

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty of Computer Technologies and Systems

Department of Automation and Telecommunication

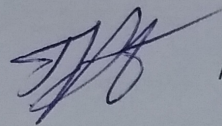
Explanatory Note
to Master's Thesis
master
(higher education degree)

on the topic: Modeling the shape of the optical collimator of the emitter in the device
for optical measurement of mechanical parameters of the relay

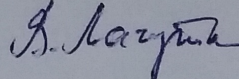
according to educational curriculum «Automatic machinery and automation in transport
industry»

in the Specialty: 174 «Automation, computer-integrated technologies and robotics»

Done by the student of the group AT2322



/ Bohdan HRYNOVETSKYI /

Scientific Supervisor: associate professor  Vasyl LAHUTA /

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies**

Faculty of Computer Technologies and Systems

Department of Automation and Telecommunication

Explanatory Note
to Master's Thesis
master
(higher education degree)

on the topic: Modeling the shape of the optical collimator of the emitter in the device
for optical measurement of mechanical parameters of the relay

according to educational curriculum «Automatic machinery and automation in
transport industry»

in the Specialty: 174 «Automation, computer-integrated technologies and robotics»

Done by the student of the group AT2322

/ Bohdan HRYNOVETSKYI /

Scientific Supervisor: associate professor

/ Vasyl LAHUTA /

Dnipro – 2025

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерні технології та системи
Кафедра: Автоматика та телекомунікації
Рівень вищої освіти: магістр
Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті
Спеціальність: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АТ
_____ Володимир
ГАВРИЛЮК
(підпис)

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу _____ магістр
(ступінь вищої освіти)

студенту Гриновецький, Богдан Леонідович
(Прізвище, Ім'я, По батькові)

1. Тема роботи: Моделювання форми оптичного коліматора випромінювача в пристрої оптичного виміру механічних параметрів реле

Керівник роботи: Лагута Василь Васильович, к.т.н., доцент
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від _____ « 05 » 01 2024 р. № 20 ст

2. Строк подання студентом роботи: 25 . грудень .2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Реле типу НМШ. Модель просвічування фізичного проміжку між якорем і полюсним наконечником прямокутної і круглої форми.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: Виконати аналіз методів вимірювань перевірки параметрів реле СЗАТ. Виконати аналіз оптичних засобів вимірювання характеристик оптичного каналу.

4.2 Основна частина: Запропонувати вимірювальний оптичний канал. Здійснити моделювання процесу вимірювання відстаней між якорем і полюсним наконечником реле.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Методи автоматизованих вимірювань механічних параметрів реле. Аналіз оптичних засобів вимірювання характеристик оптичного каналу. Опис вимірювального каналу. Моделювання просвічування фізичного проміжку між

якорем і полюсним наконечником прямокутної і круглої форми.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Аналітична частина	Лагута В.В., доцент	10.01.2024	10.01.2024
Основна частина	Лагута В.В., доцент	10.01.2024	10.01.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ (Актуальність. Мета роботи. Методи дослідження. Практична значення отриманих результатів)	15.09.2024	2-5 с
2	Розділ 1. Аналіз методів автоматизованих вимірювань і автоматизованих вимірювальних стендів перевірки параметрів реле СЗАТ	20.09.2024	7-10 с
3	Розділ 2. Аналіз оптичних засобів вимірювання і вибір характеристик оптичного каналу вимірювання механічних параметрів реле	01.10.2024	7-10 с
4	Розділ 3. Опис вимірювального каналу	15.11.2024	7-10 с
5	Розділ 4. Моделювання процесу вимірювання відстаней між якорем і полюсним наконечником реле	01.12.2024	15-20 с
6	Висновки	20.12.20	1-2 с
	Перелік посилань	20.12.20	
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	25.12.2024	
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

_____ (підпис)

Богдан ГРИНОВЕЦЬКИЙ

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Василь ЛАГУТА

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

61 сторінок, 8 рисунків, 34 джерел літератури.

Об'єкт розробки – геометричні моделі оптичних коліматорів випромінювача для вимірювання відстані або положення якоря реле при русі.

Мета роботи – визначення форми і розмірів коліматора випромінювача з урахуванням геометричної особливості фізичного (повітряного) проміжку між якорем і полюсним наконечником.

Методи дослідження – теоретичні основи залізничної автоматики і телемеханіки, фізика оптики, оптичні виміри, геометрія (планіметрія), математичний аналіз.

У першому розділі здійснено аналіз методів автоматизованих вимірювань і автоматизованих вимірювальних стендів перевірки параметрів реле систем залізничної автоматики. У другому розділі проведено аналіз оптичних засобів вимірювання і вибір характеристик оптичного каналу вимірювання механічних параметрів реле. У третьому розділі зазначена проблема автоматичного вимірювання величини зазору між якорем і полюсним наконечником реле в процесі його роботи, описано вимірювальний оптичний канал та його характеристики. У четвертому розділі отримано дві моделі оптичних коліматорів випромінювача для вимірювання відстані або положення якоря реле при русі прямокутної і круглої форми.

Висновок. Запропоновано геометричні моделі коліматора випромінювача для побудови оптичного каналу вимірювання фізичного проміжку між якорем і полюсом реле.

Ключові слова: реле першого класу надійності, механічні характеристики реле, оптичні вимірювання, форма коліматора випромінювача, залізнична автоматика.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИМІРЮВАНЬ І АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СТЕНДІВ ПЕРЕВІРКИ ПАРАМЕТРІВ РЕЛЕ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ	10
1.1 Автоматичне вимірювання електричних, часових і механічних параметрів реле.. ..	10
1.2 Експлуатаційно-технічні вимоги до параметрів реле.....	14
1.3 Аналіз методів контролю параметрів електромагнітних реле.....	17
1.4 Автоматизовані стенди для вимірювання та контролю параметрів реле.....	22
1.5 Аналіз методів автоматизації вимірювання механічних параметрів реле.....	26
2 АНАЛІЗ ОПТИЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ І ВИБІР ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНОГО КАНАЛУ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЛЕ	29
3 ОПИС ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ.. ..	41
4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНЕЙ МІЖ ЯКОРЕМ І ПОЛЮСНИМ НАКОНЕЧНИКОМ РЕЛЕ	46
4.1 Моделювання повітряного проміжку прямокутною проекцією	48
4.2 Моделювання повітряного зазора частиною кола.....	50
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	58

ВСТУП

Для забезпечення надійної та безвідмовної роботи реле першого класу надійності проходять трудомісткий процес регулювання та перевірки на заводі-виробнику. У процесі експлуатації реле залізничної автоматики також піддаються періодичній перевірці та регулюванню по всьому комплексу параметрів, оскільки в процесі тривалої експлуатації параметри реле змінюються.

Актуальність. З впровадженням мікропроцесорної та обчислювальної техніки в системах залізничної автоматики та телемеханіки (СЗАТ) електромагнітні реле, продовжують виконувати найважливіші функціональні завдання. В основному експлуатуються релейні системи автоматики, реалізовані на реле першого класу надійності типу НМШ або РЕЛ. Високі вимоги до надійності СЗАТ досягаються шляхом значних трудовитрат на профілактику та контроль параметрів реле в ремонтно-технологічних ділянках (РТУ) дистанцій сигналізації та зв'язку. В даний час вимірювання параметрів реле, особливо механічних, відрізняється низькою точністю та високою суб'єктивністю, значними витратами часу через велику кількість ручних операцій та вимагає зняття захисного кожуха реле. Також існуюча технологія не гарантує безвідмовності реле.

В даний час вимірювання механічних параметрів реле в РТУ здійснюється різного роду пристроями, шаблонами, грамометрами, щупами і т. п. Існуюча технологія перевірки механічних параметрів реле залізничної автоматики відрізняється низькою точністю та високою суб'єктивністю через велику кількість ручних операцій. Частина механічних параметрів, таких як неодноразовість замикання контактів та спільний хід контактів взагалі не вимірюються, оскільки в РТУ відсутні для цього вимірювальні засоби. Для контролю даних параметрів використовується дуже суб'єктивний спосіб візуальної оцінки, який вимірює реальне значення параметра, лише фіксує, відповідає нормі чи ні вимірюване значення.

Сучасна обчислювальна техніка дозволяє удосконалити технологію перевірки параметрів реле СЗАТ за рахунок автоматизації процесів вимірювання та використання програмних засобів діагностики. У багатьох країнах, що використовують електромагнітні реле в залізничній автоматиці, вирішуються питання контролю електричних і тимчасових параметрів електромагнітних реле за допомогою різних автоматичних цифрових пристроїв і систем.

З використанням мікропроцесорної техніки залишаються невирішеними завдання надійного контролю механічних параметрів електромагнітних реле. Виконання ремонтно-профілактичних робіт потребує високої кваліфікації фахівців, які виконують вручну основний обсяг технологічних операцій із вимірювання та контролю механічних параметрів реле. Такі роботи передбачають значний час, у тому числі розбирання і складання приладу, що перевіряється, незалежно від його фактичного стану.

Новітня технологія профілактичних робіт на релейній апаратурі повинна включати тестовий контроль параметрів електромагнітних реле та оптимізацію міжремонтного періоду. Цю проблему вирішують, за звичай, із застосуванням пристроїв та способів для вимірювання та контролю електричних, часових та механічних параметрів реле. Використання таких пристроїв і способів успішно вирішує поставлену проблему на основі комп'ютерної технології, що включає автоматичне тестування основних параметрів реле з оцінкою стану об'єкта і його порівняння з еталоном. Крім того, за прийнятими критеріями, наприклад, за запасом ресурсу, може визначитися черговий міжремонтний період, що дозволяє перейти до більш ефективного обслуговування реле за його поточним станом, оскільки своєчасне виявлення дефектів економить кошти на усунення наслідків відмов.

Мета роботи. Побудова вимірювального оптичного каналу з визначенням вимог до джерела випромінювання світлового променя та фотоприймача випромінювання. Визначення форми і розмірів коліматора випромінювача (каліброваного отвору або майданчика випромінювання) з урахуванням

геометричної особливості фізичного (повітряного) проміжку між якорем і полюсним наконечником.

Об'єкт розробки – моделі оптичних коліматорів випромінювача для вимірювання відстані або положення якоря реле при русі

Методи дослідження. В роботі використано наступні теоретичні основи: Теоретичні основи залізничної автоматики і телемеханіки, Фізика оптики, Фізика напівпровідників, Оптичні виміри, Геометрія (планіметрія), Математичний аналіз.

Практична значення отриманих результатів. Результати зазначені в роботі можуть бути використано при розробці автоматичних та автоматизованих пристроїв і систем контролю електричних, часових, механічних параметрів електромагнітних реле з застосуванням оптичного каналу виміру.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИМІРЮВАНЬ І АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СТЕНДІВ ПЕРЕВІРКИ ПАРАМЕТРІВ РЕЛЕ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

1.1 Автоматичне вимірювання електричних, часових і механічних параметрів реле

Автоматичне вимірювання електричних і часових параметрів реле не викликає великих труднощів, для цього існують різні пристрої та використовують відомі методи, які розділяють:

- за способом отримання результатів вимірювань – на прямі, непрямі, сукупні і сумісні;
- за умов вимірювання – контактні і безконтактні [1].

Існує проблема автоматичного вимірювання механічних параметрів реле залізничної автоматики, яка безпосередньо пов'язана з можливістю автоматичного вимірювання величини повітряного проміжку між якорем і полюсним наконечником реле в процесі його роботи та з можливістю автоматичної діагностики працездатності реле в цілому. Для вирішення даної проблеми в різний час були запропоновані різні способи і пристрої [2-4]. Але дотепер не створено серійного зразка автоматизованого стенда для вимірювання механічних параметрів реле залізничної автоматики без зняття захисного кожуха. Ефективно проблема може бути вирішена використанням сукупності неконтактних методів вимірювання [5-7].

Структурна схема моделі сумісного використання автоматичних способів вимірювання параметрів реле представлена на рис. 1.1. Для отримання результатів автоматичного вимірювання параметрів реле необхідно мати вихідні данні про реле та які вимірювальні характеристики необхідні для дослідження, визначення параметрів, діагностики й прогнозування.

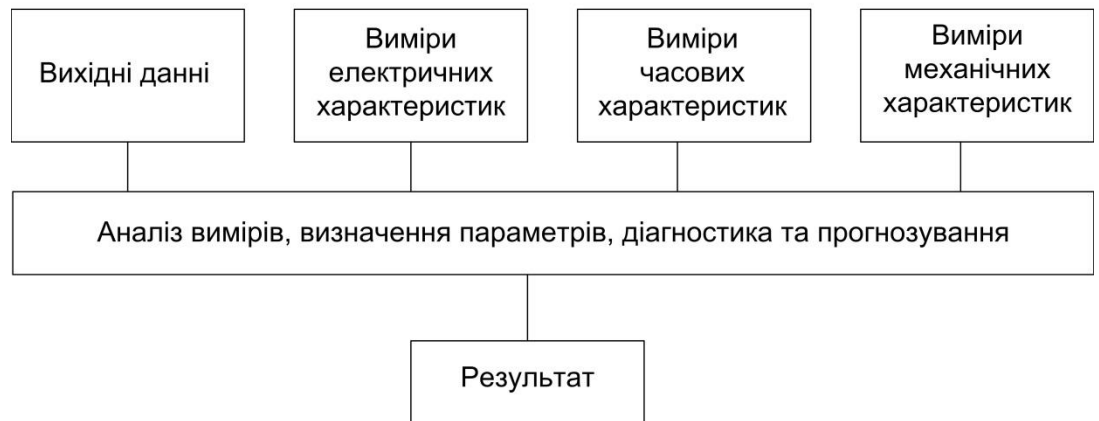


Рисунок 1.1 – Структурна схема автоматичних способів вимірювання параметрів реле.

Розгорнута схема побудови моделі сумісного використання автоматичних способів вимірювання параметрів реле представлена на рис. 1.2. Вихідні данні повинні містити інформацію про тип реле, конструктивні особливості реле, що досліджується та попередні, архівні данні, які були отримані за визначений час [8, 9].

Алгоритм вимірювання електричних характеристик реле містить послідовності: вимірів опору обмоток реле, вимірів перехідного опору контактів опору ізоляції, вимірів струму спрацювання та струму відпадання.

Алгоритм вимірювання часових характеристик містить послідовності: вимірів часу спрацювання (тяжіння якоря реле), часу відпускання (відпадання якоря реле) та брязкоту контактів [10, 11].

Алгоритм вимірювання механічних характеристик будуються разом за допомогою використання декількох вимірювальних каналів: оптичного, акустичного, електричного та електромагнітного, кожен з яких незалежно від іншого, вимірює фізичний (повітряний) проміжок між якорем та полюсним наконечником реле, який співвідноситься з комутацією контактів, для подальшого визначення механічних характеристик та діагностики роботи реле в цілому. Ціль вимірювання однієї і тої самої фізичної величини декількома

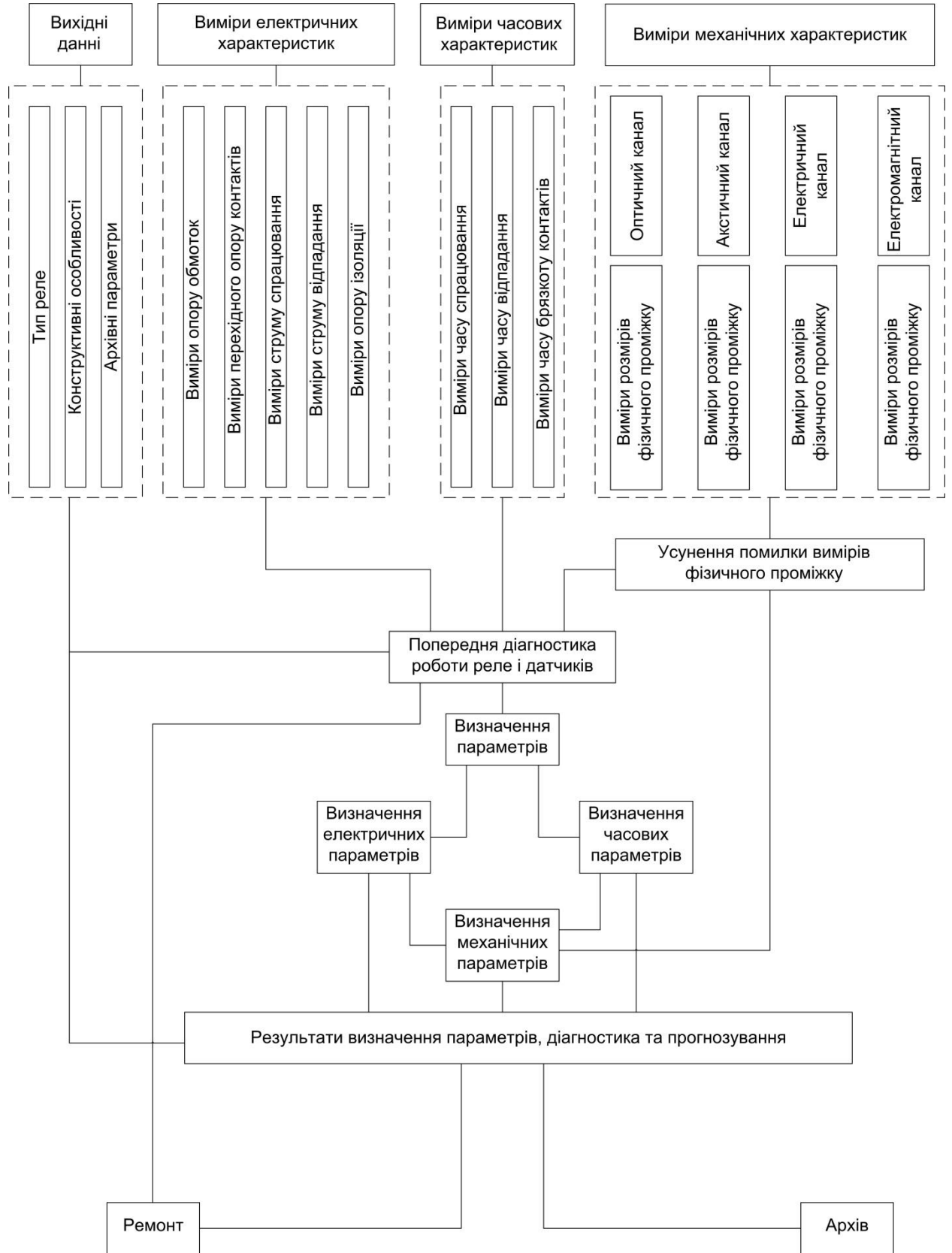


Рисунок 1.2 – Розгорнута схема побудови моделі автоматичних способів вимірювання параметрів реле

методами полягає у зменшенні похибки вимірювання, яка автоматично компенсується після отримання всіх вимірювань у каналах зняття первинної інформації. При цьому слід зазначити, що чим більше вимірювальних каналів та проведених вимірювань, тим більша достовірність параметра.

Виміри динамічних характеристик відбуваються та записуються під час автоматичних випробувань реле за комплексною тестовою програмою.

Для запобігання вимірювань при відсутньому або пошкодженому реле та несправному датчику вимірювань, попередня діагностика роботи реле і всього вимірювального комплексу з датчиками автоматично відбувається при отриманні динамічних характеристик реле. Після цієї первинної діагностики автоматично видається дозвіл на продовження вимірювання параметрів, або заборона вимірювання з відповідною командою на ремонт.

Визначення параметрів реле відбувається із закінченням випробувальної частини вимірювань. При цьому визначення механічних параметрів відбувається після отримання електричних і часових параметрів з використанням зведеного результату вимірювань фізичного проміжку. На підставі отриманих даних визначаються такі механічні параметри як:

- висота антимагнітного штифта;
- хід якоря;
- міжконтактний зазор при перельоті і в крайніх положеннях якоря;
- контактний тиск;
- неодноразність замикання або розмикання контактів; сумісний хід контактів;
- фізичний зазор реле, тобто максимальна відстань між якорем і осердям реле, вимірюване по осі осердя.

Суть визначення окремого параметру полягає у кількісному визначенні його величини у межах визначених допусків. Якщо величина параметру знаходиться за межами допусків, відразу видається команда на ремонт випробуваного блоку реле.

Якщо всі параметри знаходяться в межах допусків, відбувається формування звіту результатів діагностування та здійснюється прогнозування часу можливої відмови за конкретним параметром. Прогнозування здійснюється шляхом порівняння отриманих даних з даними попередніх випробувань. Всі дані про випробування конкретного реле та отримані при цьому результати вимірювань надсилаються для зберігання у числовому вигляді до архіву.

1.2 Експлуатаційно-технічні вимоги до параметрів реле залізничної автоматики

Електромагнітні реле, що експлуатуються в пристроях автоматики, повинні задовольняти велику кількість різних експлуатаційно-технічних вимог (ЕТВ). Усі параметри електромагнітних реле можна розділити на три типи [12]: електричні, часові та механічні.

До електричних параметрів електромагнітного реле відносяться: напруга (струм) спрацьовування реле; напруга (струм) відпускання реле; робоча напруга (струм) реле; напруга (струм) перевантаження реле; опір обмотки реле; перехідний опір замкнутих контактів; коефіцієнт запасу; коефіцієнт повернення (коефіцієнт безпеки).

До часових параметрів електромагнітного реле відносяться: час спрацьовування реле; час відпускання реле; час перельоту якоря з одного становища до іншого.

До механічних параметрів електромагнітних реле відносяться: висота антимагнітного штифта; хід якоря; міжконтактний зазор; контактний тиск; неодноразність замикання чи розмикання контактів; спільний перебіг контактів.

Крім перелічених параметрів, роботу електромагнітного реле характеризують механічна та тягова характеристики. Механічна характеристика реле – це залежність механічних зусиль, що долаються якорем за його руху, від ходу якоря. Тягова характеристика - це залежність

електромагнітної сили тяжіння створюваної електромагнітом реле від величини повітряного зазору між якорем і сердечником при постійній магніторушійній силі (м.р.с.) [12].

Всі електромагнітні реле за надійністю роботи діляться на реле першого класу та нижчого реле класу надійності. У всіх пристроях залізничної автоматики, що забезпечують безпеку руху поїздів, застосовуються реле першого класу надійності типів НМ, НМШ та РЕЛ. На їх основі будуються робочі та контрольні ланцюги управління світлофорами та стрілками, рейкові ланцюги, а також логічні схеми, що безпосередньо забезпечують безпеку руху поїздів. Реле залізничної автоматики розробляються, виготовляються та експлуатуються з урахуванням спеціальних експлуатаційно-технічних вимог (ЕТВ) щодо забезпечення надійності.

Відповідно до ЕТВ електромагнітні реле СЦБ першого класу надійності мають виключати небезпечні відмови. Для цього вони повинні відповідати наступним основним вимогам.

1. Фронтіві та загальні контакти не повинні зварюватись за будь-яких умов експлуатації. Для фронтівих контактів застосовується вугілля з металевим наповненням, а загальних контактів срібло чи його сплави.

2. Якір повинен повертатися у вихідний стан та замикати тиліві контакти при знятті напруги з обмоток або зменшенні його до величини напруги відпускання під дією сили тяжіння.

3. Можливість залипання якоря після вимкнення живлення повинна бути виключена. Для цього між якорем і сердечником завжди повинен бути залишковий повітряний зазор, який реалізується за допомогою бронзового антимагнітного штифта, укріпленого на якорі. У нормальнодіючих реле висота штифта повинна бути не менше 0,2 мм, а у реле повільно діючих - не менше 0,15 мм.

4. Всі тиліві контакти реле повинні розмикатися при замиканні хоча б одного фронтівого контакту і навпаки. Ця вимога виконується лише у реле першого класу надійності типу РЕЛ.

ЕТВ до реле першого класу надійності включають також вимоги до електричних параметрів, до контактів і конструкції реле.

Основні вимоги до електричних параметрів електромагнітного реле першого класу надійності: напруга спрацьовування трохи більше 0,8 від номінального; напруга відпускання не менше ніж 0,08 від номінального; напруга (струм) спрацьовування реле, виміряне за однієї полярності, має перевищувати напруга (струм) спрацьовування за іншої полярності більш як 20%; коефіцієнт повернення для колійних реле повинен бути не менше 0,5, вогневих реле не менше 0,3, у решти не менше 0,2; обмотка реле повинна тривалий час витримувати напруги перевантаження, що дорівнює дворазовій номінальній робочій напрузі.

Основні вимоги до контактів реле першого класу надійності: перехідний опір фронтних контактів трохи більше 0,3 Ом, тильових контактів трохи більше 0,03 Ом; розчин контактів щонайменше 1,3 мм, а момент перемикання контактів щонайменше 0,8 мм; спільний хід контактів повинен бути не менше 0,35 мм, а ковзання контактів для їх самоочищення у фронтних контактів має бути не менше 0,25 мм, а у тильових контактів не менше 0,2 мм; контактний тиск фронтних контактів не менше ніж 0,294 Н (30 гр), а тильових контактів не менше ніж 0,147 Н (15 гр); неодноразовість замикання або розмикання контактів - не більше 0,2 мм.

ЕТВ до конструкції реле першого класу надійності включає наступне. Реле повинно мати конструкцію, яка не потребує додаткового схемного контролю відпускання якоря. Положення контактів має забезпечуватися механічним з'єднанням їх між собою та якорем. Штепсельні роз'єми реле повинні унеможливити його помилкового включення. Корпус реле повинен виключати потрапляння всередину вологи, пилу та газів для усунення впливу зовнішнього середовища на роботу реле. Реле повинне стійко працювати при температурі навколишнього повітря від -40 до +60 0С та відносній вологості до 95%, виміряної при температурі +200С.

1.3 Аналіз методів контролю параметрів електромагнітних реле

Для забезпечення відповідності ЕТВ реле залізничної автоматики проходять трудомісткий процес регулювання та перевірки на заводах-виробниках, а також за вхідного контролю в РТУ відразу після отримання та після тривалого зберігання. У процесі експлуатації реле також періодично перевіряються і регулюються по всьому комплексу параметрів, так як в процесі тривалої експлуатації параметри реле змінюються. В даний час усі основні роботи з ремонту, регулювання та перевірки параметрів реле зосереджені на ремонтно-технологічних ділянках СЦБ [8,9].

Технологію перевірки електромагнітних реле першого класу надійності в РТУ викладено в [13]. Ремонт та перевірка приладів СЦБ виконується з дотриманням принципу подвійної перевірки. Регулювання та вимірювання електричних, часових та механічних параметрів реле здійснює електромеханік-регулювальник, а контрольну перевірку та пломбування – інший електромеханік або старший електромеханік, який має право прийому апаратури та друк для пломбування.

Гарантувати безвідмовну роботу реле протягом заданого терміну експлуатації можливо лише за умови точного вимірювання їх електричних, тимчасових та механічних параметрів, а також відповідності цих параметрів ТУ заводу-виробнику та технологічним картам на ремонт реле в РТУ. Електромеханік при перевірці нейтральних реле в РТУ, відповідно до технологічного процесу, повинен виконати вимірювання не менше п'яти механічних, п'яти електричних та двох часових параметрів. При цьому загальна кількість вимірювань, що припадають на одне реле, може досягати 50 для механічних параметрів і до 21 для електричних параметрів, залежно від числа контактів і кількості реле обмоток.

Для вимірювання електричних параметрів реле в РТУ використовують типовий універсальний стенд для випробування реле СЦБ, дешифраторних осередків і трансмітерів типу СІ-СЦБ заводського виготовлення [13] або спрощений спеціалізований стенд, що виготовляється самостійно в РТУ [4].

Стенд є набір регульованих вторинних джерел живлення, стрілочних електровимірювальних приладів, електросекундоміра і допоміжних комутаційних пристроїв. Стенд дозволяє вимірювати напругу (струм) спрацьовування та відпускання реле постійного та змінного струму з напругою навантаження до 250 В, а також перехідний опір контактів методом вольтметра-амперметра. Регулювання напруги (струму) на обмотці реле здійснюють за допомогою Латра. Як вимірювальні прилади до 1974 року застосовувалися електромагнітні прилади М24 з установкою шунтів і додаткових резисторів, а з 1974 року зовнішній комбінований прилад Ц4312. Комбінований вимірювальний прилад Ц4312 має клас точності 1,0 по постійному та 1,5 по змінному струму, а прилади М24 - 1,5 по постійному та 2,5 по змінному струму.

Вимірювання опору обмотки реле проводять у будь-який спосіб, що забезпечує похибку не більше 1%. Для вимірювання опору реле обмоток використовують ампервольтметр Ц4312 або омметр Щ-30. Для струмових реле, мають малий опір обмотки, використовують міст постійного струму. Наявність короткозамкнутих витків в обмотках реле визначають за допомогою окремого приладу, що є містом змінного струму. При насадці на осердя котушки з короткозамкненими витками, індуктивний опір плеча зміниться, що призведе до розбалансу моста і відхилення стрілки міліамперметра.

Вимірювання перехідного опору контактів проводять чотирипровідним методом, що дозволяє виключити вплив сполучних проводів на результати виміру. Через контакти, що вимірюються пропускають струм 0,5 А і за допомогою мілівольтметра вимірюють падіння напруги на контактах, значення якого буде пропорційно перехідному опору контактів. Якщо перехідний опір контактів більше за норму, то виробляють ще три виміри для виключення помилки [13]. Точне вимірювання перехідного опору контактів можливе лише за наявності стабільного джерела струму, який у універсальному стенді СІ-СЦБ відсутній.

До недоліків технології вимірювання електричних параметрів реле відносяться:

- невисокий клас точності вимірювальних приладів;
- Низька чутливість вимірювальних приладів електромагнітного типу;
- нерівномірність шкали стрілочних вимірювальних приладів;
- часті відмови вимірювальних приладів через пропадання електричних кіл або збільшення перехідного опору в контактах перемикачів між вимірювань;
- відсутність у стенді стабілізованих джерел живлення, що збільшує похибку вимірювання;
- ручне регулювання вихідної напруги (струму) за допомогою ЛАТРа, що не забезпечує достатньої точності вимірювання;
- велику кількість ручних операцій при вимірі параметрів реле (до 30 комутацій на одне реле).

Вимірювання часових параметрів реле здійснюється за допомогою універсального стенду для перевірки приладів СЦБ та електросекундомера типу ПВ-53Щ, вбудованого в стенд, або за допомогою зовнішнього цифрового вимірювача часових параметрів реле Ф291. Стрільний електросекундомір ПВ-53Щ має крок вимірювання часових інтервалів 10 мс, а цифровий вимірювач часових параметрів реле Ф291 – 1 мс.

Недоліками технології вимірювання часових параметрів реле є:

- низька точність вимірювання часу спрацьовування та часу відпадання нормальнодіючих реле, особливо електросекундомір ПВ-53Щ;
- неможливість вимірювання часу брязкоту контактів, так як воно можна порівняти, або менше кроку вимірювання електросекундомера ПВ-53Щ і Ф291;
- можливість влучення електромеханіка під небезпечну напругу (220В) при вимірі часових параметрів електросекундоміром ПВ-53Щ;
- витрати часу на складання схеми вимірювання часових параметрів реле.

В даний час вимір механічних параметрів реле здійснюється різного роду пристроями, шаблонами, грамометрами, щупами і т.п.

Висота антимагнітного наклепу згідно з ЕТВ до реле першого класу надійності нормується, оскільки вона істотно впливає на коефіцієнт

повернення, електричні та інші параметри реле. Зараз ця операція проводиться вручну, за допомогою набору щупів №2 і №3 [13], причому електромеханік-регулювальник візуально визначає момент рівності вимірюваної величини і щупів, що підбираються. Також вимірювання висоти антимагнітного наклепу може проводитися за допомогою пристрою на базі стрілочного індикатора годинного типу (люфтомера), що дозволяє визначати висоту антимагнітного наклепу з точністю до 0,01 мм. Дана технологія вимірювання висоти антимагнітного наклепу відрізняється суб'єктивністю при оцінці вимірюваної величини, малою продуктивністю і вимагає від електромеханіка напруженого та стомлюючого візуального контролю.

Спільний хід фронтних (тилових) контактів визначається ходом якоря від моменту прямого дотику контактів, що замикаються, до моменту повного тяжіння (відпускання) реле. Вимірювання цього параметра проводиться щупами при візуальному контролі знаходження спільних контактів у зіткненні з фронтними (тиловими). Необхідний спільний хід фронтних та загальних контактів забезпечують наступним чином. Між сердечником і якорем вводять щуп товщиною 0,4 мм і домагаються прямого дотику контактів, що замикаються, при мінімально помітному просвіті 0,01-0,03 мм. Для визначення спільного ходу тилівих контактів між якорем і осердям вводять щуп товщиною 0,9 мм. При такому регулюванні спільний хід контактів буде не менше 0,35 мм згідно з ЕТВ до реле першого класу надійності. Ця операція виконується кожному за контакту окремо, тобто. для реле НМШ необхідно близько 16 послідовних вимірів. Для зниження зорової напруги регулювальника до контактів підключають світлову чи звукову індикацію для фіксації моментів замикання та розмикання контактів [13]. Даний метод вимірювання спільного ходу контактів має такі недоліки:

- не вимірюється реальна величина спільного ходу контактів, лише фіксується, відповідає чи відповідає нормі вимірюване значення. У той же час значення цього параметра істотно впливає на напругу спрацьовування та відпускання реле, перехідний опір контактів, контактний тиск і час

спрацьовування реле і, що найбільш важливо, визначає ресурс роботи контактної системи;

- висока зорова напруга електромеханіка-регулювальника;
- значні витрати часу регулювання, оскільки кожен контакт регулюється окремо.

Вимір контактного тиску проводиться вручну за допомогою грамометра годинного типу Г-10-60 [10]. Контактний тиск вимірюють шляхом відтягування фронтового (тилового) контакту від загального та відліку показань у момент їх розмикання. Для підвищення точності відліку додають світловий чи звуковий контроль розмикання контактів [9]. При цьому точніше фіксується момент розмикання контактів і виключається досить стомлююча для регулювальника операція візуального контролю за положенням контактів. Статистичні спостереження показують, що недоліком способу вимірювання контактного тиску є досить висока похибка. Вона обумовлена як суб'єктивністю щодо моменту відліку показань, оскільки напрям зусилля і точка докладання зусилля при відтягуванні контакту встановлюються електромеханіком вручну, і похибкою самого грамометра. Грамометр Г-10-60 необхідно утримувати в руці на рівні поздовжньої осі вимірюваного контакту, оскільки будь-які відносні відхилення цієї осі призводять до збільшення похибки вимірювання. Висока похибка вимірювання контактного тиску (до 30%) відбивається як регулювання реле в РТУ і сильно впливає з їхньої комутаційний ресурс.

З проведеного аналізу технології перевірки реле в РТУ можна зробити такі висновки:

- для перевірки електричних та часових параметрів реле в даний час застосовуються морально застарілі стенди, що не забезпечують необхідної точності;
- результати вимірювань характеризуються високою суб'єктивністю, яка обумовлена ручним управлінням виконавчими пристроями, недоліками стрілочних вимірювальних приладів безпосередньої оцінки (інерційністю, нелінійністю шкали, низькою чутливістю), а також відсутністю відповідності

між допусками щодо відхилення вимірюваної величини та класом точності вимірювального приладу;

- процес вимірювання параметрів реле трудомісткий, стомливий і вимагає від електромеханіка високої кваліфікації, постійної зорової напруги та значних витрат часу, оскільки практично всі операції технологічного процесу перевірки параметрів реле виконуються вручну;

- продуктивність праці є низькою через невисоку швидкість вимірювань, а також втрат часу на складання схем вимірювань та обробку результатів.

Статистичні дослідження, проведені в ДПТ, показали, що до 10% реле випускаються із РТУ з браком, тобто. їх параметри лежать поза допустимими межами, а величина міжконтактного зазору при перельоті якоря може відхилятися від норми до 35% [14]. Резерви підвищення якості перевірки реле та продуктивності праці при використанні існуючої технології та вимірювальних приладів практично вичерпані, тому для усунення даних недоліків необхідне оснащення РТУ стендами, що дозволяють автоматизувати вимірювання параметрів та характеристик електромагнітних реле залізничної автоматики.

1.4 Автоматизовані стенди для вимірювання та контролю параметрів реле

Розробка методів вимірювань та автоматизованих вимірювальних стендів (АВС) для перевірки параметрів реле залізничної автоматики розпочалася ще у 70-80-ті роки 20-го століття. Проводилися роботи зі створення напівавтоматичного вимірювального стенду щодо перевірки параметрів реле [4-7]. В результаті цієї роботи було запропоновано методи автоматизації вимірювання параметрів реле, а також розроблено та виготовлено макетний зразок стенду. Стенд призначався для автоматизації технологічного процесу вимірювання параметрів реле в РТУ та при вихідному контролі на заводах-виробниках. Цей стенд мав вимірювати такі параметри електромагнітних реле: напруги спрацьовування та відпускання реле; перехідний опір контактів; час

спрацьовування та відпускання реле з точністю ± 1 мс; неодночасність замикання контактів; міжконтактний зазор при перельоті контактів та в крайніх положеннях; фізичний проміжок реле; контактний тиск для реле типу НР; висоту антимагнітного наклепу (за допомогою контрольного щупа при знятому кожусі реле).

Для вимірювання механічних параметрів без зняття кожуха в даному стенді пропонувалося використовувати токовихревий вимірювач переміщення якоря [13], який дозволяв отримати на виході напругу пропорційну координаті якоря $x(t)$. Промисловий зразок стенду не було виготовлено, тому що він мав цілу низку недоліків, основними з яких є:

- токовихревий датчик для вимірювання механічних параметрів реле був ненадійним у роботі, вимагав ретельного налаштування та калібрування для кожного реле, що перевіряється, і не відрізнявся високою точністю та стабільністю показань;

- обробка інформації проводилася в аналоговій формі, так як в стенді повністю відсутні цифрові мікросхеми. Наприклад, для зберігання аналогових величин пропонувалося використовувати інтегратори на базі операційних підсилювачів (ОУ) і польових транзисторів, які мали малий час зберігання (30-40 хвилин), невисоку точність через розряд конденсаторів і помилки, що вноситься самим ОУ, а також відрізнялися складністю у виготовленні та налаштуванні. В результаті цього стенд мав невисоку точність і низьку швидкодію;

- як елементну базу стенду використовувалася транзисторна техніка. Це призвело до того, що стенд вийшов громіздким, складним в обслуговуванні, мав високе енергоспоживання та вартість, а також відрізнявся невисокою надійністю роботи.

У 1983 році в ДІТ було розпочато роботи зі створення напівавтоматичного стенду для перевірки реле СЦБ на базі комплексу технічних засобів для локальних інформаційно-керуючих систем (КТС ЛІУС-2) [2-4]. Елементною базою КТС ЛІУС-2 є ІМС середнього ступеня інтеграції (серія К155) та

мікропроцесорний комплект K580. Відповідно до технічного завдання на розробку напівавтоматичного стенду, він повинен був вимірювати наступні параметри реле: напруга спрацьовування та напруга відпускання реле; напруга повного підйому при прямій та зворотній полярності; час відпускання реле; опір обмотки реле та перехідний опір контактів; спільний перебіг контактів; міжконтактна відстань; неодночасність замикання фронтних контактів; величину ходу якоря.

Для вимірювання механічних параметрів реле без зняття кожуха пропонувалося використовувати токовихревий датчик положення якоря, а також додатковий вимірювальний оптоелектронний перетворювач на базі лазерного випромінювача (ІЛПН-205) і піроелектронного приймача випромінювання (МГ-30).

Розроблений стенд мав цілий ряд недоліків, що не дозволило довести його до промислового виготовлення:

- низька надійність роботи стенду, зумовлена вибором елементної бази (сам стенд та обчислювальний комплекс КТС ЛУС виконані на базі мікропроцесорного комплекту K580 та цифрові мікросхеми середнього ступеня інтеграції типу K155);

- застосування зовнішніх додаткових датчиків положення якоря, дозволяло створити тільки напівавтоматичний стенд, оскільки під час перевірки кожного реле датчики вимагали індивідуального калібрування та налаштування;

- невисока точність вимірювання часових параметрів реле ($\Delta t=1\text{мс}$), не дозволяла вимірювати такі часові параметри реле як час спрацьовування реле, час перельоту контактів і час брязкоту контактів;

- стенд не передбачав можливість вимірювання таких важливих параметрів реле як контактний тиск, висота антимагнітного наклепу, неодночасність замикання тилових контактів, час спрацьовування реле;

- висока вартість стенду, обумовлена застосуванням дорогої обчислювальної системи на базі СМ 1803 і оптоелектронного лазерного вимірювального перетворювача.

У 1991 -1992 р.р. було розроблено автоматизований комплекс РТУ для перевірки характеристик реле (АРМ-РТУ-Р) та для перевірки релейних блоків залізничної автоматики (АРМ-РТУ-Б) [6, 15].

Автоматизований комплекс АРМ-РТУ-Р виконаний у вигляді модуля, що працює під керуванням комп'ютера типу ІВМ, та дозволяє вимірювати характеристики залізничних реле типу НМШ та РЕЛ. Модуль АРМ-РТУ-Р вимірює такі електричні та часові параметри реле: напруга (струм) спрацьовування реле; напруга (струм) повернення реле; перехідний опір контактів та опір обмоток реле постійному струму; напруга (струм) спрацьовування при зміні полярності; час уповільнення реле відпадання.

Автоматизований комплекс дозволяє обчислювати механічні параметри реле: спільний перебіг контактів; неодноразовість замикання та розмикання контактів; міжконтактні зазори у різних положеннях якоря. Крім цього АРМ-РТУ-Р дозволяє визначати наявність брязкоту контактів, а також наявність або відсутність прямого та повного спрацьовування. Обчислення механічних параметрів відбувається за кривою перехідного процесу $i(t)$, яка за допомогою АЦП заноситься в комп'ютер і обробляється за певним алгоритмом. У базі даних комп'ютера зберігається набір перехідних показників у всьому діапазоні зміни механічних властивостей реле. При обчисленні механічних параметрів комп'ютер вибирає з бази даних найближчі криві переміщення якоря та їх основні відомими методами апроксимації визначає необхідні параметри реле. Результати вимірювань відображаються на екрані монітора, записуються в базу даних на магнітному диску та роздруковуються на папір у вигляді протоколу випробувань.

До недоліків стенду АРМ-РТУ-Р можна віднести:

- метод оцінки механічних параметрів реле по кривій струму $i(t)$ має велику похибку [15];
- відсутність можливості вимірювання контактного тиску та висоти антимагнітного штифта;

- модуль автоматизованого комплексу АРМ-РТУ-Р виконаний на ІМС середнього ступеня інтеграції, в результаті чого він володіє великими габаритами та вагою, високою вартістю та енергоспоживанням.

Крім стендів, що вирішували комплексне завдання автоматизації вимірювання параметрів реле, розроблялися і стенди, що вирішували завдання приватного характеру. Наприклад, стенди для автоматизації вимірювання окремих параметрів реле, системи контролю параметрів реле на базі стандартних джерел живлення типу Б5-47(49) та універсальних цифрових вимірювальних приладів, стенди для автоматизації перевірки монтажу релейних блоків ЕЦ тощо. Але дані стенди були виготовлені або в одиничних екземплярах на дистанціях в РТУ, або у вигляді лабораторних макетів і не набули широкого поширення через їхню специфічність і занадто високу вартість.

1.5 Аналіз методів автоматизації вимірювання механічних параметрів реле

При автоматизації вимірювання параметрів електромагнітних реле найбільшу труднощі викликає розробка пристроїв вимірювання механічних параметрів реле. Системи для вимірювання механічних параметрів реле електричними методами будуються за триланковою структурою: 1) первинний датчик, який здійснює перетворення механічного параметра електричний сигнал; 2) блок перетворення, який реалізує обробку сигналу (масштабування, лінеаризація тощо); 3) блок реєстрації.

Для розрахунку механічних характеристик реле необхідно знати координати положення якоря при переміщенні в будь-який момент часу t . Усі методи контролю положення якоря $\delta(t)$ можна розділити на два види: контактні та безконтактні.

Контактні методи контролю мають на увазі механічне з'єднання вимірювальної системи і реле, що перевіряється. Загальний принцип роботи контактних датчиків заснований на кінематичному впливі реле, що

досліджується, на рухому частину вимірювальної системи. Переміщення рухомої частини призводить до зміни електричних параметрів вимірювальної системи і як наслідок зміни електричного сигналу на виході датчика. За типом контрольованого електричного параметра вимірювального датчика розрізняють індуктивні, ємнісні, резистивні (потенціометричні перетворювачі або тензодатчики) і оптоелектронні контактні системи.

Контактні способи не набули широкого поширення, так як мали ряд недоліків, що не дозволяють створювати на їх базі автоматизованих систем вимірювання механічних параметрів реле: необхідність зняття кожуха реле; велика кількість ручних операцій (підключення вимірювальної системи, калібрування датчика для кожного реле тощо); значне зворотне вплив самої вимірювальної системи на механічні параметри реле; складність конструкції вимірювальної системи та великий час виміру параметрів одного реле.

Найбільш перспективними є безконтактні методи виміру механічних параметрів реле [16]. У порівнянні з контактними, безконтактні методи дозволяють вимірювати механічні параметри реле без зняття кожуха реле, не впливають на параметри самого реле, а також набагато простіше у виготовленні та експлуатації. Це дозволяє будувати на базі безконтактних датчиків переміщення якоря напівавтоматичні та автоматичні стенди для вимірювання механічних параметрів реле.

Висновки за розділом

Наведений вище аналіз технології перевірки параметрів реле і методів автоматизації процесу вимірювання параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики дозволяє зробити наступні висновки.

1. Існуюча технологія перевірки параметрів реле та релейних блоків у РТУ не забезпечує необхідної якості обслуговування пристроїв залізничної автоматики, морально та технічно застаріла, а також потребує великої кількості ручних операцій, що призводить до значних витрат часу на перевірку реле та релейних блоків. Крім цього, технологія, що використовується, не дозволяє з

необхідною точністю виміряти такі механічні параметри реле як неодночасність замикання і розмикання контактів, спільний хід контактів, які впливають на комутаційний ресурс і надійність роботи реле.

2. Розроблені пристрої та стенди для автоматизації вимірювання параметрів електромагнітних реле залізничної автоматики не набули широкого поширення через їх низьку надійність та складність в експлуатації, високу вартість та значні масогабаритні показники.

3. Існуючі методи автоматизації вимірювання механічних параметрів електромагнітних реле неможливо вимірювати значення механічних параметрів, лише проводити комплексну оцінку якості роботи реле. Більшість даних методів не враховують специфіку конструкції залізничних реле першого класу надійності і тому не придатні для застосування в РТУ при вимірюванні параметрів реле та релейних блоків. Найбільш перспективним є метод обчислення механічних параметрів реле формою струму перехідного процесу, для впровадження якого необхідно розробити математичне забезпечення.

2 АНАЛІЗ ОПТИЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ І ВИБІР ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНОГО КАНАЛУ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЛЕ

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, у тому числі і з можливістю вимірювання механічних параметрів реле залізничної автоматики.

Для вирішення цього завдання в різний час були запропоновані різні способи і пристрої [17-20], але до цих пір не створено автоматизованого стенду для вимірювання механічних параметрів реле залізничної автоматики без зняття захисного кожуха.

Зі всіх 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 з 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 (рис. 2.1), з урахуванням можливих спотворень світлового променя і рівномірності поля яскравості його проекції. При цьому необхідно враховувати, що мінімальний вимірюваний зазор може бути зіставленим з довжиною оптичної хвилі випромінювача, що, за певних умов може привести до значних дифракційних спотворень оптичного сигналу.

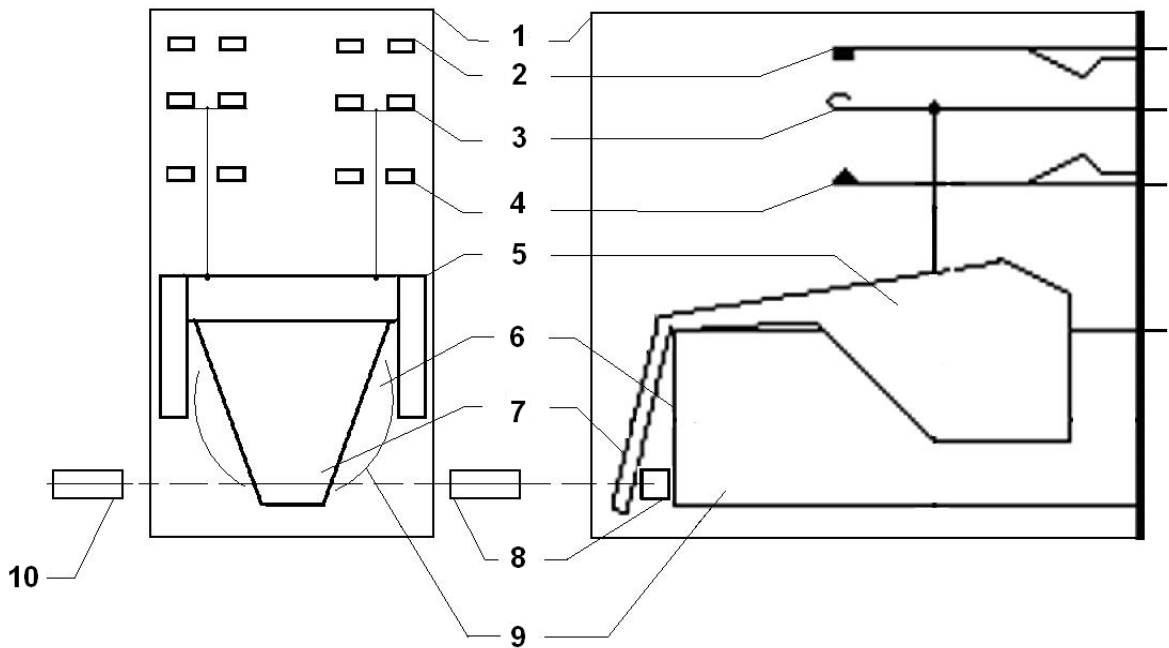


Рисунок 2.1 – Реле типу НМШ без захисного кожуха.

Схема розташування елементів реле і фотометричних давачив:

- 1 – прозорий кожух; 2 – фронтіві контакти; 3 – перекидні контакти;
 4 – тиліві контакти; 5 – протывага; 6 – полюсний наконечник; 7 – якір; 8 –
 фотоприймач; 9 – катушка; 10 – випромінювач

Обґрунтування прямого методу оптичних вимірювань. Відомі численні методи оптичних вимірювань підрозділяються на прямі і непрямі [21,22].

При прямому методі шукане значення фізичної величини отримують безпосередньо з даних вимірювального експерименту.

Існує ряд різновидів прямих вимірювань: метод безпосередньої оцінки, диференціальний метод, нульовий метод і метод збігів.

Метод безпосередньої оцінки полягає в прямому вимірюванні шуканої величини, значення якої визначається безпосередньо по відліковому пристрою вимірювального приладу прямої дії.

До методів порівняння відносять диференціальний і нульовий методи.

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

вимірюється не сама шукана величина h_s , а її відступ $\pm \Delta h$ від величини h_k , відомою з високою точністю.

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

Способи обробки результатів оптичних вимірювань детально описані в [23].

Як оцінка дійсного значення вимірюваної величини природно прийняти середнє арифметичне \bar{x} отриманих результатів вимірювань, з 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 погрішності і відкинуті промахи.

Середнє квадратичне відхилення (СКВ) ряду вимірювальних відліків (спостережень) при кінцевому числі відліків знаходять по формулі:

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

СКВ є характеристикою точності методу і засобу вимірювання. Точність результату вимірювання характеризується як СКВ середнього арифметичного:

$$S_{\bar{x}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n(n-1)}} = \pm \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

Вірогідна (довірча) погрішність:

$$R_{\bar{x}} \cong \frac{2}{3} S_{\bar{x}}$$

також може служити для характеристики результату вимірювання

$$L_{\bar{x}} = 3S_{\bar{x}}$$

Граничні погрішності. Граничні погрішності більше 3σ маловірогідні, тому інтервал $\pm 3\sigma x$ вважається інтервалом практично можливих значень випадкових погрішностей, і якщо відлік має залишкову погрішність, що перевищує величину $\pm 3\sigma x$, то він кваліфікується як промах.

Результат вимірювання можна записати у вигляді:

$$Q = \bar{x} \pm S_{\bar{x}}$$

При $\alpha = 0,95$, де Q - дійсне значення вимірюваної величини, що лежить в інтервалі, що накривається правою частиною рівності з деякою вірогідністю α , значення якої визначають по відповідній методиці [23]. На практиці найчастіше приймають $\alpha = 0,95$.

При визначенні погрішності приладу проводиться підсумовування помилок від різних джерел. При цьому випадкові незалежні погрішності підкоряються закону нормального розподілу, тому проводять їх квадратичне складання:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2},$$

де $\sigma_1 \dots \sigma_n$ – окремі середні квадратичні погрішності від різних джерел.

Систематичні погрішності додають алгебраїчно з урахуванням їх знаку. Використовуючи отримані таким чином дані, можна заздалегідь розрахувати сумарну погрішність показань приладу і усунути джерела найбільших погрішностей або, навпаки, при заданій точності приладу розрахувати допуски на складові погрішності.

Для того, щоб простіше характеризувати експериментальну погрішність приладу, на практиці часто визначають варіацію показань:

$$W = X_{\max} - X_{\min},$$

де W – розмах показань при прямому і зворотному ході звітного пристрою.

Існує спосіб безконтактного визначення розмірів і положення предмету, що полягає у отриманні тіньової проекції предмету на фотоперетворювачі [24].

У основу роботи мікрометра покладений тіньовий принцип. Мікрометр складається з двох блоків - випромінювача і приймача.

Розмір об'єкту визначається кількістю незасвічених (затемнених) пікселів на лінійці ПЗЗ. Затемненим вважається піксел, відеосигнал з якого менше певного порогу.

Можна показати, що розмір деталі визначатиметься кількістю пікселів, на яких напруга U_t більше порогового $U_{пор}$

$$U_{пор} \leq U_t = E_{\max} \cdot \exp\left(\frac{-2r^2}{r_0^2 s}\right) \cdot \left(1 - \frac{e \cdot T_{\text{экс}}}{RC}\right) \quad (2.1)$$

де E_{\max} - максимальна потужність лазерного випромінювання;

r – поточний радіус лазерного пучка на лінійці ПЗЗ;

r_0 – радіус лазерного пучка в крапці з щільністю потужності випромінювання в e^2 разів меншою, в порівнянні з інтенсивністю в центрі;

$T_{\text{екс}}$ – час експозиції;

RC – параметр, характерний для конкретної лінійки ПЗЗ.

З виразу (1) виходить, що розмір об'єкту залежить як від потужності лазерного випромінювання, так і від часу експозиції.

За час експозиції число пікселів, на яких $U_t \geq U_{\text{пор}}$, визначатиметься потужністю лазерного випромінювання, оскільки освітленість кожного пікселя – отже швидкість наростання заряду на ньому залежить від потужності лазерного випромінювання. Як наслідок, визначуваний розмір об'єкту залежатиме від величини потужності лазерного випромінювання. Тому у відомому лазерному вимірнику при флуктуаціях потужності точність визначення розміру об'єкту знижується.

Вказана проблема в деяких пристроях вирішується також, як при безконтактному оптичному вимірюванні розмірів об'єктів шляхом розміщення об'єкту між джерелом лазерного випромінювання і фотоприймачем, оптичній розгортці лазерного випромінювання в пучок паралельних променів в зоні розташування об'єкту і визначення розміру об'єкту по величині тіні на фотоприймачі, причому вимірюють потужність лазерного випромінювання P , порівнюють її із заданим рівнем P_0 і по величині $(P_0 - P)$ здійснюють коректування часу експозиції фотоприймача.

Таким чином, дифракція когерентного випромінювання по контуру об'єкту вимірювання вимагає точного визначення порогового значення корисного сигналу, а, отже, ускладнення конструкції і процесу аналізу. До того ж, реєстрація і аналіз складного процесу руху якоря реле по одному кадру, навіть з експозицією 0,1 мкс неможливі. А створення швидкісного цифрового відеозапису процесу стає економічно недоцільним (див. нижче). Використання об'єктивів як коліматорів світлового пучка ускладнює конструкцію і вимагає,

окрім автоматизації позиціонування повітряного зазору реле напроти датчиків, ще і автоматичного підстроювання оптичної системи.

Для автоматизації вимірювання механічних характеристик реле при вимірюванні повітряного зазору оптичним методом важливо враховувати не просто дифракцію світла по контуру об'єкту, а дифракцію на щілині, так звану дифракцію Фраунгофера [25].

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 у вигляді періодичного розподілу інтенсивності спостерігається на екрані (рис. 5). Аналітичний розрахунок розподілу інтенсивності світла при дифракції на щілині приводить до наступних умов спостереження максимумів і мінімумів

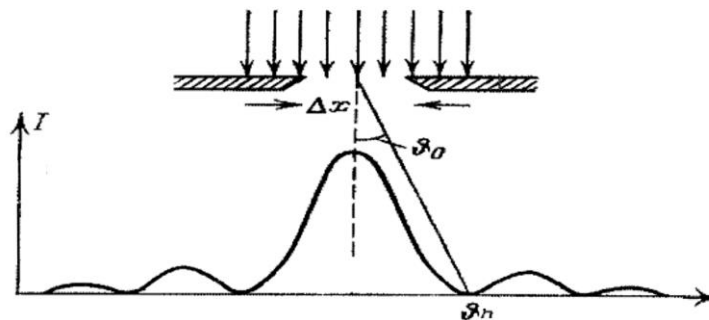


Рисунок 2.2 – Розподіл інтенсивності при дифракції на щілині

$$\text{Перший максимум} - \Delta x \cdot \sin \vartheta_{1\max} = 1,43 \cdot \lambda$$

$$\text{Другий максимум} - \Delta x \cdot \sin \vartheta_{2\max} = 2,46 \cdot \lambda$$

$$\text{Третій максимум} - \Delta x \cdot \sin \vartheta_{3\max} = 3,47 \cdot \lambda$$

Метод зон Френеля приводить до наступних умов:

$$\text{для максимумів} - \Delta x \cdot \sin \vartheta_{\max} = (2m + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

і для мінімумів $-\Delta x \cdot \sin \vartheta_{\min} = m \cdot \lambda$, де $m = 1, 2, 3$ і так далі.

Інтенсивності дифракційних максимумів по відношенню до нульового складають наступний ряд чисел: $I_0 : I_1 : I_2 : I_3 = 1 : 0,045 : 0,016 : 0,008$. З цього видно, що основна енергія світлової хвилі при дифракції на щілині зосереджена в межах нульового максимуму на полі яскравості.

Дифракція світла, як хвилеве явище, зникаюче в межі $\lambda \rightarrow 0$, залежить від довжини хвилі світла λ . Червоне світло сильніше дифрагує (сильніше відхиляється межами тіл), чим фіолетовий, тобто розкладання білого світла в спектр, викликане дифракцією, має зворотну послідовність квітів в порівнянні з тією, що виходить при розкладанні світла в призмі [25].

Відомий спосіб визначення положення межі об'єкту на основі аналізу дифракції, полягає в тому, що оптичний промінь, що сходиться, пропускають через акустооптичний модулятор, на виході якого формується набір світлових хвиль - дифракційних порядків. Об'єкт вимірювання вводять в область інтерференції дифракційних порядків, розташовану поблизу їх фокальної площини, перетворюють світловий потік, що пройшов повз кромку об'єкту, в електричний сигнал. Про зміну положення межі об'єкту судять по зміні фази електричного сигналу [26].

Слід враховувати, що оптичний промінь піддаватиметься не тільки дифракції на щілині, але і дисперсії при проходженні прозорого кожуха реле із стінками з органічного скла різної товщини і 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). Хвилева оптика трактує показник заломлення як відношення швидкостей світла у вакуумі і даній речовині:

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

тому, швидкість розповсюдження в склі хвиль, відповідних червоному кольору, максимальна [21, 22]:

$$v_{кр} = \frac{c}{n_{кр}}$$

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 в межах фоточутливого елемента, тобто створити рівномірну інтенсивність сигналу вимірюваного поля яскравості.

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

Використання рентгенівського випромінювання так саме не усуває проблему спотворення прямолінійності їх ходу. На основі полімерів виготовляються X-лінзи для заломлення рентгенівських променів [27], прозорий кожух реле виготовлений з прозорого полімеру (органічного скла), отже також спотворюватиме прямолінійний хід рентгенівських променів. Крім того, використання рентгенівського випромінювання ускладнює конструкцію приладу і вимагає виконання додаткових умов для забезпечення безпеки праці.

Висновок за розділом

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.

Такі вимоги можуть бути досягнені формуванням поля яскравості розсіювачем за допомогою молочного скла, при використанні як 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 щілину, то доцільно використовувати хвилевий діапазон найменш схильний до заломлення в органічному склі.

При роботі світлодіодної матриці спільно з розсіювачем з молочного скла первинним випромінювачем є центри свічення світлодіодів, а вторинним – зовнішня поверхня молочного скла. Методика і формули розрахунку освітленості, яка створюється зоною прямокутної форми, відомі [26]. Оптичні передавальні властивості розсіювача визначаються його функцією розсіяння точки (ФРТ) і коефіцієнтом пропускання, при яких розсіювач стає вторинним ламбертовским випромінювачем. Розподіл яскравості на його зовнішній поверхні як і для метрологічного калібрування прецизійних фотометричних приладів описується відомими способами.

Слід обирати інфрачервоний діапазон, а як оптичний випромінювач необхідно прийняти світлодіодну матрицю на основі світлодіодів інфрачервоного випромінювання SIR-505STA47 з довжиною хвилі 950 нм і шириною спектральної смуги випромінювання 40 нм.

Для реєстрації і вимірювання змінного сигналу яскравості найбільш швидкісним і економічним є метод із застосуванням одного фотоелемента з широким фотоприймальним майданчиком для формування проекції поля яскравості зазору. В якості коліматора (формуєча паралельного пучка) доцільно застосовувати простий коліматор у вигляді отвору, що калібрується.

З цією метою як фотоприймач вибраний фотодіод ФД24К з діапазоном спектральної характеристики 470–11200 нм і діаметром фоточутливого елементу 10мм.

Для точного позиціонування повітряного зазору реле запатентовані спосіб і пристрій ВДК (вимірювально-діагностичний комплекс), принцип дії якого

полягає в скануванні платформи з реле між випромінювачем і фотоприймачем [28-33].



Рисунок 2.3 – Динамічна характеристика зміни повітряного зазору реле НМШ

На рис. 2.3 представлена динамічна характеристика зміни повітряного зазору реле НМШ в циклі Включення – Відключення, зареєстрована оптичним каналом вимірювання.

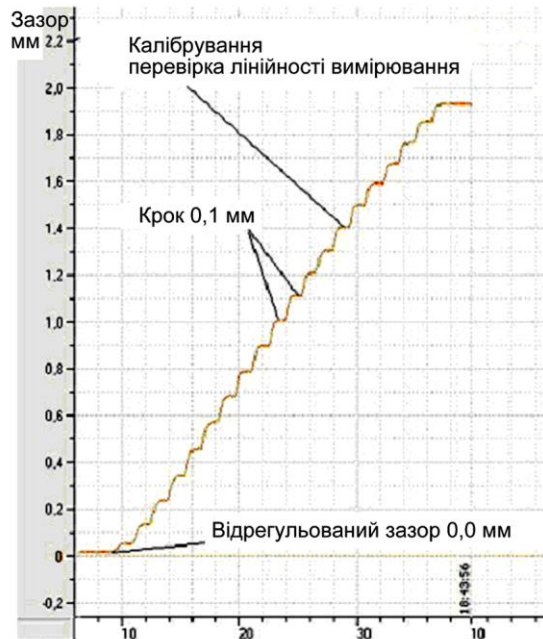


Рисунок 2.4 – Результати калібрування пристрою і перевірки лінійності вимірювання повітряного зазору реле

На рис. 2.4 представлені результати перевірки калібрування оптичних датчиків 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 враховано при програмній обробці вимірювання.

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

3 ОПИС ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ

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, у тому числі і з можливістю вимірювання механічних параметрів реле залізничної автоматики.

Для вирішення цього завдання в різний час були запропоновані різні способи і пристрої [2], але поки що не створено автоматизованого стенду для вимірювання механічних параметрів реле залізничної автоматики без зняття захисного кожуха.

Зі всіх 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 з 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 з довжиною оптичної хвилі випромінювача, що, за певних умов може привести до значних дифракційних спотворень оптичного сигналу [34].

Для побудови оптичного каналу вимірювання необхідне джерело випромінювання і фотоприймач цього випромінювання.

Вимогам до джерел випромінювання світлового променя більшою мірою відповідають лазерні і світлодіодні випромінювачі.

Фотоприймач оптичного каналу призначений для перетворення світлового випромінювання в електричні сигнали. Простими приладами, які повною мірою

відповідають вимогам до фотоприймачів відносяться напівпровідникові фотодіоди. Для фотодіодів не потрібна висока живляча напруга, а світлова характеристика відповідає прямій пропорційності фотоструму від освітленості.

Фотодіод може працювати в двох режимах: фотогальванічний (вентильний) – без зовнішньої напруги і фотодіодний – із зовнішньою зворотною напругою.

Залежність струму через фотодіод від напруги і інтенсивності падаючого світла описується формулою

$$I = I_0 \cdot \left(\exp\left(\frac{e \cdot U_f}{k_B \cdot T}\right) - 1 \right) - \eta \cdot e \cdot \Phi, \quad (3.1)$$

де I_0 – "темновий" струм;

e – електричний заряд електрона;

U_f – напруга на діоді;

k_B – постійна Больцмана;

T – абсолютна температура;

η – квантовий вихід носіїв заряду при збудженні світлом (усереднена кількість носіїв, які виникають при поглинанні одного кванта світла);

Φ – інтенсивність світлового потоку (фотонів/с). [25].

Перевага вентильного режиму полягає в:

- відсутності зовнішнього джерела живлення;
- меншому рівні шумів (оскільки в цьому режимі відсутній темновий струм).

При $R_H \rightarrow \infty$ (режим холостого ходу) напруга фотосигналу рівна фотоелектрорушійної силі. При $R_H = 0$ струм в зовнішньому ланцюзі рівний фотоструму р-п переходу (якщо нехтувати впливом внутрішнього опору областей напівпровідника між р-п переходом і електричними контактами).

Світлова характеристика фотодіода – залежність фотоструму від освітленості, являє собою пряму пропорційність:

$$I_f = S_I \cdot \Phi, \quad (3.2)$$

де: S_I – чутливість фотодіоду; Φ – освітленість [5].

Загальне рівняння струму, що протікає через фотодіод, який включений у вентильному режимі, з урахуванням фотоструму і струму насичення має вигляд:

$$I_f = S_I \cdot \Phi - I_s \cdot \left(\exp\left(\frac{e \cdot U_f}{k_B \cdot T}\right) - 1 \right), \quad (3.3)$$

де I – струм через фотодіод, А;

I_f – фотострум, А;

I_s – струм насичення, А;

U_f – фото-електрорушійна сила, В;

T – температура, К.

Це рівняння можна перетворити:

$$U_f = \frac{k_B \cdot T}{e} \ln \left(1 + \frac{S_I \cdot \Phi - I}{I_s} \right). \quad (3.4)$$

Для фотодіодного режиму:

$$I_f = R \cdot \left(S_I \cdot \Phi - I_s \left(\exp\left(\frac{e \cdot U_f}{k_B \cdot T}\right) - 1 \right) \right) + U_0, \quad (3.5)$$

де U_0 – зовнішня напруга, В.

Як видно з вищевикладеного, для того, щоб забезпечити оптичні вимірювання величини повітряного проміжку між якорем і полюсним наконечником реле достатньо забезпечити рівень освітленості фотодіода вище за поріг чутливості, при цьому не повинне виникати струму насичення фотодіода.

Найпростішим і доцільнішим представляється вимірювання повітряного проміжку на просвіт (тіньовий принцип), коли з одного боку проміжку встановлений випромінювач, а з іншою – фотоприймач, тоді тінь на приймальній апертурі фотоприймача створюється якорем, полюсним наконечником і коліматором випромінювача. Корисний сигнал визначається розмірами площі поля яскравості S , яка обмежується вище переліченими тінями і визначає освітленість – Φ на приймальній апертурі та перетворюється фотоприймачем в напругу U_f або фотострум I_f (в залежності від режиму включення), тобто $S \equiv I_f$. Розрахунок величини повітряного проміжку δ_g між якорем і полюсним наконечником ведеться на рівні h розташування антимагнітного штифта. У загальному вигляді $\delta_g = I_f \cdot k$, де $k \left(\frac{M}{A} \right)$ – коефіцієнт калібрування, який визначаються при калібруванні фотометричних датчиків крізь скло кожуху. Тоді максимальному сигналу буде відповідати площа коліматора випромінювача, розміри якого відомі. Після калібрування всі виміри площі яскравості, які зроблені за допомогою фотоструму або напруги, по шкалі інтерфейсу програми, автоматично відображаються у каліброваних одиницях (метрах, міліметрах і т.д.), або:

$$S = I_{fs} \cdot k, \quad (3.6)$$

де I_{fs} - вимірний фотострум, відповідний площі яскравості на апертурі фотоприймача.

Висновки за розділом

На теперішній час не створено ефективного автоматизованого стенду для вимірювання механічних параметрів реле залізничної автоматики без зняття захисного кожуха.

Розглянуто залежність струму через фотодіод від напруги і інтенсивності падаючого світла на фотодіод.

Розглянуто загальне рівняння струму, що протікає через фотодіод, який включений у вентильному режимі, з урахуванням фотоструму і струму насичення та для фотодіодного режиму.

Для того, щоб забезпечити оптичні вимірювання величини повітряного проміжку між якорем і полюсним наконечником реле достатньо забезпечити рівень освітленості фотодіода вище за поріг чутливості, при цьому не повинне виникати струму насичення фотодіода.

Зі всіх запропонованих способів спосіб на базі оптичних засобів вимірювання є найбільш точним способом вимірювання механічних параметрів реле.

4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНЕЙ МІЖ ЯКОРЕМ І ПОЛЮСНИМ НАКОНЕЧНИКОМ РЕЛЕ

Для вимірювання величини повітряного проміжку достатньо мати значення розмірів коліматору випромінювача (каліброваного отвору або майданчика випромінювання), за умови, що розміри апертури фотоприймача більше проекції поля яскравості корисного сигналу, що сформувалася на ньому. Але необхідно урахувати геометричні особливості фізичного (повітряного) проміжку між якорем і полюсним наконечником.

Основними з багатьох можливих є використання двох форм коліматорів випромінювачів – прямокутної і круглої форми. На рис.4.1. зображена геометрична модель фізичного проміжку між якорем і полюсним наконечником з проекціями форм коліматорів випромінювача:

а) прямокутної форми;

б) круглої форми,

де:

1 – якорь;

2 – повітряний проміжок;

3 – полюсний наконечник;

δ_0 – відстань для вимірювань знаходиться на відомому рівні антимагнітного штифта – h ;

H – висота полюса котушки;

r – радіус коліматору випромінювача круглої форми.

Розглянемо обидва випадки.

4.1 Моделювання повітряного проміжку прямокутною проекцією

При проходженні проміжку між якорем і полюсом котушки проекція набуває форму трикутника або трапеції. У першому випадку площа трикутника OBD з основою δ_n :

$$S = \frac{1}{2} H \cdot \delta_n. \quad (4.1)$$

З подібності трикутників OBD і OAC з основами δ_n і δ_e маємо:

$$\begin{cases} S = \frac{1}{2} H \cdot \delta_n \\ \frac{\delta_n}{\delta_e} = \frac{H}{H-h} \end{cases}. \quad (4.2)$$

Тоді,

$$\delta_n = \frac{H \delta_e}{H-h}, \quad (4.3)$$

звідси

$$S = \frac{H^2 \cdot \delta_e}{2 \cdot (H-h)}. \quad (4.4)$$

З останнього виразу отримаємо величину фізичного проміжку

$$\delta_e = \frac{2S \cdot (H-h)}{H^2}. \quad (4.5)$$

У другому випадку, якщо розміри вимірювальної площі обмежені стороною якоря, висотою h та основами δ_n і δ_e , тоді площа цієї трапеції

$$S_n = \frac{\delta_e + \delta_n}{2} \cdot h \quad (4.6)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\delta_e}{H - h}, \operatorname{tg} \alpha = \frac{\delta_n}{H},$$

тоді

$$\frac{\delta_e}{H - h} = \frac{\delta_n}{H},$$

звідси

$$\delta_e = \frac{(H - h) \cdot \delta_n}{H} \quad (4.7)$$

Вимірювана напруга з фотоприймача пропорційна площі яскравості випромінювача

$$S_n = \frac{\frac{2\delta_n}{H} + \delta_n}{2} \cdot h \quad (4.8)$$

Максимальна відстань між якорем і полюсним наконечником дорівнює стороні δ_n трапеції

$$\delta_n = 2S_n \cdot \left(\frac{H - h}{h} + 1 \right) \cdot (2 + H). \quad (4.9)$$

Звідки величина фізичного проміжку на відстані h

$$\delta_e = \frac{H-h}{h} \cdot 2S_n \cdot (2+H), \quad (4.10)$$

з урахуванням (3.6)

$$\delta_e = \frac{H-h}{h} \cdot 2I_{fs} \cdot (2+H) \cdot k. \quad (4.11)$$

Аналогічно, з урахуванням (3.6) формулу (4.10) можна переписати

$$\delta_e = \frac{2I_{fs} \cdot (H-h)}{H^2} \cdot k. \quad (4.12)$$

Формулою (4.11) користуються для визначення величини повітряного проміжку між якорем і полюсним наконечником при висоті прямокутного коліматора випромінювача, менше висоти H полюса реле.

Формулою (4.12) користуються при висоті прямокутного коліматора випромінювача, більше або рівної висоті H полюса реле.

4.2 Моделювання повітряного зазора частиною кола

Визначимо відстань між якорем і полюсним наконечником для випадку, коли засвічуваний повітряний проміжок є частиною кола, а область засвічення – півколом, рис. 4.1-б.

Вважаємо, що відомі наступні величини:

H – висота полюса котушки;

h – відстань від початку координат до центру півкола, що засвічується;

r – радіус півкола області, що засвічується;

S – площа повітряного проміжку $CABD$ (частина кола);

при цьому $h = H / 2$.

Необхідно визначити відстань від якоря до полюсного наконечника δ_g на рівні знаходження антимагнітного штифту h .

Відстань δ_g можна визначити, якщо відоме рівняння прямої OAB $y = k \cdot x$, $k = \operatorname{tg} \alpha$.

Визначимо, спочатку, кут α між прямою OAB і віссю OX . Якщо центральний кут $\beta = \angle ACB$ відомий, то хорда $AB = a$ пов'язана з ним співвідношенням:

$$a = 2r \cdot \sin \frac{\beta}{2}. \quad (4.13)$$

Обчислимо кут β . Площа сегменту кола відповідного центральному куту β :

$$Q = \frac{1}{2} r^2 \cdot (\beta - \sin \beta), \quad (4.14)$$

де кут β вимірюється в радіанах. Кут β визначимо приблизно із співвідношення (20), представивши функцію $\sin \beta$ рядом Тейлора в околиці точки $\beta = 0$, узявши два перші члени отримаємо:

$$\frac{2Q}{r^2} = \beta - \sin \beta \approx \beta - \left(\beta - \frac{\beta^3}{6} \right) \approx \frac{\beta^3}{6},$$

отже

$$\beta^3 \approx \frac{12 \cdot S_1}{r^2}, \quad \beta \approx \sqrt[3]{\frac{12 \cdot S_1}{r^2}}.$$

Площа сегменту Q буде:

$$Q = \frac{\pi \cdot r^2}{2} - S.$$

Тепер можна обчислити хорду a :

$$a = 2r \cdot \sin \frac{\beta}{2}.$$

Рівняння даного кола в декартовій системі координат:

$$(x - h)^2 + y^2 = r^2, \text{ або } y^2 = r^2 - (x - h)^2,$$

$$y = \sqrt{r^2 - (x - h)^2}.$$

Точка перетину прямої OAB з колом знаходяться з виразів:

– координати точки $A(x_1, y_1)$

$$y_1 = \sqrt{r^2 - (x_1 - h)^2}, \quad (4.15)$$

$$y_1 = k \cdot x_1 \quad (4.16)$$

– координати точки $B(x_2, y_2)$

$$y_2 = \sqrt{r^2 - (x_2 - h)^2}, \quad (4.17)$$

$$y_2 = k \cdot x_2. \quad (4.18)$$

Запишемо систему рівнянь для визначення координат точок перетинів прямої OAB з колом і тангенсі кута нахилу прямої, додавши до умов (4.15 – 4.18) вимоги, що відстань між точками $A(x_1, y_1)$ і $B(x_2, y_2)$ дорівнює хорді a

$$\begin{cases} k \cdot x_1 = \sqrt{r^2 - (x_1 - h)^2}, \\ k \cdot x_2 = \sqrt{r^2 - (x_2 - h)^2}, \\ a = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (k \cdot x_1 - k \cdot x_2)^2} \end{cases} \quad (4.19)$$

$$\begin{cases} r^2 - (x_1 - h)^2 = k^2 \cdot x_1^2, \\ r^2 - (x_2 - h)^2 = k^2 \cdot x_2^2, \\ (x_1 - x_2)^2 + (k \cdot x_1 - k \cdot x_2)^2 = a^2 \end{cases} \quad (4.20)$$

Враховуючи, що $k = \operatorname{tga}$ знаходимо відстань, що цікавить:

$$\delta_g = k \cdot h. \quad (4.21)$$

Помітимо, що система (23)–(23.1) – система нелінійних алгебраїчних рівнянь.

Для її розв'язання може бути використано чисельний метод Ньютона, або метод найменших квадратів.

Оскільки система (4.19–4.20) розв'язується приблизно, розглянемо ще один варіант, винятково геометричний, визначення величини δ_g .

Для даного кола справедливо:

$$f = \sqrt{r^2 - a^2 / 4}, \quad (4.22)$$

де величина f – відстань від осі OX до прямої перпендикулярна хорді a .

У виразі (4.22) всі величини для визначення f відомі. Помітимо що в $\triangle FEG$ $\angle FGE = \alpha$ (як кути в трикутниках з взаємно перпендикулярними сторонами). Далі, для $\triangle OFG$ справедливо: $f/h = \sin \alpha$. З $\triangle FEG$ одержимо: $f/\delta_g = \cos \alpha$, $\delta_g = f/\cos \alpha$; і, нарешті:

$$\delta_g = f / \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \frac{f}{\sqrt{1 - f^2/h^2}} = \frac{f \cdot h}{\sqrt{h^2 - f^2}}.$$

Нагадаємо, що величина f обчислюється відповідно до співвідношення (4.22). Підставивши одержані проміжні результати значення f і значення кута β , остаточно одержимо:

$$\delta_g = \frac{h \cdot r \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \beta / 2}}{h^2 - r^2 \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \beta / 2}},$$

$$\beta = \sqrt[3]{\frac{6\pi \cdot r^2 - 12 \cdot S}{r^2}}.$$

де, S визначається відповідно до (3.6).

Величини δ_g , що спостерігаються в процесі проведення випробувань одного реле, накопичуються в деякий масив за допомогою автоматичного запису в пам'ять через пристрій узгодження комп'ютера і вимірювального приладу.

Дані про δ_g аналізуються на нормальний закон розподілу і рівномірний закон розподілу.

У разі вірогіднішого нормального закону розподілу δ_g обчислюємо середнє значення відстаней δ_g і оцінку дисперсії (вибіркова дисперсія) $D[\delta_g]$.

Про роботу реле можна зробити висновки, що у всіх випробуваннях (включеннях) воно працює майже завжди однакою чином, середнє значення

δ_e для подальших висновків порівнюємо з його номінальним значенням δ_e^H та аналізуємо розкид, маючи $\sigma = \sqrt{D[\delta_e]}$.

Вірогідніший рівномірний закон розподілу вимірних значень δ_e говорить про те, що якір відхиляється майже завжди неоднаковим чином і необхідно провести ретельнішу перевірку і регулювання реле.

Аналізувати можна як безпосередньо вимірні величини δ_e^i , так і різниці $\delta_e^i - \delta_e^H$, що доцільніше через кращу наочність.

У розглянутому випадку найбільша помилка вимірювання складає 1° . Чим менше кут відхилення, тим вище погрішність вимірювання, або – помилка вимірювання кута відхилення якоря зворотно пропорційна квадрату радіусу коліматора випромінювача, при цьому, для забезпечення якнайменших помилок вимірювання приймальний фотодатчик повинен мати найбільший можливий радіус.

Висновки за розділом

Отримано дві моделі оптичних коліматорів випромінювача для вимірювання відстані δ_e або положення якоря реле при русі прямокутної і круглої форми. Про характер розкиду виміряного δ_e можна судити, провівши спектральний аналіз вимірювань $\{\delta_e^i\}$, $i = \overline{1, \dots, N}$, за допомогою дискретного перетворення Фур'є, де N – кількість вимірювань, i – номер вимірювання.

У справному реле з амплітудних частотних характеристик вимірних зазорів повинен бути один яскраво виражений випад амплітуди, якщо якір відхиляється на одну і ту ж величину.

Відповідна частота випаду визначається експериментально в серії дослідів, випробовуючи справні реле. Рівномірний спектр свідчатиме про однакове функціонування приладів.

ВИСНОВКИ

Запропоновано раціональні форми побудови оптичного каналу вимірювання фізичного проміжку між якорем і полюсом реле за допомогою моделюванням двох основних геометричних форм коліматорів випромінювача круглої і прямокутної форми.

Існує проблема автоматичного вимірювання механічних параметрів реле залізничної автоматики, яка безпосередньо пов'язана з можливістю автоматичного вимірювання величини повітряного проміжку між якорем і полюсним наконечником реле в процесі його роботи та з можливістю автоматичної діагностики працездатності реле в цілому.

Існуюча технологія перевірки параметрів реле та релейних блоків у РТУ не забезпечує необхідної якості обслуговування пристроїв залізничної автоматики, морально та технічно застаріла, а також потребує великої кількості ручних операцій, що призводить до значних витрат часу на перевірку реле та релейних блоків.

До серійного зразка дійшли тільки автоматизовані *стенди для вимірювання електричних та часових характеристик* реле: автоматична тестова система Automatic Relay Test System INDIA індійського виробництва, RelayPro United Kingdom виробництва Великобританії (<http://www.vasavi.com/>, <http://www.mrd.com.au/>, <http://gtss.rzdp.ru/info/181.html>). Основною проблемою при використанні безконтактних датчиків для перевірки механічних параметрів реле є мала точність отриманих результатів.

Для створення оптичного каналу вимірювання руху якоря реле (реєстрації зміни повітряного зазору) необхідні фотометричні датчики такого хвилевого 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.

Для реєстрації і вимірювання змінного сигналу яскравості найбільш швидкісним і економічним є метод із застосуванням одного фотоелемента з широким фотоприймальним майданчиком для формування проекції поля яскравості зазору. В якості коліматора (формувача паралельного пучка) доцільно застосовувати простий коліматор у вигляді отвору, що калібрується.

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

Отримано дві моделі оптичних коліматорів випромінювача для вимірювання відстані δ_g або положення якоря реле при русі прямокутної і круглої форми. Про характер розкиду виміряного δ_g можна судити, провівши спектральний аналіз вимірювань $\{\delta_g^i\}$, $i = \overline{1, \dots, N}$, за допомогою дискретного перетворення Фур'є, де N – кількість вимірювань, i – номер вимірювання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гордов А.Н., Лук'янов Г.Н., Парфенов В.Г., Потягайло А.Ю., Шарков А.В. Основи метрології. Навч. посібник. Л.: ЛІТМО, – 1983.
2. Стенд для перевірки реле СЦБ. Розробка пропозицій по створенню стенда на базі КТС-ЛІУС-2. Звіт по НДР / ДПТ. - 353/3803. – Д., 1983. – 54 с.
3. Удосконалення макета стенду для автоматичної перевірки електричних параметрів реле СЦБ. Звіт по НДР / ДПТ - 353/3803. – Д., 1984. – 50 с.
- 4 Разгонов А.П. Полуавтоматичний стенд для контролю і вимірювання параметрів реле // Міжвузівський збірник научних трудів. ДПТ. – Д.: Транспорт. - 1985. – с.11-20.
5. Кізяков В.Я., Байдуж А.Н. Вимірювально-обчислювальний комплекс для контролю і вимірювання параметрів електромагнітних реле // Удосконалення і підвищення надійності залізничних систем автоматики, телемеханики і зв'язку. Міжвузівський збірник научних трудів. – Д. - 1990. – с.41-48.
6. Разгонов А.П., Байдуж А.Н. Стенд для автоматичної перевірки параметрів реле СЦБ // Автоматика, телемеханіка і зв'язок. – 1991. - №2. – с.13-16.
7. Грачев Г.Н., Колюжний К.О., Липовецький Ю.А. Автоматизований комплекс ремонтно-технологічного участка для перевірки реле і релейних блоків // Автоматика, телемеханіка і зв'язок. - 1993. - № 5. – с.19-21.
8. Разгонов А.П., Андрієвських А.В., Бондаренко Б.М. Комп'ютерна технологія контролю механічних параметрів електромагнітного реле // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005. – №5. Харків: УкрДАЗТ – с. 102 – 103.
9. Разгонов А.П. Андрієвських А. В., Бондаренко Б. М. Контроль механічних параметрів електромагнітних реле // Збірник наукових праць Донецький інститут залізничного транспорту. – 2005. – №4. Донецьк: УкрДАЗТ – с. 41-48.
10. Бондаренко Б. М. Способи визначення параметрів електромагнітних реле // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – №15. Д.: ДНУЗТ – с. 7-11.

11. Разгонов А. П., Андрієвських А. В., Бондаренко Б. М., Безрукавий Д. А., Журавльов А. Ю. Багатоканальний цифровий метод діагностики реле // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – №17. Д.: ДНУЗТ – с. 43-47.

12. Теоретичні основи залізничної автоматики і телемеханіки: Підручник для вищих навч. закладів / Під ред. Переборова А.С. – 3-е вид. –М.: Транспорт, 1984.

13. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ): ЦШЕОТ/0012: Затв. Гол. упр. зв'язку, енергетики та обчислювальної техніки М-ва транспорту України 05.10.1998. – К., 1998. – 72 с.

14. Кізяков В. Я., Байдуж А.Н. Вимірювально-обчислювальний комплекс для контролю та вимірювання параметрів електромагнітних реле // Удосконалення та підвищення надійності залізничних систем автоматики, телемеханіки та зв'язку. Міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ. - 1990. – с.41-48.

15. Разгонов А. П., Байдуж А.Н. Стенд для автоматичної перевірки параметрів реле СЦБ // Автоматика, телемеханіка та зв'язок. – 1991. - №2. – с.13-16.

16. Гаврилюк В.І, Профатілов В. І. Метод визначення положення якоря по значенню індуктивності обмотки реле / Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті, 2008, № 1. – С. 13-17.

17. Кушнар'ов А. Я., Малиш А.С. Випробувальний стенд по перевірці приладів СЦБ // Автоматика, телемеханіка та зв'язок. - 1990. - № 12. – с.29-33.

18. Берніков Д. В., Шишкін Ю.А. Контроль параметрів реле залізничної автоматики за допомогою мікропроцесорної техніки // Застосування сучасних технічних засобів автоматики та обчислювальної техніки у системах управління перевізним процесом. Збірник наукових праць. – Л.: ЛШЖТ. - 1988. - с.90-93.

19. Разгонов А. П., Андреевських О. В., Бондаренко Б. М., Безрукавий Д. А. Патент України на винахід № 70568 від 25.04.2007 року Бюл. №5 „Пристрій для вимірювання переміщення якоря електромагнітного реле”.

20. Разгонов А. П., Андреевських О. В., Бондаренко Б. М., Безрукавий Д. А. Патент на винахід №84892 від 10.12.2008 року. Бюл. №23 “Спосіб контролю механічних параметрів багатоконтактного реле”.

21. Оптична обробка інформації / Під ред. Д. Кейсесента. М.: Мир, 1980. - 347 с.

22. Афанасьєв В.А. Оптичні виміри / Під. ред. проф. Пуряєва Д.Т. М.: Вища школа, – 1981.

23. Лівшиц Э.М. Оптичні виміри і дослідження оптичних систем. Методичні вказівки. –Л.: ЛИТМО, –1986.

24. Аронов И. А., Зельман Е. Ш. А. С. N 1068702 (СРСР), Безконтактний спосіб визначення положення кромки предмета. // Опубл. в Б.І. - 1984, N 3.

25. Сівухін Д. В. Загальний курс фізики. Оптика. –М.: Наука, 1980. –С. 292 - 312,709-714.

26. Міхеєнко Л. А., Коваленко А. В. Дослідження характеристик розсіювання молочного і матового скла // Вісник НТУ У "КПІ". Серія приладобудування – 2007.– Вип. 33.– С. 36–41.

27. Мишетт А. Оптика м'якого рентгенівського випромінювання. – М.: Мир, 1989. – 352 с.

28. Разгонов А. П., Андреевських О. В., Бондаренко Б. М., Безрукавий Д. А. Декларційний патент на винахід № 70568 від 15.10.2004 року. Бюл.№10 „Пристрій для вимірювання переміщення якоря електромагнітного реле”.

29. Разгонов А. П., Андреевських О. В., Бондаренко Б. М., Безрукавий Д. А. Декларційний патент на корисну модель № 11179 від 15.12.2005 року. Бюл.№12 „Спосіб діагностики роботи контактних груп багатоконтактного реле”.

30. Разгонов А. П., Андреевських О. В., Бондаренко Б. М., Безрукавий Д. А. Декларційний патент на корисну модель № 11886 від 16.01.2006 року.

Бюл.№1 „Спосіб автоматичного контролю та визначення механічних параметрів електромагнітного реле”.

31. Разгонов А. П., Андреєвських О. В., Бондаренко Б. М., Безрукавий Д. А. Деклараційний патент на корисну модель № 11888 від 16.01.2006 року. Бюл.№1 „Спосіб визначення механічних параметрів електромагнітного реле”.

32. Разгонов А. П., Андреєвських О. В., Бондаренко Б. М., Безрукавий Д. А. Деклараційний патент на корисну модель № 7850 від 15.07.2005 року. Бюл.№7 „Пристрій для вимірювання механічних параметрів електромагнітного реле”.

33. Разгонов А. П., Андреєвських О. В., Бондаренко Б. М., Безрукавий Д. А. Патент на корисну модель №35716 від 10.10.2008 року. Бюл. №19 “Спосіб автоматизації контролю механічних параметрів електромагнітного реле”.

34. Ваганов Р. Б., Каценельбаум Б. З. Основи теорії дифракції. –М., Наука, 1982. – 272с.