

Лекція № 12

Тема: **Електровимірювальні прилади деяких систем.**

План

1. Принцип дії, переваги та недоліки приладів магнітоелектричної системи.
2. Принцип дії, переваги та недоліки приладів електромагнітної системи.
3. Принцип дії, переваги та недоліки приладів електродинамічної системи.
4. Принцип дії, переваги та недоліки приладів феродинамічної системи.
5. Принцип дії, переваги та недоліки приладів індукційної системи.
6. Принцип дії, переваги та недоліки приладів електростатичної системи.
7. Особливості цифрових приладів.

1. У приладах *магнітоелектричної системи* обертаючий момент створюється внаслідок взаємодії сталого магніту з провідником зі струмом. Рухомою частиною може бути або рамка зі струмом, або сталий магніт, розташований на осі.

Прилади магнітоелектричної системи з рухомим магнітом є приладами низьких класів точності і застосовуються як вказівні на транспортних засобах тощо.

Електровимірювальні прилади з рухомою рамкою мають високу точність і застосовуються при більш точних вимірюваннях.

На рамку зі струмом у магнітному полі діє електромагнітна сила. Оскільки сила визначається за законом електромагнітної сили, то й обертаючий момент буде пропорційний струму, що протікає в рамці. Якщо протидіючий момент створюється пружиною

$$M_{np} = m\alpha,$$

то кут повороту рамки (стрілки приладу) α пропорційний струму в рамці

$$\alpha = cI,$$

де m – питомий протидіючий момент,

c – постійна величина.

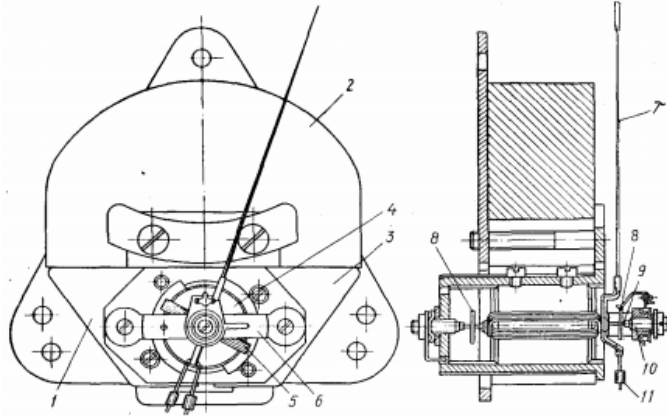
Величина $c = \alpha/I$ – називається чутливістю приладу і характеризує клас точності.

Оскільки кут повороту стрілки пропорційний струму, шкала приладів магнітоелектричної системи рівномірна, що є перевагою таких приладів. **Магнітоелектричні прилади застосовують для вимірювання постійних струмів та напруг.** Вони також можуть використовуватися для вимірювання опорів як гальванометри.

Позитивними особливостями приладів магнітоелектричної системи є високий клас точності (до 0,1) і порівняно малі внутрішні втрати енергії.

Недоліком приладів цієї системи можна вважати непридатність до роботи в полях змінного струму, чутливість до перевантажень і залежність від температури оточення.

Магнітоелектричним приладом можна виконувати вимірювання в полях змінного струму, якщо в коло рухомої котушки ввімкнути перетворювач змінного струму на постійний.



2. Електровимірювальний прилад *електромагнітної системи* має нерухому котушку і розташовану на осі феромагнітну пластинку. Якщо в котушці протікає струм, що вимірюється, то створене котушкою поле втягує всередину феромагнітну пелюстку. Якщо вимірюється величина в полі постійного струму, то обертаючий момент пропорційний квадрату струму. Якщо в котушці протікає синусоїдний струм, то обертаючий момент

пропорційний квадрату діючого значення цього струму

$$M_{об} = kI^2,$$

де k – коефіцієнт пропорційності.

Кут відхилення рухомої частини також пропорційний квадратові струму

$$\alpha = cI^2.$$

Спеціальна форма феромагнітної пелюстки може трохи поліпшити нерівномірність. Створюють прилади, у котрих шкала нерівномірна тільки в початковій частині.

Квадратова пропорційність означає, що напрямок відхилення стрілки не залежить від напрямку струму, тобто *приладами електромагнітної системи можна вимірювати як в колах постійного, так і в колах змінного струму.*

Прилади електромагнітної системи можуть безпосередньо вимірювати значні струми (до 300 А) та напруги (до 600 В). Вимірювальний механізм амперметра на великий струм має котушку у вигляді одного витка мідної шини. Електромагнітний вольтметр на велику напругу має котушку з великою кількістю витків дроту малого перерізу з додатковими резисторами, котрі компенсують температурні похибки.

Точність електромагнітного приладу значно обмежується належністю феромагнітного осердя через явище залишкового намагнічування. Для зменшення впливу гістерезису (тобто підвищення класу точності приладу) осердя виготовляють зі спеціальних феромагнітних сплавів (наприклад, пермалоїв) з невеликою коерцитивною силою.

Такі прилади мають високий клас точності, до 0,2.

Основними *перевагами* приладів електромагнітної системи можна вважати:

- а) простоту, надійність, дешевизну;
- б) спроможність використання в колах постійного та змінного струму;
- в) високу перевантажувальну здатність.

До *недоліків* приладів електромагнітної системи відносять:

- а) невисоку точність;
- б) невисоку чутливість;
- в) велике власне споживання електроенергії (0,5... 15 Вт);
- г) обмежений частотний діапазон вимірювальних величин;
- д) нерівномірність шкали;
- е) чутливість до впливу зовнішніх магнітних полів.

Власне магнітне поле приладу дуже слабе, тому зовнішнє поле значно впливає на його показання. Для зменшення впливу зовнішнього поля вимірювальний механізм захищають сталевим екраном.

Значно менше впливає зовнішнє поле на прилади електромагнітної системи з астатичним вимірювальним механізмом.

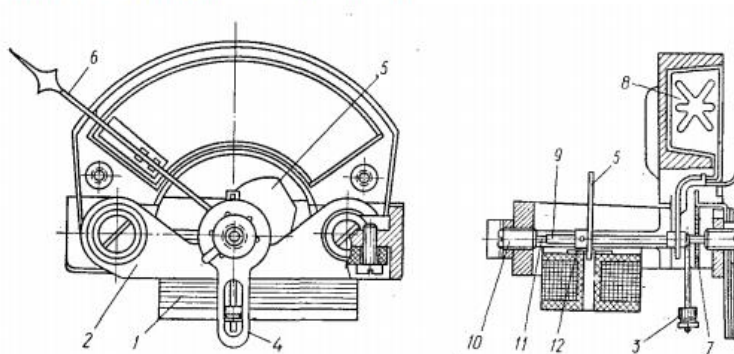


Рис. 8.2. Измерительный механизм электромагнитной системы.

Астатичний вимірювальний механізм має дві нерухомі обмотки та два осердя на одній осі. Обмотки вмикаються послідовно у такий спосіб, що їх потоки зустрічні, а моменти, що діють на осердя, – узгоджені. В цьому разі зовнішній магнітний потік підсилює обертаючий момент одного осердя і водночас послаблює момент другого осердя. Тому в астатичних електромагнітних приладах загальний обертаючий момент не залежить від зовнішнього магнітного поля.

Прилади електромагнітної системи застосовуються в промислових електротехнічних пристроях низької частоти та постійного струму, а також – досить широко – як щитові амперметри і вольтметри класів 1,0; 1,5; 2,0.

3. Прилади *електродинамічної системи* мають вимірювальний механізм, що складається з двох котушок: нерухомої і рухомої. Нерухома котушка має дві секції, всередині котрих на осі розташована рухома котушка. За наявності струму у котушках виникають електромагнітні сили взаємодії, що прагнуть повернути рухома котушку, тобто обертаючий момент пропорційний (для постійних струмів і відповідної конструкції механізму) добутку струмів:

$$M_{об} = kI_1I_2.$$

Якщо прилад вмикається у коло синусоїдного струму, то обертаючий момент пропорційний добутку діючих значень струму і косинусу зсуву фаз між ними

$$M_{об} = kI_1I_2 \cos \alpha.$$

Електродинамічні прилади можна використовувати як амперметри, вольтметри та ватметри у колах постійного та змінного струмів.

Протидіючий момент створюється двома пружинами, по котрих здійснюється й підвід струму до рухомої котушки. Підбираючи форми котушок та їх розташування, можна одержати майже лінійну шкалу вольтметрів і амперметрів, починаючи з 20% верхньої межі вимірювання.

Використовуючи електродинамічний прилад, котушки вмикають паралельно амперметру тому, що обмежене підведення великого струму до рухомої котушки через пружини. Обидві обмотки вмикаються через додаткові резистори.

При вимірюванні напруги обмотки вмикаються послідовно і також з додатковим резистором.

Якщо прилад використовується як ватметр, то нерухому обмотку вмикають послідовно, а рухома з додатковим резистором – паралельно до навантаження. Кут відхилення стрілки пропорційний потужності навантаження, тому шкала ватметрів електродинамічної системи завжди рівномірна. Напрямок відхилення рухомої частини залежить від відносного напрямку струму в котушках. Тому затискачі струмової обмотки і обмотки напруги, котрі вмикаються на джерело живлення, позначаються *зіркою* (*). Ці затискачі називаються *генераторними*.

Прилади електродинамічної системи мають *переваги* над приладами інших систем:

- а) дуже високу точність (класи 0,1; 0,2; 0,5);
- б) можливість використання в колах постійного і змінного струму.

Висока точність цих приладів обумовлена тим, що магнітні потоки замикаються повітрям, а не в феромагнітних осердях, тобто виключається

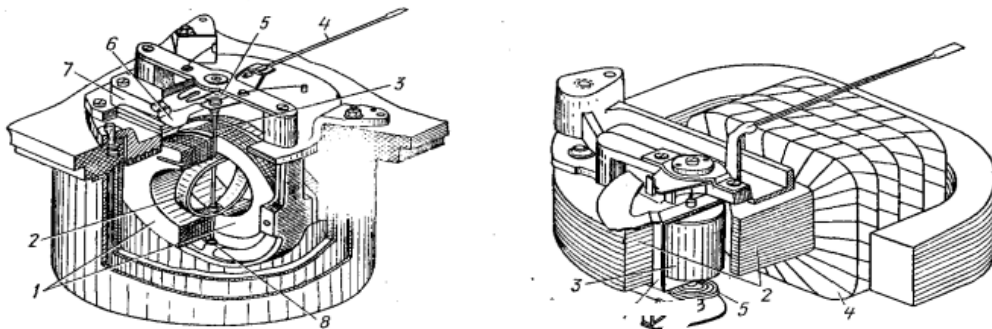
вплив та похибки явища гістерезису, вихрових струмів тощо. Тому прилади електродинамічної системи у вигляді переносних широко застосовуються в точних лабораторних дослідженнях.

Основними **недопiками** приладів електродинамічної системи вважають:

- а) залежність показання від впливу зовнішніх магнітних полів через слабе власне магнітне поле;
- б) слабку перевантажувальну спроможність через обмеження струмопідводу до рухомої котушки;
- в) значну споживану потужність;
- г) незначний обертаючий момент.

4. Для зменшення впливу зовнішніх магнітних полів та з метою підвищення обертаючого моменту в приладах **феродинамічної системи** застосовується феромагнітне осердя. Нерухома котушка цих приладів розташована на сталевому магнітопроводі. Прилад створює потужний магнітний потік, що захищає його від впливу зовнішніх полів і підвищує

обертаючий момент дає змогу використовувати феродинамічні системи в самописних приладах у колах з частотою від 10 до 1500 Гц.



5. Принципово прилади **індукційної системи** можна зробити будь-якого призначення (амперметри, вольтметри, ватметри тощо). Але найбільшого розповсюдження **набули індукційні лічильники електричної енергії**.

Індукційний лічильник – це маленький двигун змінного струму. Принцип дії ґрунтується на взаємодії обертового (або біжучого) магнітного поля з вихровими струмами у рухомій частині приладу.

Біжуче поле створюється двома магнітними потоками, що зсунуті на деякий кут за фазою. Ці потоки створюються двома електромагнітами. Обмотка одного електромагніту (з великою кількістю витків) увімкнена паралельно навантаженню. Обмотка другого має малу кількість витків і вмикається

послідовно щодо навантаження, тобто один потік пропорційний напрузі, а другий – струму навантаження. Створюється обертаючий момент, що пропорційний потужності змінного струму

$$M_{об} = kP$$

Протидіючий момент створюється сталим магнітом, в полі якого обертається рухома частина – алюмінієвий диск. Взаємодія сталого магнітного потоку з вихровими струмами зумовлює гальмівний момент $M_{Г}$.

При сталій частоті обертання $M_{об} = M_{Г}$, а $W = c n$,

де W – енергія, що споживається навантаженням,

n – кількість обертів лічильника,

c – сталий коефіцієнт (стала лічильника показує кількість кіловат-годин електроенергії, що відповідає одному оберту диска).

Перевагами приладів індукційної системи можна вважати:

- а) порівняно великий обертаючий момент;
- б) стійкість до значних перевантажень (по струму до 300%);
- в) незалежність від зовнішніх магнітних полів.

Взагалі лічильники індукційної системи дуже надійні в експлуатації. Вони випускаються промисловістю класів 1,0; 2,0; 2,5 (лічильники активної енергії) і 2,0; 3,0 (лічильники реактивної енергії). Бувають лічильники однофазні і трифазні.

До **недоліків** приладів цієї системи можна віднести те, що лічильники індукційної системи використовуються для змінного струму лише однієї частоти. Показання приладів цієї системи залежать значною мірою від температури оточуючого середовища.

Для розширення меж вимірювання енергії змінного струму за напругою і струмом використовують вимірювальні трансформатори напруги і струму.

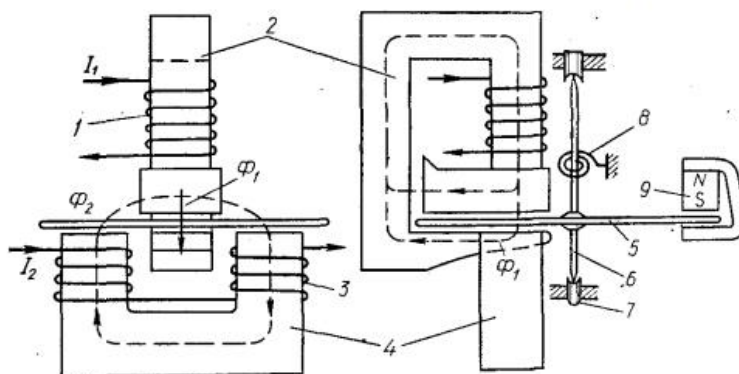


Рис. 8.5. Измерительный механизм индукционной системы.

6. Вимірювальний механізм приладу **електростатичної системи** складається з металевих ізольованих пластин. Під дією потенціалу рухома пластина відхиляється, тобто створюється обертаючий момент

$$M_{об} = cU^2,$$

що пропорційний квадрату постійної напруги, або квадрату діючого значення синусоїдної напруги.

Підбиранням форми і розмірів пластин можна отримати рівномірну шкалу.

Прилади електростатичної системи використовуються тільки як вольтметри постійної і змінної напруги.

До *переваг* електростатичних вольтметрів можна віднести:

- а) мале власне споживання електричної енергії;
- б) нечутливість до зовнішніх магнітних полів та коливань температури;
- в) можливість вимірювати високі напруги без застосування вимірювальних трансформаторів напруги.

До *недоліків* приладів цієї системи можна віднести порівняно низьку чутливість приладів.

Для розширення меж вимірювання електростатичними вольтметрами застосовують ємнісні та резистивні подільники напруги.

7. Цифрові прилади вимірюють значення безперервної електричної величини в окремі моменти часу. Результат вимірювання подається в цифровій формі.

Промисловість виготовляє цифрові вольтметри постійної напруги від 1 мкВ до 1000 В. Завдяки застосуванню каліброваних шунтів ці прилади можна використовувати як цифрові амперметри до 7500 А, крім того, як вольтметри змінної напруги, частотомери, омметри тощо.

Переваги:

Ці прилади мають дуже велику точність вимірювання (похибки від 0,1 до 1%), велику швидкодію, широкі межі вимірювань. Цифрові прилади можна комутувати з обчислювальними машинами.

До *недоліків* цифрових приладів треба віднести їх високу вартість та порівняну складність.