

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка

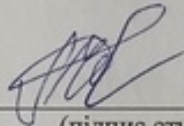
до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня магістр

на тему: Автоматизація вимірювання механічних параметрів реле залізничної автоматики

за освітньою програмою «Автоматика та автоматизація на транспорті»

зі спеціальності: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

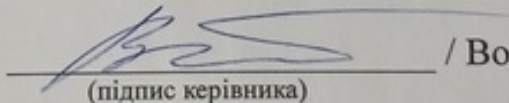
Виконав: студент групи АТ2226



(підпис студента)

/ Анатолій ОВСЯНКО /

Керівник: доцент кафедри АТ



(підпис керівника)

/ Володимир ПРОФАТИЛОВ /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень
з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент



(підпис студента)

Дніпро – 2024 рік

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

Faculty of Computer Technologies and Systems

Department of Automation and Telecommunication

Explanatory Note

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

on the topic: Automated measurement for testing mechanical parameters of the signal relays

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

in the Specialty: 151 Automation and computer-integrated technologies

Done by the student of the group: AT2226 (7-AT)

/ Anatolii OVSIANKO/

Scientific Supervisor: Associate Professor

/ Volodymyr PROFATYLOV /

Dnipro – 2024

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем
Кафедра: Автоматика та телекомунікації
Рівень вищої освіти: Магістр
Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті
Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТ

Володимир ГАВРИЛЮК

(підпис)

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

« _____ » _____ 202__ р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу магістра
(ступінь вищої освіти)

студенту Овсянко Анатолій Вікторович
(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Автоматизація вимірювання механічних параметрів реле залізничної автоматики

Керівник роботи: Профатилів Володимир Іванович, к.т.н., доцент
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від " 21 " 11 2022 р. № 1151 ст

2. Строк подання студентом роботи: 15.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Технологія перевірки механічних параметрів реле залізничної автоматики

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

4.1. Аналіз технології вимірювання параметрів електромагнітних реле першого класу надійності

4.2. Методи автоматизованого вимірювання механічних параметрів електромагнітних реле першого класу надійності.

4.3. Метод автоматизованого виміру контактного тиску в реле НМШ і РЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ (Актуальність. Мета роботи. Методи дослідження. Практична значення отриманих результатів). Розділ 1. Аналіз технології вимірювання параметрів електромагнітних реле першого класу надійності	01.10.2023	30%
2	Розділ 2. Методи автоматизованого вимірювання механічних параметрів електромагнітних реле першого класу надійності.	05.11.2023	60%
3	Розділ 3. Метод автоматизованого виміру контактного тиску в реле НМШ і РЕЛ	15.12.2023	90%
4	Висновки	15.12.2023	100%
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2024	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	26.01.2024	

Студент

_____ (підпис)

Анатолій ОВСЯНКО

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Володимир ПРОФАТИЛОВ

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

55 сторінок, 12 рисунок, 5 таблиць, 15 джерел літератури.

Об'єкт розробки – реле залізничної автоматики.

Мета роботи – автоматизувати вимірювання механічних параметрів реле залізничної автоматики.

Методи дослідження – закони електротехніки, електромеханіки та електродинаміки, математичної статистики.

У першому розділі приведений аналіз технології вимірювання параметрів електромагнітних реле першого класу надійності.

У другому розділі розроблено методи вимірювання механічних параметрів електромагнітних реле першого класу надійності й дано наукове обґрунтування.

В третьому розділі розроблено метод автоматизованого виміру контактного тиску в реле НМШ і РЕЛ.

Висновок. Розроблено два методи автоматизованого визначення положення якоря за значенням магнітного опору повітряного зазору між якорем і сердечником, і за значенням індуктивності обмотки реле; методи автоматизованого вимірювання контактного тиску. Розбіжність між значеннями положення якоря, отриманими різними методами не перевищує 7% для реле НМШ і 5% для реле РЕЛ. Розроблена методика обчислення електромагнітної сили притягання якоря.

Ключові слова: РЕЛЕ, ЗАЛІЗНИЧНА АВТОМАТИКА, МЕХАНІЧНІ ПАРАМЕТРИ, ЕЛЕКТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ, АВТОМАТИЗОВАНІ ВИМІРЮВАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ ПЕРШОГО КЛАСУ НАДІЙНОСТІ	9
1.1 Класифікація електромагнітних реле першого класу надійності	11
1.2 . Основні вимоги до реле першого класу надійності	13
1.3 Аналіз технології перевірки механічних параметрів реле першого класу надійності	17
1.4 Висновки до розділом.....	21
2 МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ ПЕРШОГО КЛАСУ НАДІЙНОСТІ.....	21
2.1 Математичний опис електромеханічних процесів у реле першого класу надійності	21
2.2 Метод визначення положення якоря по магнітному опорі робочого повітряного зазору реле	27
2.3 Метод визначення положення якоря за значенням індуктивності обмотки реле	33
2.4. Метод обчислення сили притягання якоря	37
3 МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИМІРУ КОНТАКТНОГО ТИСКУ В РЕЛЕ НМШ І РЕЛ	44
ВИСНОВКИ.....	50
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	51

ВСТУП

Одним із способів підвищення економічності роботи залізничного транспорту є зниження експлуатаційних затрат на обслуговування пристроїв систем автоматики. Для вирішення цієї задачі необхідно:

- впровадження нових технологій, що зменшують долю ручних операцій;
- впровадження нової елементної бази, що дозволяє знизити споживання електроенергії;
- зниження суб'єктивності отриманих результатів вимірювання та покращення якості обслуговування пристроїв залізничної автоматики.

В Україні на сьогоднішній час електромагнітні реле є одними з основних елементів у пристроях залізничної автоматики. Незважаючи на широке впровадження сучасних мікропроцесорних та цифрових пристроїв в системах залізничної автоматики, в Україні та економічно розвинених країнах не тільки продовжують експлуатуватися системи залізничної автоматики, які містять мільйони електромагнітних реле. Широке застосування електромагнітних реле в системах залізничної автоматики обумовлено рядом їх переваг:

- повний електричний розрив електричного кола, і невеликий та стабільний перехідний опір при замиканні кола;
- наявність гальванічної розв'язки між керуючими та силовими колами, а також можливість одночасно комутувати кілька незалежних електричних кіл з різними значеннями напруги і великим струмом;
- обслуговування релейних пристроїв не вимагає висококваліфікованих фахівців і застосування складних вимірювальних приладів високої вартості;
- релейні пристрої мають добрий захист від електромагнітних завад тягових струмів та від атмосферних розрядів, а також різких коливань напруги живлення;
- можливість роботи в складних кліматичних умовах.

Системи залізничної автоматики повинні забезпечити безпеку руху поїздів, тому якість функціонування релейних систем залізничної автоматики визначається у тому числі й технологією перевірки параметрів електромагнітних

реле першого класу надійності. Електромагнітні реле залізничної автоматики повинні задовольняти великій кількості різних експлуатаційно-технічних вимог (ЕТВ). Для перевірки параметрів реле залізничної автоматики в Україні використовується уніфікований випробувальний стенд СІ – СЦБ, який вже давно застарів і потребує вдосконалення. Існуюча технологія перевірки параметрів реле першого класу надійності, яка використовується в даний час, вимагає багато часу за рахунок великої кількості ручних операцій. Саме тому задача автоматизації процесу вимірювання параметрів електромагнітних реле першого класу надійності є актуальною.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ ПЕРШОГО КЛАСУ НАДІЙНОСТІ

1.1. Класифікація електромагнітних реле першого класу надійності

Реле – це пристрій автоматики з релейним ефектом, в якому при досягненні вхідної величини заданого значення відбувається стрибкоподібна зміна режиму вихідного кола. За призначенням реле можна розділити на дві групи:

- основні (вимірювальні) реле – реле струму, напруги, потужності, опору, тобто ті, що реагують безпосередньо на зміну відповідного параметру на вході реле;

- допоміжні реле, які діють за командою перших і забезпечують логічні та інші операції.

У сучасних пристроях можуть використовуватись велика кількість різних видів і типів реле, що відрізняються принципом роботи. По виду фізичної енергії, на яку реагує керуюча частина реле, їх можна розбити на наступні класи (рис. 1.1): електричні, механічні, теплові, оптичні, пневматичні, акустичні, рідинні та газові [2]. Більш повна класифікація усіх видів реле приведена в [3].

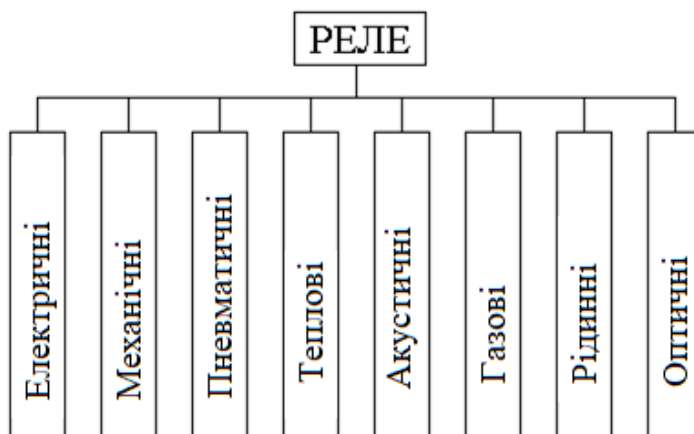


Рисунок. **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует..1** –

Класифікація реле

Найбільш розповсюдженими є електричні реле які діляться на електромагнітні, індукційні, електродинамічні, електронні, теплові та

напівпровідникові. За способом дії на контакти розрізняють реле прямої і посередньої дії. Реле прямої дії при вмиканні діють безпосередньо на механізм вимикання контактів, для своєї роботи вони не потребують оперативного струму, що спрощує захист. Але так як безпосередня дія на механізм вимикання контактів потребує значної механічної роботи, конструкція реле ускладнюється. В сільській енергетиці, де важлива простота релейного захисту, використовують здебільшого вторинні реле прямої дії. Реле посередньої дії на механізм вимикання контактів діє через проміжний електромагнітний механізм (обмотку реле).

Вторинні реле посередньої дії найбільше задовольняють вимоги до точності і надійності роботи реле. Вони мають мінімальну потужність споживання, оскільки здійснюють роботу лише по замиканню і розмиканню контактів електричних кіл. Існує багато конструктивних різновидів і типів реле, що працюють на різних принципах.

У системах залізничної автоматики найбільше розповсюдження мають нейтральні електромагнітні реле завдяки їх простій та надійній конструкції, а також великому ресурсу безвідмовної роботи. Конструкція нейтрального електромагнітного реле складається з чотирьох основних вузлів: обмотки реле, магнітопроводу, якоря та контактної системи. В Україні найбільш розповсюдженими є малогабаритні реле залізничної автоматики типу НМШ і РЕЛ які діляться на:

- реле штепсельного типу, що дозволяє монтувати їх на заводах в релейні штативи і цим скоротити термін і вартість будівництва пристроїв залізничної автоматики;

- нештепсельного типу, що застосовують в системах блочної централізації станцій у вигляді стандартних блоків. Правда у цьому випадку при пошкодженні якогось реле необхідно замінювати весь блок, так як група реле, розміщена на загальній платі і закрита ковпаком.

Для позначення типів реле залізничної автоматики використовують наступні умовні позначки типів реле. Перша літера умовної позначки:

Н – нейтральне реле нормальної дії;

І – імпульсне реле;

К – комбіноване реле;

П – поляризоване реле;

В – вогневе реле;

Т – трансмітерне реле;

ДС – двохелементне секторне реле;

АН – автоблокувальне нейтральне реле.

Друга літера умовної позначки:

М – малогабаритне реле;

третя і наступні літери умовної позначки:

Ш – штепсельне реле;

В – реле з випрямляючим елементом;

ПТ – повільнодіюче реле з термічним елементом.

Літери що повторюються:

П – пускове реле;

М – реле повільної дії.

Цифра після літер у нейтральних реле означає постійний набір контактних груп:

1 – вісім перемикаючих контактів - 8 фт;

2 – чотири перемикаючих контакти - 4 фт;

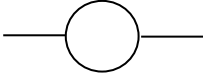
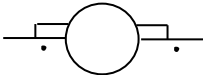
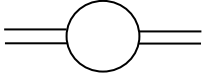


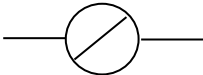
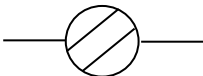
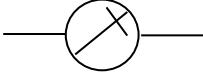


3 – два перемикаючих і два замикаючих - 2 фт, 2ф;

4 – чотири перемикаючих і чотири замикаючих - 4 фт, 4ф;

5 – два перемикаючих і два розмикаючих - 2 фт, 2 т.

Повна класифікація реле першого класу надійності, що використовуються в системах залізничної автоматики приведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Класифікація реле першого класу надійності

Найменування реле	Реле першого класу надійності	
	Умовне зображення	Тип реле
Нейтральне постійного струму з вмиканням обмоток: послідовно		НМШ1 – 1440 НМ1 – 1440 НМШ4 – 3000
		НМШ3 – 2-900 НМ2 – 4000 та ін.
		НМШ3 – 550/400 та ін.
Нейтральне постійного струму з уповільненням на відпускання якоря		НМШМ1 – 360 НММ2 – 1500 НМШМ1 – 1000/560 та ін.
Нейтральне постійного струму з випрямляючим елементом		НМВШ – 900/900 АНВШ2 – 2400 та ін.
Поляризоване нормальної дії		ПМШ-1400 ПМПШ-150/150
Комбіноване		КМШ-750 КМШ-450
Поляризоване з перевагою однієї полярності		ІМШ1-0,3 ІМШ1-1700 та ін.
Змінного струму: одноелементне		АНШ2-230 АНШ2-2 та ін.
двоелементне		ДСР-12 ДСШ-13 та ін.

1.2. Основні вимоги до реле першого класу надійності

Параметри електромагнітних реле залізничної автоматики, можна розділити на три типи: електричні, часові та механічні.

До електричним параметрам електромагнітного реле відносяться:

- напруга (струм) вмикання реле;
- напруга (струм) вимикання реле;
- робоча напруга (струм) реле;
- напруга (струм) перевантаження реле;
- опір обмотки реле;
- перехідний опір замкнених контактів;
- коефіцієнт запасу;
- коефіцієнт повернення (коефіцієнт безпеки).

До часових параметрах електромагнітного реле відносяться:

- час вмикання реле;
- час вимикання реле;
- час перельоту якоря.

До механічних параметрах електромагнітних реле відносяться:

- висота антимагнітних штифта;
- хід якоря;
- міжконтактний зазор;
- контактний тиск тилкових та фронткових контактів;
- неодноразність замикання фронткових і тилкових контактів;
- висота антимагнітного штифта;
- сумісний хід контактів.

Також роботу електромагнітного реле характеризують дві характеристики реле: механічна і тягова. Механічна характеристика реле - це залежність механічних зусиль, які повинен подолати якір при вмиканні реле, від ходу якоря. Тягова характеристика - це залежність електромагнітної сили тяжіння, що

створює електромагніт реле, від величини повітряного зазору між якорем і сердечником при постійній магніторухомій силі.

По надійності роботи (тобто по здатності виключати небезпечні відмови, такі, як зварювання контактів при короткому замиканні та залипання якоря після виключення струму в обмотці), електромагнітні реле залізничної автоматики діляться на реле першого класу і реле нижчого класу надійності. У всіх системах залізничної автоматики, що повинні забезпечувати безпеку руху поїздів, застосовуються тільки реле першого класу надійності типів НМШ та РЕЛ.

Згідно ЕТВ електромагнітні реле першого класу надійності повинні виключати небезпечні відмови, а для цього вони повинні відповідати таким вимогам:

1. Фронтіві і загальні контакти не повинні зварюватися при будь-яких умовах експлуатації. Для реалізації цієї вимоги фронтіві контакти виготовляються із вугілля з металевим наповненням, а загальні контакти із срібла або його сплавів.

2. Надійне повернення якоря в початковий стан під дією своєї маси за рахунок сили тяжіння і замикання тилкових контактів при вимиканні напруги на обмотках реле або зменшенні її до величини напруги відпускання.

3. Виключення можливості залипання якоря після вимикання живлення на обмотці реле. Для реалізації цієї вимоги між якорем і сердечником завжди повинен бути залишковий повітряний зазор, який реалізується за допомогою антимагнітного бронзового штифта, закріпленого на якорі. У нормальнодіючих реле висота штифта повинна бути не менше 0,2 мм, а у повільнодіючих реле - не менше 0,15 мм.

4. Всі тилкові контакти реле повинні розмикатися при замиканні хоча б одного фронтівого контакту і навпаки. Дана вимога виконується тільки в реле першого класу надійності типу РЕЛ.

ЕТВ до реле першого класу надійності включають в себе також вимоги до електричних параметрів, а також до конструкції реле та контактів.

Основні вимоги до електричних параметрах електромагнітного реле першого класу надійності:

- напруга (струм) спрацьовування не більше 0,8 від номінального;

- напруга (струм) відпускання не менше 0,08 від номінального;
- напруга (струм) спрацьовування реле, виміряний при одній полярності, не повинно перевищувати напругу (струм) спрацьовування при іншій полярності більш ніж на 20%;
- коефіцієнт повернення для колійних реле повинен бути не менше 0,5;
- коефіцієнт повернення для вогневих реле не менше 0,3;
- коефіцієнт повернення у решти реле не менше 0,2;
- обмотка реле повинна тривалий час витримувати напруги перевантаження, що дорівнює двократній номінальній робочій напрузі.

Основні вимоги до контактів реле першого класу надійності:

- перехідний опір фронткових контактів повинен бути не більше 0,3 Ом;
- перехідний опір тильових контактів повинен бути не більше 0,03 Ом;
- міжконтактний зазор не менше 1,3 мм, а в момент перемикавання контактів не менше 0,8 мм;
- спільний хід контактів повинен бути не менше 0,35 мм, а ковзання контактів для їх самоочищення у фронткових контактів повинно бути не менше 0,25 мм, а у тильових контактів не менше 0,2 мм;
- контактний тиск фронткових контактів не менш 0,294 Н (30 грам), а тильових контактів не менш 0,147 Н (15 грам);
- неодноразовість замикавання або розмикавання контактів - не більше 0,2 мм.

Основні вимоги до конструкції реле першого класу надійності:

- реле повинно мати конструкцію, що не вимагає додаткового схемного контролю відпускання якоря реле;
- положення контактів повинне забезпечуватися механічним з'єднанням їх між собою і якорем реле;
- штепсельні з'єднувачі реле повинні виключати можливість його помилкового включення в схему;
- корпус реле повинен виключати попадання всередину вологи, пилу і газів для усунення впливу зовнішнього середовища на роботу реле та стан контактів;

- реле повинно надійно працювати при значних змінах температури навколишнього повітря (від -40 до +60 0С) і відносній вологості до 95% (виміряної при температурі +20 0С);

- реле повинні бути невеликих розмірів і при цьому мати велику кількість контактів (не менше 8 перекидних контактів);

- контакти реле повинні мати можливість комутувати велику потужність, а також мати велику зносостійкість (характеризується показником інтенсивності відмов $\lambda=0,11 \cdot 10^{-6}$ 1/ч) та ремонтпридатність;

- реле повинно мати невеликий час вмикання і вимикання якоря;

- реле повинно мати великий термін служби (не менше 25 – 30 років);

- реле повинно мати, міцну конструкцію, що забезпечує достатню вібро- і ударостійкість;

- реле повинне мати невисоку вартість при виготовленні.

Реле, до яких не пред'являють вимоги по здатності виключати небезпечні відмови, відносяться до реле нижчого класу надійності, і застосовуються в менш відповідальних колах систем залізничної автоматики. До них відносяться реле типу КДР, реле пристроїв зв'язку РКН, РПН, малогабаритні реле типів РС, РСМ з малопотужними точковими контактами. У реле нижчого класу, параметр λ менше ($\lambda=0,05 \cdot 10^{-6}$ 1/ч), ніж у реле першого класу надійності, що пояснюється великим зносом не зварюваних срібно-графітових контактів.

1.3. Аналіз технології перевірки механічних параметрів реле першого класу надійності

При перевірці реле різних типів, керуються інструкцією РМ-32-ЦШ (09.36-85). Зараз вимірювання механічних параметрів реле здійснюється різного роду пристосуваннями, шаблонами, грамометрами, щупами і т.п.

Регулювання зазорів між контактами реле та вимірювання контактного тиску.

Вимірювання контактного тиску проводиться електромеханіком в ручну за допомогою грамометра часового типу Г-10-60. Контактний тиск вимірюють шляхом відтягання фронтального або тилового контакту від загального і відліку показань у момент їх розмикання. Згідно ЕТВ до реле першого класу надійності контактний тиск фронтальних контактів повинен бути не менше 30 грам (0,294 Н), а тильових контактів 15 грам (0,147 Н). Для підвищення точності відліку можуть додавати світловий або звуковий контроль розмикання контактів, так як при цьому точніше фіксується момент розмикання контактів і виключається досить складна для електромеханіка операція візуального контролю за положенням контактів.

Грамометр необхідно прикладати попереду чашок вугільних контактів по центру контактної пластини. Натиснення необхідно фіксувати в момент утворення зазору між упорною та контактною пластинами. Знеструмити реле, витягти щуп з-під упора и знову поставити реле під струм. Перевірити наявність зазорів між контактними і упорними пружинами і виміряти натиснення на замикаючі контакти, яке має бути не менше 0,3 Н. Натиснення необхідно фіксувати в момент утворення зазору між замикаючим і рухомим контактом або в момент розмикання електричного кола через ці контакти. При натисненні менше норми необхідно підігнати у основи контактні пружини, при відсутності зазорів відігнати упорну пластину або декілька зменшити у межах норми натиснення замикаючої контактної пружини на упорну. Замикання та відмикання контактів має бути практично одночасним.

Контактні пружини повинні бути надійно закріплені у колодках гайками, стопорні планки підігнуті до граней гайки. Встановити реле у плату підставки, підключити обмотки до стенду, підкласти між сердечником і наклепом на якорі щуп товщиною 0,4 мм і підточити реле. Підігнати у основи замикаючі контакти з упорними пластинами до прямого дотику замикаючих контактів з рухомими або до утворення зазору 0,01-0,03мм. Вирівняти пружини так, щоб контактування відбувалося по всій площині контакту. Вирівнювання провести регулювальними плоскогубцями кінців пружин із замикаючими контактами. Кінці упорних

пластин мають доторкатися нерухомих пружин всій площиною. Контакткування загальних контактів має відбуватися по вісі цих контактів. Перевірити та відрегулювати попереднє натиснення замикаючих контактних пружин на упорні, яке повинно мати значення 0,15 - 0,20 Н.

Вимкнути реле і під упор якоря підкласти щуп 0,35 мм. Увімкнути реле і перевірити замкнений стан замикаючих та рухомих контактів. Цим перевіряється ковзання замикаючих контактів, яке повинно мати значення не менше 0,35 мм. Замкнений стан контактів визначити по замиканню електричного кола через ці контакти або візуально.

Вимкнути реле, під упор якоря покласти щуп 0,9 мм та знову увімкнути реле. Регулюванням необхідно підігнуть пружини розмикаючих контактів, досягаючи прямого дотику або утворення зазору 0,01 - 0,03 мм розмикаючих контактів з рухомими. Підгинаючи пелюстки розмикаючих контактів, досягнути розташування обох контактів наклепів на одному рівні. Розмикаючі контакти мають лежати всією площиною на упорних пластинах і мати попереднє натиснення на упорну пластину 0,08 - 0,1 Н.

Вимкнути реле, витягти щуп та перевірити натиснення на розмикаючих контактах, яке повинно мати значення не менше 0,15 Н, а також наявність зазору між розмикаючими контактами та упорними пластинами. При необхідності необхідно відрегулювати. Змінити зазор контактів, який повинний бути не менше 1,3 мм при притягнутому та опущеному якорі.

Статистичні дослідження показують, що недоліком даного способу вимірювання контактного тиску є досить висока погрішність. Вона обумовлена як суб'єктивністю при визначенні моменту відліку показників, оскільки напрям зусилля і точка прикладання зусиль при відтяганні контакту встановлюються електромеханіком вручну, так і погрішністю самого грамометра. Грамометр Г-10-60 необхідно утримувати в руці на рівні подовжньої осі вимірюваного контакту, оскільки будь-які відносні відхилення від цієї осі приводять до збільшення погрішності вимірювання. Висока погрішність вимірювання контактного тиску

(до 30 %) відбивається на якості регулювання реле і сильно впливає на комутаційний ресурс контактів реле.

Вимірювання сумісного ходу контактів та між контактного зазору.

Сумісний хід фронтних та тильових контактів визначається ходом якоря від моменту прямого дотику контактів, що замикаються, до моменту повного відпускання реле. Вимірювання цього параметра проводиться щупами, а оцінка знаходження загального контакту в зіткненні з фронтним (тильовим) – візуально. Необхідний сумісний хід фронтних і спільних контактів забезпечують таким чином, між сердечником і якорем прикладають щуп завтовшки 0,4 мм і добиваються прямого торкання контактів, що замикаються, або ледве видимого просвіту 0,01 - 0,03 мм. Для визначення сумісного ходу тильових контактів між якорем і сердечником підкладають щуп завтовшки 0,9 мм. При такому регулюванні сумісний хід контактів буде не менше 0,35 мм згідно ЕТВ до реле першого класу надійності. Дана операція виконується для кожного контакту окремо, тобто для реле НМШ необхідно виконати не менше 16 послідовних вимірювань. Для зниження зорової напруги електромеханіка до контактів реле підключають світлову або звукову індикацію для фіксації моментів замикання і розмикання контактів. Даний метод вимірювання сумісного ходу контактів має наступні недоліки:

- реальна величина сумісного ходу контактів не вимірюється, а фіксується тільки значення в нормі параметр чи ні. У той же час значення цього параметра має суттєвий вплив на такі параметри як, напруги вмикання і вимикання реле, контактний тиск, перехідний опір контактів, час вмикання реле і, що більш важливо, визначає ресурс контактної системи реле;

- суб'єктивність вимірювання даних параметрів реле;
- висока зорова напруга електромеханіка при регулюванні контактів;
- значні затрати часу на регулювання контактів, так як кожен контакт реле необхідно регулювати окремо.

Вимірювання висоти антимагнітного штифта.

Висота антимагнітного штифта на якорі реле згідно ЕТВ до реле першого класу надійності нормується для всіх реле нормальної дії не менше 0,2 мм, для всіх типів реле повільної дії – не менше 0,15 мм. Висота антимагнітного штифта має суттєвий вплив на такі параметри реле як, коефіцієнт повернення та електричні параметри реле. Ця операція проводиться в ручну за допомогою набору спеціальних щупів №2 і №3 , причому електромеханік повинен візуально визначати момент рівності вимірюваної величини і добраних щупів. Також вимірювання висоти антимагнітного штифта може проводитися за допомогою пристрою на базі стрілочного індикатора часового типу (наприклад, люфтоміра), що дозволяє визначати висоту антимагнітного штифта з точністю до 0,01 мм. Дана технологія вимірювання висоти антимагнітного штифта відрізняється суб'єктивністю при оцінці вимірюваної величини, малою продуктивністю і вимагає від електромеханіка утомливого зорового контролю за результатом.

Перевірка неодночасності замикання фронтів і тилівих контактів.

Неодночасність замикання фронтів і тилівих контактів згідно ЕТВ для реле першого класу надійності повинна бути не більше 0,2 мм, так як цей параметр має суттєвий вплив на часові параметри електричних схем при комутації струмів. В умовах ремонтних ділянок відсутні засоби, що дозволяють вимірювати значення неодночасності замикання фронтів і тилівих контактів. Зараз електромеханік лише проводить візуальну оцінку параметра, за допомогою застарілого приладу, принцип роботи якого заснований на підключенні контрольних ламп в коло контактів, що перевіряються. По неодночасності їх загоряння і робиться висновок про неодночасність замикання контактів. Даний спосіб візуальної оцінки неодночасності замикання фронтів і тилівих контактів дуже суб'єктивний і не дозволяє навіть визначити відповідає параметр вимогам ЕТВ чи ні.

1.4. Висновки по розділу

Аналіз існуючої технології перевірки механічних параметрів реле першого класу надійності реле виявив наступні недоліки:

- для перевірки механічних параметрів реле застосовуються морально застарілі стенди та вимірювальні прилади, що мають значні розміри і вагу;
- висока суб'єктивність і низька точність вимірювань, яка пов'язана з великою кількістю ручних операцій по управлінню виконавчими пристроями, недоліками стрілочних вимірювальних приладів, а також неспівпадінню між допусками по відхиленню вимірюваної величини і класом точності вимірювального пристрою;
- всі вимірювання проводяться в аналоговій формі, що збільшує суб'єктивність показань вимірюваних параметрів, а також ускладнює та збільшує час сприйняття показань вимірювальних пристроїв;
- вимірювання цілого ряду механічних параметрів за допомогою щупів і шаблонів не дають необхідної точності та повторюваності, що призводить до необхідності проводити вимірювання одного і того ж параметра кілька разів для зменшення помилки, що відповідно збільшує час перевірки реле;
- втомливий і трудомісткий процес вимірювання механічних параметрів реле, що вимагає від електромеханіка високої кваліфікації, постійної зорової напруги і значних затрат часу, оскільки практично всі операції технологічного процесу перевірки параметрів реле виконуються вручну. Наприклад, регулювання живлячої напруги ведеться вручну, що при масовій перевірці реле призводить до стомлення електромеханіка і збільшенню ймовірності помилки;
- низька продуктивність праці із-за не високої швидкості вимірювань, а також втрат часу на збирання схем вимірювань і обробку результатів;
- застосування спеціальних пристосувань для підвищення точності вимірювання (наприклад, індикатора часового типу) вимагає їх установки на кожне реле, що збільшує витрати часу на перевірку реле;
- недосконалість існуючої технології вимірювання і регулювання механічних параметрів реле. Статистичні дослідження, проведені на кафедрі автоматики та

телекомунікації університету показали, що до 15 % реле випускаються з ремонтно-технологічних ділянок з браком, тобто параметри реле знаходяться поза допустимими межами, а величина міжконтактного зазору при перельоті якоря може відхилитися від норми до 40 %;

- цілий ряд визначальних параметрів, що нормуються в технічних умовах та ЕТВ до реле першого класу надійності, не вимірюється взагалі, а інша частина лише оцінюється візуально або фіксується «на око», оскільки відсутні засоби для вимірювання таких параметрів реле як, міжконтактний зазор при перельоті якоря, сумісний хід контактів і неодноразовість замикання. В той же час дані параметри можуть значно впливати на оцінку справності реле залізничної автоматики та комутаційний ресурс його контактів;

- неможливість вимірювання механічних параметрів реле без розкриття кожуха реле.

Основними недоліками існуючих методів вимірювання механічних параметрів реле є відсутність спеціальних вимірювальних пристроїв і велика кількість ручних операцій. Резерви підвищення якості перевірки параметрів реле і продуктивності праці електромеханіка при використанні існуючої технології і вимірювальних приладів практично вичерпані. Для усунення даних недоліків необхідне впровадження автоматизованих вимірювальних комплексів для вимірювання параметрів і характеристик реле залізничної автоматики.

Актуальність роботи.

Автоматизація процесу вимірювання механічних параметрів реле дозволить:

- підвищити надійність і довговічність роботи реле першого класу надійності і відповідно збільшити безпеку руху потягів, а також зменшити експлуатаційні витрати на утримання пристроїв залізничної автоматики;

- зменшити витрати часу на перевірку механічних параметрів одного реле;

- збільшити точність вимірювань механічних параметрів і об'єктивність контролю працездатності реле;

- забезпечити достовірність і одноманітність вимірювань;

- підвищити ергономічні показники вимірювальних пристроїв і поліпшити умови праці електромеханіків;
- збільшити продуктивність праці за рахунок виключення одноманітних та трудомістких ручних операцій;
- знизити енергоспоживання вимірювальних пристроїв;
- зменшити вагові та габаритні показники вимірювальних пристроїв;
- автоматизувати процес ведення технічної документації для реле, що дозволить спостерігати за процесом зміни усіх параметрів реле, а також проводити оцінку надійності і оптимізації процесів профілактики та ремонту реле. Наявність такої статистики дозволить науково обґрунтувати та організувати більш ефективний технологічний процес обслуговування пристроїв залізничної автоматики.

2. МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ ПЕРШОГО КЛАСУ НАДІЙНОСТІ

2.1. Математичний опис електромеханічних процесів у реле першого класу надійності

При роботі електромагнітного реле в ньому відбуваються складні електромеханічні процеси, для математичного опису яких запишемо наступні рівняння [6]:

$$u(t) = i(t)R + \frac{d\Psi}{dt}, \quad (2.1)$$

$$\Phi(t) = f [i(t), \delta(t)], \quad (2.2)$$

$$W_{\text{э}} = W_{\text{мех}} + W_{\text{т}} + W_{\text{м}}, \quad (2.3)$$

$$F_{\text{э}} = -\frac{dW_{\text{мех}}}{d\delta}, \quad (2.4)$$

$$F_{\text{э}} = m \frac{d\delta^2}{dt} + F_{\text{п}}(\delta) + k \frac{d\delta}{dt}, \quad (2.5)$$

де R – активний опір обмотки; Ψ - потокозчеплення обмотки реле; i - струм в обмотці реле; u - напруга джерела живлення; $\Phi(t)$ - магнітний потік у сердечнику реле; $\delta(t)$ - положення якоря реле, вимірюване по осі сердечника; $W_{\text{э}}$ – енергія джерела живлення; $W_{\text{мех}}$ – механічна енергія, витрачена на переміщення якоря реле; $W_{\text{т}}$ – теплові втрати; $W_{\text{м}}$ – магнітна енергія електромагніту реле; $dW_{\text{мех}}$ – зміна механічної енергії, витрачене на переміщення якоря реле на відстань $d\delta$; $d\delta$ – переміщення якоря; m – приведена маса частин, що рухаються, реле; $F_{\text{п}}(\delta)$ – протидіюча сила, яка є функцією положення якоря δ ; k - повний коефіцієнт опору руху якоря (пропорційний швидкості руху).

Рівняння електричного кола обмотки реле (2.1) характеризує процес перетворення електричної енергії джерела живлення в енергію магнітного поля. Воно дає можливість визначити, яка частина електричної енергії, що зробила від

джерела живлення за час dt , витрачається на теплові втрати в активному опорі обмотки, а яка перетвориться в енергію магнітного поля електромагніту реле.

Рівняння магнітного ланцюга реле (2.2) зв'язує значення магнітного потоку при заданих параметрах магнітопроводу зі значенням струму $i(t)$ в обмотці й положенням якоря реле $\delta(t)$.

Відповідно до закону збереження енергії (2.3) можна визначити яка частина магнітної енергії, у процесі перетворення в електромагніту, перетворилася в механічну енергію.

Електромагнітна сила притягання якоря (2.4) проявляється у вигляді роботи з переміщення якоря при включенні реле за рахунок перетворення частини енергії магнітного поля електромагніту реле в механічну енергію.

Рівняння руху рухливої системи реле описується вираженням (2.5). Протидіюча сила $F_{\text{п}}$ електромагнітних реле типів НМШ і РЭЛ рівна: $F_{\text{п}} = Q + a \delta$, де Q – вага якоря; a – наведена твердість контактних пружин і упорних пластин. При вимиканні реле повернення якоря у вихідне положення відбувається під дією власної ваги.

Наведений математичний опис містить величини, необхідні для визначення механічних параметрів реле. Вихідними значеннями, що знімаються з контрольних крапок, є струмова залежність $i(t)$ в обмотці при включенні й вимиканні реле, а також моменти замикання й розмикання контактів. Для розв'язку поставленого завдання необхідні додаткові дослідження процесів, що протікають у магнітному ланцюзі реле.

Основні рівняння магнітного кола реле

По конструкції магнітного кола електромагнітні реле залізничної автоматики НМШ і РЕЛ є реле клапанного типу. Магнітний ланцюг таких реле має рядом особливостей [7]:

- наявність робочого магнітного потоку (у повітряному зазорі між якорем і сердечником) Φ_{δ} і потоків розсіювання (витоку) Φ_g , що проходять повз робочий

зазор. Причому потоки розсіювання в електромагнітні реле становлять 30 - 40% від загального потоку й не враховувати їх не можна [6];

- при включенні або вимиканні реле змінюється загальний опір магнітного ланцюга реле, тому що в реле змінюється робочий повітряний зазор між якорем і сердечником.

Співвідношення між осьовим розміром сердечника й радіальною довжиною шляхи потоку розсіювання між сердечником і ярмом для реле клапанного типу лежить у межах 8 - 20 (для реле НМШ ≈ 10). Тому поле потоку розсіювання в більшості випадків на значній частині магнітопроводу близько до плоскопараллельному й спотворюється лише із країв. Допущення про плоскопараллельності поля потоків розсіювання, тобто про те, що потоки йдуть у площинах, перпендикулярних осі сердечника, лежить в основі всіх існуючих методів розрахунків магнітного ланцюга реле з урахуванням потоків розсіювання. Дане допущення дозволяє використовувати для розрахунків магнітних ланцюгів реле виводи теорії електричних кіл для двухпроводних електричних довгих ліній [7]. Магнітний ланцюг з розподіленої по сердечникові обмоткою являє собою активний чотириполюсник. Тому що потокозчеплення змінюється по довжині обмотки, то величина магнітного потоку, що проходить через робочий повітряний зазор, буде набагато менше потоку в підставі сердечника. Схема заміщення ділянки магнітного ланцюга довжиною dx (рис. 2.1) складається з наступних елементів [5]:

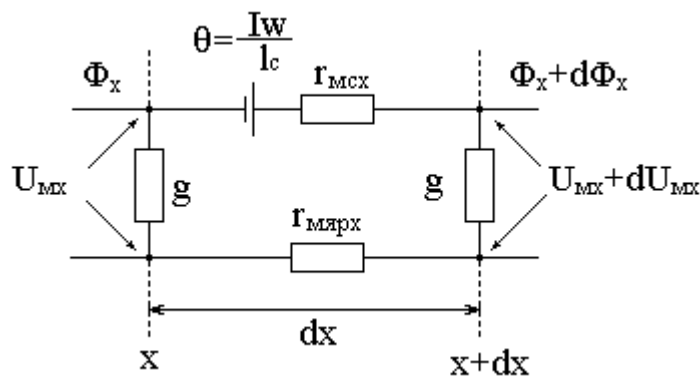


Рисунок. 2.1 – Схема заміщення ділянки магнітного ланцюга реле

- x - відстань від підстави сердечника;
- $R_{ж} = g_{мх} + g_{ярх}$ - сума магнітних опорів одиниці довжини ($1m$) магнітопроводу (сердечника і ярма);
- g - магнітна провідність потоку розсіювання між сердечником і корпусом на одиницю довжини ($1m$) магнітному ланцюга;
- $U_{мх}$ - магнітна напруга в перетині x ;
- $\theta = Iw/lc$ - питома сила, що намагнічує, створювана обмоткою;
- Φ_x - магнітний потік у перетині x магнітопроводу.

На підставі другого закону Кирхгофа для ділянки магнітного ланцюга можна визначити швидкість зміни магнітної напруги й магнітного потоку на ділянці dx [5]:

$$\frac{dU_{мх}}{dx} = -(\theta - \Phi_x R_{ж}), \quad (2.6)$$

$$\frac{d\Phi}{dx} = U_{мх} g. \quad (2.7)$$

Диференціюючи рівняння (2.6) і (2.7) по x одержимо:

$$\frac{d^2 U_{мх}}{dx^2} - U_{мх} g R_{ж} = 0, \quad (2.8)$$

$$\frac{d^2 \Phi_x}{dx^2} - \Phi_x R_{ж} g + \theta g = 0 \quad (2.9)$$

Рівняння (2.8) визначає зв'язок розподілу магнітного потенціалу з параметрами магнітного ланцюга реле, а рівняння (2.9) є загальним рівнянням магнітного ланцюга й визначає закон зміни магнітного потоку по довжині магнітопроводу.

Відомі методи розрахунків магнітному ланцюга різняться способом розв'язку загального рівняння магнітному ланцюга реле (2.9) або вихідних рівнянь (2.6) і (2.7), а також прийнятими при цьому допущеннями. У літературі описані наступні методи:

- подвійного графічного інтегрування рівняння (2.9) [6];
- розрахунки магнітного ланцюга по ділянках за допомогою коефіцієнтів розсіювання [6];

- чисельного інтегрування диференціальних рівнянь (2.6) і (2.7) магнітному ланцюга реле [6];

- аналітичні методи розрахунків магнітному ланцюга реле [5].

Для реалізації методів автоматизації виміру механічних параметрів реле найкраще підходять аналітичні способи розрахунків магнітних ланцюгів реле з урахуванням розсіювання, тому що їхнім простіше реалізувати програмно.

Розв'язання диференціальних рівнянь (2.8 і 2.9) має вигляд [5]:

$$U_{\text{мх}} = c_1 \text{sh } x \sqrt{gR_{\text{ж}}} + c_2 \text{ch } x \sqrt{gR_{\text{ж}}}, \quad (2.10)$$

$$\Phi_x = \frac{\theta}{R_{\text{ж}}} - c_1 \sqrt{\frac{g}{R_{\text{ж}}}} \text{ch } x \sqrt{gR_{\text{ж}}} + c_2 \sqrt{\frac{g}{R_{\text{ж}}}} \text{sh } x \sqrt{gR_{\text{ж}}}, \quad (2.11)$$

де c_1 і c_2 – постійні інтегрування.

Якщо магнітний опір повітряного стику між сердечником і ярмом R_0 прийняти рівним 0, то для граничних умов

$$U_{\text{м}}(x) = 0 \quad \text{при } x = 0$$

$$U_{\text{м}}(x) = \Phi_{\delta} R_{\delta} \quad \text{при } x = l_c$$

одержимо

$$c_2 = 0, \\ c_1 = \frac{\Phi_{\delta} R_{\delta}}{\text{sh } l_c \sqrt{gR_{\text{ж}}}}, \quad (2.12)$$

де Φ_{δ} – робітник магнітний потік у повітряному зазорі між ярмом і сердечником; R_{δ} - магнітний опір повітряного зазору між ярмом і сердечником; l_c – довжина сердечника реле.

Підставивши в рівняння (2.11) значення постійних інтегрування одержимо загальне вираження для визначення магнітного потоку в будь-якому перетині сердечника при заданій силі, що намагнічує, обмотки [5]:

$$\Phi_x = \frac{I_w}{l_c R_{\text{ж}} + R_{\delta} q} \left[1 + \frac{q R_{\text{ж}}}{l_c R_{\text{ж}}} \left(1 - \frac{\text{ch } x \sqrt{gR_{\text{ж}}}}{\text{ch } l_c \sqrt{gR_{\text{ж}}}} \right) \right], \quad (2.13)$$

де q – коефіцієнт, що враховує особливості конструкції магнітопроводу реле

$$q = \frac{l_c \sqrt{gR_{ж}}}{\text{th} l_c \sqrt{gR_{ж}}}. \quad (2.14)$$

Потік у підставі сердечника при $R_0 = 0$ буде рівний:

$$\Phi_0 = \frac{Iw}{l_c R_{ж} + R_{\delta}} \left[1 + \frac{q R_{ж}}{l_c R_{ж}} \left(1 - \frac{1}{\text{ch} l_c \sqrt{gR_{ж}}} \right) \right]. \quad (2.15)$$

Для випадку $R_0 \neq 0$, вираження для розрахунків магнітних ланцюгів з урахуванням магнітного опору повітряного стику між сердечником і корпусом реле отримане В.І. Коваленковим [7]:

$$\Phi_x = \frac{Iw}{l_c R_{ж}} \left[1 - \frac{A_x (AR_0 + (CR_0 + 1)R_{\delta}) - C_x R_0 (B + R_{\delta} (A - 1))}{B + A(R_0 + R_{\delta}) + CR_0 R_{\delta}} \right], \quad (2.16)$$

де коефіцієнти рівні:

$$A_x = \text{ch} x \sqrt{gR_{ж}}; \quad C_x = \sqrt{\frac{g}{R_{ж}}} \text{sh} x \sqrt{gR_{ж}};$$

$$A = \text{ch} l_c \sqrt{gR_{ж}}; \quad B = \sqrt{\frac{R_{ж}}{g}} \text{sh} l_c \sqrt{gR_{ж}};$$

$$C = \sqrt{\frac{g}{R_{ж}}} \text{sh} l_c \sqrt{gR_{ж}}.$$

При $x = l_c$, робочий магнітний потік у повітряному зазорі між якорем і сердечником буде рівний:

$$\Phi_{\delta} = \frac{Iw}{l_c R_{ж}} \left[1 - \frac{A(AR_0 + (CR_0 + 1)R_{\delta}) - CR_0 (B + R_{\delta} (A - 1))}{B + A(R_0 + R_{\delta}) + CR_0 R_{\delta}} \right]. \quad (2.17)$$

Максимальний магнітний потік Φ_0 у сердечнику реле буде рівний:

$$\Phi_0 = \frac{Iw}{l_c R_{ж}} \left[\frac{B + R_{\delta} (A - 1)}{B + A(R_0 + R_{\delta}) + CR_0 R_{\delta}} \right]. \quad (2.18)$$

2.2. Метод визначення положення якоря по магнітному опорі робочого повітряного зазору реле

Метод визначення положення якоря за значенням магнітного опорі повітряного зазору між якорем і сердечником реле заснований на тому, що значення магнітного опорі робочого зазору практично не залежить від струму в обмотці реле й визначається в основному величиною самого зазору.

Вихідними даними для розрахунків магнітного ланцюга реле є:

- залежність струму в обмотці від часу $i(t)$ при включенні реле;
- схема заміщення магнітному ланцюга реле (визначається конструкцією магнітопроводу реле);
- форма кривої намагнічування матеріалу магнітопроводу (в аналітичному виді);
- значення провідностей шляхів магнітного потоку по повітрю.

Струм в обмотці реле i і потокозчеплення Ψ зв'язані між собою рівнянням електричного ланцюга обмотки реле (2.19). Якщо напруга джерела живлення $U = \text{const}$, то потокозчеплення рівне:

$$\Psi(t) = U(t - t_0) - R \int_{t_0}^t i(t) dt . \quad (2.19)$$

Через наявність потоків розсіювання, величина магнітного потоку в сердечнику реле змінюється по довжині магнітопроводу. Магнітний опір стику сердечник - ярмо в нормальнодействующих реле типів НМШ і РЕЛ можна прийняти рівним нулю, і, отже, максимальний магнітний потік Φ_0 буде в підставі сердечника. Обмотка в нормальнодействующих реле НМШ і РЕЛ розподілена рівномірно по всій довжині сердечника, тому потокозчеплення на ділянці сердечника dx буде рівно [5]:

$$d\Psi = \Phi_x \frac{w}{l_c} dx , \quad (2.20)$$

де w – кількість витків в обмотці реле, l_c – довжина сердечника. Тоді повне число потокозчеплень реле буде рівно:

$$\Psi = \frac{w}{l_c} \int_0^{l_c} \Phi(x) dx. \quad (2.21)$$

Підставивши в рівняння (2.21) замість $\Phi(x)$ рівняння (2.16) одержимо значення магнітного потоку в підставі сердечника:

$$\Phi_0 = \frac{l_c}{\sqrt{gR_{ж}} \operatorname{sh} l_c} \left(\frac{\Psi}{w} - \frac{Iw}{l_c R_{ж}} \right) + \frac{Iw}{l_c R_{ж}}. \quad (2.22)$$

Питома магнітна провідність потоків витoku g для реле НМШ визначається по (2.17), а для реле РЕЛ по (2.16). Магнітний опір стали $R_{ж}$ визначається для середнього магнітного потоку в сердечнику:

$$R_{ж} = \frac{w(H_c + H_{яp})}{\Psi}, \quad (2.23)$$

де H_c - напруженість магнітного поля в сердечнику, $H_{яp}$ - напруженість магнітного поля в ярмі реле. На рис. 2.2 та 2.3 представлені експериментальні залежності $\Phi_0 = f(i)$, зняті за допомогою електронного мікроверметра і розрахункові залежності $\Phi_0 = f(i)$, отримані по формулі (2.22) для реле НМШ і РЕЛ.

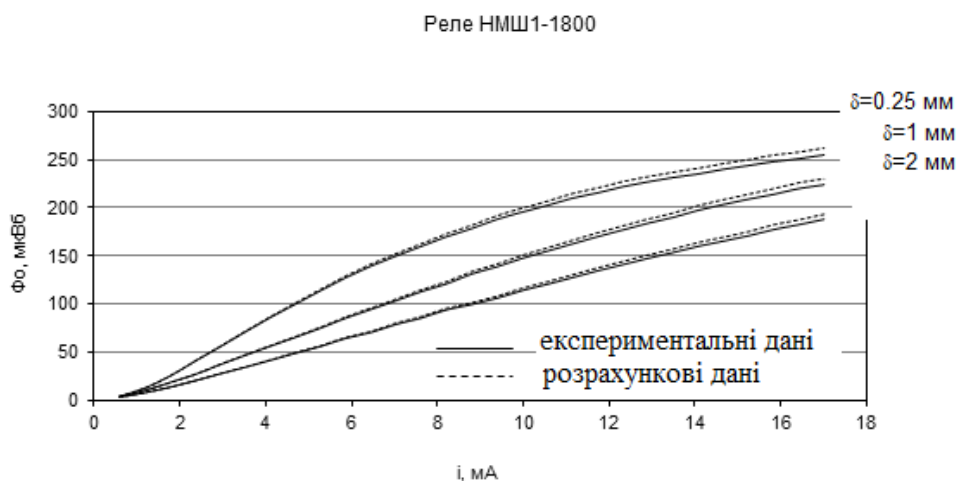


Рисунок. 2.2 – Магнітний потік у основі сердечника реле НМШ

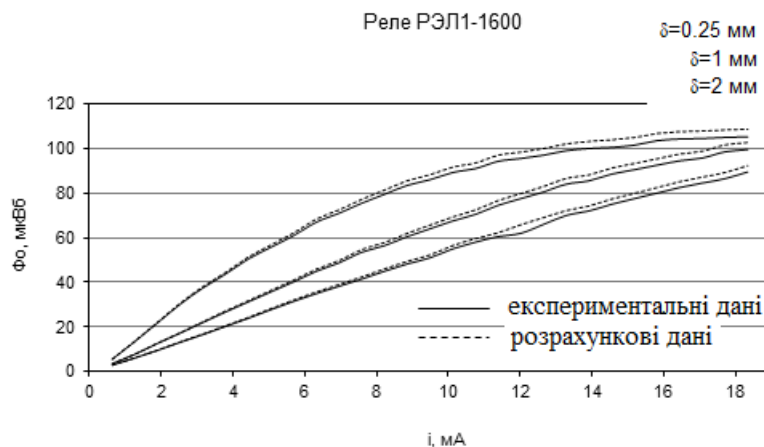


Рисунок. 2.3 – Магнітний потік у підставі сердечника реле РЕЛ

З рисунків видно, що експериментальні й розрахункові залежності досить точно збігаються. Таким чином, зміна магнітного опору магнітопроводу уздовж сердечника виявляє незначну погрішність, тому обчислення $R_{ж}$ по середньому магнітному потоці в сердечнику реле дає погрішність не більш 2,8 - 3,2 %.

Робочий магнітний потік у повітряному зазорі між якорем і сердечником Φ_{δ} можна визначити по наступній формулі

$$\Phi(\delta) = \frac{IW}{I_c R_{ж}} - \left(\frac{IW}{I_c R_{ж}} - \Phi_0 \right) \sqrt{\frac{g}{R_{ж}}} \operatorname{ch} l_c \sqrt{g R_{ж}}, \quad (2.24)$$

яка є аналітичним розв'язанням загального рівняння магнітному ланцюга реле (2.9). Недоліком вираження (2.24) є те, що в ньому $R_{ж}$ ухвалюється постійним на всій довжині магнітопроводу [5]. Але магнітний опір $R_{ж}$ залежить від магнітного потоку й, отже, також змінюється по довжині сердечника. Для збільшення точності обчислення робочого магнітного потоку, магнітний ланцюг реле розбивається на ділянки $dx = 0,01$ мм, і для кожного з них обчислюється магнітний опір $R_{ж}$ залежно від значення магнітного потоку Φ_x на цій ділянці. Для реле РЕЛ при визначенні $R_{ж}$ необхідно враховувати, що магнітний потік проходить по обом сердечникам. Тому що обидві магнітні ланцюги реле РЕЛ практично ідентичні, той магнітний опір магнітопроводу буде рівно:

$$R_{ж} = r_{мсx1} + r_{мсx2} + r_{мяx} = 2 \cdot r_{мсx} + r_{мяx}. \quad (2.25)$$

Загальне рівняння магнітного ланцюга реле (2.9) є рівнянням другого порядку й для розв'язку його чисельними методами дане рівняння можна представити у вигляді системи двох диференціальних рівнянь першого порядку (2.6 і 2.7).

Існує велике сімейство чисельних методів розв'язку диференціальних рівнянь, що одержали назву методи Рунге-Кутта [88,89]: метод Ейлера (простий однокроковий метод), метод Хьюна й т.п. Чисельні методи Рунге-Кутта засновані на заміні похідних їхніми кінцево-різницевиими відносинами, що дозволяє позбутися такого незручного для обчислювальних систем об'єкта, як похідна, і замінити систему диференціальних рівнянь на систему алгебраїчних рівнянь.

Для розв'язання системи диференціальних рівнянь (2.6 і 2.7) використовується двухшаговий метод Хьюна [8]:

$$\begin{aligned} S_1 &= F(x_0, y_0), \quad z = x_0 + S_1 dx, \\ S_2 &= F(x_1, z), \quad y_1 = y_0 + \frac{S_1 + S_2}{2} dx. \end{aligned} \quad (2.26)$$

Для побудови першого наближення S_1 у крапці x_1 використовується метод Ейлера. Потім у цій крапці визначається тангенс кута нахилу дотичній до графіка функції S_2 . Для одержання остаточного результату $y_1(x_1)$ проводиться усереднення тангенсів кута нахилу в обох крапках.

Початковими умовами для розрахунків магнітного ланцюга реле, при заданій силі, що намагнічує ($= Iw/l_c$, є (рис. 2.4): $x = 0$; $\Phi(0) = \Phi_0$ (максимальне значення магнітного потоку в підставі сердечника); $U_M(0) = 0$. Увесь сердечник розбивається на ділянки $dx = 0,01$ мм (при $l_c = 90$ мм для реле НМШ і $l_c = 80$ мм для реле РЭЛ). Подальше збільшення кількості ділянок не приводить до підвищення точності розрахунків, а тільки збільшує тривалість розрахунків.

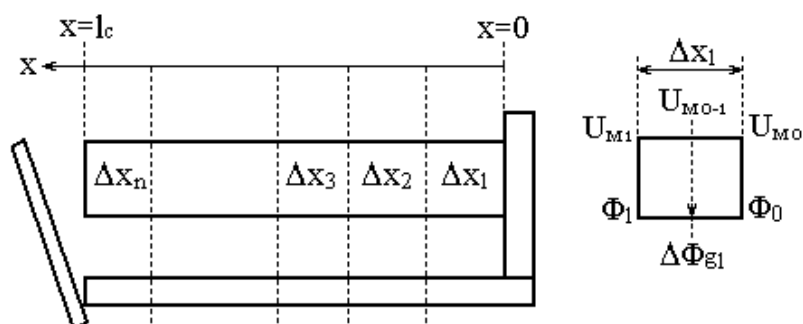


Рисунок. 2.4 – Розрахунки магнітного ланцюга реле методом Хьюна

Подальший розрахунки ведеться за еквівалентною схемою заміщення магнітному ланцюга реле. За допомогою законів Ома й Кирхгофа для магнітних ланцюгів визначаються значення магнітних опорів елементів магнітопроводу реле. Згідно з рівняннями (2.44) і (2.45) магнітний опір робочого повітряного зазору рівно:

$$R_{\delta}(t) = \frac{\left(\frac{i(t)w}{\Phi_{\delta}} - R_{ct} \right) R_g}{R_g + R_{ct}} - R_{я}. \quad (2.27)$$

Згідно з вираженням (2.29) відстань між полюсом сердечника і якорем по осі сердечника рівно:

$$\delta(t) = k \frac{\mu_0 R_{\delta}(t) d^2}{4}. \quad (2.28)$$

У якості датчика струму використовується прецизійний резистор R_0 величиною $1 \pm 0,5\%$ Ом включений послідовно з обмоткою реле. Датчик струму практично не виявляє впливу на параметри обмотки нормальнодействующих реле типів НМШ і РЕЛ, тому що його опір на кілька порядків менше активного опору обмоток реле (300 – 2000 Ом). Напруга, пропорційне $i(t)$, знімається з R_0 і оцифровується за допомогою АЦП, а потім уводиться в персональний комп'ютер (ПК) типу ІВМ РС для подальшої математичної обробки по заданому алгоритму. Одночасно із залежністю $i(t)$, за допомогою логічного аналізатора на 16 входів, у ПК уводиться інформація про стан усіх фронтів і тилівих контактів реле. Визначення початку руху якоря і його зупинки проводиться шляхом математичної обробки кривій $i(t)$ (рис. 2.2 і рис. 2.3).

Спрощений алгоритм автоматизованого визначення положення якоря по магнітному опору повітряного зазору без зняття кожуха реле показаний на рис. 2.5.

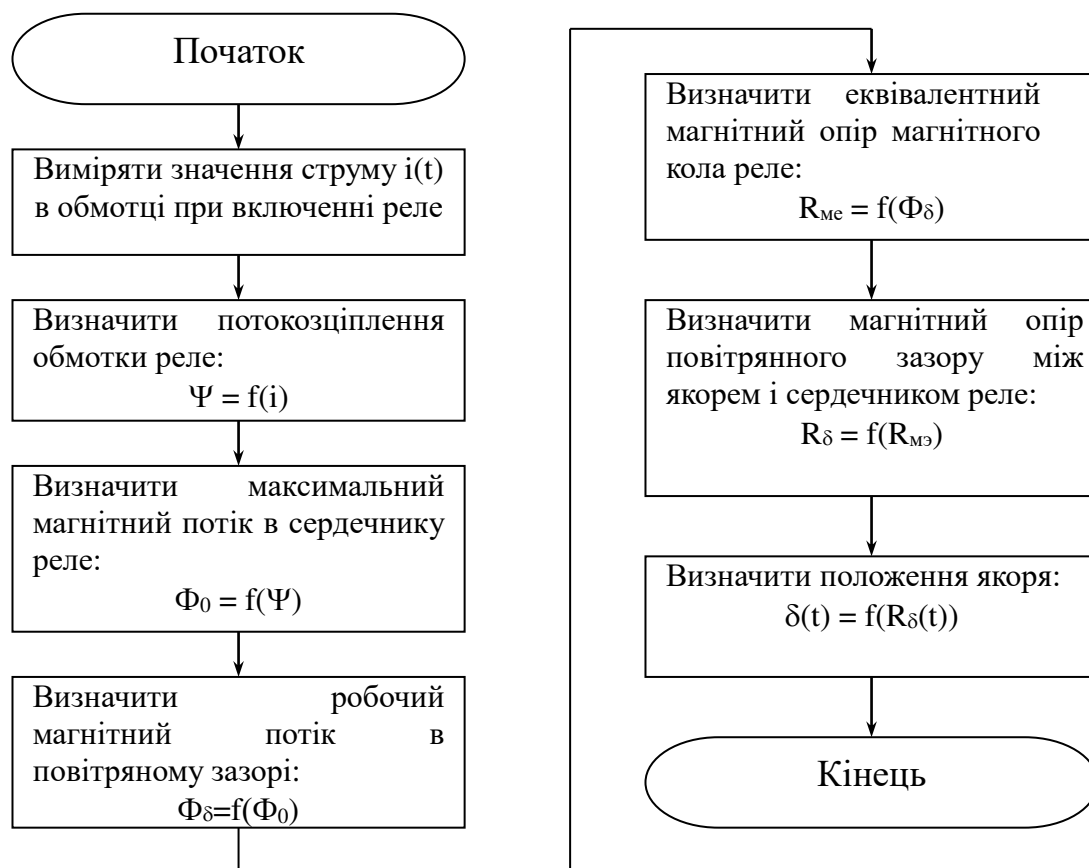


Рисунок. 2.5 – Алгоритм визначення положення якоря за значенням магнітного опору робочого повітряного зазору реле

На рис. 2.6 показані експериментальні й розрахункові залежності значення магнітного опору робочого повітряного зазору R_δ від положення якоря δ . Розбіжність експериментальних і розрахункових значень для різних типів реле не перевищує 5 ÷ 8%.

Таким чином, даний метод дозволяє за формою струму в обмотці під час включення реле визначити положення якоря в будь-який момент часу, шляхом розрахунків параметрів магнітного ланцюга реле, тобто одержати залежність $\delta = f(t)$, де δ - відстань між полюсом сердечника і якорем по осі сердечника [9].

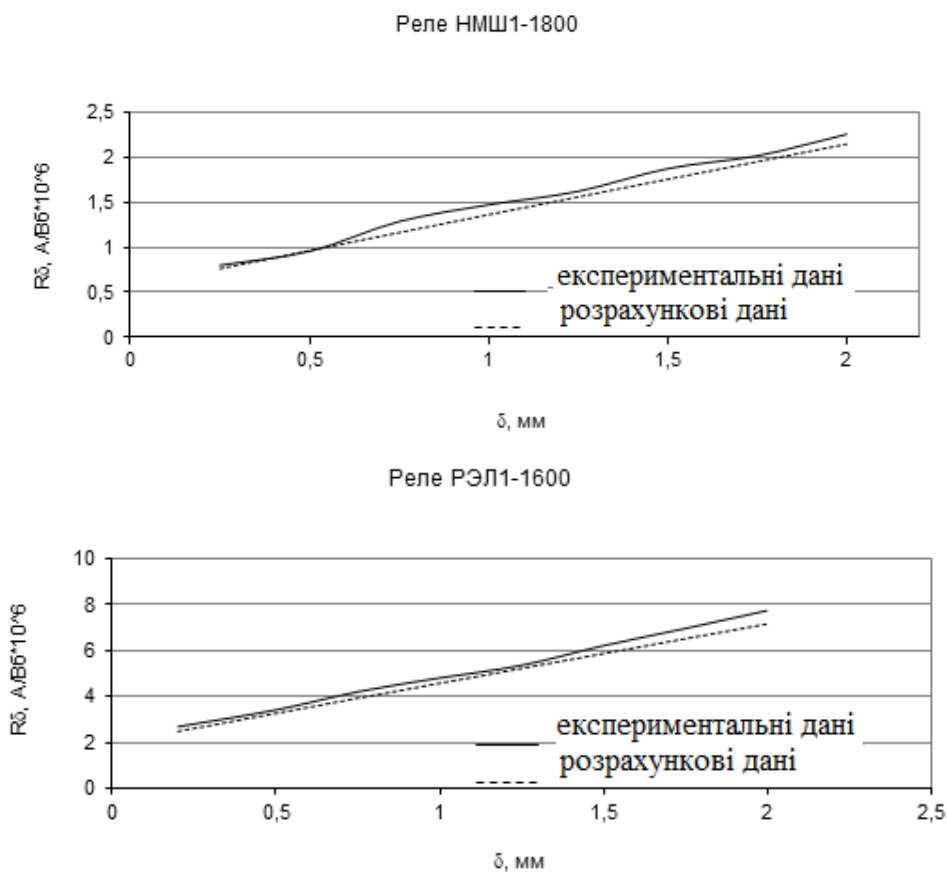


Рисунок. 2.6 – Залежність значення магнітного опір повітряного зазору від положення якоря в реле НМШ і РЕЛ

2.3. Метод визначення положення якоря за значенням індуктивності обмотки реле

При руху якоря під час включення реле зменшується робочий повітряний зазор, що приводить до збільшення значення індуктивності обмотки. Експериментальні дослідження реле залізничної автоматики типів НМШ і РЕЛ показали, що на ділянці руху якоря, індуктивність обмотки реле практично не залежить від струму й визначається величиною повітряного зазору між якорем і сердечником (рис. 2.1). У нормальнодействующих реле НМШ і РЕЛ індуктивність збільшується при включенні в 1,5 ÷ 2 рази, що дозволяє використовувати дане явище для визначення величини робочого повітряного зазору [6].

Вихідними даними для даного методу є, залежність струму в обмотці від часу $i(t)$ при включенні реле й параметри електричної й магнітної ланцюгів реле. Перехідну залежність $i(t)$ можна розбити на три ділянки (рис. 2.1 і рис. 2.2):

- 1 ділянка – наростання струму в обмотці реле від моменту подачі напруги на обмотку реле до моменту рушення якоря;
- 2 ділянка – зміни струму в обмотці реле під час руху якоря;
- 3 ділянка – наростання струму в обмотці реле від моменту останова якоря до моменту досягнення струмом, що встановилося значення $i_{уст} = U/R$.

На першому й третьому ділянках якір нерухливий і струм $i(t)$ змінюється за експонентним законом. Згідно з вираженнями (2.1) і (2.53) індуктивність обмотки реле на цих ділянках буде рівна:

$$L(t) = \frac{-Rt}{\ln\left(\frac{i(t) - i_{уст}}{i_{нач} - i_{уст}}\right)}, \quad (2.29)$$

де $i_{нач}$ – початковий струм. Для першої ділянки початковий струм дорівнює нулю, а для третьої ділянки початковий струм дорівнює значенню струму в момент останова якоря.

На другій ділянці за рахунок руху якоря, індуктивність є змінною величиною й рівняння (2.1) здобуває наступний вид:

$$U = i(t)R + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt}. \quad (2.30)$$

Для розв'язання рівняння (2.30) чисельними методами, необхідно розбити другу ділянку залежності $i(t)$ на n інтервалів, так щоб на інтервалі $[t_{нач}, t]$ похідна $di/dt = const$. Тоді рівняння (2.30) перетвориться в лінійне неоднорідне диференціальне рівняння першого порядку з постійними коефіцієнтами:

$$i \frac{dL}{dt} + IL = A, \quad (2.32)$$

$$\text{де } I = \frac{di}{dt} = const, \quad A = U - iR.$$

Загальне розв'язання неоднорідного рівняння (2.32) буде мати вигляд [7]:

$$L = L_1 + L_2, \quad (2.33)$$

де L_1 – розв'язок відповідного однорідного рівняння (при $A=0$), L_2 – частка розв'язок диференціального рівняння (при $dl/dt = 0$ у початковий момент часу, тому що до початку руху якоря індуктивність обмотки реле є константою). Таким чином, індуктивність обмотки реле на інтервалі $[t_{\text{нач}}, t]$ під час руху якорі буде визначатися наступним вираженням:

$$L = c_1 e^{-t \frac{1}{i}} + \frac{A}{I}, \quad (2.34)$$

де c_1 – постійна інтегрування, яка буде рівна:

$$c_1 = \frac{e^{-t_{\text{нач}} \frac{1}{i}}}{L_{\text{нач}} - \frac{A}{I}}, \quad (2.35)$$

$L_{\text{нач}}$ – індуктивність обмотки реле в момент часу $t_{\text{нач}}$. Для першого інтервалу залежності $i(t)$ $L_{\text{нач}}$ – це індуктивність обмотки реле до початку руху якоря, $t_{\text{нач}}$ – момент рушання якоря.

На відміну від другої ділянки на першому й третьому ділянках індуктивність є константою, що використовується для визначення моментів початку руху й зупинки якоря. Експериментальні дослідження різних типів реле залізничної автоматики показали, що до моменту рушання якоря, струм в обмотці змінюється за експонентним законом, незалежно від значення напруги живлення. З початком руху якоря, починає змінюватися індуктивність обмотки реле, що приводить до відхилення залежності $i(t)$ від експоненти. Для визначення моменту рушання якоря обчислюється початкова індуктивність реле за значенням струму $i(t)$ в обмотці при $t = 20$ мс (час рушання реле НМШ і РЕЛ становить 50 - 70 мс). Потім обчислюється наступне значення струму в обмотці реле й рівняється з обмірюваним. Якщо дана вибірка сигналу $i(t)$ виходить за межі заданої погрішності (0,1%), то час t запам'ятовується як момент рушання. Після цього обчислюється значення струму ще для десяти вибірок, і якщо погрішність не повернулася в заданий інтервал, а продовжує рости, отже, момент рушання визначений вірно.

Індуктивність обмотки реле при русі якоря може бути описана наступним наближеним вираженням [5]:

$$L(\delta) = K_0 w^2, \quad (2.36)$$

де w – число витків обмотки реле, D_{O_0} – наведена магнітна провідність магнітного ланцюга реле, обумовлена вираженням

$$K_0 = \frac{3 + g l_c R_\delta}{3(R_{ж} l_c + q R_\delta)}, \quad (2.37)$$

q – коефіцієнт, який визначається по формулі (2.14).

Спрощений алгоритм визначення положення якоря за значенням індуктивності обмотки реле показано на рис. 2.7.

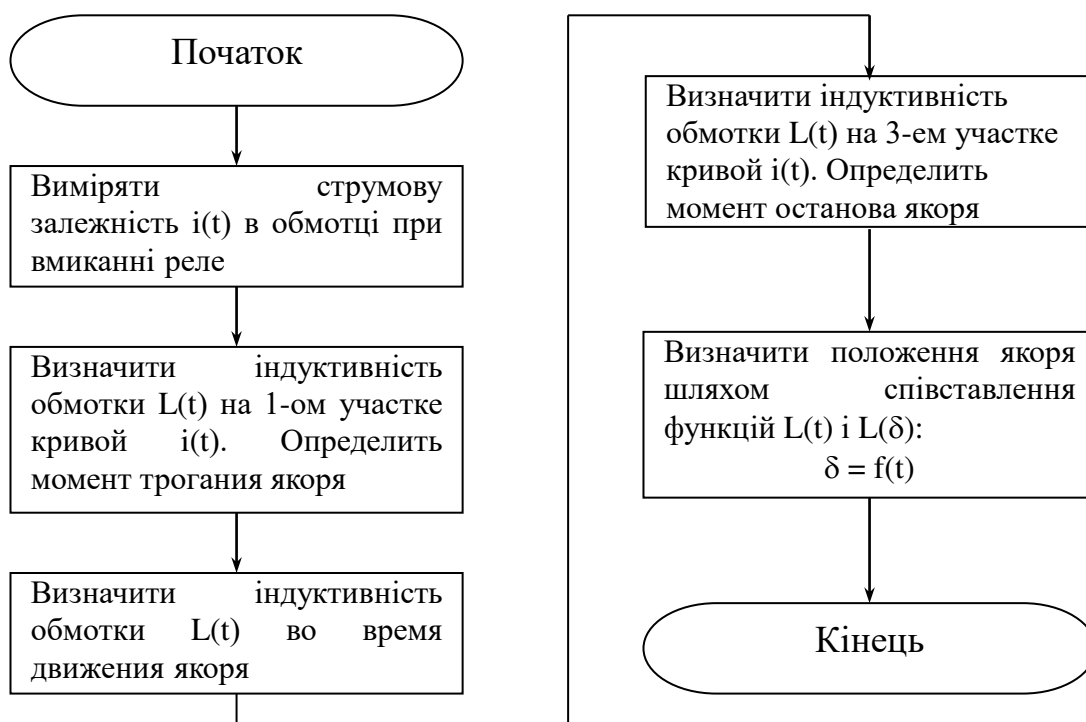


Рисунок. 2.7 – Алгоритм визначення положення якоря за значенням індуктивності обмотки реле

Таким чином, залежність $\delta(t)$ виходить із зіставлення двох функцій $L(t)$ і $L(\delta)$. Обчислення залежності індуктивності обмотки від величини повітряного зазору $L(\delta)$ по формулі (2.36) вимагає громіздкого й тривалого розрахунків магнітного ланцюга реле. Оскільки залежність $L(\delta)$ визначається конструкцією реле, то для типових реле залізничної автоматики НМШ і РЕЛ набагато зручніше

користуватися апроксимуючою функцією $L(\delta)$, отриманої за експериментальними значенням (рис. 2.8).

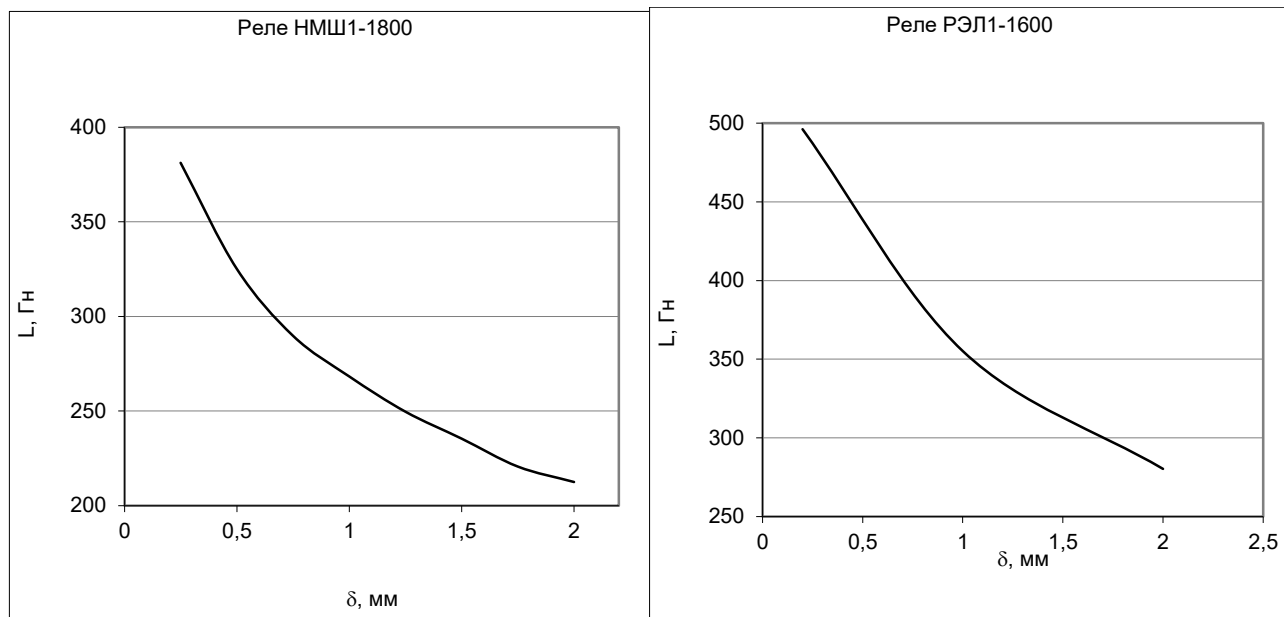


Рисунок. 2.8 – Залежність індуктивності обмотки від величини повітряного зазору

На рис. 2.9 зображені залежності $(\delta(t))$ отримані по запропонованих вище методах для реле залізничної автоматики НМШ і РЕЛ.

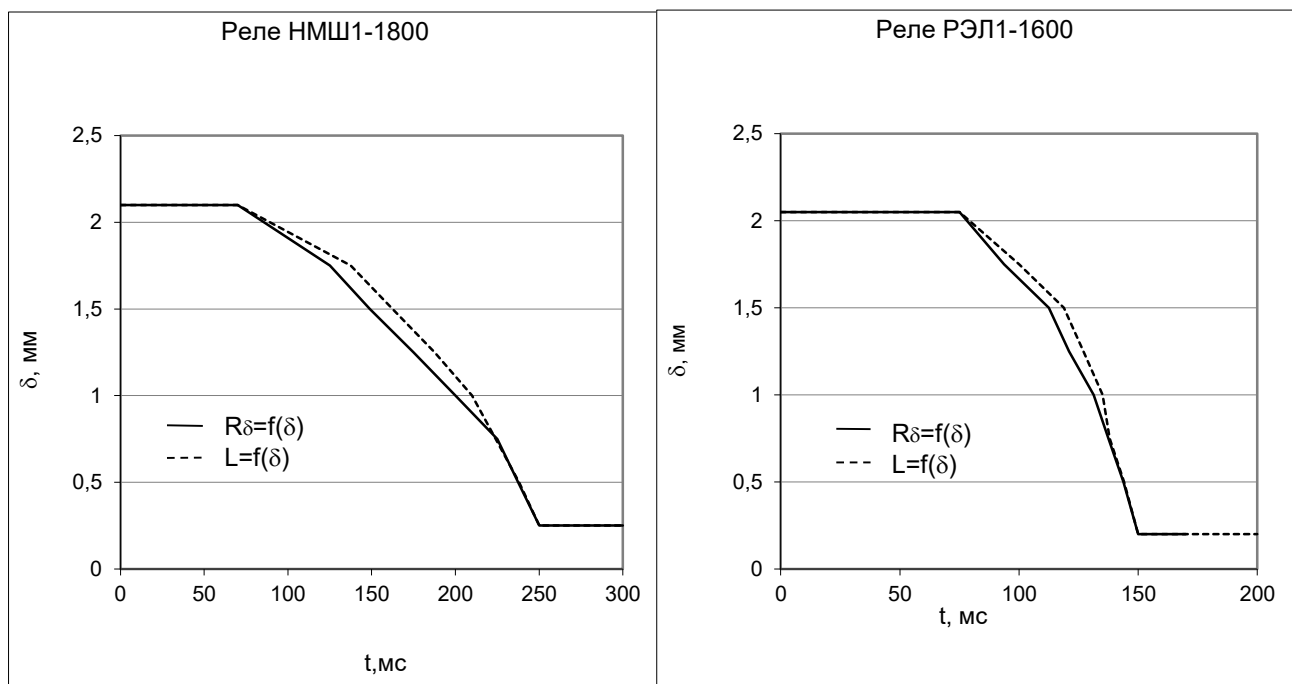


Рисунок. 2.9 – Залежність положення якоря реле від часу

Суцільною лінією показані залежності отримані по першому методу (за значенням магнітного опору повітряного зазору реле), а пунктирної – по другому методу (за значенням індуктивності обмотки реле). Розбіжність між значеннями положення якоря, отриманими різними методами не перевищує 7% для реле НМШ і 5% для реле РЕЛ. Найбільша розбіжність спостерігається на початку руху якоря, що пояснюється нелінійною залежністю функції $L(\delta)$, коли зміна положення якоря не викликає істотної зміни індуктивності обмотки реле.

Із залежності $\delta(t)$ можна визначити моменти початку руху й останова якоря, а при зіставленні з моментами розмикання й замикання контактів можна обчислити такі механічні параметри реле, як фізичний зазор між якорем і сердечником, спільний хід контактів, межконтактний зазор у момент перельоту контактів і в крайніх положеннях якоря, висоту антимагнітного штифта, неодноразність замикання контактів. Крім того, залежність $\delta(t)$ використовується в якості вихідних даних для визначення контактної тиску й електромагнітної сили притягання якоря реле.

2.4. Метод обчислення сили притягання якоря

Для визначення тиску фронтних контактів, а також побудови тягової характеристики реле необхідно обчислити величину електромагнітної сили притягання F_e . Електромагнітне реле спрацює тільки в тому випадку, якщо сила тяги F_e буде більше протидіючої сили механічного навантаження F_m на всьому шляху переміщення якоря, тобто тягова характеристика повинна лежати завжди вище механічної (рис. 2.10).

Узгодження механічної й тягової характеристик (тобто кути нахилу цих характеристик і їх ординати повинні бути якнайближче друг до друга) дозволяє зменшити м.буд.с. спрацьовування реле й послабити удар якоря про сердечник, а, отже, побільшати термін служби контактів, тому що поменшається іскріння й ерозія контактів.

Електромагнітну силу притягання F_{Σ} можна визначити двома способами: аналітичним, тобто шляхом розв'язання рівняння (2.37) з урахуванням усіх факторів, що впливають на значення F_{Σ} , і графічним, тобто шляхом інтегрування динамічної кривої намагнічування $\Psi = f(i)$ [8].



Рисунок. 2.10 – Механічна й тягова характеристики електромагнітного реле

Вихідними даними для розрахунків електромагнітної сили притягання якоря F_{Σ} методом інтегрування динамічної кривої намагнічування реле $\Psi = f(i)$ сили є: значення струму в обмотці реле $i(t)$ і положення якоря $\delta(t)$.

На підставі рівняння електричному кола обмотки реле (2.1) можна побудувати динамічну криву намагнічування реле (рис. 2.10), шляхом зіставлення двох функцій $i(t)$ і $\delta(t)$.

На підставі рівняння енергетичного балансу (2.16), можна визначити величину магнітної енергії W_m , затрачуваної на переміщення якоря. Для реалізації алгоритмів обчислення інтегралів на електронно-обчислювальних машинах використовується апарат чисельних методів, заснований на заміні інтеграла кінцевою сумою:

$$\int_{x_0}^{x_1} F(x) dx \approx \sum_{k=0}^n a_k F(x_k), \quad (2.38)$$

де a_k – числові коефіцієнти квадратурної формули, x_k – вузли квадратурної формули, тобто точки відрізка $[x_0, x_1]$. Різні методи чисельного інтегрування

відрізняються вибором вузлів і коефіцієнтів, що визначає погрішність обчислення інтеграла:

$$R = \left| \int_{x_0}^{x_1} F(x) dx - \sum_{k=0}^n a_k F(x_k) \right|. \quad (2.39)$$

Для інтегрування динамічної кривій намагнічування реле використовується адаптивний метод Симпсона [10]. Увесь інтервал інтегрування розбивається на n рівних ділянок, і на кожному такому інтервалі шуканий інтеграл апроксимується за правилом Симпсона:

$$\frac{x_1 - x_0}{6} [F(x_0) + 4F(x_m) + F(x_1)], \quad (2.40)$$

де x_0 і x_1 – початкова й кінцева крапки інтервалу інтегрування, x_m – середня крапка інтервалу $[x_0, x_1]$. Після обчислення інтеграла на даному відрізку $[x_0, x_1]$, здійснюється перевірка погрішності обчислення:

$$R < e_{\text{абс}} + e_{\text{отн}} \int_{x_0}^{x_1} |F(x)| dx, \quad (2.41)$$

де $e_{\text{абс}}$, $e_{\text{отн}}$ – це відповідно абсолютна й відносна погрішності. Якщо умова (2.41) не виконується, то даний інтервал ділиться на три рівні частини й до кожної із цих частин застосовується метод Симпсона.

Електромагнітна сила притягання якоря визначається як відношення збільшення магнітної енергії dW_m , затрачуваної на переміщення якоря до збільшення ходу самого якоря $d\delta$:

$$F_e = -\frac{dW_m}{d\delta}, \quad (2.42)$$

де знак мінус указує на те, що робота здійснюється за рахунок зменшення магнітної енергії.

Вихідними даними для визначення сили притягання якоря F_e аналітичним методом є: значення струму в обмотці реле $i(t)$, положення якоря $\delta(t)$ і залежність магнітного опору повітряного зазору між якорем і сердечником від положення якоря. За значенням струму в обмотці реле обчислюються параметри магнітного

ланцюга реле: $R\delta$ – магнітний опір робочого повітряного зазору, $R_{ст}$ – магнітний опір магнітопроводу, R_g – магнітний опір для потоків витоку. Розрахунки магнітного ланцюга здійснюється по математичній моделі, що враховує особливості конструкції реле залізничної автоматики типів НМШ і РЕЛ. Як показали експериментальні дослідження, положення якоря в реле НМШ і РЕЛ однозначно пов'язане з величиною магнітного опору повітряного зазору, що дозволяє визначити залежність $\delta(t)$. При визначенні залежності $\delta(t)$ для даного методу обчислення F_e краще використовувати метод автоматизованого визначення положення якоря викладений у розділі 2.1, тому що це дозволить уникнути додаткових розрахунків параметрів магнітного ланцюга реле.

Електромагнітна сила притягання F_e обчислюється по вираженню (2.42), що враховує магнітний опір магнітопроводу й величину потоку витоку. Для збільшення точності, швидкість зміни величини магнітного опору повітряного зазору від ходу якоря обчислюється по вираженню:

$$\frac{dR_{\delta k}}{d\delta} = \frac{R_{\delta k+1} - R_{\delta k-1}}{2\Delta\delta}. \quad (2.43)$$

До недоліків даного методу визначення F_e , що збільшують погрішність обчислення можна віднести:

- вираження (2.42) не враховує зміну величини $R_{ж}$ уздовж сердечника через наявність потоку витоку;
- великий обсяг проміжних обчислень. Наприклад, для визначення тиску фронтів контактів необхідно знати силу притягання якоря F_e тільки в момент зупинки якоря, але для точного визначення цього значення необхідно провести розрахунки для всіх проміжних положень якоря.

У табл. 2.1 і 2.2 наведені експериментальні й розрахункові дані для реле НМШ і РЕЛ по визначенню електромагнітної сили притягання F_e на ділянці руху якоря. Перше значення в табл. 2.1 і 2.2 відповідає моменту рушання якоря, а останнє значення моменту зупинки якоря реле.

Таблиця 2.1 - Визначення сили притягання якоря F_e для реле НМШ1-1800

Експериментальні дані			Аналітичний метод		Метод інтегрування	
i , мА	δ , мм	F_{e1} , Н	F_{e2} , Н	$\frac{ F_{e1} - F_{e2} }{F_{e2}} \cdot 100, \%$	F_{e3} , Н	$\frac{ F_{e1} - F_{e3} }{F_{e3}} \cdot 100, \%$
5,25	2,0	2,42	2,20	9,84	2,34	3,5
8	1,5	3,41	3,1	9,90	3,29	3,6
8	1	4,89	4,44	10,05	4,71	3,72
6	0,5	5,60	5,02	11,4	5,37	4,3
5,3	0,2	6,35	5,66	12,1	6,04	5,2

Таблиця 2.2 - Визначення сили притягання якоря F_e для реле РЕЛ1-1600

Експериментальні дані			Аналітичний метод		Метод інтегрування	
i , мА	δ , мм	F_{e1} , Н	F_{e2} , Н	$\frac{ F_{e1} - F_{e2} }{F_{e2}} \cdot 100, \%$	F_{e3} , Н	$\frac{ F_{e1} - F_{e3} }{F_{e3}} \cdot 100, \%$
7	2,0	1,23	1,12	10,02	1,19	3,2
8,5	1,5	2,67	2,43	10,24	2,59	3,27
9	1	3,88	3,52	10,31	3,75	3,51
8,5	0,5	4,59	4,13	11,15	4,4	4,2
6	0,2	5,68	5,09	11,7	5,42	4,9

Порівняльний аналіз показує, що метод визначення сили притягання якоря F_e шляхом інтегрування динамічної кривої намагнічування має більш високу точність. Розбіжність експериментальних і розрахункових даних по даному методу становить не більш $3,5 \div 5\%$, у той час як розрахунковий дані по вираженню (2.42) мають розбіжність із експериментальними даними $10 \div 12\%$. Це пояснюється тим, що динамічна крива намагнічування реле $\Psi = f(i)$ більш точно відбиває процеси, що відбуваються в реле, чому аналітичне вираження (2.42), до того ж зменшується кількість проміжних обчислень, що приводить до зниження погрішності обчислення F_e й зменшенню часу обчислення.

Спрощені алгоритми обчислення електромагнітної сили притягання якоря аналітичним методом і методом інтегрування динамічної кривій намагнічування показані на рис. 2.11.

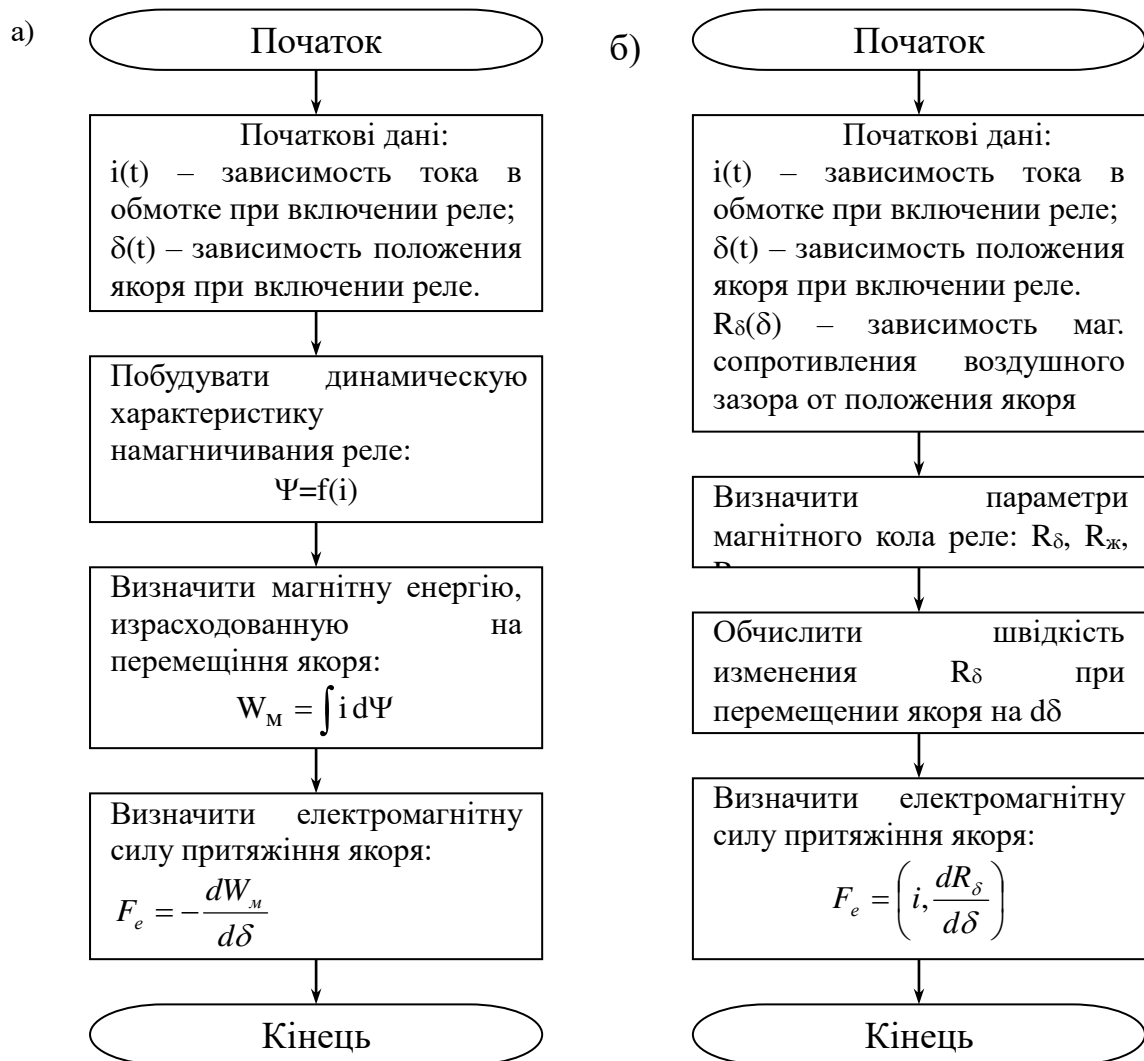


Рисунок 2.11 – Алгоритм визначення електромагнітної сили притягання: а – методом інтегрування функції $\Psi=f(i)$; б – аналітичним методом

3. МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИМІРУ КОНТАКТНОГО ТИСКУ В РЕЛЕ НМШ І РЕЛ

Пропонований метод автоматизованого виміру контактної тиску ґрунтується на особливостях конструкції електромагнітних реле залізничної автоматики типів НМШ і РЕЛ, у яких відпадиння якоря здійснюється не під дією зворотної пружини, а під дією власної ваги якоря Q , значення якого відомо [10].

Вихідними даними для визначення контактної тиску по даному методу є:

- залежність положення якоря від часу (t), що дозволяє визначити моменти рушання й останова якоря, а також спільний хід кожної контактної групи;
- електромагнітна сила притягання якоря $F_{\text{э}}$, створювана електромагнітом реле;
- параметри елементів конструкції реле (рис. 3.1): вага якоря, співвідношення плечей якоря K , конструкція контактної системи реле й т.п.

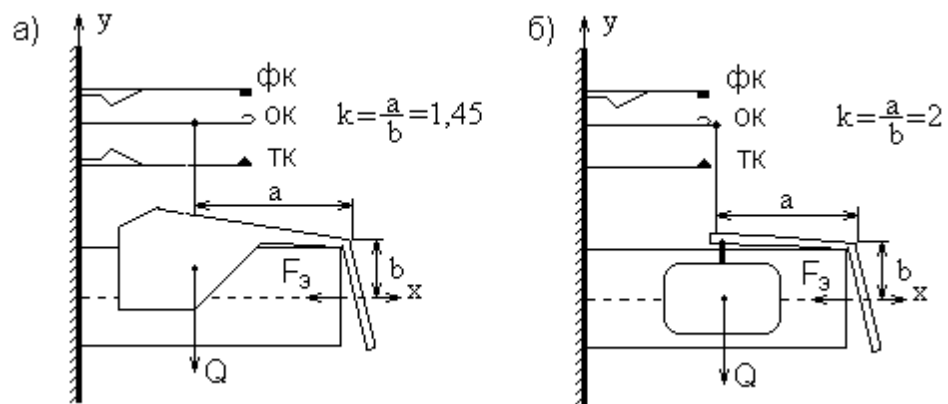


Рисунок 3.1 – Конструкція контактної системи: а – реле НМШ; б – реле РЕЛ

Контактний тиск P_k у реле НМШ і РЕЛ створюється попереднім натисканням регульовальних пластин на фронтіві й тиліві контакти P_0 і силою реакції спільного ходу контактних пружин ΔP_k [10]:

$$P_k = P_0 + \Delta P_k = c x_{\text{скр}} + c x_{\text{совм}}, \quad (3.1)$$

де c – твердість контактних пружин, $x_{\text{скр}}$ – схований хід контакту, який він би пройшов, якби він не опирався на регулювальну пластину, $x_{\text{совм}}$ – спільний хід фронтового (тилового) і загального контактів.

Контактна пружина в реле НМШ і РЕЛ являє собою пружну балку, зафіксовану одним кінцем і навантажену зосередженою силою F на відстані x_F від місця закладення пружини (рис. 3.2). Прогин контактних пружин у порівнянні з їхньою довжиною малий і не виходить за межі пружної деформації, тому для розрахунків можна використовувати теорію вигину пружної балки.

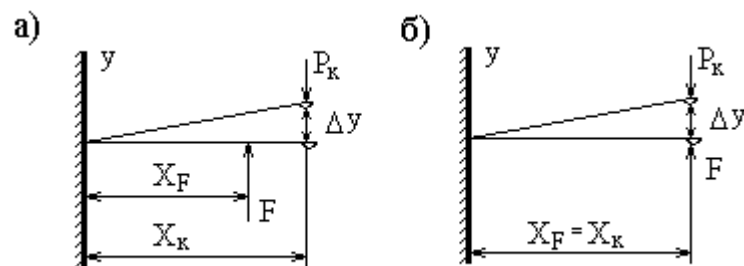


Рисунок 3.2 – Пружина загального контакту: а – реле НМШ; б – реле РЕЛ

У місці додатка сили F величина вигину контактної пружини буде рівна:

$$\Delta y_f = F \cdot c_1, \quad (3.2)$$

де c_1 – твердість контактної пружини на одиницю сили, яка визначається наступним вираженням

$$c_1 = \frac{x_F^3}{3EJ}, \quad (3.3)$$

E – модуль пружності матеріалу (контактні пружини в реле НМШ і РЕЛ виготовляються з фосфористої бронзи з $E = 11 \cdot 10^4$ Н/мм²), J – момент інерції пружини, x_F – відстань від місця закладення пружини до місця додатка сили F . Момент інерції перетину плоскої пружини рівний

$$J = \frac{bh^3}{12}, \quad (3.4)$$

де b – ширина пружини, h – товщина пружини.

Прогин плоскої пружини в будь-якій крапці, що перебуває ліворуч від крапки додатка сили на відстані $x_1 < x_f$, буде рівний:

$$\begin{aligned} \Delta y_{x_1} &= F \cdot c_2, \\ c_2 &= \frac{x_1^2 (3x_f - x_1)}{6EJ}, \end{aligned} \quad (3.5)$$

де x_1 – відстань від місця кріплення пружини до крапки вигину пружини.

Прогин пружини в крапці, розташованій праворуч від крапки додатка сили ($x_2 > x_f$) визначається наступним вираженням:

$$\begin{aligned} \Delta y_{x_2} &= F \cdot c_3, \\ c_3 &= \frac{x_f^2 (3x_2 - x_f)}{6EJ}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Тиск тилових контактів у реле РЕЛ і НМШ створюється вагою якоря реле, тому при виключеному реле на пружини загальних контактів діють дві сили – вага якоря Q і реакція пружин тилових контактів $P_{кт}$:

$$\sum_{i=1}^n P_{кт_i} = Q \frac{x_f}{x_k}, \quad (3.7)$$

де n – кількість тилових контактів у реле, x_k – довжина контактної пружини.

У реле залізничної автоматики типу РЕЛ усі тилі контакти розташовані в один ряд і для них відсутні регулювальні пластини, тому тиск тилових контактів визначається тільки величиною спільного ходу:

$$P_{кт_i} = \frac{y_{тi}}{c_1}, \quad (3.8)$$

де $y_{тi}$ – спільний хід i -го загального й тилового контактів реле, у місці їх зіткнення:

$$y_{тi} = K \cdot x_{тi}, \quad (3.9)$$

де K – співвідношення плечей якоря (для реле РЕЛ $K = 2$), $x_{тi}$ – переміщення якоря, вимірюване по осі сердечника, у площині якого тилі і загальні контакти були замкнені.

В електромагнітному реле залізничної автоматики типу НМШ тилі контакти розташовані у два ряди, між якими відсутній твердий зв'язок, до того ж кожний

тиловий контакт має свою регульовальну пластину. Тиск тилових контактів у реле НМШ створюється двома складовими: $x_{\text{скр}}$ і $x_{\text{совм}}$ (3.1). Значення схованого ходу контактів не піддається виміру непрямим методом. Для визначення контактного тиску з урахуванням попереднього натискання P_0 , необхідно розв'язати систему рівнянь, отриману на підставі вираження (3.7):

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{кт1}} = \frac{x_F}{x_k} Q \frac{y_{\text{т1}}}{\sum_{i=1}^n y_{\text{тi}}}, \\ P_{\text{кт2}} = \frac{x_F}{x_k} Q \frac{y_{\text{т2}}}{\sum_{i=1}^n y_{\text{тi}}}, \\ \vdots \\ P_{\text{ктn}} = \frac{x_F}{x_k} Q \frac{y_{\text{тn}}}{\sum_{i=1}^n y_{\text{тi}}}, \end{array} \right. \quad (3.10)$$

де $y_{\text{тi}}$ – спільний хід тилового й загального контактів у місці їх зіткнення, n – кількість тилових контактів. Спільний хід тилових контактів визначається наступним вираженням:

$$y_{\text{тi}} = K \cdot K_1 \cdot x_{\text{тi}}, \quad (3.11)$$

$$K_1 = \frac{2x_k^3}{x_F^2(3x_k - x_F)}, \quad (3.12)$$

де K – співвідношення плечей якоря (для реле НМШ $K = 1,45$), K_1 – співвідношення плечей між місцем додатка сили F до пружини загального контакту й місцем зіткнення контактів (для реле НМШ $K_1 = 1,56$).

Для визначення тиску фронтних контактів $P_{\text{кф}}$ необхідно знати електромагнітну силу притягання якоря F_3 в момент останова якоря:

$$x_F(F_3 - Q) = x_k \sum_{i=1}^n P_{\text{кфi}}. \quad (3.13)$$

У реле НМШ і РЕЛ усі фронтні контакти мають регульовальні пластини, тому для визначення контактного тиску з урахуванням схованого ходу кожного

контакту необхідно розв'язати систему рівнянь, отриману на підставі вираження (3.13):

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{кф1}} = \frac{x_F}{x_k} (F_3 - Q) \frac{y_{\text{ф1}}}{\sum_{i=1}^m y_{\text{фи}}}, \\ P_{\text{кф2}} = \frac{x_F}{x_k} (F_3 - Q) \frac{y_{\text{ф2}}}{\sum_{i=1}^m y_{\text{фи}}}, \\ \vdots \\ P_{\text{кфm}} = \frac{x_F}{x_k} (F_3 - Q) \frac{y_{\text{фm}}}{\sum_{i=1}^m y_{\text{фи}}}, \end{array} \right. \quad (3.14)$$

де $y_{\text{фи}}$ – спільний хід фронтів й загальних контактів у місці їх зіткнення, m – кількість фронтів контактів. У реле РЕЛ $x_k = x_F$, тому спільний хід фронтів контактів буде рівний: $y_{\text{фи}} = K \cdot x_{\text{фи}}$, де $x_{\text{фи}}$ – переміщення якоря, обмірюване по осі сердечника, при якому i -й фронтів і загальні контакти були замкнені. Для реле НМШ спільний хід фронтів контактів визначається також як і спільний хід тильних контактів, аналогічно вираженню (3.11): $y_{\text{фи}} = K \cdot K_1 \cdot x_{\text{фи}}$.

У таблицях 3.1 і 3.2 наведені результати експериментальних вимірів контактної тиску грамометром годинного типу й результати обчислень контактної тиску по даному методу для реле НМШ і РЕЛ відповідно. Порівняльний аналіз даних результатів показав, що відхилення обчисленого й обмірюваного значень контактної тиску не перевищує 3,6% для фронтів контактів. Розбіжність результатів визначення тиску тильних контактів не перевищує 2,3%, тому що вага якоря відома досить точно, а при визначенні тиску фронтів контактів необхідно обчислювати електромагнітну силу притягання якоря F_3 , що збільшує погрішність обчислень в 1,5 ÷ 2 рази.

Даний метод дозволяє досить точно розв'язати завдання автоматизованого виміру контактної тиску для нормальнодействующих реле залізничної автоматики типів НМШ і РЕЛ. До гідностей даного методу виміру контактної тиску можна віднести:

- збільшення точності й зменшення суб'єктивності одержуваних результатів;
- зменшення часу на вимір контактного тиску, за рахунок того, що відпадає необхідність проводити виміру для кожного контакту окремо й знімати кожух реле.

Таблиця 3.1 - Вимір контактного тиску для реле НМШ1-1800

№ контакту	Спільний хід контактів		Експериментальні дані		Розрахункові дані	
	тилових	фронтних	тилові	фронтні	тилові	фронтні
	$У_{тi}$, мм	$У_{фi}$, мм	$P_{кт}$, Н	$P_{кф}$, Н	$P_{кт}$, Н	$P_{кф}$, Н
1	0,78	0,86	0,2156	0,4782	0,2198	0,4889
2	1,15	0,94	0,3195	0,5194	0,3228	0,5294
3	1,05	0,96	0,2901	0,5312	0,2958	0,5504
4	0,84	0,93	0,2332	0,5155	0,2367	0,5332
5	0,87	0,92	0,2411	0,5135	0,2451	0,5275
6	0,7	0,91	0,194	0,5076	0,1972	0,5174
7	1,12	0,86	0,3097	0,4763	0,3156	0,4631
8	0,69	0,97	0,1921	0,539	0,1944	0,5561

Таблиця 3.2 - Вимір контактного тиску для реле РЕЛ1-1600

№ контакту	Спільний хід контактів		Експериментальні дані		Розрахункові дані	
	тилових	фронтних	тилові	фронтні	тилові	фронтні
	$У_{тi}$, мм	$У_{фi}$, мм	$P_{кт}$, Н	$P_{кф}$, Н	$P_{кт}$, Н	$P_{кф}$, Н
1	0,78	0,72	0,1882	0,4057	0,1915	0,3969
2	0,77	0,99	0,1862	0,5645	0,189	0,5457
3	0,79	0,83	0,1921	0,4684	0,1939	0,4575
4	0,89	0,81	0,2136	0,4567	0,2185	0,4465
5	0,76	0,67	0,1842	0,3763	0,1866	0,3693
6	0,8	0,78	0,194	0,441	0,1964	0,43
7	-	0,76	-	0,4312	-	0,4186
8	-	0,84	-	0,4763	-	0,4631

ВИСНОВКИ

1. Розроблено два методи автоматизованого визначення положення якоря за значенням магнітного опору повітряного зазору між якорем і сердечником, і за значенням індуктивності обмотки реле. Розбіжність між значеннями положення якоря, отриманими різними методами не перевищує 7% для реле НМШ і 5% для реле РЕЛ. Використання даних методів дає можливість дістати вимірювальні кошти, що дозволяють вимірювати наступні механічні параметри реле:

- фізичний зазор між якорем і сердечником;
- спільний хід фронтних і тильових контактів;
- межконтактний зазор при перельоті контактів і в крайніх положеннях якоря;
- неодноразовість замикання контактів;
- висоту антимагнітного штифта.

2. Розроблена методика обчислення електромагнітної сили притягання якоря шляхом інтегрування динамічної кривої намагнічування. Розбіжність експериментальних і розрахункових даних по даному методу становить не більш 3,5 ÷ 5%.

3. Розроблений метод автоматизованого вимірювання контактного тиску. Порівняльний аналіз результатів експериментальних вимірів контактного тиску грамометром годинного типу й результатів обчислень контактного тиску по даному методу для реле НМШ і РЕЛ показав, що відхилення обчисленого й обмірюваного значень контактного тиску не перевищує 3,6% для фронтних контактів і 2,3% для тильових контактів.

4. Запропоновані методи, що дозволяють розв'язати комплексне завдання автоматизації виміру механічних параметрів нейтральних реле залізничної автоматики без зняття кожуха відповідно до технічних-експлуатаційно-технічних вимог до реле першого класу надійності. Оцінка погрішності обчислення механічних параметрів реле дозволяє використовувати їх на практиці замість існуючої технології перевірки реле.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сороко, В. И. Реле залізничної автоматики та телемеханіки [Текст]: Довідник / В.И. Сороко – М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2002 – 696 с.
2. Шило, В. Л. Популярні цифрові мікросхеми [Текст]: Довідник / В.Л. Шило. - М.: Радіо й зв'язок, 1987. - 352 с.
3. Якубовський, С. В. Цифрові й аналогові мікросхеми [Текст]: Довідник / С.В. Якубовський. – М.: Радіо й зв'язок, 1990. - 496 с.
4. Шмирев, А. Г. Довідник по залізничної автоматики й телемеханіки [Текст]: Довідник / А.Г. Шмирев. - М.:Транспорт, 1970 р. – 384 с.
5. Яценков, В.С. Мікроконтролери Microchip з апаратною підтримкою USB [Текст]: Довідник / В.С. Яценков. – М.: Горяча лінія – Телеком, 2008.-40 с.
6. Телець, В.А. Мікросхеми ЦАП й АЦП [Текст] / В.А. Телець, Б.Г. Федорков. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 320 с.
7. Peek R. L. Switching Relay Design [Text] / R.L. Peek, H.N. Wager. – D Van Nostrand Company, 1961. – 575 с.
8. Вітенберг М.В. Розрахунок електромагнітних реле [Текст] / М.В. Вітенберг. – М.: Енергія, 1975. – 416 с.
9. Каган, Б. М. Основи проектування мікропроцесорних пристроїв автоматики [Текст] / Б.М. Каган ,В.В. Сташин - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 304 с.
10. Безруков, В. В. Основи програмування в Delphi [Текст] / В.В. Безруков, В.И. Профатилов –М.:Дніпропетровськ ДИИТ. 2001. - 258 с.
11. Сороко, В. И. Апаратура залізничної автоматики й телемеханіки [Текст]: Довідник. В 2-х томах. - 2-і изд., перераб і доп./ В.И. Сороко, Б.А.Разумовський. - М.: Транспорт, 1981. - 352 с.
12. Сапожников, В. В. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст]: Підручник для вузів / Под ред. В. В. Сапожникова. В.В. Сапожников , Ю.А. Кравцов, В.В. Сапожников - М.: Транспорт, 1995. 320с.
13. Иванов, В. И. Напівпровідникові оптоелектронні прилади [Текст] /В.И. Иванов, А.И. Аксьонов, А.М. Ношин. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 448 с.

14. Гуляев, С. Э. Розробка пристроїв сполучення для персонального комп'ютера типу IBM PC [Текст] / С. Э. Гуляев, О.А. Калашников, Ю.В. Новиков. - М.: Економ, 1997. - 224 с.
15. Теоретичні основи залізничної автоматики й телемеханіки [Текст] / за редакцією А. С. Переборова. - 3-і изд., перераб. і доп. - М.: Транспорт, 1984. - 384 с.