МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення: електроенергетичне
Циклова комісія: спеціальних електроенергетичних дисциплін
Освітньо-кваліфікаційний рівень: фаховий молодший бакалавр
Спеціальність: **141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни

Основи метрології та електричних вимірювань

на тему: «Електродинамічні та феродинамічні вимірювальні прилади»

Здобувача освіти _ курсу групи ___
Галузі знань: 14 Електрична інженерія
Спеціальності: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

_____

Керівник:
Національна шкала: дванадцяти бальна
Оцінка: _____

Київ – 2024

ЗМІСТ

ВСТУП 4

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНІ ТА ФЕРОДИНАМІЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ 6

1.1. Історичний розвиток вимірювальних приладів: від простих до сучасних конструкцій 6

1.2. Теоретичні основи роботи електродинамічних і феродинамічних приладів 10

1.2.1. Закон Ампера 11

1.2.2. Закон Фарадея 12

1.2.3. Закон Біо-Савара-Лапласа 12

1.2.4. Магнітна індукція і сила Лоренца 13

1.2.5. Електрична потужність в колі змінного струму 13

1.3. Порівняння електродинамічних і феродинамічних приладів із іншими типами вимірювальної техніки 17

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ І ФЕРОДИНАМІЧНИХ ПРИЛАДІВ 23

2.1. Конструктивні особливості електродинамічних приладів 23

2.2. Принцип роботи феродинамічних приладів 27

2.3. Аналіз основних технічних характеристик та їх вплив на точність вимірювань 31

РОЗДІЛ 3. СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ І ФЕРОДИНАМІЧНИХ ПРИЛАДІВ 33

3.1. Використання електродинамічних і феродинамічних приладів у сучасній енергетиці та промисловості 33

3.2. Напрями вдосконалення та підвищення ефективності роботи вимірювальних приладів 36

3.3. Інноваційні технології та їхній вплив на розвиток електродинамічних і феродинамічних приладів 38

ВИСНОВКИ 40

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 41

ВСТУП

У сучасній метрології та техніці електричних вимірювань особливу увагу приділяють вдосконаленню вимірювальних приладів, які забезпечують точність, надійність і стабільність результатів. Серед них електродинамічні та феродинамічні прилади є одними з найпоширеніших завдяки універсальності, простоті конструкції та здатності працювати в різних умовах. Ці прилади використовуються для вимірювання напруги, струму, потужності та інших параметрів у багатьох сферах – від побутових пристроїв до високотехнологічного обладнання. Дослідження їхньої роботи та вдосконалення є важливими для забезпечення точності й ефективності вимірювальних систем, особливо в умовах стрімкого розвитку технологій.

Актуальність теми дослідження. Розвиток індустрії та впровадження автоматизованих систем управління вимагають нових підходів до створення і використання вимірювальних приладів. Електродинамічні та феродинамічні прилади завдяки своїм особливостям залишаються ключовими елементами в багатьох вимірювальних системах. Їхня надійність, чутливість і можливість працювати в умовах змінних температур і електромагнітних полів забезпечують незамінність у таких сферах, як енергетика, телекомунікації та автоматизація.

Мета роботи. Аналіз принципу дії, конструктивних особливостей та сфер застосування електродинамічних і феродинамічних вимірювальних приладів.

Завдання дослідження:

1. Дослідити принцип роботи електродинамічних та феродинамічних приладів.
2. Вивчити їх основні технічні характеристики.
3. Оцінити переваги та недоліки цих приладів порівняно з іншими типами вимірювальної техніки.
4. Визначити основні напрями їх застосування в сучасних умовах.

Об'єктом дослідження даної роботи є електродинамічні та феродинамічні вимірювальні прилади.

Предмет дослідження – принцип роботи, технічні характеристики та можливості застосування електродинамічних і феродинамічних приладів.

Для досягнення поставлених цілей у курсовій роботі використовуються такі **методи дослідження:**

- аналіз літературних джерел,
- порівняння технічних характеристик приладів,
- експериментальне моделювання роботи електродинамічних і феродинамічних систем.

Практичне значення. Результати дослідження можуть бути використані для модернізації існуючих вимірювальних систем у галузях енергетики, промисловості та наукових дослідженнях. Зокрема, розроблені рекомендації щодо вдосконалення конструкції електродинамічних і феродинамічних приладів можуть сприяти підвищенню точності вимірювань у високовольтних системах, оптимізації енергоспоживання у вимірювальних схемах і створенню більш стійких до зовнішніх впливів пристроїв. Крім того, отримані результати будуть корисними для навчального процесу у підготовці фахівців із метрології та вимірювальної техніки.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНІ ПРИЛАДИ, ФЕРОДИНАМІЧНІ ПРИЛАДИ, МЕТРОЛОГІЯ, ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА, ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ, ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНІ ТА ФЕРОДИНАМІЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

1.1. Історичний розвиток вимірювальних приладів: від простих до сучасних конструкцій

Сфера вимірювань бере свій початок із найдавніших часів, коли людина почала усвідомлювати необхідність визначення кількісних характеристик навколишнього світу. Перші спроби вимірювань були зосереджені на довжині, масі та об'ємі — основних параметрах, які мали важливе значення для обміну товарами, будівництва та землеробства.

Одним із найперших інструментів для вимірювання довжини вважають мотузки із вузлами, які використовувалися в Стародавньому Єгипті та Межиріччі. Це стало основою для створення більш досконалих інструментів, таких як лінійки та циркулі. У той час вимірювання маси проводилося за допомогою терезів і гир, які були стандартизовані лише в окремих регіонах. Наприклад, у Стародавньому Вавилоні існували суворо регламентовані еталони ваги, що забезпечувало чесність торговельних операцій.

З розвитком металургії та точних ремесел з'явилися більш складні пристрої, серед яких виділяються водяні годинники (клепсидри) для вимірювання часу. Їх принцип дії ґрунтувався на рівномірному витіканні води через вузький отвір, що дозволяло створювати базові метрологічні шкали.

Справжній прорив у сфері вимірювань стався в епоху Відродження, коли науковці почали систематично вивчати фізичні явища та розробляти універсальні методики для їх вимірювання. Наприклад, винахід ртутного барометра Торрічеллі в XVII столітті відкрив шлях до вимірювання атмосферного тиску.

Значним досягненням стала розробка принципів електричних вимірювань наприкінці XVIII – початку XIX століття. Роботи таких учених, як Алессандро Вольта, Георг Ом та Андре-Марі Ампер, заклали основи для створення

електродинамічних приладів, які дозволили точно вимірювати електричний струм, напругу та опір.

Початкові концепції та винаходи у сфері вимірювань стали основою для сучасної метрології, сформувавши базові принципи і методи, які з часом розвивалися та вдосконалювалися. Це забезпечило не лише прогрес у науці й техніці, але й значний вплив на повсякденне життя та економічну діяльність людини.

Вдосконалення електродинамічних і феродинамічних вимірювальних приладів пройшло кілька ключових етапів, кожен із яких відображав розвиток науково-технічного прогресу та зростання вимог до точності, надійності й універсальності вимірювань.

1. Ранній етап – створення базових конструкцій (XIX століття)

Перші електродинамічні прилади були створені на основі фундаментальних досліджень електромагнетизму, проведених Ампером і Фарадеєм. Вони використовували принцип взаємодії магнітних полів струмів у провідниках. Основний акцент на цьому етапі робився на побудові базової схеми, що дозволяла вимірювати електричні параметри з прийнятною точністю. У цей період були розроблені перші прилади для вимірювання струму і напруги.

2. Розвиток механічної стабільності та довговічності (початок XX століття)

З появою перших промислових електродинамічних приладів виникла необхідність у вдосконаленні їхньої конструкції для роботи в суворих умовах. Основною зміною стало використання міцніших матеріалів для рамок і котушок, що підвищило довговічність приладів. Крім того, було покращено систему підшипників і знижено тертя у рухомих елементах, що дозволило підвищити точність і зменшити похибки.

3. Розширення функціональних можливостей (середина XX століття)

У період активної електрифікації промисловості електродинамічні й феродинамічні прилади почали вдосконалювати для роботи в ширшому діапазоні умов. Зокрема, з'явилися багатофункціональні прилади, здатні вимірювати одночасно кілька параметрів, таких як потужність, струм і напруга.

Феродинамічні прилади в цей період отримали розвиток завдяки використанню нових сплавів із високими магнітними властивостями, що дозволило підвищити їхню чутливість і стабільність.

4. Автоматизація і підвищення точності (кінець XX століття)

Введення напівпровідникових елементів та інтеграція приладів у системи автоматизованого контролю значно підвищили їхню функціональність. На цьому етапі електродинамічні прилади отримали електронні підсилювачі сигналу, що дозволило суттєво знизити похибки. Феродинамічні прилади вдосконалювали шляхом оптимізації конструкції магнітних контурів для мінімізації втрат енергії.

5. Цифровізація і мініатюризація (початок XXI століття)

Сучасний етап розвитку пов'язаний із переходом до цифрових технологій. Електродинамічні та феродинамічні прилади стали частиною комплексних систем вимірювань, які включають цифрову обробку даних. Використання мікропроцесорів дозволило забезпечити високу точність навіть у нестабільних умовах. Також з'явилися портативні версії приладів із широким функціоналом, що зробило їх зручними для використання в польових умовах.

Розвиток електродинамічних і феродинамічних вимірювальних приладів пройшов шлях від простих механічних конструкцій до високотехнологічних пристроїв, здатних задовольняти вимоги сучасного виробництва. Кожен етап вдосконалення вносив вклад у підвищення точності, надійності та зручності використання цих приладів.

Технологічний прогрес має вирішальне значення для розвитку вимірювальної техніки, забезпечуючи постійне вдосконалення її функціональних характеристик, точності та зручності використання. Протягом століть інноваційні досягнення у науці та промисловості кардинально змінювали підхід до вимірювань, дозволяючи створювати прилади, які відповідали зростаючим вимогам суспільства.

Одним із ключових факторів стало впровадження нових матеріалів. У XIX столітті розробка сплавів із покращеними механічними та магнітними властивостями дозволила значно підвищити стабільність і довговічність вимірювальних

пристроїв. У XX столітті розвиток напівпровідникових матеріалів став основою для створення електронних вимірювальних приладів із високою чутливістю.

Значний вплив мав і прогрес у сфері мікроелектроніки. Поява мікропроцесорів дозволила інтегрувати обчислювальні функції у вимірювальні прилади. Це призвело до створення інтелектуальних пристроїв, здатних не лише фіксувати параметри, а й виконувати їх обробку, аналіз і зберігання. Наприклад, сучасні електродинамічні й феродинамічні прилади тепер оснащуються цифровими дисплеями, які спрощують взаємодію користувача з пристроєм.

Розвиток програмного забезпечення також відіграв ключову роль. Сучасні системи автоматизованого вимірювання базуються на спеціалізованих програмах, які забезпечують швидкий аналіз даних і синхронізацію роботи кількох пристроїв. Це особливо важливо в умовах сучасних виробництв, де необхідно контролювати численні параметри в реальному часі.

Додатково, прогрес у галузі сенсорних технологій і бездротового зв’язку дозволив створювати компактні та автономні вимірювальні прилади. Вони можуть бути інтегровані в системи Інтернету речей (IoT), що робить можливим віддалений моніторинг і керування виробничими процесами.

Зокрема, у сучасних електродинамічних і феродинамічних приладах застосування новітніх технологій дозволило суттєво підвищити точність вимірювань, мінімізувати похибки та забезпечити їхню адаптацію до широкого спектра умов експлуатації. Наприклад, використання суперпровідників і наноматеріалів відкриває нові перспективи для створення високоточних приладів із мінімальними енергетичними втратами.

1.2. Теоретичні основи роботи електродинамічних і феродинамічних приладів

Електродинамічні та феродинамічні вимірювальні прилади функціонують на основі фундаментальних фізичних явищ, які описують взаємодію електричних струмів і магнітних полів. Їхня робота ґрунтується на законах електродинаміки та властивостях магнітних матеріалів, що визначають точність і надійність вимірювань.

Електродинамічні прилади використовують принцип взаємодії магнітних полів струмів, що протікають у провідниках. Згідно із законом Ампера, на провідник зі струмом, розташований у магнітному полі, діє сила, пропорційна силі струму, довжині провідника та інтенсивності магнітного поля.

У конструкції електродинамічних приладів основними елементами є:

- рухома котушка – провідник, через який проходить вимірюваний струм;
- стаціонарна котушка – провідник, який створює магнітне поле.

Коли через обидві котушки протікає струм, між ними виникає взаємодія магнітних полів, що створює обертальний момент. Цей момент пропорційний добутку струмів у котушках, що дозволяє вимірювати електричні параметри, такі як струм, напруга або потужність. Особливістю електродинамічних приладів є їх здатність працювати як в колах постійного, так і змінного струму, що робить їх універсальними.

Феродинамічні прилади базуються на явищах, пов’язаних із взаємодією магнітних полів і магнітних матеріалів. Головним фізичним явищем є магнітна індукція – здатність феромагнітного матеріалу підсилювати магнітне поле в своїй структурі.

Основні компоненти феродинамічних приладів включають:

- магнітопровід – деталь із феромагнітного матеріалу, яка концентрує магнітне поле;
- обмотки – провідники, які створюють магнітне поле при проходженні струму.

Магнітопровід забезпечує формування сильнішого магнітного поля в певній ділянці простору, що дозволяє підвищити чутливість приладу. Феродинамічні прилади мають високу стабільність завдяки властивостям магнітних матеріалів і використовуються переважно в колах змінного струму.

Зробимо коротке порівняння фізичних основ приладів:

- електродинамічні прилади спираються на взаємодію магнітних полів, створених струмами, і можуть вимірювати параметри в широкому діапазоні умов;
- феродинамічні прилади використовують властивості феромагнітних матеріалів для підсилення магнітного поля, що робить їх більш ефективними у вимірюваннях у змінних магнітних полях.

Обидва види приладів демонструють високу точність і чутливість, що забезпечує їх широке застосування у вимірювальній техніці. Їхня робота є яскравим прикладом практичного застосування фундаментальних законів фізики для вирішення інженерних задач.

Принцип дії електродинамічних і феродинамічних вимірювальних приладів базується на фундаментальних фізичних законах, що описують взаємодію електричних і магнітних полів. Розглянемо основні формули та закони, які пояснюють роботу цих приладів.

1.2.1. Закон Ампера

Закон Ампера є основним для розуміння роботи електродинамічних приладів. Згідно з цим законом, на провідник із струмом, розташований у магнітному полі, діє сила, пропорційна силі струму, довжині провідника та інтенсивності магнітного поля. Формула для сили, що діє на провідник зі струмом у магнітному полі, виглядає так:

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin sin\, \theta$$

де F – сила, що діє на провідник, Н;

I – сила струму, А;

l – довжина провідника, розташованого в магнітному полі, м;

B – індукція магнітного поля, Т;

θ – кут між напрямком струму та лініями магнітного поля.

Цей закон пояснює принцип дії електродинамічних вимірювальних приладів, де взаємодія між струмом в провіднику та магнітним полем призводить до виникнення механічного обертального моменту, що вимірюється як електричний параметр.

1.2.2. Закон Фарадея

Закон Фарадея лежить в основі роботи багатьох типів електродинамічних приладів, особливо тих, що використовують змінне магнітне поле. Згідно з цим законом, зміна магнітного потоку через контур викликає появу електрорушійної сили (ЕРС), пропорційну швидкості зміни магнітного потоку:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

де ε – електрорушійна сила, В;

Φ_B – магнітний потік ($B \cdot A$) через контур, Вб;

t – час, с.

Цей закон пояснює, як зміна магнітного поля в електродинамічному приладі може генерувати електричний сигнал, який використовується для вимірювання величин.

1.2.3. Закон Біо-Савара-Лапласа

Згідно з цим законом, струм, що проходить через провідник, створює навколо нього магнітне поле. Напрямок цього поля визначається за допомогою правила правої руки, а його величина пропорційна силі струму і відстані від провідника.

За цим законом величина магнітної індукції в точці M на відстані r від елемента M провідника довільної форми визначається формулою:

$$dB = k\frac{Idl}{r^2}\sin sin\,\alpha = \frac{\mu_0}{4\pi} \bullet \frac{Idl}{r^2}\sin sin\,\alpha$$

де dB – елементарне магнітне поле, Т;

$k = \frac{\mu_0}{4\pi}$ – коефіцієнт пропорційності;

$\mu_0 = 4\pi \bullet 10^{-7}$ – магнітна постійна, Т·м/А;

I – сила струму, А;

dl – елемент довжини провідника, м;

r – відстань від елемента довжини до точки спостереження, м;

α – кут між напрямом струму і напрямом радіуса-вектора.

Цей закон описує створення магнітних полів і є основою для розуміння роботи феродинамічних приладів, які використовують магнітні властивості феромагнітних матеріалів для створення вимірювальних сигналів.

1.2.4. Магнітна індукція і сила Лоренца

Взаємодія між зарядженими частинками та магнітним полем описується силою Лоренца:

$$F = qE + q[v \times B]$$

де F – сила Лоренца, Н;

q – заряд частинки, Кл;

E – напруженість електричного поля, В/м;

v – швидкість частинки, м/с;

B – магнітне поле, Т.

Іноді силою Лоренца називають лише другу складову цього виразу – силу, яка діє на заряд, що рухається, з боку магнітного поля:

$$F = q[v \times B]$$

Цей закон є основою для розуміння того, як магнітне поле впливає на електричні заряди, що рухаються в приладі. Вимірювання зміни швидкості або напрямку руху заряджених частинок в результаті цього взаємодії може використовуватись для вимірювань у приладах, де виявляються магнітні поля.

1.2.5. Електрична потужність в колі змінного струму

Електродинамічні прилади часто використовуються для вимірювання потужності в колах змінного струму, де потужність можна визначити за формулою:

$$P = U \cdot I \cos cos \, \phi$$

де P – потужність, Вт;

U – напруга, В;

I – струм, А;

ϕ – фаза між струмом і напругою.

Ця формула дозволяє вимірювати потужність в колах змінного струму і є основною для роботи багатьох електродинамічних вимірювальних приладів.

Основні формули та закони, які лежать в основі роботи електродинамічних і феродинамічних вимірювальних приладів, демонструють, як фізичні явища електромагнітної взаємодії використовуються для точного вимірювання електричних і магнітних параметрів. Знання цих законів є необхідною умовою для розуміння принципів роботи вимірювальних приладів і подальшого розвитку вимірювальної техніки.

Точність вимірювань є одним із основних критеріїв ефективності роботи вимірювальних приладів, зокрема електродинамічних і феродинамічних. Вплив електромагнітних і механічних процесів на точність вимірювань є значущим фактором, оскільки навіть незначні зміни у навколишньому середовищі або конструктивні особливості приладів можуть впливати на їхню точність. Розглянемо, як саме ці процеси можуть впливати на результати вимірювань.

Електромагнітні процеси, зокрема електричні та магнітні поля, можуть значно вплинути на точність роботи вимірювальних приладів, особливо в умовах змінних полів або при високих частотах.

Один із основних електромагнітних факторів, який може впливати на точність вимірювань, – це електричні перешкоди, що виникають через індукцію сторонніх електричних полів у вимірювальних ланцюгах. Це може спричинити зміщення значень або збої в показах приладів, особливо якщо вони працюють в умовах високочастотних сигналів або в сильних полях. Для зменшення таких

впливів використовуються екранування і заземлення, що дозволяє знизити рівень шумів та перешкод.

Оскільки багато вимірювальних приладів, зокрема електродинамічні та феродинамічні, залежать від взаємодії магнітних полів, присутність сторонніх магнітних полів може призвести до спотворення результатів вимірювань. Наприклад, магнітне поле, яке створюється в результаті роботи інших електричних приладів або поблизу сильних магнітних джерел, може змінити характеристику магнітного поля в вимірювальному приладі, що призведе до помилок у вимірюванні. Для уникнення таких впливів застосовуються спеціальні феритні матеріали або магнітні екрани.

Вимірювальні прилади, що використовують котушки або обмотки для створення магнітних полів, можуть зазнавати впливу індукційних процесів, особливо у змінних магнітних полях. Неправильна калібровка або зміна частоти сигналу може вплинути на величину індукованої електрорушійної сили (ЕРС), що також призведе до похибок вимірювань.

Механічні процеси, зокрема механічні коливання, деформації та тертя, також можуть впливати на точність вимірювань. Особливо це стосується приладів, в яких є рухомі елементи або що працюють у механічному режимі.

Вібрації, що виникають через рухи в оточуючому середовищі, можуть призвести до зміщення вимірювальних елементів або до виникнення додаткових коливань в механічних частинах приладу. У випадку електродинамічних приладів це може впливати на взаємодію між струмами та магнітними полями, що викликає похибки в результатах вимірювань. Тому прилади часто встановлюються на амортизовані основи для зменшення впливу вібрацій.

Механічне тертя в рухомих частинах приладу може спричинити зміну сили, що прикладається до механізмів, які взаємодіють із електричними компонентами. Знос таких елементів зменшує точність вимірювань, оскільки можуть виникати малі механічні заїдання або зміни в геометрії рухомих частин. Це часто спостерігається в старих вимірювальних приладах, де тертя і знос призводять до

зменшення їх чутливості. У сучасних моделях застосовуються безконтактні або знижені тертя механізми, щоб зменшити ці ефекти.

Механічні навантаження або температурні зміни можуть спричиняти деформацію конструктивних елементів приладу, що впливає на точність вимірювань. Наприклад, металеві частини, що розширюються або стискаються під впливом температури, можуть змінювати геометрію та взаємне розташування компонентів приладу, що безпосередньо впливає на його характеристики. З цієї причини прилади часто виготовляються з матеріалів, які мають низький коефіцієнт теплового розширення, щоб мінімізувати ці ефекти.

Електромагнітні та механічні процеси вимагають врахування їх комплексної взаємодії в реальних умовах роботи приладів. Наприклад, електромагнітні поля можуть викликати механічні коливання в певних елементах приладу, що, у свою чергу, може привести до зміни його електричних характеристик. Тому при проектуванні та виготовленні вимірювальних приладів особлива увага приділяється зниженню таких впливів за допомогою стабілізаторів температури, амортизаційних систем і екранів для зменшення електромагнітних перешкод.

Електромагнітні та механічні процеси мають значний вплив на точність вимірювань. Взаємодія між електричними і магнітними полями, а також механічними коливаннями і деформаціями, може призвести до похибок, що негативно позначається на результатах вимірювань. Для збереження високої точності приладів необхідно враховувати ці впливи на всіх етапах проектування, виготовлення та експлуатації вимірювальних приладів, застосовуючи технології екранування, амортизації та матеріали з низьким коефіцієнтом теплового розширення.

1.3. Порівняння електродинамічних і феродинамічних приладів із іншими типами вимірювальної техніки

Електродинамічні та феродинамічні вимірювальні прилади мають свої унікальні характеристики, які визначають їх переваги і недоліки у порівнянні з іншими типами вимірювальних приладів, такими як електромеханічні та цифрові прилади. Розглянемо ці переваги і недоліки більш детально.

Переваги електродинамічних та феродинамічних приладів:

- однією з основних переваг електродинамічних і феродинамічних приладів є їх висока чутливість до малих змін параметрів, що вимірюються, що робить їх надзвичайно корисними в лабораторних умовах, де необхідно точно вимірювати навіть мінімальні зміни, такі як незначні зміни в струмі або напрузі;
- електродинамічні і феродинамічні прилади здатні працювати на широкому діапазоні вимірюваних величин, таких як сила струму, напруга, потужність, магнітне поле тощо, що дозволяє використовувати їх для різних завдань в різних умовах;
- вимірювальні прилади на основі електродинамічних та феродинамічних принципів зазвичай мають високу стабільність і точність, оскільки вони не залежать від електронних компонентів, що можуть бути чутливими до коливань температури або інших зовнішніх факторів, як це часто буває з цифровими приладами;
- деякі феродинамічні прилади можуть здійснювати вимірювання без безпосереднього контакту з об'єктом, що є важливим для запобігання змінюванню характеристик вимірюваного об'єкта під час вимірювання, наприклад, в умовах високих температур або високих напруг.

Недоліки електродинамічних та феродинамічних приладів:

- одним з головних недоліків є обмеження їх точності при вимірюваннях у високочастотних діапазонах, на великих частотах ефективність таких приладів може знижуватися через явища індукції та впливи змінних

електричних і магнітних полів, що виникають при високих швидкостях переміщення зарядів;

- електродинамічні прилади мають деяку механічну інерційність, пов'язану з рухомими елементами, такими як котушки або магнітні компоненти, це означає, що такі прилади можуть не бути ідеальними для вимірювання швидко змінюваних величин, оскільки вони мають час на розгортання і стабілізацію показників;
- хоча ці прилади відрізняються стабільністю, вони все ж можуть бути чутливими до зовнішніх факторів, таких як температура, вологість, або зміни магнітного поля в навколишньому середовищі, що може призвести до помилок або потреби в додатковому калібруванні приладу.

Переваги електромеханічних приладів:

- електромеханічні прилади, як правило, мають просту конструкцію, що дозволяє знизити їх вартість та забезпечує зручність в експлуатації, вони також відрізняються високою надійністю і довговічністю при правильному використанні;
- прилади можуть працювати в умовах безперервних вимірювань, оскільки їх механічні частини можуть здійснювати стабільний рух в межах заданих параметрів, що робить їх зручними для тривалих експериментів.

Недоліки електромеханічних приладів:

- на відміну від електродинамічних і цифрових приладів, електромеханічні прилади можуть бути значно більшими і важчими, що обмежує їх використання в умовах, де важлива компактність і мобільність;
- механічні частини можуть зазнавати зносу і втрати точності з часом через тертя і механічні навантаження, що веде до необхідності регулярного технічного обслуговування та калібрування.

Переваги цифрових приладів:

- цифрові прилади зазвичай мають високу точність, оскільки використовують сучасні електронні компоненти, що забезпечують точні вимірювання навіть при мінімальних змінах в умовах навколишнього середовища;

- цифрові прилади можуть зберігати і обробляти вимірювальні дані в реальному часі, що дозволяє спростити аналіз результатів і створити звіти;
- цифрові прилади легко інтегруються з іншими системами автоматизації, що дозволяє знижувати рівень людської помилки і підвищувати ефективність процесів.

Недоліки цифрових приладів:

- цифрові прилади чутливі до електромагнітних перешкод і змін температури, що може впливати на їх точність, особливо при вимірюванні в нестабільних або агресивних середовищах;
- цифрові прилади часто обмежені певними частотними діапазонами через використання дискретної обробки сигналів. Це може обмежити їхню ефективність у високочастотних вимірюваннях.

Електродинамічні та феродинамічні прилади мають переваги в точності та стабільності, особливо при вимірюванні малих змін. Водночас, вони мають обмеження в умовах високих частот або змінних середовищ, порівняно з електромеханічними та цифровими приладами. Цифрові прилади, хоч і володіють високою точністю та зручністю в обробці даних, можуть бути чутливими до перешкод і мають обмеження в частотних діапазонах. Електромеханічні прилади, хоча й менш точні, є надійними та простими в експлуатації. Вибір між цими приладами залежить від специфіки вимірювальних завдань, необхідної точності та умов використання.

Вимірювальні системи займають важливе місце у багатьох галузях науки, техніки та промисловості. Вибір типу вимірювального приладу значною мірою залежить від специфіки вимірюваної величини, умов експлуатації та необхідної точності. Розглянемо, де і як застосовуються різні типи вимірювальних систем, зокрема електродинамічні, феродинамічні, електромеханічні та цифрові.

Електродинамічні та феродинамічні прилади використовуються у ситуаціях, де важлива висока чутливість, стабільність та точність вимірювань, особливо в умовах змінних магнітних і електричних полів. Ці системи мають широкий спектр застосування в різних наукових, технічних та промислових сферах. Наприклад, в

лабораторіях і наукових дослідженнях електродинамічні прилади широко використовуються для точних вимірювань електричних та магнітних величин. Вони застосовуються для вимірювання магнітного поля в експериментах з електродинаміки, а також у дослідженнях взаємодії електричних і магнітних полів.

У промисловості ці прилади використовуються для контролю процесів на енергетичних підприємствах, де потрібна стабільність і точність вимірювань таких величин, як струм, напруга, потужність і температура. В автомобільній та авіаційній промисловості електродинамічні прилади застосовуються для контролю електричних параметрів під час тестування та виробництва транспортних засобів. Крім того, феродинамічні прилади застосовуються в медичних апаратах для діагностики, де необхідно вимірювати такі величини, як електричний струм або магнітні поля, для визначення серцевої діяльності або мозкових хвиль.

Електромеханічні вимірювальні прилади традиційно використовуються в умовах, де важлива надійність, простота конструкції та довговічність. Вони часто застосовуються в побутовій техніці та комунальному господарстві, зокрема для вимірювання електричних параметрів, таких як у побутових електричних приладах, включаючи електричні лічильники, термометри та манометри. Такі прилади мають достатньо високу точність для повсякденних вимірювань і є доступними за ціною.

В промислових системах автоматизації та контролю електромеханічні прилади використовуються для вимірювання швидкості обертання, тиску, рівня рідини та інших параметрів, що є важливими для ефективного управління виробничими процесами. Вони також популярні в хімічній, нафтохімічній та металургійній промисловості завдяки своїй надійності в агресивних умовах. В автомобільному транспорті електромеханічні прилади використовуються для вимірювання параметрів, таких як температура двигуна, рівень пального, тиск у шинах, що забезпечує безпеку та ефективність транспортних засобів. У будівництві вони застосовуються для вимірювання геодезичних параметрів, таких

як рівень, кут нахилу, розташування об'єктів у просторі, а також для контролю процесів монтажу та зварювання.

Цифрові вимірювальні системи є одними з найсучасніших і найбільш універсальних. Вони широко використовуються в умовах, де важливі висока точність, швидкість обробки даних, а також інтеграція з іншими автоматизованими системами. У науково-дослідницьких роботах та технічних дослідженнях цифрові прилади часто застосовуються для точних вимірювань і збору даних, особливо в електронних вимірюваннях. Вони є незамінними при розробці нових матеріалів, комп'ютерних чіпів та в експериментах у галузі фізики високих енергій.

У енергетичній та телекомунікаційній галузях цифрові прилади використовуються для контролю та моніторингу енергетичних мереж, виявлення аварійних ситуацій і запобігання збоям. Вони також важливі для моніторингу параметрів сигналу, частоти та швидкості передачі даних у телекомунікаційних мережах. В автомобільній та авіаційній промисловості цифрові вимірювальні системи застосовуються для моніторингу параметрів двигунів, навігаційних систем і систем безпеки. Вони забезпечують точність вимірювань та інтеграцію з іншими цифровими системами на борту транспортних засобів. У медичній техніці цифрові прилади використовуються для вимірювання та моніторингу життєвих показників пацієнтів, таких як температура, тиск, частота серцевих скорочень, рівень кисню в крові. Вони дозволяють проводити точні вимірювання та забезпечують інтеграцію з системами електронного моніторингу. В промислових автоматизованих системах цифрові вимірювальні системи широко використовуються для контролю виробничих процесів, вимірювання температури, вологості, тиску та інших параметрів, забезпечуючи точне та швидке збирання даних для автоматичних регуляторів і контролерів.

Різні типи вимірювальних систем мають свої специфічні переваги та обмеження, що визначає їх сферу застосування. Електродинамічні та феродинамічні прилади забезпечують високу точність у наукових дослідженнях і промисловості, електромеханічні — надійність і простоту в агресивних умовах, а

цифрові вимірювальні системи — швидкість, інтеграцію з автоматизованими системами та високу точність у складних вимірюваннях. Вибір типу приладу залежить від специфіки завдання, умов експлуатації та необхідних характеристик точності і швидкості вимірювань.

На ринку вимірювальних приладів існує кілька ключових конкурентів електродинамічних і феродинамічних систем, які пропонують альтернативні технології для здійснення точних вимірювань в різних сферах.

Одним із основних конкурентів є цифрові вимірювальні прилади, які забезпечують вищу точність, менші габарити і швидкість обробки даних. Цифрові системи використовують мікропроцесори і спеціалізовані схеми для обробки сигналів, що дозволяє автоматично коригувати похибки та забезпечувати високу точність при широкому діапазоні вимірюваних величин. Наприклад, у вимірюванні електричних параметрів, таких як напруга чи струм, цифрові мультиметри можуть бути більш точними та зручними в експлуатації, порівняно з традиційними електродинамічними приладами, завдяки вбудованим функціям калібрування та автоматичної компенсації.

Іншим конкурентом є електромеханічні прилади, які відрізняються надійністю та довговічністю при вимірюваннях в складних і агресивних умовах. Вони використовуються в промисловості для вимірювання механічних величин (швидкості, тиску, температури) і мають перевагу в тому, що не залежать від зовнішніх електромагнітних полів, що робить їх стійкими до перешкод. В порівнянні з електродинамічними приладами, електромеханічні системи часто є менш чутливими до змін температури і вологи, що є важливим фактором у промисловому середовищі.

Незважаючи на ці переваги конкурентів, електродинамічні і феродинамічні прилади залишаються важливими у специфічних сферах, таких як наукові дослідження, де необхідна висока точність вимірювань в умовах змінного електромагнітного поля. Конкуренція на ринку вимірювальних приладів зростає, проте, завдяки своїм унікальним властивостям, ці прилади зберігають свою нішу в багатьох галузях.

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ І ФЕРОДИНАМІЧНИХ ПРИЛАДІВ

2.1. Конструктивні особливості електродинамічних приладів

Конструкція електродинамічних і феродинамічних вимірювальних приладів складається з кількох основних елементів, кожен з яких виконує свою важливу функцію в процесі вимірювання. До таких елементів належать рамки, котушки та магнітна система, які безпосередньо впливають на точність, чутливість і ефективність роботи цих приладів.

Рамка – це основний структурний елемент приладу, на якому встановлені інші компоненти. У електродинамічних приладах рамка зазвичай має форму котушки, по якій проходить струм. Цей елемент служить для створення магнітного поля та взаємодії з ним. У феродинамічних приладах рамка також є важливою частиною, але конструкція може бути дещо іншою, щоб забезпечити більш ефективне використання ферромагнітних матеріалів для підсилення сигналу. Рамка повинна бути виготовлена з матеріалів, що володіють високою механічною міцністю, щоб витримувати навантаження в процесі вимірювань.

Котушки є критичними елементами для створення змінного електричного або магнітного поля. В електродинамічних приладах котушка знаходиться в постійному магнітному полі і взаємодіє з ним при протіканні струму. Це дозволяє створювати механічний момент, що відображається на вимірювальному індикаторі. Котушки також можуть бути частиною замкнутого кола для вимірювання індуктивності або інших параметрів. У феродинамічних приладах котушка створює змінне магнітне поле, яке взаємодіє з ферромагнітними елементами, що підсилюють сигнал вимірювань. Важливим аспектом є підбір оптимальної кількості витків котушки та її розмірів для досягнення необхідної чутливості.

Магнітна система приладу складається з магнітів або магнітних матеріалів, які створюють стабільне магнітне поле для взаємодії з рамкою або котушкою. В

електродинамічних приладах магнітна система забезпечує створення постійного магнітного поля, що необхідно для створення сили, яка діє на провідник з струмом. У феродинамічних приладах магнітна система може включати ферромагнітні осердя, що дозволяють підсилювати магнітне поле і тим самим збільшувати чутливість вимірювань. Матеріали для магнітних систем повинні мати високу магнітну проникність і здатність утримувати стабільне поле під час роботи приладу, щоб забезпечити точність і стабільність вимірювань.

Взаємодія цих трьох елементів – рамки, котушки і магнітної системи – створює основні фізичні процеси, які дозволяють здійснювати точні вимірювання в електродинамічних і феродинамічних приладах. Кожен з елементів має великий вплив на точність, чутливість і надійність приладу, тому важливим є оптимізація їх конструкції в залежності від вимог до конкретних умов експлуатації.

Виготовлення електродинамічних і феродинамічних вимірювальних приладів вимагає використання спеціальних матеріалів, що забезпечують високу точність вимірювань, стійкість до зовнішніх впливів та довговічність роботи приладів у різноманітних умовах. Основні матеріали, що використовуються для виготовлення таких приладів, включають:

1. Магнітні матеріали.

Для створення магнітних систем використовуються матеріали з високою магнітною проникністю, такі як ферити або спеціальні сталі з феромагнітними властивостями. Ферити, зокрема, використовуються у феродинамічних приладах завдяки своїй здатності створювати сильне, стабільне магнітне поле при невеликій вазі і розмірах. Феромагнітні сталі, на відміну від феритів, можуть використовуватись для виробництва сталевих осердь або елементів конструкцій, що підвищують чутливість приладу.

2. Мідь та алюміній.

Для виготовлення котушок і проводів використовуються високоякісні метали, зокрема мідь і алюміній, які мають хорошу провідність і здатність витримувати значні навантаження без перегріву. Мідь є основним матеріалом для

проводів котушок завдяки своїй високій електричній провідності та механічній міцності, що забезпечує стабільну роботу приладів.

3. Пластмаси та композити.

Для виготовлення корпусів, ізоляційних елементів і підтримуючих конструкцій використовуються матеріали, такі як пластмаси, полімери та композитні матеріали. Вони мають високу електричну ізоляцію, що запобігає коротким замиканням і сприяє тривалому терміну служби приладу. Пластмаси також легші за металеві матеріали, що дозволяє зменшити вагу приладів.

4. Сплави на основі нікелю та заліза.

Для виготовлення частин, що піддаються високим магнітним полям або значним механічним навантаженням, використовуються сплави на основі нікелю і заліза. Вони забезпечують необхідну міцність, стійкість до корозії та добрі магнітні властивості, що критично важливо для точності та надійності приладів.

Конструктивні рішення в електродинамічних і феродинамічних приладах прямо залежать від типу вимірюваних параметрів, оскільки кожен тип вимірювання має свої особливості, що вимагають оптимізації конструкції для досягнення максимальної точності і чутливості.

1. Вимірювання електричних параметрів.

Для вимірювання таких параметрів, як напруга, струм, потужність, важливими є високі вимоги до стабільності електричного кола та мінімізації втрат енергії. У таких приладах конструкція котушок повинна бути розрахована таким чином, щоб забезпечити найменші магнітні втрати та максимально точне реагування на зміну електричних параметрів. Крім того, в таких приладах використовується спеціальна магнітна система, яка дозволяє створити постійне магнітне поле для точного вимірювання струму або напруги.

2. Вимірювання магнітних параметрів.

Вимірювання величин, пов'язаних з магнітними полями (магнітної індукції, магнітного потоку), вимагає використання спеціальних матеріалів для магнітних систем. У феродинамічних приладах конструкція включає матеріали з високою магнітною проникністю (ферити, спеціальні сталеві сплави), що дозволяє

збільшити точність вимірювання магнітних параметрів. Оскільки ці параметри тісно пов'язані з індукованими електричними полями, конструкція котушок і рамок повинна бути спроектована для мінімізації втрат і забезпечення стійкості до зовнішніх магнітних перешкод.

3. Вимірювання механічних параметрів.

Прилади для вимірювання механічних величин, таких як тиск, сила або швидкість, потребують міцних і стабільних конструкцій, здатних витримувати великі навантаження та впливи зовнішніх умов. В таких приладах важливо забезпечити точність передачі сили або моменту на вимірювальні елементи. Тут конструкція котушок і рамок має бути орієнтована на отримання високої чутливості до малих змін, при цьому зберігаючи механічну міцність.

Вибір конструктивних рішень залежить від типу вимірюваного параметра, що вимагає ретельного підходу до вибору матеріалів, геометрії елементів та особливостей взаємодії різних компонентів у приладі для забезпечення високої точності і стабільності вимірювань.

2.2. Принцип роботи феродинамічних приладів

Феромагнітні властивості матеріалів грають ключову роль у функціонуванні феродинамічних і електродинамічних вимірювальних приладів. Феромагнітні матеріали здатні сильно намагнічуватись і зберігати свої магнітні властивості навіть після припинення дії зовнішнього магнітного поля. Ці властивості використовуються в різних компонентах вимірювальних приладів, зокрема в магнітних системах, котушках і рамках, де потрібно створювати стабільне і сильне магнітне поле для взаємодії з електричними струмами або магнітними полями.

У феродинамічних приладах феромагнітні матеріали використовуються для створення сильного магнітного поля, яке взаємодіє з рамкою або котушкою, що містять електричний струм. Завдяки феромагнітним властивостям, матеріали, такі як залізо або сплави на основі нікелю, використовуються для виготовлення осердь магнітних систем. Це дозволяє значно посилити магнітне поле і, відповідно, збільшити чутливість приладу. Така взаємодія між матеріалом і магнітним полем є основою багатьох феродинамічних вимірювань, таких як вимірювання сили, індуктивності або магнітної індукції.

Феромагнітні матеріали також використовуються в конструкціях котушок і рамок, що забезпечують створення і управління магнітними полями в процесі вимірювання. Наприклад, ферромагнітні матеріали допомагають знизити втрати енергії і підвищити ефективність вимірювання через покращення взаємодії між котушкою і магнітним полем. Це дозволяє значно збільшити точність вимірювань, оскільки феродинамічні прилади здатні більш чітко реагувати на незначні зміни магнітного або електричного поля.

Феромагнітні властивості використовуються також для калібрування вимірювальних систем. Вони дозволяють забезпечити більш точне налаштування приладів завдяки можливості точно контролювати магнітні характеристики системи. Наприклад, магнітні матеріали використовуються в процесах компенсації похибок, що виникають внаслідок зміни температури чи впливу інших зовнішніх факторів, таких як вібрації або електромагнітні перешкоди.

Феромагнітні матеріали також знаходять застосування у виготовленні датчиків, що використовуються в електродинамічних і феродинамічних приладах для вимірювання фізичних величин. Вони можуть служити основою для створення чутливих елементів, що реагують на зміну магнітного поля або силових ліній, що виникають під час роботи приладів. Такі датчики широко застосовуються в системах автоматизованого контролю, де важлива точність і швидкість реакції на зміни в середовищі.

Загалом, феромагнітні властивості матеріалів дозволяють значно покращити точність, чутливість і стабільність роботи електродинамічних та феродинамічних приладів, що робить їх незамінними у багатьох сферах науки та техніки. Вони є основою для інноваційних рішень, що забезпечують високу ефективність вимірювань в умовах змінного електричного або магнітного поля.

Магнітне поле відіграє ключову роль у роботі феродинамічних приладів, оскільки саме воно забезпечує основний механізм взаємодії між різними компонентами пристрою. В феродинамічних системах магнітне поле зазвичай генерується за допомогою постійних або змінних магнітів, що використовуються для магнітних систем. Це поле взаємодіє з елементами вимірювального приладу, такими як котушки або ферромагнітні матеріали, і дозволяє здійснювати точні вимірювання фізичних величин.

1. Створення механічного моменту.

Важливою особливістю феродинамічних приладів є використання магнітного поля для створення механічного моменту на рухомі частини приладу. Це досягається завдяки взаємодії магнітного поля з котушкою, в якій протікає струм, або з ферромагнітними матеріалами. Рух котушки або іншого рухомого елемента викликає механічний відгук, який може бути виміряний і переведений у покази на індикаторі приладу. Таким чином, магнітне поле є основою для вимірювання електричних параметрів (струм, напруга, індуктивність) або фізичних величин, що пов'язані з магнітними полями.

2. Посилення чутливості.

Завдяки правильному підбору інтенсивності магнітного поля, можна значно підвищити чутливість феродинамічних приладів. Сильне магнітне поле дозволяє вловлювати навіть мінімальні зміни в електричних або механічних параметрах, що є важливим для вимірювальних задач, де потрібна висока точність. Це особливо корисно в умовах низьких рівнів сигналу, коли зміни в електричному або механічному середовищі можуть бути непомітні без застосування потужних магнітних полів.

3. Підвищення стабільності вимірювань.

Магнітне поле також забезпечує стабільність вимірювань, оскільки стабільне постійне поле дозволяє уникати флуктуацій і забезпечує постійну точність приладу протягом довгого часу. Важливим є застосування матеріалів з високою магнітною проникністю в магнітних системах, що сприяє створенню потужних, стабільних полів, що в свою чергу покращує точність і надійність приладів.

Точність вимірювань в електродинамічних і феродинамічних приладах значно залежить від температурних і зовнішніх факторів, які можуть викликати похибки в роботі приладів або змінювати їх характеристики. У таких системах вплив температури і інших зовнішніх факторів необхідно враховувати на етапі проектування приладів, а також у процесі їх експлуатації.

1. Температурний вплив.

Зміни температури можуть істотно впливати на матеріали, з яких виготовлені ключові компоненти приладу (наприклад, котушки, ферромагнітні матеріали, магнітні системи). Це може змінювати їх електричні і магнітні властивості, що, в свою чергу, позначається на точності вимірювань. Наприклад, зміни температури можуть призвести до змін в електричному опорі матеріалів, що веде до помилок при вимірюванні струму або напруги. Окрім того, температурне розширення матеріалів може вплинути на механічну точність приладу, якщо конструкція не враховує ці зміни.

2. Вплив магнітних і електричних полів.

Зовнішні електричні і магнітні поля можуть порушувати роботу вимірювальних приладів, особливо в умовах високої чутливості приладів до змін полів. Зовнішні магнітні поля можуть впливати на точність вимірювань магнітних характеристик, а також на процес вимірювання сили або моменту. Тому важливо застосовувати екрани або спеціальні заходи для захисту приладів від зовнішніх впливів, що можуть змінювати результати вимірювань.

3. Механічні впливи.

Вібрації, удари та інші механічні навантаження можуть також вплинути на точність приладів, особливо на прилади з рухомими елементами. Механічні коливання можуть призводити до зміщення котушок або рамок, що впливає на їх взаємодію з магнітним полем і, відповідно, на точність вимірювання. Для мінімізації впливу таких факторів використовують спеціальні антивібраційні механізми і конструктивні рішення, що дозволяють забезпечити стабільність роботи приладу.

Таким чином, для забезпечення високої точності вимірювань в електродинамічних і феродинамічних приладах необхідно враховувати вплив температури, зовнішніх магнітних і електричних полів, а також механічних факторів. Всі ці чинники повинні бути враховані при розробці та експлуатації вимірювальних приладів, щоб забезпечити їх надійність і точність.

2.3. Аналіз основних технічних характеристик та їх вплив на точність вимірювань

Діапазон вимірювань є одним із основних параметрів, який визначає ефективність роботи вимірювального приладу. У феродинамічних і електродинамічних приладах оптимізація діапазону вимірювань забезпечує можливість отримувати точні результати у різних умовах експлуатації. Під діапазоном вимірювань розуміють максимальні та мінімальні значення параметрів, які прилад може виміряти без втрати точності або достовірності даних.

Для кожного типу приладів важливо визначити діапазон вимірювань, який дозволить отримати точні результати в межах робочих умов. Наприклад, у феродинамічних приладах для вимірювання сили або індуктивності, важливо забезпечити достатню чутливість в низьких діапазонах і водночас можливість вимірювати великі величини без втрати точності. Це досягається за рахунок налаштування діапазону вимірювальних елементів (наприклад, котушок або магнітних систем), які можуть бути оптимізовані для забезпечення чіткої реакції на різні значення параметрів.

Для досягнення максимальної точності важливо враховувати зовнішні умови, такі як температура, вологість, механічні навантаження або електричні та магнітні поля. У випадку зміни цих факторів потрібно коригувати діапазон вимірювань, щоб прилад зберігав високу чутливість і точність навіть в екстремальних умовах. Оптимізація діапазону вимірювань передбачає також врахування можливих коливань вхідних параметрів, що можуть впливати на точність вимірювань.

Стабільність та надійність роботи вимірювальних приладів при змінних навантаженнях є критично важливими аспектами для забезпечення точності вимірювань у реальних умовах.

У феродинамічних і електродинамічних приладах, змінні навантаження можуть призвести до флуктуацій у вимірювальних показах, що знижує точність.

Наприклад, при зміні струму в котушці або змінах магнітного поля в пристрої можуть виникати помилки, які важливо компенсувати. Для забезпечення стабільності роботи приладу необхідно використовувати елементи, які здатні підтримувати постійну характеристику при різних навантаженнях, такі як стабілізатори напруги, температурні компенсаційні системи або механічні демпфери.

Для забезпечення надійної роботи приладу при змінних навантаженнях важливо, щоб усі його компоненти були спроектовані з урахуванням таких змін. Це включає вибір матеріалів, що здатні витримувати механічні навантаження або термічні зміни без значної зміни своїх властивостей, а також конструкцію, яка мінімізує вплив зміни навантаження на точність вимірювань.

Точність вимірювань є критичним аспектом у роботі вимірювальних приладів, і похибки вимірювань можуть суттєво вплинути на результати. Мінімізація похибок є важливою задачею на всіх етапах розробки, калібрування та експлуатації приладів.

Похибки вимірювань можуть бути різного типу: систематичні, випадкові та людські. Систематичні похибки виникають через недоліки конструкції приладу, неправильне калібрування або вплив зовнішніх факторів (температури, вібрацій тощо). Випадкові похибки зазвичай виникають через флуктуації в оточуючому середовищі, наприклад, зміни в напрузі живлення або електромагнітні перешкоди.

Одним із способів мінімізації систематичних похибок є регулярне калібрування приладів, що дозволяє коригувати вимірювання, забезпечуючи точність у межах допустимих похибок. Випадкові похибки можна зменшити за допомогою статистичних методів, таких як повторні вимірювання та обробка результатів. Використання високоякісних матеріалів та компонентів з низьким рівнем впливу на точність вимірювань також сприяє зниженню похибок. Для цього застосовуються сучасні технології, такі як використання температурних і магнітних екранів, що ізолюють чутливі елементи приладів від зовнішніх впливів.

Для досягнення максимальної точності вимірювань необхідно враховувати як конструкційні особливості приладів, так і зовнішні чинники, які можуть

впливати на їх роботу. Мінімізація похибок потребує комплексного підходу до проектування, тестування і калібрування, що дозволяє досягти високої надійності та точності приладів в реальних умовах.

РОЗДІЛ 3. СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ І ФЕРОДИНАМІЧНИХ ПРИЛАДІВ

3.1. Використання електродинамічних і феродинамічних приладів у сучасній енергетиці та промисловості

Контроль напруги, струму і потужності є основою для ефективної і безпечної роботи енергетичних систем. Ці параметри визначають працездатність, економічність і безпеку електричних мереж, а їх точне вимірювання є необхідним для коректної роботи генераторів, трансформаторів, розподільчих пристроїв і споживачів електричної енергії.

Контроль напруги є одним із основних елементів у підтримці стабільності енергосистеми. Відповідний рівень напруги є критично важливим для нормальної роботи електричних установок і споживачів. Напруга, що вийшла за межі допустимих значень, може призвести до пошкодження устаткування, а також до неефективного споживання енергії. Тому в енергетичних системах використовуються спеціальні прилади, які вимірюють рівень напруги та в разі необхідності активують захисні механізми для корекції ситуації.

Контроль струму є важливим для моніторингу навантаження і забезпечення безпеки електричних мереж. Струм, що перевищує допустимі значення, може спричинити перегрів, пошкодження проводки або навіть пожежу. Тому пристрої для вимірювання струму в енергетичних системах повинні мати високу точність і здатність швидко реагувати на зміни навантаження.

Контроль потужності є необхідним для визначення ефективності енергетичних систем і для забезпечення оптимального розподілу електричної енергії. Потужність вимірюється для оцінки втрат в електричних лініях та трансформаторах, а також для визначення фактичного споживання енергії у

споживачах. Оскільки потужність є результатом взаємодії струму і напруги, точне вимірювання обох параметрів дає змогу здійснювати ефективний контроль за роботою енергосистеми.

Вимірювання напруги, струму і потужності знаходять широке застосування у виробничих процесах та автоматизації, де ці параметри визначають продуктивність і безпеку технологічних ліній, а також допомагають оптимізувати витрати енергії. Технологічні процеси в різних галузях — від хімічної до металургійної — потребують стабільного постачання електричної енергії, що можна забезпечити за допомогою контролю електричних параметрів.

Контроль енергоспоживання на виробництві є важливим етапом у управлінні виробничими витратами. Параметри, що контролюють споживання енергії, дають змогу виявляти неефективні або аварійні режими роботи обладнання, що дозволяє вчасно вжити заходів для запобігання поломок або економії енергії. Впровадження автоматичних систем управління, що інтегрують вимірювання напруги, струму та потужності, дає змогу оптимізувати енергоспоживання та скоротити витрати.

Автоматизація технологічних процесів передбачає використання приладів для контролю і регулювання параметрів, таких як температура, тиск, рівень рідини і, звичайно, електричні параметри. У промислових системах за допомогою вимірювань напруги і струму забезпечується належне функціонування процесів автоматичного регулювання. Високоточні прилади дозволяють здійснювати моніторинг параметрів в реальному часі і при необхідності автоматично коригувати роботу обладнання, тим самим підвищуючи безпеку і ефективність виробництва.

Високовольтні вимірювання є необхідними для контролю і діагностики енергетичних систем, що працюють на високих напругах, таких як трансформаторні підстанції, лінії передачі електроенергії, електростанції та інші енергетичні об'єкти. Високовольтні прилади вимірюють параметри електричних мереж, що працюють при напругах до десятків або сотень кіловольт.

Особливості конструкції приладів для високовольтних вимірювань полягають у необхідності забезпечення безпеки і точності вимірювань при

великих значеннях напруги. Такі прилади оснащуються спеціальними ізоляторами, що запобігають коротким замиканням або електричним пробоям, а також використовуються для вимірювання через індукцію, що дозволяє уникати безпосереднього контакту з високовольтним обладнанням.

Методи вимірювань у високовольтних мережах потребують застосування спеціальних трансформаторів напруги і струму, які знижують рівень напруги до безпечних значень для подальшого вимірювання. Для цих цілей використовуються також високовольтні осцилографи і аналізатори, які дозволяють в реальному часі фіксувати зміни електричних параметрів і прогнозувати можливі відхилення.

Проблеми точності в умовах високих напруг. При вимірюванні в таких складних умовах важливо враховувати вплив різних факторів, таких як вплив електромагнітних полів, температурні коливання, а також зношення ізоляційних матеріалів. Для забезпечення точних і надійних результатів використовуються передові технології і матеріали, що зменшують похибки вимірювань і підвищують їх стабільність в умовах високих напруг.

3.2. Напрями вдосконалення та підвищення ефективності роботи вимірювальних приладів

Сучасний розвиток вимірювальної техніки не можливо уявити без використання новітніх матеріалів і технологій, які значно покращують характеристики приладів, підвищують їх точність, надійність та ефективність. Одним із ключових аспектів, що визначає успіх сучасних вимірювальних приладів, є впровадження інноваційних матеріалів, які дозволяють досягти високої чутливості, стійкості до зовнішніх впливів та зменшити розміри обладнання. Використання високоякісних сплавів, магнітних матеріалів, а також новітніх композитних і керамічних матеріалів дозволяє значно підвищити точність вимірювань, забезпечити стабільність роботи приладів в різноманітних умовах експлуатації.

Зокрема, використання нових магнітних матеріалів у феродинамічних приладах дозволяє значно знизити масу конструкції та поліпшити її енергоефективність. Водночас, застосування висококласних сплавів у компонентах, що піддаються значним механічним навантаженням, дає змогу забезпечити приладам більшу довговічність і здатність працювати в умовах високих температур. Інноваційні технології, такі як 3D-друк компонентів приладів, також відкривають нові можливості для створення складних конструкцій, які раніше були неможливими або економічно недоцільними. Завдяки таким технологіям, конструкції стають легшими, точнішими та більш економічними у виробництві.

Одним з найважливіших завдань у сучасній вимірювальній техніці є оптимізація енергоспоживання. Підвищення енергоефективності приладів дозволяє значно зменшити експлуатаційні витрати і сприяє збереженню ресурсів у масштабах великих виробничих систем. Завдяки використанню енергоефективних схем роботи та зменшенню енергоспоживання, прилади стають більш економічними і екологічними. Одним із способів досягнення цієї мети є

застосування спеціальних схем, що дозволяють знижувати споживану потужність без втрати точності вимірювань.

Одним з основних напрямків є використання низьковольтних схем живлення, що дозволяють зменшити споживану потужність за рахунок вдосконалення компонентів живлення, таких як мікропроцесори і сенсори, що працюють на базі низьковольтних технологій. Окрім того, застосування напівпровідникових матеріалів і безконтактних датчиків дозволяє зменшити втрати енергії в процесі вимірювань. Удосконалення алгоритмів обробки сигналів і оптимізація програмного забезпечення також дозволяють зменшити енергоспоживання приладів, адже вони стають здатними працювати в умовах мінімального навантаження при збереженні високої точності результатів.

Одним з найбільш значущих досягнень у розвитку вимірювальної техніки стало інтегрування цифрових компонентів у конструкції вимірювальних приладів. Цифрові технології дозволяють значно підвищити точність і стабільність вимірювань завдяки використанню високотехнологічних елементів, таких як мікропроцесори, аналого-цифрові перетворювачі, а також цифрові фільтри та алгоритми обробки даних. Відмінною рисою таких приладів є їх висока точність, можливість проводити вимірювання в режимі реального часу та отримувати результати з високою деталізацією.

Цифрові компоненти дозволяють значно знизити вплив факторів, що можуть призводити до похибок, таких як шум і коливання напруги. Використання мікропроцесорів і інтегрованих схем дозволяє застосовувати складні алгоритми компенсації похибок, що значно покращує точність і стабільність вимірювань. Завдяки цифровим технологіям, вимірювальні прилади можуть працювати в більш широких діапазонах і з високою точністю при будь-яких зовнішніх умовах. Цифрові прилади також дозволяють зберігати та передавати результати вимірювань, що забезпечує зручність і ефективність обробки даних.

Впровадження цифрових компонентів дозволяє значно підвищити ефективність вимірювальної техніки, забезпечуючи прилади високою точністю, надійністю та енергоефективністю. Ці досягнення сприяють розвитку нових

технологій і дозволяють вирішувати складні завдання в різних сферах промисловості та науки.

3.3. Інноваційні технології та їхній вплив на розвиток електродинамічних і феродинамічних приладів

Інтеграція вимірювальних приладів з комп'ютерними системами стала важливим кроком у розвитку вимірювальної техніки. Застосування комп'ютерних технологій дозволяє значно автоматизувати процеси вимірювання, обробки та аналізу даних, що підвищує ефективність і точність вимірювань. Завдяки інтеграції з комп'ютерними системами, прилади здатні не тільки здійснювати вимірювання, а й автоматично обробляти результати, передавати їх для подальшого аналізу та зберігання. Така інтеграція дає можливість оперативно отримувати необхідну інформацію без участі людини, знижуючи ймовірність людських помилок.

Комп'ютеризовані вимірювальні системи використовують спеціалізовані програмні забезпечення, які можуть виконувати складні обчислення, візуалізацію результатів і навіть передбачати майбутні значення на основі зібраних даних. Вони дозволяють автоматично налаштовувати прилади на потрібні параметри, а також зберігати та архівувати виміряні дані для подальшої обробки. Впровадження такої технології оптимізує робочі процеси в промисловості, наукових дослідженнях та інших сферах, де точність і швидкість вимірювань є критичними.

Інтернет речей (IoT) є однією з ключових технологій, яка змінює підхід до вимірювальних систем. Використання IoT дозволяє створювати розподілені мережі приладів, що можуть здійснювати вимірювання в реальному часі і передавати дані на віддалені сервери або до центральних комп'ютерних систем. Це дозволяє здійснювати моніторинг параметрів у віддалених чи небезпечних для людини умовах, а також отримувати актуальну інформацію без необхідності фізичної присутності спеціаліста на місці.

IoT дозволяє інтегрувати вимірювальні прилади з іншими компонентами автоматизованих систем управління, забезпечуючи зручний доступ до даних через мобільні додатки або комп'ютери. Водночас, мережі IoT дозволяють моніторити великі обсяги даних з різних точок одночасно, що забезпечує точне і своєчасне реагування на зміни параметрів. Завдяки такій технології можна ефективно керувати виробничими процесами, енергетичними мережами, а також здійснювати моніторинг стану обладнання в режимі реального часу, що значно підвищує надійність і зменшує витрати на обслуговування.

У зв'язку з розвитком технологій та необхідністю підвищення функціональності вимірювальних систем, зростає інтерес до гібридних приладів, які поєднують у собі кілька технологій і забезпечують більшу універсальність. Гібридні системи дозволяють об'єднати традиційні аналогові і цифрові технології в одному пристрої, що дозволяє використовувати найкращі характеристики обох типів приладів. Це надає можливість вимірювати різноманітні параметри з високою точністю та стабільністю, а також здійснювати інтеграцію з іншими системами.

Перехід від традиційних приладів до гібридних технологій має значні переваги, серед яких зручність використання, можливість автоматизації та інтеграції в складні мережі, зниження енергоспоживання та підвищення точності. Завдяки поєднанню аналогових і цифрових компонентів, гібридні системи можуть ефективно працювати у широкому діапазоні умов, забезпечуючи гнучкість та адаптивність у вимірюваннях. Перспективи розвитку таких систем обіцяють ще більшу функціональність, зменшення розмірів приладів, підвищення їх надійності та можливість віддаленого керування. Тому гібридні вимірювальні прилади будуть здатні повною мірою задовольняти вимоги сучасного технологічного середовища, зокрема у промисловості, наукових дослідженнях та енергетичних системах.

ВИСНОВКИ

У рамках виконання даної курсової роботи було здійснено детальний аналіз сучасних вимірювальних приладів, які базуються на принципах електродинаміки та феродинаміки. Застосування цих приладів у різних сферах виробництва та науки значно покращує точність вимірювань, підвищує ефективність технологічних процесів та знижує витрати на енергоспоживання. Порівняно з іншими типами приладів, електродинамічні та феродинамічні вимірювальні прилади мають ряд переваг, таких як висока чутливість, стабільність і здатність працювати у складних умовах.

Особливу увагу було приділено аналізу конструктивних особливостей цих приладів, зокрема їх основним елементам — рамкам, котушкам та магнітним системам, а також матеріалам, що використовуються для їх виготовлення. Інтеграція новітніх технологій, таких як цифрові компоненти та IoT, відкриває нові можливості для автоматизації вимірювань, віддаленого моніторингу параметрів і підвищення точності роботи приладів.

Перспективи розвитку вимірювальної техніки також включають вдосконалення конструктивних рішень, що дозволяють оптимізувати роботу приладів при змінних навантаженнях, а також зменшити енергоспоживання завдяки використанню цифрових технологій. Прогнозується, що у майбутньому гібридні вимірювальні системи, які поєднують найкращі характеристики аналогових та цифрових приладів, стануть основою для більш функціональних і ефективних технологій вимірювання.

Таким чином, електродинамічні та феродинамічні вимірювальні прилади продовжуватимуть відігравати важливу роль у розвитку сучасних технологій, забезпечуючи високу точність і стабільність вимірювань, а їх подальше вдосконалення дозволить розширити спектр застосувань у науці, виробництві та енергетиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гнусов Ю. В., Тулупов В. В., Пересічанський В. М. Метрологія та вимірювання : навчальний посібник. Харків : Харк. нац. ун-т внутр. справ, 2019. 125 с.
2. Грязнова С. А. Конспект лекцій з курсу «Метрологія, стандартизація та сертифікація» (для студентів 1 курсу денної форми навчання за спеціальністю 263 – Цивільна безпека) / С. А. Грязнова; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 151 с.
3. Долгоруков С. О. Автоматизоване проектування випробувального стенду навігаційного обладнання. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 «Системи автоматизації проектувальних робіт». – НАУ, Київ, 2021. – 2018 с.
4. Дорожовець М. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т. / М.Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник; За ред.. Б. Стадника. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 532 с.
5. Закон Біо-Савара-Лапласа. *Українська Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Закон_Біо_–_Савара_–_Лапласа#:~:text=4%20Джерела-,Формулювання%20закону,що%20створюються%20кожним%20провідником%20окремо.
6. Кривохижа В. П. Районна електрична мережа 110 кВ та аналіз тенденцій обліку електроенергії. – Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – КПІ, Київ, 2021. – 98 с.
7. Кухарчук В. В. Основи метрології та електричних вимірювань. Ч. І. Вінниця : ВНТУ, 2020. 148 с.

8. Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Долгополов В.П., Грумінська Л.В. Метрологія та вимірювальна техніка. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. –252с.
9. Лавренова Д. Л., Хлистов В. М. Основи метрології та електричних вимірювань : навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 123 с.
10. Напруженість електричного поля. *Українська Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Закон_Біо_–_Савара_–_Лапласа#:~:text=4%20Джерела-,Формулювання%20закону,що%20створюються%20кожним%20провідником%20окремо.
11. Нестерчук Д. М., Квітка С. О., Галько С. В. Методи і засоби вимірювань електричних та неелектричних величин : навчальний посібник. Мелітополь : Виданвичо-поліграфчний центр «Люкс», 2017. 206 с.
12. Основи метрології : методичні рекомендації до курсової роботи для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / уклад. М. М. Сіренко. Харків : НТУ «ХПІ», 2020. 19 с.
13. Панев Б.И. Электрические измерения. Справочник / Б.И.Панев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.
14. Потужність електричного струму. *Українська Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Закон_Біо_–_Савара_–_Лапласа#:~:text=4%20Джерела-,Формулювання%20закону,що%20створюються%20кожним%20провідником%20окремо.
15. Тугай Д. В. Текст лекцій з дисципліни «Основи метрології та електричних вимірювань» (для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка») / Д. В. Тугай; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 106 с.
16. Физика. Большой энциклопедический словарь / [гл. редактор А.Прохоров]. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. – 944 с.