

Лекція 10

2.6. Метрологічне забезпечення засобів вимірювання постійної напруги

Тривалий час метрологічне забезпечення засобів вимірювання постійного струму і напруги забезпечувалося диференціальними вольтметрами і потенціометрами з ручним врівноваженням.

В даний час парк зразкових засобів вимірювання постійного струму і напруги заповнюється прецизійними цифровими мультиметрами і калібраторами з мікропроцесорним управлінням процесами вимірювання, автокалібрування, самодіагностики, що випускаються провідними вітчизняними та зарубіжними приладобудівними фірмами. Ряд мультиметрів забезпечують вимірювання постійних напруг в діапазоні до 1000 В з основною похибкою від 10^{-4} до $5 \cdot 10^{-6}$, роздільною здатністю 5,5 - 8,5 десяткових розрядів і мають стандартні інтерфейси IEEE 488 і RS232, що дозволяє повністю автоматизувати процес повірки.

При повірці засобів вимірювань постійних струмів і напруг перевіряють: основну похибку, варіацію, коефіцієнти придушення завад загального і нормального виду (для засобів вимірювання, що містять АЦП), динамічні властивості.

Для визначення основної похибки засобів вимірювання постійного струму і напруги набули поширення в основному два способи:

- звірення відліків повіряемого приладу з відліками зразкового приладу при підключенні на їх входи однакової напруги;
- порівняння відліків повіряемого приладу з відліками калібратора постійної напруги (струму), який формує вхідний сигнал для цього приладу.

При повірці клас точності зразкового засобу вимірювання повинен бути як мінімум в п'ять разів вищий за клас точності повіряемого приладу, якщо у відліки зразкового приладу не вноситься поправка. Якщо у відліки зразкового приладу вноситься поправка, то дозволяється зменшення відношення між відповідними класами приладів до 2,5 разів. Роздільна здатність відліків зразкового засобу та випадкова складова його похибки не повинна перевищувати (в кожній точці, що повіряється) десяти відсотків від допустимої похибки повіряемого приладу.

Діапазони вимірювання зразкових та повіряемих приладів не повинні відрізнятися більш ніж на 25%. Можна використовувати прилади з більшою межею вимірювання, але вищого класу точності, визначуваного за виразом:

$$k_{зр} \leq \left(\frac{k_n}{5} \right) \frac{a_n}{a_{зр}}, \text{ де } a_n, a_{зр} - \text{ межі вимірювання відповідно повіряемого приладу і}$$

зразкового; $k_n, k_{зр}$ - відповідно класи їх точності.

Якщо при повірці використовується подільник напруги, то його вихідний опір повинен відповідати співвідношенню: $R_{вих} \leq \frac{R_{вх} \delta_{доп}}{1000}$; де $R_{вих}$ - вихідний опір зразкового подільника напруги, $R_{вх}$ - вхідний опір повіряемого вольтметра, $\delta_{доп}$ - межа допустимої основної похибки повіряемого вольтметра (%).

У вольтметра з аналоговим відліком (електоромеханічних або електронних) основна похибка визначається на оцифрованих позначках шкали основного діапазона вимірювання і визначається за формулою: $\Delta = u - u_{зр}$ або $\Delta' = u - k_n u_{зр}$, де u -

відлік повіряемого вольтметра, $[B]$, $u_{зр}$ - відлік зразкового засобу вимірювання, $[B]$, k_n - коефіцієнт передачі подільника напруги.

На інших діапазонах вимірювань основну похибку визначають на кінцевих числових позначках шкал, а також на позначках, на яких раніше були виявлені найбільші похибки. При цьому встановлюються значення вимірюваної величини, відповідні до оцифрованих позначок шкали повіряемого приладу, а дійсне значення вимірюваної величини зчитується з шкали зразкового приладу. Така методика, проте, не може бути застосована при повірці цифрових приладів, у яких існує похибка квантування.

Повірка цифрових вольтметрів, а також АЦП може бути здійснена одним з двох методів: за допомогою допускового контролю та безпосереднім визначенням контрольованої метрологічної характеристики.

При допусковому контролі метрологічна контрольована характеристика не визначається, а встановлюється факт знаходження відліків повіряемого засобу вимірювання в допустимих межах відносно відліків зразкового засобу.

При безпосередньому визначенні контрольованої метрологічної характеристики повіряемого засобу вимірювання (ЗВ), вона визначається за відліками зразкового ЗВ і порівнюється з допустимим значенням, що регламентується в технічній документації на ЗВ.

Як правило, для визначення статичної похибки (основної) цифрових вольтметрів (ЦВ) і АЦП необхідне знання реальної функції перетворення. Для її визначення на вхід повіряемого ЦВ (АЦП) необхідно подати точно відому регульовану напругу і фіксувати відліки під час переходу вихідного коду від одного значення до іншого. При цьому необхідно враховувати, що зона переходу може мати систематичну і випадкову складову, тобто вона розмита. Повірка ЦВ (АЦП) здійснюється залежно від того, як нормована похибка в технічній документації на повіряемі засоби вимірювання. Таким чином, методика визначення похибки цифрових вольтметрів залежить від співвідношення систематичної і випадкової складових інструментальної похибки і похибки квантування (дискретності). Практично можливі такі варіанти:

1. Межа допустимої похибки істотно (більш, чим в чотири рази) перевищує похибку квантування, випадкова складова інструментальної похибки дуже мала.
2. Межа допустимої похибки істотно (більш, чим в чотири рази) перевищує похибку квантування, випадкова і систематична складові інструментальної похибки приблизно однакові.
3. Межа допустимої похибки приблизно однакова з похибкою квантування, випадкова складова інструментальної похибки є дуже малою.
4. Межа допустимої похибки приблизно однакова з похибкою квантування, випадкова складова інструментальної похибки та її систематична складова приблизно однакові.

У першому випадку повірка може бути здійснена шляхом вимірювання повіряемим приладом вихідної напруги калібратора, що створює необхідні для повірки напруги.

У третьому випадку для вилучення похибки квантування для приладів, що мають нерівномірну функцію перетворення, тобто істотну диференційну похибку нелінійності (наприклад, прилади з порозрядним зрівноваженням), визначають

навколо повіряємої точки X_0 два значення вхідної величини X_1 і X_2 , відповідно змінам показу приладу з X_0 на X_0-q (q - похибка квантування) і на X_0+q . При цьому похибку повіряємого приладу на контрольованій позначці визначається як максимальна з двох різниць X_0-X_1 або X_0-X_2 .

При повірці приладів, що мають рівномірну функцію перетворення (наприклад, АЦП з проміжним перетворенням вимірюваної напруги в частоту або в часовий інтервал) для вилучення похибки квантування (випадок 3) можна здійснювати повірку при одному значення вимірюваної величини і відповідній зміні показу повіряємого приладу від X_0 до X_0+q . В цьому випадку похибка повіряємого приладу визначається як максимальна з двох різниць X_0-X_2 або X_0+q-X_2 .

Коли випадкова складова інструментальної похибки має значний вплив (другий та четвертий випадки), спочатку визначають систематичну складову похибки. Для цього значення вхідної величини визначається таким, щоб вірогідність виникнення змін показів повіряємого приладу була однаковою.

Для визначення середньоквадратичного відхилення δ випадкової похибки на повіряємий прилад подають напругу близько до номінальної і спостерігають n послідовних показів U_i . Оцінку середньоквадратичного відхилення розраховують за формулою:

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}, \text{ де}$$
$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i.$$

Потім $\bar{\sigma}$ порівнюють з заданою нормою. Кількість спостережень n наводиться в методиці повірки.

Кількість значень вхідної величини в повіряємому діапазоні повинно бути не менше п'яти. При повірці приладів, що мають рівномірну функцію перетворення, тобто малу диференційну нелінійність (наприклад, АЦП з проміжним перетворенням вимірюваної напруги в частоту або в часовий інтервал) означені точкам рівномірно розміщують по діапазону. А в приладах з суттєво диференційною нелінійністю (прилади, що містять АЦП з безпосереднім перетворенням) і мають нерівномірну функцію перетворення, повірці підлягають ще так звані „особливі” точки, в яких похибки набувають максимальних значень. Ці точки, як правило, визначаються виробником і наводяться в технічній документації на повіряємий прилад.

Основна динамічна характеристика АЦП визначається часом перетворення Δt_n , який дорівнює інтервалу часу між сигналами „Пуск АЦП” та „Дані готові”. Друга динамічна характеристика АЦП це час установа, який визначається при подачі „стрибка” вхідної напруги і фіксації моменту появи установленого вихідного коду з похибкою ± 1 молодшого розряду.

Для реалізації цього способу часто застосовують осцилограф, ЦАП і синхронізацію осцилографа з подачею „стрибка” вхідної напруги. Іноді замість осцилографа застосовують два компаратора для реєстрації попадання вихідного коду у визначеній границі.

Апертурний час АЦП також визначають з застосуванням попередньо названої апаратури при подачі на вхід синусоїдальної напруги і спостереження вихідного сигналу на осцилографі.

На рис. 2.54 наведена схема типового калібратора постійної напруги і струму.

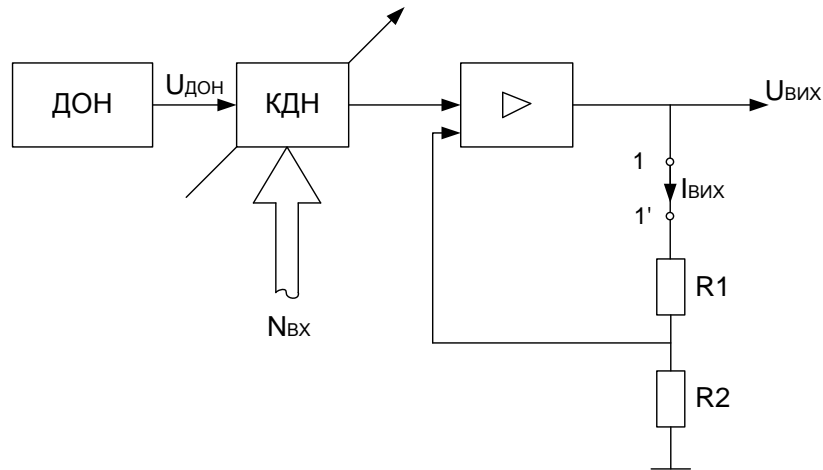


Рис. 2.54. Калібратор постійної напруги і струму.

Він складається: ДОН - джерело опорної напруги, КДН - керований дільник напруги, підсилювач з колом від'ємного зворотнього зв'язку R1,R2.

В якості ДОН часто використовується термостабілізований стабілітрон. КДН - це високоточний цифро-аналоговий перетворювач. Підсилювач необхідний для створення високих рівнів напруг і струмів. Вихідний струм (1-1'):

$$I_{11'} = U_{\text{ДОН}} \cdot K_{\text{КДН}} / R_2,$$

вихідна напруга:

$$U_{\text{ВИХ}} = K_{\text{КДН}} \cdot U_{\text{ДОН}} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}.$$

Похибка калібратора визначається стабільністю ДОН, КДН, дрейфом „нуля” підсилювача, стабільністю R1,R2(для струму - R2).

За такою структурною схемою побудовано калібратор ПЗ20 та інші(табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Калібратори постійної напруги струмів

Тип	Діапазон відтворюваних напруг(В), струмів(А).	Основна допустима похибка,%
ПЗ20	$10^{-5} - 10^3$ ($10^{-9} - 10^{-1}$)	0,1 ÷ 0,005 0,01 ÷ 0,007
П4108	$10^{-2} - 300$	0,02
В1-12	$10^{-7} - 1000$	0,2 ÷ 0,005
В1-13	$10^{-5} - 1000$	0,01 ÷ 0,005
В1-18	$10^{-6} - 1000$	0,003 ÷ 0,002
Ф7010	$10^{-5} - 100$	0,002
Ф7046	$10^{-6} - 1000$	0,005 ÷ 0,003
Р3003(компаратор в режимі калібратора)	$10^{-2} - 1$	0,001 ÷ 0,0005