох контактів (0,1—0,35В), то має місце В-фріттинг. В цьому випадку органічна плівка в точці пробою обуглюється (утворюються частинки вуглецю) і її опір знижується на декілька порядків (до сотень тисяч омів).

Для визначення чистоти контактних поверхонь від вуглецевих забруднень пропонується встановити кількісний показник, використовуючи явище саме В-фріттингу.

Для ілюстрації методу визначення величини забруднення контактів з використанням В-фріттингу для декількох контактних пар було зроблено по декілька вимірювань перехідного опору під час їх сумісного ковзання при напрузі вимірювання менше 0,4 В.

На рис. 3 а), б) представлено по 3 вимірювання для двох контактних пар 21-22 (рис. 3 а) і 41-42 (рис. 3 б).

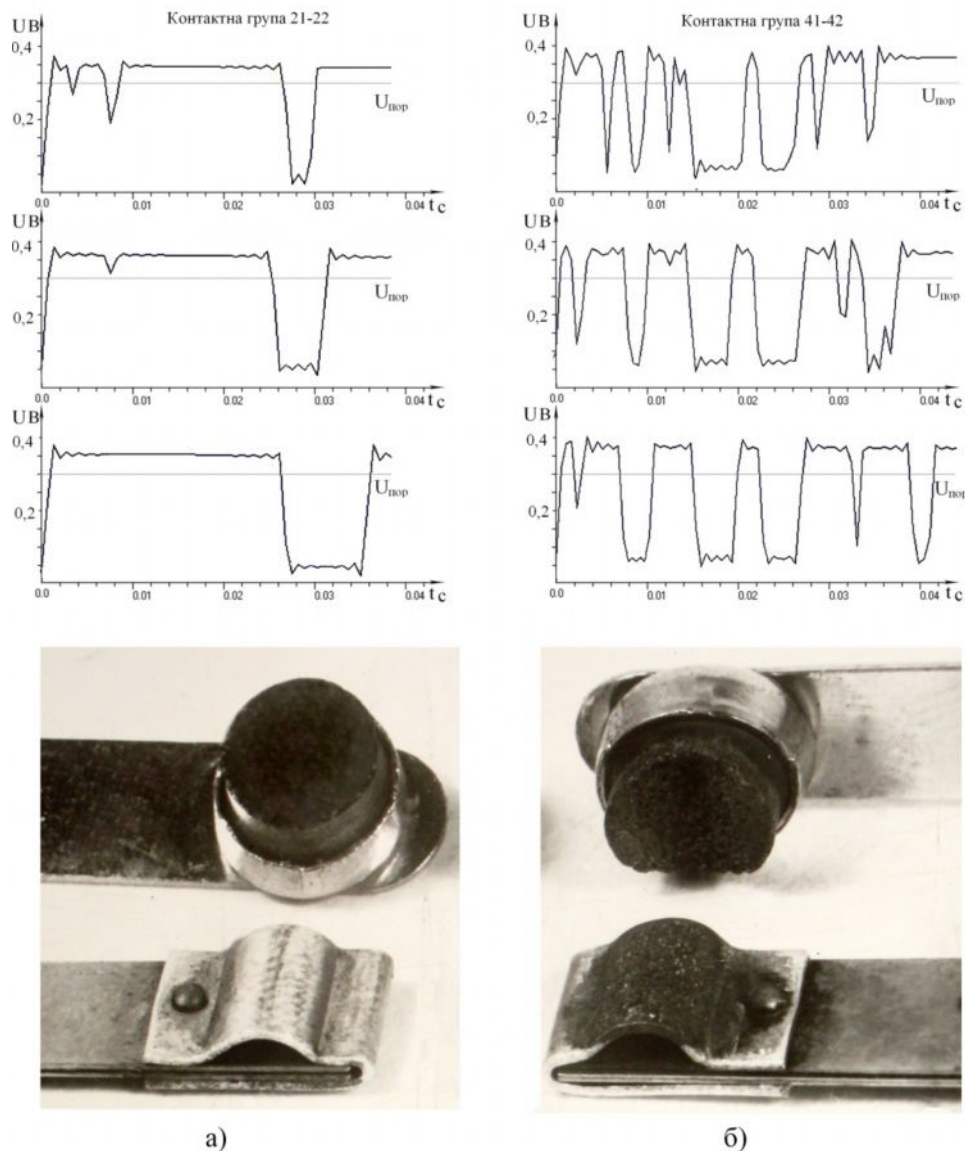


Рис. 3. Зміна перехідного опору контактів під час їх сумісного руху (ковзання): а) чистих контактів, б) забруднених контактів

Контактна пара має більш стабільний показник контакту під час ковзання, якщо при ковзанні у неї менше зникнень вимірювальної напруги, і це повторюється при декількох підряд вимірюваннях.

Для визначення чистоти контактів введемо *коефіцієнт нестабільності контакту* K_k . Для його визначення усі рівні вимірювальної напруги під час ковзання контактів заповнюються імпульсами з тактовою частотою процесора вимірювача, відповідні тактові імпульси які увійшли у перевищення встановленого порогу вимі-

рювальної напруги приймаються за “1” - X_1 , решта за “0” - X_0 . Співвідношення числа нулів до одиниць під час ковзання – є *коефіцієнт нестабільності контакту* K_k та показник їх забруднення:

$$K_k = \frac{X_0}{X_1} \quad (11)$$

Якщо цей показник рівний 1, це означає 50% зникнення контакту під час ковзання, чим менше цей показник – тим чистіше контакт. Контактна пара 21-22 (рис. 3 а) має більш стабільний показник контакту під час ковзання. Зрозуміло, що

K_k (11) з використанням В-фрігтінгу буде залежить тільки від якості контактних поверхонь та від контактного тиску (10), і тому його значення може встановлюватись для конкретних типів контактів, а перевищення встановленого значення буде означати забруднення, або малий контактний тиск.

Висновок

Запропоновано метод визначення сили тертя контактів реле, коли контактна система виводиться із стану рівноваги (спокою) шляхом використання властивості механічного резонансу рухомої системи реле. Цей метод дозволяє автоматичними засобами визначити момент зрушення і зупинки якоря, а також відповідні їм струм у обмотці та силу тертя контактів під час ковзання.

В-фрігтінг запропоновано використовувати під час сумісного руху (ковзання) контактів для визначення чистоти контактних поверхонь від вуглецевих забруднень у кількісній формі.

Дослідження показують, що при номінальному контактному тиску і номінальному перехідному опорі, коефіцієнт нестабільності контакту K_k у реле НМШ і РЕЛ має бути для фронтних контактів менше 0,8, а для тильових контактів менше 0,1, їх відмінність пояснюється матеріалом контактної пари, де для тильових контактів це срібло-срібло.

Важливою перевагою даного методу є можливість автоматизації процесу діагностування контактних груп. Використання запропонованого методу можливо при коливаннях якоря і брязкоту контактів, тобто під час всього руху якоря, при спрацюванні і відпаданні, співвідношення фіксуються з появою контакту і до повної зупинки якоря та залежить від забруднення контактної групи. Цей показник також залежить від контактного тиску та характеризує товщину матеріалу контакту, тобто при їх зменшенні від встановленого

значення коефіцієнт нестабільності контакту зростає і реле у будь-якому разі потребує ремонту по одній з вищезгаданих причин.

Література

1. Сороко В. И. Реле железнодорожной автоматики и телемеханики. / В. И. Сороко — М. : НПФ «ПЛАНЕТА», 2002 — 696 с.
2. Аркатов В. С. Ремонтно-технологический участок СЦБ. / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, И. Е. Дмитренко М.: Транспорт, 1987. — 224 с.
3. Разгонов А. П. Контроль механических параметров электромагнитных реле / А. П. Разгонов, А. В. Андреевских, Б. М. Бондаренко // Зб. Наук. Пр. Донецького інс-ту залізн. трансп. — 2005. — № 4. — С. 41-48.
4. Витенберг М. И. Расчет электромагнитных реле / М. И. Витенберг — М. : Энергия, 1975. — 416 с.
5. Сивухин Д. В. Общий курс физики / Д. В. Сивухин — М. : Наука, 1979. — Т. 1 Механика. — 520 с.
6. 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.
7. Пик Р. Расчет коммутационных реле / Р. Пик, Г. Уэйгар [пер. с англ. В. А. Погорельского] — М. : Госэнергоиздат, 1961. — 576 с.
8. Dengel D. Wichtige Gesichtspunkte für die Hartemessung nach Vickers und nach Knoop im Bereich der Kleinlast – und Mikrohart / D. Dengel – Z.f. Werkstofftechnik 4 (1973), PP. 292-298.
9. Keefer H. J. Relay Contact Behaviour under Non Eroding Circuit Conditions. N. Y., BSTJ / H. J. Keefer, K. H. Gumley — 1958, vol. 37, № 3, PP. 777-814.

Анотації:

Предложен автоматизированный метод диагностики электромагнитного реле, который основан на определении силы трения в его контактах. Использовано явление В-фриттинга в определении коэффициента неустойчивости контакта, который предоставляет возможность автоматизировано определить чистоту контактных поверхностей.

Ключевые слова: диагностика реле, чистота контактов.

Запропоновано автоматизований метод діагностування електромагнітного реле, який заснований на визначенні сили тертя в його контактах.

Використано явище В-фриттингу у визначенні коефіцієнта нестійкості контакту, який надає можливість автоматизовано визначити чистоту контактних поверхонь.

Ключові слова: діагностування реле, чистота контактів.

An automated method for diagnostics of electromagnetic relays based upon the determination of friction force in its contacts is suggested. The B-fritting phenomenon in determining the contact instability coefficient providing the ability of automating the purity of contact surfaces is used.

Keywords: relay diagnostics, purity of contacts.