

Лекція 2
НОРМУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.
ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВТ.
СТРУКТУРНІ СХЕМИ ЗВТ

2.1 Класи точності

Для узагальненої характеристики точності засобів вимірювань, обумовленої границями допустимих похибок (основної і додаткової), а також іншими їхніми властивостями, що впливають на похибку вимірювання, вводиться поняття «клас точності засобів вимірювань».

Клас точності – це узагальнена характеристика засобу вимірювань, яка визначається границями його допустимих основної і додаткової похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на його точність, значення яких регламентується.

Єдині правила встановлення границь допустимих похибок показань за класами точності засобів вимірювань регламентує ГОСТ 8.401-80. Класи точності зручні для порівняльної оцінки якості засобів вимірювань, їхнього вибору, міжнародної торгівлі.

Класи точності визначаються стандартами і технічними умовами, що містять технічні вимоги до засобів вимірювань. Для кожного класу точності засобу вимірювань конкретного типу встановлюються конкретні вимоги до метрологічних характеристик, які у сукупності відображають рівень точності. Єдині характеристики для засобів вимірювань всіх класів точності (наприклад, вхідні і вихідні опори) нормуються незалежно від класу точності. Засоби вимірювань декількох фізичних величин або з декількома діапазонами вимірювань можуть мати два й більше класи точності.

Приклади позначення класів точності та їх зміст наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Нормування допустимих границь похибок

Вид похибки, що нормується	Вираз для оцінювання границь основних допустимих похибок	Позначення класу точності
Абсолютна	$\Delta_{гр} = \pm a$	М
Абсолютна	$\Delta_{гр} = \pm(a + bx)$	С
Зведена	$\gamma_{zp} = \frac{\Delta_{zp}}{X_N} \cdot 100\% = \pm p, \%$	1,5
		2,5
Відносна	$\delta_{zp} = \frac{\Delta_{zp}}{x} \cdot 100\% = \pm q, \%$	0,05
Відносна	$\delta_{zp} = \pm \left[c + d \left(\left \frac{X_K}{x} \right - 1 \right) \right], \%$	0,02/0,01

Примітка: X_N – нормувальне значення вимірюваної величини;

X_K – межа вимірювання;

p, q, c, d вибираються з ряду чисел $1 \cdot 10^n; 1,5 \cdot 10^n; (1,6 \cdot 10^n); 2 \cdot 10^n; 2,5 \cdot 10^n; (3 \cdot 10^n); 4 \cdot 10^n; 5 \cdot 10^n; 6 \cdot 10^n$, де $n = 1; 0; -1; -2; \dots$

Числа, які стоять в дужках, допускаються, але не рекомендуються; вони, зокрема, не використовуються для засобів вимірювань, що розробляються.

Приклад: вольтметр класу точності 1,5, що має рівномірну шкалу від 0 до 10 В, показує 7,2 В. Треба оцінити границі абсолютної та відносної похибки вимірювання.

Для розв'язання задачі спочатку знайдемо граничне значення абсолютної похибки. Оскільки нормується зведена до діапазону шкали похибка, то

$$\gamma_{zp} = \pm \frac{\Delta_{zp}}{X_N} \cdot 100\% ,$$

звідки отримуємо

$$\Delta_{zp} = \pm \frac{\gamma_{zp} \cdot X_N}{100} = \pm \frac{1,5 \cdot 10}{100} = \pm 0,15 \text{ В.}$$

Тепер знайдемо граничне значення відносної похибки вимірювання

$$\delta_{zp} = \pm \frac{\Delta_{zp}}{x} \cdot 100\% = \pm \frac{0,15}{7,2} \cdot 100\% = \pm 2,08\% .$$

2.2 Експлуатаційні характеристики засобів вимірювальної техніки

До експлуатаційних характеристик відносять показники метрологічної надійності, ремонтпридатності, електричну міцність та опір ізоляції, споживану потужність, стійкість до кліматичних та механічних впливів, час установаження робочого режиму та ін.

Метрологічна надійність – властивість ЗВТ зберігати метрологічну справність протягом заданого інтервалу часу, тобто зберігати відповідність нормованих метрологічних характеристик встановленим нормам.

Метрологічну надійність характеризують трьома основними показниками:

– ймовірністю безвідмовної роботи $P(t)$, тобто ймовірністю того, що протягом часу t нормовані характеристики похибки не вийдуть за допустимі межі (вихід метрологічних характеристик за допустимі межі є метрологічною відмовою ЗВТ);

– інтенсивністю відмов λ , тобто середньою кількістю метрологічних відмов в одиницю часу;

– середнім часом безвідмовної роботи або напрацюванням до метрологічної відмови T_M .

Метрологічні відмови розділяються на раптові та поступові. Раптову називається відмова, спричинена випадковою поломкою, обривом кола, виходом із ладу якогось елемента ЗВТ. Поступова відмова пов'язана зі зносом, «старінням» елементів ЗВТ з часом, поступовим виходом похибки за межі допуску.

Як показник довговічності прийнятий середній строк служби і середній ресурс. Строк служби і ресурс – відповідно календарна тривалість експлуатації ЗВТ і напрацюванням ЗВТ з початку його експлуатації до досягнення їм такого стану, при якому подальша його експлуатація припиняється.

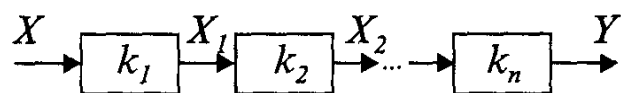
Часто для характеристики довговічності ЗВТ використовують *γ-процентний ресурс*. Під *γ-процентним ресурсом* розуміють напрацювання, на протязі якого ЗВТ із заданою ймовірністю не досягає такого стану, при якому звичайні види ремонту не дозволяють підтримувати працездатність приладу і його подальша експлуатація припиняється.

Наприклад, ресурс 3000 годин при $\gamma = 95\%$ означає, що після 3000 годин напрацювання працездатними залишаться 95 %, а непрацездатними – 5 % ЗВТ даного типу.

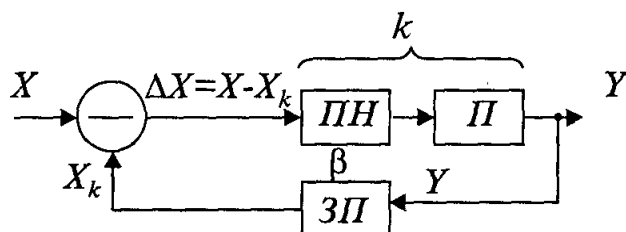
2.3 Структурні схеми засобів вимірювальної техніки

Електрорадіовимірювальні прилади складаються з ряду вимірювальних перетворювачів, пристроїв порівняння (компараторів), мір, різноманітних допоміжних пристроїв. Сигнал, що несе інформацію про значення вимірюваної величини, проходить через ряд перетворень для отримання потрібного вихідного сигналу. Кожне перетворення сигналу можна уявити як таке, що здійснюється в окремій ланці. З'єднання таких ланок у певну послідовність перетворень має назву структурної схеми.

Структурні схеми вимірювальних приладів дуже різноманітні. Однак, у залежності від методу вимірювань, який реалізовано у вимірювальному приладі, розрізняють такі види структурних схем: прямого перетворення (рис. 2.1, а), зрівноважувального перетворення (рис. 2.1, б) та комбіновані.



а)



б)

Рисунок 2.1 – Структурні схеми вимірювальних приладів

За структурною схемою прямого перетворення побудовано багато вимірювальних приладів: вольтметри, ватметри, частотоміри та ін. Пряме перетворення характерне тим, що передача вимірювальної інформації здійснюється тільки в одному напрямі – від входу до виходу без зворотного зв'язку між ними. Якщо всі послідовно з'єднані елементи схеми мають лінійні функції перетворення, то результуючий коефіцієнт перетворення засобу вимірювань буде дорівнювати добутку коефіцієнтів перетворення окремих ланок

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n.$$

Похибка результуючого коефіцієнта перетворення k , викликана похибками коефіцієнтів перетворення окремих ланок k_i , буде дорівнювати

$$\begin{aligned} \Delta k &= \frac{\partial k}{\partial k_1} \Delta k_1 + \frac{\partial k}{\partial k_2} \Delta k_2 + \dots + \frac{\partial k}{\partial k_n} \Delta k_n = \\ &= (k_2 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_n) \Delta k_1 + (k_1 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_n) \Delta k_2 + \dots + (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_{n-1}) \Delta k_n. \end{aligned}$$

Тоді відносна результуюча похибка буде дорівнювати сумі відносних похибок окремих елементів

$$\delta k = \frac{\Delta k}{k} = \frac{\Delta k_1}{k_1} + \frac{\Delta k_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta k_n}{k_n} = \delta k_1 + \delta k_2 + \dots + \delta k_n.$$

Зрівноважувальне перетворення полягає в тому, що вхідна величина зрівноважується іншою однойменною величиною. Можливі два режими роботи: з неповним зрівноважуванням та з повним зрівноважуванням. У першому випадку вхідна величина X зрівноважується компенсальною величиною, якою є вихідна величина $X_k = \beta Y$ кола зворотного перетворення ЗП. На вхід кола прямого перетворення, що складається, здебільшого, з перетворювача недокомпенсації ПН та підсилювача П з загальним коефіцієнтом перетворення k , надходить різниця

$$\Delta X = X - X_k = X - \beta Y = X - k\beta \Delta X.$$

З останнього виразу маємо

$$\Delta X = \frac{X}{1 + k\beta}.$$

Отже, при великому коефіцієнті перетворення k і завдяки глибокому від'ємному зворотному зв'язку, ΔX буде малим, але не дорівнюватиме нулю.

ΔX завжди пропорційне до значення вимірюваної величини X .

Результуючий коефіцієнт перетворення засобу вимірювань

$$K = \frac{Y}{X} = \frac{k\Delta X}{X_k + \Delta X} = \frac{k\Delta X}{k\beta\Delta X + \Delta X} = \frac{k}{1 + k\beta}.$$

Абсолютна похибка коефіцієнта перетворення K , викликана неточностями коефіцієнтів перетворення k та β , може бути визначена як

$$\Delta K = \frac{\partial K}{\partial k} \Delta k + \frac{\partial K}{\partial \beta} \Delta \beta = \frac{1}{(1+k\beta)^2} \Delta k - \frac{k^2}{(1+k\beta)^2} \Delta \beta,$$

а відносна похибка

$$\delta_K = \frac{\Delta K}{K} = \frac{\partial K}{\partial k} \Delta k + \frac{\partial K}{\partial \beta} \Delta \beta = \frac{1}{1+k\beta} \delta_k - \frac{k\beta}{1+k\beta} \delta_\beta \approx -\delta_\beta,$$

коли $k\beta \gg 1$. Таким чином, мультиплікативна складова похибки приладу зрівноважування (похибка коефіцієнта перетворення) буде залежати тільки від нестабільності кола зворотного зв'язку β і не залежатиме від нестабільності кола прямого перетворення k . Адитивна похибка (зсув нуля) приладу буде визначатися адитивними похибками як кола прямого перетворення, так і кола зворотного перетворення. Однак незмінні в часі систематичні складові адитивних похибок приводять до сталого зміщення нуля і можуть бути враховані під час градування або виключені корекцією нуля.

У режимі повного зрівноважування в коло прямого зв'язку вводиться інтегратор, завдяки чому при закінченні зрівноваження, коли $\Delta X = X - X_k = 0$, вихідна величина інтегратора Y досягає свого усталеного значення, а значення вимірюваної величини може бути оцінене як $X - X_k$.

Важливою перевагою засобів зрівноважувального перетворення перед засобами прямого перетворення є практично незначне споживання енергії від досліджуваного об'єкта, тобто вони не створюють додаткової методичної похибки вимірювань, спричиненої впливом засобу вимірювань на об'єкт вимірювань.

Комбіноване перетворення відбувається, коли від'ємним зворотним зв'язком охоплена тільки частина кола прямого перетворення.