

Лекція 1. Загальні відомості про вимірювання неелектричних величин.

1.1. Основні поняття та призначення вимірювальних перетворювачів

Для безперервного контролю за протіканням технологічних процесів, режимом роботи різних машин і пристроїв, використовують вимірювальні перетворювачі-датчики.

Вимірювальний перетворювач ВП (або перетворювач) – засіб вимірювань, призначений для виробітку сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення і обробки. Стандартом передбачені ще два терміни: первинний вимірювальний перетворювач (або первинний перетворювач) і передавальний вимірювальний перетворювач (передавальний перетворювач). Первинним вимірювальним перетворювачем називається перетворювач, до якого підведена вимірювана величина (зокрема технологічний параметр). Крім терміна „первинний вимірювальний перетворювач”, використовується термін „датчик”. Передавальний вимірювальний перетворювач призначений для дистанційної передачі сигналу вимірювальної інформації. Надалі ми розглядатимемо тільки первинні перетворювачі. Первинні перетворювачі перебувають в особливо складних умовах експлуатації. Вони розміщуються на об'єкті контролю, часто піддаються дії великих перепадів температури, тисків, агресивним діям контрольованих середовищ. Вимірювальний первинний перетворювач сприймає поточне значення контрольованого

технічного параметра і перетворює його в електричний сигнал, зручний для введення в систему автоматичного регулювання. Контрольована величина (технологічний параметр), що ним сприймається, є вхідною величиною. До них належать, наприклад, температура, тиск, кут повороту вала, швидкість переміщення об'єкта, сила та ін. Сигнал вимірювальної інформації є його вихідною величиною.

За структурою вимірювальний перетворювач (датчик) складається з чутливого елемента й одного або декількох послідовно з'єднаних елементарних перетворювачів. Дуже часто чутливий елемент перетворює технологічний параметр в аналоговий електричний сигнал, а наступний перетворювач перетворює цей аналоговий сигнал у цифровий код. У деяких випадках у датчиках використовуються більш складні перетворення. Наприклад, чутливий елемент перетворить контрольовану величину в механічне переміщення, що у наступних перетворювачах перетвориться в електричний сигнал.

При автоматизації технологічних процесів датчики відіграють велику роль, тому що вони представляють інформацію про протікання технологічного процесу.

1.2. Класифікація вимірювальних перетворювачів

Дотепер науково обґрунтованої класифікації ВП ще не встановлено. Тому кожен автор пропонує свою класифікацію за ознаками, що відбивають ті або інші характеристики ВП. Залежно від

принципу дії, датчики можна розділити на дві групи – параметричні й генераторні.

Датчики параметричної групи характеризуються тим, що контрольована величина перетворюється ними в параметр електричного ланцюга: опір, індуктивність, ємність та ін.

Генераторні датчики характеризуються тим, що в них здійснюється безпосереднє перетворення різних видів енергії, що характеризують контрольований параметр, в електричну.

До числа параметричних датчиків зазвичай відносять:

1. Контактні датчики, що замикають або розмикають електричний ланцюг під впливом контрольованої величини.

2. Реостатні датчики, що використовують залежність опору реостата від положення його движка, яке може змінюватися під дією контрольованого параметра.

3. Тензометричні датчики, що використовують явище зміни опору провідника при його розтяганні або стиску (тобто при деформаціях чутливого елемента датчика).

4. Датчики контактного опору, у яких використовується залежність контактного опору між поверхнями двох твердих тіл від тиску одного тіла на інше.

5. Датчик термоопору, в основі дії якого лежить властивість провідника змінювати свій опір залежно від температури.

6. Електролітичні датчики опору, що використовують залежність опору розчину електроліту від концентрації.

7. Датчики фотоопору, що використовують явище зміни опору напівпровідника залежно від освітлення.

8. Ємнісні датчики, дію яких засновано на залежності електричної ємності конденсатора від впливу технологічного параметра.

9. Індуктивні датчики, що використовують залежність між індуктивністю котушки, довжиною і площею перетину її осердя, довжиною немагнітних зазорів і взаємним розташуванням частин магнітопроводу і обмоток котушки.

10. Магнітопружні датчики, що використовують залежність індуктивності котушки від механічної напруги феромагнітного осердя котушки.

До числа генераторних датчиків відносять:

1. Індукційні датчики, у яких використовується явище електромагнітної індукції.

2. Термоелектричні датчики, що використовують термоелектричний ефект, який проявляється у виникненні термо-ЕРС у ланцюзі, що складається із двох різнорідних провідників.

3. Фотоелектричні датчики, засновані на залежності фото-ЕРС від освітленості.

4. П'єзоелектричні датчики, що використовують п'єзоелектричний ефект, який проявляється у виникненні ЕРС у деяких кристалічних речовинах (п'єзоелектриках) під дією прикладених до кристалів пружно деформуючих сил.

5. Датчики Холла, що використовують ефект виникнення ЕРС у напівпровіднику, через який іде струм, при впливі магнітного поля.

При створенні датчиків використовуються найрізноманітніші фізичні явища. Цим пояснюється велика кількість типів датчиків.

Датчики можна класифікувати по виду їхніх вхідних величин. Наприклад, датчики лінійних і кутових переміщень, датчики температури, датчики тиску, датчики сили, датчики швидкості переміщення, датчики рівня, датчики витрат та ін.

Вихідним параметром датчиків, що перетворюють контрольовані технологічні параметри (неелектричні величини) в електричні, може бути: омичний опір, індуктивність, ємність, величина постійної напруги або струму, амплітуда, частота, фаза змінної напруги, інтервал часу і тощо.

1.3. Похибки вимірювань

Похибка вимірювання – це відхилення результату вимірювання x від істинного (справжнього) значення X вимірюваної величини.

Абсолютна похибка вимірювання Δ дорівнює

$$\Delta = x - X$$

і одиницею абсолютної похибки є одиниця вимірюваної величини.

Відносна похибка вимірювання δ дорівнює відношенню абсолютної похибки до істинного значення вимірюваної величини

$$\delta = \frac{\Delta}{X}$$

або

$$\delta \approx \frac{\Delta}{x}$$

оскільки істинне значення X залишається невідомим.

Відносну похибку виражають у відсотках

$$\delta\% = \delta \cdot 100,$$

або залишають у відносних одиницях.

Абсолютна похибка є не зручною для порівняння якості вимірювання різних значень однієї величини або різних вимірюваних величин.

В залежності від місця виникнення похибки вимірювання можуть бути: методичні, інструментальні, особисті та похибки від впливу завад на вимірювальне коло.

Методична похибка – це похибка вимірювання яка пов'язана з невідповідними моделями вимірюваних об'єктів та методу вимірювання, від впливу вимірювальної апаратури на результати вимірювання та від спрощення деяких розрахункових формул.

Інструментальна похибка обумовлена конструктивними або технологічними недоробками вимірювальної апаратури.

Особиста похибка виникає при вимірюванні аналоговим приладом, коли різні за кваліфікацією виконавці вимірювань по різному заокруглюють покази вимірювань.

Похибки від впливу завад на вимірювальне коло виникають від паразитних зв'язків між колами та електричними об'єктами, а також від електромагнітних наведень.

Залежно від закономірності прояву похибки можуть мати дві складові: систематичну та випадкову похибки.

Систематичною називаються така складова похибки вимірювання яка зостається сталою або закономірно змінюється при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини.

Випадкова похибка – це складова похибки вимірювання, яка змінюється випадково при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж фізичної величини. Таким чином, випадкові похибки змінюються в часі нерегулярно, непередбачувано, а їх майбутні значення можна прогнозувати лише з певною часткою ймовірності.

Адитивна похибка – це складова частина абсолютної похибки, що не залежить від значення вимірюваної величини і вона додається до вимірюваної величини.

Таким чином результат вимірювання з урахуванням адитивної похибки Δ_a буде

$$x = X + \Delta_a$$

Адитивні похибки проявляються як зміщення шкали приладів з нульової позначки в аналогових приладах, а в цифрових приладах – як ненульовий показ при нульовому значенні вимірюваної величини.

Мультиплікативна похибка – це складова частина похибки, що прямо пропорційно залежить від значення вимірюваної величини. При нульовому значенні вимірюваної величини мультиплікативна похибка також має нульове значення.

Причинами появи мультиплікативної похибки може бути похибка еталонних величин, похибки коефіцієнтів перетворення вимірювальних перетворювачів, зокрема, подільників напруги, трансформаторів.

Результат вимірювання, що спотворений такою похибкою буде

$$x = X + \delta_s X$$

де δ_s – відносна мультиплікативна похибка

В деяких випадках всі перелічені складові похибок можуть одночасно спотворювати результат вимірювання, тобто

$$x = X + \delta_s X + \Delta_a$$

1.4. Одиниці фізичних величин в SI

Величина	Одиниця			Вираз через основні та додаткові одиниці
	Назва	Позначення		
		Міжнародне	Українське	
1	2	3	4	5
Основні одиниці				
Довжина	Метр	m	м	
Маса	Кілограм	kg	Кг	
Час	Секунда	s	С	
Сила електричного струму	Ампер	A	А	
Сила світла	Кандела	cd	кд	
Термодинамічна температура	Кельвін	K	К	

Кількість речовини	Моль	mol	моль	
Додаткові одиниці				
Плоский кут	Радіан	rad	рад	
Телесний кут	стерадіан	sr	Ср	
Похідні одиниці простору та часу				
Швидкість	Метр за секунду	m/s	м/с	$m \cdot c^{-1}$
Прискорення	Метр за секунду в квадраті	m/s^2	m/c^2	$m \cdot c^{-2}$
Кутова швидкість	Радіан за секунду	rad/s	рад/с	c^{-1}
Кутове прискорення	Радіан за секунду в квадраті	rad/s^2	$рад/с^2$	c^{-2}
Похідні одиниці теплових величин				
Температура Цельсія	градус Цельсія	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$t^{\circ}C = K - 273.15$
Теплопровідність	ват на метр-кельвін	$W/(m \cdot k)$	$Вт/(м \cdot к)$	$m \cdot kg \cdot c^{-3} \cdot k^{-1}$

Теплоємність	джоуль на	J/K	Дж/к	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{к}^{-1}$
Ентропія	кельвін			
Кількість теплоти	Джоуль	J	Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Тепловий потік	Ват	W	Вт	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Похідні одиниці періодичних явищ				
Період	Секунда	s	с	с
Частота періодичного процесу	Герц	Hz	Гц	с^{-1}
Частота обертання	секунда в мінус першому степені	с^{-1}	с^{-1}	с^{-1}
Похідні одиниці механічних величин				
Густина	кілограм на кубічний метр	kg/m^3	$\text{кг}/\text{м}^3$	$\text{м}^{-3} \cdot \text{кг}$
Сила Сила тяжіння	Ньютон	N	Н	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Момент інерції	кілограм- метр в квадраті	$\text{kg} \cdot \text{м}^2$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	$\text{м}^2 \cdot \text{кг}$

Момент сили	ньютон-метр	N·m	Н·м	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Імпульс сили	ньютон-секунда	N·с	Н·с	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$
Тиск Напруження	Паскаль	Pa	Па	$\text{м}^{-1} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Робота Енергія	Джоуль	J	Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Потужність	Ват	W	Вт	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Похідні одиниці електричних та магнітних величин				
Кількість електрики Електричний заряд	Кулон	C	Кл	A·с
електрична напруга, ЕРС	Вольт	V	В	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Електрична ємність	Фарад	F	Ф	$\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Електричний опір	Ом	Ω	Ом	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Напруженість магнітного поля	ампер на метр	A/m	А/м	$\text{А} \cdot \text{м}^{-1}$
Магніторушійна сила	Ампер	A	А	А

Магнітна індукція	Тесла	T	Тл	$\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{А}^{-1}$
Магнітний потік	Вебер	Wb	Вб	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{А}^{-1}$
Індуктивність Взаємна індуктивність	Генрі	H	Гн	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{А}^{-2}$
Магнітний опір	генрі в мінус першому степені	H^{-1}	Гн^{-1}	$\text{м}^{-2}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{с}^2\cdot\text{А}^2$
Магнітний опір	Сіменс	S	См	$\text{м}^{-2}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{с}^3\cdot\text{А}^2$
Електрична провідність	Сіменс	S	См	$\text{м}^{-2}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{с}^3\cdot\text{А}^2$
Похідні одиниці світових величин				
Енергія випромінювання	Джоуль	J	Дж	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}$
Потужність (потік) випромінювання	Ват	W	Вт	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-3}$
Енергетична сила світла	ват на стерадіан	W/sr	Вт/ср	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-3}$
Енергетична яскравість	ват на стерадіан-	$\text{W}/(\text{sr}\cdot\text{m}^2)$	$\text{Вт}/(\text{ср}\cdot\text{м}^2)$	$\text{кг}\cdot\text{с}^{-3}$

	квадратний метр			
Сітловий потік	люмен	lm	лм	кд·ср

Співвідношення деяких позасистемних одиниць з одиницями SI

Назва величини	Позасистемні одиниці	Співвідношення з одиницею SI
Довжина	Морська миля міжнародна	1852м
	Миля	1609,344м
	Дюйм	0,0254м
	Дюйм трубний	0,0338м
	Ярд=3фута=36 дюймам	0,9144м
	Фут= 12 дюймам	0,30480м
Об'єм місткість	Літр (дм ³)	1·10 ⁻³ м ³
	Барель нафтовий (США)	159,0 л
	Галон рідинний (США)=4квартам=8пінтам	3,785 л
	Кварта рідинна(США)	0,946 л
	Барель сухий, для сипучих(США)	115,6 л
	Галон сухий(США)	4,4 л
	Галон(Англій)=4квартам=8пінтам	4,546 л
Маса	Карат	0,2 г
	Унція	28,35 г
	Фунт торговий (Англія)	453,59 г

	Трійська унція=аптекарьській унції	31,1035 г
	Центнер	100 кг
Швидкість	Морська миля за годину (вузол)	1,852 км/год
	Миля за годину	1,6093 км/год

1.5. Контрольні запитання

1. Які основні призначення первинних вимірювальних перетворювачів?
2. Які похибки мають місце при вимірюваннях?
3. Чим відрізняються адитивна та мультиплікативна похибки?
4. Які причини виникнення систематичних похибок?
5. Чим відрізняються систематичні та випадкові похибки?