

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра _____ Електрорухомий склад залізниць _____
(повна назва)

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

_____ Гетьман Г.К.
(підпис) (ПІБ)

2020 р. _____ « _____ »

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань _____ 14 Електрична інженерія _____
(шифр) (назва)

Спеціальність _____ 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка _____
(код) (повна назва)

Спеціалізація _____ Електричний транспорт _____
(повна назва)

Тема _____ Розробка методики і апаратно-програмних засобів
неруйнівного контролю електромагнітних реле _____

Theme _____ Development of methodology and hardwarily-programmatic facilities
of non-destructive control of electromagnetic relays _____

Керівник дипломної роботи _____ ст. викладач _____ Васильєв В. Є _____
(посада) (підпис) (ПІБ)

Нормоконтролер _____ ст. викладач _____ Васильєв В. Є _____
(посада) (підпис) (ПІБ)

Студент групи _____ ЕТ1926 (8ЕМ) _____ Негрієнко А.А. _____
(група) (підпис) (ПІБ)

Student _____ Nehriienko Artem _____
(Family name)

Дніпро
2020

ВСТУП

Сучасна номенклатура вітчизняних слабкострумових електромагнітних реле становить більше двохсот типів. Обсяг випуску обчислюється мільйонами штук. Тільки в Україні споживачами реле є понад 2000 підприємств, які представляють практично всі галузі промисловості. Випуск слабкострумових електромагнітних реле постійно зростає, поліпшуються їх технічні характеристики і розробляються нові типи.

Значний сегмент ринку займають реле спеціального призначення, що використовуються в ракетно-космічній, авіаційній і різної військової техніки, де жорсткі умови експлуатації вимагають особливої уваги до якості і надійності комплектуючих виробів. Приховані дефекти реле, що не виявлені на виробництві, призводять до відмов в роботі спеціальної технічної апаратури при її експлуатації. Ремонт і відновлення працездатності різних електронних вузлів і блоків при цьому вимагає значних технічних і фінансових витрат.

У зв'язку з необхідністю підвищення надійності, нарощуванням випуску, поліпшенням технічних параметрів і розробкою нових типів слабкострумових електромагнітних реле, зокрема, містять елементи обмеження ЕРС самоіндукції, повинні вирішуватися завдання по вдосконаленню технологій контролю якості та діагностики в процесі їх виробництва.

Розвиток технології контролю якості вимагає розробки і впровадження нових методів і вимірювальних систем високопродуктивного, автоматизованого неруйнівного контролю технічних характеристик реле, що дозволяють виявляти дефектні і потенційно ненадійні екземпляри на ранніх стадіях виробництва.

Зрослі вимоги до точності і розширення діапазонів вимірювання технічних характеристик, необхідність автоматизації контролю і діагностики з оцінкою стабільності значень параметрів і їх статистичного аналізу для виявлення потенційно ненадійних виробів суперечать один одному з застарілими, не відповідають сучасним вимогам засобами і методами вимірювань. Тому магістерська робота, присвячена розробці та дослідженню методів і апаратно-програмних засобів автоматизованого неруйнівного контролю реле, має актуальне значення.

Мета роботи полягає в розробці та вдосконаленні методів і апаратно-програмних засобів з розширеними функціональними можливостями для автоматизованого неруйнівного контролю основних характеристик реле в процесі промислового виробництва.

Для досягнення поставленої мети в роботі поставлені наступні основні задачі:

- 1 Проведення аналізу відомих методів вимірювання параметрів реле і контрольно-вимірювальної апаратури за літературними джерелами інформації.
- 2 Розробка методу для реалізації методу апаратно-програмних засобів вимірювання опору кола обмотки реле постійного струму.
- 3 Розробка методики непрямого вимірювання часових параметрів руху рухомих вузлів і контактної системи реле в процесах його спрацьовування

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і повернення.

4 Розробка методики створення програмного забезпечення для оцінки ресурсу і пошуку найбільш інформативних параметрів, що характеризують надійність роботи реле.

Впровадження вимірювальних систем дозволить підвищити оперативність, точність і продуктивність контролю, виявляти дефектні екземпляри реле на основі вимірів електричних і динамічних характеристик. Розроблені комп'ютерні програми дозволять здійснити автоматизовані вимірювання динамічних характеристик реле і забезпечують обробку результатів контролю для прогнозування їх ресурсу і надійності роботи.

Забезпечення автоматизованих вимірювань часу зрушення, руху рухомої системи і часу спільного руху контактної і рухомої систем реле дозволить виявляти внутрішні дефекти, пов'язані з роботою магнітної системи в цілому, які раніше не завжди виявляються в серійному виробництві.

Впровадження в виробництво вимірювальних систем контролю опору обмотки, що реалізують метод, розроблений у магістерській роботі, дозволить підвищити точність вимірювань і значно скоротити витрати на переоснащення виробництва реле в порівнянні із застосуванням стандартних засобів вимірювання.

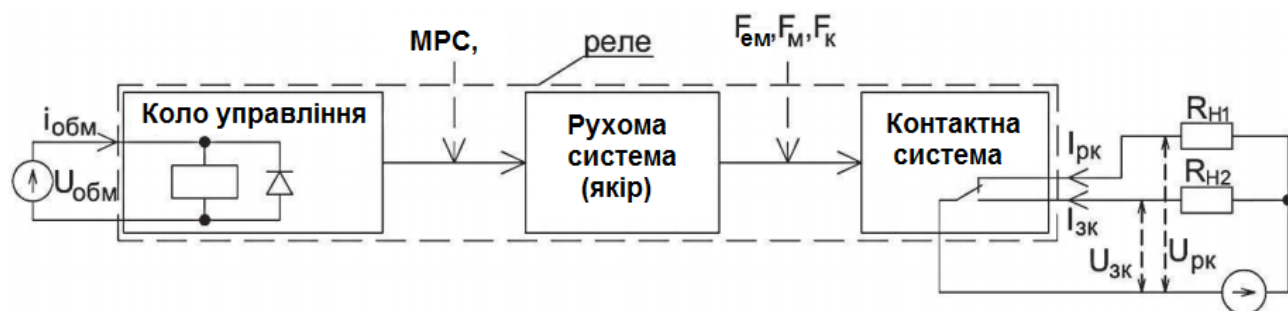
Результати магістерської роботи можуть бути використані при створенні різних типів вимірювальних систем, впроваджені у виробництво герметичних електромагнітних реле. Вони дозволять підвищити якість і значно зменшать час проведення вимірювань параметрів реле з занесенням результатів контролю в комп'ютерну базу даних для подальшої статистичної обробки.

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТА ДІАГНОСТИКИ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ

1.1 Основні відомості про слабкострумові герметичні електромагнітні реле, як об'єкти контролю, його випробуваннях і вимірювання параметрів

Слабкострумові електромагнітні герметичні реле (далі - «реле») призначені для комутації (замикання, розмикання, перемикавання) електричних кіл під впливом керуючого електричного струму [15]. Функціональна схема роботи реле наведена на рисунку 1.1.



$U_{рк}$, $U_{зк}$ - напруги на контактах при розмиканні і замиканні; $I_{зк}$, $I_{рк}$ - струми, що протікають через контакти при замиканні і розмиканні; $U_{обм}$ - напруги на обмотці; $i_{обм}$ - струм в колі управління реле; MPC – магніторушійна сила; Φ - магнітний потік; $F_{ем}$ - електромагнітна сила; F_M - механічна сила; F_K - сила контактного натискання

Рисунок 1.1 - Функціональна схема роботи реле

Конструкції сучасних реле [2, 5, 7, 8, 9, 10], що відрізняються великим різноманіттям, завжди містять три основних вузла: коло управління, рухлива система і контактна система (рисунок 1.1).

Реле має 2 стійких стана: вихідний і робочий. Вихідним вважається стан до подачі ініціюючого спрацьовування керуючого сигналу $I_{обм}$. При подачі напруги або струму в коло управління після закінчення певного часу реле переходить в робочий стан. Коло управління містить електромагніт, що створює магнітне поле. Під впливом магнітного поля якір і штовхач рухомий системи переводять контакти в замкнутий або розімкнутий стану. Процеси перетворень при цьому (спрацьовування) можуть бути представлені в наступній послідовності: $U_{обм} \rightarrow i_{обм} \rightarrow MPC \rightarrow F_{ем} \rightarrow F_M \rightarrow F_K \rightarrow I_{зк}$ (рисунок 1.1).

Аналіз конструкторської документації (КД) на реле [13] показав, що реле, як технічний об'єкт, має цілий ряд особливостей, через які виникають певні проблеми при здійсненні контролю його параметрів:

- складність об'єкта, що складається з декількох вузлів, функціонування яких описується різними фізичними законами;
- нестабільність властивостей і параметрів виробу, що призводить до необхідності контролювати за один цикл перемикавання велику кількість характеристик;
- неоднозначність оцінок технічного стану, яка полягає в тому, що

					Арк.
					10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

одному і тому ж стану його вихідних параметрів і характеристик відповідає безліч внутрішніх станів, тому при виявленні будь-якого дефекту в реле по відхиленню тих чи інших вихідних параметрів і характеристик від норми виникає невизначеність у виявленні причини відхилень;

- не завжди наявна можливість прямих вимірювань через його герметичності;

- велика кількість ділянок вимірювань;

- широкий динамічний діапазон зміни електричних і часових параметрів.

Зокрема, динамічні діапазони підлягають вимірюванню електричних і часових параметрів можна оцінити наступними межами: опору обмотки - від 3 до $6 \cdot 10^4$ Ом, опору кола контактів - від $1 \cdot 10^{-3}$ до 2 Ом, опору ізоляції - від 50 до $5 \cdot 10^3$ МОм, напругу спрацьовування і повернення - від 0,2 до 60 В, напругу електричної міцності ізоляції - від 50 до $5 \cdot 10^3$ В, часових показників - від $1 \cdot 10^{-5}$ до $6 \cdot 10^{-2}$ с, падінь напруги в колі контактів - від $5 \cdot 10^{-4}$ до 5 В, струмів в колі контактів - від $2 \cdot 10^{-4}$ до 25 А.

Процес збирання реле складається з десятків технологічних операцій, при цьому від 30% до 70% технологічних операцій складають операції з контролю, технологічних тренувань і відбракування неякісних вузлів, деталей та реле в цілому [1].

За ступенем впливу на реле методи контролю можуть бути руйнівними і неруйнівними. У першому випадку проконтрольовані реле в подальшому неможливо використовувати за призначенням у зв'язку з порушенням герметизації або виробленням його ресурсу. До руйнівним випробувань, зокрема, відносяться іспити реле на зносостійкість.

На кожному етапі складання та регулювання реле перевіряються його основні електричні і часові характеристики.

Технічні вимоги до реле діляться на такі види: конструктивні; вимоги до електричних і часових параметрів і режимам; вимоги до стійкості до зовнішніх чинників; вимоги до надійності [15].

На рисунку 1.2 наведені часові діаграми роботи одностабільного і двостабільного реле.

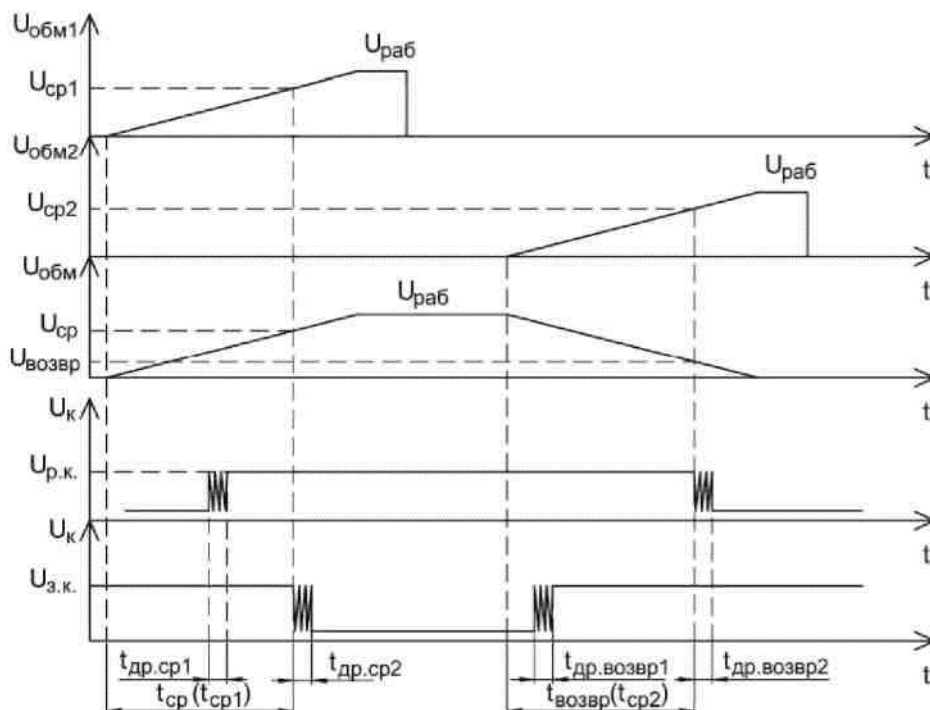
Напруга спрацьовування $U_{сп}$ - мінімальне значення напруги на обмотці $U_{обм}$, при якому реле спрацьовує, тобто всі розмикаючі контакти розмикаються, а замикаючі замикаються. Цей параметр визначається по черзі по кожній обмотці ($U_{сп1}$, $U_{сп2}$ і т.д.) і характеризує стабільність регулювання реле.

Напруга повернення $U_{возвр}$ - максимальне значення напруги на обмотці, при якому реле повертається в початковий стан. Даний параметр має сенс тільки для одно стабільних реле.

Виміру підлягають наступні часові параметри, встановлені в нормативній документації:

- час спрацьовування $t_{сп}$ - проміжок часу з моменту подачі робочої напруги на обмотку до першого замикання замикаючих контактів, якщо реле містить контакти на перемикання і замикання, або до першого розмикання

контактів, якщо реле містить тільки розмикаючі контакти;



$U_{ср1}$, $U_{ср2}$ - напруги спрацьовування на першій і другій обмотках двостабільного реле; $U_{ср}$ - напруга спрацьовування одностабільного реле; $U_{возвр}$ - напруга повернення; $t_{ср}$ - час спрацьовування; $t_{возвр}$ - час повернення; $t_{др.ср1}$ - час брязкоту контакту при спрацьовуванні реле; $t_{др.ср2}$ - час брязкоту замикаючого контакту при спрацьовуванні реле; $t_{др.возвр1}$ - час брязкоту замикаючого контакту при поверненні реле; $t_{др.возвр2}$ - час брязкоту контакту при поверненні реле

Рисунок 1.2 - Часові діаграми роботи одностабільних і двостабільних реле

- час повернення (відпускання) $t_{возвр}$ - проміжок часу з моменту зняття напруги з обмотки до першого замикання контактів, якщо реле містить переключаючі або розмикаючі контакти, або до першого розмикання, якщо реле містить тільки замикаючі контакти;

- час брязкоту $t_{др.ср1}$, $t_{др.ср2}$, $t_{др.возвр1}$, $t_{др.возвр2}$ - проміжок часу з моменту першого замикання до початку останнього замикання контакту ($t_{др.ср1}$, $t_{др.возвр2}$) при його замиканні і з моменту першого розмикання до останнього розмикання при його розмиканні ($t_{др.ср2}$, $t_{др.возвр1}$).

Крім зазначених вище перевіряється ще цілий ряд електричних параметрів реле.

Опір обмоток реле $R_{обм}$ визначається для кожної обмотки реле. Особливістю виміру даного параметра є вимога того, що виміряне значення має бути «приведено» до температури $20^{\circ}C$. Вимірювальний струм при цьому не повинен призводити до нагрівання обмотки. Оскільки обмотка реле має індуктивність, вимірювання повинні проводитися на постійному вимірювальному струмі.

Опір кола контактів $R_{конт}$ або падіння напруги на контактах $U_{конт}$ є одними з найбільш важливих електричних параметрів реле. Підвищення опору контактів

					Арк.
					12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

в процесі експлуатації реле є однією з найпоширеніших причин відмов і збоїв в роботі радіоелектронної апаратури. До опору контактів пред'являються досить високі вимоги, причому на стадії виробництва норма контролю за опору контактів в 2-3 рази нижче в відносному вираженні, ніж задана в технічних умовах на реле [3, 4].

Однією з найпоширеніших причин підвищення опору кола контактів є наявність забруднень на контактних поверхнях. Зазвичай вимірювання даного параметра проводяться при роботі контактної кола в двох режимах: 6 В і 30 мВ при струмі через контакт 10 мА. В останньому режимі є певні труднощі при контролі через необхідність обробки сигналів низького рівня.

Оцінка якості електричної ізоляції в реле проводиться шляхом вимірювання опору ізоляції $R_{із}$ і контролю максимально допустимого напруги (електричної міцності ізоляції), яке вона повинна витримувати без пошкодження (пробою). Електричну міцність і опір ізоляції перевіряють між усіма струмоведучими елементами реле: обмотками, обмоткою і контактами, контактними групами, розмикаючими і замикаючими контактами, а також між струмоведучими елементами й корпусом реле: корпусом і обмотками, корпусом і контактами. Причому перевірки проводяться в двох станах реле - вихідному і робочому, що відповідають двом положенням якоря. Наприклад, в реле, що містить одну обмотку і дві контактні групи на перемикання, електричну ізоляцію необхідно перевірити 10 раз [15].

В процесі розробки і виробництва реле доводиться проводити дуже велику кількість випробувань і вимірювань параметрів реле. Причому необхідно враховувати, що повний комплекс вимірювань параметрів реле виробляється на кожній стадії тріступеневого контролю: цехової контроль, контроль службою технічного контролю та представництвом замовника [6, 11]. Особливе місце займають вимірювання характеристик різних контактних матеріалів [13, 14].

Зазвичай для виробництва одного примірника найбільш масового різновиду реле, що містить дві обмотки і дві контактні групи на перемикання, потрібно зробити в цілому більше двох тисяч вимірів різних параметрів. Для реле, що містить 4 обмотки і 6 контактних груп на перемикання, необхідне число вимірювань може доходити до трьох і більше тисяч. Причому один і той же параметр на етапі цехового контролю повинен вимірюватися багаторазово. Наприклад, опір кола кожного контакту зазвичай вимірюється не менше 15 разів після кожної комутації. Відповідно, вимірювання опору кола контактів у реле, що має 2 контактні групи на перемикання, слід виконувати не менше 60 разів.

Надійність реле оцінюється шляхом їх періодичних випробувань на зносостійкість в нормальних умовах, при підвищеній температурі або при інших умовах. При цьому максимальні значення струмів і напруг комутації можуть досягати 100 А і 150 В. Реле повинні відпрацювати певну кількість циклів (приблизно до 100 тисяч), причому контроль замикання і розмикання контактів проводиться при кожній комутації. В процесі таких випробувань періодично і після їх закінчення контролюються електричні і часові параметри реле.

						Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нові стандарти реле [3, 4] встановили додатково обов'язковим контроль амплітуди ЕРС самоіндукції, різночасності спрацьовування, часу стабілізації опору кола контактів. Посилено вимоги по допускам при вимірюванні опору обмоток постійному струму. При цьому кількість вимірювань для виробництва одного примірника реле вже може досягати 10^4 . Загальна потреба слабкострумових електромагнітних герметичних реле становить близько 2-х мільйонів штук на рік. Неважко підрахувати, що загальна кількість вимірювань для випуску такої кількості реле тільки на приймально-здавальних випробуваннях буде лежати в діапазоні від 3 до 5 мільярдів. А з урахуванням інших видів випробувань, які необхідно проводити відповідно до нормативно-технічною документацією, а також для дослідницьких цілей і випробувань, спрямованих на поліпшення конструкції вже існуючих реле,

Таким чином, можна зробити висновок про те, що реле є складним технічним об'єктом вимірювання, що характеризується великою кількістю електричних, тимчасових, механічних, динамічних та геометричних параметрів. Процес виробництва передбачає багаторазові прямі, непрямі і спільні вимірювання наступних фізичних величин: постійний струм, постійна напруга, часові інтервали, температура, тиск, електричний опір.

1.2 Огляд, аналіз та класифікація існуючих засобів контролю якості та діагностики герметичних електромагнітних реле. Структурна схема технології контролю якості реле

Постійно розширювався в останні десятиліття випуск електромагнітних реле, що вимагало створення широкої номенклатури спеціалізованої контрольної-вимірювальної апаратури (КВА). Було розроблено велику кількість методів вимірювань параметрів реле і їх випробувань, представлених, наприклад, в [11], а також накопичений великий практичний досвід проектування і виробництва КВА.

Для оцінки технічного рівня використовуваних в даний час на підприємствах, зокрема, в ПАТ Запорізький завод «Перетворювач» (м. Запоріжжя), засобів вимірювання, контролю та випробувань проведено аналіз і запропоновано класифікацію основного обладнання, представлена на рисунку 1.3.

Найбільшу групу складають засоби вимірювання (ЗВ) для контролю електричних і часових параметрів, які використовуються на всіх стадіях виробництва і розробки реле при проведенні періодичних, бракувальної і пред'явницьких випробувань.

									Арк.
									14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



Рисунок 1.3 - Класифікація КВА для виробництва та досліджень реле

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

При проведенні регулювань і бракувальних випробувань реле застосовуються прилади і установки, що забезпечують виконання таких операцій:

- термотренування і контроль працездатності при кліматичних впливах, вимір напруги спрацьовування і повернення, короткочасне напруження з перевіркою надійності замикання і розмикання контактів в кожному циклі;
- виявлення короткозамкнених витків в процесі перевірки котушок реле з діаметром проводу від 25 мкм;
- намагнічування і розмагнічування постійних магнітів, що знаходяться як у складі зібраного реле, так і окремо від нього.

При періодичних і кваліфікаційних випробуваннях крім систем контролю зносостійкості і перевірки електричних і часових параметрів використовуються прилади, що фіксують замикання і розмикання контактів реле при впливі вібрації, ударів і лінійних прискорень.

Слід зазначити, що загальна кількість типів використовуваної КВА далеко виходить за рамки класифікації (рисунок 1.3), в якій представлені тільки найбільш часто використані в серійному виробництві засоби вимірювань. Однією з основних причин такої широкої номенклатури засобів вимірювальної техніки є та обставина, що раніше кожен з приладів найчастіше розроблявся в розрахунку на вузьке коло виробів при вимірюванні не більше одного-двох параметрів.

Як показав аналіз, існуюча технологія контролю якості реле характеризується великою кількістю ручних операцій і в більшості своїй базується на застосуванні морально застарілої апаратури. Істотним недоліком є також вкрай низький рівень автоматизації. У більшості випадків відсутні комп'ютерні інтерфейси, що ускладнює отримання, накопичення і аналіз статистичних даних.

Не можна не сказати ще про одну групу, не подану на рисунку 1.3, але без якої немислиме проведення будь-яких випробувань і вимірів релейної продукції [11]. В даному випадку мова йде про контрольно-випробувальні станції, що забезпечують створення активних, індуктивних, ємнісних навантажень і надійне оперативне підключення реле в зборі, а також їх деталей і вузлів до КВА. До цієї групи входять такі технічні пристрої:

- блоки індуктивних, активних, ємнісних і рухових навантажень;
- пристрої підключення реле з різною конфігурацією;
- високовольні пристрої підключення для перевірки електричної міцності і опору ізоляції;
- пристосування для регулювання реле;
- пристосування для випробувань на механічні і кліматичні впливи.

Певні труднощі в експлуатації діючого в даний час парку засобів вимірювальної техніки викликає та обставина, що з метрологічного забезпечення дана апаратура в основному атестована відповідно до ГОСТ 8.326-95 на нестандартизовані засоби вимірювання, який в даний час анульований.

						Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За підсумками проведеного узагальнення можна зробити висновок про те, що технологія контролю якості реле потребує вдосконалення. У більшості випадків діюча апаратура вже не задовольняє жорстким вимогам або в принципі не має можливості перевіряти додаткові параметри. Розвиток і створення нових зразків КВА, які відповідають сучасним вимогам, необхідно проводити на основі комплексного підходу до вимірювання параметрів реле у вигляді інформаційно-вимірювальних систем з розширеними функціональними можливостями, що забезпечують максимально можливий рівень автоматизації контрольних операцій та обробки отриманої інформації.

Технологія виробництва реле диктує різний кількісний використання КВА. З усієї номенклатури засобів вимірювання і контролю найбільшого поширення набули прилади і установки для вимірювання електричних і часових параметрів реле, використовувани в кількості близько трьохсот примірників на операціях регулювання, бракувальних і приймально-здавальних випробуваннях. Прилади вимірювання опору обмотки постійному струму складають групу з двохсот екземплярів і застосовуються головним чином в процесі намотування котушок реле. Третє місце за кількістю використовуваних екземплярів займають установки для ресурсних випробувань, кількість яких досягає ста.

1.2.1 Огляд засобів вимірювань електричних і часових параметрів реле.

Основними засобами вимірювань, що використовуються при регулюванні реле, є прилади контролю напруги спрацьовування і повернення типу ЧР, випущені підприємством ВАТ НПК «Північна зоря» в 70 ... 80-х роках минулого століття (рисунок 1.4).

В даний час використовуються дев'ять типів подібних приладів, що відрізняються кількістю тестових контактних груп і наявністю внутрішнього генератора для тренування реле [12, 14].

Принцип дії даних приладів заснований на ручному регулюванні і вимірюванні постійної напруги (струму) в колі управління реле в моменти його спрацьовування і повернення.



Рисунок 1.4 - Прилади контролю напруги спрацьовування, повернення типу ЧР

Фіксація спрацьовування і повернення здійснюється візуально по включенню і виключенню відповідних світлових індикаторів, кожен з яких

					Арк.
					17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

з'єднаний послідовно з відповідним контактом реле. Діапазон регулювання і вимірювання тиску спрацьовування, повернення у таких приладів знаходиться в межах від 0 до 30 В при струмі навантаження до 150 мА. Діапазон регулювання струму становить 0 - 200 мА. Відносна похибка вимірювання струму і напруги не перевищує 4%.

Основними засобами вимірювань, до недавнього часу масово використовувалися на етапах бракувальних і приймально-здавальних випробувань для комплексної перевірки нормативних електричних і часових параметрів реле, були вимірювально-обчислювальні комплекси «Спектр» і його попередня версія «Акорд», розроблені також в 70 ... 80-х роках минулого століття (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 - Вимірювально-обчислювальний комплекс «Спектр»

Установка «Спектр» дозволяє автоматично вимірювати напруги спрацьовування і повернення в діапазоні від 0 до 90 В з похибкою до $\pm 4\%$, час спрацьовування, повернення і брязкоту контактів в діапазоні від 0,01 мс до 80 мс з похибкою до $\pm 20\%$, опір кола контактів від 0,01 Ом до 2 Ом з похибкою до $\pm 15\%$, опір обмотки постійному струму від 10 Ом до 20 кОм з похибкою до $\pm 2,5\%$.

До переваг установки слід віднести використання стандартизованого (на початок серійного випуску) програмованого джерела живлення ПН-100 і вольтметра Ф283М-1.

						Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До недоліків установки слід віднести значні масу і габарити, високий рівень похибки вимірювання деяких параметрів, що досягає 15 ... 20%, а також неможливість перевірки ряду часових параметрів. Вагогабаритні показники поряд з високим енергоспоживанням унеможливають її широке застосування на значній частині контрольних операцій.

У якості керуючої системи використана застаріла ЕОМ «Електроніка 60». Застосування в комутаторах герконових реле, що виробили свій ресурс, призводить до частого ремонту установки і, як наслідок, до великих експлуатаційних витрат. Зазначені фактори роблять практично неможливим її модернізацію.

Збільшення випуску реле вимагає створення уніфікованого засобу контролю електричних і часових параметрів реле розширеної гама з підвищеною продуктивністю, мінімальними вагою і габаритами. Зокрема, повинні бути забезпечені: багаторазові вимірювання опору кола контактів при різних комутуючих режимах, напруги спрацьовування, повернення, утримання з приведенням до температури 20°C і додаткових часових інтервалів при роботі реле з можливістю статистичної обробки результатів контролю.

1.2.2 Методи і засоби ресурсних випробувань слабкострумівих електромагнітних герметичних реле

Огляд апаратури для випробувань слабкострумівих електромагнітних реле на зносостійкість [9, 10, 14] показав, що самим застосовуваним пристроєм в даний час є установка НР-11 (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 - Установка НР-11

						Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

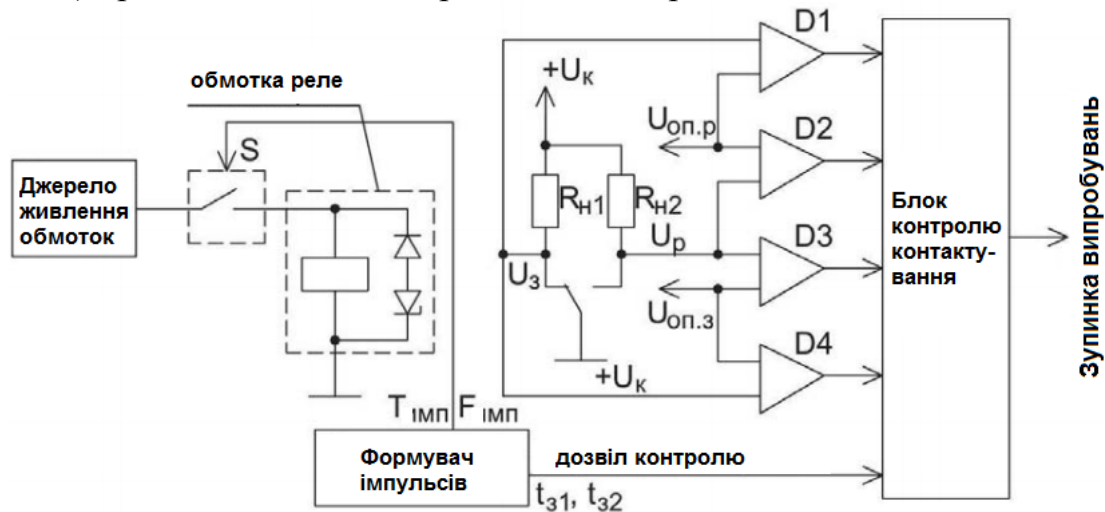
Конструктивно установка складається з змінних блоків контролю контактування і блоку управління.

На рисунку 1.7 приведена схема, яка пояснює принцип контролю стану контактів при проведенні випробувань на зносостійкість. Кожен контакт реле (що замикає і розмикає) випробовується при певному електричному навантаженні $R_{Н1}$, $R_{Н2}$.

В основу роботи установки НР-11 покладено принцип порівняння падіння напруги на контактах U_3 і U_p з опорними рівнями $U_{оп.3}$ і $U_{оп.р}$. Порівняння проводиться після закінчення часу затримки t_{31} і t_{32} , що задаються з метою забезпечення моментів порівняння після закінчення перехідних процесів на замикаючих і розмикаючих контактах відповідно.

Тривалість імпульсів, що подаються на обмотки випробовуваних реле, визначається з розрахунку часу, необхідного для гарантованого спрацьовування і повернення реле, і, як правило, становить не менше подвоєного часу спрацьовування.

Напруга на обмотку випробовуваного реле надходить від джерела живлення обмоток через ключ S з частотою $F_{имп}$ і тривалістю імпульсів $T_{имп}$, що генеруються формувачем імпульсів живлення обмоток (рисунк 1.7). За результатами вимірювань величини падіння напруги на контактах (після кожної комутації) проводиться оцінка працездатності реле.



U_K - напруга на контактах; $U_{оп.р}$ - опорна напруга для контакту, що розмикається; $U_{оп.3}$ - опорна напруга для замикаючого контакту; $R_{Н1}$, $R_{Н2}$ - опір навантаження контактів; $T_{имп}$ - тривалість імпульсів, що подаються в обмотку; $F_{имп}$ - частота імпульсів, що подаються на обмотку

Рисунок 1.7 - Функціональна схема контролю стану контактів

Установка НР-11 має ряд недоліків:

- обмежена кількість (15) одночасно контрольованих контактів;
- велика похибка реєстрації відбулися замикань і розмикань контактів на рівні $\pm 20\%$;
- нерегульовані (фіксовані) значення частоти, тривалості подачі напруги в обмотку і затримок початку контролю контактування;

- відсутність комп'ютерних інтерфейсів;
- відсутність функції вимірювання тиску спрацьовування і повернення.

Слід зазначити, що установка розроблялася в 70-х роках і є морально застаріла. Таким чином, узагальнюючи сказане, можна стверджувати, що установка НР-11 не відповідає сучасним вимогам до реле.

1.3 Аналіз ефективності контролю якості серійних реле

Ефективності контролю якості електронної компонентної бази, в тому числі реле, приділяється велика увага [8, 12, 19]. Для пошуку напрямків щодо підвищення ефективності контролю якості на підприємстві ПАТ Запорізький завод «Перетворювач» проведено аналіз різновидів і причин відмов реле з метою виявлення значущих чинників, що впливають на їх якість [1, 10].

Приймальним випробуванням піддаються всі одержувані підприємством реле. Обсяг отримання за 2019 рік склав 923 241 примірників реле.

Результати проведення приймально-здавальних випробувань для всіх типів реле за 2019 рік були класифіковані за видами відмов (дефектів), виявлених в процесі випробувань, і представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1-Число і види відмов реле за результатами приймальних випробувань

Вид відмови	Число реле, що відмовили, шт	Число реле, що відмовили в %
1 Нерозмикання контактів при впливі підвищеної температури	2095	0,23
2 Напруга спрацьовування/повернення не відповідає нормі ТУ після впливу зниженої температури	5198	0,56
3 Опір обмотки не в нормі	142	0,02
4 Опір контактів більше норми	644	0,07
5 Напруга (струм) спрацьовування не відповідає нормі ТУ	4325	0,47
6 Напруга (струм) повернення не відповідає нормі ТУ	589	0,06
7 Час спрацьовування/повернення/брязкоту більше норми	2668	0,29
8 Електричний пробій ізоляції	2006	0,22
9 Опір ізоляція нижче норми	360	0,04
10 порушення герметичності	1 091	0,12
11 Дефекти зовнішнього вигляду	11096	1,2
12 Інші	482	0,05
РАЗОМ	30696	3,32

Також важливим і об'єктивним джерелом інформації про надійність реле служать рекламації споживачів. В таблиці 1.2 представлені результати аналізу визнаних рекламацій на реле всіх типів, складених в 2019 році (рисунок 1.8).

Таблиця 1.2. Кількість і види відмов реле за результатами визнаних рекламаций

Вид відмови	Число реле, що відмовили, шт	Число реле, що відмовили в %
1 Часові параметри більше норми	30	0,003
2 Обрив або коротке замикання проводів в обмотці	15	0,0015
3 Порушення контактування	15	0,0015
4 Порушення герметичності	2	0,0006
5 Дефекти зовнішнього вигляду	75	0,0075
6 Напруга (струм) спрацьовування / повернення не відповідає нормі ТУ	51	0,0051
7 Інші	12	0,0012
РАЗОМ	200	0,02

Відмови реле за результатами приймальних випробувань (30 696)



Відмови реле за результатами визнаних рекламаций (200)

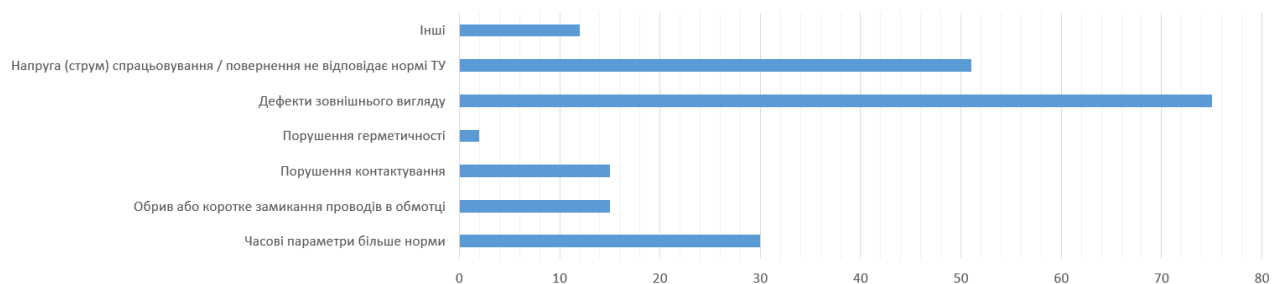


Рисунок 1.8 - Результати проведення приймально-здавальних випробувань

Спільний аналіз представлених таблиць дозволяє зробити наступні висновки:

1 Найпоширенішими дефектами реле є дефекти зовнішнього вигляду: неякісне маркування, відшарування покриття, зовнішні механічні пошкодження.

2 Невідповідності напруги спрацьовування/повернення і часових параметрів нормам ТУ також є основними видами відмов. Слід зазначити, що в

ТУ на деякі типи реле взагалі не передбачена перевірка часових параметрів. Це пов'язано з відсутністю відповідних засобів контролю. Вимірювання обмеженого набору динамічних характеристик не дозволяє в необхідній мірі запобігати поставку потенційно ненадійних реле споживачеві.

3 При дослідженні реле, що надійшли з рекламаций, були виявлені види відмов (короткочасний обрив або наявність короткозамкнених витків в обмотці і порушення контактування), які не визначаються при приймальних випробуваннях реле, що також вказує на недосконалість існуючої системи контролю якості.

Наведена статистика показує, що більшість відмов і збоїв (за виключенням зовнішнього вигляду), пов'язані з роботою рухомої системи реле. З урахуванням інформації даних літературних джерел [9, 12, 15] можна зробити висновок про те, що ефективність контролю якості може бути значно підвищена за рахунок стовідсоткового контролю повного комплексу динамічних параметрів реле, найбільш повно характеризують роботу рухомий і контактної систем реле.

1.4 Огляд і аналіз основних методів і засобів вимірювань параметрів кола управління слабкострумових герметичних електромагнітних реле

В КД на реле нових типів значно посилилися вимоги до точності вимірювання опору обмотки постійному струму. Також розширився в останні роки випуск реле, що містять в колі управління елементи обмеження ЕРС самоіндукції, що вимагає створення засобів вимірювання для їх автоматизованої перевірки.

1.4.1 Методи і засоби вимірювання опору обмотки реле постійного струму

Відповідно до конструкторської документації в серійному виробництві реле контролюється опір обмотки постійному струму і відсутність короткозамкнених витків [8, 9]. Більшість операцій по вимірюванню опору обмотки проводиться в процесі намотування котушок реле. Виміряне значення опору обмоток має бути приведене до температури 20°C. Як правило, значення опору обмоток лежать в діапазоні від одиниць Ом до 10 кОм. Специфіка вимірювання опору обмоток вимагає мінімізації похибок, викликаних саморозігрівом котушки. Також необхідний облік температурного середовища зважаючи на значний температурний коефіцієнт опору мідного обмотувального дроту (0,4%/°C).

У виробничих умовах прийнято контролювати не абсолютні значення опору обмоток, а значення граничного відхилення від номінальної величини опору обмоток. З огляду на велику кількість робочих місць по намотуванні котушок реле, слід взяти до уваги, що витрати на оснащення засобами контролю опору обмотки не повинні перевищувати 20-30% від загальних витрат на оснащення технологічних процесів виробництва намотувальних вузлів. Вищевказані фактори роблять практично неможливим застосування стандартних мультиметрів. Також необхідно враховувати вимоги по габаритним розмірам і масі засобів контролю через обмежений простір робочого місця намотування

						Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

катушок реле.

В даний час найпоширенішим і вживаним на підприємствах по виробництву реле засобом вимірювання опору обмотки постійному струму є метод подвійного резистивного моста [2, 5], що виключає вплив опору підключаються проводів.

За таким принципом побудований широко застосовуваний прилад СО-5, фотографія якого представлена на рисунку 1.9 (виробник ВАТ НІЖ «Північна зоря»). Дані прилади використовуються і в даний час загальною кількістю понад 150 примірників.



Рисунок 1.9 - Прилад СО-5

В якості основного вузла в ньому застосований магазин опорів Р-33, який використовується для установки номінального значення опору обмотки. Прилад виробляє вимірювання процентного відхилення опору обмотки від номінального значення, яке може змінюватися в діапазоні від 10 Ом до 10 кОм. Відносна похибка вимірювання складає не більше 2,5%. Застосована аналогова корекція результату вимірювання з приведенням останнього до температури 20°C. Прилад розроблений в 70-х роках минулого століття з використанням застарілої елементної бази і за своїми габаритами і надійності не задовольняє сучасним вимогам.

В основу вимірювання опору обмотки установок «Спектр» і «Акорд» покладено метод «вольтметра - амперметра», суть якого полягає в пропусненні через обмотку стабілізованого струму і подальшої оцінки падіння напруги на обмотці [11, 15]. Діапазон вимірюваних опорів від 10 до $2 \cdot 10^4$ Ом розбитий на кілька піддіапазонів.

Виміряне значення опору обмотки програмно наводиться до температури 20 ° С за формулою

$$R_{x\ 20^{\circ}\text{C}} = \frac{R_x}{1 + \lambda(t - 20^{\circ}\text{C})}, \quad (1.1)$$

де $R_{x\ 20^{\circ}\text{C}}$ - опір кола обмотки, приведений до температури 20°C; R_x - вимірювана

						Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

величина опору обмотки; $\lambda = 0,0039$ - температурний коефіцієнт опору міді; t - температура навколишнього середовища.

Розглянута апаратура також є морально і фізично застарілою. Вкрай актуальною є задача переоснащення робочих місць загальною кількістю до декількох сотень.

Аналіз зарубіжних джерел показав, що найбільш ефективними з технічної точки зору для вирішення поставлених завдань є, наприклад, обладнання фірми «Keithley», що випускає серію 26xxV [8].

Структура вимірювача 26xxV фірми «Keithley» в спрощеному вигляді наведена на рисунку 1.10.

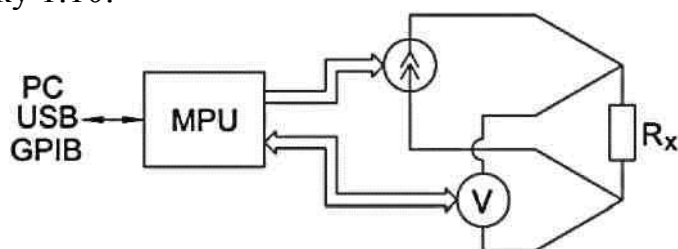


Рисунок 1.10 - Структура вимірювача 26xxV фірми «Keithley»

Прилад серії 26xxV являє собою комбінацію широкодіапазонного джерела струму і вольтметра з високим (6,5 розрядів) дозволом. Його основні технічні характеристики: $I = (10^{-7} \dots 10) \text{ А}$, $U = 0 \dots 40 \text{ В}$, $\gamma = 0,015\%$, $\square U = 10^{-7} \text{ В}$. Даний прилад за своїми можливостями може бути застосований для вимірювання опору обмоток, кіл контактів і падіння напруги в колі контактів. Однак його ціна на сьогоднішній день складає близько 10 тисяч євро. З урахуванням реальної потреби в кілька сотень штук витрати на їх придбання складуть десятки мільйонів євро.

Таким чином, виявлена необхідність створення пристроїв автоматизованого вимірювання опору обмотки постійному струму з розширеним динамічним діапазоном і можливістю виведення вимірних значень на ПК.

1.4.2 Методи і засоби вимірювання ЕРС самоіндукції обмоток реле

Як відомо [9], в момент відключення напруги від обмотки електромагнітного реле струм в ній через наявність індуктивності L різко змінитися не може. Тому в котушці виникає ЕРС самоіндукції, що утворюється за рахунок накопиченої енергії під час дії імпульсу робочої напруги

$$e_{\text{си}} = -L \frac{di}{dt}, \quad (1.2)$$

де L - індуктивність обмотки; di/dt - швидкість зміни струму в обмотці.

Хоча в малопотужних реле енергія самоіндукції відносно невелика, проте, вона створює значні перешкоди [9] і може привести до пошкодження ключів, комутуючих обмотки. Для запобігання цим явищам вдаються до шунтування обмотки діодами або збірками діод-стабілітрон, що встановлюються на платі поза корпусом реле. Обмежуючі кола, шунтуючі обмотку, покликані при виключенні напруги замкнути на себе струм обмотки.

З метою зниження вагогабаритних показників апаратури, в якій

						Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосовуються слабкострумові електромеханічні реле, останнім часом розширюється випуск реле з вбудованими, шунтуючими обмотку напівпровідниковими компонентами, призначеними для обмеження ЕРС самоіндукції. Тому в процесі виробництва таких реле виникає необхідність контролю працездатності та параметрів обмежуючих кіл за рівнем напруги ЕРС самоіндукції.

У зібраному стані реле цей вид контролю може бути проведений шляхом вимірювання рівня обмеження ЕРС самоіндукції обмотки при її комутації в робочих режимах.

В даний час вимірювання амплітуди ЕРС самоіндукції проводиться в лабораторних умовах за допомогою осцилографа (рисунок 1.11).

Основною перешкодою використання даного методу на виробництві є його низька продуктивність.

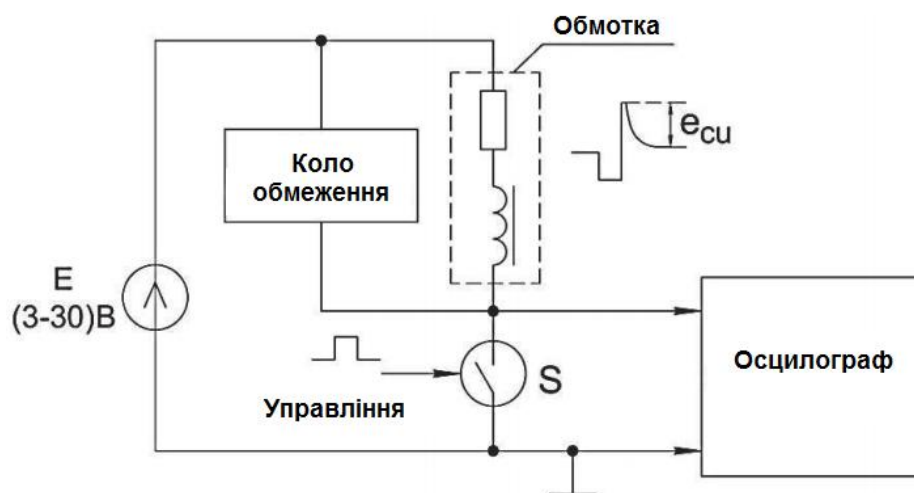


Рисунок 1.11 - Структурна схема установки вимірювання ЕРС самоіндукції

Постійно зростаючий випуск реле з вбудованими обмежуючими колами вимагає створення високопродуктивних, відносно дешевих засобів контролю та вимірювань. Внаслідок цього виникає потреба в розробці методів і засобів вимірювань, що забезпечують автоматизований контроль амплітуди ЕРС самоіндукції.

1.5 Огляд і аналіз методів неруйнівного контролю параметрів і діагностики герметичних електромагнітних реле

Як відомо, оцінка механічних властивостей може проводитися за значеннями динамічних (часових) характеристик [8, 9, 13]. В даний час в Відповідно до існуючих нормативних документів [3, 4], на приймально-здавальних випробуваннях контроль параметрів механічного регулювання виготовленої партії герметичних реле виробляється на одиничних екземплярах примусово розгерметизованих реле з цієї ж партії. Перевірка здійснюється за допомогою щупів і динамометрів загального призначення. Якщо відбувається бракування реле хоча б по одному параметру механічного регулювання, то бракується вся партія.

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

висновок, що жоден з існуючих підходів не забезпечує вимір динамічних характеристик в комплексі. Апаратура, спроектована на їх основі, складна у виробництві і технічному обслуговуванні і має недостатню точність. В даний час жоден з розглянутих способів не знайшов свого застосування в промисловості.

В роботі [8] вказано, що наявність прихованих дефектів в реле відбивається на його динаміці при спрацьовуванні і поверненні. При цьому спотворюється вид осцилограми струму в обмотці реле, знятої в процесі його перемикання. Типова діаграма зміни струму в обмотці бездефектного реле показана на рисунку 1.13.

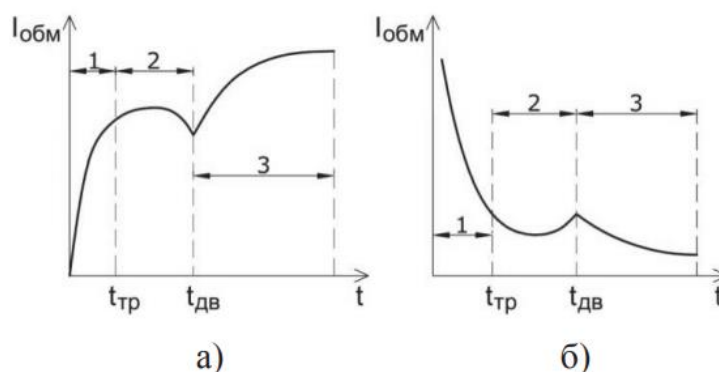


Рисунок 1.13 - Часові діаграми струму в обмотці випробуваного реле а) при спрацьовуванні; б) при поверненні

Ділянки 1-3 на часових діаграмах (рисунок 1.12) характеризують різні фази роботи реле при спрацьовуванні (поверненні). Ділянка 1 - наростання (зниження) струму в обмотці при нерухомому якорі, 2 - рух якоря, 3 - наростання (зниження) струму в обмотці при нерухомому якорі.

Основними часовими параметрами, котрі характеризують динаміку роботи електромагніту, які можна визначити по перехідних процесів в колі управління реле, є наступні: $t_{тр}$ - час початку руху якоря з моменту подачі струму в обмотку до початку його руху, $t_{дв}$ - час руху якоря з моменту подачі струму в обмотку до його зупинки.

Процес зміни струму в колі управління реле в залежності від часу характеризують динаміку перехідного процесу тяжіння і повернення якоря реле. Реле, на осцилограмах яких характер змін струмів спрацьовування і повернення помітно відрізняється від «зразкового», можна вважати мають приховані дефекти, а їх осцилограми - аномальними. Таким чином, можливо робити діагностику реле по виду осцилограм струму в колі управління.

Отримані за допомогою осцилографа характеристики зміни струму в обмотці і напруги на контактах візуально оцінюються оператором. Слід зазначити, що даний спосіб вимірювань в серійному виробництві не використовується через низьку продуктивність, необхідність залучення висококваліфікованого персоналу. Також можна відзначити суб'єктивний характер аналізу осцилограм і необхідність обробки великого масиву інформації візуальним способом.

На цьому етапі можна відзначити, що ряд динамічних характеристик, можна визначити шляхом прямих вимірювань часових інтервалів, моменти початку і закінчення яких повинні бути зафіксовані за рівнем напруги в колах контактів реле. А ось згадані вище характеристики t_{TR} і $t_{ДВ}$ явно не задані і можуть бути виміряні тільки на основі непрямих вимірювань.

За результатами розглянутих вище літературних джерел, а також беручи до уваги роботи [10, 12], можна зробити висновок про те, що на сьогоднішній день аналіз виду осцилограм напруги на контактах і струму в колі управління є найбільш ефективним інструментом неруйнівного контролю реле. Досить висока інформативність методу полягає в можливості отримання додаткової інформації про характер руху рухомої системи, контактів, їх стан після спрацювання і повернення. Даний метод в ряді випадків дозволяє виявити приховані дефекти реле, не виявляються в процесі виробництва. Однак широкому впровадженню даного методу перешкоджає ряд істотних недоліків: відсутність чітких критеріїв визначення більшості динамічних характеристик реле, сильний вплив людського фактору на результати контролю, низька точність вимірювань, низька продуктивність, складність і надзвичайно висока трудомісткість обробки та отримання статистичної інформації.

Висновки до 1 розділу

1 Проведено аналітичний огляд методів контролю якості слабкострумівих електромагнітних реле. Описано і класифіковано засоби вимірювань та випробувальне обладнання, яке застосовується в технологічних процесах виробництва і дослідження реле.

2 Прилади й установки не мають виходів на персональний комп'ютер і не об'єднані в систему. Вимірювання і подальша обробка інформації здійснюються вручну.

3 Впровадження в серійне виробництво методів неруйнівного контролю реле, заснованих на вимірюванні показників перехідних процесів в реле, може значно збільшити ефективність технічного контролю реле і підвищити його якість.

4 Встановлено, що для вимірювання опору обмотки постійному струму застосовуються морально застарілі і фізично зношені прилади й установки, які не відповідають сучасним технічним вимогам.

5 Вимірювання амплітуди ЕРС самоіндукції обмоток реле проводиться тільки в лабораторних умовах із застосуванням стандартної осцилографічної апаратури, що не має необхідної продуктивності і точності контролю.

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ КІЛ УПРАВЛІННЯ СЛАБКОСТРУМОВИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ

2.1 Пошук і дослідження методу вимірювання опору обмотки слабкострумових герметичних електромагнітних реле

В даний час номінальний опір обмоток реле різних типів, що випускаються вітчизняною промисловістю, знаходиться в межах від 3 Ом до 50 кОм. Нормативні документи вимагають вимірювання даного опору з відносною похибкою не більше 2,5% [5]. З урахуванням наявності на підприємствах багатоступінчастої системи контролю та необхідності забезпечення певного «запасу точності» на перших її щаблях, а також беручи до уваги природне бажання експлуатаційників «віддалити» моральну відсталість контрольно-випробувальної апаратури, доцільно зниження величини відносної похибки принаймі до рівня 1% менше.

Стандартним способом задоволення таких досить жорстких вимог є включення до складу технологічних вимірювальних систем універсальних багатограничних цифрових омметрів або мультиметрів з роздільною здатністю не менше 4,5 десяткових або 16 двійкових розрядів [15]. Однак такий спосіб вирішення поставленого завдання далеко не оптимальний з точки зору вагогабаритних і економічних характеристик. Також при виробництві реле необхідно знати не тільки абсолютне значення опору обмотки, а й величину граничного відхилення, а величина вимірювального струму повинна вибиратися таким чином, щоб не викликати нагрівання обмотки, що забезпечується не в усіх стандартних приладах.

Значно більш економічним технічним рішенням є побудова спеціалізованих вимірників опору на базі сучасних аналого-цифрового перетворювачів (АЦП) з високою роздільною здатністю і вбудованих мікропроцесорів. При цьому з урахуванням застосування системної калібрування «нуля» і «чутливості» виявляється можливим отримання високої точності при мінімальній кількості використовуваних прецизійних компонентів [8].

На рисунку 2.1 показана рекомендована багатьма виробниками схема включення АЦП (наприклад, AD7715, AD7719 фірми «Analog Devices») [15] для перетворення в код опору резистивних датчиків, зокрема, термометрів опору.

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

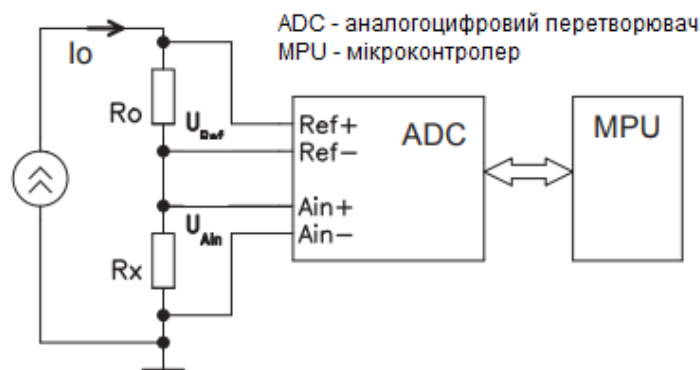


Рисунок 2.1 - Схема включення АЦП для перетворення в код опору R_x

Багато сучасних АЦП вже містять на кристалі один або два вбудованих джерела струму, призначених спеціально для роботи з резистивним датчиками. У свою чергу ряд АЦП, в тому числі LTC2411 фірми Linear Technology [15], для яких допускається десятикратна зміна опорної напруги U_{REF} , дозволяють спростити пристрій при підключенні кола з зразкового R_0 і вимірюваного R_x резисторів до джерела напруги живлення мікросхеми. Якщо знехтувати впливом вхідних кіл аналого-цифрового перетворювача, то за умови рівності діапазону зміни вхідної напруги U_{Ain} величиною U_{Ref} значення вихідного n -розрядного коду α на виході АЦП буде рівним

$$\alpha = \frac{U_{Ain}}{U_{Ref}} 2^n = \frac{I_0 R_x}{I_0 R_0} 2^n = \frac{R_x}{R_0} 2^n. \quad (2.1)$$

Найпростішою мірою для розширення динамічного діапазону в бік низьких значень вимірюваного опору буде використання масштабуючого підсилювача, який вбудовується в багато сучасних АЦП. Його застосуванню сприяє гарантована виробниками досить висока точність масштабування (краще 0,01%). Однак зі збільшенням підсилення спостерігається зниження ефективної роздільної здатності АЦП, обумовлене шумами. За реалістичним оцінками можна розширити динамічний діапазон всього в 10-20 разів, тобто на 20-26 дБ. Більш радикальне рішення зажадає додаткових джерел струму, зразкових резисторів і якісних комутуючих елементів.

Тим часом значне розширення динамічного діапазону можливо в структурі вимірювача опору, зображеної на рисунку 2.2, описаної в [8].

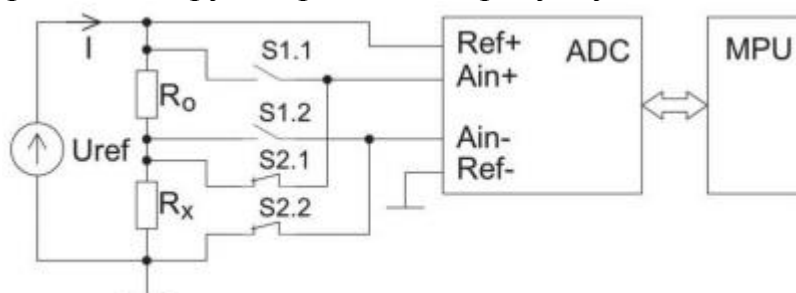


Рисунок 2.2 - Вимірювач опору з розширеним динамічним діапазоном

Запропонований вимірювач можна використовувати при серійному

виробництві широкого спектру електротехнічних компонентів (резистори, електромагнітні реле та ін.), де стоїть завдання вимірювання електричного опору постійному струму в широкому динамічному діапазоні з нормованою відносною похибкою. По суті, дана структура реалізує для вимірювання опору класичний метод «амперметра і вольтметра» [15]. Вона ж лежить в основі аналогових омметрів з нелінійної шкалою і нескінченною межею вимірювання. З іншого боку, з огляду на наявність у пристрої керуючого мікропроцесора, її можна інтерпретувати як структуру вимірювача опору із змінним широким межах струмом і системної калібруванням чутливості по зразковому резистору R_0 .

У відповідності зі схемою (рисунок 2.2) ланцюжок R_0R_x живиться напругою U_{Ref} , в якості якого в багатьох випадках можна використовувати і напруга живлення АЦП. За допомогою перемикача $S1$ під управлінням мікропроцесора АЦП виробляє послідовно перетворення напруги на резисторах R_x і R_0 , отримуючи коди $N1$ і $N2$

$$N_1 = \frac{R_x}{R_x + R_0} 2^n \pm b, \quad (2.2)$$

$$N_2 = \frac{R_0}{R_x + R_0} 2^n \pm b. \quad (2.3)$$

Кожне з наведених виразів можна використовувати для обчислення R_x , якщо знехтувати опором з'єднувальних проводів в «струмового» кола $R_x + R_0$.

Підсумковий результат, в якому цей фактор виключається, виходить у вигляді відношення $\alpha = N1/N2$. Після підстановки отримуємо з використанням правил наближених обчислень і підсумовування випадкових похибок по модулю вираз

$$\alpha = \frac{R_x}{R_0} \cdot \frac{1 \pm \frac{b}{2^n} \frac{R_x + R_0}{R_x}}{1 \pm \frac{b}{2^n} \frac{R_x + R_0}{R_0}} \approx \frac{R_x}{R_0} \cdot \left[1 \pm \frac{b}{2^n} \left(\frac{R_x + R_0}{R_x} + \frac{R_x + R_0}{R_0} \right) \right]. \quad (2.4)$$

Після подальших перетворень

$$\alpha = \frac{R_x}{R_0} \cdot \left[1 \pm \frac{b}{2^n} \left(2 + \frac{1}{\frac{R_x}{R_0}} + \frac{R_x}{R_0} \right) \right]. \quad (2.5)$$

Другий додаток у квадратних дужках являє собою складову відносної похибки вимірювання, обумовлену помилками АЦП.

В даному випадку, як і в структурі на рисунку 2.1, для додаткового розширення динамічного діапазону можна використовувати вбудований в АЦП підсилювач. Однак ефект в логарифмічному масштабі буде вдвічі вище. Адже додаткове посилення напруги на резисторі R_x розширює діапазон в бік низьких опорів, а посилення напруги на резисторі R_0 - в сторону високих. У підсумку реально розширення динамічного діапазону до значень 140-150 дБ при $\delta < 1\%$.

Додатковою перевагою структури, наведеної на рисунку 2.2, є відсутність

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

жорстких вимог до величини імпедансу входів U_{Ref} АЦП, що дає розробнику більшу свободу вибору елементної бази, оскільки більшість представлених на ринку сигма-дельта АЦП не містять буферних елементів на входах опорного напруги.

2.2 Аналіз похибок вимірювання опору обмотки

Структура (рисунок 2.1) виявляється малоприматною для використання в широкому діапазоні зміни опору R_x [8]. Дійсно, динамічний діапазон обмежується величиною відносної похибки вимірювання [9], що дорівнює

$$\delta(R_x/R_0) = \delta_m + \frac{b}{2^n} \cdot \frac{1}{\frac{R_x}{R_0}}, \quad (2.6)$$

де R_x/R_0 - відносна величина вимірюваного опору; δ_m - мультиплікативна похибка, обумовлена в основному точністю зразкового резистора R_0 ; b - адитивна похибка АЦП в одиницях молодшого розряду (LSB).

Залежність відносної похибки від величини R_x/R_0 гіперболічна. На рисунку 2.3 вона представлена графіком 1, побудованим для значень $\delta_m = 0,1\%$ і $b = 2$. Дійсно, в виробничих умовах рівень адитивної похибки з урахуванням системної калібрування «нуля» важко знизити до рівня менше двох одиниць LSB для 16-розрядного АЦП. Відповідно, задавшись значенням $\delta_m = 0,1\%$, отримаємо мінімальне значення R_x/R_0 рівним приблизно $1/300$.

Для запропонованої структури вимірювача, наведеної на рисунку 2.2, з урахуванням мультиплікативної складової δ_m отримаємо вираз відносної похибки вимірювання опору у вигляді

$$\delta(R_x/R_0) = \delta_m + \frac{b}{2^n} \cdot \left(2 + \frac{1}{\frac{R_x}{R_0}} + \frac{R_x}{R_0} \right). \quad (2.7)$$

Графік 2 (рисунок 2.3) залежності відносної похибки $\delta(R_x/R_0)$ для $n = 16$, $\delta_m = 0,1\%$ і $b = 2$ являє собою криву, симетричну (при логарифмічному масштабі аргументу) щодо осі $R_x/R_0 = 1$.

						Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

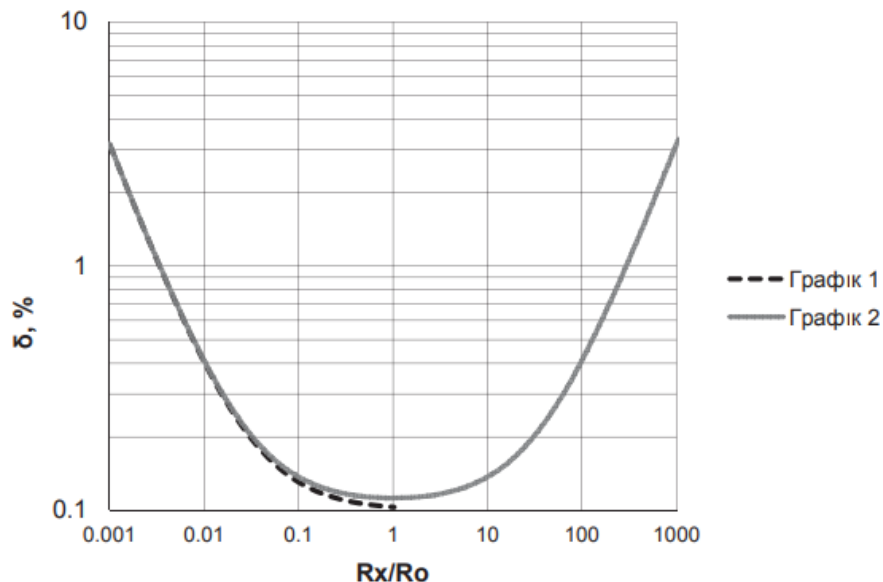


Рисунок 2.3 - Залежність відносної похибки вимірювання опору від величини R_x/R_0

На рисунку 2.3 при однаковому рівні відносної похибки динамічний діапазон вимірювача опорів, побудованого за структурою, наведеною на рисунку 2.2, в логарифмічному масштабі в 2 рази ширше, ніж в розглянутому вище варіанті. По суті вдається розсунути межі діапазону шляхом використання додаткової можливості структури - перетворення опору в діапазоні $R_x/R_0 > 1$, тоді як в першому випадку повний діапазон обмежується тільки межами $0 < R_x/R_0 < 1$.

При заданій величині допустимої відносної похибки вимірювання максимальний динамічний діапазон виходить за однакової кількості похибки на початку і в кінці діапазону, що відповідає рівнянню

$$R_{xmax}/R_0 = \frac{1}{R_{xmin}/R_0} \quad (2.8)$$

Для мінімізації відносної похибки вимірювання $R_x \in R_{xmin} - R_{xmax}$ необхідним є дотримання умови $R_0 = \sqrt{R_{xmin} \cdot R_{xmax}}$.

При максимальному рівні відносної похибки 1% і тих же умовах, що і в розглянутому вище прикладі, динамічний діапазон вимірювача опору, виконаного за схемою рисунку 2.2, становитиме близько 100 дБ або 10^5 .

2.3 Автоматична корекція адитивних похибок вимірювання опору обмотки постійному струму

При теоретичній оцінці динамічного діапазону приймалося до уваги перш за все випадкова похибка. Однак на практиці значний внесок також вносять систематичні складові, до яких в першу чергу відносять похибки від напруги і струмів зміщення вхідних каскадів диференціального підсилювача, а також

термоЕРС у вхідних колах вимірюваних резисторів і ключах комутаторів. В сумі вони можуть досягати величин порядку одиниць-десятків мікрвольт. З урахуванням еквівалентної ЕРС зсувів e_{bias} динамічний діапазон запропонованого вимірювача опорів буде обмежений величиною

$$D \leq 40 \lg \frac{U_{Ref}}{e_{bias}}. \quad (2.9)$$

Підставляючи значення $e_{bias} = 30 \text{ мкВ}$ і $U_{Ref} = 3 \text{ В}$, отримуємо в підсумку $D < 100 \text{ дБ}$.

У практиці побудови вимірювачів опору для корекції даних похибок широко застосовується так званий «різницевий» (Delta) спосіб. В [8] цей спосіб і його розвиток узагальнені у вигляді додатків біноміальних вагових функцій. Позитивний ефект - придушення адитивної перешкоди досягається за рахунок модуляції струму або напруги живлення кола датчика таким чином, щоб забезпечувалося «поділ» корисного сигналу і адитивної перешкоди.

У найпростішому варіанті реалізації біноміальної вагової функції [+ 1, - 1] послідовно проводиться два перетворення напруги на вимірюваному опорі - при включенні і виключенні струму через нього. На структурній схемі (рисунок 2.4) функцію комутації струму через коло резисторів R_x і R_0 виконує ключ S_3 .

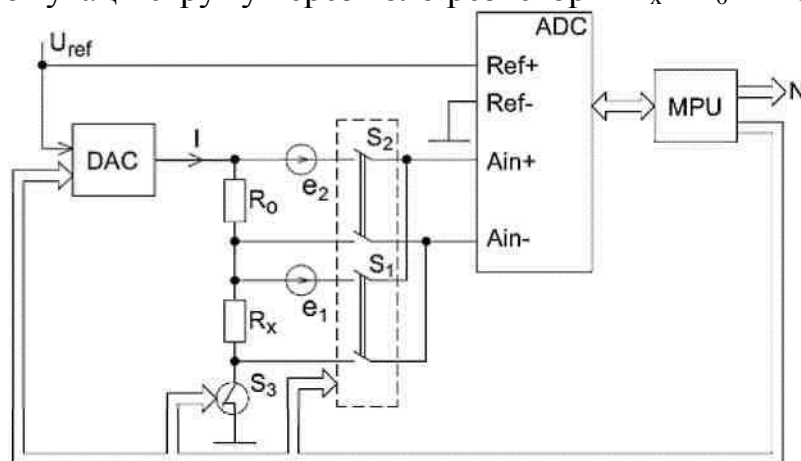


Рисунок 2.4 - Структурна схема вимірювача опорів з корекцією адитивних похибок

Повністю процедура корекції похибок, що викликаються ЕРС зміщення e_1 і e_2 (рисунок 2.4) у вхідних колах перетворювача опору в код, включає в себе 4 циклу перетворення. У перших двох циклах ключ S_3 замкнутий і на коло опорів R_0 і R_x з виходу цифро-аналогового перетворювача подається максимальна

напруга $U_{DAC} \approx U_{Ref}$.

Відповідно на вхід ADC при послідовному замиканні ключів S_1 і S_2 надходять сигнали

$$U_{Ain1} = IR_x + e_1; \quad (2.10)$$

$$U_{\text{Ain}2} = IR_0 + e_2. \quad (2.11)$$

У мікроконтролері запам'ятовуються результати аналого-цифрового перетворення N_1 і N_2 . Далі ключ S_3 розмикається, струм $I = 0$, і наступні два перетворення дають на виході коди ΔN_1 і ΔN_2 , пропорційні ЕРС зміщення e_1 і e_2 .

Остаточний результат вимірювання визначається відношенням

$$\alpha = \frac{N_1 - \Delta N_1}{N_2 - \Delta N_2} = \frac{IR_x + e_1 - e_1}{IR_0 + e_2 - e_2} = \frac{R_x}{R_0}. \quad (2.12)$$

В процесі практичної реалізації описаного вище відомого способу корекції похибок від напруги зсуву стосовно до структури, наведеної на рисунку 2.4, було встановлено, що величини зміщення e_1 і e_2 не є постійними. Вони в значній мірі можуть змінюватися при комутації струму I за рахунок зміни синфазного сигналу на входах Ain^+ і Ain^- . Проведений аналіз технічних характеристик близько 40 типів інтегральних АЦП, що випускаються провідними зарубіжними фірмами (Analog Devices, Linear Tech., Maxim, Texas Instruments і ін.), показав, що мінімальне значення коефіцієнта придушення синфазного сигналу (common-mode rejection ratio, CMRR) у них становить $\text{CMRR} = 70 \dots 90$ дБ. Деякі виробники «хитрують», вказуючи більш високі значення $100 \dots 120$ дБ. Однак це поліпшення відноситься тільки до аналого-цифрових перетворювачів з невисоким вхідним опором, у яких на вході відсутні аналогові буферні каскади або масштабуючі підсилювачі. Положення не рятує і застосування окремих інтегральних диференціальних підсилювачів (Instrumentation Amplifier). В останньому випадку вдається підвищити величину CMRR для коефіцієнта посилення $k=1$, як правило, не більше ніж на 10 дБ.

Якщо прийняти величину коефіцієнта придушення синфазного сигналу вхідного диференціального каскаду АЦП рівної $\text{CMRR} = 80$ дБ, то це означає, що зміна синфазного сигналу $\Delta U_{\text{сф}} = 3$ В викличе появу напруги зсуву

$$\Delta U_{\text{в}} = \frac{\Delta U_{\text{сф}}}{\text{CMRR}} = \frac{3}{10^{\frac{80}{20}}} = 300 \text{ мкВ}. \quad (2.13)$$

Дана оцінка показує, що для даної конфігурації вимірювального кола похибка, що викликається кінцевим значенням придушення синфазного сигналу, є домінуючою і більш ніж на порядок перевершує інші адитивні складові.

Неважко показати, що в такому разі і максимальний динамічний діапазон вимірювача опору буде визначатися саме рівнем CMRR вхідного каскаду.

Пропонується спосіб значного зниження впливу не ідеальності ($\text{CMRR} \neq \infty$) вхідного диференціального каскаду АЦП шляхом введення в структуру вимірювача додаткового цифро-аналогового перетворювача (ДАС на рисунку 2.4).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Функціональне призначення останнього - створення в циклах калібрування «нуля» ($I=0$) рівнів синфазного сигналу, ідентичних тим, які були присутні в циклах перетворення при замкнутому стані ключа $S_3 [I \approx U_{REF}/(R_x + R_0)]$.

Тим самим забезпечується виконання умови ідентичності напруги зсуву в циклах виміру і адитивної корекції.

Величина синфазного сигналу в циклі перетворення напруги на R_x в першому наближенні без урахування опорів з'єднувальних проводів і ключа S_3 обчислюється за формулою

$$U_{\text{сф1}} = \frac{1}{2} U_{REF} \frac{R_x}{R_0 + R_x} \quad (2.14)$$

Відповідно в циклі перетворення напруги на R_0

$$U_{\text{сф2}} = U_{REF} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{R_0}{R_0 + R_x}\right). \quad (2.15)$$

Запропоноване технічне рішення здатне забезпечити зниження похибки від не ідеальності CMRR в (20 ... 30) разів. При цьому високих метрологічних вимог до вузла цифро-аналогового перетворювача не пред'являється. В макетних зразках може використовуватись вбудований в мікроконтролер 12-розрядний ЦАП, а також цифро-аналоговий перетворювач за структурою ШІМ-ФНЧ (широтно-імпульсний модулятор - фільтр нижніх частот).

2.4 Перехідні процеси в колах управління реле при різних способах шунтування обмотки

Момент відключення напруги на обмотці (рисунок 2.5) супроводжується появою ЕРС самоіндукції (1.3), що утворилася за рахунок накопиченої енергії під час імпульсу напруги в колі управління [9].

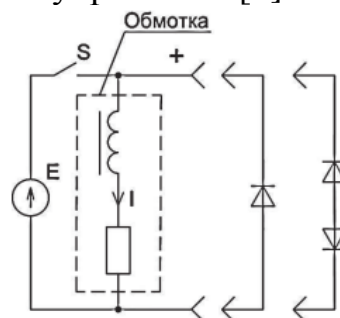


Рисунок 2.5 - Функціональні схеми організації подачі напруги і використовуються на практиці кола обмеження ЕРС самоіндукції

На практиці обмеження амплітуди ЕРС самоіндукції здійснюється за допомогою шунтування обмотки діодами або збірками діод-стабілітрон. При

цьому в разі відсутності елементів обмеження ЕРС самоіндукції її амплітудне значення може досягати тисячі вольт і більше. Якщо обмотка зашунтувати діодом, напруга обмеження $U_{\text{ОБМ}}$ амплітуди ЕРС самоіндукції буде визначатися постійною прямою напругою діода $U_{\text{пр}}$, величина якого зазвичай не перевищує 2 В

$$U_{\text{огр}} = - U_{\text{пр}}. \quad (2.16)$$

При такому шунтуванні значно збільшується час повернення у одностабільних реле через збільшення постійної часу τ в порівнянні з реле, у яких обмежуючі кола відсутні.

При шунтуванні обмотки колом діод-стабілітрон час повернення можна порівняти з часом повернення реле, у яких обмотка не шунтувалася, але амплітуда ЕРС самоіндукції буде визначатися сумою напруги

$$U_{\text{огр}} = - (U_{\text{пр}} + U_{\text{ст}}), \quad (2.17)$$

де $U_{\text{ст}}$ - напруга стабілізації стабілітрона.

Значення $U_{\text{огр}}$ вибирається з міркувань обмеження ЕРС самоіндукції до необхідного рівня.

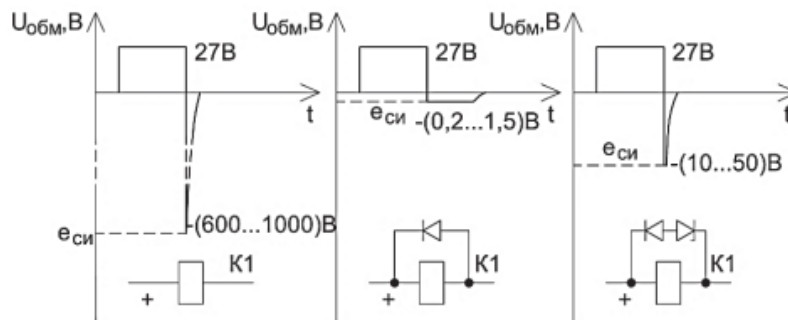
До недавнього часу установка обмежуючих елементів була справою споживача. В останні роки з'явилася тенденція вбудовування обмежуючих кіл всередину реле [13]. Ця обставина створює додаткові труднощі контролю. Також наявність кола шунтування може чинити негативний вплив на точність вимірювання опору обмотки. При побудові каналів вимірювання опору доводиться враховувати конфігурацію і параметри цього кола.

Для розробки апаратури автоматизованого вимірювання ЕРС самоіндукції розглянемо її форму і амплітуду в одностабільних типах реле.

Дослідження декількох десятків реле різних типів показало, що в залежності від виду шунтування ЕРС самоіндукції $e_{\text{си}}$ має типову форму, показану на рисунку 2.6. При цьому амплітуда ЕРС самоіндукції, знаходиться в діапазоні від 0,5 до 1,5 В у реле, обмотка яких шунтувалася діодами, і від 10 до 50 В у реле, в яких встановлені збірки діод-стабілітрон.

Таким чином, апаратура повинна вимірювати ЕРС самоіндукції в досить широкому динамічному діапазоні від 0,1 до 60 В. Має сенс встановити два діапазони вимірювань: один для контролю діодів, а другий для контролю збірок діод-стабілітрон.

						Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а) без шунтування обмотки; б) шунтування обмотки діодом; в) шунтування обмотки колом діод-стабілітрон

Рисунок 2.6 - Схеми шунтування і графіки зміни напруги в обмотці реле

2.5 Розробка автоматизованих каналів вимірювання амплітуди ЕРС самоіндукції в слабкострумівих герметичних електромагнітних реле

Пропонується технічне рішення, засноване на реєстрації аналого-цифровим перетворювачем напруги на обмотці з моменту виключення керуючого струму.

Структуру вимірювального каналу можна побудувати з використанням частотно-компенсованого подільника напруги на вході, масштабуючого підсилювача з високим входним опором і 12-розрядної швидкодіючого аналого-цифрового перетворювача з швидкодією до 200-1000 кГц (рисунок 2.7).

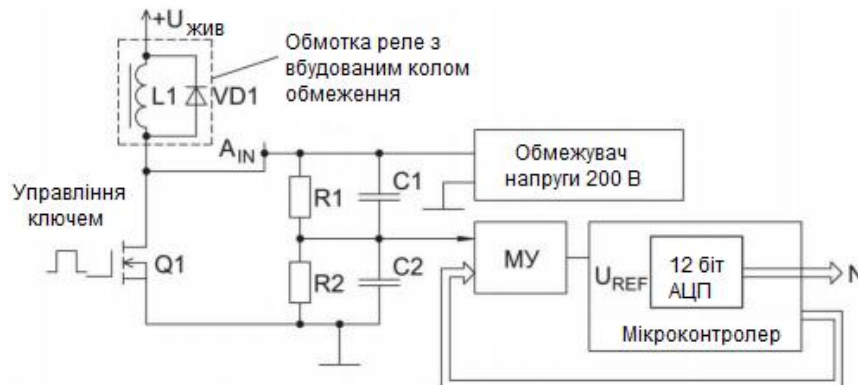


Рисунок 2.7 - Структура каналу вимірювання ЕРС самоіндукції

Складнощами при проектуванні даних каналів можна вважати можливість попадання реле з відсутніми елементами обмеження ЕРС самоіндукції, яка може досягати тисячі вольт. Це може статися при неконтактуванні елементів напівпровідникових елементів безпосередньо з обмоткою (обрив, «непропай»). Для захисту ключа і входних кіл масштабуючого підсилювача від таких несправностей в структурі (рисунок 2.7) служить обмежувач напруги.

Рівень обмеження встановлюється трохи вище, ніж у вбудованого в реле кола. На початку дослідження в процесі запуску в серійне виробництво реле типів РЕК84, РЕК94, РПК81, РПК82 з вбудованими колами обмеження був

					Арк.
					39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

розроблений більш простий варіант вимірювальної системи, в якій був використаний дискретний розгортає спосіб вимірювання ЕРС самоіндукції [15].

Структурна схема даної системи вимірювання ЕРС самоіндукції приведена на рисунку 2.8.

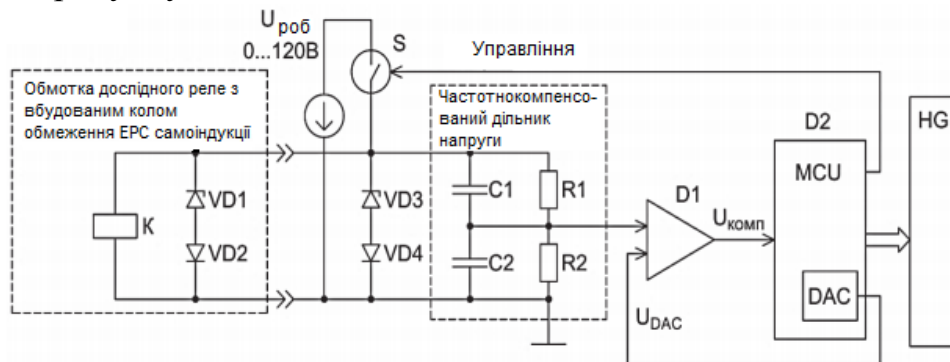


Рисунок 2.8 - Структурна схема системи вимірювання ЕРС самоіндукції на основі розгортає способу вимірювального перетворення

Система вимірювання містить наступні основні вузли:

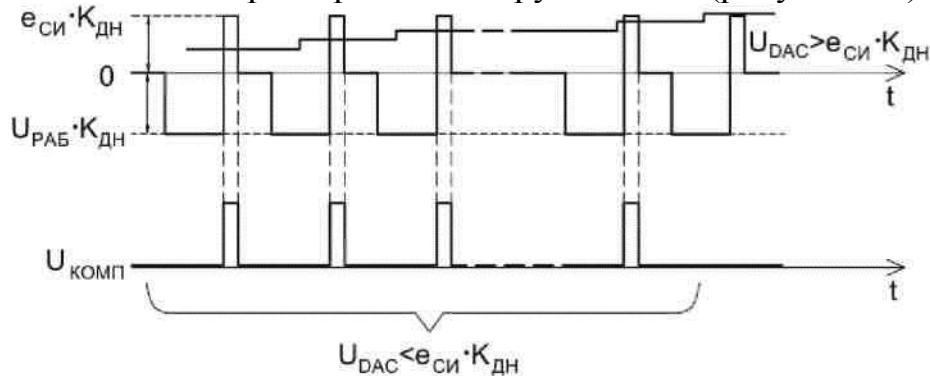
1 Джерело регульованого напруги живлення обмоток $U_{\text{роб}}$ і ключ S , призначені для формування імпульсів живлення обмоток випробовуваних реле.

2 Цифро-аналоговий перетворювач DAC, який формує змінні напруги, що розгортають U_{DAC} і компаратор D1, що порівнює напругу розгортки з ЕРС самоіндукції.

3 Мікроконтролер MCU, службовець для управління джерелом живлення обмоток $U_{\text{РАБ}}$, ключем S , формувачем розгортається напруги DAC і індикатором HG результатів контролю.

На рисунку 2.9 наведені часові діаграми, що пояснюють даний метод з вимірювання ЕРС самоіндукції.

У колі управління реле формується періодична імпульсна послідовність з амплітудою $U_{\text{РАБ}}$, в одній з фаз якої при розмиканні ключа S генерується ЕРС самоіндукції. Ця ЕРС в кожному циклі через частотно-компенсований дільник напруги $R1, R2, C1, C2$ подається на вхід компаратора, де порівнюється зі східчасто зростаючою напругою. Крок зростання цієї напруги відомий і стабільний. Яке Виконує порівняння триває до тих пір, поки це дискретно зростаючого напруження не перевищить ЕРС самоіндукції. З цифро-аналогового перетворювача подається розгортаюча напруга U_{DAC} (рисунок 2.9).



$e_{си}$ - ЕРС самоіндукції; $U_{комп}$ - напруга на виході компаратора; $U_{раб}$ - робоча напруга, що подається в обмотку випробуваного реле; $k_{дн}$ - коефіцієнт передачі подільника напруги

Рисунок 2.9 - Часові діаграми формування дискретного розгортається напруги

Рівень розгортаючої напруги будемо змінювати ступінчасто в діапазоні від $0,9 \cdot U_{min}$ до $1,1 \cdot U_{max}$ з приростом $(1,1 \cdot U_{max} - 0,9 \cdot U_{min})/100$ в кожному циклі, де U_{min} і U_{max} - мінімально і максимально допустимі значення напруги обмеження з урахуванням величини $k_{дн}$. Якщо амплітуда ЕРС самоіндукції на вході компаратора виявилася менше напруги U_{DAS} , на виході компаратора виникає імпульс, який ініціює продовження процесу перетворення з формуванням наступного ступеня розгортаючої напруги і чергового імпульсу ЕРС самоіндукції. При перевищенні рівня розгортаючої напруги амплітуди ЕРС самоіндукції $U_{DAS} > e_{си} \cdot k_{дн}$, відсутність імпульсу на виході компаратора сигналізує про досягнення кінця циклу перетворення. У цей момент процес вимірювання закінчується, і результат вимірювання $e_{си}$, представлений кодом на вході DАС, записується в пам'ять мікроконтролера.

Якщо реле містить більше однієї обмотки, то аналогічні вимірювання послідовно виробляються по всьому обмоткам.

Висновки до 2 розділу

1 Запропоновано метод вимірювання опору обмоток реле постійного струму з розширеним динамічним діапазоном і рівнем відносної похибки. До основних відмінних рис методу відноситься побудова спеціалізованих вимірників активного опору на базі сучасних АЦП з високою роздільною здатністю, вбудованих мікропроцесорів і використанням одного межі вимірювань.

2 Розглянуто перехідні процеси в колі управління реле і визначені параметри імпульсу ЕРС самоіндукції при різних способах її обмеження.

3 Розроблено структури для автоматизованого вимірювання амплітуди ЕРС самоіндукції слабкострумівих електромагнітних герметичних реле на основі методів дискретного розгортається напруги і прямого перетворення.

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.1 - Графік $i(t)$ динаміки роботи рухомої системи реле

Залежність $u_k(t)$ характеризує стан контактів: замкнутий, коли $U_k \approx 0$, і розімкнутий при U_k , рівному напрузі живлення контактної кола E .

В процесі спрацьовування з моменту подачі напруги $U_{роб}$ на обмотку до моменту свого зрушення (точка А на графіку $i(t)$ рисунка 3.1, б) рухома система реле (якір) нерухома і знаходиться в статичному стані. При цьому спрощена модель кола управління реле може розглядатися як система з зосередженими параметрами. Магнітопровід в такому стані реле ненасичений, індуктивність обмотки постійна, відбувається наростання струму в обмотці і тягового моменту. Напруга на обмотці описується класичним рівнянням

$$u_{обм}(t) = iR + L \frac{di}{dt}, \quad (3.1)$$

де I - струм в обмотці; R - опір обмотки; L - індуктивність обмотки; t - час.

Потім в процесі руху рухомої системи (ділянка від точки А до точки В на рисунку 3.1, б), індуктивність обмотки стає функцією переміщення рухомої системи. Зазор між якорем і сердечником котушки зменшується, індуктивність обмотки збільшується, струм в обмотці починає зменшуватися. На даному етапі модель кола управління реле можна розглядати як систему зі змінними параметрами. Вираз для напруги на обмотці набуває вигляду

$$u_{обм}(t) = iR + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt}. \quad (3.2)$$

На цьому етапі руху перешкоджає змінний в часі момент опору контактної вузла і поворотної пружини. При цьому розмикаючий контакт переходить від замкнутого стану в розімкнутий, а замикаючий контакт переходить від розімкнутого стану в замкнений, що можна спостерігати за зміною напруги на контактах $u_k(t)$ (рисунок 3.1, б). Розмикання і замикання контактів супроводжується їх брязкотом. Зменшення струму в обмотці припиняється в момент зупинки якоря (точка В на графіку $i(t)$ рисунка 3.1). Якір виявляється притягнутим до сердечника. Далі характер залежності $i(t)$ знову стає експоненціальним. Струм в обмотці буде прагнути до свого максимального значення $I_{мах}$, що відповідає стану замкнутого магнітопроводу.

В процесі повернення реле з моменту зняття напруги з обмотки до моменту початку руху якоря (точка С на графіку $i(t)$ рисунка 3.1, б) рухома система знаходиться в притягнутому до сердечника стані. Подальше зменшення струму в обмотці i , як наслідок, зменшення тягової сили призводять до повернення

						Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рухомої системи в початковий стан (ділянка від точки С до точки D на рисунку 3.1, б). При цьому замикаючий контакт переходить від замкнутого стану в розімкнутий, а розмикаючий контакт переходить від розімкненого стану в замкнений, що можна спостерігати за зміною напруги на контактах $u_K(t)$. Повернення контактної системи в початковий стан також супроводжується брязкотом. На кінцевій ділянці від точки D струм в обмотці прагне до нульової позначки.

За допомогою графіків зміни струму в обмотці $i(t)$, напруги $u_K(t)$ і напруги на обмотці $u_{ОБМ}(t)$ можна виділити весь основний комплекс динамічних характеристик реле.

Для визначення динамічних характеристик $t_1 \dots t_{16}$ пов'язаних зі спільною обробкою графіків напруги на контактах $u_K(t)$ і напруги на обмотці $u_{ОБМ}(t)$ (рисунок 3.1, б) досить фіксувати моменти замикання, розмикання контактів і моменти початку і закінчення подачі напруги в обмотку.

Визначення характерних точок при цьому проводиться шляхом порівняння напруги на контактах та обмотці реле з опорними рівнями.

На підставі певних подібним чином значень моментів часу обчислюються динамічні характеристики реле $t_1 \dots t_{16}$ задаються явно. Таким чином, вимірюються наступні динамічні характеристики реле: час спрацьовування і повернення, час брязкоту контактів, час руху контактів, різночасність спрацьовування і повернення.

У той же час певні труднощі викликає вимірювання часових параметрів руху рухомої системи, а також її спільного руху з контактною системою. В даний час в герметичних реле дані характеристики не можуть бути визначені явно, для цього доводиться використовувати непрямі вимірювання, що викликає проблеми. Тому навіть нормативними документами, причому, як вітчизняними, так і зарубіжними, незважаючи на дуже високу інформативність зазначених динамічних характеристик, їх вимір не передбачено. Фактично для визначення зазначених характеристик у спосіб необхідно зафіксувати моменти часу, що відповідають початку руху (точки «А» і «С» рисунка 3.1, б) і зупинки (точки «В» і «D» рисунка 3.1, б) рухомої системи при спрацьовуванні і повернення на графіку $i(t)$. Найбільш доцільно ці вимірювання проводити за допомогою комп'ютерної обробки залежності $i(t)$ [1, 2].

До теперішнього часу не було автоматизованих пристроїв, застосованих у серійному виробництві реле для вимірювання зазначених характеристик. Тому необхідно розробити методики вимірювання часу зрушення рухомої системи, часу її руху в тому числі і її спільного руху з контактною системою.

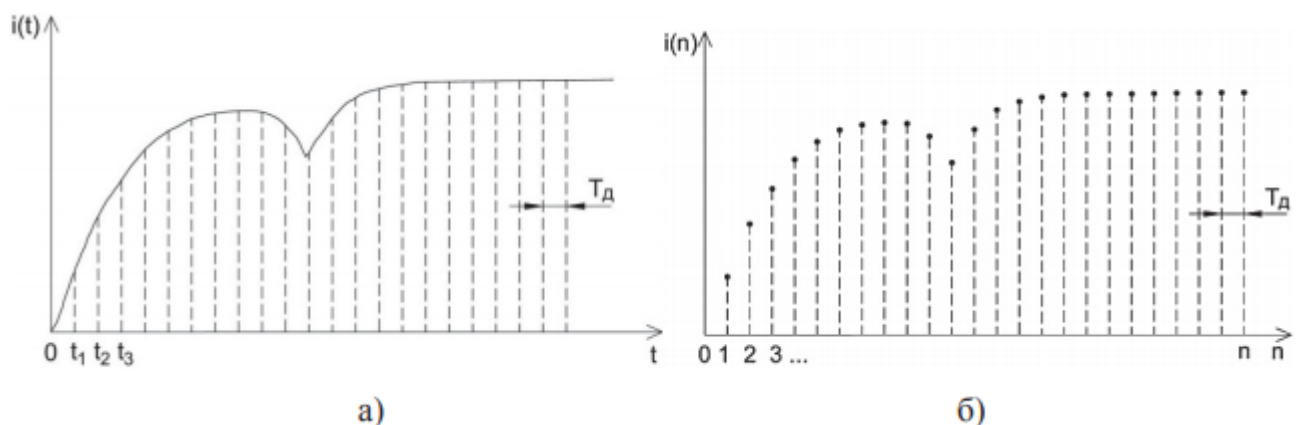
						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запропонована методика ґрунтується на визначенні координат характерних точок по отриманим залежностям струму в обмотці і напруги на контактах і керуючих колах контрольованого реле. При такому способі визначення динамічних характеристик інформативним є час t появи j -тої характерної точки. З огляду на те, що проводиться спільний аналіз динамічних характеристик, то всі характерні точки можна представити у вигляді членів однієї множини $(i_1, i_2, i_3, \dots, i_i, \dots, i_k) \in I$, час їх появи також у вигляді безлічі $(t_1, t_2, t_3, \dots, t_j, \dots, t_k) \in T$.

Для визначення зазначених координат скористаємося методами цифрової обробки сигналів [10], реалізація яких має на увазі виконання наступних етапів:

- 1 отримання аналогового сигналу $i(t)$ і його перетворення в дискретну послідовність;
- 2 фільтрація дискретної послідовності і отримання сигналу $t(n)$;
- 3 математична обробка вибірки сигналу $i(n)$ відповідно до попередньо виробленим алгоритмом.

У загальному випадку при перетворенні аналогового сигналу в дискретну послідовність вся область його значень розбивається на рівні, кількість яких залежить від числа розрядів застосовуваного АЦП (рисунок 3.2).



а) аналогова форма; б) цифрова форма, де T_d - період дискретизації

Рисунок 3.2 - Графіки зміни струму в обмотці реле в процесі його перемикання:

Подання аналогового сигналу дискретною послідовністю призводить до деякої втрати інформації в проміжках між відліками. Тому період T_d необхідно вибирати оптимальним з розрахунку необхідної точності при мінімальному обсязі обчислень.

Для виконання першого етапу цифрової обробки пропонується використовувати цифровий осцилограф або осцилографічну приставку, керовану персональним комп'ютером. Виконання другого і третього етапів

					Арк.
					45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

пропонується здійснювати за допомогою комп'ютерних програм, які здійснюють автоматизовані математичні операції над дискретними послідовностями з метою знаходження динамічних характеристик реле.

Застосування цифрових осцилографічних систем на етапі експериментальних досліджень на погляд автора є оптимальним і ефективним технічним рішенням, що не вимагає великих витрат на розробку спеціалізованих мікропроцесорних засобів вимірювання [6].

Математична обробка сигналу $i(n)$ з обчисленням значень характерних точок дозволить визначити динамічні характеристики рухомої системи: часу початку руху якоря, часу його руху і часу його спільного руху з контактною системою реле і зробити їх статистичну обробку. При здійсненні спільної математичної обробки сигналів $I_{обс}$ і $u_k(t)$ з'явиться можливість за один комутаційний цикл визначити повний комплекс динамічних характеристик реле.

3.2 Методика автоматизованого визначення часу руху рухомої системи і часу спільного руху контактної і рухомий систем реле

Для визначення часу спільного ходу рухомої системи і контактів t_4 , t_{15} [6] необхідно знати значення часу спрацьовування t_2 , повернення t_1 і зупинки якоря t_B , t_D , представлених на рисунку 3.1, б [6].

Тоді час спільного руху якоря і контактів при спрацьовуванні і поверненні можна визначити за формулами:

$$t_4 = t_B - t_2, \quad (3.3)$$

$$t_{15} = t_D - t_{11}. \quad (3.4)$$

Для визначення моменту часу зупинки рухомої системи (якоря) проаналізуємо зміна струму в обмотці.

Як показує аналіз літературних джерел [1, 5], моменти зупинки якоря відповідають локальному мінімуму струму при спрацьовуванні і локальному максимуму струму $i(t)$ при поверненні відповідно (точки В і D на рисунку 3.1, б). У загальному випадку момент зупинки якоря відповідає другому екстремуму як при спрацьовуванні, так і при поверненні реле. Для його визначення обчислимо похідну часової функції струму обмотки в області передбачуваного розташування точок В і D (рисунок 3.1, б), отриманої в результаті осцилографування

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{i(t+\Delta t) - i(t)}{\Delta t}, \quad (3.5)$$

де Δt - приріст часу.

Розрахуємо значення t_B і t_D , що відповідають моментам зупинки якоря при спрацьовуванні і поверненні шляхом визначення значення аргументу i , при якому похідна змінює знак. Тоді, підставивши отримані значення t_B в формулу (3.3), а t_D в формулу (3.4), визначимо час спільного ходу рухомої системи і контактів t_4 і t_{15} відповідно.

На рисунку 3.3 представлені характерні осцилограми зміни струму в обмотці (пунктирна лінія) і графік зміни похідною тимчасової функції струму в обмотці (суцільна лінія) реле при його спрацьовуванні.

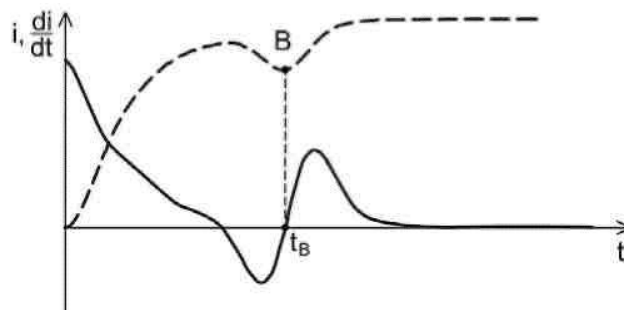


Рисунок 3.3 - Графік зміни струму в обмотці (пунктирна лінія) і графік зміни похідною часової функції струму в обмотці (суцільна лінія)

Момент зупинки якоря, відповідний другому екстремуму кривої $i(t)$, позначений буквою В. Основною перешкодою застосування даного способу на практиці, може стати поява паразитних екстремумів. Для мінімізації їх появи можливе проведення операції селекціювання в часі.

3.3 Методика автоматизованого визначення часу початку руху рухомої системи реле

Для знаходження часу початку руху рухомої системи скористаємося класичними рівняннями електротехніки, що описують перехідні процеси в послідовній RL-кола при подачі і відключенні постійної напруги. Відповідно до [2], струм в колі управління реле при його спрацьовуванні змінюється по експоненті до моменту початку руху рухомої системи

$$i(t) = \frac{U_{\text{раб}}}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (3.6)$$

де τ - постійна часу кола; L і R - індуктивність і опір обмотки; $U_{роб}$ - напруга, що прикладається до обмотці. У фазі повернення дана залежність буде мати вигляд

$$i(t) = \frac{U_{роб}}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3.7)$$

Надалі теоретичні міркування і практичні дослідження будемо проводити на прикладі спрацьовування. Зміна потокозчеплення Φ , як наслідок, збільшення величини індуктивності обмотки при початку руху якоря реле викликає появу в колі котушки додаткової проти-ЕРС, яка спотворює вихідну експонентну залежність струму в котушці. Після зупинки рухомої системи струм знову буде змінюватися по експоненті, що можна спостерігати на рисунках 3.1. і 3.4.

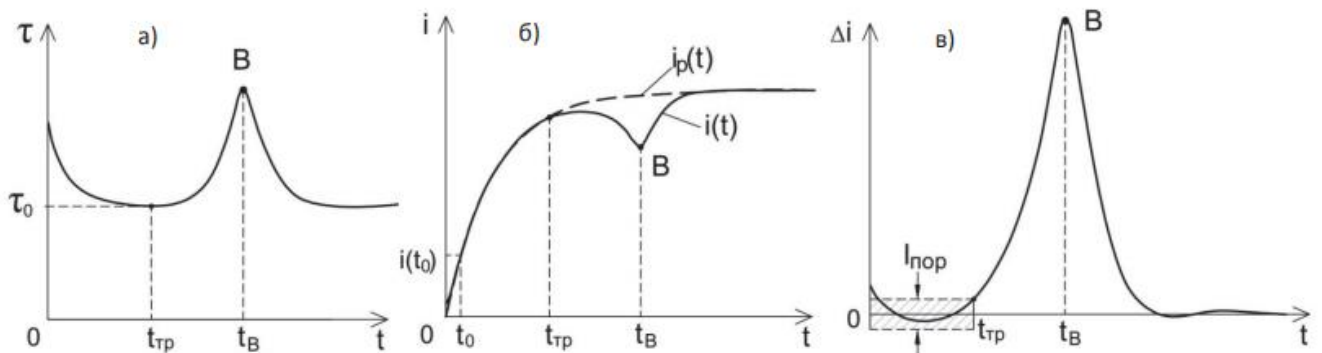


Рисунок 3.4 - а) графік зміни оцінки постійної часу $\tau(t)$ кола обмотки в обмотці реле при його спрацьовуванні; б) графіки зміни струму в обмотці з урахуванням впливу руху якоря $i(t)$ і без урахування руху якоря $i_p(t)$; в) залежність різниці

$$\Delta i(t) = i(t) - i_p(t), \quad \text{від часу}$$

Таким чином, для визначення часу початку руху рухомої системи слід зафіксувати моменти часу t_A і t_C (рисунок 3.1, б), коли струм в обмотці реле почне відхилятися від експоненти [6].

Для цього спочатку визначається ділянку осцилограми, який можна використати для розрахунків. Далі, розв'язуючі рівняння (3.6) щодо τ , для кожної точки осцилограми, обраній автоматично з урахуванням частоти дискретизації АЦП, отримуємо формулу у вигляді

$$\tau(t) = -\frac{t - t_0}{\ln\left(\frac{I_{макс} - i(t_0)}{I_{макс} - i(t)}\right)}, \quad (3.8)$$

де t_0 - час в початковій точці (координата на початку вибірки); $I_{\max} = U_{\text{роб}}/R$ - максимальне значення струму; $I(t_0)$ - значення струму в початковій точці.

Для визначення часу початку руху знаходимо діапазон зміни різниці $t - t_0$, в протягом якого значення постійної часу кола обмотки можна прийняти незмінним.

На рисунку 3.4 представлений графік типового зміни постійної часу $\tau(t)$ для реле РЕК60, побудований за формулою (3.8). За постійну часу кола управління реле на ділянці графіка $i(t_0)$ до початку руху якоря, можна прийняти значення локального мінімуму τ_0 (рисунок 3.4). З використанням отриманого значення τ_0 за формулою (3.6) будемо розрахункову криву струму $i_p(t)$ без урахування впливу руху якоря на додаток до реальної кривої струму $i(t)$.

Як показано на рисунку 3.4, б, момент часу рушання $t_{\text{ТР}}$, коли криві починають «розходитися», можна вважати початком руху якоря. Для наочності на рисунку 3.4, в показаний графік різниці $\Delta i(t) = i(t) - i_p(t)$, за яким визначається момент рушання якоря.

При русі по графіку $i(t)$ від моменту зупинки якоря (точка «В» на рисунку 3.4, б, в) до його початку, визначається момент часу $t_{\text{ТР}}$, коли різниця $\Delta i(t)$ стає менше деякого порогового значення.

Таким чином, використовуючи представлену алгоритмічну обробку графіка зміни струму в обмотці реле, можна визначити час початку руху рухомої системи реле.

3.4 Експериментальні дослідження методики автоматизованого визначення динамічних характеристик реле

3.4.1 Експериментальний пристрій для аналізу перехідних процесів в реле

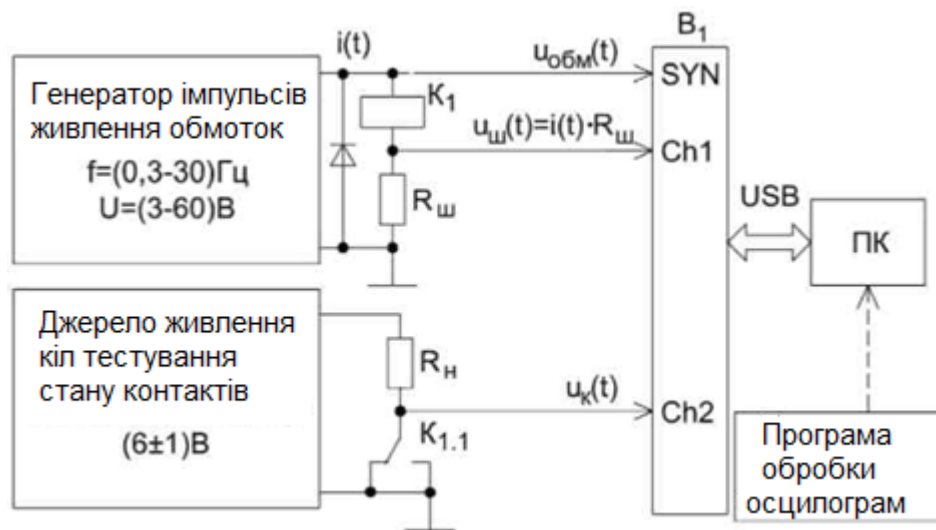
Для проведення експериментальних досліджень по комплексному вимірюванню динамічних характеристик реле на основі застосування методу цифрової обробки сигналів може бути розроблено пристрій, функціональна схема якого представлена на рисунку 3.5.

Пристрій призначений для використання з метою відпрацювання способів визначення характерних точок осцилограм, для визначення часових інтервалів, пов'язаних з рухомою системою реле: часу початку руху, часу руху, часу спільного ходу рухомої частини контактів. Основою пристрою є осцилографічна приставка ВГ з персональним комп'ютером ПК.

Він складається з наступних основних вузлів:

						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- генератор прямокутних імпульсів живлення обмоток частотою від 0,3 до 30 Гц і амплітудою від 3 до 60 В;
- шунт $R_{ш}$, призначений для осцилографування зміни струму в обмотці;
- осцилографічна приставка В1 типу HS801 і персональний комп'ютер ПК для отримання, зберігання та автоматизованої обробки осцилограм;
- джерело живлення кола контактів.



$K1$ - випробувані реле; ПК - персональний комп'ютер; В1 - осцилографічна приставка; R_n - опір навантаження; $R_{ш}$ - опір шунта; $U_{ш}(t)$ - напруга на шунті; $U_k(t)$ - напруга контактного кола

Рисунок 3.5 - Структурна схема пристрою осцилографічного контролю динамічних характеристик реле

Принцип роботи пристрою полягає в наступному. Перед отриманням осцилограм на генераторі імпульсів, що подаються на обмотку, встановлюється їх амплітуда, тривалість і частота прямування. Падіння напруги на резисторі $R_{ш}$, включеному послідовно з контрольованою обмоткою дозволяє фіксувати осцилографічною приставкою (канал Ch1) в цифровому вигляді струм $i(t)$. Включення резистора R_n в коло перемикаючого контакту забезпечує фіксацію напруги $u_k(t)$ каналом Ch2 осцилографічної приставки (рисунок 3.6).

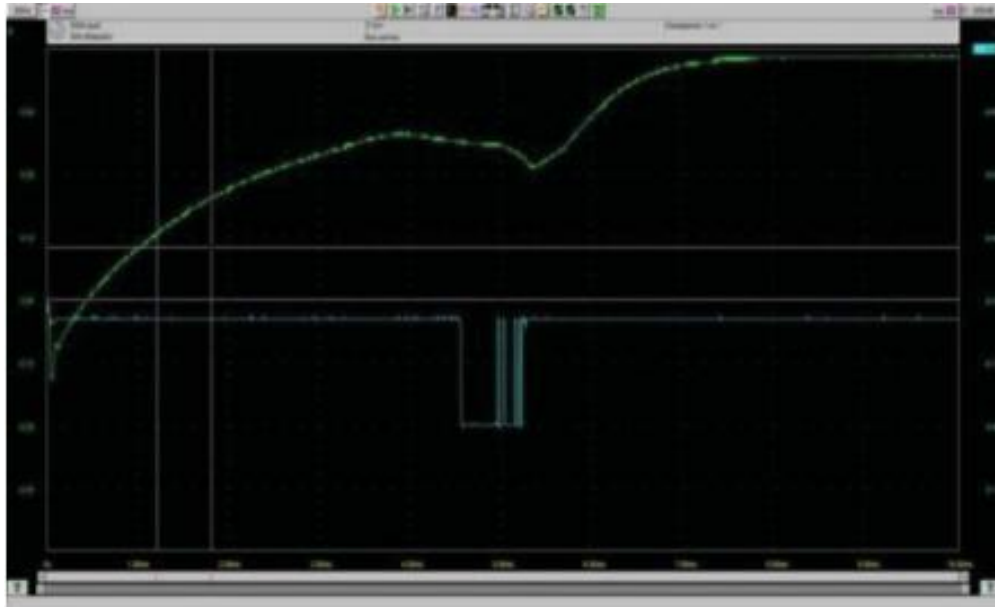


Рисунок 3.6 - Осцилограми зміни $i_{обм}(t)$ і $u_{к}(t)$

Для кожного примірника реле знімалося від 5 до 30 осцилограм. За допомогою ПК в базі даних зберігаються осцилограми декількох комутаційних циклів кожного контролюваного примірника реле.

Технічні характеристики пристрою представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики пристрою контролю

Параметр	Значення
Частота подавання імпульсів в обмотку, Гц	0,2 – 0,25
Тривалість імпульсу подавання напруги в обмотку, мс	1,0 – 100,0
Напруга живлення контактів, В	1,0 – 6,0
Напруга живлення обмотки, В	1,0 – 60,0
Струм, що протікає через контакти, мА	1,0 – 100,0
Тип реле, що контролюються	одностабільні двостабільні
Продуктивність АЦП, видбірок/с	10^8
Відносна похибка, %	± 1
Розподільча спроможність АЦП	8 біт

Застосування пристрою дозволяє проводити одночасне осцилографування перехідних процесів, що протікають в колі управління і контактах досліджуваного реле. Збереження осцилограм в пам'яті ПК суттєво спрощує подальші процедури обробки та документування результатів вимірювань.

Для експериментальних досліджень на початковому етапі за допомогою даного пристрою проводився аналіз декількох реле, до цього пройшли

технологічний контроль на ручному неавтоматизованому обладнанні і визнаних придатними.

3.4.2 Програмне забезпечення пристрою комплексного автоматизованого контролю динамічних характеристик реле

Для обробки осцилограм зміни струму в обмотці і напруги на контактах реле, повинно бути розроблено спеціалізоване програмне забезпечення. Воно реалізує методики визначення часу початку руху якоря, часу руху якоря і часу спільного ходу якоря і контактів, а також інших динамічних характеристик реле [6, 10].

Було визнано за доцільне використовувати програмного пакету Matlab [10] для полегшення налагодження алгоритмів цифрової обробки.

У процесі свого розвитку програмне забезпечення (ПЗ) було доповнено модулями, що дозволяють проводити визначення всього комплексу динамічних характеристик реле за результатами автоматичної обробки осцилограм $u_k(t)$, $u_{обм}(t)$, $i_{обм}(t)$, $i_{обм}(t)$.

На рисунку 3.7 представлено головне вікно програми програмного забезпечення. У ньому містяться розгорнуті осцилограми і результати розрахунку комплексу динамічних характеристик реле РЕК 60.

В якості тимчасової бази для визначення проміжків часу використовувалася створена база віртуальних реле. У процесі роботи програми поряд з вимірами динамічних характеристик також проводиться статистична обробка отриманих результатів з визначенням мінімальних, максимальних і середніх значень кожного параметра.

При цьому фіксувалися виходи за задані норми значення параметрів і їх відхилення від середніх значень, записи яких виділяються червоним кольором.

У лівій частині вікна користувач встановлює максимально і мінімально допустимі значення (межі) динамічних характеристик реле (рисунок 3.7).

Масив даних, отриманих в результаті роботи програми, зберігається в архіві в форматі Microsoft Excel.

За результатами розрахунку часових параметрів на графіках вертикальними маркерами відображаються ключові точки процесу перемикання: початок руху якоря, зупинка якоря, початок і кінець брязкоту. Для більш детального вивчення часових діаграм є можливість їх виведення в окремому вікні, де додатково реалізовані функції масштабування і зсуву.

						Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.7 - Головне вікно програми, що містить розгорнуті осцилограми і результати розрахунку комплексу динамічних характеристик реле РЕК 60

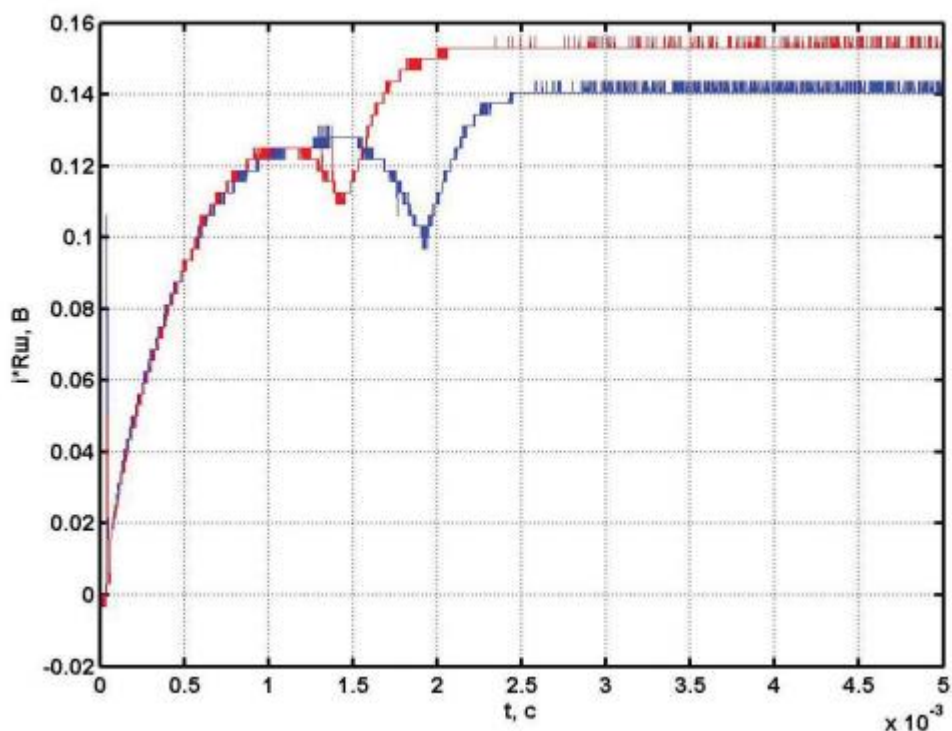
Результати тестування розробленого ПЗ при дослідженні експериментальних партій реле показали достовірно оцінити шуканих параметрів.

Використання розробленого програмного забезпечення дозволяє в 4-6 разів знизити трудомісткість процесів контролю, збільшити точність і розширити номенклатуру вимірюваних динамічних характеристик, що в кінцевому підсумку призводить до підвищення якості реле.

3.4.3 Експериментальні дослідження методики визначення спільного руху рухомої і контактної систем реле

Для перевірки методики проведені експерименти в середовищі Matlab на одностабільних реле з автоматизованого визначення часу спільного руху рухомої системи і контактів.

На рисунку 3.8 наведені отримані характерні осцилограми змін струму при спрацьовуванні в обмотках реле РЕК60.



а) екземпляр №1 (синій колір); б) екземпляр №2 (червоний колір)

Рисунок 3.8 - Осцилограми зміни струму в обмотці двох примірників реле РЕК60

Аналіз осцилограм показав, що на початковій ділянці осцилограми зміни струму в обмотці часто присутні сплески. Крім того, на початковій ділянці експоненціальна залежність часто має значні спотворення (рисунок 3.9).

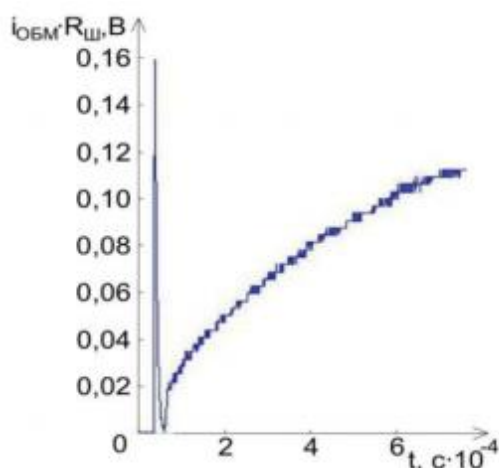


Рисунок 3.9 - Початкова ділянка осцилограм зміни струму в обмотці реле РЕК60 (екземпляр №1)

					Арк.
					54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Встановлено, що невідповідність початкової ділянки графіка змін струму в обмотці експоненційної залежності обумовлено наявністю бар'єрної ємності шунтуючого діода і міжвиткової ємності котушки.

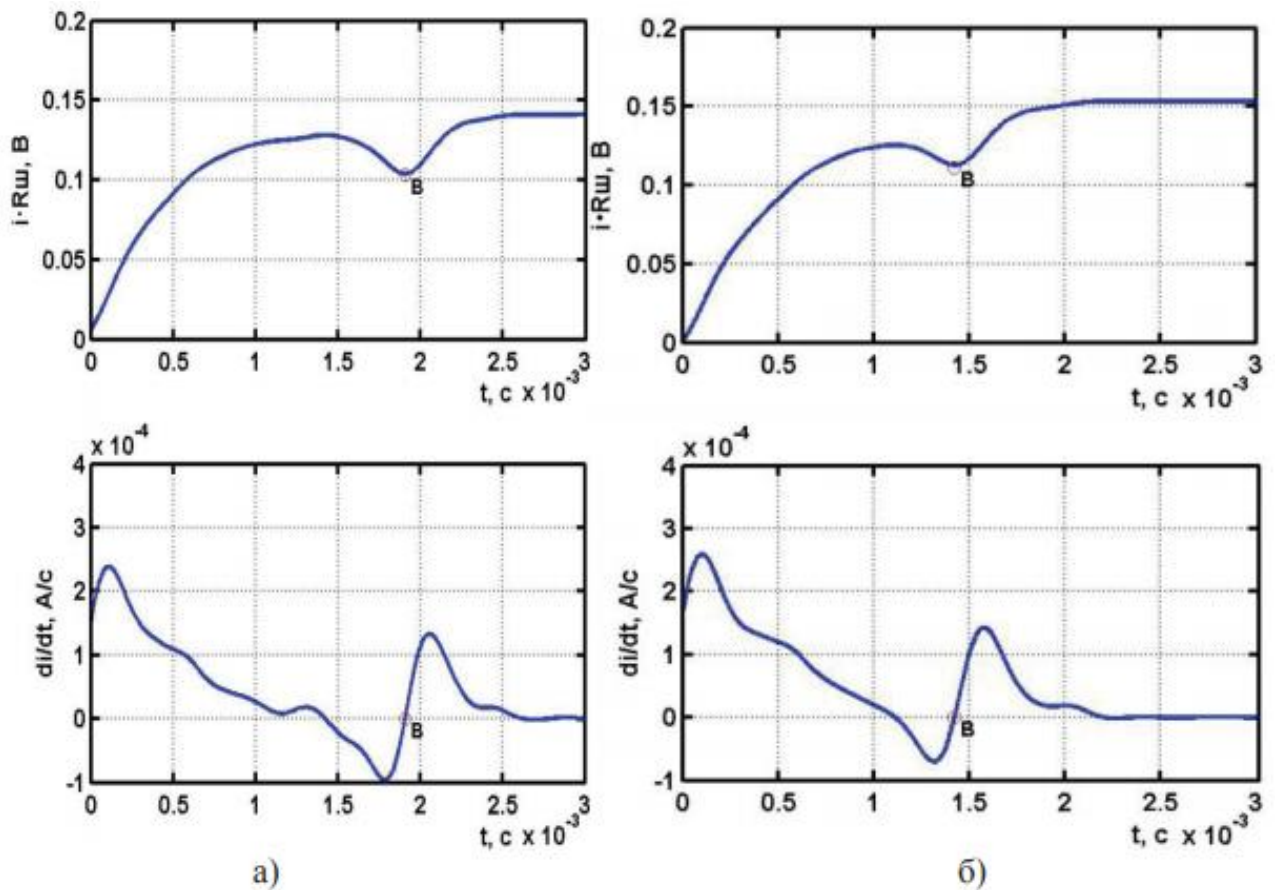
Наявність зазначених ємностей призводить до появи піку напруги в початковий момент. Зазвичай тривалість цієї «аномальної» ділянки відповідає зміні струму на величину порядку 1..3% від значення максимального струму в обмотці. Для виключення його при подальшій оцінці часових параметрів, введено граничне значення $I_{пор} = 0,08I_{max}$.

Як видно на рисунку 3.8, в осцилограмах присутні шуми квантування і різні сплески. З метою придушення високочастотних перешкод біло використано цифрову фільтрацію масиву $i(n)$ програмним цифровим фільтром нижніх частот Баттерворта 3-го порядку (рисунок 3.10).

Для фіксації часу зупинки якоря, знаходилась похідна струму в обмотці. Графіки похідної (першої різниці) струму в обмотці для досліджуваних реле РЕК60 наведені на рисунку 3.11.

Другий перетин графіка похідної з віссю абсцис відповідає моменту зупинки рухомої системи (точка В на рисунку 3.10). З використанням знайденого значення часу зупинки якоря по (3.3) визначається час спільного ходу контактів і якоря.

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а) екземпляр №1; б) екземпляр №2

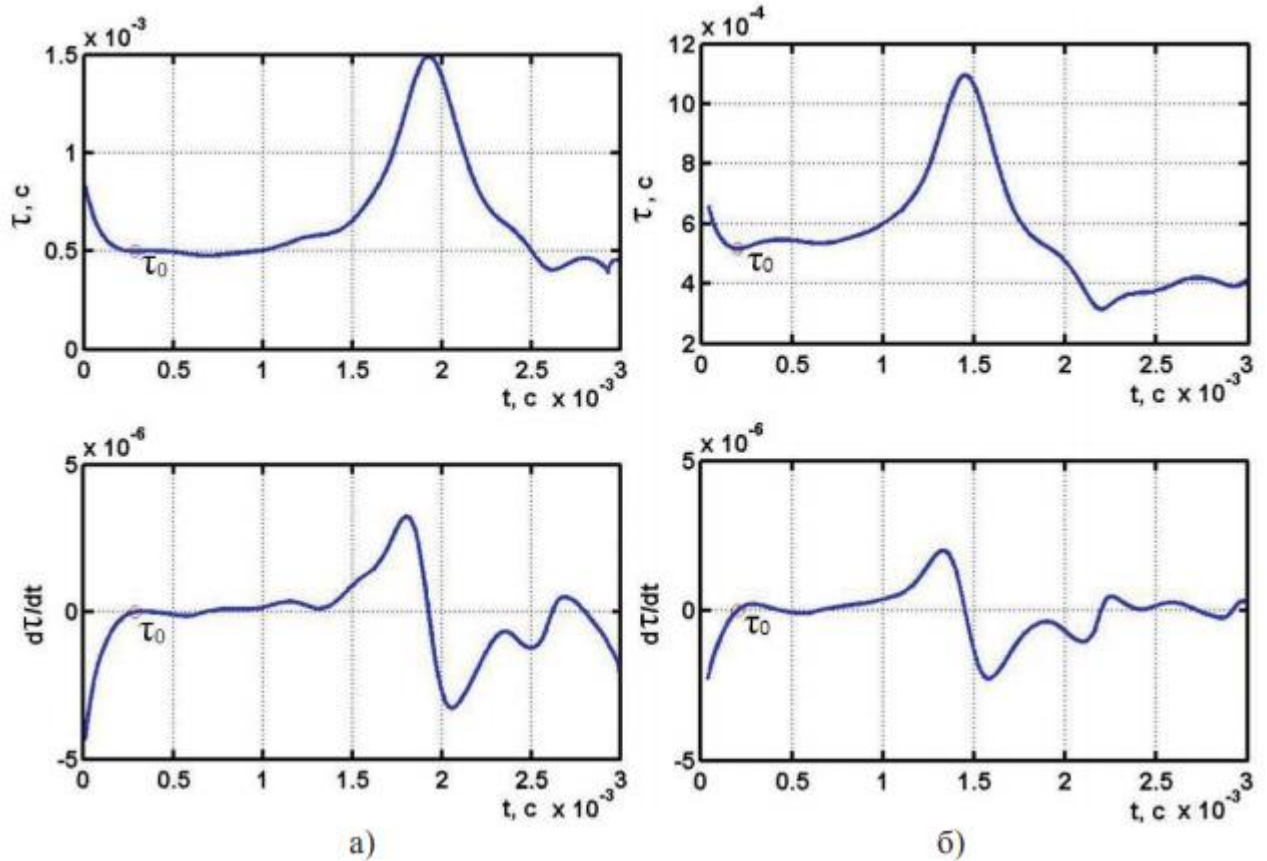
Рисунок 3.10 - Осцилограми зміни струму (після фільтрації) і графіки похідної струму в обмотках реле РЕК60

3.4.4 Експериментальні дослідження методики автоматизованого визначення часу початку руху рухомої системи реле

Для перевірки методики, запропонованої в підрозділі 3.3 цієї роботи, проведені експерименти в середовищі Matlab на одностабільних реле різного типу з автоматизованого визначення часу початку руху рухомої системи реле.

Будемо використовувати отримані осцилограми змін струму при спрацьовуванні в обмотках реле РЕК60 (рисунок 3.8). На першому етапі в кожній точці осцилограми $i(t)$, що обирається автоматично з урахуванням частоти дискретизації осцилографа, розрахована постійна часу $\tau(t)$ за формулою (3.8) з побудовою відповідних графіків (рисунок 3.11).

Значення τ_0 визначаємо шляхом встановлення похідною від постійної часу. Перший перетин графіка похідної з віссю абсцис і є значення локального мінімуму τ_0 (рисунок 3.12).



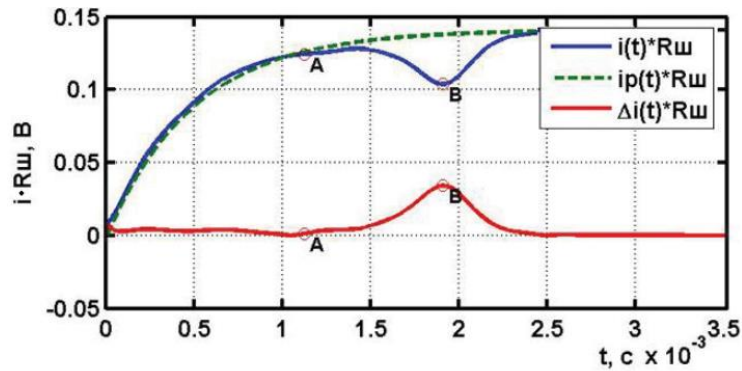
а) екземпляр №1; б) екземпляр №2

Рисунок 3.11 - Графіки зміни постійної часу $\tau(t)$ і її похідної реле РЕК60

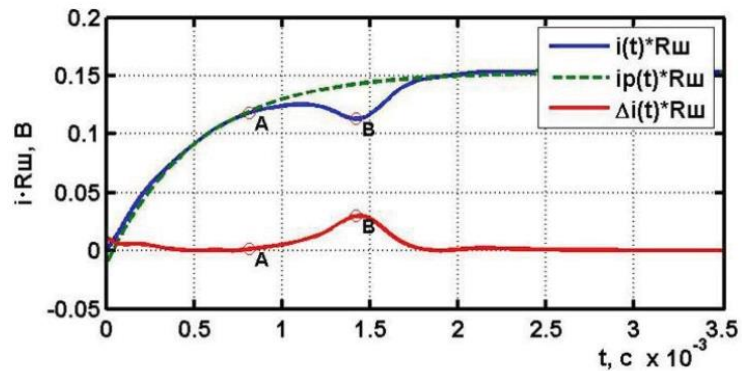
Відповідно до методики, викладеної в підрозділі 3.2, визначимо момент часу зрушення. Підставивши встановлене значення τ_0 в формулу (13), побудуємо розрахункову криву струму $i_p(t)$ для системи з зосередженими параметрами.

Потім побудуємо графік різниці $\Delta i(t) = i(t) - i_p(t)$ і визначимо момент часу t_{tr} , коли різниця $\Delta i(t)$ стане менше порогового значення $I_{пор}$. На рисунку 3.12 наведені осцилограми струму в обмотці з урахуванням і без урахування впливу руху якоря, а також графік різниці $\Delta i(t)$ між розрахунковим і реальним зміною струму в обмотках реле РЕК60.

У практичних розрахунках з урахуванням реальних умов задовільні результати були отримані при $I_{пор} = 0,01 \Delta i_{max}$, де Δi_{max} – максимальне значення різниці $i(t) - i_p(t)$.



a)



а) екземпляр №1, б) примірник №2

Рисунок 3.12 - Залежності струму $i(t)$, розрахункова крива струму $i_p(t)$ (без урахування руху якоря) і різниці між розрахунковим і реальним зміною струму в обмотках $\Delta i(t)$ в реле РЕК60

Таким чином, використовуючи представлену математичну обробку графіка зміни струму в обмотці реле $i(t)$, можна визначити моменти початку і закінчення руху рухомої системи, а в кінцевому підсумку - її час руху і зворушення. Спільна обробка графіків $i(t)$ і $u_K(t)$ забезпечує визначення часу спільного руху рухомої і контактної систем. Проведені експерименти повністю підтвердили гіпотезу про можливість непрямого визначення динамічних параметрів рухомої системи реле.

Швидкість автоматизованого математичного визначення часу початку руху в рази вище. І автоматичний, і ручний способи вимірювання динамічних характеристик реле не є «ідеальними», тому необхідно провести метрологічну оцінку насамперед результатів вимірювання часу рушення і часу спільного руху якоря і контактів реле.

3.5 Метрологічна оцінка результатів вимірювання часових характеристик рухомих вузлів реле

Для метрологічної оцінки результатів вимірювання часу рушення і руху рухомої системи був проведений експеримент у порівнянні результатів

вимірювань динамічних характеристик, отриманих за допомогою середовища Matlab і за допомогою індукційного датчика (рисунок 3.13).

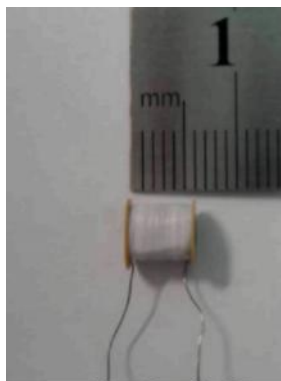


Рисунок 3.13 - Фотографія індукційного датчика

Як елемент, що фіксує зміну магнітного потоку, використовувався датчик індукційного типу [6, 9], який встановлювався в безпосередній близькості від досліджуваного реле. За основу датчика взята котушка без осердя від реле РЕК63. На сьогоднішній день дана котушка є однією з найбільш мініатюрних і до того ж знаходиться в серійному виробництві. Вона має 5000 витків, намотаних проводом ПЕТВр діаметром 30 мкм. Габаритні розміри датчика складають 6,4 x 6,1 x 4,1 мм.

Датчик може застосовуватися для вимірювання зміни магнітного потоку. Тому він розташовувався в місці, де магнітний потік максимальний, але з урахуванням зручності регулювання і забезпечення точності. Вихідним сигналом такого датчика є ЕРС, пропорційна швидкості зміни магнітного потоку

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt}, \quad (3.9)$$

де Φ - магнітний потік; w - кількість витків в котушці датчика.

Експерименту піддавалися різні типи реле. Слід зазначити, що багато типів реле мають схожі однотипні конструкції магнітних систем (рисунок 3.14).

						Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

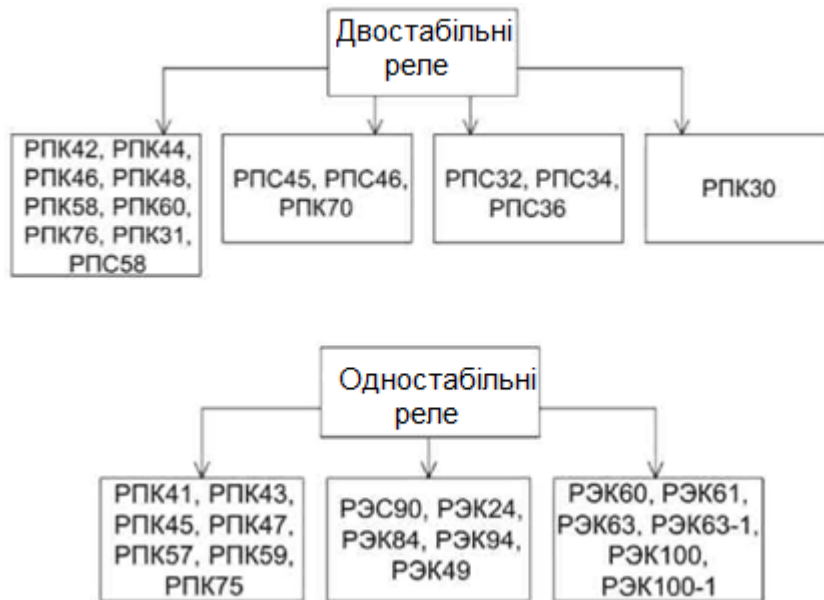
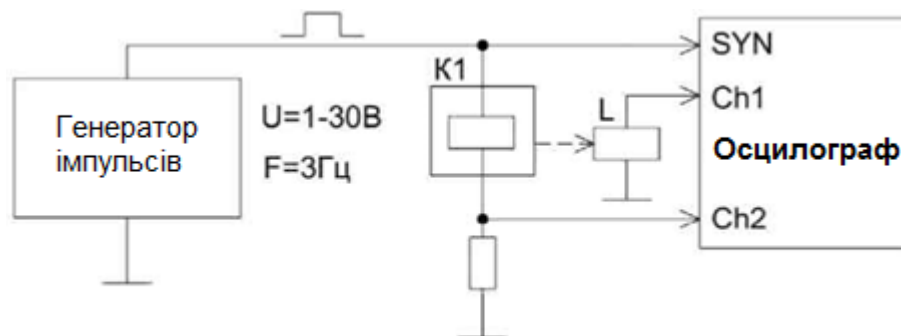


Рисунок 3.14 - Групи однотипних реле

Тому немає необхідності проводити дослідження для кожного типу реле, а досить розглянути один тип реле з серії подібних.

Для проведення досліджень використано пристрій, спрощена структурна схема якого зображена на рисунку 3.15.



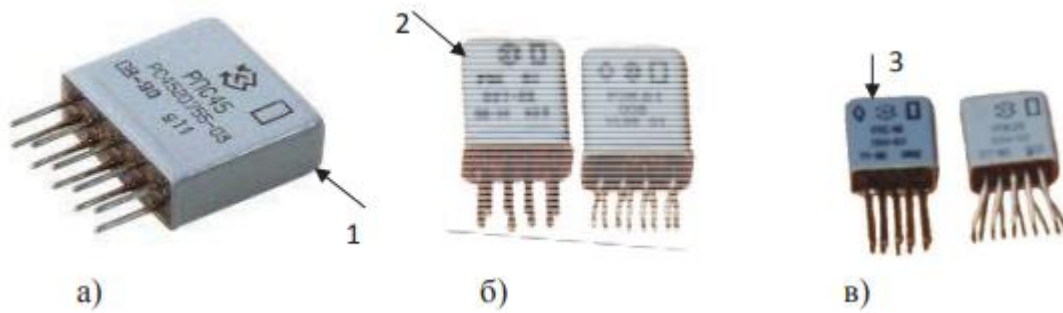
К1 - обмотка випробуваного реле; К2 - індукційний датчик

Рисунок 3.15 - Структурна схема макета пристрою для вимірювання ЕРС, яку створює індукційний датчик

Пристрій працює наступним чином. До корпусу реле прикріплюється індукційний датчик. При спрацьовуванні реле струм в обмотці контролюється другим каналом осцилографа, а на першому каналі осцилографа фіксується ЕРС, створювана датчиком в момент зупинки якоря.

Експериментальним шляхом було виявлено точки поблизу корпусу реле, в яких магнітна індукція досягає максимального значення (рисунок 3.16).

Наприклад, у реле РЕК60, РЕК61, РЕК63, найбільша зміна магнітного потоку зафіксовано в точці 2, для реле РПС46 - в точці 3, а для реле РПС45 - в точці 1.



а) реле РПС45; б) реле РЕК60; в) реле РПС46

Рисунок 3.16 - Точки прикладання індукційного датчика:

На рисунках 3.17 - 3.21 наведені осцилограми зміни струму в обмотці (верхній графік) і ЕРС датчика (нижній графік) в момент зупинки якоря для різних типів реле, підданих експерименту.

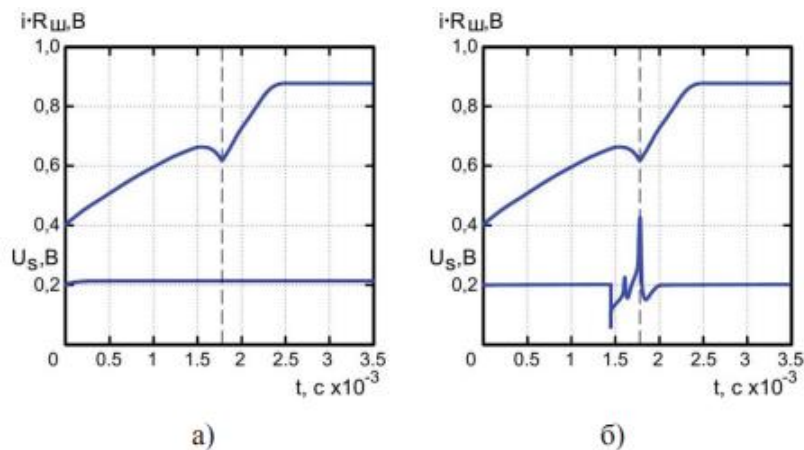


Рисунок 3.17 - Осцилограми струму в обмотці реле РПК59 і напруги на індукційному датчику: а) близько цоколя; б) зверху кожуха

Перший графік в кожній осцилограмі показує зміну струму в обмотці, а другий - ЕРС U_s , створювану обмоткою індукційного датчика під час руху рухомої системи реле.

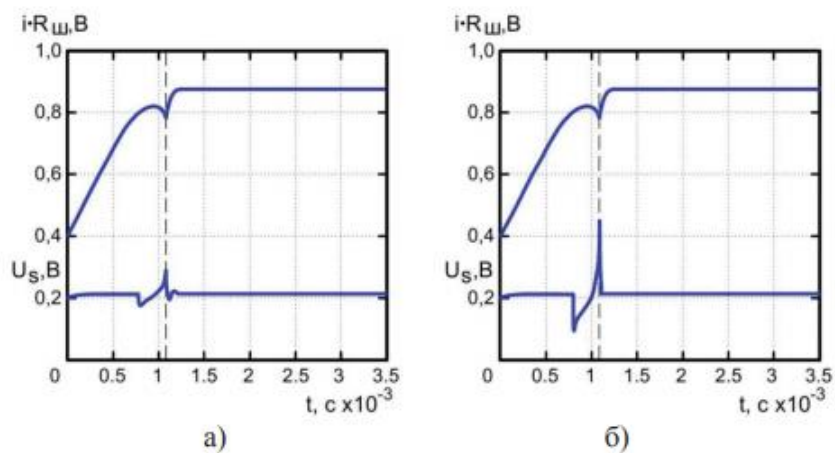


Рисунок 3.18 - Осцилограми струму в обмотці реле REC90 і напруги на індукційному датчику: а) близько цоколя; б) зверху кожуха

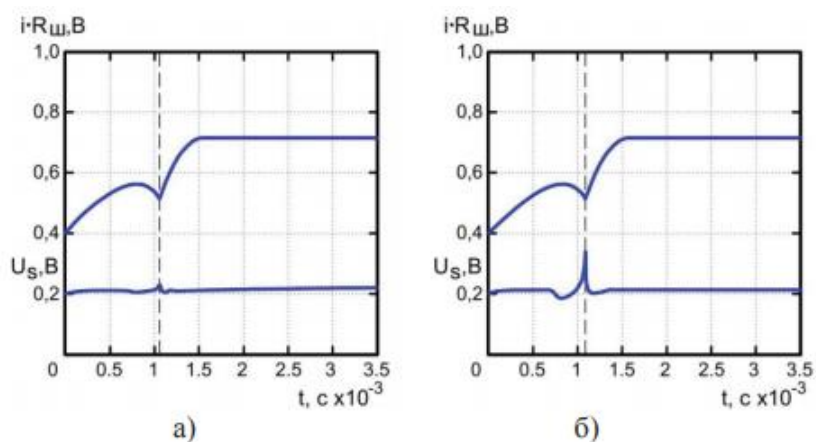


Рисунок 3.19 - Осцилограми струму в обмотці реле REC48 (без кожуха) і напруги на індукційному датчику: а) близько цоколя; б) зверху кожуха

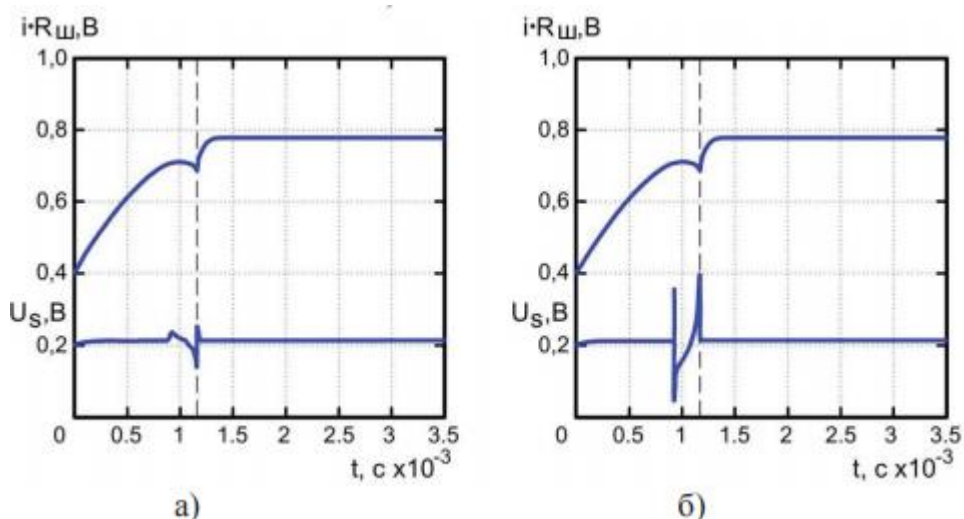


Рисунок 3.20 - Осцилограми струму в обмотці реле REK93 і напруги на індукційному датчику: а) близько цоколя; б) зверху кожуха

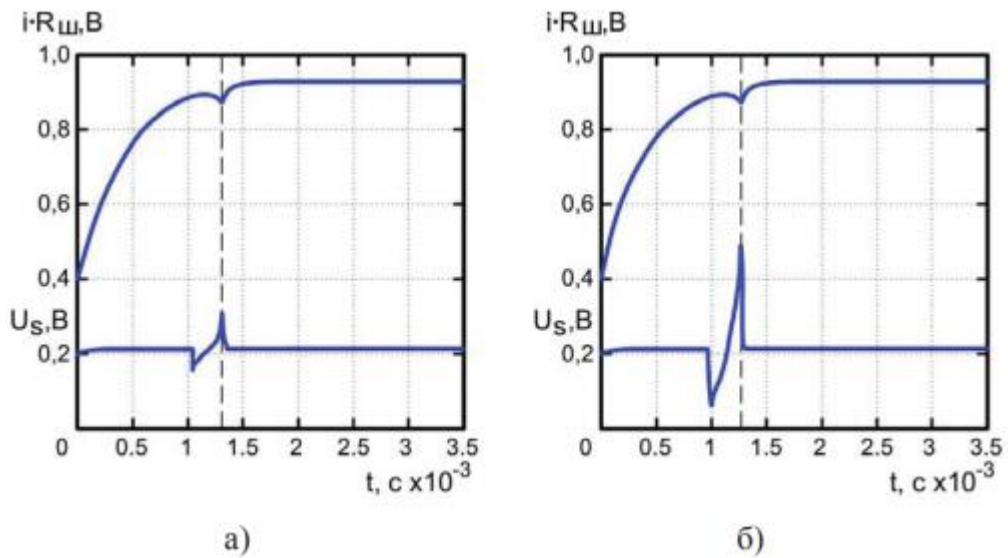


Рисунок 3.20 - Осцилограми струму в обмотці реле РЕК24 і напруги на індукційному датчику: а) близько цоколя; б) зверху кожуха

Неодноразові спроби застосування датчиків в серійному виробництві зазнали невдачі з наступних причин: значне зниження продуктивності, висока трудомісткість установки і фіксації, вплив перешкод. Але в даному випадку цей метод використовувався для реалізації процесів калібрування.

На підставі наведених осцилограм можна зробити висновок про те, що за допомогою індукційного датчика, на жаль, можна визначити тільки момент зупинки рухомої системи. У момент зупинки якоря відбувається характерна зміна напруги на датчику. Застосування індукційних датчиків дозволило зробити оцінку величини абсолютної похибки на рівні + 10 мкс, що цілком задовольняє сучасним потребам виробництва при значенні часу рушання і часу руху якоря на рівні 0,5 ... 4,0 мс.

Висновки до 3 розділу

1 Проведено аналіз можливості автоматизації існуючих способів контролю динамічних характеристик реле. Встановлено, що весь необхідний комплекс динамічних характеристик реле можна визначити за характерними точкам перехідних процесів, що протікають в колах управління і контактів реле.

2 Розроблено методику неруйнівного автоматизованого вимірювання часу зрушення, руху рухомої системи реле і часу спільного руху їх рухомий і контактної систем в комплексі з динамічними характеристиками, що визначаються за станом контактного кола.

3 Проведені експерименти в середовищі MATLAB повністю підтвердили гіпотезу про можливість непрямого вимірювання динамічних параметрів рухомої системи реле: часу початку руху, руху рухомої системи, часу спільного руху контактної і рухомий систем.

4 Запропоновано спосіб метрологічної оцінки результатів вимірювання часу зрушення і руху рухомої системи. Величина абсолютної похибки склала +10 мкс. Даний показник цілком задовольняє сучасним вимогам.

						Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ І ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ І ВИЯВЛЕННЯ НАЙБІЛЬШ ІНФОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЛЕ

4.1 Пошук шляхів підвищення ефективності методики класифікації реле по надійності

При поточному рівні виробництва, на жаль, зберігається можливість потрапляння ненадійних реле до споживача. Причому дефекти виявляються на кожному з етапів життєвого циклу реле, а саме на стадії поставки, в процесі вхідного контролю і подальшої експлуатації. Тут під дефектом розуміється значення параметра, що не задовольняє нормам, встановленим в технічних умовах на даний тип реле. Найпоширенішим дефектом є невідповідність нормам напруги (струмів) спрацьовування і повернення. Потім йдуть дефекти, пов'язані з неприпустимими змінами значень часових параметрів, опору кола контактів та короткочасних обривів кола обмотки. З огляду на області застосування реле, можна сказати, що проблеми розробки та впровадження ефективних заходів щодо запобігання виникненню,

Встановлено, що виявлення примірників реле з підвищеними значеннями рівнів спрацьовування, часових параметрів і опору кола контактів необхідно проводити на основі багаторазових вимірювань зазначених параметрів. Кожен вимір при цьому має проводитися в процесі, або після закінчення чергової комутації. Оптимальним є проведення не менше 20 ... 30 комутацій. При цьому слід зазначити, що нормативними документами передбачено лише одноразове вимірювання цих параметрів [3]. Було виявлено, що відхилення значень того чи іншого параметра (навіть якщо воно знаходиться в межах норм ТУ) від виміру до виміру є сигналом того, що в подальшому даний екземпляр реле буде працювати нестабільно. Ці фактори відіграють велику роль у виявленні потенційно ненадійних реле. Для прикладу в таблицях 4.1 і 4.2 приведені випадкові значення окремих параметрів двох дефектних реле ТЕК60 і РПС45.

Вимірювання рівнів спрацьовування (чутливості) проводилися 10 разів, а вимірювання опору кола кожного контакту 30 разів.

Як показують результати вимірювання (таблиці 4.1, 4.2), підвищені значення опору кола розмикаючих і замикаючих контактів R_k (при нормі 100 мОм) було виявлено на третьому, п'ятому та з дев'ятого по двадцять третій цикл вимірювання. У свою чергу підвищені значення напруги спрацьовування $U_{ср1}$ і $U_{ср2}$ (при нормі 14,5 В) були зафіксовані на п'ятому і дев'ятому циклах виміру відповідно. При одноразовому вимірі параметрів дані дефекти не могли бути виявлені і екземпляри реле, ідентифіковані як придатні, потрапили б до споживача. При одноразових вимірюваннях на вхідному контролі також досить велика імовірність невиявлення дефектів [3]. Тим часом підвищені значення напруги спрацьовування і опору кола контактів фактично свідчить про те, що реле в декількох комутаціях не виконало свою функцію.

Таблиця 4.1 - Результати багаторазового вимірювання опору контактів реле

						Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РЕК60

Опір контактів, мОм				
Номер тесту	Нормально замкнений 1	Нормально розімкнений 1	Нормально замкнений 2	Нормально розімкнений 2
1	50	82	53	56
2	68	58	51	55
3	101	62	52	55
4	67	53	52	55
5	54	601	51	55
6	52	71	52	55
7	93	93	53	55
8	60	53	52	55
9	51	54	51	55
10	52	53	52	55
11	50	53	52	55
12	51	53	52	55
13	51	53	53	55
14	50	53	53	55
15	51	53	53	55
16	50	53	52	55
17	51	53	53	55
18	51	53	52	55
19	51	85	53	55
20	234	649	52	55
21	54	93	53	55
22	168	55	53	55
23	140	59	53	55
24	53	53	53	55
25	53	53	52	55
26	51	53	52	55
27	50	55	53	55
28	51	58	52	55
29	53	62	53	55
30	52	53	53	55

Таблиця 4.2 - Результати вимірювання напруги спрацьовування реле РПС45

Номер тесту	U _{CP1} , В	U _{CP2} , В	Номер тесту	U _{CP1} , В	U _{CP2} , В
1	11,77	11,53	6	13,78	11,54
2	12,83	11,52	7	14,16	11,54
3	13,4	11,53	8	14,35	11,45
4	13,3	11,52	9	15,34	11,56

5	14,75	11,55	10	14,17	11,54
---	-------	-------	----	-------	-------

Прогнозування ресурсу і надійності роботи реле є найважливішим компонентом при оцінці їх довговічності і прийнятті рішень про можливість продовження термінів експлуатації реле. В даний час випробування за оцінкою ресурсу і надійності роботи реле виробляються руйнівними методами з застосуванням установок, які забезпечують контроль роботи реле в жорстких режимах експлуатації [9, 15]. Результати таких випробувань поширюються на всі реле подібного типу. При цьому число безвідмовно виконаних комутацій змінюється в дуже широких межах. Воно може відрізнятись в 3-5 разів, що робить практично неможливим застосувати отримані оцінки по відношенню до конкретного екземпляру реле.

Тому розробка методики по індивідуальній оцінці ресурсу і надійності роботи конкретного екземпляра реле із застосуванням засобів неруйнівного контролю є пріоритетною.

Для прогнозування ресурсу і надійності роботи технічних систем (в даному випадку - реле) використовуються два підходи - детерміністський і імовірно-статистичний [1]. За відомостями, наведеними в [1], детерміністський підхід вимагає меншої трудомісткості, однак імовірно-статистичний метод дає більш точний прогноз. До значущої переваги імовірно-статистичного методу слід віднести можливість обліку ознак різної фізичної природи.

Прикладом детерміністського підходу є дослідження [2], де упор робиться на методах дискримінантного аналізу, які використовуються для виявлення потенційно ненадійних реле. В якості діагностичних ознак технічного стану реле авторами використано обмежену кількість його динамічних параметрів, отриманих ручним осцилографічним способом. Зокрема, при аналізі не враховувалися електричні параметри реле. Оцінка надійності роботи того чи іншого примірника реле по одноразовому вимірюванню може привести до істотної втрати точності. Адже значення використовуваних динамічних параметрів, що не виходять за допуски, встановлені технічною документацією, не гарантують нормальних значень електричних параметрів, а також їх відхилень з плином часу. Наприклад, у дефектних реле РЕК60 і РПС45 (таблиці 4.1 і 4.2) значення динамічних параметрів перебували в нормі.

Необхідно мати можливість визначати найбільш інформативні параметри неруйнівними методами по можливості без втрати точності класифікації. Можна зробити висновок про те, що кількість діагностичних ознак повинно бути розширено. Також необхідний облік змін їх значень з плином часу [11, 13]. Застосування елементів обмеження ЕРС самоіндукції можливо зажадає використання окремих методики прогнозування надійності вбудованих всередину реле напівпровідникових комплектуючих виробів [10, 12].

З урахуванням зазначених передумов пропонується методика по виявленню найбільш інформативних параметрів і прогнозування ресурсу реле. Пропонується використовувати в якості діагностичних ознак практично повну

						Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гаму його основних електричних і динамічних параметрів, що реєструються в даний час при випробуваннях реле, в тому числі і характеристики, що оцінюють нестабільність параметрів з плином часу. Нижче наведена номенклатура електричних і динамічних параметрів, які пропонується враховувати при прогнозуванні ресурсу:

- напруга спрацьовування $U_{\text{ср}}$;
- напруга повернення $U_{\text{возвр}}$;
- опір кола контактів R_k ;
- час спрацьовування $t_{\text{ср}}$;
- час повернення $t_{\text{возвр}}$;
- час перельоту $t_{\text{пер}}$;
- час брязкоту $t_{\text{др}}$;
- час рушання $t_{\text{р}}$;
- час спільного ходу рухомої системи і контактів $t_{\text{сх}}$;
- відхилення напруги спрацьовування від мінімального (максимального)

рівня $\Delta U_{\text{ср}}$;

- відхилення напруги повернення від мінімального (максимального)

рівня $\Delta U_{\text{возвр}}$;

- відхилення опору кола контактів від мінімального (максимального

рівня) ΔR_k ;

- опір ізоляції реле $R_{\text{із}}$.

Беручи до уваги багаторазово зрослий обсяг реалізацій діагностичних ознак, для прогнозування ресурсу пропонується використовувати метод Байеса [1]. За оцінками, наведеними в [1], даний метод вважається найбільш надійним і ефективним методом технічної діагностики. Вибір найбільш інформативних параметрів проводиться на основі визначення діагностичної цінності значень параметрів реле.

Ефективне застосування імовірно-статистичного методу неможливо без використання автоматизованих установок для вимірювання електричних і динамічних параметрів реле із застосуванням засобів обчислювальної техніки, що дозволяють проводити багаторазові вимірювання з подальшою статистичною обробкою.

Значення діагностичних ознак в процесі дослідження повинні отримуватись за допомогою спеціалізованих вимірювальних систем (рисунок 4.1).

						Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

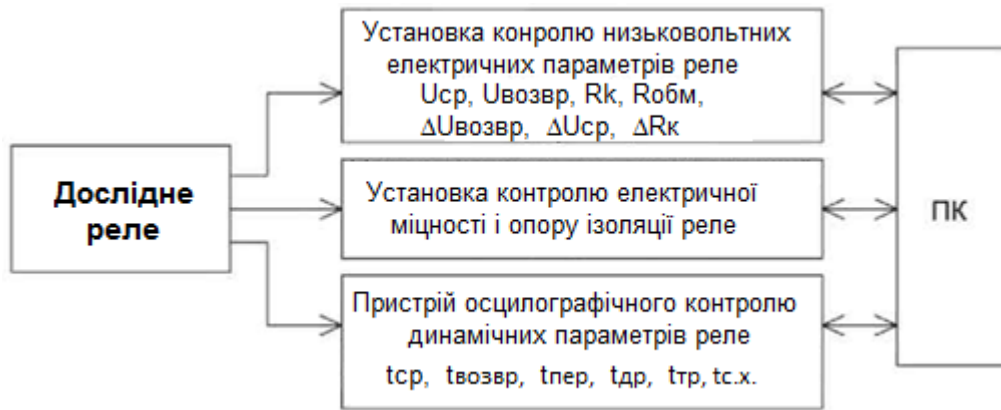


Рисунок 4.1 - Структурна схема системи визначення електричних і динамічних параметрів реле для його діагностування

За допомогою вимірювальної системи проводиться багаторазові вимірювання опору обмотки $R_{обм}$, опору кола кожного контакту R_k , напруги спрацьовування $U_{сп}$ і повернення $U_{возвр}$. Крім цього оцінювалася їх нестабільність $\square R_k$, $\square U_{сп}$, $\square U_{возвр}$ за величиною різниці між мінімальним і максимальним значеннями параметра.

Для виявлення примірників реле з порушеннями електричної ізоляції пропонується використовувати установку EP-40, яка контролює електричну міцність $U_{пр}$ і опору ізоляції $R_{із}$ між усіма струмоведучими частинами, а також між усіма струмоведучими частинами і корпусом реле.

Розроблені вимірювальні системи дозволяють формувати базу даних для деякої партії реле певного типу. Ресурс і надійність роботи даної партії оцінювалися шляхом ресурсних випробувань. Спільна обробка бази даних значень електричних і динамічних параметрів і результатів ресурсних випробувань дозволяє визначити найбільш значущі для оцінки надійності інформативні параметри і критерії їх контролю. В результаті реалізується можливість спрогнозувати ресурс і оцінити надійність роботи реле. Для вирішення даного завдання крім апаратних засобів необхідно розробити програмне забезпечення з прогнозування ресурсу, надійності роботи реле і виявлення його найбільш інформативних параметрів.

4.2 Теоретичні основи імовірно-статистичного підходу до прогнозування ресурсу і виявлення інформативних параметрів реле

Як статистична інформація повинна розглядатись сукупність діагностичних ознак технічного стану реле.

Пропонується при класифікації реле використовувати розширену гамму його електричних і динамічних параметрів. Як значення прогнозів приймається кількість безвідмовно виконаних комутацій, досягнуте в процесі подальших ресурсних випробувань.

При розробці методики повинен бути врахований той факт, що ресурс і надійність роботи реле можуть варіюватися в залежності від його конструктивних особливостей і режимів експлуатації. Тому прогнози повинні

будуватися для кожного типу реле індивідуально з урахуванням допустимого електричного навантаження контактів і зовнішніх факторів, що впливають.

4.2.1 Статистична обробка та визначення діагностичних ваг значень параметрів герметичних електромагнітних реле

В якості реалізацій діагностичних ознак використовується база даних, що містить значення параметрів реле. Діагностичні ознаки відображають технічний стан реле. Розроблена методика передбачає віднесення досліджуваного об'єкта до того чи іншого прогнозу. Діагностична цінність конкретної ознаки необхідна для опису об'єкта в системі ознак. Ознаки з низьким діагностичним вагою можна виключати в процесі імовірно-статистичного аналізу.

Для складання діагностичної матриці та навчання алгоритму класифікації необхідно мати вибірку реле, які пройшли ресурсні випробування, перед проведенням яких у кожного примірника реле визначалися значення електричних і динамічних параметрів. Відповідно до загальних рекомендацій [1] запропоновано при вимірюванні параметрів в партії реле отримані значення кожного діагностичного ознаки розбивати на m діагностичних інтервалів. Кількість діагностичних інтервалів і їх діапазон в кінцевому рахунку впливають на ефективність обстеження. Якщо при аналізі використовується недостатня кількість інтервалів, то це може привести до зниження діагностичної цінності обстеження. У той же час надмірна кількість діагностичних інтервалів ускладнює і збільшує в часі процес обробки інформації. Тому запропоновано «розбивку» інтервалів проводити, ґрунтуючись на багаторічних статистичних даних і критеріях, що склалися на підприємстві. Наприклад, значення опору кола контактів були розбиті на піддіапазони: (10 ... 40) мОм, (40 ... 100) мОм, (100 ... 200) мОм, (200 ... 2000) мОм.

За результатами руйнівних випробувань для оцінки ресурсу приймається кілька прогнозів St . Роль прогнозів виконують отримані значення кількості безвідмовно виконаних комутацій, розбиті на інтервали. Наприклад, якщо якась частина реле виконала від 7 до 10 тисяч безвідмовних комутацій, то такий діагноз позначимо S_1 , інша частина досліджуваних реле виконала від 10 до 15 тисяч комутацій - S_2 , і т. Д. Кількість прогнозів встановлюється дослідником в залежності від поставлених завдань.

Імовірність настання кожного прогнозу визначається за формулою

$$P(S_i) = \frac{N_i}{N}, \quad (4.1)$$

де N_i - кількість виробів з даними прогнозом; N - загальна кількість виробів.

Знаходимо імовірність появи ознаки у об'єктів з прогнозом S_i . Якщо серед N_i об'єктів, що мають прогноз S_i у N_{jv} , з'явиться ознака K_{jv} , то імовірність появи цієї ознаки с певним значенням інтервалу визначається за формулою

$$P(K_{jv}/S_i) = \frac{N_{jv}}{N_i}.$$

						Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(4)
.2)

Відповідно до [1] формула для оцінки діагностичного ваги ознаки з визначеним інтервалом має вигляд

$$Z_{S_i}(K_{jv}) = \log \frac{P(K_{jv}/S_i)}{P(K_{jv})}, \text{-----} \quad (4.3)$$

де $P(K_{jv}/S_i)$ - імовірність появи інтервалу v ознаки K_j у реле з діагнозом S_i ; $P(K_{jv})$ - імовірність одночасної появи кожного інтервалу кожної ознаки при конкретному прогнозі. Величина $P(K_{jv})$ розраховується за формулою

$$P(K_{jv}) = \sum_{i=1}^n P(S_i) P(K_{jv}/S_i), \quad (4.4)$$

де $P(S_j)$ - апіорна імовірність діагнозу. Підставивши вираз (4.4) в формулу (4.3), отримаємо

$$Z_{S_i}(K_{jv}) = \log \frac{P\left(\frac{K_{jv}}{S_i}\right)}{\sum_{i=1}^n P(S_i)P\left(\frac{K_{jv}}{S_i}\right)}. \quad (4.5)$$

У теорії інформації величина $Z_{S_i}(K_{jv})$ несе інформацію про діагноз S_i після визначення ознаки K_{jv} . Після встановлення реалізації ознаки K_j в інтервалі v імовірність діагнозу S_i може збільшитися $P(S_i/K_{jv}S_i) > P(S_i)$, якщо $Z_{S_i}(K_{jv}) > 0$ (діагностична вага даного інтервалу ознаки для даного стану позитивний). При $Z_{S_i}(K_{jv}) = 0$ значення параметра не змінюють імовірність діагнозу $P(S_i/K_{jv}S_i) = P(S_i)$. Значення діагностичного ваги інтервалу v ознаки K_j може бути негативним, що означає заперечення даного діагнозу. Значення діагностичного ваги підтверджує або заперечує даний діагноз. Чим більше його значення, тим більше ступінь підтвердження або заперечення розглянутого діагнозу.

4.2.2 Вибір найбільш інформативних параметрів і класифікація реле по надійності

Діагностична вага значення тієї чи іншої ознаки використовується тільки по відношенню до конкретного діагнозу, підтверджуючи або заперечуючи його в тій чи іншій мірі. Однак це не дає уявлення про діагностичну цінність обстеження за конкретною ознакою для кожного діагнозу. Усереднення значень діагностичного ваги за всіма значеннями діагностичної ознаки і за всіма діагнозами знаходиться діагностична цінність обстеження.

Діагностична цінність обстеження за ознакою K_j для діагнозу S_i є величина інформації, яку вносять всі реалізації ознаки K_j для встановлення вказаного діагнозу [1]

$$Z_{S_i}(K_j) = \sum_{s=1}^m Z_{S_i}(K_{jv})P\left(\frac{K_{jv}}{S_i}\right). \quad (4.6)$$

Скориставшись формулою (4.5), отримуємо

						Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_{S_i}(K_j) = \sum_{S=1}^m P(K_{jv}/S_i) \log \frac{P(K_{jv}/S_i)}{\sum_{i=1}^n P(S_i) P(K_{jv}/S_i)}, \quad (4.8)$$

де m - кількість інтервалів ознаки.

$Z_{S_i}(K_j)$ є приватною діагностичної цінністю обстеження за ознакою K_j , тому як відноситься до одного конкретного діагнозу (може бути розрахована для кожного прогнозу).

Загальна діагностична цінність обстеження [12] або кількість інформації, внесене обстеженням в систему діагнозів, розраховується за формулою

$$Z_s(K_j) = \sum_{i=1}^n Z_{S_i}(K_{jv})P(S_i). \quad (4.8)$$

Іншими словами, $Z_s(K_j)$ - це усереднене значення інформації, що вноситься обстеженням для постановки невідомого заздалегідь діагнозу.

За значеннями загальної діагностичної цінності обстеження виявляємо найбільш інформативні ознаки.

Для оцінки впливу найбільш інформативних діагностичних ознак в процедурі прийняття рішень постановки діагнозу досліджуваного реле використовуємо узагальнену формулу Байеса [11]

$$P(S_i/K_{\text{компл}}) = \frac{P(S_i) P(K_{\text{компл}}/S_i)}{\sum_{S=1}^n P(S_i) P(K_{\text{компл}}/S_i)}, \quad (4.9)$$

де $P(K_{\text{компл}}/S_i)$ - імовірність появи комплексу найбільш інформативних ознак, що обчислюється за формулою

$$P(K_{\text{компл}}/S_i) = P(K_1/S_i) P(K_2/S_i) \dots P(K_n/S_i). \quad (4.10)$$

Тоді реле зі значеннями комплексу ознак $K_{\text{компл}}$ поставимо діагноз S_i , імовірність появи якого $P(K_{\text{компл}}/S_i)$ максимальна.

$K_{\text{компл}} \in S_i$, если $P(S_i/K_{\text{компл}}) > P(S_j/K_{\text{компл}})$, где $j = 1, 2, \dots, n; j \neq i$.

В результаті вирішуються обидві поставлені завдання: пошук найбільш інформативних параметрів, що характеризують надійність роботи реле і завдання прогнозування ресурсу і надійності роботи реле. Прогноз повинен проводитися для кожного типу реле і режиму експлуатації окремо. Складання діагностичної матриці, визначення найбільш інформативних параметрів і класифікація реле на основі значень діагностичних ознак повинні здійснюватися відповідно до номінальних електричних режимів комутаційного навантаження контактів і зовнішніх факторів, що впливають.

4.3 Експериментальні дослідження методики пошуку найбільш інформативних параметрів і прогнозування ресурсу реле

Для підтвердження можливості прогнозування ресурсу і пошуку найбільш інформативних параметрів реле відповідно до запропонованої методики, проведені експериментальні дослідження із застосуванням широко

						Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосованих в промисловості реле РЕС47.

Для експерименту були використані дві вибірки одностабільних реле РЕС47: навчальна і дослідна. Процес навчання передбачає формування діагностичної матриці (бази даних), що складається з безлічі значень параметрів, розбитих на інтервали - K_{jv} , отриманих на основі попереднього статистичного матеріалу навчальної вибірки реле. В якості діагностичних ознак були використані динамічні характеристики $t_1 \dots t_{16}$, а також наступні основні найбільш значущі електричні: $U_{ср}$, $U_{взвр}$, R_k , $\square U_{ср}$, $\square U_{взвр}$, $\square R_k$, $R_{із}$. Значення кожного параметра були розбиті на 2-4 інтервали. Навчальна вибірка реле піддавалася руйнівним випробувань на зносостійкість. За їх результатами визначено ресурс кожного примірника реле. Діапазон безвідмовно виконаних комутацій всієї навчальної вибірки був розбитий на 4 прогнозованих ресурсі $S_1 \dots S_4$ (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 - Таблиця діагнозів безвідмовної роботи

Номер діагнозу	Кількість безвідмовно виконаних комутацій	Кількість реле
S1	Менше 7	56
S2	7...15	83
S3	15...23	115
S4	Більше 23	42

За найбільшим значенням імовірностей в навчальній вибірці визначено найбільш інформативні параметри:

$t_{др}$ - час брязкоту контактів;

$\square R_k$ - різниця між мінімальними і максимальними значеннями опору кола контактів при багаторазових вимірах;

$t_{сх}$ - час спільного руху рухомої системи і контактів, для прогнозування ресурсу даного типу реле. Виявлено, що одним з ознак з високою інформативністю виявився електричний параметр $\square R_k$, ще раз свідчить про те, що прогнозування ресурсу тільки за динамічними характеристиками може привести до істотного зниження його достовірності.

Використовуючи значення найбільш інформативних ознак $K_{компл}$, що складаються зі значень $t_{др}$, $\square R_k$, $t_{сх}$ проводимо класифікацію реле за методом Байеса всієї вибірки. Для прикладу візьмемо реле, яке підлягає класифікації і має наступні значення найбільш інформативних параметрів (комплекс ознак): $t_{др} = 0,26$ мс; $\Delta R_k = 19$ мОм; $t_{сх} = 0,13$ мс.

Імовірність появи комплексу ознак при наявності діагнозу S_i обчислюється за формулою (4.10).

Для розглянутого випадку формула (4.10) приймає вид

$$P(K_{компл} / S_i) = P(K_{72} / S_i) P(K_{102} / S_i) P(K_{112} / S_i).$$

Підставивши чисельні значення з (4.5), знайдемо імовірність появи комплексу ознак для кожного діагнозу:

$$P(K_{\text{компл}}/S_1) = 0,06 \cdot 0,09 \cdot 0,14 = 0,00076;$$

$$P(K_{\text{компл}}/S_2) = 0,09 \cdot 0,24 \cdot 0,25 = 0,0054;$$

$$P(K_{\text{компл}}/S_3) = 0,38 \cdot 0,58 \cdot 0,62 = 0,137;$$

$$P(K_{\text{компл}}/S_4) = 0,43 \cdot 0,69 \cdot 0,84 = 0,249.$$

В результаті розрахунку по формулі (4.9) отримуємо наступні значення апостеріорного ймовірностей розглядаються чотирьох діагнозів:

$$P(S_1/K_{\text{компл}}) = 0,00159;$$

$$P(S_2/K_{\text{компл}}) = 0,0168;$$

$$P(S_3/K_{\text{компл}}) = 0,594;$$

$$P(S_4/K_{\text{компл}}) = 0,387.$$

Відповідно до максимального значення найбільшої ймовірності даний екземпляр реле повинен бути віднесений до діагнозу S3. Це означає, що прогнозований ресурс даного аналізованого примірника реле складе від 15 до 23 тисяч безвідмовно виконаних комутацій.

4.4 Програмне забезпечення для класифікації реле по надійності і виявлення найбільш інформативних параметрів

Для автоматизації процесів класифікації реле і відбору найбільш інформативних параметрів необхідно розробити спеціалізоване програмне забезпечення. Програма «Програма класифікації реле по надійності» (програма прогнозування ресурсу і пошуку найбільш інформативних параметрів реле) дозволить працювати в режимах навчання алгоритму класифікації і безпосередньо класифікації реле.

У режимі навчання алгоритму класифікації проводиться введення параметрів реле для навчання алгоритму і пошуку набору найбільш інформативних параметрів. У режимі «класифікація реле» проводиться безпосередньо класифікація реле за отриманими в процесі навчання даними.

На рисунку 4.2 показано головне вікно режиму навчання алгоритму класифікації.

						Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Имя файла	tтр.я	tдв.я	tс.х.я	Iя	tn.ср	Робм	Статус
РЭС-90 20-1	0	0	0	0	0	0	Исключен
РЭКВ0 №1-1	1.0300	0.5620	0.0640	0.1110	0.0440		
РЭКВ0 №1-2	0	0	0	0	0		Исключен
РЭКВ0 №1(1)	1.1040	0.5270	0.0690	0.1070	0.0560		
РЭКВ0 №2-1	1.1530	0.5690	0.0520	0.1150	0.0450	10	Брак
РЭКВ0 №2-2	1.1280	0.6520	0.0790	0.1050	0.0470		Годное
РЭКВ0 №3-1	1.5440	0.3640	0.0810	0.1030	0.0590		
РЭКВ0 №3-2	1.1950	0.6730	0.0610	0.1080	0.0550		Годное
РЭКВ0 №4-1	1.3080	0.3660	0.0280	0.1170	0.0480		
РЭКВ0 №4-2	1.1620	0.5250	0.0670	0.1140	0.0440		
РЭКВ0 №5-1	1.1690	0.6120	0.0850	0.1110	0.0720		
РЭКВ0 №5-2	1.4710	0.3130	0.0500	0.1110	0.0600		
РЭКВ0 №6-1	0.9870	0.4360	0.0440	0.1110	0.0570		
РЭКВ0 №6-2	0.9700	0.4490	0.0740	0.1110	0.0670		
РЭКВ0 №7-1	1.4160	0.2520	0.0640	0.1100	0.0580		
РЭКВ0 №7-2	1.0720	0.6330	0.0930	0.1060	0.0560		
РЭКВ0 №8-1	1.4400	0.2940	-0.0940	0.1220	0.1480		
РЭКВ0 №8-2	0	0	0	0	0		Исключен
РЭКВ0 №9-1	1.3530	0.2110	0.0530	0.1130	0.0480		Исключен
РЭКВ0 №9-2	1.3310	0.2290	-0.0450	0.1110	0.1270		
РЭКВ0 №10-1	1.4460	0.3120	0.0400	0.1050	0.0440		

Рисунок 4.2 - Вікно навчання алгоритму класифікації

У ньому містяться значення параметрів реле, отримані за допомогою автоматизованої систем вимірювань і пристрої контролю динамічних характеристик (рисунок 4.1). Тут також наведені результати навчання алгоритму класифікації. У стовпці «Статус» оцінюється стан реле за результатами вимірювання параметрів: порожній рядок, «Виключений» або «Брак» - результати тестування даних примірників реле не будуть враховуватися при розрахунках, «придатних» або незаповнений поле - значення параметрів зазначеного примірника приймаються в розрахунок.

Програма дозволяє робити інтерактивну редакцію параметрів, що вводяться. На рисунку 4.3 приведено вікно зміни набору параметрів реле.

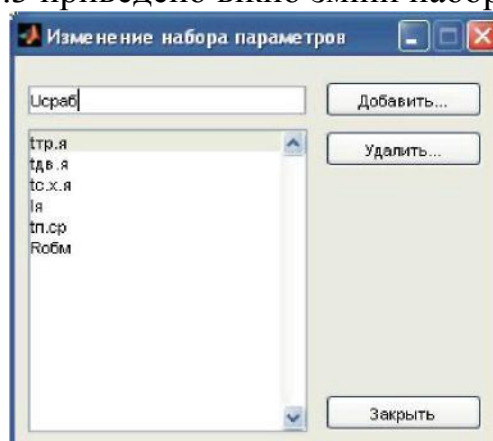


Рисунок 4.3 - Вікно зміни набору параметрів

У списку представлені поточні параметри. За допомогою кнопок можна управляти додаванням/видаленням параметрів. Процес навчання алгоритму

класифікації залежить від введених даних. Він може закінчитися повідомленням про помилку, якщо даних недостатньо або серед них є помилкові значення. У разі вдалого завершення розрахунків з'являється вікно зі списком найбільш інформативних параметрів.

Розглянемо окремо реалізацію режиму класифікації реле (рисунок 4.4).

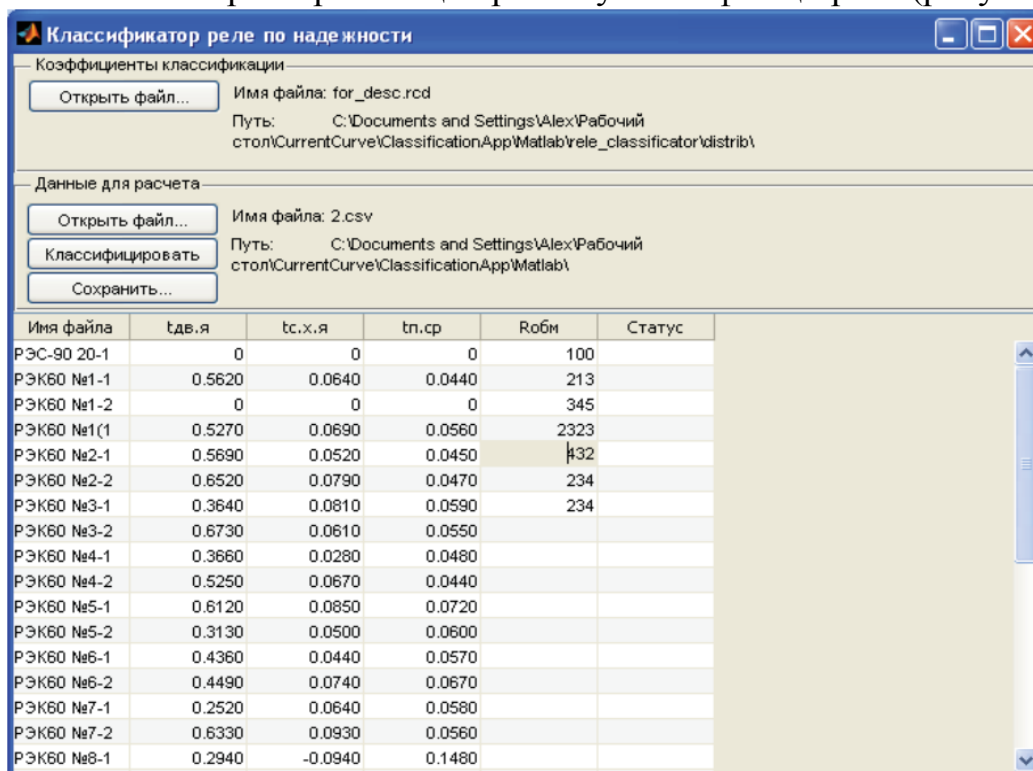


Рисунок 4.4 - Вікно класифікації реле

Кнопка «Відкрити файл» в розділі «Дані для розрахунку» служить для заповнення значень найбільш інформативних параметрів. У режимі «Впорядкувати» проводиться класифікація реле. За результатами класифікації програмою заповнюється стовпець «Статус». Передбачена можливість зберегти вміст таблиці в форматі Microsoft Excel.

Впровадження розробленої програми дозволило автоматизувати процеси вибору найбільш інформативних параметрів герметичних слабкострумів електромагнітних реле і їх класифікації за надійністю.

Розроблене програмне забезпечення дозволить здійснювати прогнозування ресурсу і надійності роботи реле за допомогою неруйнівних методів контролю. Розроблена методика і програмне забезпечення може бути використане для вибіркового аналізу в процесі проведення дослідницьких робіт зі створення нових зразків релейної техніки.

Висновки

1. Запропоновано застосування імовірно-статистичного підходу для оцінки ресурсу, надійності роботи і виявлення найбільш інформативних ознак слабкострумів герметичних електромагнітних реле.

2. Розроблено методику оцінки ресурсу та виявлення найбільш інформативних параметрів, що впливають на надійність роботи реле. Розроблено програму, що реалізує запропоновану методику, засновану на використанні значенні розширеної номенклатури діагностичних ознак, одержуваних неруйнівними методами.

3. Широке застосування запропонованої методики і програмного забезпечення дозволяє проводити в необхідних випадках підбір примірників реле з задається ступенем надійності, що вкрай затребуване для ряду унікальних виробів.

						Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

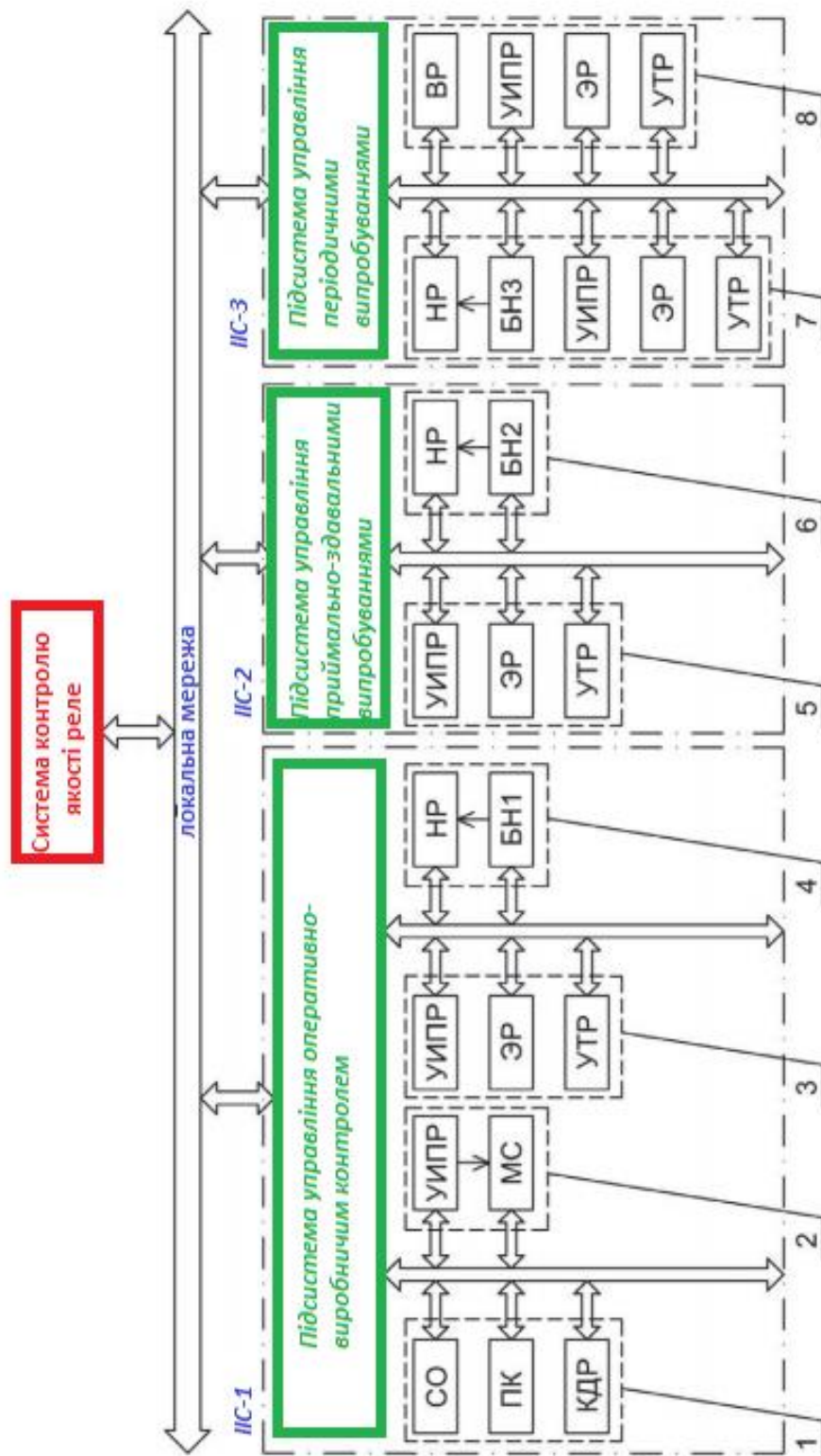


Рисунок 5.1 - Функціональна схема інформаційно-керуючої системи контролю якості реле

Така система повинна включати в себе три інформаційно-вимірювальні системи (ІВС):

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- ІВС-1, призначена для контролю характеристик реле в оперативно-виробничому процесі;
- ІВС-2, що служить для оцінки параметрів реле при приймально-здавальних випробуваннях;
- ІВС-3, яка використовується для випробувань і контролю параметрів реле в процесі їх періодичних випробувань.

Допоміжні пристрої БН1, БН2, БЗ призначені для створення електричних навантажень низького, середнього і високого рівнів. Блок МС - для намагнічування і розмагнічування постійних магнітів в процесі регулювання реле.

Цифрами 1 ... 8 позначені операції, що проводяться на стадіях виробництва реле:

- 1 термотренування комутуючих пристроїв;
- 2 контроль електричних і часових параметрів комутуючих пристроїв;
- 3 регулювання реле;
- 4 виготовлення вузлів кола управління реле;
- 5 бракувальної випробування реле на кліматичні впливу;
- 6 контроль електричних і часових параметрів реле;
- 7 випробування на зносостійкість і зносостійкість (ресурсні) з перевіркою параметрів реле в різних кліматичних умовах;
- 8 контроль параметрів в процесі випробувань на вплив лінійних прискорень, вібрації і ударів.

Кількість вимірювальних систем залежить від обсягів продукції, що випускається. Вимірювальні системи СО, КДР, ЕР, ІР, УІПР, ВР і УТР призначаються як для автономного використання, так і для використання в складі інтегрованих комплексів.

Результати контролю, що передаються від вимірювальних систем, акумулюються в центрах збору і аналізу інформації відповідних керуючих підсистем. При цьому з'являється можливість простежувати стан якості вироблених реле і стабільності технологічного процесу в реальному часі зі збереженням багатоступінчатості контролю. Підвищуються оперативність обробки та достовірність отриманої інформації.

Представлена автоматизована система контролю якості реле дозволяє забезпечити виконання таких основних функцій:

- вимірювання, випробування та реєстрація параметрів реле на відповідність діючим нормативним документам;
- виявлення, відбраковування і реєстрація дефектних реле з класифікацією за видами дефектів;
- обробка та видача інформації про частку дефектних реле в кожній партії і динаміці якості вироблених реле;

						Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- формування статистичних даних і узагальненої інформації про стабільність технологічного процесу виготовлення реле.

В результаті розробки і впровадження запропонованих вимірювальних систем, що і є однією з цілей цієї дисертаційної роботи, виробництво реле забезпечується сучасною апаратурою, що дозволяє проводити випробування, вимірювання параметрів і діагностику реле на якісно новому рівні з максимальною автоматизацією цих процесів. Це послужить основою для реалізації автоматизованої системи контролю якості в цілому. Крім цього вимірювальні системи протягом декількох останніх років використовуються в технологічному процесі виробництва і на входному контролі у споживачів реле [2, 6].

5.2 Вимірювальна система контролю опору обмоток реле постійного струму в широкому динамічному діапазоні

Для реалізації запропонованого в цій магістерській роботі методу вимірювання опору обмотки постійному струму розроблена вимірювальна система, що забезпечує перевірку реле різних типів в процесі їх серійного виробництва (рисунок 5.2).

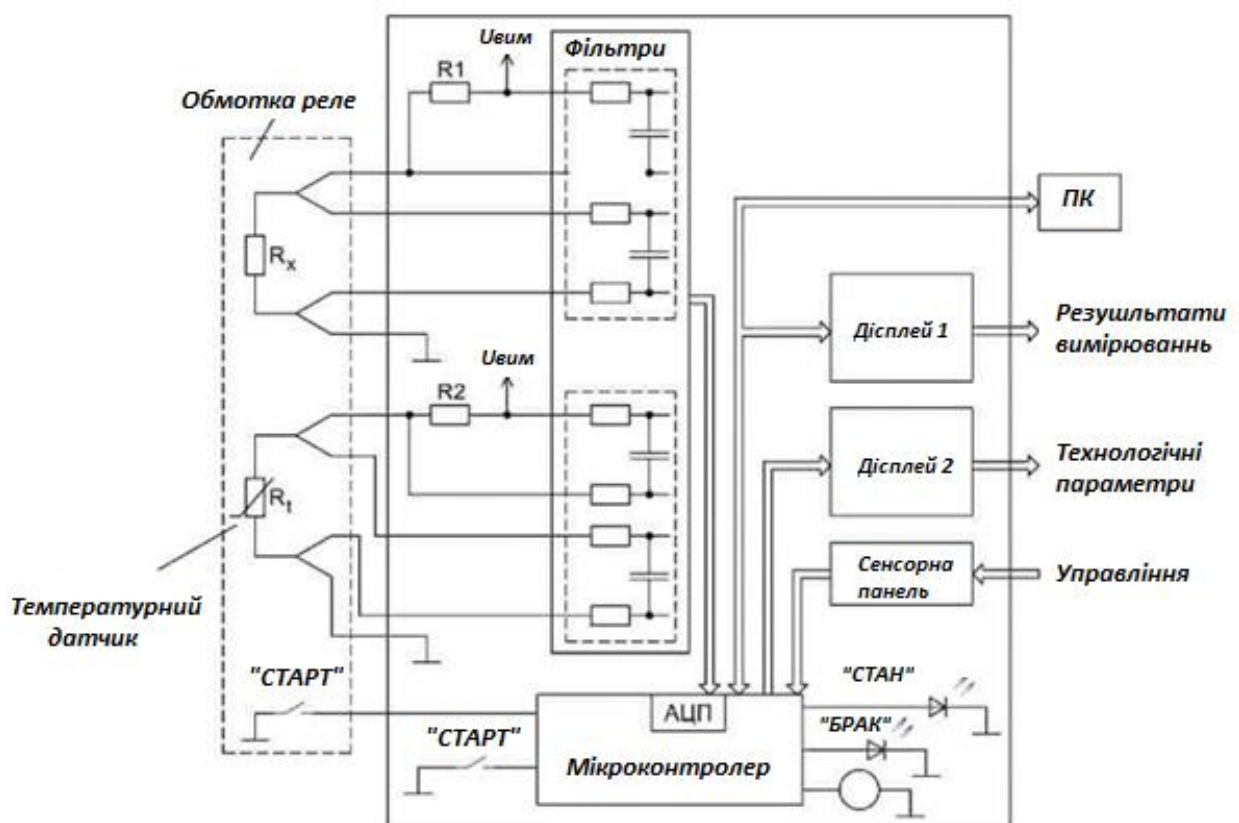


Рисунок 5.2. Функціональна блок-схема вимірювальної системи контролю опору обмоток

Вимірювальна система містить наступні вузли і блоки:

					Арк.
					81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- 1 пристрій, необхідний для підключення контрольованих обмоток;
- 2 термодатчик, призначений для вимірювання температури навколишнього повітря;
- 3 аналого-цифровий перетворювач АЦП, який використовується для вимірювання опорів обмоток і термодатчика;
- 4 мікроконтролер, що служить для управління вузлами схеми, в тому числі пристроями введення-виведення.

Технічні характеристики вимірювальної системи приведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Технічні характеристики приладу СО-11

Найменування характеристики	значення
Кількість контрольованих обмоток	1
Діапазон вимірювання опору, Ом	1 ... 10 ⁵
Вимірювальний струм (що протікає через вимірювану обмотку) мА, не більше	7
Час вимірювання с,	1
Діапазон вимірювання температури, ° С	10-35
Похибка вимірювання температури, ° С	± 0,2
Похибка вимірювання опору обмотки і його процентного відхилення від номінального значення з приведенням до температури 20°С,%	± 1,0

Принцип роботи системи полягає в наступному. За сигналами від мікроконтролера проводиться вимірювання двох опорів - контрольованої обмотки і термодатчика. За допомогою виміряного значення опору термодатчика обчислюється температура навколишнього середовища. Приведення виміряного значення до температури 20°С здійснюється за формулою (1.2) з використанням обчисленого значення температури навколишнього середовища. У вимірювальній системі є можливість автоматичного визначення відхилення значення опору обмотки, приведенного до температури 20°С, у відсотках від номінального значення, введеного перед початком вимірювань.

До персонального комп'ютера система підключається по USB інтерфейсу, а передача даних здійснюється по Modbus протоколу [15].

При автономній роботі взаємодію користувача з системою здійснюється за допомогою сенсорної панелі і кнопок запуску вимірювання (одна розташована на приладі, а друга на підключення до мережі мають). Для відображення результатів вимірювання використовується знаковіттезуючий дисплей 1. Для відображення розширеної інформації використовується TFT дисплей 2. Стан приладу і результат вимірювання (брак/норма) повідомляються оператору за допомогою двоколірних світлодіодів (червоний/зелений).

						Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Звукове сповіщення про події (кінець вимірювання, помилка) проводиться через зумер.

Програмне забезпечення для ПК написано на мові C ++. Воно являє собою дві незалежні програми.

Перша програма призначена для користувача. Вона дозволяє проводити вимірювання і змінювати налаштування номінальних значень, допустимих відхилень для відбраковування.

Друга програма призначена для обслуговування приладу. Вона дозволяє отримати розширений доступ до налаштувань приладу (в тому числі до тих, які впливають на похибку вимірювання) і виробляти його калібрування і регулювання.

На рисунку 5.3 представлено головне вікно програми вимірювання.

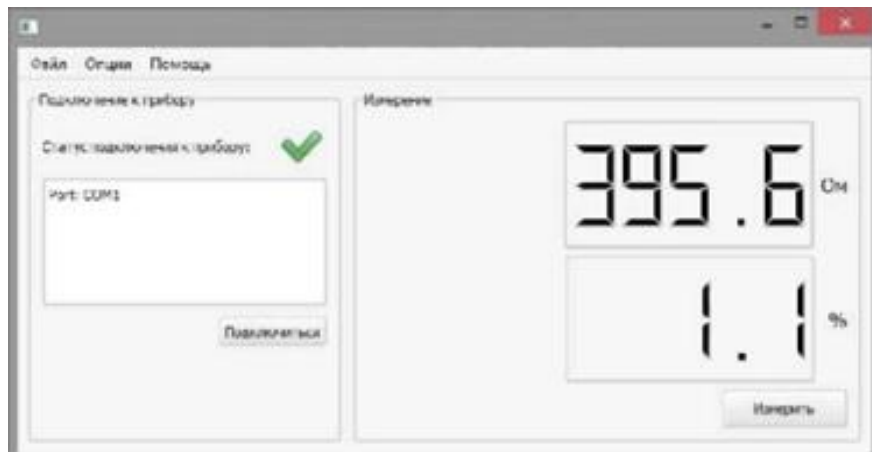


Рисунок 5.3 - Головне вікно програми вимірювання

Головне вікно програми містить три вкладки: «Підключення до приладу», «Вимірювання» і «Налаштування приладу».

Вікно налаштувань приладу представлено на рисунку 5.4.

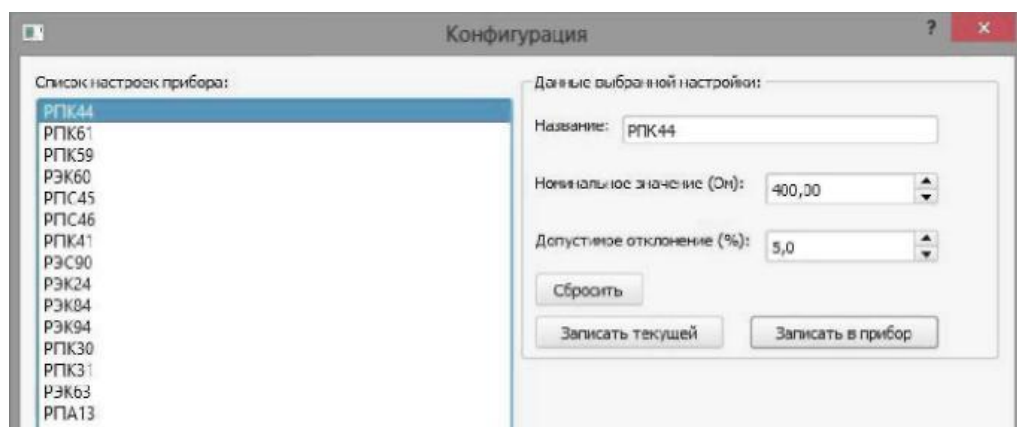


Рисунок 5.4- Вікно налаштувань приладу

Вікно налаштувань системи має дві вкладки: «Список налаштувань приладу» і «Дані обраної настройки». У списку відображаються всі настройки з пам'яті приладу.

Перша настройка в списку завжди є поточною в приладі і її значення використовуються для вимірювання.

Результати калібрування вимірювальних систем показують, що похибка вимірювання у всьому діапазоні не перевищує 1%, що в даний час з запасом задовольняє вимогам виробництва. У порівнянні з приладами попереднього покоління похибка вимірювання опору обмотки постійному струму знижена в 2,5 рази, розширено діапазон виміру в 10 разів.

5.3 Вимірювальна система для автоматизованого контролю амплітуди ЕРС самоіндукції реле

Відповідно до методів, описаних в розділі 2, розроблена вимірювальна система автоматизованого контролю ЕРС самоіндукції КДР-2 [9] в реле, що містять обмежують її кола. Технічні характеристики системи представлені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Технічні характеристики приладу контролю ЕРС самоіндукції слабкострумівих електромагнітних реле

Найменування характеристики	значення
Діапазон вимірювання амплітуди ЕРС самоіндукції обмоток реле, які шунтовані діодами, В	0,25 - 2,5
Діапазон вимірювання амплітуди ЕРС самоіндукції обмоток реле, які шунтовані збірками діод-стабілітрон, В	0 - 50
Межі допустимої похибки вимірювань ЕРС самоіндукції,% не більше	± 5,0
Діапазон напруги и живлення обмоток, В	1-120
Струм навантаження джерела живлення обмоток, А	0,5
Кількість контрольованих обмоток	1-4

Два діапазону вимірювання ЕРС самоіндукції обрані таким чином, щоб контролювати як діоди, встановлені паралельно обмотці, так і збірки діод-стабілітрон.

Якщо реле містить більше однієї обмотки, то вимір виробляються по кожній з обмоток. Додатково для конкретизації несправностей обмежують кіл, забракованих в автоматичному режимі контролю, система надає можливість

2,18	2,22	1,9	1,721	1,76	2,3	0,878	0,90	2,5
2,27	2,3	1,5	1,786	1,81	1,3	0,965	0,98	1,5
2,19	2,24	2,3	1,687	1,65	-2,2	0,927	0,92	-0,75
2,25	2,24	-0,4	1,716	1,75	-2,0	0,876	0,89	1,6
2,36	2,39	1,0	1,663	1,62	-2,6	0,945	0,96	1,6
2,27	2,32	2,1	1,838	1,87	1,7	0,954	0,98	2,7
2,43	2,45	0,6	1,719	1,67	-2,8	0,969	0,99	2,2
2,35	2,43	3,9	1,692	1,67	1,3	0,986	1,02	3,4
2,29	2,37	4,06	1,722	1,69	-1,8	0,934	0,94	0,7
2,26	2,29	1,1	1,819	1,84	1,1	0,951	0,96	1,0

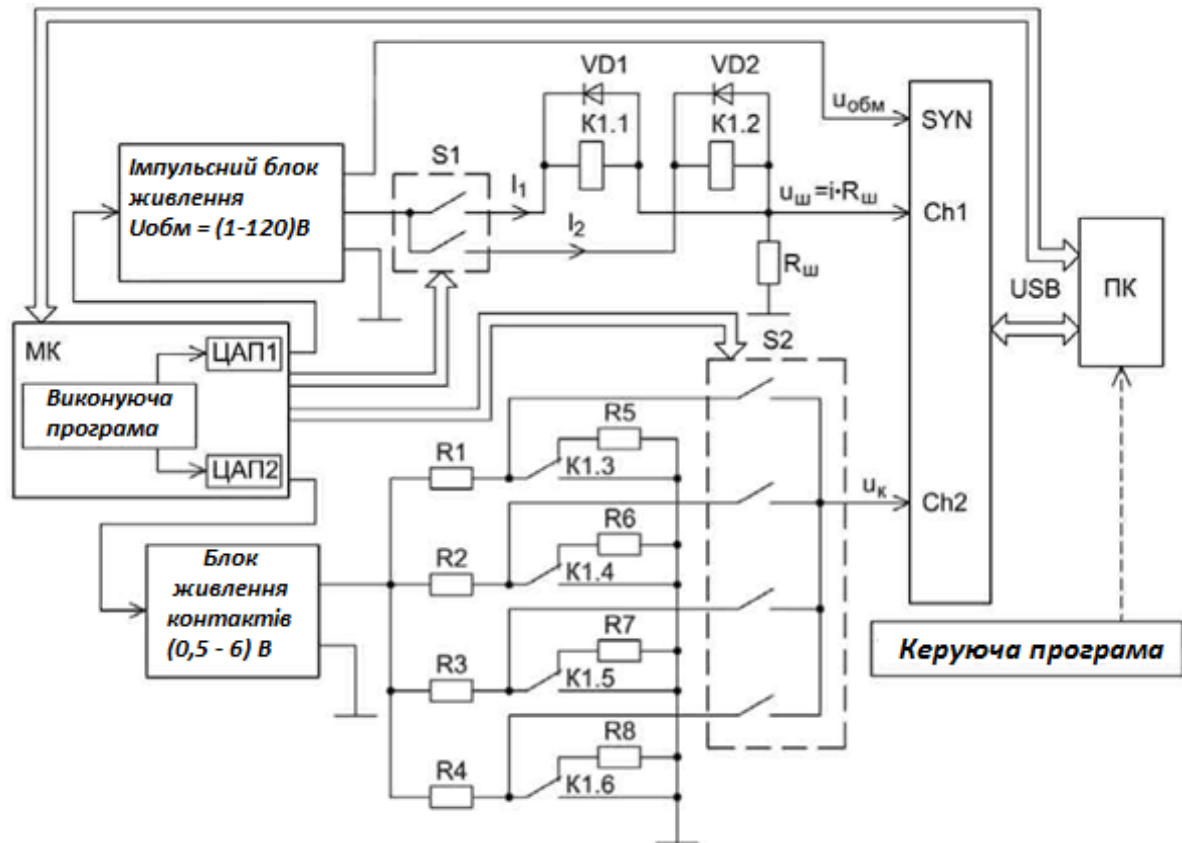
Таблиця 5.5 - Результати вимірювань ЕРС самоіндукції реле зі складками діод-стабілітрон в колі управління

РПК59			РПК75			РПК80		
$e_{си.обр,В}$	$e_{си, В}$	$\gamma, \%$	$e_{си.обр, В}$	$e_{си, В}$	$\gamma, \%$	$e_{си.обр, В}$	$e_{си, В}$	$\gamma, \%$
40,64	40,36	-0,7	40,68	40,97	0,7	40,37	40,46	0,2
40,77	41,27	1,3	40,17	39,92	-0,6	39,77	39,98	0,5
40,48	40,24	-0,6	40,19	40,54	0,9	40,45	40,71	1,07
39,96	40,18	0,5	39,96	40,33	0,9	40,27	40,52	0,6
40,28	40,48	0,5	39,57	39,37	0,5	40,40	40,68	0,7
41,15	40,69	1,12	39,85	40,06	0,5	39,70	39,99	0,7
40,73	40,45	-0,7	38,99	39,39	1,0	39,98	40,33	0,9
41,85	41,46	-1,0	39,46	39,63	0,43	39,24	39,58	0,9
40,95	40,72	-0,6	39,82	40,19	0,9	39,42	39,81	1,0
40,20	39,98	-0,5	39,75	39,92	0,4	39,89	40,18	0,7

Автоматизація такого контролю дозволяє отримувати достовірні результати і збільшити продуктивність контролю.

5.4 Вимірювальна система комплексного контролю динамічних характеристик реле

У повній відповідності з теоретичними дослідженнями, розроблена вимірювальна система комплексного контролю динамічних характеристик реле УТР, в тому числі часу початку руху, руху рухомої системи і часу спільного руху рухомий і контактної систем реле. Структурна схема системи приведена на рисунку 5.6.



K_1 - дослідне реле; S_1, S_2 - комутатори; ПК - персональний комп'ютер; $R_1 \dots R_8$ - опори навантаження; $R_{ш}$ - опір шунта; $U_{ш}$ - напруги а шунта; U_k - напруги а на контактному колі;
МК мікроконтролер

Рисунок 5.6 - Структурна схема вимірювальної системи УТР:

Пристрій складається з наступних основних вузлів:

- мікроконтролер МК, призначений для управління блоком живлення обмоток комутаторами S_1, S_2 і блоком живлення контактів;
- імпульсний блок живлення обмоток і комутатор S_1 служать для формування імпульсів в колах управління контрольованого реле;
- блок живлення контактів здійснює подачу напруги и на контактні кола дослідного реле;

- комутатор S2 призначений для почергового підключення контактних груп до осцилографічної приставки;
- резистор R_{III} призначений для отримання осцилограм зміни струму в обмотках реле.

Фотографія вимірювальної системи приведена на рисунку 5.7.

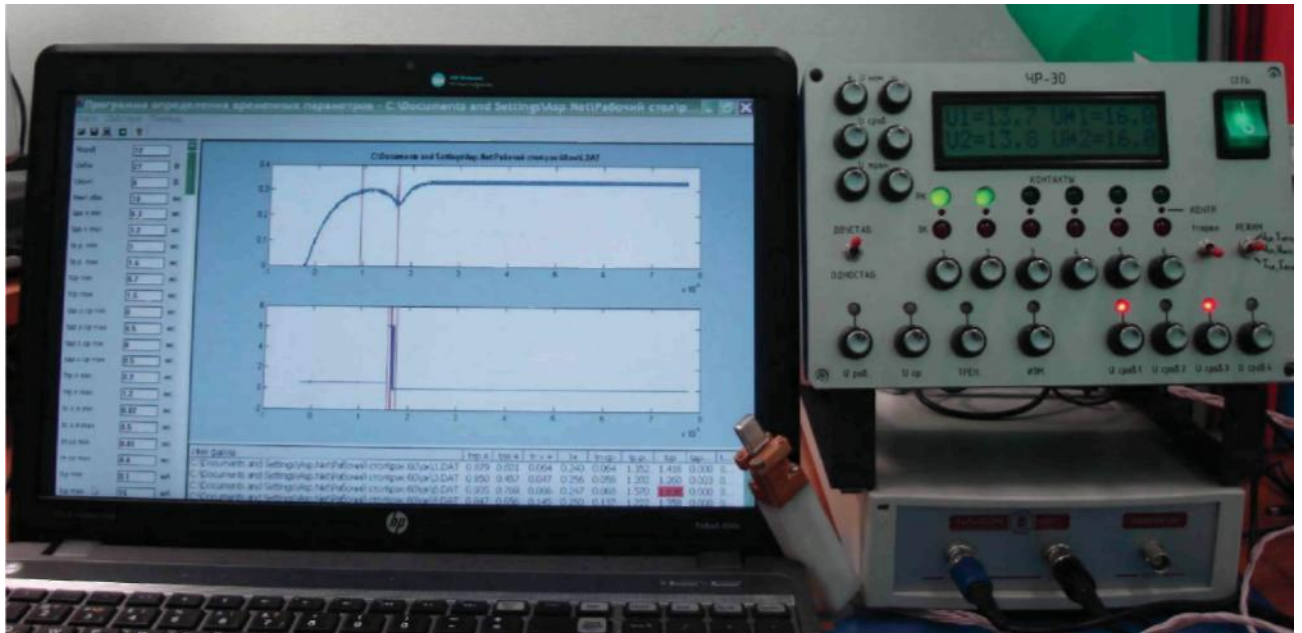


Рисунок 5.7 - Вимірювальна система УТР

Принцип її роботи заснований на фіксації осцилографічною приставкою зміни струму в колах управління і напруги и на контактах реле. Відмінною особливістю вимірювальної системи є автоматичне підключення обмоток і контактних груп досліджуваного реле за допомогою комутаторів S1 і S2, а також розширені можливості блоків живлення обмоток і контактів.

У вимірювальній системі повинно бути використано програмне забезпечення «Програма визначення часових параметрів реле». Певні види браку спотворюють форму сигналів, тому при виведенні в таблицю результатів запропоновано позначати їх червоним кольором (рисунок 5.8).

						Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

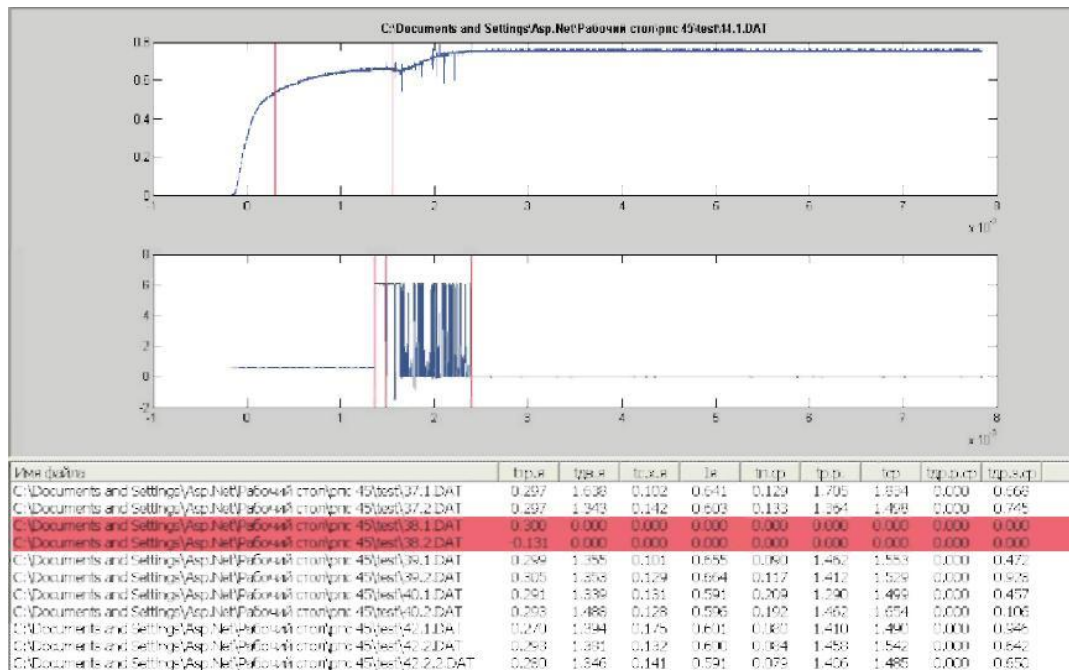


Рисунок 5.8 - Головне вікно програми, що містить аномальні осцилограми

У процесі роботи програми проводиться статистична обробка отриманих результатів з визначенням мінімальних, максимальних і середніх значень кожного параметра. Масив даних, отриманих в результаті роботи програми, зберігається в форматі Microsoft Excel.

5.5 Вимірювальна система для ресурсних випробувань (на зносостійкість) слабкострумних герметичних електромагнітних реле

Для реалізації методики прогнозування ресурсу і пошуку найбільш інформативних параметрів, що впливають на надійність роботи реле, запропонована вимірювальна система напрацювання на ресурс: НР. Вона призначена для проведення випробувань реле на зносостійкість. Зносостійкість (ресурс) реле є основним показником надійності реле. Під зносостійкість розуміють кількість безвідмовно виконаних комутацій реле із заданою електричною навантаженням контактів і режимами управління при збереженні своїх параметрів в допустимих межах.

Структурна схема вимірювальної системи представлена на рисунку 5.9. Вимірювальна система НР складається з блоків контролю і управління та працює в двох режимах:

- випробування на електричну зносостійкість;
- вимір напруги спрацьовування, утримання, повернення.

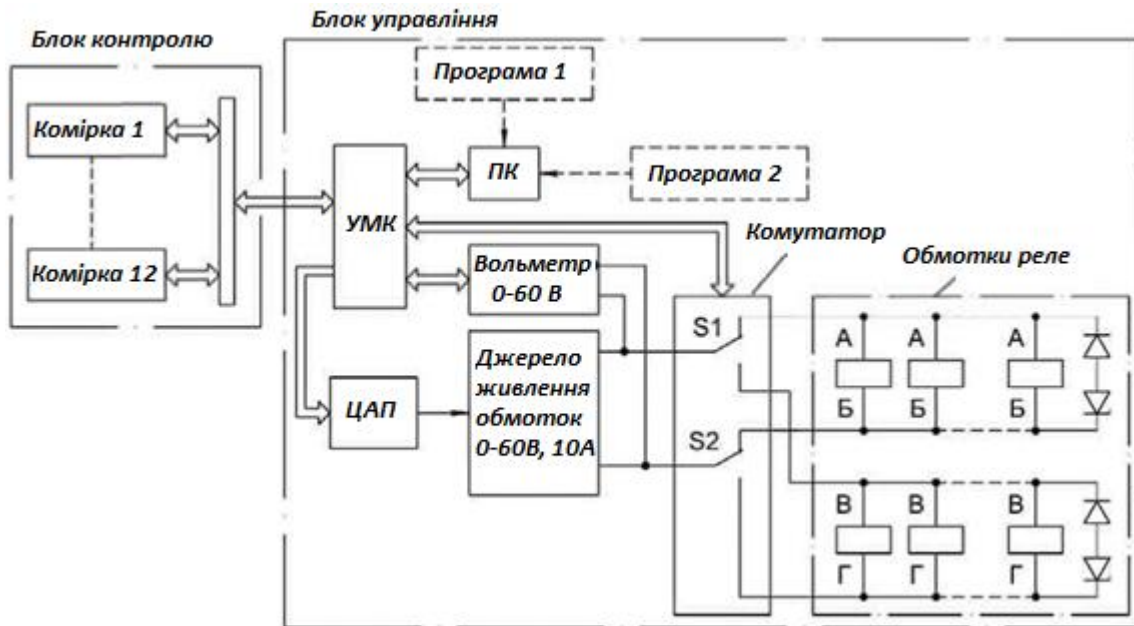
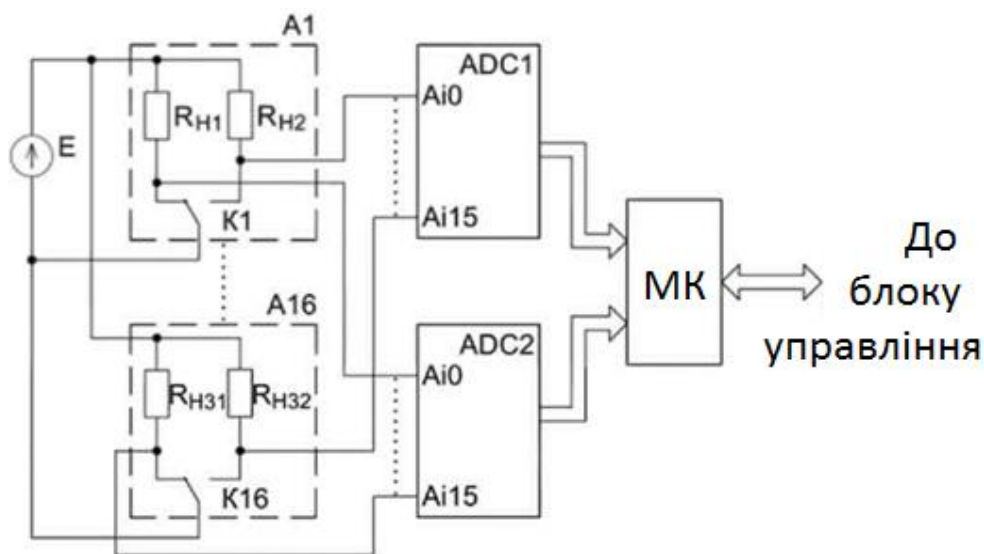


Рисунок 5.9 - Структурна схема вимірювальної системи НД

Принцип роботи блоків контролю (рисунок 5.10) полягає в допусковому контролюванні падіння напруги і на контактах дослідного реле за допомогою аналого-цифрових перетворювачів ADC1 і ADC2. Зчитування інформації про значення падіння напруги і на розмикати і замикає контакти проводиться в кожному комутаційному циклі після закінчення подвоєного часу спрацьовування (повернення) з моменту подачі (зняття) напруги і на обмотках реле.



K1 .. K16 - контакти випробовуваних реле; $R_{H1} \dots R_{H32}$ - електричне навантаження контактів

Рисунок 5.10 - Структурна схема комірки контролю вимірювальної системи НР-31

Основними вузлами блоку управління є:

- керуючий мікроконтролер УМК, призначений для управління джерелом живлення обмоток, вольтметром, комутаторами S1 і S2 і зв'язку з периферійними мікроконтролерами блоку контролю;
- комутатори S1 і S2, призначені для автоматичного підключення джерела живлення обмоток і вольтметра до певних обмоток;
- джерело живлення обмоток і вольтметр, призначені для подачі і вимірювання напруги и на обмотки контрольованих реле в моменти спрацьовування і повернення останніх.

Сигнали дозволу на зчитування інформації з блоку контролю формуються керуючим мікроконтролером УМК. Контакт вважається розімкненим, якщо напруга на ньому перевищує 90%, і замкнутим, якщо падіння напруги на ньому нижче 10% від напруги живлення контактів. Якщо в будь-якому циклі напруга на будь-якому з контактів виходить за задані норми, то його номер і номер циклу фіксуються в оперативній пам'яті мікроконтролера.

У режимі випробувань на зносостійкість за сигналами, що надходять з УМК на джерело живлення обмоток і комутатори, проводиться подача імпульсів напруги на обмотки випробовуваних реле. Амплітуда, тривалість і частота проходження імпульсів задаються користувачем за допомогою ПК. Блок управління дозволяє подавати на обмотку імпульси тривалістю від 1 до 255 мс і частотою проходження від 0,1 до 25 Гц при амплітуді від 0 до 60 В.

Живлення кіл контактів здійснюється від зовнішніх джерел живлення постійною напругою від 1 до 36 В і від внутрішніх джерел в діапазоні від 0,1 В до 1 В. Струм через контакти встановлюється або внутрішніми (рисунок 5.10) або зовнішніми резисторами $R_{H1} \dots R_{H32}$.

Вимірювання напруги спрацьовування і повернення проводиться таким чином. За допомогою цифро-аналогового перетворювача ЦАП з джерела живлення обмоток на колі управління реле подається ступінчаста напруга, відповідно до часових діаграм на рисунках 5.10 і 5.11 в діапазоні до 60 В. Тривалість ступені встановлюється оператором в діапазоні від 1 до 255 мс.

						Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

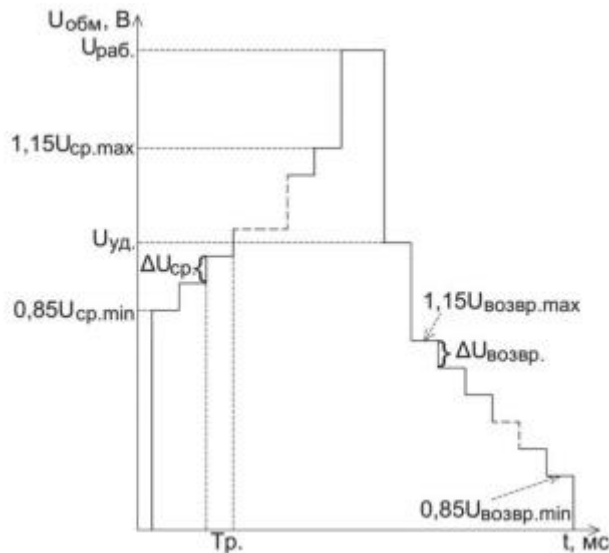


Рисунок 5.11 - Часова діаграма напруги на обмотці реле при вимірі напруги спрацьовування і повернення

При наростанні напруги на обмотці вимірюється U_{CP} , що фіксується вольтметром при нарузі на замикаючому контакті $U_{ЗК}$ менше 0,3 від напруги живлення контактів U_K , ($U_{ЗК} < 0,3U_K$) і нарузі на розмикаючих більше 0,7 від U_K ($U_{PK} > 0,7 U_K$). Результат вимірювань передається в ПК. Амплітуда ступені напруги и формується автоматично відповідно до залежності (5.1).

$$\Delta U_{CP} = \frac{1,15U_{CP.max} - 0,85U_{CP.min}}{100}, \quad (5.1)$$

де ΔU_{CP} - амплітуда «щаблю» напруги; U_{CPMAX} - максимально допустима напруга спрацьовування; U_{CPMIN} - мінімально допустима напруга спрацьовування.

Аналогічним чином відбувається вимір напруги и повернення. Амплітуда ступені напруги и $A_{I_{возвр}}$ формується відповідно до залежності (5.2)

$$\Delta U_{возвр} = \frac{1,15U_{возвр.мах} - 0,85U_{возвр.мін}}{100}, \quad (5.2)$$

де $\Delta U_{возвр}$ - амплітуда «щаблю» напруги при поверненні реле; $U_{возвр.мах}$ - максимальна напруга повернення; $U_{возвр.мін}$ - мінімальна напруг повернення; $U_{возвр.мах}$, $U_{возвр.мін}$ задаються оператором; 100 - загальна кількість ступенів при поверненні.

На рисунку 5.12 представлена фотографія вимірювальної системи НР.

						Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 5.12 - Фотографія вимірювальної системи НР

Для функціонування установки НР повинно бути розроблене спеціалізоване програмне забезпечення.

На рисунку 5.13 наведено вікно режиму вимірювань напруги і спрацьовування, утримання та повернення. У цьому вікні вводяться вихідні дані про кількість встановлених реле і як контакти, задаються значення максимально і мінімально допустимих рівнів напруги спрацьовування і повернення, а також тривалість ступенів напруги.

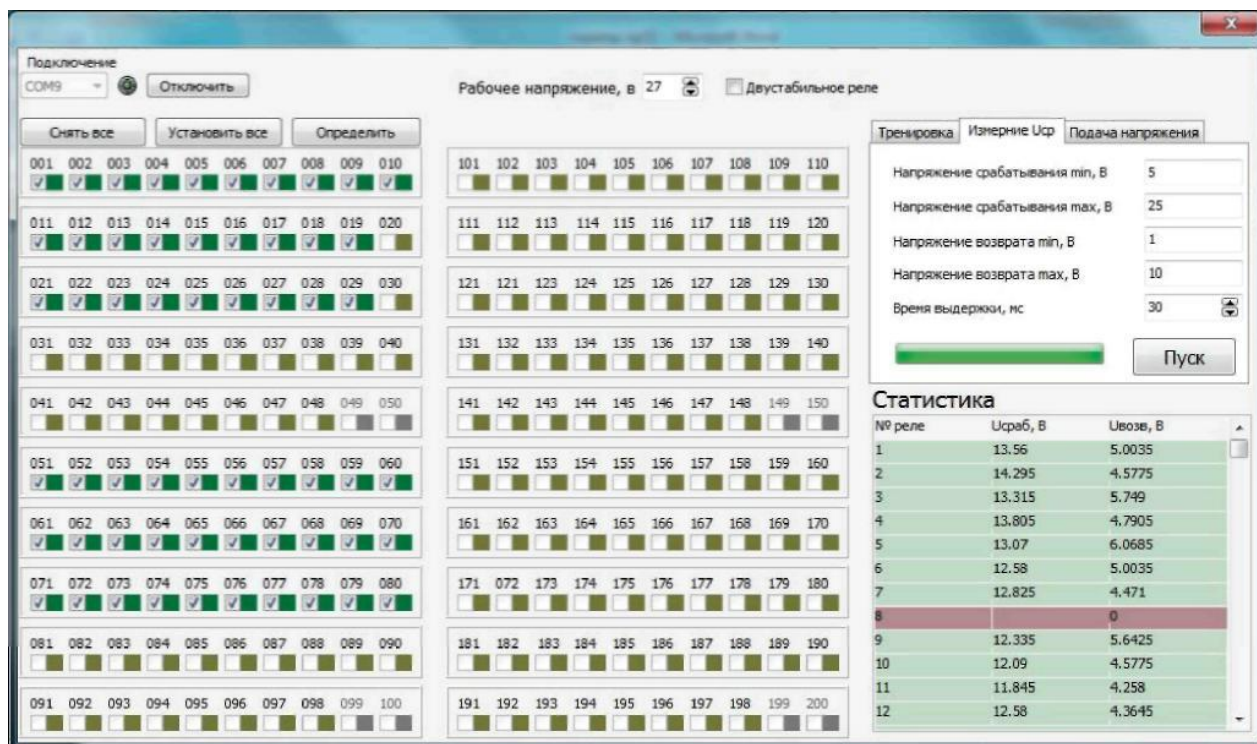


Рисунок 5.13 - Вікно режиму вимірювань параметрів чутливості

Після закінчення випробувань номера реле, параметри яких виходять за встановлені норми, виділяються, червоним кольором.

5.6 Вимірювальна система комплексного автоматизованого контролю електричних і часових параметрів герметичних електромагнітних реле УІПР

Крім вимірювання опору обмотки, вимірювальна система дозволяє вимірювати ряд електричних і часових параметрів: опір кола контактів при їх живленні в чотирьох електричних режимах, напруги спрацьовування і повернення, час спрацьовування, час повернення, час брязкоту і час перельоту контактів, неодночасність спрацьовування і повернення. На рисунку 5.14 наведені фото вимірювальної системи УІПР і установки «Спектр», раніше використовуваної для перевірки електричних і часових параметрів реле.

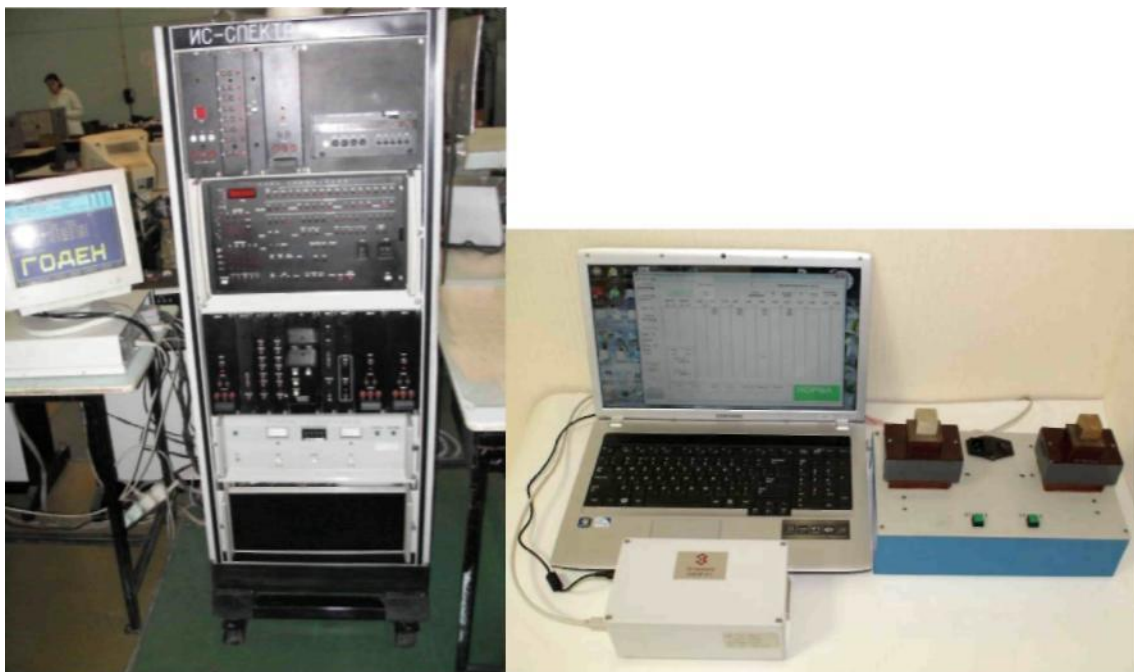


Рисунок 5.14 - Установка «Спектр» і вимірювальна система УІПР

У порівнянні з установкою «Спектр» вагогабаритні показники вимірювальної системи зменшені приблизно в 100 разів, а споживана потужність - приблизно в 50 разів від 1000 Вт до 20 Вт.

Вимірювальна система УІПР проводить вимірювання опору кола контактів - від 10 до 2000 мОм з роздільною здатністю 1 мОм, часових інтервалів в діапазоні до 100 мс з роздільною здатністю 1 мкс, напруги и і струмів спрацьовування в діапазонах 0 ... 30 В, 0 ... 300 мА з роздільною здатністю 1 мВ і 0,1 мА відповідно.

						Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для функціонування вимірювальної системи розроблене спеціалізоване програмне забезпечення. На рисунку 5.15 представлено вікно завдання параметрів і режимів роботи даної системи.

У наведеному вікні задаються наступні параметри: кількість і вид контактів; норми контролю за опором кола контактів, опору обмотки, напрузі і струму спрацьовування і повернення, часовим характеристикам; кількість тестів, причому для кожного вимірюваного параметра окремо.

Вимірювальна система УІПР також дозволяє працювати в режимі допускового контролю

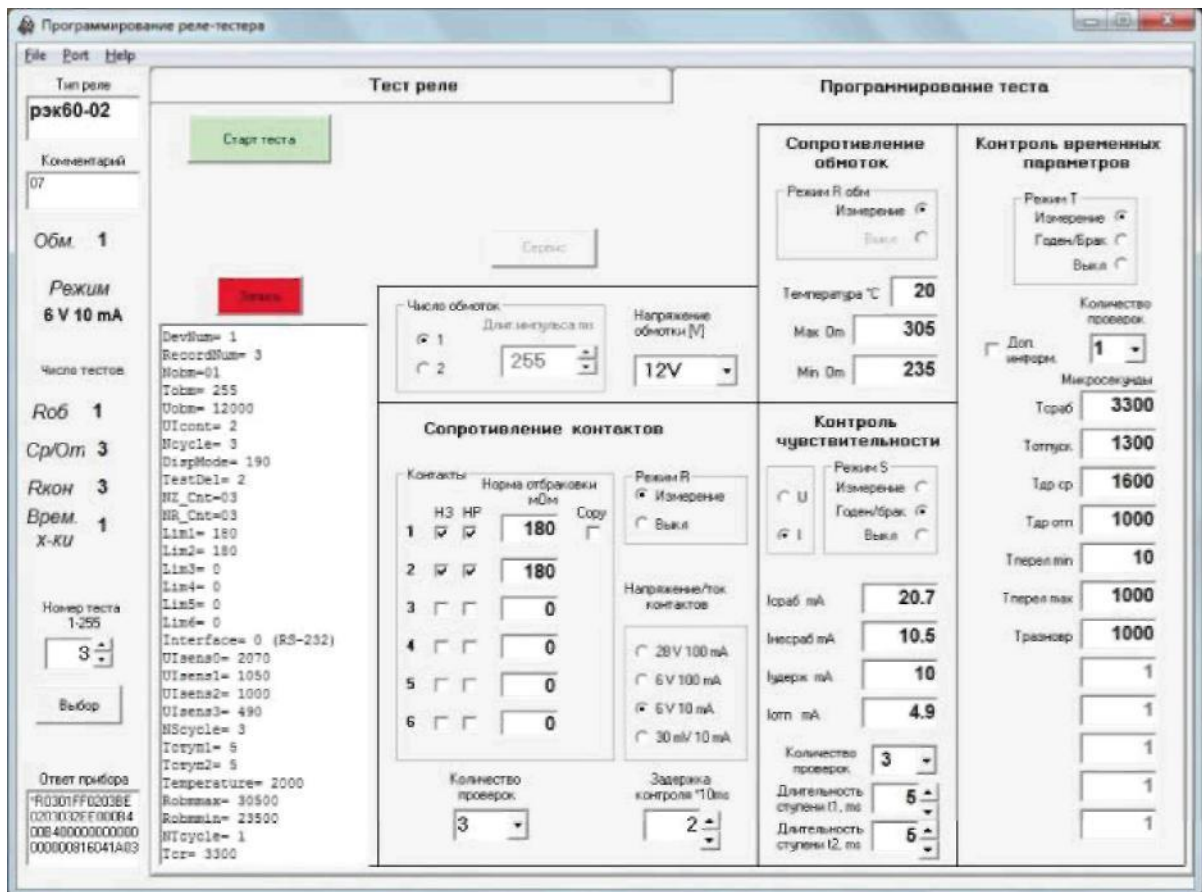


Рисунок 5.15 - Вікно завдання параметрів і режимів роботи вимірювальної системи УІПР

5.7 Вимірювальна система автоматизованого контролю параметрів електричної ізоляції герметичних електромагнітних реле

Для отримання значень діагностичних ознак відповідно до методики виявлення найбільш інформативних параметрів, розроблена спеціалізована вимірювальна система ЕР, призначена для автоматизованого контролю електричної ізоляції реле.

Специфіка реле, як об'єкта вимірювань вимагає досить складної комутації контрольованих ділянок ізоляції, опір яких підлягає вимірюванню. Також потрібне використання високовольтних джерел понад 1000 В, які повинні бути сертифіковані, що в значній мірі обмежує вибір базових елементів для побудови системи. Крім цього необхідно подавати напругу на ту чи іншу обмотку контрольованого реле в процесі тестування. Дані фактори роблять практично неможливим застосування стандартних вимірювачів опору і напруги пробую ізоляції в серійному виробництві релейної техніки без значного їх дооснащення з метою автоматизації перевірки.

При аналізі зарубіжних і вітчизняних джерел виявлено, що найбільш ефективним технічним рішенням є застосування обладнання фірми «Gwinstek», що випускає серію установок перевірки параметрів електробезпеки GPT і GPI [9].

В якості основи для проектування вимірювальної системи ЕР була обрана установка GPI-745А, призначена для контролю електричної міцності і опору ізоляції різних типів обладнання і електронних компонентів. Вона відрізняється наявністю можливості тестування виробів як постійною, так і змінною напругою. Установка має наступні основні технічні характеристики: вихідна напруга ($U_{пр}=(100...5000)$ В, крок установки вихідної напруги 5 В, діапазон вимірюваних опорів R_{13} до 10^4 МОм, час витримки ділянки (під напругою) в діапазоні від 0,1 до 1000 секунд, межа допустимої похибки установки вихідної напруги $\pm (0,0U_{пр} + 10В)$, межа допустимої похибки вимірювання R_{13} не більше 10%.

Для реалізації конвеєрної технології з урахуванням розширення номенклатури випробувальних реле проведена розробка зовнішніх керуючих і узгоджувальних пристроїв, а також відповідного програмного забезпечення для установки GPI-745А.

Структурна схема вимірювальної системи ЕР0 наведена на рисунку 5.16.

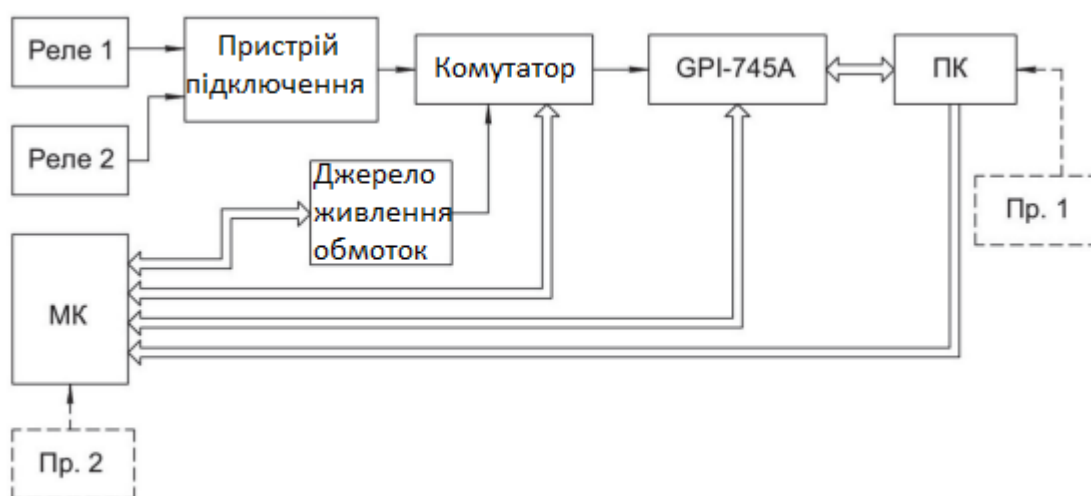


Рисунок 5.16 - Структурна схема вимірювальної системи ЕР

Фотографія вимірювальної системи приведена на рисунку 5.17.



Рисунок 5.17 - Вимірювальна система випробувань електричної ізоляції реле

Принцип роботи вимірювальної системи ЕР заснований на почерговому автоматичному підключенні (за програмою «Пр. 1») контрольованих ділянок реле до установки GPI-745A і вимір з її допомогою опору і напруги и пробою ізоляції. Формування та підключення контрольованої ділянки здійснюються комутатором.

Зчитування результатів контролю, подача напруги на обмотки від джерела живлення обмоток виконуються за заданою програмою «Пр. 2 » за допомогою МК. При настанні пробою або виходу опору ізоляції за межі встановлених норм на будь-якій контрольованій ділянці перевірка припиняється, випробувальну напругу знімається, а на дисплеї комп'ютера виводиться виміряне значення і ідентифікатор забракованого ділянки.

Оригінальна побудова конструкції пристрою підключення дозволить здійснювати конвеєрну технологію контролю ізоляції реле. Пристрій підключення є двохпозиційним. При установці реле в колодку на першу позицію та перекидання обертового механічного пристрою підключення в стан з'єднання з комутатором (реле з метою безпеки персоналу автоматично закривається захисним кожухом), починається контроль електричного контакту відводів і корпусу встановленого реле з колодкою підключення і подальше тестування реле. У цей час у відкриту колодку другій позиції, яка не підключена до комутатора, оператор встановлює наступне контрольоване реле. Після закінчення перевірки реле, встановлене в першій позиції, відключається від

						Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комутатора, до нього підключається реле, заздалегідь встановлений на другій позиції, і проводиться перевірка, аналогічна описаній

Ще одним оригінально виконаним вузлом в розробленій системі є багатофункціональний матричний комутатор (рисунок 5.18).

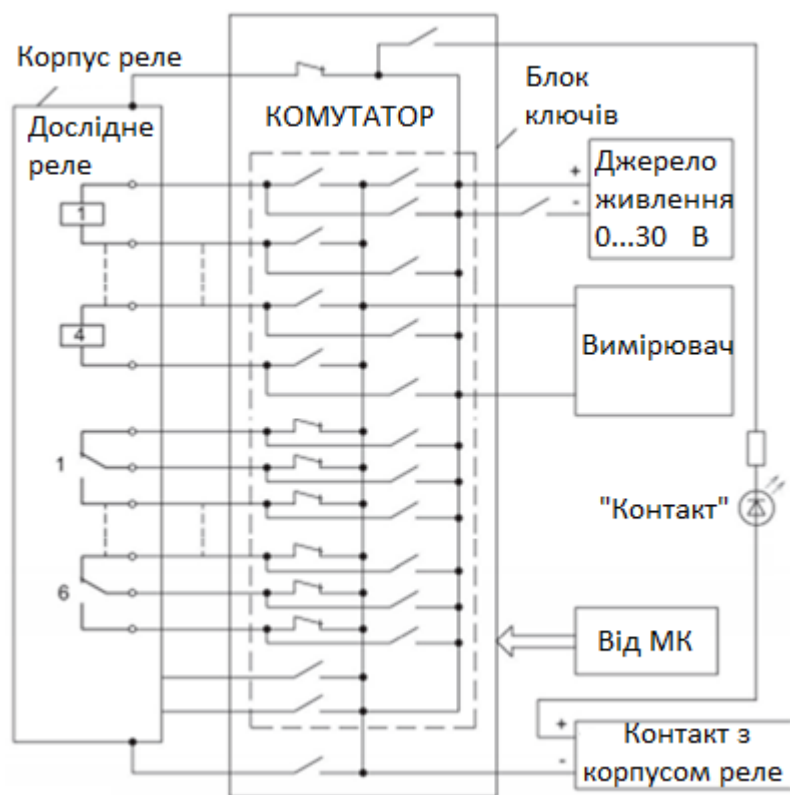


Рисунок 5.18 - Схема підключення випробуваного реле за допомогою комутатора

Його основа - матриця унікальних герконових реле фірми «Meder» (Німеччина), що мають можливість комутувати напругу до 15 кВ. Комутатор має 28 входів для підключення електричних кіл реле, що містять максимально до 4 обмоток і 6 контактних груп на перемикання (рисунок 5.18) і 2 виходи для підключення вибраної ділянки ізоляції до високовольтної випробувальної установки GPI -745A.

Для роботи вимірювальної системи ЕР повинно бути розроблене спеціалізоване програмне забезпечення.

У вікні, наведеному на рисунку 5.19, задаються параметри реле і вид тесту.

						Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

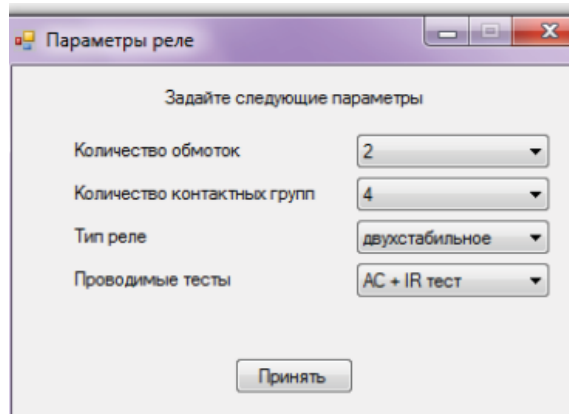


Рисунок 5.21 - Вікно завдання параметрів реле і виду проведеного тесту

Після завдання параметрів реле проводиться установка параметрів тесту (рисунок 5.20).

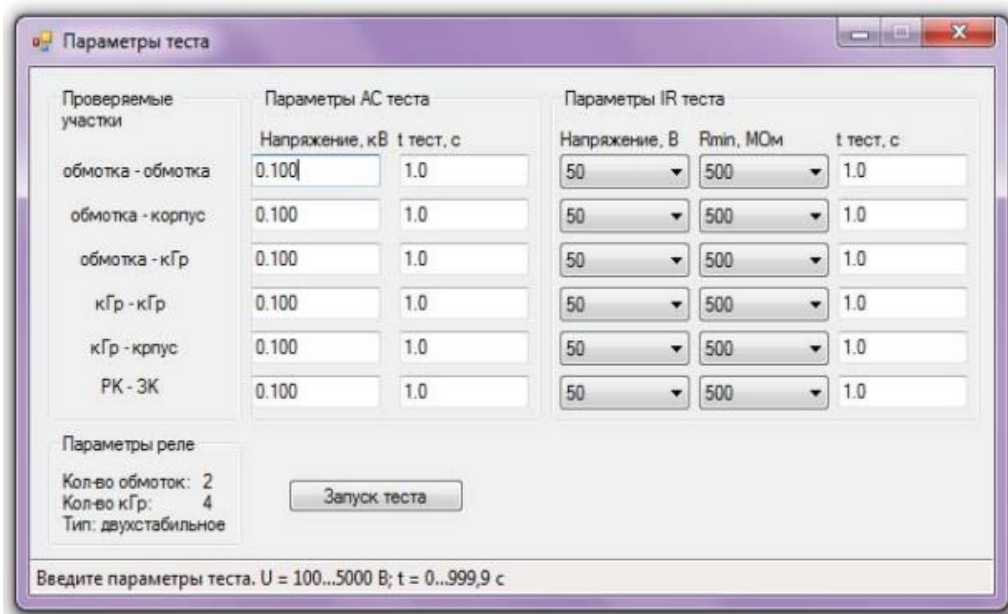


Рисунок 5.20 - Вікно завдання значень напруги і часу тестування для кожної ділянки реле

Тут користувач задає напруги і тестування і час тестування для кожної ділянки реле. Для вимірювання опору ізоляції реле також можна вибрати значення опору відбраковування.

Висновки до розділу 5

1 Розроблена вимірювальна системи СО і УІПР, що реалізують новий метод вимірювання опору обмоток.

2 Розроблена вимірювальна система КДР для автоматизованого вимірювання ЕРС самоіндукції, що дозволяє контролювати реле, що містять елементи її обмеження, відповідно до запропонованого розвитком методу

дискретного розгортається напруги.

3 Розроблено вимірювальну систему для автоматизованого комплексного контролю динамічних характеристик реле УТР, в тому числі часу початку руху, руху рухомої системи і її спільного руху з контактною системою.

4 Для прогнозування ресурсу роботи і класифікації реле по надійності розроблена установка ресурсних випробувань реле НР. Відмінними рисами установки є збільшена продуктивність і значно розширені характеристики по напрузі і струмів комутації. З'явилася можливість проводити одночасний контроль напруги и спрацьовування і повернення в процесі проведення ресурсних випробувань.

5 Для визначення діагностичних ознак в процесі оцінки технічного стану реле і контролю якості ізоляції реле розроблена вимірювальна система контролю електричної міцності і опору ізоляції ЕР, що дозволяє автоматично контролювати кожен ізолюючу ділянку: між струмоведучими колами, а також між струмоведучими колами і корпусом.

						Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		