

Навчальна дисципліна «Пристрої автоматичних систем керування»
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Підготував: к. т. н. Ярошенко Леонід Вікторович

ЛЕКЦІЯ № 1

ДАТЧИКИ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

План лекції:

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| 1. Загальні відомості про датчики | 6. Ємнісні датчики |
| 2. Механічні датчики | 7. Трансформаторні датчики |
| 3. Електромеханічні перетворювачі | 8. Фотоелектричні датчики |
| 4. Індуктивні датчики | 9. Датчики вологості |
| 5. Індукційні датчики | 10. Датчики температури |

1. Загальні відомості про датчики

В основі роботи довільної СА контролю, регулювання та керування лежить інформація про стан та хід технологічних процесів, які протікають у об'єктах, про стан робочих речовин та функціонування обладнання. Цю інформацію у вигляді значень окремих фізичних величин отримують із допомогою відповідних технічних пристроїв, які в автоматичній системі мають загальну назву – вимірювальні перетворювачі або датчики.

Датчик – це пристрій, що вимірює параметри процесу, режиму роботи машин і агрегатів та перетворює виміряні фізичні величини у сигнал, зручний для подальшого обробітку та передачі на відстань або в коло керуючого пристрою.

У сучасних системах автоматизації сільськогосподарського виробництва необхідно контролювати десятки технологічних параметрів та фізичних величин (температуру, вологість, швидкість, концентрацію, тиск і т. д.). Залежно від призначення та конкретних умов застосування до датчиків ставляться такі вимоги:

- однозначність залежності між вхідною та вихідною величинами (по можливості лінійність залежності);
- висока вибірковість (датчик повинен реагувати на зміну тільки тієї величини, для вимірювання якої він призначений);
- висока чутливість до вимірюваної величини;
- відсутність впливу навантаження вихідного кола датчика на режим роботи його вхідного кола);

- стабільність характеристик у часі;
- достатня потужність вихідного сигналу, що повинна забезпечувати (по можливості) подальше керування елементами системи без підсилювачів;
- мала інерційність (мінімальна затримка сигналу при передачі через датчик);

Техніко-економічні показники:

- стійкість до дії навколишнього середовища;
- надійність та довговічність;
- невелика вартість та технологічність виготовлення;
- зручність монтажу та обслуговування.

Датчики що використовуються у сучасних системах автоматики, класифікують за різними ознаками: фізичній природі вхідних та вихідних величин, принципом дії, конструктивним виконанням.

Залежно від фізичної природи вхідної величини датчики поділяються на датчики електричних величин (струму, напруги, потужності, частоти) та датчики неелектричних величин (температури, тиску, швидкості, рівня, вологості і т. д.).

За видом енергії вихідної величини датчики поділяються на електричні та неелектричні.

Електричні датчики за принципом дії поділяються на параметричні, та генераторні. У параметричних датчиках вхідні величини (звичайно не електричні) перетворюються у вихідні параметри електричних кіл (R – опору, L - індуктивності, C – ємності),

Такий датчик вимагає підключення до будь-якого зовнішнього джерела енергії. До параметричних давачів належать:

- резистивні, тобто активного опору;
- індуктивні;
- трансформаторні;
- ємнісні.

У генераторних датчиках енергія вхідної величини перетворюється у енергію електричного вихідного сигналу – е. р. с. і вони не вимагають підключення до зовнішнього джерела енергії. До генераторних датчиків належать:

- термоелектричні;

- індукційні;
- п'єзоелектричні;
- фотоелектричні.

Неелектричні датчики поділяються на механічні, гідравлічні, пневматичні та ін.

За характером зміни вихідного сигналу у часі розрізняють датчики неперервної дії, які видають сигнал неперервно, та датчики дискретної дії у яких значення вихідного сигналу в окремі проміжки часу рівні нулю.

Головними параметрами, що характеризують датчик, є:

Досить важливою характеристикою давача є функція *перетворення* – це залежність вихідної величини від вхідної, що задається або аналітичним виразом, або графіком, або таблицею.

Чутливість перетворювача S (коефіцієнт підсилення) це величина, яка показує наскільки зміниться вихідна величина під впливом зміни вхідної величини на одиницю (відношення зміни $\Delta X_{ВИХ}$ його вихідної величини до відповідної їй зміни вхідної величини $\Delta X_{ВХ}$):

$$S = \Delta X_{ВИХ} / \Delta X_{ВХ} \text{ або } S = dX_{ВИХ} / dX_{ВХ} .$$

Наприклад: одиниця чутливості термопар $\text{мВ}/^\circ\text{К}$; електродвигуна оберти за секунду на 1 В.

Роздільна здатність – це найменша зміна вхідного сигналу, яка може бути виміряна перетворювачем.

Відтворюваність – міра того, наскільки близькі один до одного результати вимірювань однієї і тієї самої вхідної величини.

Точність (похибка) показує наскільки показання давача близькі до його істинного значення.

Для вимірювальних перетворювачів уводяться поняття таких похибок:

Абсолютна похибка – різниця між виміряним приладом (A_e) та дійсним значенням контрольованого параметра (A_d), виражена в одиницях вимірюваного параметра

$$\pm \Delta A = A_e - A_d. \tag{2.1}$$

Як дійсне значення (A_d) приймається значення, відраховане за зразковим приладом при проведенні перевірки.

Інколи для підвищення точності вимірювань до показів контрольно-вимірювального приладу додають поправку, яка дорівнює абсолютній похибці, взятій зі зворотним знаком.

Абсолютна похибка вимірювального перетворювача за входом – це різниця між розрахованим значенням параметра на вході (A_{p1}) (визначається за допомогою градуйованої характеристики перетворювача для кожного дійсного значення параметра на виході) та дійсним (A_δ) значенням параметра на вході перетворювача

$$\pm \Delta A = A_{p1} - A_\delta. \quad (2.2)$$

Абсолютна похибка вимірювального перетворювача за виходом – це різниця між дійсним (A_δ) та розрахунковим (A_{p2}) значенням параметра на виході (визначається за допомогою градуйованої характеристики перетворювача для кожного дійсного значення параметра на вході)

$$\pm \Delta A = A_{p2} - A_\delta. \quad (2.3)$$

Відносна похибка – це відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини, звичайно виражається у відсотках:

$$\delta = \pm (\Delta A / A_\delta) \cdot 100. \quad (2.4)$$

Приведена похибка – це відношення абсолютної похибки до нормуючого значення (A_N), звичайно виражається у відсотках:

$$\gamma = \pm (\Delta A / A_N) \cdot 100. \quad (2.5)$$

Інерційність – це час, за який покази перетворювача змінюються відповідно зі значенням вимірюваної величини. *Інерційність датчика* вказує на деяке запізнення у вимірі значення керованої величини яке може бути зумовлене масою деталей, тепловими властивостями, індуктивністю, ємністю та іншими параметрами власне датчика.

Надійність – це здатність перетворювача зберігати свої характеристики у заданих межах протягом необхідного проміжку часу. Нерозривно пов'язана з надійністю; працездатність – стан пристрою, за якого він може виконувати задані функції з параметрами, встановленими вимогами технічної документації. Події, які полягають у порушенні працездатності перетворювача, називається відмовою.

Безвідмовність – це властивість пристрою зберігати працездатність протягом деякого часу напруцювання без вимушених перерв

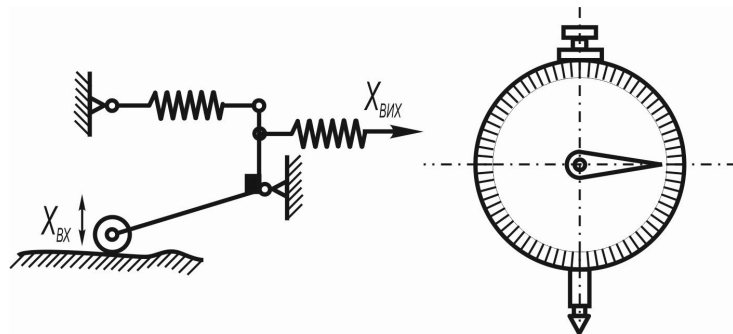
2. Механічні датчики

Механічні перетворювачі характеризуються перетворенням вхідних механічних величин (тиск, зусилля, швидкість, витрата та ін.) у механічні вихідні сигнали (переміщення, частота обертів, тиск та ін.), що зручні для подальшого використання. Чутливими елементами цієї групи перетворювачів є пружні елементи (пружина, мембрана, пружна балка) поплавки, крильчатки, дроселі.

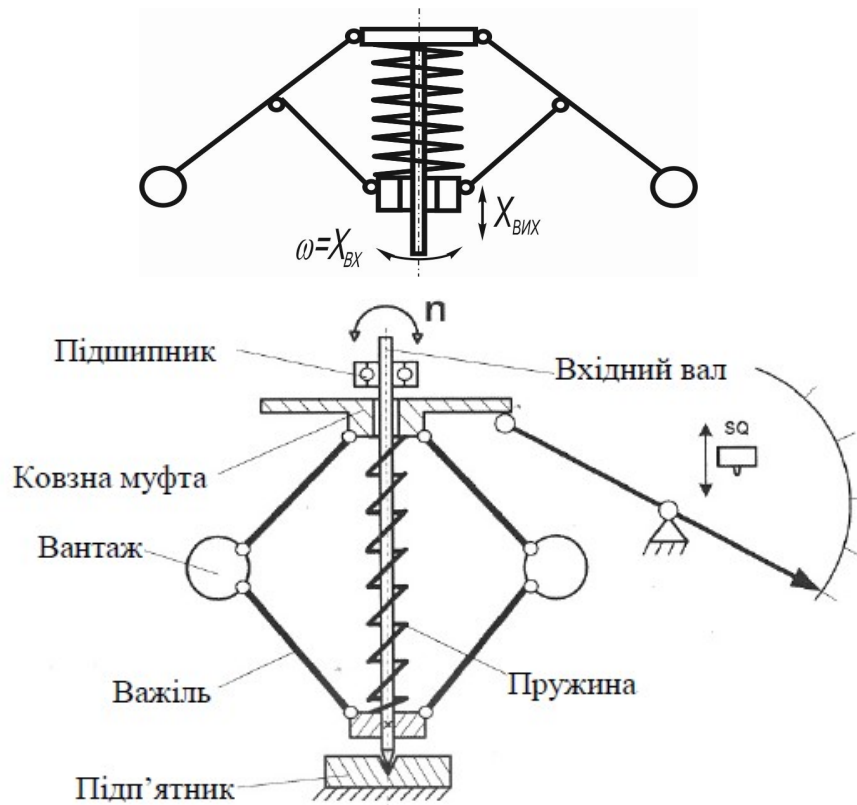
Більшість неелектричних величин, які необхідно вимірювати і регулювати у системах автоматики, зручно перетворити в механічне переміщення, а вже потім механічне переміщення перетвориться в електричний сигнал.

Приклади датчиків різних механічних величин:

- переміщення, розміри (копір, індикатори годинникового типу);



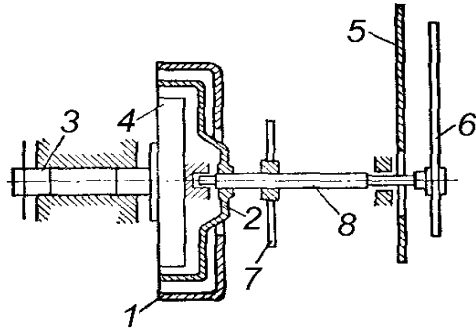
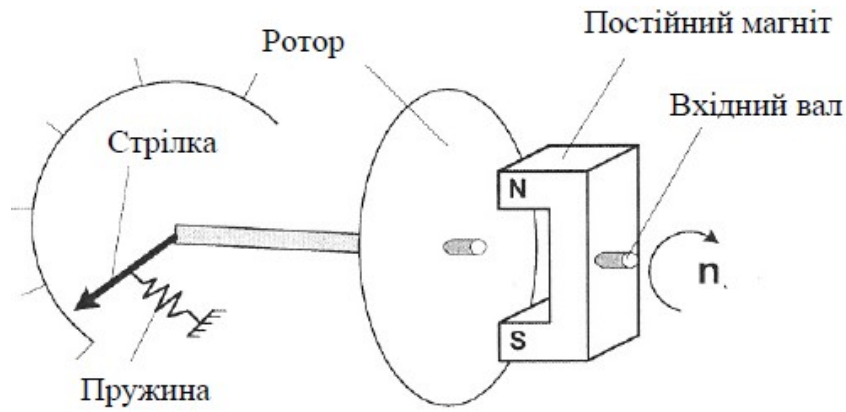
- Швидкості (відцентровий датчик);



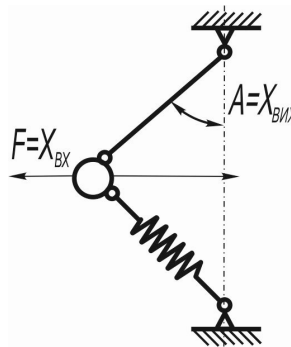
У відцентрових тахометрах (рис.) як вимірювальний перетворювач застосовують або стрілку, переміщувану ковзною муфтою (ручний контроль), або потенціометр (автоматичний контроль). Для сигнального перетворення використовують мікроперемикач.

Переміщення ковзної муфти «вниз» забезпечується відцентровими силами вантажів при обертанні валу. Амплітуда зазначеного переміщення пропорційна частоті обертання валу. При зниженні кутової швидкості ковзна муфта під впливом пружини переміщається «вгору». Відцентрові тахометри, що оснащені сигнальними перетворювачами, часто застосовують при автоматизації поточно-транспортних систем на підприємствах будівельної індустрії.

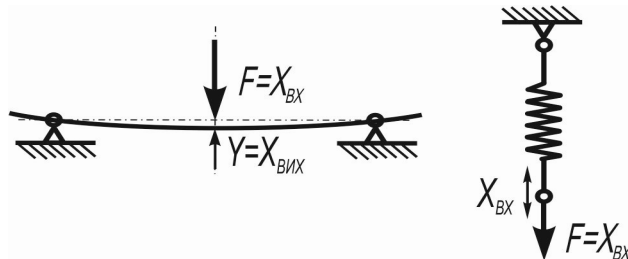
У магнітних тахометрах (рис. 2.32) переміщення стрілки здійснюється за допомогою підпружиненого ротора, що повертається під впливом обертаючого постійного магніту, закріпленого на вхідному валу. Кут повороту ротора також пропорційний частоті обертання валу. Магнітні тахометри знаходять застосування у складі «спідометрів» не дуже сучасних автомобілів.



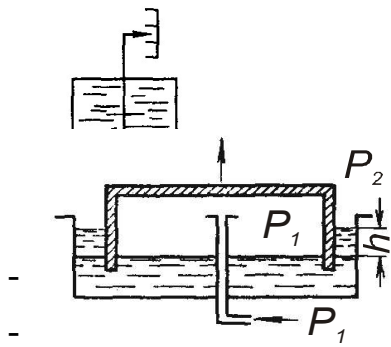
- 1 - магнітний екран; 2 - алюмінієвий диск; 3 – вал; 4 - обертовий магніт; 5 – шкала; 6 – стрілка; 7 - зворотна спіральна пружина; 8 - вісь
- Датчик прискорення (акселерометр);



- Зусилля визначається за величиною пружною деформації пластини (рис.) або крученої пружини (пружинні ваги).



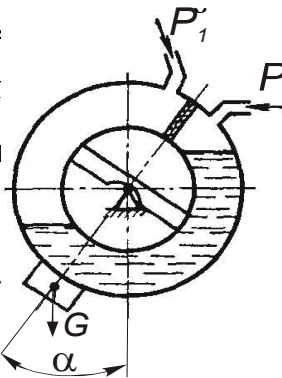
Густина визначається за глибиною занурення поплавка. Такий прилад називають ареометром (рис.) Принцип дії його заснований на законі Архімеда.



Ті б) пружною деформацією сільфона, мембрани або трубчастого пружини, відповідно для малого, середнього і великого тиску.

У рідинних датчиках або поверхня жорсткої створюється силою тяжіння куполоподібні (мал. б) та

В U-подібних датчиків стовпа рідини h : $\Delta P = \gamma \cdot h$,

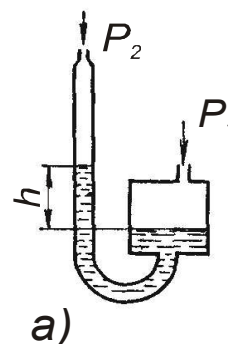


бо поверхня рідини, що налита у посуд, збільшене зусилля у більшості таких датчиків тиску поділяють на U-подібні (мал. а), статичні (мал. в).

тисках $\Delta P = P_1 - P_2$ врівноважується вагою рідини.

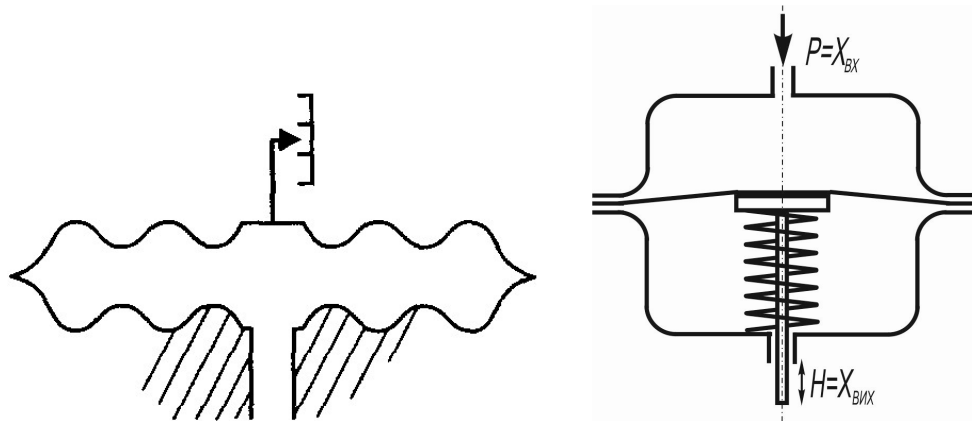
У куполоподібних датчиках надлишковий тиск $\Delta P = P_1 - P_2$ викликає переміщення купола, за величиною якого визначають тиск P_1 .

У диференціальних датчиках різниця тисків $\Delta P = P_1 - P_2$ пропорційна куту повороту кільцевих терез α .

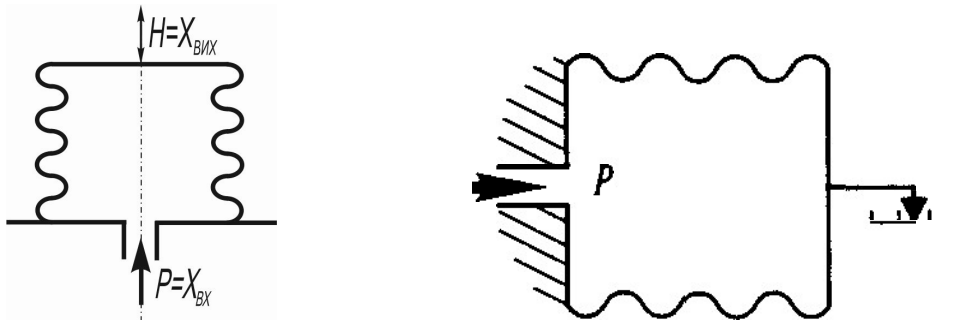


Рідинні датчики тиску найточніші та найстабільніші. Однак внаслідок експлуатаційних незручностей (малі межі вимірювань, необхідність дотримання суворо вертикального положення, великі габарити та ін.) вони останнім часом витісняються іншими датчиками.

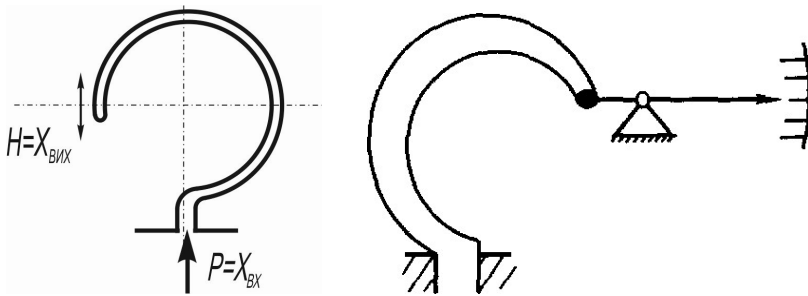
У мембранних датчиках (мал.) еластична пластина (мембрана) під дією контрольованого середовища переміщає шток, який у свою чергу діє на контактну систему. Мембрана являє собою закріплену по контуру зазвичай круглу пластину, яка згинається під дією тиску газу або рідини. Існують датчики із плоскою, хлопаючою (куполоподібною) та гофрованою металевою чи м'якою мембранами. Кільцеві гофри, що видавлені на мембрані, сприяють зниженню її жорсткості. Хлопаючі мембрани, що використовуються у реле тиску, являють собою пружні металеві пластини куполоподібної форми, вершина куполу яких при деякому надлишковому тиску, перекидається стрибком з одного положення у інше. М'які мембрани виготовляють із прогумованих бензостійких тканин або із пластмас. У датчиків із м'якою мембраною протидіюче зусилля створюється додатковою пружиною. Простота конструкції, надійність та достатня точність вимірювань зумовили широке розповсюдження датчиків цього типу.



Сильфонні датчики (мал. д) являють собою тонкостінну (зазвичай металеву) циліндричну оболонку з поперечною гофрованою бічною поверхнею. Сильфон розширюється або стискається подібно пружині уздовж осі під дією різниці зовнішнього та внутрішнього тисків, яка створює зусилля, під дією якого сильфон розтягується. Переміщення вільного кінця сильфону може передаватися до рухомої стрілки чи рухомих контактів.



У датчиках тиску з манометричною трубчатою пружиною (мал. е) використовується вигнута дугою пружна тонкостінна трубка, що має овальний перетин. При збільшенні тиску контрольованого середовища всередині неї, трубчатая пружина старається випрямитись. Переміщення вільного кінця трубки використовується для приведення у дію стрілки та керування контактною системою. Найрозповсюдженішими є одновиткові пружини еліптичного та плоско-овального перетинів. Використовуються також виті гвинтові, спіральні, S-подібні та інші трубчаті пружини.



Рівень визначається за переміщенням поплавка (рис.). Саме такого типу рівнемір використовував І. І. Повзунів у винайденій ним в 1763 році паровій машині для автоматичного регулювання рівня води у котлі.

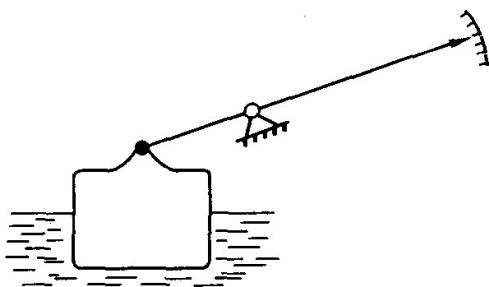
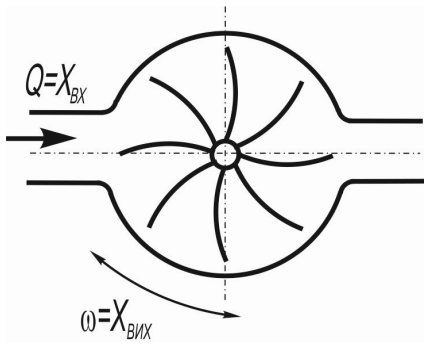


Рис. Поплавковий рівнемір

- Датчики витрати рідини або газів (крильчатка, ротаметр, дросель (за різницею тисків));



Витрату можна вимірювати за переміщенням поплавка в трубці змінного перерізу. Такий витратомір називають ротаметром (рис.). Поплавок ротаметра зазвичай виконаний з металу і в нерухомій рідині він тоне. Але при русі рідини знизу до верху поплавок піднімається, щоб забезпечити більший поперечний переріз для проходу рідини. Чим більша витрата, тим вище підніметься поплавок.

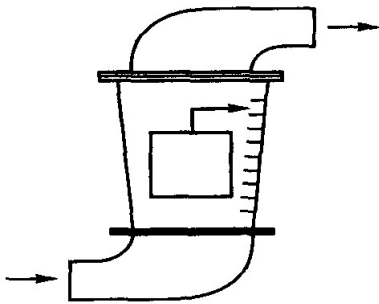


Рис. 2.22. Витратомір-ротаметр

Дуже часто витрату визначають за перепадом тисків до і після звужуючого пристрою (дроселя) у трубопроводі. Чим більша витрата, чим більшим буде падіння тиску у пристрої звуження потоку, але ці величини пов'язані між собою нелінійною (квадратичною) залежністю. Подібні витратоміри називають ще диференціальними манометрами (рис.).

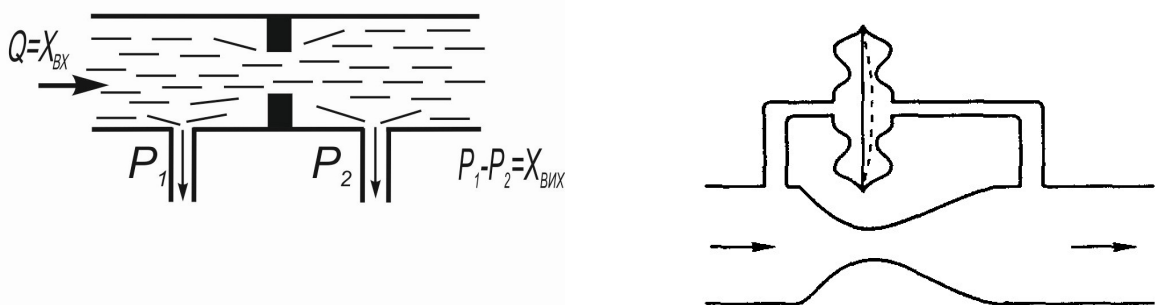
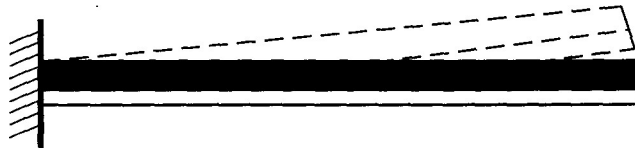


Рис.. Витратомір-диференційний манометр

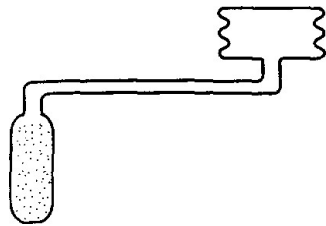
Температура визначається по вигину біметалевої пружини, тиску рідини або газу, що заповнюють балон манометричного термометра. Біметалева пружина (рис.) являє собою двошарову пластину, виготовлену з металів з різними коефіцієнтами лінійного розширення. При нагріванні пластина згинається в бік того шару, матеріал

якого має менший коефіцієнт. Зазвичай в якості такого матеріалу застосовують спеціальний сплав - інвар.



-
- Рис. Біметалева пластина

Принцип дії манометричного термометра пояснюється на рис. При нагріванні балона з газом його тиск збільшується і сильфон розширюється.



-
- Рис. Манометричний термометр

Механічні первинні перетворювачі мають певну інерційність. Постійна часу механічних перетворювачів знаходиться у межах 0,01...0,1 сек.

Результати вимірювання тиску, температури, рівня, витрати, сили, густини можуть бути отримані на шкалі приладу для місцевого вимірювання. Але в системах автоматичного управління зазвичай потрібно передавати результати вимірювання на відстань, отже, здійснювати дистанційне вимірювання.

У нашій країні існує агрегатна уніфікована система (АУС) - система пневматичних засобів автоматизації загальнопромислового призначення. Ця система побудована за агрегатним принципом, а саме, набором окремих функціональних блоків (датчиків, підсилювачів, виконавчих механізмів, перетворювачів та ін.), вхідні і вихідні параметри яких уніфіковано. Тому з таких блоків можуть бути побудовані найрізноманітніші системи автоматики.

Як уніфікований (єдиний) сигнал у пневматичній АУС прийнято надлишковий тиск стисненого повітря, що змінюється в діапазоні 2-10 кПа. Для перетворення різних вимірюваних фізичних величин у тиск служать відповідні прилади з пневматичним вихідним сигналом.

Як видно з розглянутих прикладів багато фізичних величин можуть бути перетворені і переміщення. Перетворення переміщення у тиск може здійснюватися за допомогою заслінки, що змінює прохідний перетин сопла, через яке подається

тиск повітря. У пневматичній АУС для живлення блоків використовується очищене стиснене повітря з надлишковим тиском 14 кПа.

Для електричних вимірювань за допомогою первинних вимірювачів (чутливих елементів), показаних на рис. використовуються різні датчики переміщення. А для застосування пристроїв АУС в схемах з електричними приладами в ній передбачені пневмо-електричні та електропневматичні перетворювачі.

3. Електромеханічні параметричні перетворювачі

Параметричними називають такі давачі, які перетворюють вхідну величину у зміну будь-якого параметра (R, L, C) електричного кола або магнітної проникності феромагнітного осердя. Для отримання вихідного сигналу необхідно до параметричних давачів підвести напругу від зовнішнього джерела.

До давачів з перетворенням активного опору належать:

- реостатні або потенціометричні;
- тензометричні або тензорезистори;
- термометри опорів;
- напівпровідникові терморезистори;
- магніторезистори;
- фоторезистори.

В основі роботи перетворювачів даного типу лежить здатність провідників змінювати електричний опір залежно від зміни одного або кількох параметрів.

$$R = \rho \frac{l}{s},$$

де l – довжина провідника, м; s – площа перерізу провідника, м²; ρ – питомий опір провідника, Ом·м.

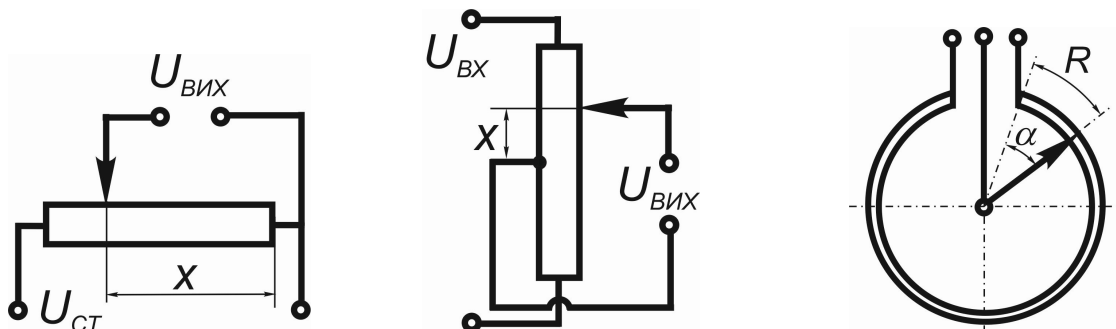
Значення питомого опору металів, застосовуваних у приладобудуванні, надані у табл. 1.

Таблиця 1 – Питомий опір деяких провідників

Метал	ρ , Ом·м	Метал	ρ , Ом·м
Срібло	0,016	Платина	0,107
Мідь	0,0178	Манганін	0,43
Золото	0,022	Константан	0,5
Алюміній	0,0287		

Потенціометричні давачі

Потенціометричні або реостатні давачі як такі слугують для перетворення лінійних або кутових переміщень у зміну електричного опору. У таких перетворювачах використовують змінні резистори з манганінового або константанового дроту, намотаного на каркас із ізоляційного матеріалу. Поробочій ділянці обмотки, зачищеній від ізоляції, переміщується рухома щітка (рухомий контакт - повзунок), закріплена на важелі, який здійснює поступальний або обертальний рух (рис. 1).



Якщо каркас змінного резистора має однаковий переріз по всьому периметру, величина опору змінюється лінійно залежно від переміщення рухомого контакту. Щоб отримати нелінійну (квадратичну, логарифмічну або іншу) залежність, каркасу надають відповідну форму.

Вони мають просту конструкцію, та достатню потужність вихідного сигналу і дуже поширені, але ненадійна частина датчика – ковзаючий контакт та не завжди лінійна характеристика датчика обмежують їх застосування.

Часто потенціометри використовують, як нормуючі електричні перетворювачі у складі давачів, призначених для перетворення інших фізичних величин, наприклад, температури (рис. 2). У цьому випадку змінний резистор включають за схемою подільника напруги та з виходу давача знімають сигнал у вигляді електричної напруги, що пропорційна значенню вимірюваної фізичної величини, у даному випадку – температури.

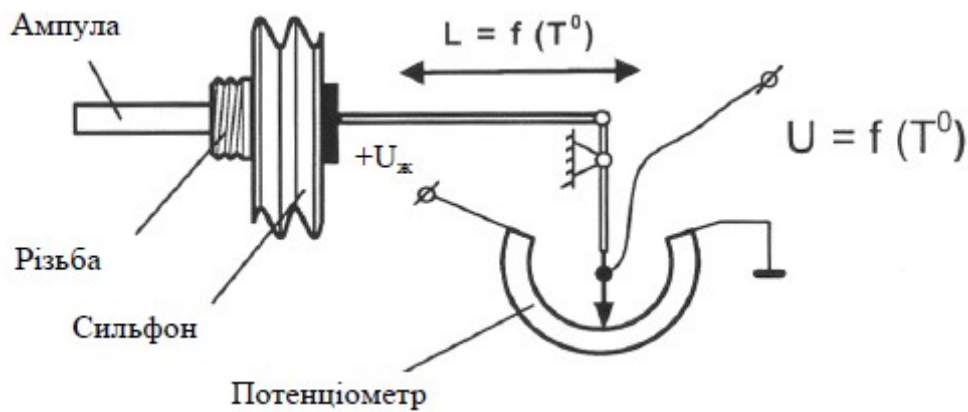
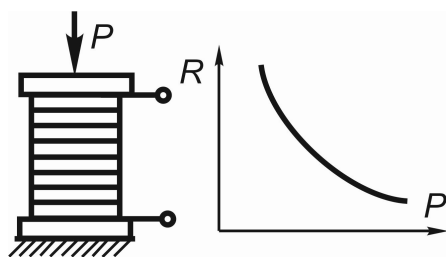


Рисунок 2 – Електричний термометр

Давач температури – електричний термометр – складається з тонкостінної металевої ампули, що з'єднана з сильфоном та потенціометром. Чутливий елемент давача (ампула) заповнений рідиною, пари якої мають високий коефіцієнт об'ємного розширення. При нагріванні ампули, установленій, наприклад, у системі охолодження дизеля трактора, об'єм пари збільшується, що призводить до зростання тиска та переміщення задньої рухомої стінки сильфона. Штовхач, встановлений на стінці сильфона, за допомогою точного механізму переміщує рухомий контакт потенціометра на кут, пропорційний зміні температури.

Вугільні датчики – перетворюють зусилля, що діє на них, у електричний опір або силу струму. Вони бувають у вигляді стовпчиків та так звані тензоліти, що складаються із порошку вугілля, графіту або сажі, що змішані з бакелітовим або іншим ізолюючим лаком. Стовпчик із 10 – 15 вугільних шайб діаметром 5 - 10 мм товщиною 1 - 2 мм. При стискуванні опір стовпчика зменшується. Чутливість датчика:



$$S = \left| \frac{dR}{dp} \right| = \frac{\alpha}{p^2},$$

де - α постійний коефіцієнт.

Тензоліти – виготовляють у вигляді стержня діаметром 1 мм, із мідними виводами, застосовують для вимірювання різних пружних деформацій. Його наклеюють на стрічку паперу у тому місці деталі де вимірюють деформацію, стержень розтягується та стискається сприймає деформацію і змінює свій опір. Чутливість датчика:

$$S = \frac{\alpha}{p^2}.$$

Головним недоліком вугільних датчиків є нелінійність характеристики $R = f(P)$, нестабільність опору, залежність опору від температури, наявність явища аналогічного гістерезису.

Тензометричні датчики (тензоопори) – служать для вимірювань деформацій, тисків, зусиль, переміщень, прискорень та амплітуди пружних коливань, принцип їх дії заснований на явищі тензоефекту – зміни їх омичного опору при пружних деформаціях, при цьому зміна опору зумовлюється зміною геометричних розмірів (діаметру та довжини) матеріалу тензорезисторів, при деформаціях.

Тензоопори бувають трьох типів:

- дротяні на паперовій або полімерній основі, діаметром 0,02...0,04 мм – (дріт укладено зигзагами);
- фольгові прямокутні;
- напівпровідникові.

Характеристикою тензоефекту матеріалу є коефіцієнт відносної тензочутливості K_T , який визначається як відношення зміни опору до зміни довжини провідника:

$$K_T = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = E \frac{\Delta R/R}{\sigma},$$

де R та l - опір та довжина проводу;

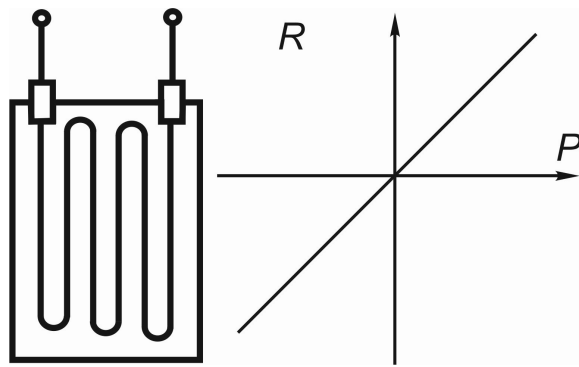
ΔR та Δl - зміна опору та довжини проводу;

σ - напруга у матеріалі проводу;

E - модуль пружності.

Для виготовлення дротяних та фольгових тензодатчиків використовують тензометричний константан $K_T = 2$, інвар $K_T = 3,8$, або платиноїрідій $K_T = 6$. Дротові тензорезистори, застосовувані у системах автоматизації, мають значення коефіцієнта тензочутливості $K_{\text{дрот}} = 2,0$.

Характеристика тензоопорів – лінійна, та стабільна але вони чутливі до зміни температури та мають порівняно нижчу чутливість (порівняно із вугільними датчиками).



У сучасному вигляді тензометричний вимірювальний перетворювач конструктивно являє собою тензорезистор, чутливий елемент якого виконаний з тензочутливого матеріалу (дроту, фольги тощо), закріплений за допомогою зв'язуючого (клею, цементу) на основу (рис. 4). Для приєднання чутливого елемента до електричного кола у тензорезисторі є з'єднувальні дроти. Деякі конструкції тензорезисторів для зручності встановлення мають підкладку, розташовану між чутливим елементом та досліджуваною деталлю, а також захисний елемент, розташований поверх чутливого елемента.

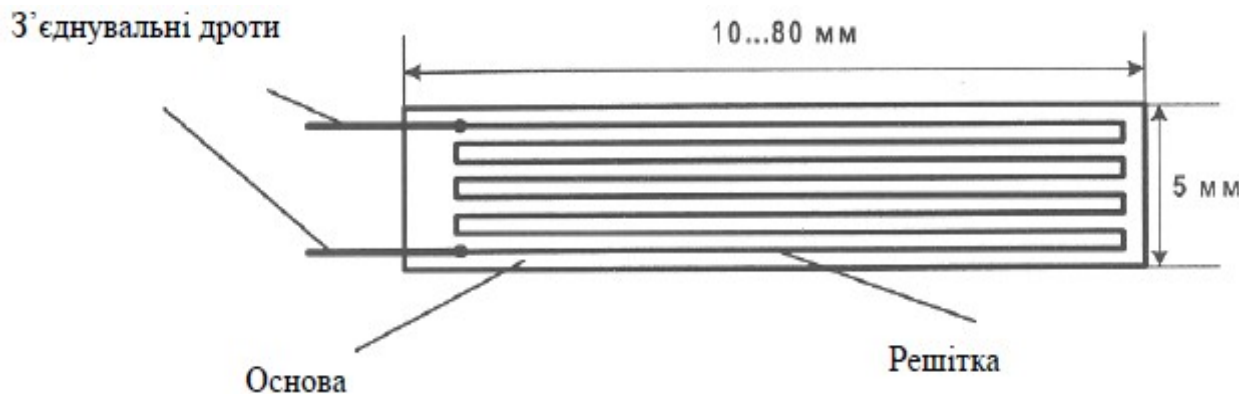


Рисунок 2.4 – Конструкція дротового тензорезистора

Тензорезистори приклеюють до поверхонь деталей, які під впливом механічної дії деформуються (рис. 2.5).

При деформації деталі, наприклад консольної балки, під впливом зовнішньої сили її верхня поверхня розтягується, нижня – стискається (рис. 5, а). Отже, опір верхнього тензорезистора буде збільшуватися, а нижнього – зменшуватися пропорційно до величини деформації.



Рисунок 2.5 – Схеми встановлення тензорезисторів

У давачах тиску сипучих матеріалів або рідин (рис. 5,б) тензорезистор приклеєний на нижній бік мембрани і його опір буде збільшуватися при зростанні зовнішнього тиску та деформації мембрани.

Значне застосування знаходять напівпровідникові тензорезистори – гедистори, які мають коефіцієнт тензочутливості $K_{гед} = 200$, що дозволяє виконувати вимірювання незначних зусиль і деформацій. Однак через свою крихкість гедистори не можуть бути використані при вимірюванні значних відносних деформацій.

Зі всього різноманіття задач, які розв'язуються за допомогою тензометричних вимірювальних перетворювачів, можна виокремити дві основні області їх використання:

- дослідження фізичних властивостей матеріалів, деформацій та напруг у деталях та конструкціях;

- застосування тензодавачів для вимірювання механічних величин, які перетворюються в деформацію пружного елемента.

Для першого випадку характерна значна кількість точок тензометрування, широкі діапазони зміни параметрів навколишнього середовища, а також неможливість градуювання вимірювальних каналів. У даному випадку похибка вимірювання складає 2...10 %. У другому випадку давачі градуюються за вимірюваною величиною і похибка вимірювань лежить у діапазоні 0,5...0,05 %.

Широке розповсюдження тензодавачів пояснюється цілою низкою переваг:

- малі габарити та вага;
- мала інерційність, що дозволяє застосовувати тензодавачі як при статичних, так і при динамічних вимірюваннях;
- мають лінійну характеристику;
- дозволяють дистанційно й у багатьох точках проводити вимірювання;

– спосіб встановлення їх на досліджувану деталь не вимагає складних пристосувань та не спотворює поле деформацій досліджуваної деталі.

А їх недолік, який полягає у температурній залежності, можна у більшості випадків компенсувати.

Для оброблення сигналів тензометричних давачів застосовують *тензопідсилювачі* – біполярні підсилювачі постійного струму, які мають високостабільні параметри живлення і підсилення та забезпечують можливість відімкнення тензодавачів за напівмостовою (рис. 6,а) або за мостовою схемою(рис. 6,б)

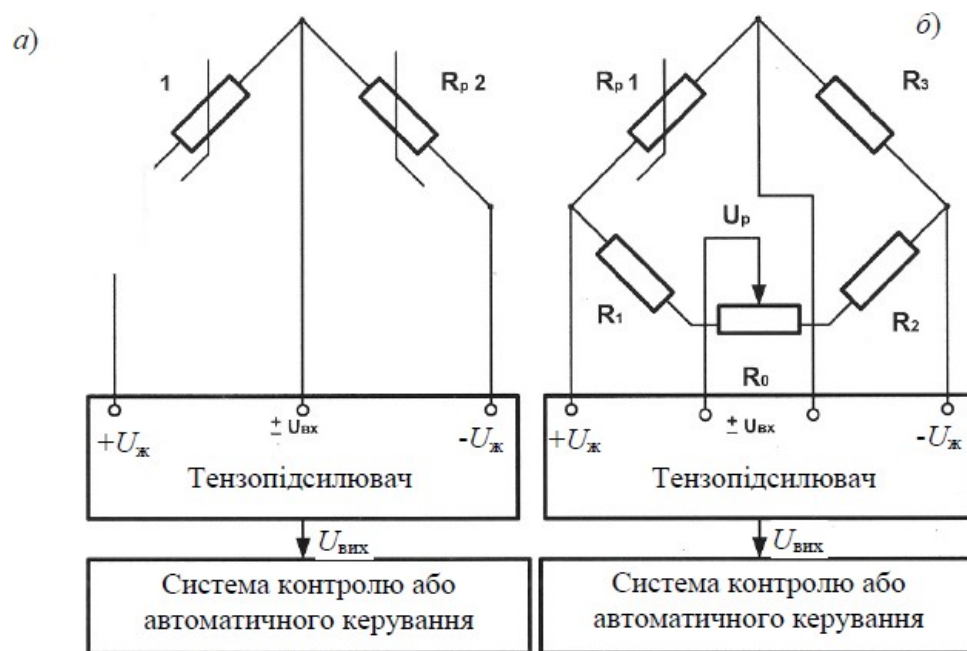


Рисунок 6 – Схеми підключення тензометричних давачів

Термометри опору

Електричні термометри опору отримали широке розповсюдження для вимірювання температур різних середовищ у межах 220...1000 °С. Ці термометри засновані на властивості провідників або напівпровідників змінювати свій опір R при зміні температури. Залежність опору металевих терморезисторів від температури виражається формулою:

$$R = ce^{\alpha_T T},$$

де c – постійний коефіцієнт;

α_T – температурний коефіцієнт опору;

$T = 273 + 0 \text{ }^\circ\text{C}$ – абсолютна температура в K° .

При нагріванні металу енергія, а отже, й швидкості руху вільних електронів зростають, зіштовхування їх з вузлами кристалічної решітки (іонами) частішають і,

отже, збільшується електричний опір металу. Тому для більшості провідників коефіцієнт α_T позитивний.

Знаючи опір провідника за якоїсь початкової температури T_0

$$R_0 = ce^{\alpha_T T_0}$$

можна визначити опір цього провідника за довільної температури T

$$R_T = ce^{\alpha_T T},$$

Звідси отримаємо просту залежність, яка використовується у термометрах опору:

$$R_T = R_0[1 + \alpha_T(T - T_0)].$$

Величина α_T для діапазону температур 273...473° К може бути прийнята постійною і для міді рівною 0,00428 1/°К. У цьому діапазоні працюють мідні та нікелеві давачі термометрів опору.

Для платинових давачів, що працюють у діапазоні температур 473–1000 ° К, враховуючи залежність температурного коефіцієнта опору від температури, формулу записують з третім членом розкладення у ряд:

$$R_T = R_0[1 + \alpha_T(T - T_0) + \beta_T(T - T_0)^2],$$

де

$$\alpha_T = 3,94 \cdot 10^{-3} \left[\frac{1}{^\circ\text{K}} \right]; \quad \beta_T = -5,8 \cdot 10^{-7} \left[\frac{1}{(^\circ\text{K})^2} \right].$$

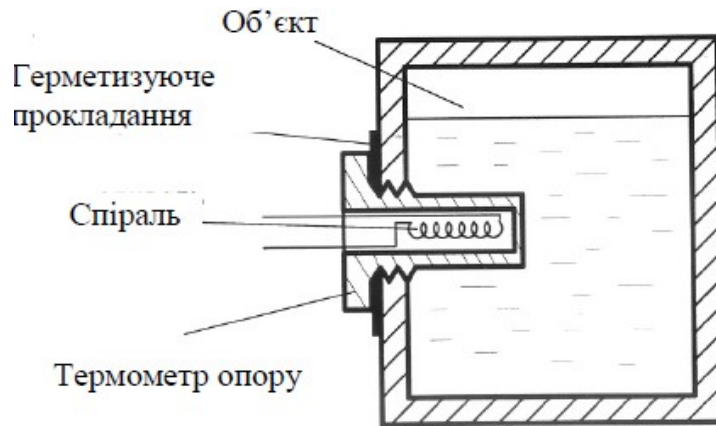
Основні похибки терморезисторів опору виникають внаслідок непостійності напруги живлення та температури навколишнього середовища, само-нагріву термопередавача струмом, що ним протікає, та теплової інерційності термодавача.

Чутливість металевого термодавача

$$S_T = \frac{\Delta R}{\Delta T} = \alpha_T R_0 \text{ [Ом/град]}.$$

Зі зростанням температури опір металевих терморезисторів збільшується, а напівпровідникових – зменшується. Значення температури визначають за величиною напруги у діагоналі урівноваженого мосту, в одне з плечей якого установлений термоопір (рис. 6, б).

Широке розповсюдження знаходять металеві термометри опору, які виконані у вигляді капсул із фторопласту або кераміки, всередину яких розміщені мідні або платинові спіралі (рис. 7, табл. 2). Капсули мають герметичні кріплення, що дозволяють встановлювати їх в об'єкти, температуру змісту яких необхідно виміряти. Місце встановлення датчиків в об'єкті визначають звичайно експериментальним шляхом за найбільш достовірного термічного стану об'єкта.



Таблиця 2 – Основні параметри металевих терморезисторів

Матеріал терморезистора	Температурний коефіцієнт опору α , $^{\circ}\text{C}^{-1}$	Діапазон вимірюваних температур, $^{\circ}\text{C}$	Температура плавлення, $^{\circ}\text{C}$
Мідь	0,0038	-50...+180	1083
Платина	0,0039	-260...+1300	1769

Термометри опору - одні з найточніших вимірювачів температури (вони дозволяють виміряти температуру з точністю до $0,001^{\circ}\text{C}$). Оскільки інтенсивність витрати теплоти залежить від багатьох факторів (розмір та форма провідника та арматури, до якої кріпиться провідник, склад, густина, теплопровідність навколишнього середовища, швидкість переміщення та ін.), термометри опору можуть застосовуватись і для вимірювання інших величин - швидкості, густини та складу газового або рідинного середовища. Основний їх недолік - порівняно великі розміри, що обмежує їх застосування при вимірюванні температури у малих об'єктах.

Напівпровідникові термоопори (термістори), температурний коефіцієнт яких у 8...10 разів більший, ніж у металів, знайшли широке застосування в автоматичних системах керування температурою. Залежно від матеріалу, із якого вони виготовлені, термістори поділяються на мідно-марганцеві (ММТ) та кобальто-марганцеві (КМТ). Діапазон вимірюваних та контрольованих температур складає від

-70 до +180 °С. Конструктивно вони виготовляються у вигляді кульки, трубки, або диска з металевими виводами.

Залежність опору термістора від температури описується рівнянням:

$$R = R_{\infty} e^{\frac{B}{\theta}},$$

де R - опір при вимірюваній температурі, Ом; θ - температура °К; R_{∞} та B - постійні для даного термістора коефіцієнти.

Значення коефіцієнтів R_{∞} та B рівні:

$$B = \frac{\theta_1 \theta_2}{\theta_2 - \theta_1} \ln \frac{R_1}{R_2}; \quad R_{\infty} = R_1 e^{-\frac{B}{\theta_1}},$$

де R_1 та R_2 - опір термістора при температурах θ_1 та θ_2 , відповідно.

Чутливість (Ом/град) напівпровідникового термістора:

$$S = dR/d\theta = R_0 \alpha.$$

Величину α називають температурним коефіцієнтом термістора:

$$\alpha = -B/\theta^2.$$

Значення опору термістора і його коефіцієнта досить великі, що забезпечує високу точність вимірювання невеликих відхилень температури.

Характеристики термісторів відносно стабільні. За механічною міцністю та вібростійкістю термістори не відрізняються від радіотехнічних опорів. Строк їх служби за нормальних умов експлуатації практично необмежений. Максимально можлива потужність розсіювання термісторів знаходиться у межах від 5 до 800 мВт. Значний опір термісторів дозволяє нехтувати опором з'єднувальних проводів, контактів та контактними е. р. с., що дозволяє вимірювати температуру на великих відстанях. Теплова інерційність термісторів приблизно рівна інерційності звичайного ртутного термометра, а для деяких типів термісторів у десятки разів менша, що дозволяє використовувати їх при регулюванні температури мало інерційних об'єктів. Термістори можуть мати опір, відмінний від номінального до $\pm 20\%$, що утруднює їх взаємозамінність.

Позистори мають великий позитивний температурний коефіцієнт опору, що сягає 80% на 1 °С, у вузькому діапазоні температур. Їх виготовляють із титанату барію зі спеціально підібраними домішками, що надають їм властивостей напівпровідника, у якого опір сильно залежний від температури. Температурний

коефіцієнт позисторів у 3...4 рази більший ніж у термісторів. Опір позисторів значною мірою залежить від прикладеної до них напруги. Промисловість випускає позистори марки СТ (від СТ-5 до СТ-15) різних модифікацій. Позистори вмонтовуються в обмотки електродвигунів для контролю їх температури та захисту від перегрівання.

Магніторезистори

Для перетворення переміщень використовують ефект зміни електричного опору напівпровідників і металів у магнітному полі такі датчики називають магнітоомічними перетворювачами або магніторезисторами.

Пластини для перетворювачів виготовляють або з кристалів, розрізаючи їх на пластинки товщиною 0,1...0,2 мм, або у випадку застосування композиційних матеріалів – у вигляді плівок товщиною 1...10 мкм, які отримані методом випарювання у вакуумі на слюдяну основу.

Магнітне поле у магніторезисторних перетворювачах створюється як постійними магнітами, так і електромагнітами.

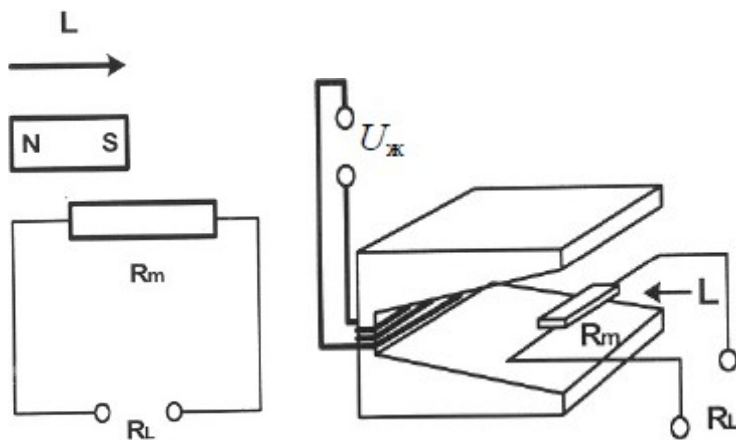
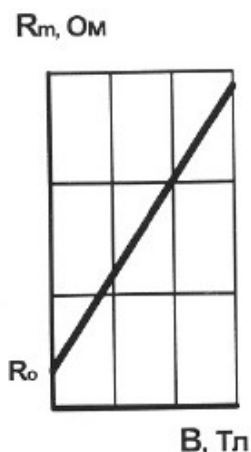


Рисунок 8 – Принцип дії магніторезисторів

В обох випадках спостерігається зростання опору перетворювача пропорційно підвищенню напруженості магнітного поля (рис. 8).



Значення магнітної чутливості суттєво залежать від форми перетворювача (рис. 9).

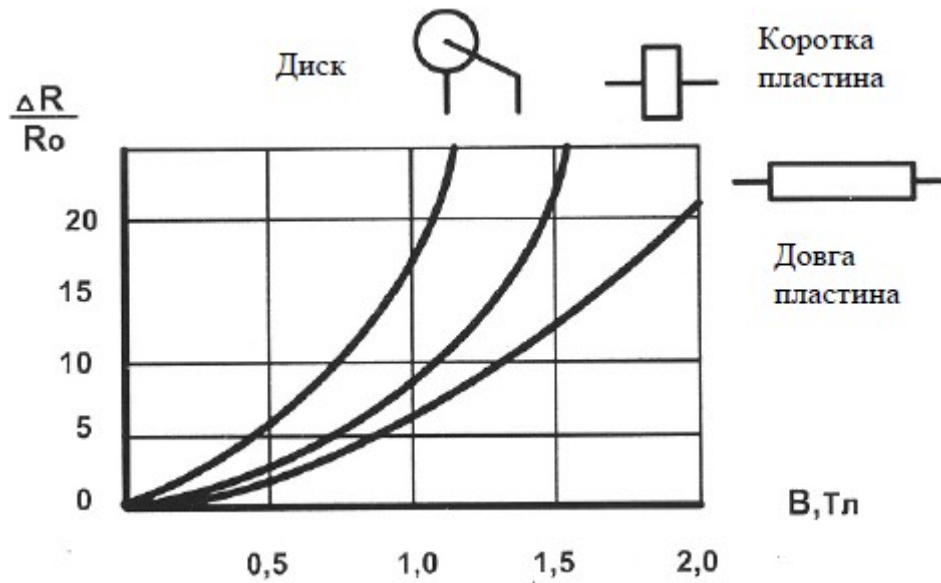


Рисунок 9 – Залежність магнітної чутливості від форми перетворювача

Як вихідні матеріали для виготовлення магніторезисторів застосовують германій, кремній, вісмут, а також композиції типу: ртуть-селен, ртуть-телур, індій-сурма та ін. (табл.).

Таблиця 3 – Питомий опір матеріалів магніторезисторів

Матеріал	ρ , Ом·см	Матеріал	ρ , Ом·см
Ge	40...50	HgSe	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Si	$6 \cdot 10^{-5}$	HgTe	$0,8 \cdot 10^{-3}$
Bi	10^{-4}	InSb	$7 \cdot 10^{-3}$

Фотоелементи з внутрішнім фотоелементом (фоторезистори)

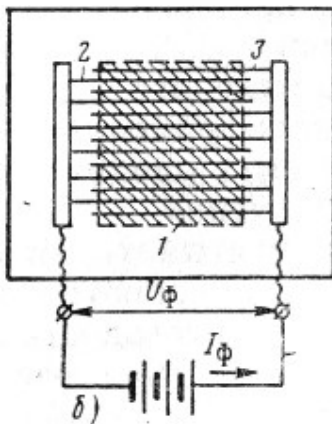
Кількість вільних електронів у напівпровідниках збільшується під дією падаючої на них променевої енергії. Збільшення внаслідок цього електропровідності при сталості температури називається внутрішнім фотоелементом.

Перевагами фотоелементів є їх простота, малі габарити, висока чутливість, відсутність механічного зв'язку з вимірюваним процесом і мала інерційність. Основним недоліком є мала величина фотоструму, внаслідок чого необхідно або його підсилення, або застосування високочутливих вимірювальних пристроїв.

Найважливіші три характеристики фотоелементів:

- світлова характеристика $I_{\Phi} = f(\Phi)$, тобто залежність фотоструму від величини світлового потоку Φ в люменах при постійній напрузі, поданій до фотоелемента;
- вольтамперна характеристика $I_{\Phi} = f(U_{\Phi})$, тобто залежність фотоструму від величини прикладеної до фотоелемента напруги U_{Φ} за $\Phi = const$;
- інтегральна чутливість $S_{\Phi} = \Delta I_{\Phi} / \Phi$ (або $k_{\Phi} = I_{\Phi} / \Phi$ за прямолінійності світлової характеристики), тобто відношення величини зміни фотоструму до зміни світлового потоку при постійній напрузі, поданій до фотоелемента.

Фоторезистори (рис. 10, б) звичайно виготовляють шляхом нанесення тонкого шару 1 напівпровідникового матеріалу (сірчистий свинець, сірчистий вісмут, сірчистий кадмій тощо) на решітки 2 і 3 з тонких провідників. При зміні освітленості E такого фотоелемента змінюється його опір R_{Φ} , а отже, й величина струму I_{Φ} в електричному колі.



Величина фотоструму залежить від прикладеної напруги U_{Φ} , яка для фотоопорів може змінюватися у широких межах. У зв'язку з цим фотоопори часто характеризують питомою (на 1 В) інтегральною чутливістю:

$$S_{\Phi 0} = \frac{S_{\Phi}}{U_{\Phi}} \text{ [мкА/В·лм]}.$$

Вольтамперні характеристики більшості фотоопорів практично лінійні, тобто їхня інтегральна чутливість пропорційна напрузі $S_{\Phi} = S_{\Phi 0} U_{\Phi}$.

Перевагами фоторезисторів є малі габарити, висока чутливість та можливість вимірювання слабого теплового випромінювання (інфрачервоний спектр).

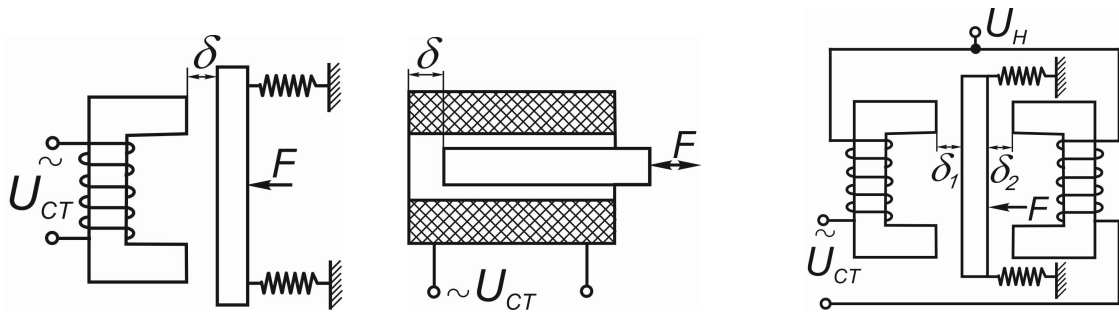
До числа недоліків слід віднести нелінійність світлових характеристик, інерційність, температурну похибку та наявність «темнового» струму за відсутності освітленості.

Датчики з перетворювачем індуктивного типу

Основним елементом індуктивних перетворювачів лінійних або кутових переміщень в електричний сигнал є котушка змінної індуктивності або трансформатор зі змінним коефіцієнтом взаємної індукції.

Принцип дії заснований на зміні індуктивного опору котушки при переміщенні у ній феромагнітного осердя, або при зміні зазору в осерді. За конструктивним виконанням індуктивні датчики можуть бути:

- з рухомим якорем;
- із рухомим осердям;
- диференційний.



Індуктивні датчики із рухомим якорем (зі змінним зазором) використовують для вимірювання дуже малих до 2 мм переміщень. Чутливість датчика:

$$S = K_T = \Delta Z / Z / \Delta \delta / \delta.$$

Індуктивні датчики із рухомим осердям здатні виміряти величини до 15 мм переміщення. Характеристика датчика прямолінійна тільки на певній ділянці.

Диференційні індуктивні датчики у яких вхідною величиною є зміщення якоря відносно середнього положення, а вихідною напруга. У диференціальних датчиків більша чутливість і на їх роботу значно менше впливає коливання напруги джерела живлення.

Індуктивні датчики прості та надійні, мають велику вихідну потужність, не мають рухомих контактів, працюють від мережі змінного струму при частотах від 50 Гц до декількох кілогерц, але їх робота дуже залежить від частоти напруги

живлення і їх неможливо використовувати при високих частотах, бо при цьому різко зростають втрати на перемагнічування та індуктивний опір обмотки.

Індуктивність котушки з числом витків w найпростішого індуктивного давача (рис. 12,а) дорівнює:

$$L = \frac{w\Phi}{I}, \text{ Гн,}$$

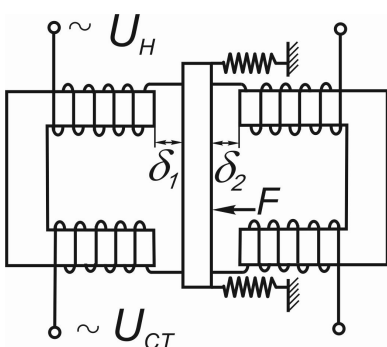
де Φ – магнітний потік у Вб; I – струм котушки в А.

Індуктивні давачі застосовуються лише на відносно низьких частотах (до 3000...5000 Гц), тому що на високих частотах різко зростають втрати у сталі на перемагнічування і реактивний опір обмотки. Для кожного типу давача існує якась найкраща частота, за якої співвідношення між активними та реактивними опорами у схемі буде оптимальним. Для більшості конструкцій ця частота знаходиться у діапазоні 100...1000 Гц.

Істотними недоліками індуктивного давача є такі:

- для вимірювання переміщення якоря в обох напрямках необхідний початковий повітряний проміжок δ_0 , тобто і початковий струм I_c у навантаженні. Це створює незручності при вимірюванні і значні похибки від коливань температури і напруги живлення;
- наявність електромеханічного зусилля притягнення якоря, що залежить від величини повітряного проміжка.

Від цих недоліків значною мірою позбавлений диференціально-трансформаторний індуктивний давач, який має до того ж значну чутливість.



Принцип їх дії заснований на зміні взаємної індуктивності між двома системами обмоток при їх взаємному переміщенні або переміщенні якоря. Їм властиві переваги та недоліки індуктивних датчиків, крім того у них відсутній гальванічний зв'язок між електричними колами входу та виходу.

Диференціально-трансформаторні перетворювачі

Диференціально-трансформаторний перетворювач складається з циліндричного каркаса, всередині якого переміщується феромагнітне осердя. На каркасі по всій його довжині рівномірно розміщена первинна обмотка W_1 . Вторинні обмотки W_2 й W_3 намотані поверх первинної обмотки симетрично,

відносно її середини увімкнені зустрічно, тобто початки обмоток з'єднані між собою, а кінці – виведені назовні.

Розглянемо принцип дії подібного перетворювача на прикладі давача рівня рідини (рис. 13)

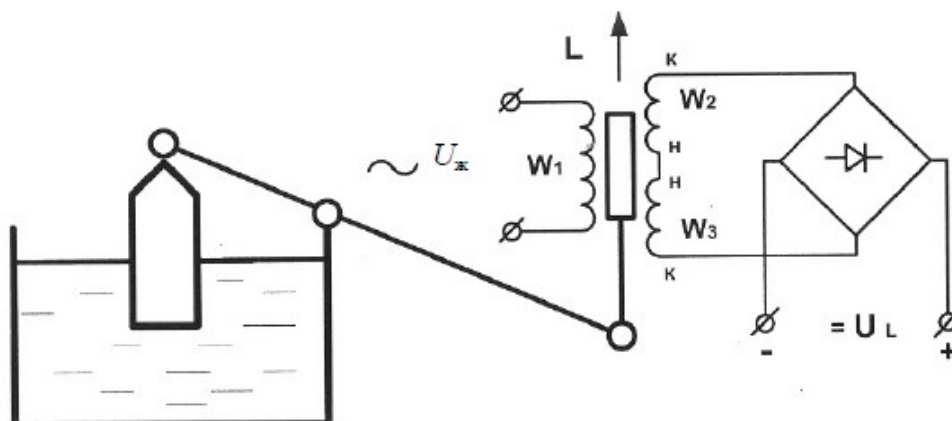


Рисунок 13 – Давач рівня з диференціальним трансформатором

При зміні рівня рідини у бачку змінюється положення поплавка й положення осердя у давачі. До тих пір поки осердя знаходиться у середній частині диференціального трансформатора, в обох вторинних обмотках W_2 і W_3 індукуються однакові е.р.с. Але оскільки обмотки увімкнені зустрічно, то різниця потенціалів на виході трансформатора дорівнює нулю. При зменшенні рівня рідини у бачку поплавок буде опускатися, а осердя, навпаки, підніматися. Внаслідок цього е.р.с., що індукується в обмотці W_2 , збільшиться, а е.р.с. в обмотці W_3 зменшиться й на виході трансформатора з'явиться сигнал змінної напруги, пропорційний зниженню рівня рідини у бачку. Для поєднання давача з системами автоматичного контролю та керування застосовують випрямний міст, з виходу якого знімають сигнал постійної напруги, чий рівень також пропорційний амплітуді контрольованої величини.

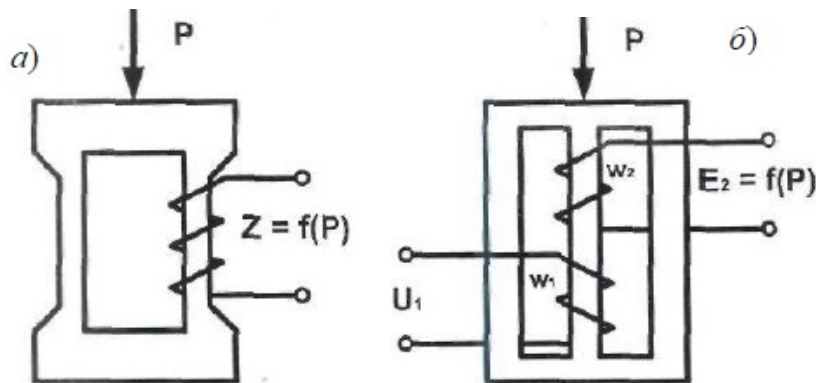
Магнітопружні перетворювачі

Принцип дії магнітопружних перетворювачів заснований на зміні магнітної проникності μ ферромагнітних тіл залежно від виникаючих у них механічних напруг (магнітопружний ефект), внаслідок дії механічних зусиль P (стиснення, розтягування, згинання або скручування).

Розрізняють дві основні групи магнітопружних перетворювачів.

До першої групи належать перетворювачі, в яких використовують зміну магнітної проникності чутливого елемента в одному напрямі. Магнітний потік у

цих пристроїв спрямований у більшій частині магнітопроводу вздовж напрямку зусилля. У перетворювачах даної групи під дією вимірюваного зусилля змінюється індуктивність обмотки (рис. 14,а) або індуктивність між обмотками (рис. 14,б).



У першому випадку реалізується наступне коло перетворювань:

$$P \rightarrow \delta \rightarrow \mu \rightarrow Z_M \rightarrow L \rightarrow Z.$$

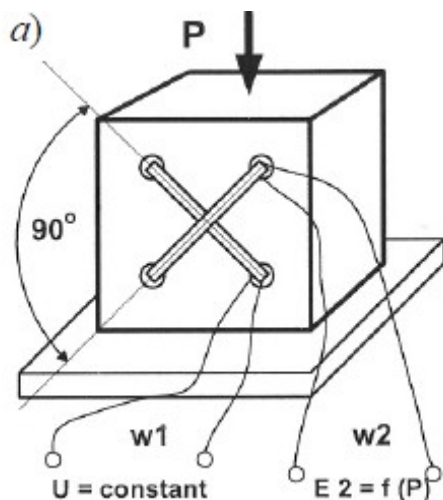
Зусилля – механічна напруга – магнітна проникність – магнітний опір – індуктивність – повний опір обмотки.

У другому випадку

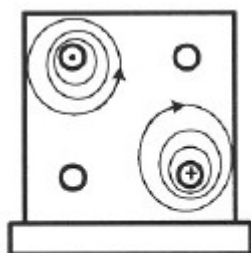
$$P \rightarrow \delta \rightarrow \mu \rightarrow Z_M \rightarrow E_2.$$

Зусилля – механічна напруга – магнітна проникність – магнітний опір – магнітний потік – е.р.с. вторинної обмотки.

До другої групи належать перетворювачі, в яких змінення магнітної проникності відбувається одночасно у двох взаємоперпендикулярних напрямках (магнітна анізотропія матеріалу чутливого елемента). У таких перетворювачах магнітний потік спрямований під кутом 45° до лінії дії вимірюваного зусилля (рис. 15, а).

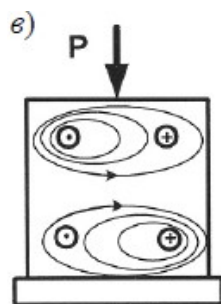


За відсутності зовнішнього навантаження (рис. 15,б) силові лінії магнітного поля первинної обмотки розташовані симетрично та не «зчеплені» з вторинною обмоткою, в результаті чого е.р.с. вторинної обмотки дорівнює нулю.



$$P = 0$$

В результаті прикладення зовнішнього зусилля, внаслідок зміни магнітної проникності перетворювача, магнітні силові лінії «витягуються» у напрямі більшої проникності та «стискаються» у напрямі меншої проникності, забезпечуючи «зчеплення» з вторинною обмоткою та індукування в ній е.р.с., пропорційній прикладеному зусиллю (рис. 15,в).



$$P \neq 0$$

Безконтактні кінцеві вимикачі

Безконтактні кінцеві вимикачі представлені двома групами електронних пристроїв, які перетворюють кінцеве переміщення об'єкта у потенціальний сигнал високого рівня.

До першої групи належать перетворювачі, у яких як чутливий елемент використовують трансформатор, що має три обмотки, дві з яких намотані на загальне осердя з повітряним проміжком відносно третьої обмотки. Фіксація кінцевого стану об'єкта виконується при уведенні у проміжок між обмотками металевго екрана («прапорця»), закріпленого на об'єкті. Ця група надана вимикачами БК-А (рис. 16,а), ВКБ (рис. 16,б) й КВД (рис. 16,в), в яких чутливий елемент та електронний блок змонтовані в одному корпусі.

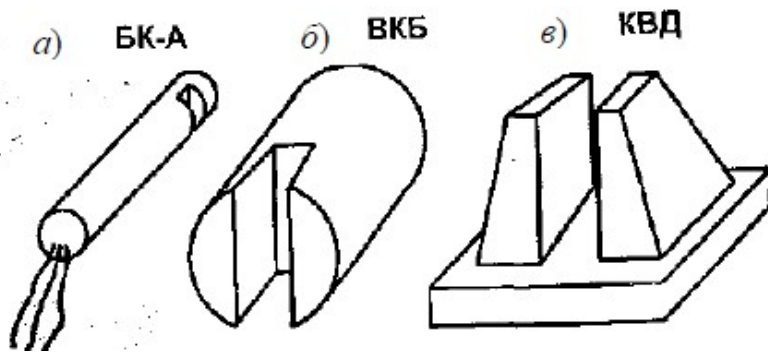


Рисунок 16 – Безконтактні кінцеві вимикачі

До другої групи належать так звані торцеві вимикачі з чутливим елементом, виконаним у вигляді мініатюрної котушки, що віддаляється від електронного блока на відстань до одного метра. У цих пристроях визначення кінцевого стану відбувається при наближенні до осердя котушки на відстань менше двох міліметрів сталюго предмета масою не менше одного грама.

Принципова схема давачів першої групи (рис. 17) містить генератор синусоїдальних сигналів, виконаний на базі транзистора VT1, у контурі зворотного зв'язку якого встановлені обмотки L1 і L2; вторинна обмотка трансформатора L3; однопівперіодний випрямляч VD1 та двокаскадний транзисторний підсилювач VT2, VT3, організований у вигляді тригера Шмітта. Опір навантаження на виході давачів повинен бути не менше 1,2 кОм.

Живлення $E = \pm 24$ В подано таким чином, щоб забезпечити транзисторам VT1–VT3 (типу p-n-p) нормальну роботу.

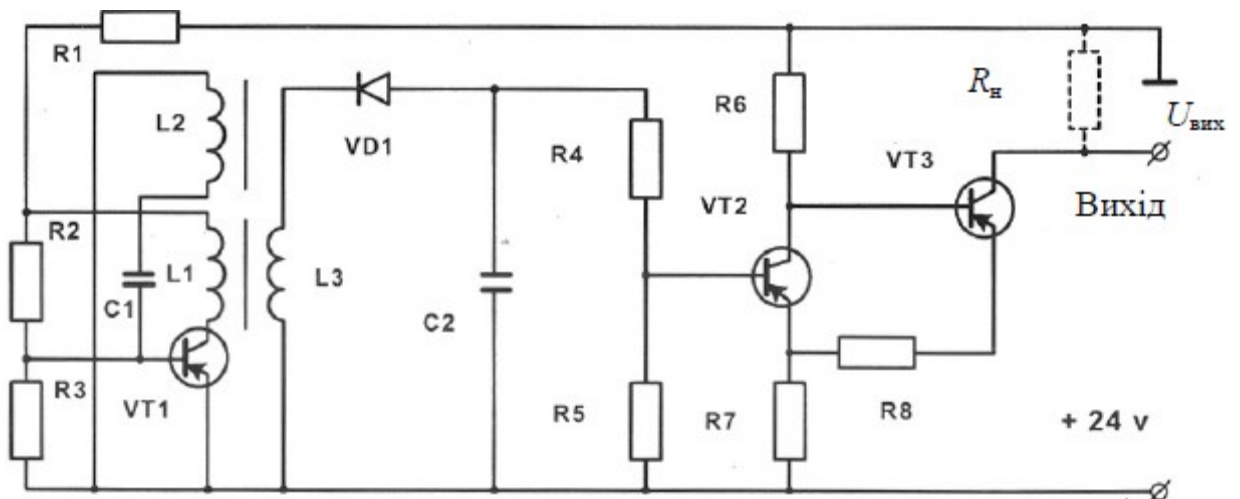


Рисунок 17 – Принципова електрична схема безконтактних кінцевих вимикачів BK-A, BKБ, КВД

Якщо металевий екран, встановлений на переміщуваному об'єкті, не уведений у проріз перетворювача (рис. 18,а), генератор працює у звичному

режимі. На обмотці L3 індукується синусоїдальний сигнал. Однопівперіодний випрямляч від'ємної напруги, побудований на діоді VD1, формує на вході фільтра C2 від'ємну півхвилю синусоїди. Після виконання фільтрації через подільник напруг R4–R5 на базу транзистора VT2 подається від'ємний потенціал, який повністю відкриває транзистор р-n-p типу VT2. При цьому на базу транзистора VT3 надходить додатній потенціал, який викликає повне закриття цього транзистора. В результаті рівень $U_{вих} = 0$.

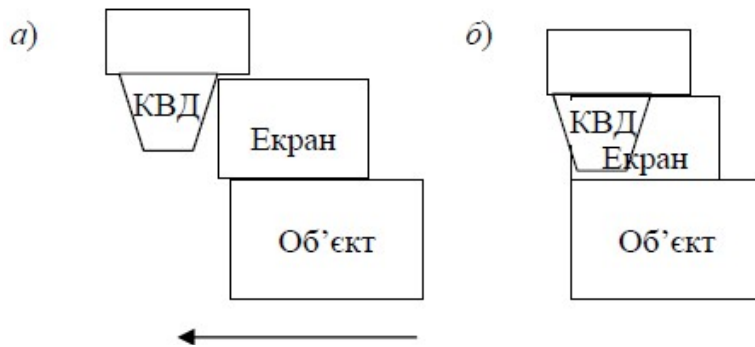


Рисунок 18 – Взаємодія екрану з чутливим елементом безконтактного кінцевого вимикача

При уведенні металевого екрана у проміжок між обмотками L1 і L2 (рис. 18,б) відбувається зрив коливань генератора синусоїдальних коливань. На виході однонапівперіодного випрямляча напруга дорівнює 0. На базу транзистора VT2 надходить позитивна напруга від джерела +E. Транзистор VT2 (р-n-p типу) закривається, а транзистор VT3 при цьому відкритий. На виході перетворювача при цьому встановлюється потенціал, близький до рівня напруги живлення $E = +24$ В.

Принципова схема торцевого перетворювача (рис. 19) виконана аналогічно до схеми давачів першої групи з деякою зміною генератора синусоїдальних сигналів, за якого зв'язок між генератором та випрямлячем здійснений не через трансформатор, а за допомогою конденсатора C2.

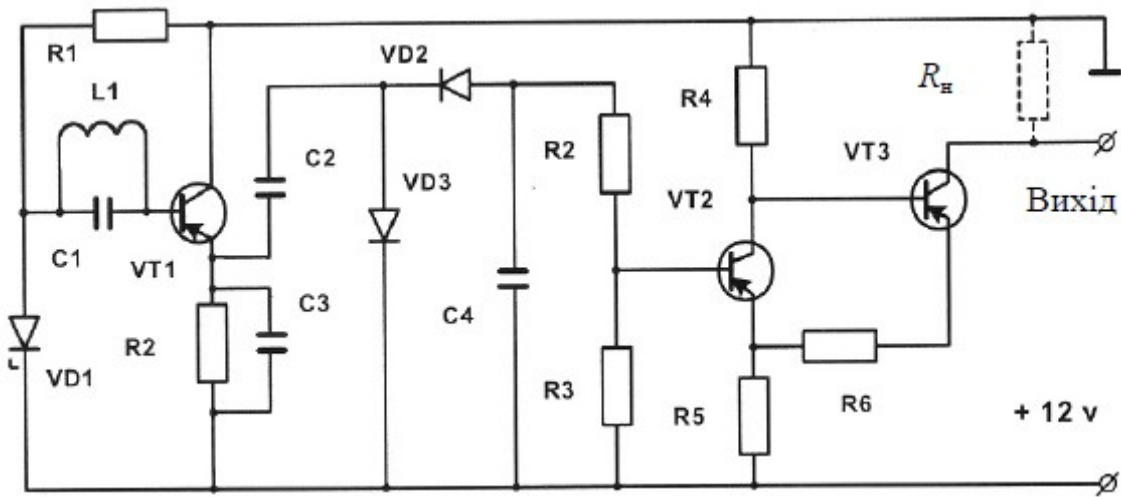


Рисунок 2.19 – Принципова електрична схема торцевого перетворювача

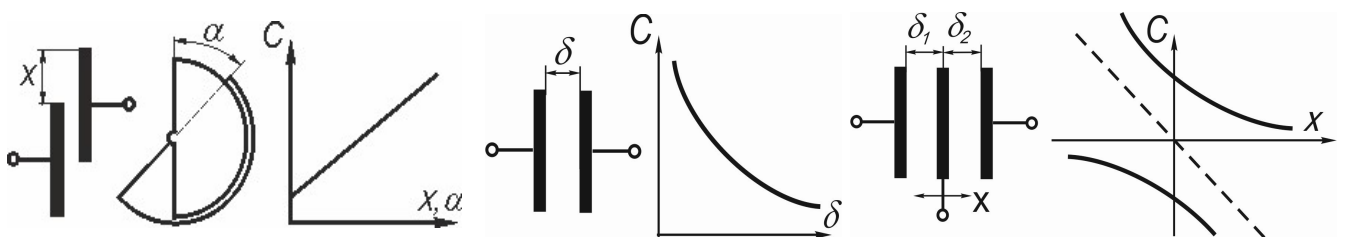
Тут коливальний контур складений на котушці $L1$ та конденсаторі $C1$. У штатному режимі синусоїдальне коливання надходить на вхід однопівперіодного випрямляча, потім йде фільтр, в результаті описаних вище перетворень транзистор $VT2$ відкривається, а вихідний транзистор $VT3$ закритий. При цьому встановлюється $U_{\text{вих}} = 0$.

Ємнісні датчики

Принцип роботи ємнісних датчиків заснований на використанні залежності електричної ємності конденсаторів від розмірів та взаємного розміщення його електродів а також від діелектричних властивостей середовища між ними. Розрізняють три типи ємнісних датчиків:

- зі змінною площею пластин;
- зі змінною відстанню між пластинами;
- зі змінною діелектричною проникністю між пластинами.

Конструкції датчиків:



Для двохелектродного ємнісного датчика із плоскими електродами електрична ємність:

$$C = \epsilon F / \delta$$

де F - площа електродів;

δ - відстань між електродами;

ε - електрична проникність середовища між пластинами, що рівна:

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0,$$

де ε_r - відносна електрична проникність середовища між пластинами;

ε_0 - діелектрична постійна, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

В такому датчику вхідною величиною може бути ε , F , або δ , а вихідною величиною буде ємність C . Якщо за вхідну величину взяти відстань між пластинами - δ то чутливість датчика:

$$K = S = \varepsilon F / \delta^2.$$

Можливі області застосування ємнісних давачів надзвичайно різноманітні. Вони використовуються у системах регулювання й керування виробничими процесами майже в усіх галузях промисловості. Ємнісні давачі застосовуються для контролю заповнення резервуарів рідкою, порошкоподібною або зернистою речовиною, як кінцеві вимикачі на автоматизованих лініях, конвеєрах, роботах, обробних центрах, верстатах, у системах сигналізації, для позиціонування різних механізмів і т. д.

Нині найбільш широкого застосування отримали давачі наближення (присутності), які окрім своєї надійності, мають значну низку переваг. Маючи порівняно низьку вартість, давачі наближення охоплюють величезний спектр спрямованості за своїм застосуванням в усіх галузях промисловості. Типовими областями використання ємнісних давачів цього типу є:

- сигналізація заповнення ємностей із пластику або скла;
- контроль рівня заповнення прозорих упаковок;
- сигналізація обриву обмотувального дроту;
- регулювання натягу стрічки;
- поштучний рахунок будь-якого виду та ін.

Особливо широко ємнісні перетворювачі застосовуються при вимірюванні вологості твердих та рідких тіл, рівня рідини, а також визначення геометричних розмірів невеликих об'єктів.

У більшості випадків практичного використання ємнісних перетворювачів їхньою природною вхідною величиною є геометричне переміщення електродів

один відносно одного. На основі цього принципу побудовані давачі лінійних та кутових переміщень, прилади вимірювання зусиль, вібрацій, швидкості і прискорення, давачі наближення, тиску й деформації (екстензометри).

Широке застосування знаходять так звані електронні сигналізатори рівня сипучих матеріалів у бункерах підприємств будівельної індустрії (рис. 20,а), а також аналогові давачі рівня рідини в резервуарах (рис. 20,б). В обох модифікаціях відстані між пластинами конденсатора і площа пластин залишаються постійними.

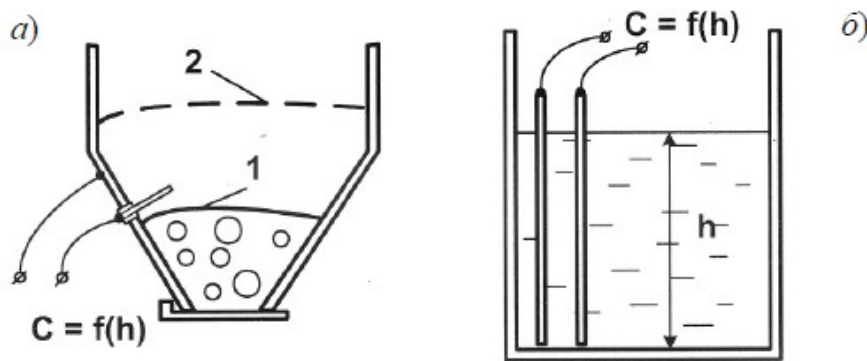


Рисунок 2.20 – Ємнісні давачі рівня

У другій групі ємнісних перетворювачів (рис. 21,а) використовують здатність конденсаторів змінювати електричну ємність залежно від варіації відстані між пластинами, які мають постійну площу взаємодії. Як правило, подібні перетворювачі застосовують для виміру мікропереміщень.

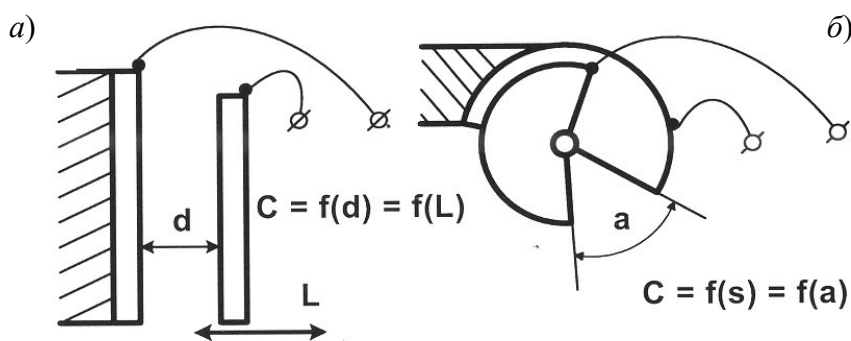


Рисунок 2.21 – Ємнісні перетворювачі для вимірювання лінійних та кутових переміщень

У третій групі використовують ефект зміни електричної ємності залежно від зміни площі взаємодії пластин конденсатора при постійній відстані між пластинами (рис. 21,б). В основному такі давачі служать для визначення кутового переміщення об'єктів.

Ємнісні вимірювальні перетворювачі кутових переміщень подібні за принципом дії до ємнісних давачів лінійних переміщень, причому давачі зі

змінною площею також більш доцільні у разі не дуже малих діапазонів вимірювання (починаючи з одиниць градусів), а ємнісні давачі зі змінним кутовим проміжком можуть з успіхом використовуватися для вимірювання малих і надмалих кутових переміщень. Звичайно для кутових переміщень використовують багатосекційні перетворювачі зі змінною площею обкладинок конденсатора.

У таких давачах один із електродів конденсатора кріпиться до вала об'єкта, і при обертанні зміщується відносно нерухомого, змінюючи площу перекриття пластин конденсатора. Це, у свою чергу, викликає зміну ємності, що фіксується вимірювальною схемою.

Точність вимірювання при використанні перетворювачів другої та третьої груп суттєво залежить від стабільності діелектричних властивостей навколишнього середовища.

Первинні перетворювачі – конденсатори в усіх цих випадках під'єднують до електричного мосту змінного струму в якості одного з плечей. Знятий з вимірювальної діагоналі мосту потенціальний сигнал, пропорційний зміні ємності конденсатора, випрямляють за допомогою двопівперіодного випрямляча і спрямовують або на аналоговий компаратор (елемент порівняння) і далі на сигнальний перетворювач (рис. 22), або на вимірювальний перетворювач (рис. 23).

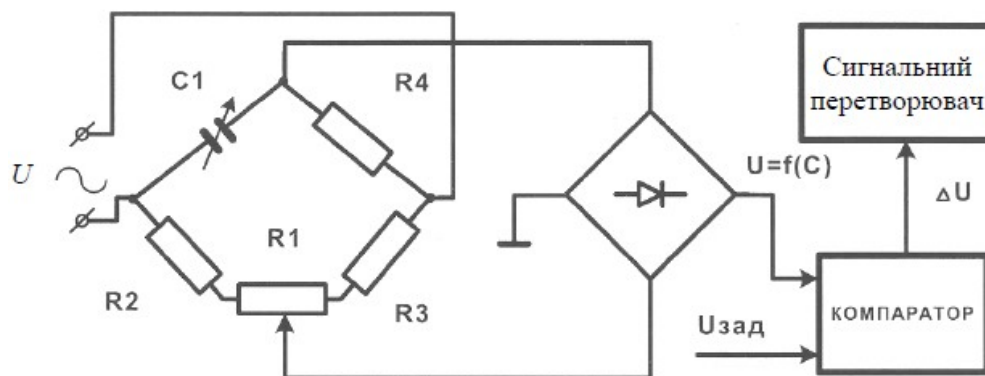


Рисунок 22 – Ємнісний давач з сигнальним перетворенням

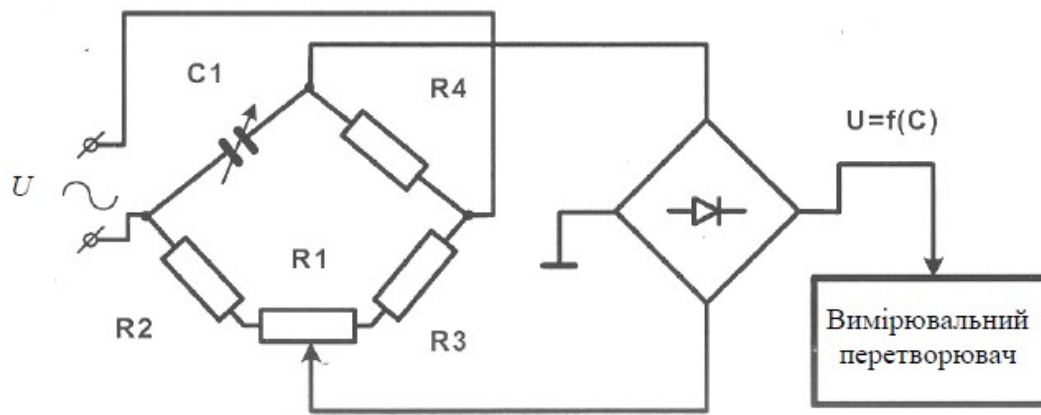


Рисунок 2.23 – Ємнісний давач з вимірюваним перетворенням

Сигнальне перетворення застосовують для визначення лише кінцевих станів об'єкта при його переміщенні або для фіксування будь-якої події, наприклад, наявності сипучого матеріалу в бункері.

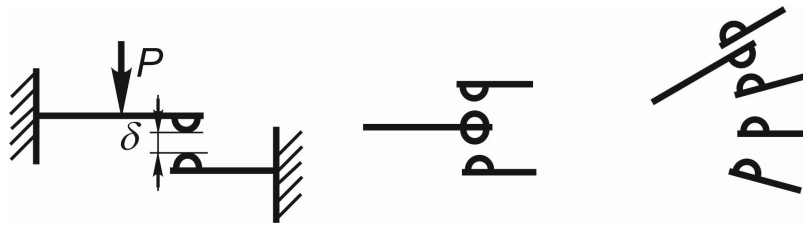
Вимірювальне перетворення застосовують у разі необхідності визначення поточного значення вимірюваного параметра, наприклад, рівня рідини у технологічній ємності.

Для збільшення точності вимірів та підвищення чутливості ємнісних датчиків їх звичайно вмикають за диференціальними схемами. Такі датчики практично без інерційні і застосовуються для вимірювання тисків, прискорень, вібрацій, рівнів, товщини різних матеріалів, вологості і т. д., але їм властиві ряд недоліків:

- невелика потужність вихідного сигналу;
- для збільшення потужності датчиків їх необхідно живити від джерел збільшеної частоти струму 10 кГц та більше;
- на їх покази сильно впливають паразитні ємності, (особливо ємність з'єднувальних проводів відносно землі) необхідно використовувати екрануючі елементи для датчика та проводів.

Контактні давачі

- у контактних датчиках в результаті різних дій проходить замикання або розмикання контактів, що включені у електричне коло, вони бувають:
 - односторонньої дії;
 - двосторонньої дії;
 - багатопозиційні.



Нечутливість контактних датчиків визначається початковим зазором δ між контактами. Вони досить прості, надійні і досить точні, але мають обмежений строк служби (підгорають).

Механічні контактні давачі

Контактні давачі перетворюють механічне переміщення (лінійне, кутове) у зміну стану електричного кола – його замикання або розмикання.

Як контактні давачі використовують різні за конструкцією і виконанням кінцеві вимикачі та мікроперемикачі.

Кінцеві вимикачі, в основному, призначені для використання у складі систем автоматичного керування, що мають напругу живлення 220/380 В для визначення положення у просторі великогабаритних вузлів агрегатів або виконавчих механізмів.

За конструктивними особливостями кінцеві вимикачі поділяються на пристрої натискної (рис. 24,а) і обертової (рис. 24, б) дії.

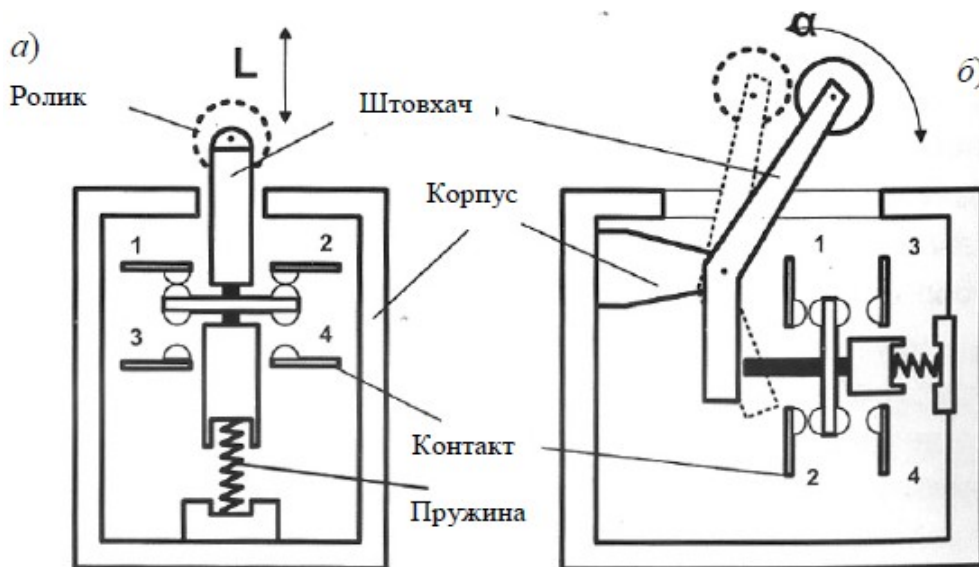


Рисунок 2.24 – Конструкції кінцевих вимикачів натискної та обертової дії

Аналіз конструктивних особливостей кінцевих вимикачів показує, що за лінійного або кутового переміщення штовхача спочатку розмикається контакт «1-2», а потім після деякого додаткового переміщення замикається контакт «3-4». Таке виконання кінцевих вимикачів зумовлено тим, що подібні пристрої, як правило, використовують для замикання і розмикання високовольтних кіл

(напругою до 380 В), у яких повне електричне розчеплення настає лише за амплітуди розмикання контактів не менше 2 мм.

Мікроперемикачі відповідно до своєї назви мають мініатюрне виконання з габаритними розмірами від 10x5x3 мм до 30x15x20 мм. Ці пристрої призначені для роботи у системах автоматичного контролю й керування з напругою живлення не більше 30 В. Комутовані струми при зазначеній напрузі залежно від типу мікроперемикача можуть сягати 15 А.

Конструктивно мікроперемикачі суттєво відрізняються від кінцевих вимикачів. Основна відмінність полягає у застосуванні пружинного рухомого контакту у сукупності з фігурною повертальною пружиною. При переміщенні штовхача рухомий контакт, який спирається вільним кінцем на фігурну пружину, спочатку прогинається у своїй центральній частині, і лише після подолання опору пружини здійснює перемикання (рис. 26). Таким чином, відбувається видалення невизначеності про стан контактів, характерною для кінцевих вимикачів. Подібне виконання мікроперемикачів забезпечує підвищення точності позиціювання при автоматичному керуванні рухомими об'єктами.

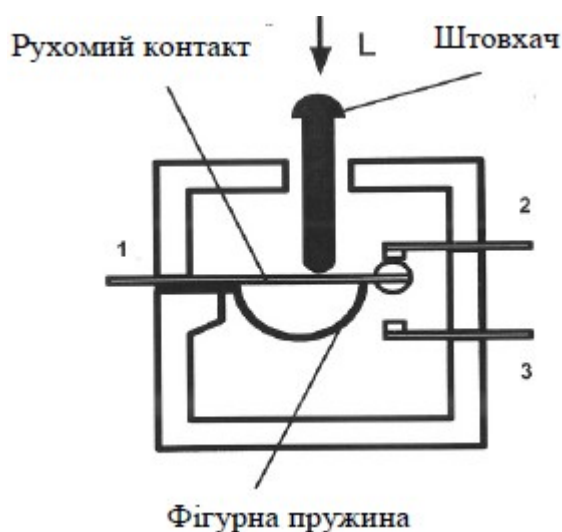


Рисунок 2.26 – Конструкція мікроперемикача

Мікроперемикачі застосовують як самостійні давачі лінійних та кутових переміщень (рис. 27), а також нормуючі сигнальні перетворювачі у складі давачів, призначених для перетворення інших фізичних величин (рис. 28).

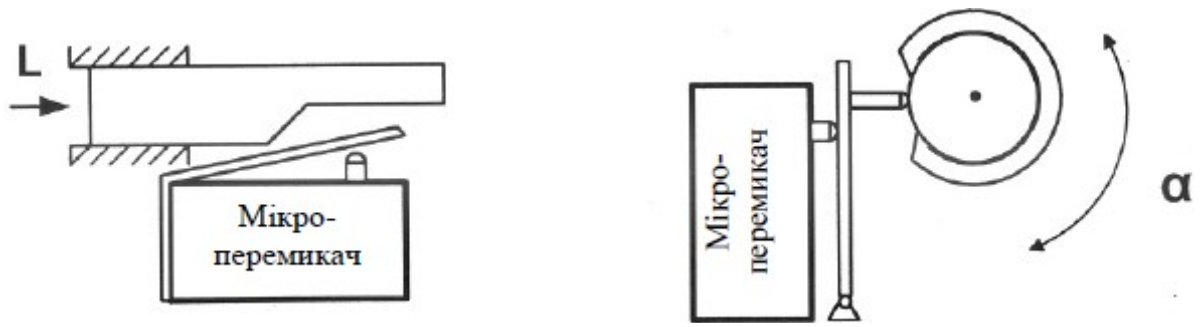


Рисунок 2.27 – Дискретні давачі переміщень

У складі давача тиску (див. рис. 28) мікроперемикачі установлюють з можливістю поперечного переміщення і подальшою фіксацією. Це дозволяє фіксувати граничні значення в усьому можливому діапазоні зміни тиску.

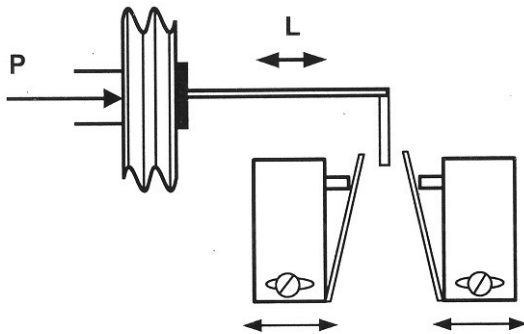


Рисунок 28 – Мікроперемикачі ускладі давача тиску

Поряд з доступністю, простотою та легкістю експлуатації контактні давачі мають суттєвий недолік – «брязкання контактів» при спрацьовуванні – багаторазове замикання контактної групи внаслідок механічного коливання пружинного рухомого контакту.

Тривалість «коливання» становить $n \cdot 10^{-6}$ с. При роботі контактних давачів в автоматичних системах, виконаних на реле, зазначене явище не має жодного значення, оскільки час спрацьовування електромагнітного реле становить $n \cdot 10^{-3}$ с. Однак при роботі контактних давачів у системах, виконаних на основі інтегральних мікросхем і мікропроцесорів, що мають тривалість перемикаччя $n \cdot 10^{-9}$ с і менше, «брязкання контактів» може викликати помилкові спрацьовування. Наприклад, при підрахунку частоти обертання вала за допомогою мікроперемикача, підключеного до лічильника-подільника, вміст лічильника після кожного спрацьовування мікроперемикача буде збільшуватися не на одиницю, а на деяке *непостійне* число. Для виключення впливу «брязкання» у зазначених системах використовують спеціальні нормуючі перетворювачі, наприклад, RS- тригери.

Генераторні датчики

Термопари

Термоелектричний метод набув широкого застосування для точного вимірювання та регулювання високих (370...2000 °К) температур. Перевагами методу є мала інерційність, простота і дуже малі габарити датчиків, які називаються термопарами.

Принцип дії термопари заснований на явищі термоелектричного ефекту, відкритому у 1756 р. російським академіком Ф. У. Епінусом. Це явище полягає у тому, що якщо з'єднати кінцями два різнорідних за матеріалом провідники 1 і 2 (рис. 30,а) й помістити місця з'єднань у середовища з різними температурами T_1 і T_2 , то в отриманому таким чином електричному колі з'явиться електричний струм через наявність термо-е.р.с. E . Ця термо-е.р.с. пропорційна за величиною різниці $T_1 - T_2$ температур двох кінців електричного кола і залежить від матеріалів обох провідників.

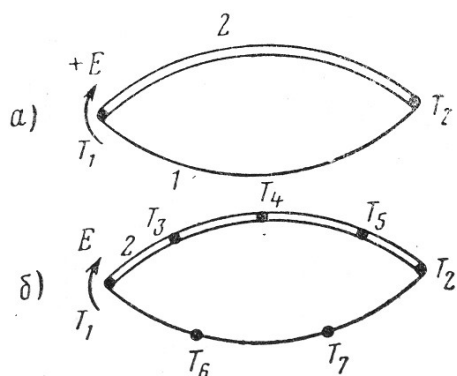


Рисунок 30 – Термоелектричне коло

Будь-яка термопара характеризується такими основними властивостями:

- 1) абсолютна величина термо-е.р.с. не залежить від розподілу температур вздовж однорідних провідників (рис. 30,б). Це означає, що величина термо-е.р.с. не зміниться, якщо, наприклад, нагрівати якусь довільну точку провідника, не змінюючи при цьому температур гарячого і холодного спаїв;
- 2) величина термо-е.р.с. не зміниться за будь-якого включення довільного третього провідника у розрив термокола.

Для порівняння різних матеріалів можна визначати їх термо-е.р.с. окремо у парі з будь-яким еталонним матеріалом (звичайно платина). Тоді для двох різних матеріалів термо-е.р.с. розраховується як різниця термо-е.р.с. кожного матеріалу у парі з платиною.

При точних вимірюваннях слід враховувати, що величина термо-е.р.с. лише приблизно лінійно залежить від вимірюваної температури. Тому для точного визначення температури за величиною термо-е.р.с. необхідно користуватися стандартними градуювальними таблицями, позначення яких надано в табл. 4.

Таблиця 2.4 – Характеристики деяких термопар

Термопара	Позначення градуювання	Термо-е.р.с. при $T_1=373$ °К і $T_2=273$ °К, мВ	Межі довготривалого застосування, °К
Платина – платинородій	ПП	0,64	250–1600
Сплав НК – СА	НС	1,85*	573–1300
Хромель – алюмель	ХА	4,10	220–1300
Хромель – копель	ХК	6,95	220–900
Мідь – константан	–	4,25	20–700
Вольфрам – реній	–	1,45*	273–2473
Вольфрам – молібден	–	0,50	1500–2473

* Середня на 100 ° в діапазоні.

Величину термо-е.р.с. можна розрахувати за формулою:

$$E = S_T (T_1 - T_2),$$

де S_T – чутливість термопар, приблизно беруть з табл. 4;

$(T_1 - T_2)$ – різниця температур гарячого та холодного спаїв в ОК.

За стрибкоподібної зміни температури T_1 середовища, у якому знаходиться гарячий спай термопар, на величину ΔT , її термо-е.р.с. визначається наступним чином:

$$\Delta E = S_T \Delta T (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}),$$

де t – час; τ – постійна часу термопар:

$$\tau = \frac{C_d \cdot q \cdot V}{k_\tau \cdot S}.$$

Тут: C_d – теплоємність; V – об'єм; S – поверхня дотику з середовищем; k_τ – коефіцієнт теплопередачі; q – густина середовища.

Звичайно τ визначають експериментальним шляхом.

Індукційні датчики

Індукційні датчики – відносять до групи генераторних. Принцип їх дії заснований на використанні закону електромагнітної індукції, згідно якого е. р. с.,

що індукується у котушці пропорційна швидкості зміни магнітного потоку який зчеплений із котушкою:

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt}.$$

Цей принцип використовується у різних як за призначенням, так і за конструкцією індукційних давачах е.р.с. Найчастіше використовують два конструктивні варіанти: переміщення котушки між полюсами постійного магніту і переміщення постійного магніту відносно нерухомої котушки. Замість постійного магніту можна встановити електромагніт. Індукційні здавачі застосовують при вимірюванні вібрацій, швидкостей руху та витрати рідких й газоподібних потоків тощо.

Розглянемо роботу індукційних давачів швидкості. Давачі швидкості – пристрої, призначені для отримання інформації про значення частоти обертання валів стаціонарних й мобільних агрегатів.

Для автоматики найбільший інтерес являють індукційні давачі, у яких е.р.с. E пропорційна кутовій швидкості ω обертання рухомої частини. Такі давачі називаються тахогенераторами і являють собою невеликі електричні машини, конструкція яких передбачає створення максимально лінійної залежності E від ω . Розміри і момент інерції рухомої частини повинні бути мінімальними, щоб не створювати моменти навантаження на досліджуваний вал. Для зменшення гістерезисної похибки при збільшенні й наступному зменшенні швидкості обертання для магнітопроводів тахогенераторів зазвичай використовують листовий пермалой.

Тахогенератори – пристрої, призначені для отримання аналогової інформації про поточне значення частоти обертання будь-яких валів, наприклад, колінчастого вала двигуна внутрішнього згорання.

Тахогенератор є електричною машиною постійного або змінного струму, що працює в режимі генератора. В обох типах пристроїв амплітуда напруги, що генерується, пропорційна частоті обертання ротора.

Магнітний потік створюється або постійним магнітом, або спеціальною обмоткою збудження на статорі.

У тахогенераторів постійного струму (див. мал.) якір 1 отримує обертовий рух від об'єкта, кутова швидкість ω , якого вимірюється і обертається у магнітному полі постійного магніту 2.



Принцип дії таких датчиків заснований на законі електромагнітної індукції, відповідно до якого електрорушійна сила E , що індукується у котушці якоря 1, пропорційна швидкості зміни магнітного потоку через неї $d\Phi/dt$ а отже, швидкості обертання якоря 1:

$$E = -\varpi \frac{d\Phi}{dt},$$

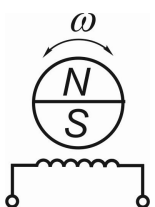
де ϖ - кількість витків котушки якоря.

Вихідною величиною такого датчика є напруга U , що знімається з колектора датчика і є пропорційною кутовій швидкості:

$$U = m\omega.$$

Такі тахогенератори мають деякі недоліки: наявність ненадійного щіткового контакту та вплив температури на опір обмоток якоря, а отже, і на величину вихідної напруги U .

Полярність е.р.с., що знімається зі щіток колектора, залежить від напрямку обертання. Тому тахогенератори постійного струму дозволяють визначити не лише частоту, але й напрям обертання за рахунок зміни полярності сигналу.

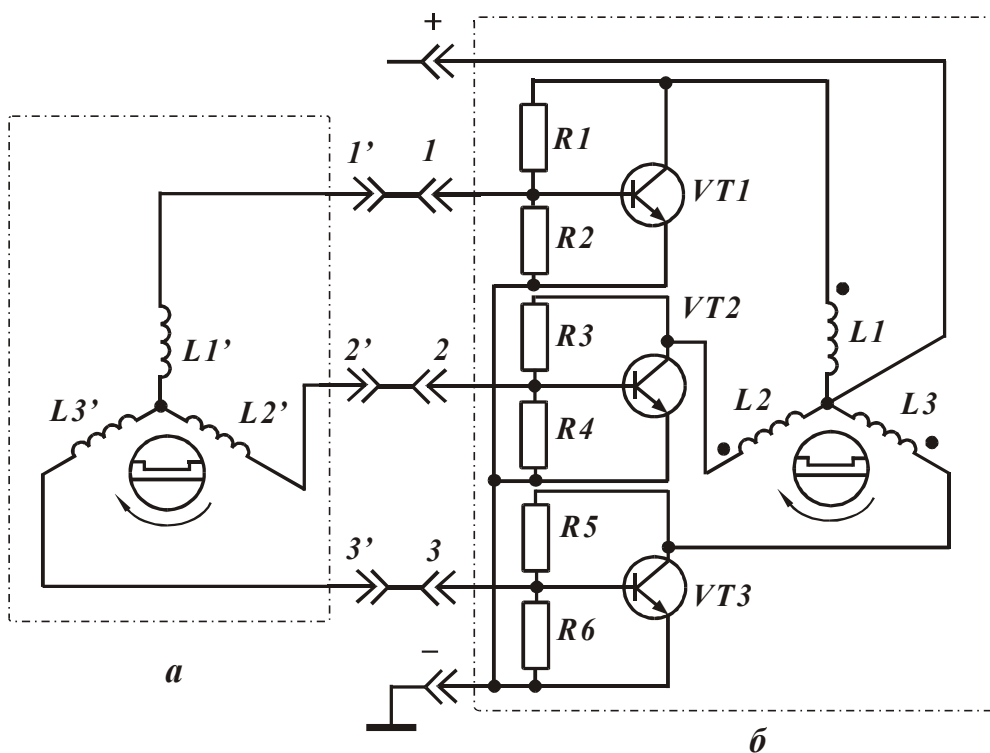


При використанні тахогенераторів змінного струму – використовують залежність частоти електричного струму від частоти обертів $f = \psi(n)$, у цьому випадку на виміри не впливає величина магнітного потоку, що забезпечує збільшення точності вимірів.

Тахометр з електричним безконтактним приводом складається з датчика генераторного типу і покажчика та встановлюється на автомобілях (мал.). Датчиком є електричний трифазний генератор із ротором у вигляді чотириполюсного постійного магніту, який обертається від досліджуваного вала. У статорі

знаходяться три обмотки, розміщені між собою під кутом 120° і з'єднані «зіркою». За такої будови частота струму датчика пропорційна кутовій швидкості досліджуваного вала. При обертанні ротора датчика його магнітне поле збуджує в обмотках статора ЕРС, частота імпульсів якої пропорційна частоті обертання ротора. Імпульси ЕРС обмоток статора по черзі, тобто через кожні 120° фази обертання ротора, надходять до бази транзисторів VT1, VT2 і VT3. При цьому транзистори відкриваються і на відповідні обмотки статора синхронного двигуна показчика швидкості надходить електричний струм.

Показчик магнітоіндукційної дії приводиться в дію синхронним

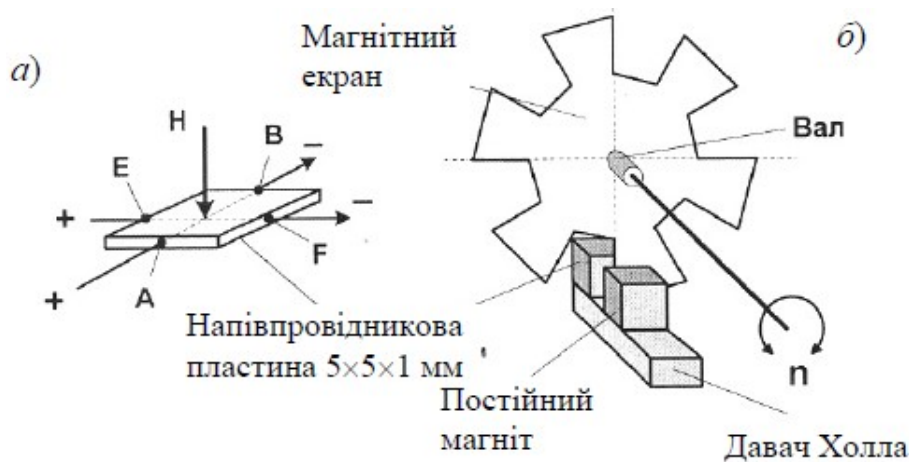


Мал. 5.6 – Принципова схема тахометра з електроприводом: а) датчик б) показчик

електродвигуном, статор якого має трифазну обмотку. При надходженні імпульсу від першої обмотки датчика через контактне з'єднання 1 до бази транзистора VT1 останній відкривається і струм від клем «+» через обмотку електродвигуна показчика і транзистор VT1 надходить до клем «-» показчика. Оскільки імпульси надходять із зсувом 120° , в обмотках статора електродвигуна показчика створюється обертове магнітне поле, частота якого відповідає частоті обертання ротора датчика. При цьому приводяться в дію ротор електродвигуна показчика, стрілка показчика швидкості і лічильний механізм пройденого шляху. Резистори R1 - R6 прискорюють закриття транзисторів після проходження чергового імпульсу,

оскільки вони працюють у ключовому режимі, а також зменшують дію ЕРС самоіндукції, яка виникає в обмотках електродвигуна при запиранні транзисторів.

Для отримання точної інформації про частоту обертання у широкому діапазоні застосовують електронні імпульсні давачі, виконані на основі ефекту Холла. Якщо до точок А і В напівпровідникової пластинки розміром 5 x 5 мм (рис. 37,а) підключити постійну напругу, а до центра пластинки піднести постійний магніт, то між точками Е і F виникне різниця потенціалів (е.р.с. Холла). Виникаюча поперечна е.р.с. має напругу на 3 В менше, ніж напруга живлення.



Якщо між магнітом та напівпровідником помістити рухомий екран з прорізами (рис. 37,б), отримаємо імпульсний генератор Холла.

Частота слідування імпульсів визначається зі співвідношення

$$F = kn, \text{ Гц,}$$

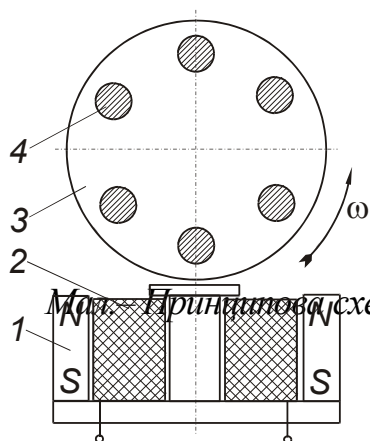
де k – кількість прорізів у магнітному екрані; n – частота обертання вала, об/с.

Давачі Холла забезпечують високу точність визначення швидкості обертання валів при частоті слідування імпульсів від 0 до 10 кГц.

Для вимірювання швидкості лінійних переміщень, амплітуди коливань та прискорень можна використовувати магнітоелектричний датчик, схема якого приведена на мал. Циліндричний постійний магніт 3 датчика створює у кільцевому зазорі 2 постійне радіальне магнітне поле. Циліндрична котушка 1 під дією механічних зусиль, що передаються від досліджуваного тіла, переміщається у повітряному зазорі, перетинає силові магнітні лінії постійного поля, внаслідок чого у ній індукується ЕРС, що пропорційна швидкості переміщення $E = \psi(v)$.

Мал. - Принципова схема датчика лінійної швидкості

Датчик безконтактного контролю обертання БКВ призначений для отримання інформації про швидкість стрічки стрічкового конвеєра. Датчик складається з постійного магніту 1, виготовленого у формі кільця, всередині якого знаходиться котушка 2, та встановленого на підшипниках циліндричного ролика 3 із шістьма стержнями 4 (див. мал.). Постійний магніт 1 та котушка 2 можуть виготовлятися окремо у вигляді магнітоіндуктивного датчика ДМ-2. Циліндричний ролик контактує зі стрічкою конвеєра і при її русі обертається із певною кутовою швидкістю ω . При цьому, через активну зону магнітоіндуктивного датчика по чергові проходять стержні 4 ролика 3, що призводить до коливань силових ліній постійного магніту 1 та перетину ними витків котушки 2. У котушці індукується ЕРС, частота якої пропорційна швидкості руху стрічки конвеєра.



Мал. - Принципова схема датчика безконтактного контролю обертання БКВ

П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНІ ДАТЧИКИ

Робота п'єзoeлектричного датчика заснована на фізичному явищі, яке називається п'єзoeлектричним ефектом. Цей ефект проявляється у деяких кристалах

у вигляді появи на їхніх гранях електричних зарядів різних знаків при стисненні кристала у певному напрямку. Слово «п'єзо» грецькою означає «тисну». Залежно від значення сили стиснення (або розтягування) змінюється кількість зарядів, а отже, і різниця потенціалів між гранями. П'єзоелектричні датчики відносяться до генераторного типу.

Широко відомі п'єзоелектричні звукознімачі: голка звукознімача сприймає всі зміни глибини звукової доріжки і передає їх на п'єзокристал. Вихідна напруга з п'єзокристалу посилюється, і через динамік ми чуємо записані звуки. Поява зарядів на гранях залежно від стиснення називається прямим п'єзоефектом. Існує і зворотний п'єзоефект: при подачі напруги на межі кристала змінюються його розміри (він стискається або розтискається). Зворотний п'єзоефект (поряд з магніострикційним) знайшов застосування в ультразвукових генераторах. А засновані на прямому п'єзоефекті п'єзоелектричні датчики використовуються в автоматичній для вимірювання тиску, вібрацій, прискорень, інших параметрів швидкоплинних процесів.

Розглянемо появу зарядів на гранях кристала кварцу, у якого п'єзоелектричний ефект досить сильно виражений.

Під дією сили F_p уздовж електричної осі, що проходить через ребра призми на кожній з граней паралелепіпеда, з'являються електричні заряди. Величина зарядів визначається силою F_p . Сила стиснення призводить до появи зарядів на тих же гранях і того ж знаку, що і сила розтягування.

Заряди, що з'являються на гранях п'єзоелемента під дією сил електричні зникають, як тільки припиняється дія сили. Крім того, навіть якщо сила прикладена постійно, заряди стікають через повітря або ізоляцію. Тому п'єзоелектричні датчики використовують лише для вимірювання динамічних процесів, коли під дією змінних сил заряди на гранях весь час поповнюються. У п'єзоелектричних датчиках отримали застосування крім кварцу, сегнетова сіль і титанат барію.

Властивості кристалів цих матеріалів, що мають значення для виготовлення п'єзо-датчиків, наведені в табл. 1.

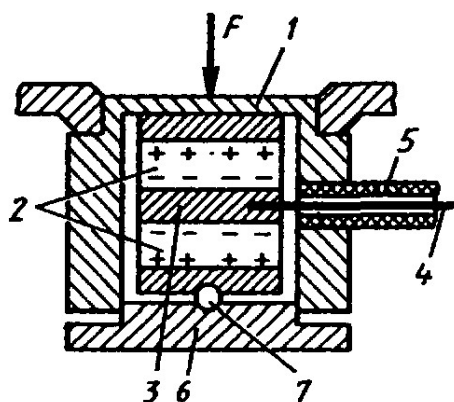
Головна перевага кварцу - низька вартість, адже кварц - один з найпоширеніших мінералів, його склад (SiO_2) той же, що і у звичайного піску. Кварц

також має велику механічну міцність, хороші ізоляційні властивості, незначну залежність параметрів від температури.

Найбільш яскраво п'єзоелектричний ефект виражений в кристалах сегнетової солі: при одній і тій же силі з'являється в тисячу разів більша кількість електрики, ніж у кварцу. Однак ці заряди досить швидко стікають через малий питомий опір. Властивості сегнетової солі змінюються залежно від температури і вологості. Тому п'єзоелементи з сегнетової солі застосовуються для вимірювання швидкозмінних сил і тисків при малій вологості і неширокому діапазоні зміни температури навколишнього середовища.

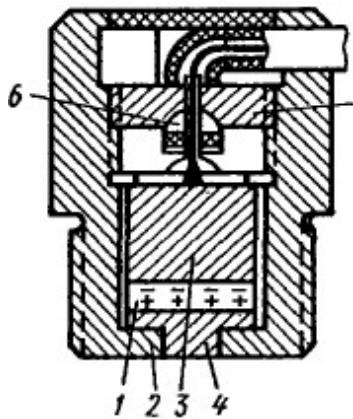
Титанат барію має і велике значення п'єзоелектричного модуля (на два порядки вище, ніж у кварцу), і високу механічну міцність, і незалежність параметрів від зміни вологості. Його недолік - старіння, з часом він втрачає свої властивості (приблизно на 10 % за рік).

П'єзоелектричні датчики застосовуються для вимірювання тиску, сили, прискорення. На рис. 2 показано будову п'єзоелектричного датчика тиску з двома кварцовими пластинами. Вимірюваний тиск діє на мембрану 1, що представляє собою дно корпусу датчика. Кварцові пластини 2 затиснуті між металевими прокладками 3. Середня прокладка 3 з'єднана з виводом 4, що проходить через екрановану втулку 5 з ізоляційного матеріалу. Кришка 6 з'єднується з корпусом і через кульку 7 передає тиск пластин, завдяки чому вимірюваний тиск розподіляється по поверхні кварцових пластин більш рівномірно. Кварцові пластини зазвичай розташовані таким чином, що у вимірювальну схему подається негативний потенціал. Позитивний потенціал подається на корпус датчика. Для зменшення витоку зарядів необхідна дуже якісна ізоляція. З цієї ж метою поверхню кварцових пластин ретельно полірують. Використання двох (а іноді і більше) пластин підвищує вихідну ЕРС, оскільки вихідні сигнали пластин додаються.



П'єзоелектричний датчик тиску

На рис. 7.3 показаний п'єзоелектричний датчик прискорення, що використовується у вібровимірювальній апаратурі. П'єзоелемент 1 з титанату барію розташований у корпусі приладу 2 між інерційною масою 3 та підп'ятником 4. Для збільшення сили, що діє на п'єзоелемент при прискореннях, інерційна маса має відносно великі розміри та виготовлена з вольфраму. Пакет з інерційної маси 3, п'єзоелементу 1 та підп'ятника 4 притиснутий до основи корпусу гайкою 5 через сферичну п'яту 6, прокладку ізоляційну, пружинну шайбу та контактну пластину. Виведення сигналу виконано за допомогою спеціального антивібраційного кабелю. Датчик вимірює прискорення від 0,2 до 200 g. Коефіцієнт перетворення близько 8 мВ на 1g. Мінімальна частота віброприскорення 5 Гц.



П'єзоелектричний датчик прискорення

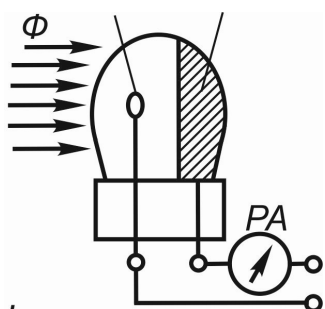
При вимірі високочастотних (швидкозмінних) ударних навантажень і прискорень п'єзоелектричні датчики мають незаперечні переваги перед датчиками інших типів.

8. Фотоелектричні датчики

У сільськогосподарському виробництві оптичні (світлові) датчики використовуються у пристроях для сортування продукції за кольором (помідорів, яблук, смородини та ін.) та визначення якості за просвічуванням (зерна, яєць), для контролю руху насіння у висівних машинах і регуляторах освітленості та інтенсивності опромінення у теплицях, у тваринництві та птахівництві, у пристроях для керування вуличним освітленням, у вимірювачах задимленості повітря та

мутності води, газоаналізаторах, у пристроях для контролю полум'я у пальниках, а також у різних захисних пристроях та ін. Оптичні датчики являють собою фотоелементи, що реагують на зміну світлового потоку. Відомо, що світлова енергія діючи на деякі матеріали надає їм електронам деякої енергії, достатньої для того, щоб частина електронів виявилась вільною. Залежно від поведінки електронів, які звільнилися під дією світлового потоку, розрізняють три типи фотоелементів:

- із зовнішнім фотоелементом (вакуумні або газонаповнені);

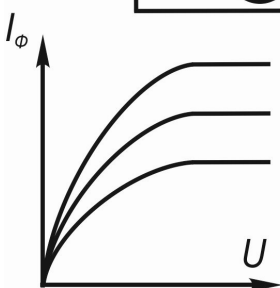


- із шаром, що запирається (вентильні);

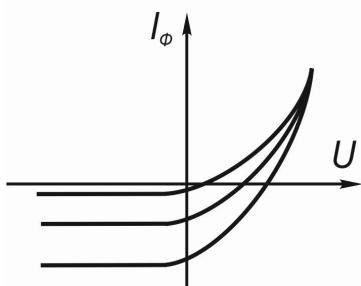
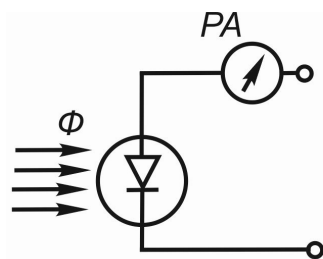
- із внутрішнім фотоелементом (фотоопори).

Фотоелементи із зовнішнім фотоелементом являють

собою вакуумну або газонаповнену (аргон під тиском – 10^4 Па, для підсилення фотоструму за рахунок іонізації газу) лампу, анод якої виготовлений у вигляді кільця або пластини, а катод утворений світлочутливим шаром (цезій або сплав сурми із цезієм) нанесеним на внутрішню поверхню колби. Під дією світла, що падає на катод, він випромінює електрони, які при наявності електричного поля переміщуються до анода, створюючи струм у середині фотоелементу.

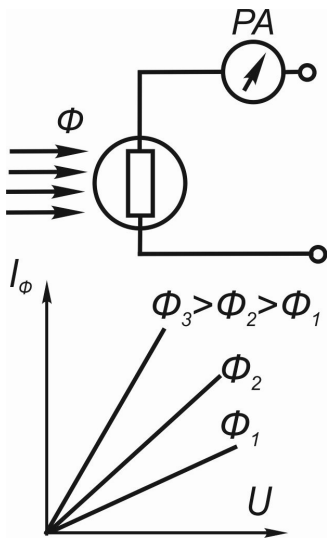


Вакуумні фотоелементи працюють у режимі насичення, коли значення фотоструму не залежить від значення прикладеної напруги, а залежить тільки від світлового потоку. Інтегральна чутливість вакуумних фотоелементів $K = dI_\phi / d\Phi$ складає 80...100 мкА/лм.



У фотоелементів із шаром що запирається вільні

електрони, змінюють під дією світлового потоку, свій енергетичний стан, лишаючись при цьому у речовині. Найбільш розповсюджені германієві або кремнієві фотодіоди, фототриоди та фототиристри. Під дією світлового потоку у напівпровідниках утворюються пари електрон - дірка, які під впливом електричного поля збільшують струм, що протікає через р-п переходи.



У фоторезисторів сила струму, що протікає через них, залежить від освітленості світлочутливої поверхні фоторезистора. Фоторезистор являє собою основу із ізоляційного матеріалу на яку нанесено шар світлочутливого матеріалу (селену або сірчистих талія, вісмуту чи свинцю). Фоторезистори мають світлочутливість $500 \dots 6000 \text{ мкА/В} \cdot \text{лм}$.

Фотодатчики найчастіше використовують у складі фотоелектричних реле для керування освітленням, у захисних пристроях, у вимірювачах задимленості, в пристроях для сортування за кольором (помідорів, яблук), визначення якості на просвіт (зерна, яєць).

Контрольні запитання

1. Які типи давачів називають параметричними?
2. Які типи давачів називають генераторними?
3. Назвіть типи параметричних давачів.
4. Поясніть роботу потенціометричного давача на прикладі електричного термометра.
5. Що таке тензорезистор?
6. Який ефект покладений в основу тензоперетворювача?
7. Що таке електричні термометри опору?
8. Дайте приклади використання термометра опору.
9. Який ефект покладений в основу магнітоомічних перетворювачів або магніторезисторів?
10. Поясніть принцип дії магніторезисторів.
11. Що таке фоторезистор? Який ефект покладений в основу роботи фотодавачів?
12. Поясніть принцип дії давача з перетворенням індуктивного типу.
13. Дайте приклад давача рівня з диференціальним трансформатором.
14. Поясніть принцип дії безконтактних кінцевих вимикачів.
15. Що таке ємнісний давач?
16. Що таке контактний давач?
17. Дайте приклади генераторних давачів.
18. Поясніть принцип дії термопар.
19. Яке явище покладено в основу роботи тахогенераторів?
20. Назвіть типи механічних давачів швидкості.
21. Основні переваги та недоліки тахометрів постійного струму.
22. Основні переваги та недоліки тахометрів змінного струму.
23. Що таке давач Холла та де він використовується?

9. Датчики вологості

Існують прямі та непрямі методи виміру вологості твердих та сипучих тіл, газів та інших середовищ. При прямому методі, речовину вологість якої визначають, розділяють на власне речовину та вологу, визначають їх маси і вираховують вологість за формулою:

$$V = M / (M_0 + M) \cdot 100\%,$$

де M - маса води, M_0 - маса сухої речовини.

На практиці цей метод використовують як еталонний. У системах автоматики використовують непрямі методи вимірювань, при яких про вологість матеріалу судять за якою не будь фізичною величиною, що зв'язана із вологістю. Широкого застосування отримали електричні методи: кондуктометричний – при якому про вологість судять за результатами виміру електричної провідності матеріалу, діелькометричний – при якому про вологість судять за результатами виміру його діелектричної проникності та гігрометричний – при якому про вологість середовища судять за змінами електричних або механічних характеристик, гігроскопічної речовини, яку розміщують у середовище вологість якого вимірюється.

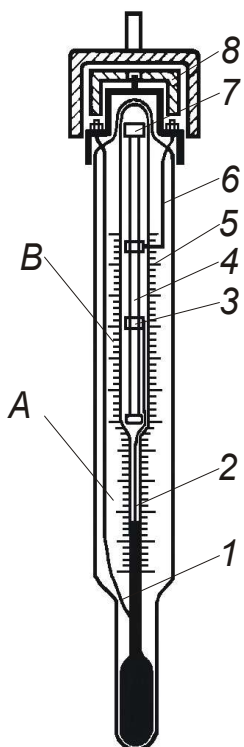
За конструкціями кондуктометричні та діелькометричні датчики є циліндричними або плоскими конденсаторами, між електродами якого розміщують матеріал, вологість якого вимірюють.

Гігрометричні датчики застосовуються для визначення вологості повітря та газів. Сприймаючим елементом у них служить знежирена людська волосинка або плівка товщиною 5...30 мк, яку виготовляють із оболонки кишок великої рогатої худоби. Волосся подовжується на 2...2,5% а тваринна плівка – на 4...5% при зміні відносної вологості повітря від 0 до 100%. Подовження передається системою важелів на стрілку приладів, яка відхиляється пропорційно до вологості.

Для вимірювання вологості повітря та газів застосовують і напівпровідникові гігристи. Вони являють собою тонку плівку із напівпровідникового матеріалу, опір якого різко зменшується при збільшенні вологості. Але велика інерційність, наявність гістерезису та вплив температури навколишнього середовища на точність вимірювань обмежують використання гігристів.

10. Датчики температури

У датчиках для вимірювання температур різних тіл або середовищ використовують властивості речовин та матеріалів, що змінюються залежно від температури. Це може бути зміна лінійних розмірів або об'єму, електропровідності, термоелектрорушійної сили, магнітних властивостей і т. п. Широке застосування у системах автоматики знаходять контактні термометри, біметалеві, інварні та магнітні датчики, термометри опору, напівпровідникові термоопори, термопари, терморезистори.

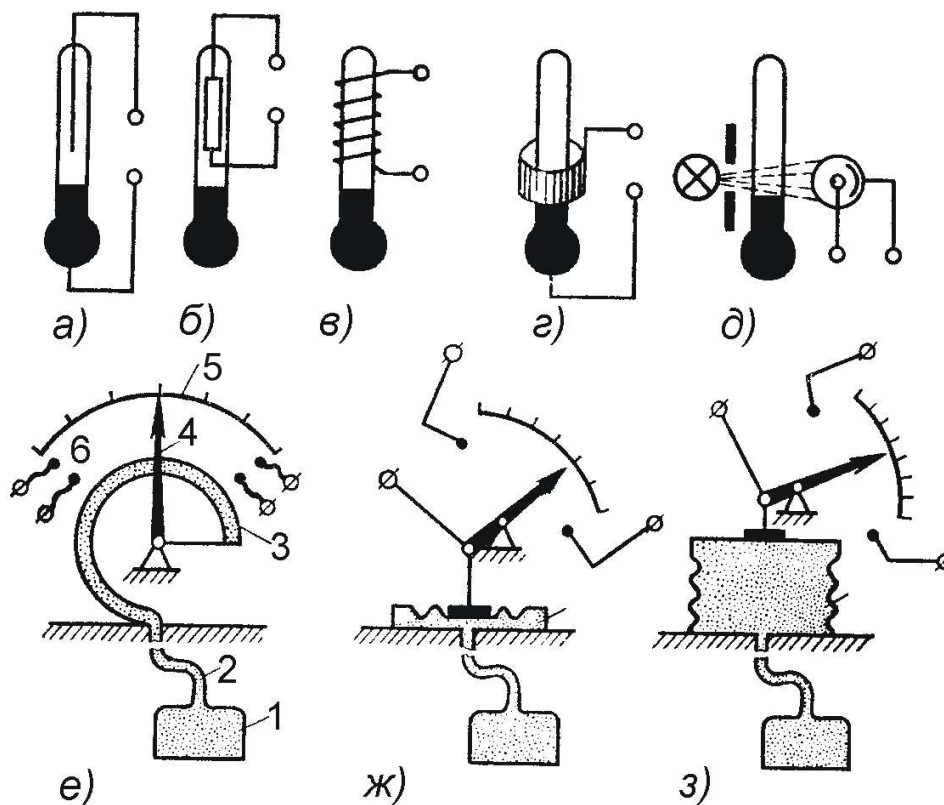


Мал. 3.1 - Контактний термометр

Контактні термометри - працюють на принципі теплового розширення рідин та газів. Рідинний (ртутний) датчик (див. мал. 3.1) являє собою скляну трубку 5, всередині якої розміщена скляна ампула із капіляром, де знаходиться ртуть. В ампулі розміщено два контакти: один впаяний знизу 1 і з'єднаний із стовпиком ртуті, а другий 2 (рухомий) розміщений зверху і може переміщатись у капілярі за допомогою магнітної головки 8 що розміщена над термометром. При провертанні магнітної головки 8, починає провертатись стальне осердя 7 та ходовий гвинт 4, по якому переміщується муфта 3, що з'єднана з рухомим контактом 2. Про положення рухомого контакту на вимірювальній шкалі А судять за положенням муфти 3 на допоміжній шкалі В. Оскільки висота стовпчика ртуті залежить від температури середовища, то кожному положенню рухомого контакту відповідатиме певне значення температури при якій спрацьовуватиме датчик. Таким чином, контактний термометр – датчик двохпозиційної дії, вхідною величиною якого є температура, а вихідною – висота рідини у капілярі. Межі регулювання температури від -30 до $+100$ °С (та вище). У схемах автоматики такі термометри застосовуються із проміжними реле, тому що потужність контактів не перевищує 2 Вт при струмі 0,2 А. Окрім розглянутої конструкції застосовують термометри, де зміну висоти стовпця рідини використовують для зміни опору резистора, який впаяний у капіляр

(мал. 3.2 б), індуктивності котушки (мал. 3.2, в), ємності (мал. 3.2 г), інтенсивності світлового потоку (мал. 3.2 д).

Манометричні датчики використовують залежність тиску газу або насиченої пари низько кипучої рідини, що знаходиться у замкнутій системі, від температури. Замкнута система (мал. 3.2е, ж, з) складається із балону 1, який занурюють у середовище, температуру якого треба виміряти, з'єднувального капіляра 2 та манометра 3, що зв'язаний системою важелів із стрілкою 4 вимірною шкали 5. Зміна температури у цих датчиках фіксується за рахунок переміщення манометричних пружин (е), мембран (ж), сильфонів (з). При досягненні граничних значень температури стрілка викликає спрацювання контактної системи 6, у результаті чого виникає керуючий сигнал. Датчики манометричного типу дозволяють вести візуальний контроль температури, причому шкала датчика може бути віддаленою на значну відстань від контрольованого об'єкта (довжина капіляра до 40 м). Рідинні



Мал. 3.2 - Датчики температури: а, б, в, г, д – рідинні;
е, ж, з – манометричні

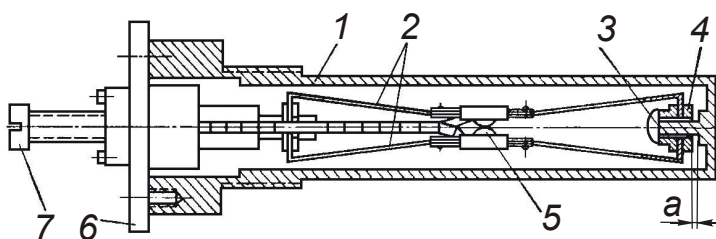
манометричні датчики заповнюють ртуттю, ацетоном, ефіром, спиртом та їх сполуками, а газові - азотом та інертними газами.

Похибка вимірювань манометричних датчиків становить 1...2,5%, а межі вимірювань обмежуються температурами якісної зміни фізичних властивостей робочого тіла (наприклад, температури замерзання та кипіння робочої рідини). До

недоліків цих датчиків слід віднести значну інерційність та підвищену чутливість до вібрації та поштовхів, які можуть викликати спрацювання контактів. У схемах автоматики манометричні датчики застосовують без проміжних реле, оскільки потужність їх контактів достатня для керування магнітними пускачами виконавчих механізмів.

У магнітних датчиках температури (як правило, це релейні сигналізатори про настання певної заданої температури у контрольованому середовищі) чутливим елементом є постійний магніт, що втрачає свої магнітні властивості при настанні певної температури. У таких термосигналізаторах контакти у нормальному стані утримуються під дією магнітного поля постійного магніту. При зростанні температури вимірюваного середовища й досягненні нею певної величини магнітне поле постійного магніту настільки слабшає, що контакти термосигналізатора під дією пружин перемикаються. Промисловість випускає магнітні термосигналізатори типу ТРМ11-01 на температуру $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ та вище.

В інварних датчиках температури (як правило, це також релейні сигналізатори про настання певної заданої температури у контрольованому середовищі) чутливий елемент (див. мал. 3.3) складається із латунної трубки 1 та інварних пружин 2. Інвар - це спеціальний сплав із практично рівним нулю коефіцієнтом теплового розширення, внаслідок чого тіла, виготовлені із такого сплаву, при нагріванні практично не розширюються. Внаслідок різниці коефіцієнтів лінійного розширення латуні та інвару, латунна трубка разом із зв'язаною з нею віссю 3 при нагріванні переміщатиметься відносно інварних пружин 2. Виставляючи зазор a , можна відрегулювати терморегулятор на певну температуру спрацювання. При нагріванні, коли цей зазор буде перекритим за рахунок переміщення в осьовому напрямі торця трубки 1 та осі 3, почне переміщатися замок 4, що призведе до розтягу інварних пружин 2 та розмикання контактів 5. При зниженні температури довжина трубки 1 зменшується і контакти 5 знову замикаються. Обертаючи гвинт 7, що встановлений



Мал. 3 - Терморегулятор інварний типу ТР-200

у головці 6 терморегулятора, можна задавати значення температури його спрацювання (від $+25$ до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$). Контакти терморегулятора допускають навантаження до 100 Вт

при напрузі 200 В.

У біметалевих датчиках чутливим елементом є спай двох стрічок металів із різними температурними коефіцієнтами розширення. При нагріванні вимірювальний елемент деформується (прогинається), причому величина деформації пропорційна температурі. Спаяні пластини прогинаються у сторону металу з меншим температурним коефіцієнтом розширення. На мал. 3.4а приведено датчик, у якого деформація біметалевої пластини 1 використовується для звільнення пружини 2, що забезпечує швидке спрацювання контактів 3. Діапазон робочих температур біметалевих датчиків достатньо великий: від -60 до $+350$ °С. Чутливість їх, звичайно, становить ± 1 °С, але може бути і вищою.

У термометрах опору використовують властивість металічних провідників змінювати свій електричний опір при зміні температури. На практиці використовують платинові термометри опору типу ТСП із номінальним опором 10, 46 та 100 Ом для вимірювання температур від -200 до $+650$ °С, та мідні типу ТСМ на номінальний опір 53 та 100 Ом для вимірювання температур від -50 до $+80$ °С. У цих термометрах (мал. 3.4б) провід 1, що виготовлений із міді або платини, намотаний на ізоляційний каркас 2 та закритий кожухом 3. Виводи 5 закріплені в ізоляційній колодці 4.

Залежність опору проводу термометра від температури навколишнього середовища:

$$R = R_0 [1 - \alpha(\theta - \theta_0)],$$

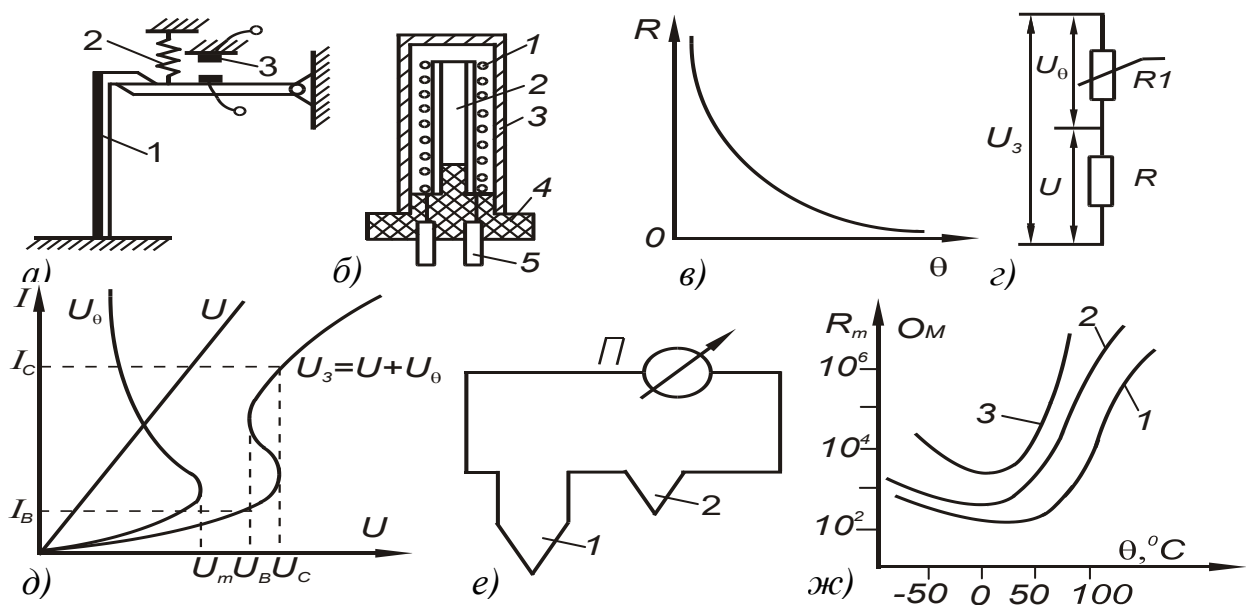
де R_0 - опір, що відповідає температурі θ_0 ; R - опір проводу, що відповідає вимірюваній температурі θ ; α - температурний коефіцієнт опору (для міді $\alpha = 0,00433$, для платини $\alpha = 0,00394 \dots 0,0056$ Ом/град).

Чутливість (Ом/град) термометра опору:

$$S = dR_0 / d\theta = R_0 \alpha.$$

Термометри опору - одні з найточніших вимірювачів температури (вони дозволяють виміряти температуру з точністю до 0,001 °С). Оскільки інтенсивність витрати теплоти залежить від багатьох факторів (розмір та форма провідника та арматури, до якої кріпиться провідник, склад, густина, теплопровідність навколишнього середовища, швидкість переміщення та ін.), термометри опору можуть застосовуватись і для вимірювання інших величин - швидкості, густини та складу газового або рідинного середовища. Основний їх недолік - порівняно великі розміри, що обмежує їх застосування при вимірюванні температури у малих об'ємах.

Напівпровідникові термоопори (термістори), температурний коефіцієнт яких у 8...10 разів більший, ніж у металів, знайшли широке застосування в автоматичних



Мал. 3.4 - Датчики температури: а) біметалевий; б) термометр опору; в) характеристика термістора; г) схема вмикання термістора; д) вольт-амперні характеристики термістора; е) схема вмикання термопар; ж) температурні характеристики позисторів при одній напрузі: 1 – позистора СТ6-1А; 2 – позистора СТ6-1Б; 3 – позистора СТ6-3Б

системах керування температурою. Залежно від матеріалу, із якого вони виготовлені, термістори поділяються на мідно-марганцеві (ММТ) та кобальто-марганцеві (КМТ). Діапазон вимірюваних та контрольованих температур складає від -70 до +180 °С. Конструктивно вони виготовляються у вигляді кульки, трубки, або диска з металевими виводами.

Залежність опору термістора від температури (мал. 3.4,в) описується рівнянням:

$$R = R_{\infty} e^{\frac{B}{\theta}},$$

де R - опір при вимірюваній температурі, Ом; θ - температура $^{\circ}\text{K}$; R_{∞} та B - постійні для даного термістора коефіцієнти.

Значення коефіцієнтів R_{∞} та B рівні:

$$B = \frac{\theta_1 \theta_2}{\theta_2 - \theta_1} \ln \frac{R_1}{R_2}; \quad R_{\infty} = R_1 e^{-\frac{B}{\theta_1}},$$

де R_1 та R_2 - опір термістора при температурах θ_1 та θ_2 , відповідно.

Чутливість (Ом/град) напівпровідникового термістора:

$$S = dR/d\theta = R_0 \alpha.$$

Величину α називають температурним коефіцієнтом термістора:

$$\alpha = -B/\theta^2.$$

Значення опору термістора і його коефіцієнта досить великі, що забезпечує високу точність вимірювання невеликих відхилень температури.

Характерною особливістю термісторів є можливість отримати релейний ефект у колі (мал. 3.4 г), куди вони під'єднані. Якщо через термістори пропускати струм, то при його зростанні напруга U_{θ} на термісторі RI росте спочатку пропорційно струму, а потім починає спадати внаслідок зменшення опору, що викликається нагріванням термістора струмом. Подальше збільшення напруги у колі термістора, яке не обмежене іншим опором (провідниковим), до значення U_m супроводжується стрибкоподібним необмеженим зростанням струму і викликає псування термістора (мал. 3.4д). Для того, щоб обмежити струм, у коло термістора вмикають опір R із прямолінійною вольт-амперною характеристикою. Загальна вольт-амперна характеристика U_3 визначатиметься як сума характеристик U_{θ} та U і у колі виникатиме релейний ефект. При нарузі U_C (напруга спрацювання) струм стрибкоподібно зростатиме до значення I_C , при зниженні напруги до U_B (напруги повернення) струм стрибкоподібно зменшиться до значення I_B . Характеристики термісторів відносно стабільні. За механічною міцністю та вібростійкістю термістори не відрізняються від радіотехнічних опорів. Строк їх служби за нормальних умов експлуатації практично необмежений. Максимально можлива потужність розсіювання термісторів знаходиться у межах від 5 до 800 мВт. Значний опір термісторів дозволяє нехтувати опором з'єднувальних проводів, контактів та контактними е. р. с., що дозволяє вимірювати температуру на великих відстанях. Теплова інерційність термісторів приблизно рівна інерційності звичайного ртутного

термометра, а для деяких типів термісторів у десятки разів менша, що дозволяє використовувати їх при регулюванні температури мало інерційних об'єктів. Термістори можуть мати опір, відмінний від номінального до $\pm 20\%$, що утруднює їх взаємозамінність.

Позистори мають великий позитивний температурний коефіцієнт опору, що сягає 80% на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, у вузькому діапазоні температур. Їх виготовляють із титанату барію зі спеціально підібраними домішками, що надають їм властивостей напівпровідника, у якого опір сильно залежний від температури. Температурний коефіцієнт позисторів у $3\dots 4$ рази більший ніж у термісторів. Опір позисторів значною мірою залежить від прикладеної до них напруги (мал. 4 ж). Промисловість випускає позистори марки СТ (від СТ-5 до СТ-15) різних модифікацій. Позистори вмонтовуються в обмотки електродвигунів для контролю їх температури.

Термопари - являють собою різновид термоелектричних перетворювачів генераторного типу, що працюють на термоелектричному ефекті. Якщо спаяти два різних провідники зі спеціально підібраних металів і спай 1 (мал. 3.4 е) нагріти, то на вільних (холодних) кінцях провідників з'явиться термо-е. р. с., яка виникає тому, що енергія вільних електронів у різних металах збільшується із зростанням температури неоднаково. Наявність перепаду температури вздовж провідника призводить до того, що енергія та швидкість електронів у кінці провідника з більш високою температурою будуть більшими і електрони почнуть рухатися від гарячого кінця до холодного. Величина термо-е. р. с. E пропорційна різниці температур нагрітого θ_T і вільного θ_X кінців і залежить від матеріалу проводу: $E = \alpha(\theta_T - \theta_X)$.

При вимірюванні температури вільним кінцям забезпечують постійну температуру, для чого їх подовжують шляхом підбору проводів 2, що мають таку ж термо-е. р. с. і називаються компенсаційними. На практиці використовуються термопари хромель-копелеві (ХК) із межами зміни температури до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, хромель-алюмелеві (ХА) - до $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, мідно-константанові (М) - до $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, залізно-константанові (Ж) - до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ та інші.