**Розділ 2.** **ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕТВОРЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ПРИЛАДІВ**

## 2.1. Загальні положення та визначення

Сучасні засоби вимірювання складаються з вимірювальних перетворювачів, певним чином пов'язаних між собою (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Функціональна схема засобу вимірювання

Первинна інформація *xвх* надходить на вхід первинного вимірювального перетворювача (ПВП), який функціонально пов'язаний з проміжними вимірювальними перетворювачами (ПрВП1, ПрВП2, ..., ПрВП*N*) так, що вихідна величина  (рис. 2.1).

Поточне значення  може подаватися на відліковий (ВП) і реєструючий (РП) пристрої, на вхід системи автоматичного керування (САК) або на інші системи, в яких використовується інформація .

Вимірювальний перетворювач – це засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передавання, подальшого перетворення та зберігання, але такої, що не може безпосередньо сприйматися спостерігачем [39].

Для прикладу розглянемо найпростіший однокомпонентний вимірювач (акселерометр) лінійних прискорень *a* маятникового типу (рис. 2.2), функціональну схему якого зображено на рис. 2.3.

Якщо точка підвісу маятника рухатиметься з прискоренням *а,* то під дією сили інерції *Р=тa* маса маятника *т* відхилиться від вертикального положення на кут .

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
| Рис. 2.2. Акселерометр | Рис. 2.3. Функціональна схема акселерометра |

При цьому повзунок вихідного потенціометра переміститься і на виході буде напруга

 (2.1)

В даному вимірювачі лінійних прискорень первинним вимірювальним перетворювачем є маятник, який перетворює вимірюване прискорення *а у* кут нахилу маятника *.*

Таким чином, ПВП – це перетворювач, до якого підведено вимірювану величину, тобто перший перетворювач у вимірювальному колі. Вимірювальне коло – це сукупність вимірювальних перетворювачів, що забезпечують всі перетворення сигналу вимірювальної інформації.

Чутливий елемент – частина першого у вимірювальному колі перетворюючого елемента, яка перебуває під безпосереднім впливом вимірюваної величини.

У зазначеному прикладі чутливим елементом є маса маятника *m*, оскільки інерційні сили, що виникають при появі прискорення, насамперед діють на неї.

Потенціометричний перетворювач застосовується як проміжний вимірювальний перетворювач.

Проміжний вимірювальний перетворювач розміщений у вимірювальному колі після ПВП і призначається для дистанційного передавання вимірювальної інформації (наприклад, пристрій дистанційного передавання).

Масштабний вимірювальний перетворювач призначається для зміни вимірюваної величини (або проміжної інформації) у задане число разів (наприклад, подільник напруги, трансформатор, підсилювач тощо).

## 2.2. Основні вимоги, що ставляться до ПФВ

До вимірювальних перетворювачів ставляться такі основні вимоги:

– висока надійність на весь термін служби або на міжремонтний строк;

– достатня стабільність характеристик під час зберігання та експлуатації;

– відповідність діапазонів зміни вхідних і вихідних величин;

– допустима інерційність у перетворенні вимірювальної інформації;

– відсутність зворотного впливу вихідної величини на вхідну і мінімально допустимий вплив на роботу попередніх вимірювальних перетворювачів.

Стабільність характеристик у часі *t* визначається стабільністю залежності

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2) |

причому зміна вихідної величини

 (2.3)

де  – допустима зміна в часі вихідної величини.

У найпростішому випадку, якщо

 (2.4)

(*kx* – передаточний коефіцієнт), то стабільність перетворювача визначається співвідношенням



або

 (2.5)

 – допустима зміна передаточного коефіцієнта.

В умовах експлуатації перетворювачів

 (2.6)

де *t* – час; *P* – тиск навколишнього середовища; *Θ*° – його температура; *n* – перевантаження.

Тому в загальному випадку стабільність характеристики перетворювача визначається стабільністю залежності



або

 (2.7)

Відповідність діапазонів зміни вхідної та вихідної величин визначається за формулами

 (2.8)

Допустима інерційність визначається сталими часу перехідної функції перетворювача. Наприклад, якщо динаміка перетворювача описується рівнянням виду

 (2.9)

то інерційність перетворення сигналу визначається сталою часу *Т* перетворювача.

У такому разі допустима інерційність



Для випадку, коли рівняння динаміки вищого порядку зі сталими часу , допустима інерційність визначається наведеними далі нерівностями, які повинні виконуватися:



Запізнювання у перетворювачі можна знайти із залежності (рис. 2.4):

 (2.10)



Рис. 2.4. До визначення поняття запізнювання

## 2.3. Класифікація ПФВ

Перетворювальні пристрої приладів, або вимірювальні перетворювачі, можна класифікувати за такими основними ознаками:

– фізичні величини, які підлягають перетворенню, вид вхідної та вихідної інформації як функцій часу;

– місце, що займає ПФВ у вимірювальному колі;

– наявність джерела енергії, що споживається перетворювачем;

– характер залежності вихідної величини від вхідної;

– властивість оборотності.

За фізичними величинами, що підлягають перетворенню, ПФВ, які становлять вимірювальну систему приладу, утворюють такі основні групи перетворювачів: електромеханічні, гідравлічні та пневматичні; частотні електромеханічні; перетворювачі аналогових величин у цифрові та цифрових у аналогові; оптоелектричні; магнітопружні тощо.

Електромеханічні перетворювачі можна поділити на перетворювачі механічних величин у електричні і перетворювачі електричних величин у механічні.

До перетворювачів механічних величин у електричні належать потенціометричні, тензометричні перетворювачі, перетворювачі контактного опору, ємнісні, індуктивні та трансформаторні, п'єзоелектричні та механотронні перетворювачі; до перетворювачів електричних величин у механічні – магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні та феродинамічні, індукційні перетворювачі, виконавчі двигуни постійного та змінного струму тощо.

За видом вхідної та вихідної інформації як функцій часу вимірювальні перетворювачі поділяють на перетворювачі неперервної величини в неперервну, неперервної величини в дискретну, дискретної величини в неперервну, дискретної величини в дискретну;

– за місцем у вимірювальному колі: первинні, проміжні, передавальні, масштабні;

– за наявністю джерела енергії, яку споживає перетворювач: параметричні, які функціонують лише зі стороннім (зовнішнім) джерелом живлення (наприклад, ємнісний, трансформаторний перетворювач тощо), генераторні перетворювачі, які функціонують без стороннього джерела енергії (наприклад, термопара, тахогенератор тощо):

– за характером залежності вихідної величини від вхідної: лінійні, в яких , де ; нелінійні, в яких , де  – нелінійна функція (наприклад,  або ).

– за властивістю оборотності: необоротні (потенціометричні, механотронні перетворювачі тощо) та оборотні (електромагнітні перетворювачі тощо).

## 2.4. Загальні рівняння ПФВ та їх основні характеристики

У загальному випадку процес перетворення інформації є динамічним і його можна описати відповідним диференціальним рівнянням, що характеризує залежність вихідної величини перетворювача від вхідної та їх похідних, а також від зовнішніх факторів, що впливають на роботу ПФВ, тобто

 (2.11)

де *F –* в загальному випадку нелінійна функція;  – похідні від вхідної величини за часом;  – збурюючі фактори, які впливають на роботу перетворювача;  – похідні від вхідної величини за часом.

Рівняння (2.11) – це один з різновидів математичної моделі вимірювального перетворювача.

Отже, рівнянням вимірювального перетворювача називатимемо математичні часові залежності вихідної величини від вхідної і від збурень, що впливають на процес перетворення.

У деяких випадках рівняння вимірювального перетворювача, що враховує динаміку процесу перетворення, можна подати у вигляді рівняння

 (2.12)

яке називають динамічним рівнянням, або динамічною моделлю, вимірювального перетворювача.

Рівняння усталеного режиму (математична модель в усталеному режимі), яке визначає залежність вихідної величини від вхідної в усталеному режимі (при *t*=∞) роботи перетворювача, можна отримати з рівняння (2.12), якщо



Тоді рівняння (2.12) набуває вигляду

 (2.13)

Останнє рівняння часто записують так:

 (2.14)

Якщо вплив зовнішніх факторів зведено до допустимого мінімуму, то рівняння (2.14) можна спростити:

 (2.15)

Рівняння виду (2.15) називають статичним рівнянням, градуювальною або статичною характеристикою. Статичне рівняння вимірювального перетворювача визначає залежність вихідної величини від вхідної в статичному режимі роботи.

Статичні характеристики бувають лінійні та нелінійні. Лінійною статична характеристика ПФВ є тоді, коли вихідний параметр лінійно залежить від вхідного. З рис. 2.5, а бачимо, що при

 (2.16)

виконується рівняння



де *kx* – коефіцієнт перетворення вимірювального перетворювача, або його чутливість.



Рис. 2.5. Статична характеристика ПФВ: *а –* лінійна; б – нелінійна

Чутливість характеризується кутом  нахилу лінійної характеристики:

.

У разі нелінійної статичної характеристики вимірювального перетворювача вихідна величина нелінійно залежить від вхідної (рис. 2.5, б), тобто



де  – нелінійна функція.

Отже, чутливість вимірювального перетворювача є функцією вхідної величини:



Наприклад, якщо (рис. 2.5, б)



То



У загальному випадку



тоді



Наприклад, на практиці чутливість існуючих вимірювальних перетворювачів



якщо змінюється будь-який з параметрів

.

Реальні вимірювальні перетворювачі мають поріг чутливості, який характеризується найменшим значенням вхідної величини , при якому на виході перетворювача з'являється вихідна величина (рис. 2.6).



Рис. 2.6. До визначення порогу чутливості

Очевидно, що наявність у характеристиці ПФВ порогу чутливості спричиниться до появи в процесі перетворення часового запізнювання *τ*. При цьому



Реальні вимірювальні перетворювачі мають свої діапазони перетворень, які характеризують область значень вхідної величини, для якої нормовані допустимі похибки вимірювального перетворювача:



Якщо



де Δ*y*вих.доп – допустимі значення похибок вихідної величини.

У разі симетричної статичної характеристики (див. рис. 2.1, а) діапазон перетворень



## 2.5. Загальні положення про похибки ПФВ

Розрізняють абсолютні похибки перетворювача за входом і за виходом.

Абсолютна похибка ПФВ за входом – це різниця між значенням  вхідної величини реального перетворювача (яке називають приладним) і істинним її значенням в усталеному режимі роботи:



При цьому приладне значення  обчислюють за відповідною статичною характеристикою перетворювача .

Абсолютна похибка ПФВ за виходом є різницею (рис. 2.7) між значенням вихідної величини реального перетворювача  в усталеному режимі його роботи (при *t*=∞) і її істинним значенням за відсутності похибок вхідної величини ():



Динамічна похибка вимірювального перетворювача – це різниця між значенням вихідної величини  в перехідному режимі і її значенням  в усталеному режимі (рис. 2.7):



Інструментальна похибка ПФВ – це різниця між приладним значенням вихідної величини і її істинним значенням у всіх режимах роботи:



Очевидно, що



При



Рис. 2.7. До визначення динамічної похибки ПФВ

# 2.6. Контрольні питання до розділу 2

1. Дайте визначення чутливому елементу приладу.
2. Дайте визначення вимірювальній мережі.
3. Дайте визначення вимірювальному перетворювачу.
4. Дайте визначення первинному, проміжному, масштабному вимірювальному перетворювачу.
5. Сформулюйте основні вимоги до перетворюючих пристроїв приладів.
6. Дайте визначення математичній моделі ПФВ.
7. Дайте визначення рівнянню динаміки ПФВ.
8. Дайте визначення рівнянню статики ПФВ.
9. Дайте визначення чутливості ПФВ.
10. Дайте визначення абсолютній та відносній похибкам ПФВ.