

ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНОГО КАНАЛУ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ

У статті наведено наукове обґрунтування й вибір оптимальних характеристик оптичного каналу для вимірювання динамічних характеристик зміни повітряного зазору між якорем і сердечником реле, що дозволяє автоматизувати процес вимірювання механічних параметрів реле залізничної автоматики.

В статье приведено научное обоснование и выбор оптимальных характеристик оптического канала для измерения динамических характеристик изменения воздушного зазора между якорем и сердечником реле, что позволяет автоматизировать процесс измерения механических параметров реле железнодорожной автоматики.

The scientific substantiation and choice of optimum characteristics of the optical channel for measurement of dynamic characteristics of an air backlash change between the relay armature and core that allows automating a process of measurement of mechanical parameters of the railway automatic relays are presented in the paper.

Вступ

Проблема автоматичного вимірювання величини зазору між якорем і полюсним наконечником реле в процесі його роботи безпосередньо пов'язана з можливістю автоматичної діагностики працездатності реле в цілому, в тому числі й із можливістю вимірювання механічних параметрів реле залізничної автоматики.

Для вирішення цього завдання в різний час були запропоновані різні способи і пристрої [1, 2], але до цих пір не створено автоматизованого стенду для вимірювання механічних параметрів реле залізничної автоматики без зняття захисного кожуха. З усіх запропонованих способів тільки спосіб на базі оптичних засобів вимірювання з використанням фотометричних датчиків є прямим і тому найбільш точним способом вимірювання [2]. Проте реалізація цього способу пов'язана із серйозними технічними труднощами, зокрема, з проблемою точного позиціонування зазору між якорем і полюсним наконечником напроти фотометричних датчиків. Крім того, необхідно вирішити проблему оптичного вимірювання змінної ширини зазору між плоскими поверхнями якоря і наконечника, що знаходяться усередині прозорого кожуху з органічного скла різної товщини і оптичної щільності, з урахуванням можливих спотворень світлового променя і рівномірності поля яскравості його проекції. При цьому необхідно враховувати, що мінімальний вимірюваний зазор може бути зіставленим із довжиною оптичної хвилі випромінювача, що за певних умов може привести до значних дифракційних спотворень оптичного сигналу [3, 4].

У зв'язку з цим, розробка і вибір параметрів оптичного каналу вимірювання зазору вимагають наукового обґрунтування.

Оптичний канал повинен відповідати наступним вимогам:

- точне позиціонування об'єкта вимірювання;
- максимальна швидкість вимірювання;
- необхідна точність;
- економічна доцільність.

Аналіз методів і пристроїв оптичних вимірювань

Відомі методи оптичних вимірювань діляться на прямі та непрямі.

При прямому методі значення фізичної величини отримують безпосередньо з даних вимірювального експерименту. Існує ряд різновидів прямих вимірювань: метод безпосередньої оцінки, диференціальний метод, нульовий метод та метод збігів.

Метод безпосередньої оцінки полягає у прямому вимірюванні шуканої величини, значення якої визначається безпосередньо за допомогою відлікового пристрою, що входить до вимірювального приладу.

До методів порівняння відносять диференціальний та нульовий методи.

Диференціальний метод порівняння заснований на реєстрації вимірювального сигналу, що є різницею вимірювальних сигналів, що поступають від досліджуваного об'єкта і міри, що зберігає еталонне значення вимірюваної величини. Отже, в диференціальному методі безпосередньо вимірюється не сама шукана ве-

личина h_s , а її відступ $\pm \Delta h$ від величини h_k , відомої з високою точністю.

Більш розвиненими є методи порівняння, засновані на використанні міри або вимірювального приладу порівняння (компаратора).

Джерела погрешностей від приймачів випромінювання

Основною характеристикою приймачів випромінювання є чутливість. Для електронно-оптичних перетворювачів, фотоелектричних і телевізійних приймачів чутливість характеризують відношенням сили виникаючого фотоструму і падаючого світлового потоку, при цьому чутливість залежить від довжини хвилі випромінювання. Кожен приймач працює в певній зоні довжини хвиль. Поріг чутливості – найменша яскравість або освітленість об'єкта, на яку реагує приймач. Недостатня чутливість приймача створює несприятливі умови, за яких оптичний сигнал реєструється на нелінійній (початковій) ділянці світлової характеристики в умовах зниження контрасту, що до того ж різко знижує відношення сигналу до шуму. А це, в свою чергу, викликає підвищення погрешностей вимірювань.

Способи обробки результатів оптичних вимірювань детально описані в [5]. В якості оцінки дійсного значення вимірюваної величини звичайно приймають середнє арифметичне $\bar{x}$ отриманих результатів вимірювань із масиву отриманих відліків x_i :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Воно вважається найбільш вірогідним значенням шуканої величини, якщо відсутні або виправлені систематичні погрешності й відкинуті промахи.

Середнє квадратичне відхилення (СКВ) ряду вимірювальних відліків (спостережень) при кінцевому числі відліків знаходять за формулою:

$$\sigma_x = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n-1}},$$

де $V_i = x_i - \bar{x}$.

СКВ є характеристикою точності методу і засобу вимірювання.

Існує спосіб безконтактного визначення розмірів і положення предмету, що полягає у отриманні тіньової проекції предмету на фотоперетворювачі [6].

Наприклад, оптичні мікрометри РФ65Х компанії «Ріфтек» (Білорусія), що використовують цей принцип, призначені для безконтактного вимірювання і контролю положення, розмірів технологічних об'єктів (діаметр, товщина, ширина, зазор), а також вимірювання рівня рідин і сипких матеріалів. У основу роботи мікрометра покладений тіньовий принцип. При розміщенні об'єкта в області колімованого пучка когерентного джерела випромінювання зображення об'єкта формується телецентричною оптичною системою на лінійці фотоприймачів – приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ). За положенням тіньової межі процесор розраховує положення (розмір) об'єкта.

У описаного пристрою, що реалізовує тіньовий метод оптичного вимірювання, існує ряд особливостей. Використання оптичної розгортки дозволяє застосовувати для безперервного зчитування інформації багатоелементний фотоприймач на лінійці ПЗЗ і здійснити знімання інформації протягом одного кадру, тривалість якого регулюється в широких межах – до 0,1 мкс. Ця обставина дає можливість використовувати лазерні тіньові вимірювачі для вимірювання параметрів об'єктів, що рухаються з досить великою швидкістю.

Недоліком цього способу є те, що точність вимірювання при використанні даного способу залежить, перш за все, від точності визначення меж контуру досліджуваного об'єкта. Дифракційні ефекти приводять до того, що перехід від світла до тіні на фотоприймачі характеризується певною довжиною, яка для фотоприймачів на лінійці ПЗЗ складає, як правило, декілька пікселів. Розмитість межі між світлом і тінню знижує точність визначення розмірів об'єкта, причому вплив цього чинника буде тим більше, чим менше розмір об'єкта.

Використання лінійок ПЗЗ також недоцільне для реєстрації швидкоплинного процесу роботи реле через низьку швидкість зчитування інформації в сучасних цифрових відеокамерах. Для доступної цифрової відеокамери, яка сьогодні існує на ринку, цей показник складає 500 кадрів на секунду з роздільною здатністю 640 на 480 пікселів, а початок руху якоря реле типу НМШ за допомогою запатентованого авторами пристрою [7] був зафіксований через 1,5 мс після подачі живлення в обмотку реле. Звідси витікає, що максимальна частота кадрів для реєстрації початку руху повинна бути не меншою за 750 кадрів на секунду. При цьому, вартість цифрової відеокамери з відповідними характеристиками, що випускається сьогодні, наприклад Fastvideo-400, складає більше 80 тис. грн. Використання джерела світлового сигналу

без попередньої підготовки рівномірності свідчення поля яскравості не дає можливості точних вимірювань цього поля, при розмірах зазору, що змінюється в часі, між якорем і полюсним наконечником реле, а також через значне заломлення хвилі світлового діапазону в оптично неоднорідному просторі з декількома межами переходу «повітря – скло – повітря».

Постановка завдання

Для створення оптичного каналу вимірювання руху якоря реле (реєстрації зміни повітряного зазору) необхідні фотометричні датчики такого хвильового діапазону, випромінювання якого найменш схильне до спотворень при проходженні зазору і декількох меж з оптичними середовищами різної щільності з одночасним формуванням рівномірної інтенсивності сигналу вимірюваного поля яскравості.

Це може бути досягнуто формуванням поля яскравості розсіювачем за допомогою молочного скла, при використанні в якості випромінювача прямокутної світлодіодної матриці з некогерентних джерел випромінювання. З урахуванням того, що світловий промінь проходить декілька оптичних середовищ різної щільності (повітря – скло – повітря – скло – повітря) і лише одну оптичну щільність, то доцільно використовувати хвильовий діапазон, найменш схильний до заломлення в органічному склі.

При роботі світлодіодної матриці спільно з розсіювачем із молочного скла первинним випромінювачем є центри свідчення світлодіодів, а вторинним – зовнішня поверхня молочного скла. Методика і формули розрахунку освітленості, яка створюється зоною прямокутної форми, є загально відомими. Оптичні передавальні властивості розсіювача визначаються його функцією розсіювання точки і коефіцієнтом пропускання, при яких розсіювач стає вторинним ламбертовським випромінювачем. Розподіл яскравості на його зовнішній поверхні, як і для метрологічного калібрування прецизійних фотометричних приладів, описується відомими способами [8].

Фотометрична частина повинна забезпечувати швидкість реєстрації не менше 1 мс, бути дешевою і простою у настройці та реалізації.

Шляхи рішення завдання

Для автоматизації вимірювання механічних характеристик реле при вимірюванні повітряного зазору оптичним методом важливо враховувати не просто дифракцію світла по контуру

об'єкта, а дифракцію на щілини, так звану дифракцію Фраунгофера.

Згідно принципу Гюйгенса, кожна точка площини щілини розміром Δx , до якої дійшло світлове збурення, стає джерелом вторинних хвиль, що розповсюджуються на всі боки під різними кутами дифракції. Дифракційні пучки когерентні і можуть інтерферувати при накладенні. Результат інтерференції на зазорі між якорем і полюсним наконечником реле у вигляді періодичного розподілу інтенсивності добре спостерігається на екрані з молочного скла, розташованому на значній відстані від реле (рис. 1). Аналітичний розрахунок розподілу інтенсивності світла при дифракції на щілині наданий у [3, 4].

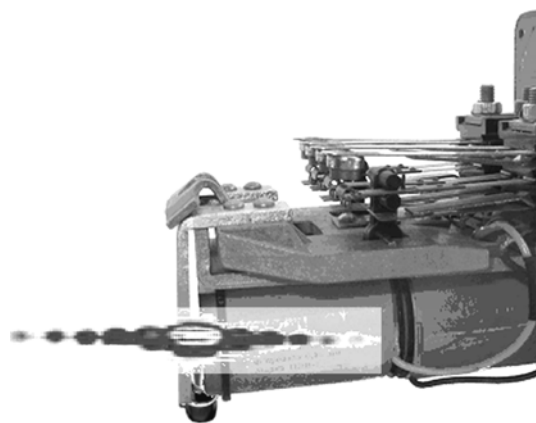


Рис. 1. Результат інтерференції променя, який пройшов крізь зазор між якорем і полюсним наконечником реле

Слід враховувати, що оптичний промінь піддаватиметься не тільки дифракції на щілині, але і дисперсії при проходженні прозорого кожуха реле зі стінками з органічного скла різної товщини й оптичної щільності.

З погляду геометричної оптики, дисперсію можна пояснити як відмінність показників заломлення променів різного кольору, при цьому червоний колір має найменший показник заломлення, а фіолетовий максимальний (на відміну від заломлення аналогічних променів в результаті дифракції). Хвильова оптика трактує показник заломлення як відношення швидкостей світла у вакуумі і даній речовині:

$$n = \frac{c}{v},$$

тому швидкість розповсюдження у склі хвиль, відповідних червоному кольору, максимальна [3]:

$$v_{кр} = \frac{c}{n_{кр}}.$$

Для спрощення автоматизації процесу і точного вимірювання оптичного сигналу, що пройшов через щілину (зазор) і прозорий кожух, необхідно добитися усунення максимумів і мінімумів сигналу, а також забезпечити концентрацію променів у межах фоточутливого елементу, тобто створити рівномірну інтенсивність сигналу вимірюваного поля яскравості.

За рахунок складної картини спотворень лазерного променя, використання когерентного джерела випромінювання (лазера) не забезпечує необхідної точності вимірювань (не менше 0,05 мм).

З вищевикладених підстав для вимірювань динамічної характеристики зміни повітряного зазору реле залізничної автоматики типу НМШ або РЕЛІ вибрано інфрачервоний діапазон, а в якості оптичного випромінювача була прийнята світлодіодна матриця на основі світлодіодів інфрачервоного випромінювання SIR-505STA47 із довжиною хвилі 950 нм і шириною спектральної смуги випромінювання 40 нм.

На рис. 2 наведена схема реле типу НМШ, що пояснює розташування елементів реле і фотометричних датчиків вимірювання повітряного зазору.

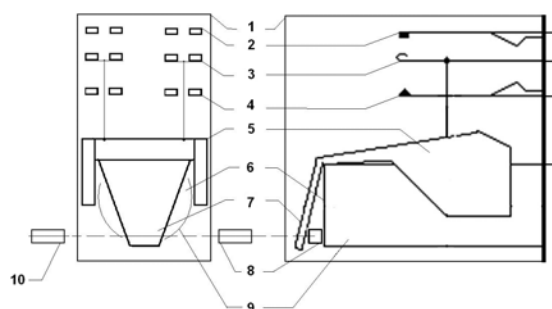


Рис. 2. Схема розташування елементів реле і фотометричних датчиків:

- 1 – прозорий кожух; 2 – фронтні контакти;
- 3 – загальні контакти; 4 – тильні контакти;
- 5 – протитяга; 6 – полюсний наконечник;
- 7 – ярмір; 8 – фотоприймач; 9 – обмотка реле;
- 10 – оптичний випромінювач

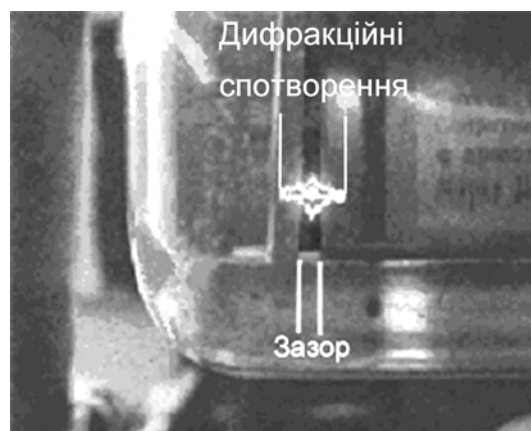
За наслідками випробувань були отримані показові результати використання різних типів випромінювачів.

На рис. 3 а, б представлені порівняні результати використання когерентного випромінювача (лазера) й інфрачервоної прямокутної матриці. На рис. 3 б немає спотворень контуру зазору, які на рис. 3 а викликані явищем дифракції.

Для реєстрації та вимірювання змінного сигналу яскравості найбільш швидкісним і економічним є метод із застосуванням одного фотоелемента з широкою фотоприймальною

площею для формування проекції поля яскравості зазору. В якості коліматора (формує паралельного пучка) доцільно застосовувати простий коліматор у вигляді отвору, що калібрується.

а)



б)

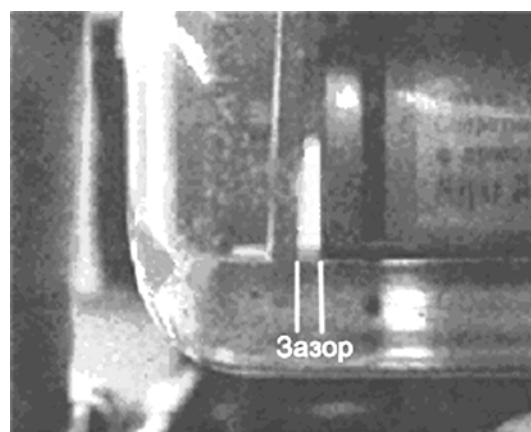


Рис. 3. Приклади використання в якості джерела випромінювання променя: а) когерентного джерела випромінювання (лазера); б) інфрачервоної прямокутної матриці, який пройшов крізь прозорий кожух та зазор між ярміром і полюсним наконечником реле

З цією метою в якості фотоприймача вибраний фотодіод ФД24К із діапазоном спектральної характеристики 470...1200 нм і діаметром фоточутливого елементу 10 мм.

Для точного позиціонування повітряного зазору реле були запатентовані спосіб і пристрій ВДК (вимірювально-діагностичний комплекс), принцип дії якого полягає в скануванні платформи з реле між випромінювачем і фотоприймачем [9, 10].

На рис. 4 наведена динамічна характеристика зміни повітряного зазору реле НМШ в циклі «Ввімкнення – Вимкнення», зареєстрована оптичним каналом вимірювання ВДК.

На рис. 5 наведені результати перевірки калібрування оптичних датчиків ВДК по лінійності вимірювання повітряного зазору реле при

кроці ручного регулювання зазору, рівному 0,1 мм. На рисунку видно нелінійність першого кроку результатів вимірювання: при його значенні 0,1 мм, прилад зафіксував значення близько 0,05 мм, що може бути враховане в програмній обробці вимірювання.

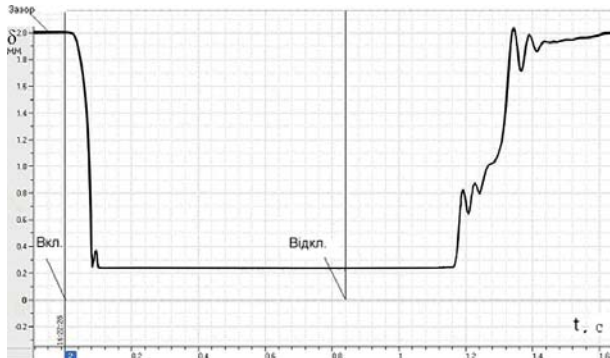


Рис. 4. Динамічна характеристика зміни повітряного зазору реле НМШ

При мінімальному допуску висоти антимагнітного штифта (для деяких типів реле – 0,15 мм), погрішність вимірювання, яка отримана в результаті калібрування і наведена на рис. 3, може вважатися допустимою.

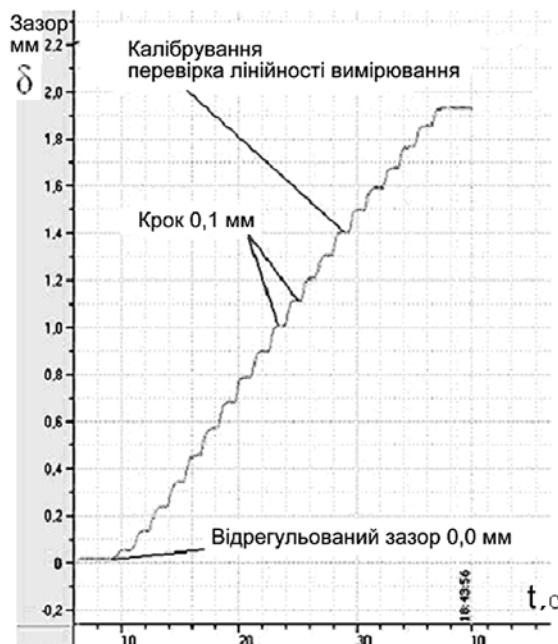


Рис. 5. Результати калібрування пристрою і перевірки лінійності вимірювання повітряного зазору реле

Висновок

Використання когерентного джерела випромінювання (лазера) не забезпечує необхідної точності вимірювань.

Використання лінійок ПЗЗ недоцільне для реєстрації швидкоплинного процесу роботи

реле через низьку швидкість зчитування інформації або через високу вартість цифрової камери.

Для вимірювання динамічної характеристики зміни повітряного зазору реле залізничної автоматики доцільно використовувати інфрачервоний діапазон, в якості оптичного випромінювача – некогерентну світлодіодну матрицю, а в якості фотоприймача – фотодіод із широкою фотоприймальною площею і простим коліматором із розсіювачем із молочного скла у вигляді отвору з можливістю калібрування.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Совершенствование методов обслуживания и эксплуатации устройств СЦБ [Текст] : отчет по НИР / ЦНИИ МПС. – 553-У-76-78. – Свердловск, 1978. – 162 с.
2. Стенд для проверки реле СЦБ. Разработка предложений по созданию стенда на базе КТС-ЛИУС-2 [Текст] : отчет по НИР / ДИИТ. – 353/3803. – Д., 1983. – 54 с.
3. Ландсберг, Г. С. Оптика [Текст]. – 5-е изд. / Г. С. Ландсберг. – М.: Наука, 1976. – 928 с.
4. Ваганов, Р. Б. Основы теории дифракции [Текст] / Р. Б. Ваганов, Б. З. Каценеленбаум. – М.: Наука, 1982. – 272 с.
5. Еськова, Л. М. Основы метрологии и оптические измерения [Текст] : методические указания. – СПб.: СПб ГИТМО (ТУ), 1999. – 56 с.
6. Пат. 2262660 Российская Федерация. Способ и устройство бесконтактного оптического измерения размеров объектови [Текст] / Венедиктов А. З., Демкин В. Н., Доков Д. С.; заявл. 20.10.05, Бюл. № 29.
7. Пат. на винахід 70568 Україна. Пристрій для вимірювання переміщення якоря електромагнітного реле [Текст] / Разгонов А. П., Андреевських О. В., Бондаренко Б. М., Безрукавий Д. А.; заявл. 25.04.07, Бюл. № 5 (2007).
8. Иванов, Л. П. Оптика рассеивающих сред [Текст] / Л. П. Иванов. – Мн: Наука и техника, 1969. – 448 с.
9. Декл. пат. на корисну модель 7850 Україна. Пристрій для вимірювання механічних параметрів електромагнітного реле [Текст] / Разгонов А. П., Андреевських О. В., Бондаренко Б. М., Безрукавий Д. А.; заявл. 15.07.05, Бюл. № 7 (2005).
10. Пат. на корисну модель 35716 Україна. Спосіб автоматизації контролю механічних параметрів електромагнітного реле [Текст] / Разгонов А. П., Андреевських О. В., Бондаренко Б. М., Безрукавий Д. А.; заявл. 10.10.08, Бюл. № 19.

Надійшла до редколегії 15.09.2009.

Прийнята до друку 18.09.2009.