

Тема 4. Аналогові електромеханічні прилади

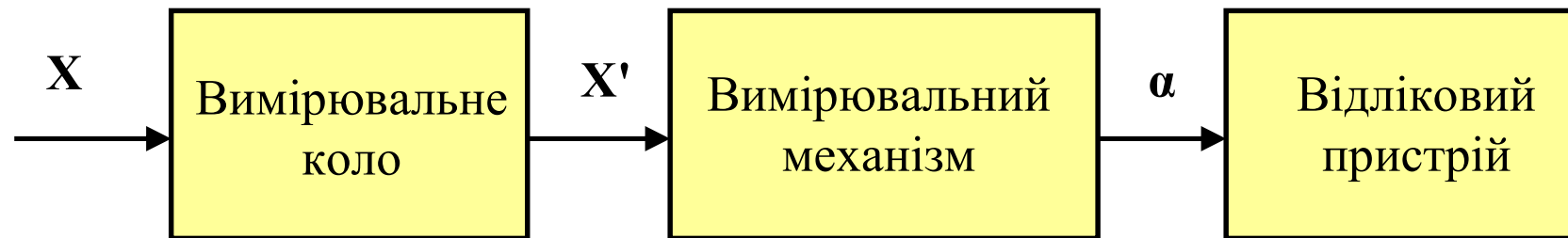
Електромеханічні прилади - аналогові вимірювальні прилади, в яких вхідна електрична величина перетворюється в лінійне або кутове переміщення рухомої частини вимірювального механізму.

Переваги:

- проста,
- надійність,
- зручність в експлуатації,
- невисока ціна

В зв'язку з цими якостями електромеханічні прилади знайшли широке застосування на практиці

Структурна схема, за якою будуються електромеханічні аналогові прилади прямої дії

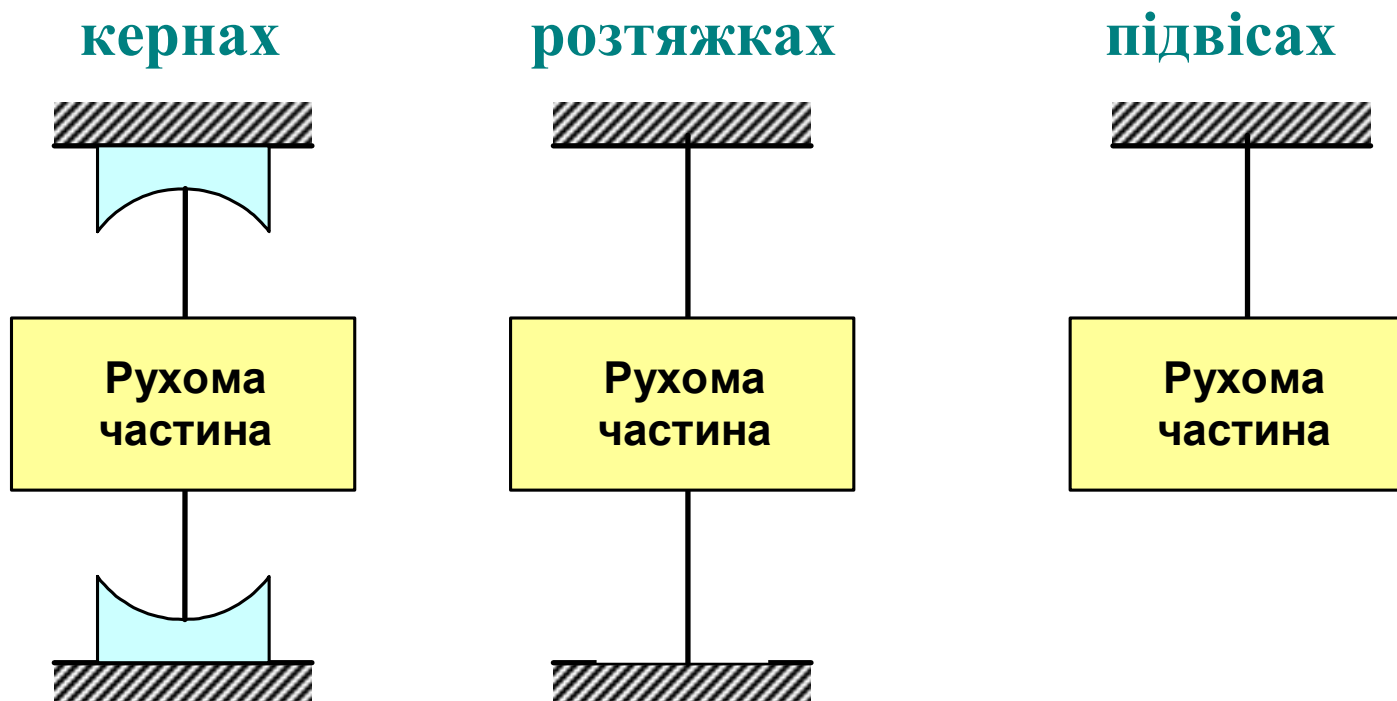


У вимірювальному колі вимірювана електрична величина x перетворюється в електричну величину x' , яка діє на вимірювальний механізм. Вимірювальний механізм перетворює електричну величину x' в механічне (кутове або лінійне) переміщення α , значення якого відображається на відліковому пристрої.

До вимірювального кола можуть входити подільники напруги, шунти, випрямлячі, елементи для компенсації температурних та частотних похибок та інші елементи.

Вимірювальний механізм складається з рухомої та нерухомої частин.

Рухома частина вимірювального механізму встановлюється на:



Керни – це два кусково-сталеві стержні, кінці яких загострені і упираються в підп'ятники з дорогоцінних твердих каменів (агату, сапфіру, корунду та ін.). Недоліком такої установки є наявність тертя в опорах.

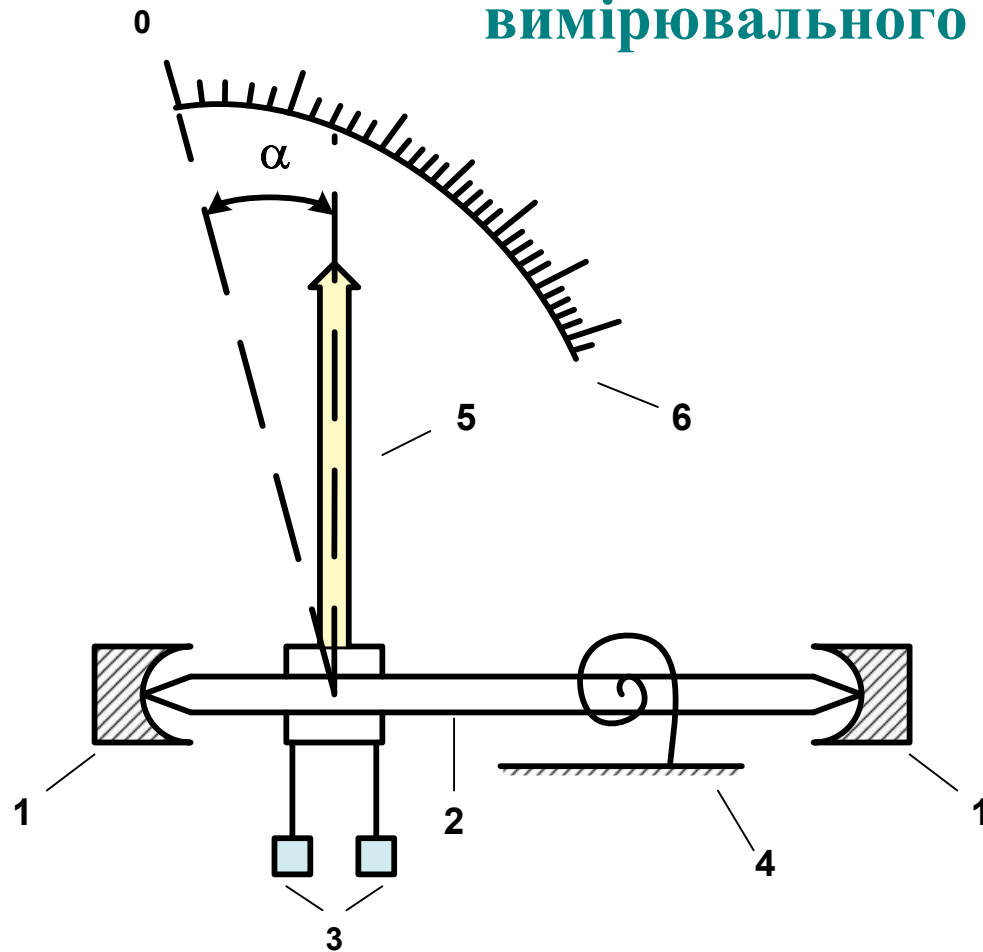
Розтяжки та підвіси – це стрічки з пружних матеріалів (сплавів металів).

При встановленні рухомої частини на розтяжках чи підвісах виключається тертя в опорах. На підвісі встановлюється рухома частина особливо чутливих приладів.

Найбільш поширеним відліковим пристроєм в цих приладах є шкала з вказівником, зв'язаним з рухомою частиною механізму.

У вимірювальному механізмі вхідна електрична величина перетворюється в кутове переміщення α його рухомої частини.

Структурна схема рухомої частини вимірювального механізму



- 1 – підп'ятники;
- 2 – вісь, що закінчується кернами;
- 3 – противаги;
- 4 – пружина, що створює протидійний момент;
- 5 – стрілка (вказівник);
- 6 – шкала

Елементи конструкції 2, 3, 4 і 6 утворюють рухому частину, а 1 і 5 відносяться до нерухомої частини вимірювального механізму

Процеси, що відбуваються при кутових переміщеннях рухомої частини механізму

При обертанні твердого тіла навколо осі добуток моменту інерції J на кутове прискорення дорівнює сумі моментів сил, що діють на тіло відносно тієї самої осі

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = \sum_{i=1}^n M_i$$

На рухому частину вимірювального механізму при її рухові діють такі моменти:

1. Електромагнітна енергія W_e створює обертальний момент $M_{об}$, який виникає від дії вимірюваної величини і повертає рухому частину в бік зростання показів

$$M_{об} = \frac{dW_e}{d\alpha}$$

2. Коли б повороту рухомої частини ніщо не заважало, то вона при будь-якому значенні вимірюваної величини, відмінному від нуля, поверталася б до упору. В результаті повороту рухомої частини одночасно закручується пружина, яка створює протидійний момент $M_{пр}$, пропорційний куту повороту α

$$M_{пр} = - W_{пт} \cdot \alpha$$

$W_{пт}$ - питомий протидійний момент пружини, тобто момент, який виникає при закручуванні пружини на одиницю кута. Знак "-" тут поставлено тому, що протидійний момент направлений назустріч обертальному.

3. При обертанні рухомої частини механізму в результаті тертя його рухомих частин з повітрям, а також в результаті електромагнітних процесів в рухомій частині, виникає гальмування. Це гальмування характеризується моментом заспокоєння $M_з$, який пропорційний кутовій швидкості:

$$M_з = - P \frac{d\alpha}{dt}$$

P - коефіцієнт заспокоєння, який залежить від конструкції рухомої частини

4. При встановленні рухомої частини механізму на осі, що закінчується кернами, виникає момент тертя

$$M_{\text{тр}} = -k \cdot G^{1.5}$$

k - коефіцієнт пропорційності;

G - вага рухомої частини вимірювального механізму

Підставивши в праву частину першого рівняння значення моментів, отримаємо

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = M_{\text{об}} + M_{\text{пр}} + M_3 + M_{\text{тр}}$$

або

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + P \frac{d\alpha}{dt} + W_{\text{пт}} \alpha + k \cdot G^{1,5} = \frac{dW_e}{d\alpha}$$

Отримане рівняння називають **рівнянням руху рухомої частини вимірювального механізму**.

Якщо його розв'язати для конкретного вимірювального механізму, то можна отримати залежності зміни кута повороту в часі:

$$\alpha = f(t)$$

В статичному режимі роботи вимірювального перетворювача обертальний і протидійний моменти зрівноважені

$$M_{об} = M_{пр}$$

Ця рівність використовується для отримання рівняння перетворення для конкретного типу вимірювального механізму.

Класифікація електровимірювальних приладів

Електровимірювальні прилади можна класифікувати:

- за родом вимірювальної величини;
- за фізичним принципом дії вимірювального механізму;
- за родом струму;
- за класом точності;
- за типом відлікового пристрою;
- за виконанням залежно від умов експлуатації;
- за стійкістю до механічних впливів;
- за ступенем захисту від зовнішніх магнітних та електричних полів.

Електровимірювальні прилади дають змогу вимірювати як електричні, так і неелектричні величини. **На шкалі наводиться назва приладу або початкова латинська літера одиниці, що вимірюється.**

За вимірювальною величиною електровимірювальні прилади поділяються на:

- вольтметри (позначаються літерою V);
- амперметри (A);
- ватметри (W);
- омметри (Ω);
- лічильники енергії (kWh);
- фазометри (φ);
- частотоміри (Hz) тощо.

До умовної літери може бути додано позначення кратності основної одиниці, наприклад: міліамперметр — mA ; кіловольтметр — kV тощо.

За фізичним принципом дії розрізняють такі системи електровимірювальних приладів:

- магнітоелектрична;
- електромагнітна;
- електродинамічна;
- феродинамічна;
- індукційна;
- електростатична;
- вібраційна.

Умовні позначення на шкалі приладу характеризують класифікацію приладів *за родом струму*:

- постійний струм;
- змінний (однофазна система);
- постійний і змінний;
- трифазна система;
- трифазна несиметрична система.

За класом точності електровимірювальні прилади класифікуються відповідно до стандартів. **Випускають прилади таких класів точності: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.** У лічильниках електроенергії класи точності такі: 0,5; 1,0; 2,0; 2,5.

За типом відлікового пристрою електровимірювальні прилади можуть бути:

- показуючі;
- реєструючі;
- самопишучі;
- друкуючі;
- інтегруючі;
- підсумовуючі.

Більш поширені показуючі прилади, тобто прилади безпосередньої оцінки. Відліковий пристрій цих приладів складається звичайно з шкали і показчика.

За ступенем захисту від зовнішніх магнітних та електричних полів прилади поділяються на I і II категорії. Від зовнішніх полів прилади захищаються екранами.

У залежності від умов експлуатації, діапазону робочих температур та відносної вологості, електровимірювальні прилади поділяються на п'ять груп:

- група А (температура $+10\dots+35^{\circ}\text{C}$, вологість 80);
- група Б (температура $-30\dots+40^{\circ}\text{C}$, вологість 90);
- група В₁ (температура $-40\dots+50^{\circ}\text{C}$, вологість 95);
- група В₂ (температура $-50\dots+60^{\circ}\text{C}$, вологість 95);
- група В₃ (температура $-50\dots+80^{\circ}\text{C}$, вологість 98).

За стійкістю до механічних впливів прилади підрозділяються в залежності від значення максимально допустимого прискорення при ударах та вібраціях:

- звичайні з підвищеною міцністю (ОП) - прискорення до 15 м/с^2 ;
- нечутливі до вібрацій (ВН);
- віброміцні (ВП);
- нечутливі до трясіння (ТН);
- трясінняміцні (ТП);
- удароміцні (У).

Позначення на шкалах електровимірювальних приладів

Позначення на шкалах приладів несуть інформацію про:

- призначення приладу;
- одиниці вимірювання, на які він розрахований;
- рід струму;
- клас точності;
- систему вимірювального механізму, застосованого у даному приладі;
- нормальне положення приладу;
- величину випробної напруги електричної міцності ізоляції струмопровідних частіш приладу відносно його корпусу;
- величину опору електричних кіл переносних приладів;
- наявність власного захисту від дії сторонніх магнітних чи електричних полів;
- захист від впливу зовнішнього оточення;
- необхідність попереднього ознайомлення з додатковими вказівками, що є у паспорті чи описі приладу;
- відомості про підприємство, де цей прилад виготовлено, та рік його виготовлення.

Звичайно, для прикладу наведено лише деякі позначення. **На шкалах окремих приладів роблять написи, вкрай необхідні лише користувачеві даним приладом.**

Наприклад:

- на шкалах стаціонарних амперметрів, ватметрів, фазометрів і на табличках лічильників роблять написи про необхідні додаткові пристрої (шунти, трансформатори струму), з якими ці прилади необхідно застосовувати;
- на шкалах вольтметрів, ватметрів, фазометрів і табличках лічильників можуть бути відомості про необхідні трансформатори напруги чи додаткові опори, з якими необхідно застосовувати ці прилади.
- на шкалах малокосинусних ватметрів обов'язково має бути позначено номінальну величину косинуса кута зсуву фаз, бо, незважаючи на цей показник, можна суттєво перевантажити прилад по обертовому моменту, не перевантажуючи його ні струмом, ані напругою.

На шкалах позначають величину номінальної частоти, на яку розраховано прилад (за винятком частоти 50 Гц, яку не позначають числом, якщо на шкалі вже є позначка, що прилад придатний до вимірювань на змінному струмі чи на постійному та змінному).

Якщо прилад використовують не тільки за його номінальної частоти, а й у дещо розширеному діапазоні частот (де для нього буде допустима більша похибка, ніж та, що вказана класом приладу), то **на шкалі цей розширений діапазон позначають трьома крапками, а номінальну частоту підкреслюють**

Наприклад: 50...500 Гц - прилад призначено для роботи на частоті 50 Гц, але ним можна користуватись за частот до 500 Гц, враховуючи, що, працюючи в розширеному діапазоні частот, прилад може давати додаткову похибку. Про величину цієї похибки можна дізнатися з опису приладу. Звичайно ця додаткова похибка не перевищує величини, що позначена класом точності приладу.

На шкалах приладів з нерівномірним характером шкали, безпосередньо біля кінців позначок, є крапки, що обмежують робочу частину шкали, тобто ту, якою варто користуватись, бо там гарантована точність вимірів.

Основними позначками на шкалах є ті, що відповідають певним значенням вимірюваної величини при знаходженні над ними покажчика приладу. Ці позначки, у більшості стаціонарних приладів мають різну довжину: **найбільшої довжини — цифровані**, тобто для них позначено цифри, що відповідають конкретним значенням вимірюваної приладом величини в одиницях, назву яких позначено на шкалі.

У переносних приладах, які виконують із двома або більше верхніми границями вимірювань, число поділок шкали роблять зручним для вимірювань у разі вмикання приладу на будь-яку з цих границь. При цьому **найдовші позначки шкали цифрують за десятковою системою числення.**

Точні електровимірювальні прилади градуують через п'ять поділок шкали.

На проміжних позначках прилади виробники не повіряють, тому при вимірюваннях на цих позначках **похибка може бути дещо більша за величину, що передбачена класом приладу**, особливо коли на найближчій цифрованій позначці похибка приладу є на межі допустимої величини.

Написи й позначення на шкалах електровимірювальних приладів

| Символ на шкалі приладу | Значення символу | Символ на шкалі приладу | Значення символу |
|---|--|---|--|
| A | Ампер |  | Магнітоелектрична система |
| V | Вольт |  | Магнітоелектрична система з рухомим магнітом |
| W | Ват |  | Електромагнітна система |
| Hz | Герц |  | Електродинамічна система |
| ? | Ом |  | Феродинамічна система |
| T | Тесла |  | Індукційна система |
| — | Постійний струм |  | Теплова система з ниткою, що нагрівається |
| ~ | Змінний однофазний струм |  | Електростатична система |
|  | Змінний трифазний струм |  | Вібраційна система |
|  | Змінний трифазний струм з асиметричним навантаженням |  | Термоелектрична система з не ізолюваною термопарою |
|  | Небезпека доторкання до приладу |  | Термоелектрична система з ізолюваною термопарою |
|  | Випробна напруга ізоляції 500 В |  | Захист від зовнішніх магнітних полів |
|  | Випробна напруга ізоляції 2 кВ |  | Захист від зовнішніх електричних полів |

Написи й позначення на шкалах електровимірювальних приладів

| Символ на шкалі приладу | Значення символу | Символ на шкалі приладу | Значення символу |
|-------------------------|---|-------------------------|--|
| | Вертикальне положення шкали приладу | | Клас точності, якщо нормуюче значення дорівнює даному показанню приладу |
| | Горизонтальне положення шкали приладу | ast | Астатичний захист приладу від зовнішніх магнітних полів |
| | Під нахилом (60°) положення шкали приладу | Fe5 | Встановлення на щиті зі сталі 5 мм завтовшки |
| 0,05 ... 4,0 | Клас точності приладу у відсотках від нормованого значення | Fe | Встановлення на щиті зі сталі будь-якої товщини |
| 1,5 | Клас точності, якщо нормувальне значення дорівнює верхній границі діапазону вимірювань | NFe | Встановлення на несталевому щиті будь-якої товщини |
| | Клас точності, якщо нормувальне значення дорівнює довжині шкали чи її частини, що відповідає діапазону вимірювань | Fe.NFe | Встановлення на будь-якому щиті будь-якої товщини |
| A | Для закритих сухих опалюваних приміщень | T | Для сухого і вологого тропічного клімату |
| Б | Для закритих сухих неопалюваних приміщень | | Необхідність ознайомлення з додатковими вказівками, наведеними в паспорті чи описі приладу |
| B | Для польових і морських умов, для пересувних установок | 0,02 Ом 0,005 Гн | Номінальний активний опір й індуктивність послідовного кола переносних приладів |