

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для виконання практичних робіт
із дисциплін
«Вступ до техніки вимірювань»,
«Метрологія ,стандартизація і управління якістю зв'язку»
для студентів спеціальностей
171 *«Електроніка»,*
172 *«Телекомунікації та радіотехніка»*
денної форми навчання

Суми
Сумський державний університет
2022

Методичні вказівки до виконання практичних робіт із дисциплін «Вступ до техніки вимірювань», «Метрологія ,стандартизація і управління якістю зв'язку» для студентів спеціальностей 171 «Електроніка», 172 «Телекомунікації та радіотехніка» денної форми навчання / укладач О.Є. Горячев – Суми: Сумський державний університет, 2022. – 34 с.

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Мета практичних завдань полягає в навчанні студентів застосуванням отриманих теоретичних знань при розв'язанні типових задач. На заняттях студенти закріплюють теоретичні знання, отримані на лекціях та при самостійній роботі над теоретичними питаннями, набувають навички самостійного вибору методу аналізу засобів вимірювання і оцінки результатів обчислень.

Дисципліна забезпечує базову підготовку студентів електротехнічних спеціальностей в області метрології, стандартизації та електричних вимірювань.

Метою вивчення дисципліни є формування у студентів знань, вмінь, навичок, що забезпечує їх кваліфіковану участь в інженерній діяльності.

В результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

- знати основні метрологічні вимоги і норми, акти і документи по стандартизації, дотримуватися їх в своїй практичній діяльності;

- знати основні методи вимірювання електричних величин, а також принципи будови та роботи вимірювальних приладів промислового типу;

- знати області застосування електровимірювальних приладів;

- вміти застосовувати отримані знання для вибору електровимірювальних приладів;

- вміти проводити вимірювання електричних величин сучасними вимірювальними засобами;

- вміти обчислювати похибку результатів вимірювання в стандартній формі; читати шкалу розповсюджених електровимірювальних приладів.

Методика проведення практичних занять передбачає дотримання наступних принципів. Передбачається серйозна підготовка студентів до занять. По закінченню кожного заняття вказаний вихідний рівень знань, вмінь, навичок, котрими повинен володіти студент до початку заняття.

Практичні заняття містять наступні структурні елементи:

1. 10-хвилинна контрольна робота по навчальному матеріалу попереднього заняття.

2. Самостійна робота студентів.

3. Видача методичних вказівок для підготовки до наступного заняття.

Викладач розпочинає заняття викладанням теоретичних основ по темі, а потім проводить контроль знань студентів на основі розв'язання ними задач для самостійної роботи.

Задачі для самостійної роботи підібрані з урахуванням широкого кола питань, пов'язаних з вивченням теми.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1

Похибки вимірювань та оцінка результатів вимірювань

1.1. Мета роботи

- засвоїти основні поняття теорії похибки вимірювань;
- навчитися знаходити значення похибок вимірювання при прямих багаторазових і непрямих спостереженнях;
- знати означення ймовірносних та статичних параметрів знаходження похибок, стандартний запис результатів вимірювань.

1.2. Загальні теоретичні відомості

При практичному здійсненні процесу вимірювання, що не залежить від точності вимірювального приладу, правильності методики та старанності виконання вимірювання результат вимірювання відрізняється від дійсного значення вимірювальної величини, тобто неминучі похибки вимірювання.

Знаходження похибки вимірювання, тобто оцінка достовірності результату вимірювання - одна з основних задач метрології.

По закономірностям прояву похибки вимірювання поділяються на систематичні, випадкові, грубі та промахи.

Системні похибки вимірювання – складові похибки вимірювання, що залишаються постійними або закономірно проявляються при повторних вимірюваннях однієї й тієї ж самої величини.

Випадкові похибки вимірювання – складові похибки вимірювання, що змінюються не за певним законом, а випадковим чином при повторних вимірюваннях однієї й тієї ж самої величини. Виявляються випадкові похибки при багаторазовому дослідженні однієї й тієї ж самої величини, тому їх вплив і результат вимірювання враховується методами математичної статистики і теорії ймовірності.

Промахи – похибки, що явно і різко спотворюють результат вимірювань – внаслідок невірних дій експериментатора, несправностей в схемах та приладах.

Таким чином, похибки вимірювання можуть бути випадковими Δ (в тому числі грубі похибки і промахи) – що змінюються випадковим чином при повторних спостереженнях однієї й тієї ж самої фізичної величини x ; систематичні θ – що залишаються сталими або закономірно змінюються при повторних спостереженнях.

В процесі вимірювання систематичні та випадкові похибки проявляються одночасно і похибку вимірювання можна представити як суму двох складових

$$\Delta x = \Delta + \theta \quad (1.1)$$

Для отримання результатів, що мінімально відрізняються від результатів вимірювальних величин, проводять багаторазові спостереження за вимірювальною величиною і наступну математичну обробку експериментальних даних.

1.2.1. Оцінка похибок результату вимірювання при багаторазових прямих спостереженнях.

Достатніми характеристиками випадкових похибок являються їх числові характеристики: математичне очікування та середньоквадратичне відхилення можливе тільки при нескінченно великому числі спостережень. Практично, число спостережень завжди обмежено. На основі граничного ряду спостережень знаходять значення математичного очікування, які приймають за шукані ймовірнісні характеристики.

Найбільш вірогідним значенням рівномірних вимірювань значень x , що можна присвоїти вимірювальній величині, являється середнє арифметичне значення ряду однакових спостережень

$$\bar{X} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_i + x_n)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1.2)$$

де x_i ; $i = \bar{1}, n$ – результати окремих вимірювань;
 n – кількість спостережень.

Оцінкою математичного очікування $M[x]$ вимірюваної величини буде \bar{X} , тобто

$$M[x] = \bar{X}, \quad (1.3)$$

відносно якого розсіюються результати вимірювання, яке при відсутності систематичних похибок приймається за дійсне.

Відхилення результату кожного вимірювання від середнього значення (по числовому значенню і знаку) визначається залишковою похибкою

$$V_i = x_i - M[x]. \quad (1.4)$$

Тоді

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i)^2} \quad (1.5)$$

представляє оцінку середньоквадратичної похибки метода вимірювання.

З формули (1.5) знаходимо дисперсію

$$D[x] = \bar{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i)^2. \quad (1.6)$$

Дисперсія з (1.6) характеризує ступінь розсіювання результату вимірювання навколо середньоарифметичного. Так як, середньоарифметичне має деяку випадкову похибку, то спостереження повинні знаходитися в межах

$$x_i = M[x] \pm a, \quad (1.7)$$

де $a = 3\bar{\sigma}$ - величина грубої похибки.

Якщо рівність (1.7) не виконується, то необхідно з ряду спостережень виключити спостереження, котрі відносяться до грубих або промахів. У випадку виконання рівності (1.7) можна знайти оцінку середньоквадратичного відхилення

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}}, \quad (1.8)$$

яке вважається середньоквадратичною похибкою результату вимірювання.

Далі необхідно визначити довірчий інтервал $\Delta_{1,2}$, в якому знаходимо дійсне значення вимірювальної фізичної величини $\bar{X} = M[x]$ при заданій довірчій ймовірності P_δ . Якщо число спостережень $n > 20$, то розв'язання здійснюється через коефіцієнт надійності Лапласа $t_{\rho n}$, який визначається з таблиці 1.1. При $2 < n < 20$ розв'язання знаходиться через значення коефіцієнта розподілення Стюдента, яке визначається з таблиці 1.2

Тоді довірчий інтервал $\Delta_{1,2}$ при $n > 20$ знаходиться як

$$\Delta_{1,2} = t_{\rho n} \hat{\sigma}, \quad (1.9)$$

а при $2 < n < 20$ – по формулі

$$\Delta_{1,2} = t_{\rho n} \hat{\sigma}. \quad (1.10)$$

Таблиця 1.1

P_δ	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
$t_{\rho n}$	1,96	2,05	2,18	2,33	2,57

Таблиця 1.2

$P_\delta=0,95$	n-1	4	10	15	19	∞
	$t_{\rho n}$	2,78	2,23	2,13	2,09	1,96
$P_\delta=0,96$	n-1	4	10	15	19	∞
	$t_{\rho n}$	3,24	2,47	2,33	2,28	2,12
$P_\delta=0,97$	n-1	4	10	15	19	∞
	$t_{\rho n}$	3,69	2,7	2,54	2,47	2,27
$P_\delta=0,98$	n-1	4	10	15	19	∞
	$t_{\rho n}$	4,15	2,94	2,75	2,66	2,43
$P_\delta=0,99$	n-1	4	10	15	19	∞
	$t_{\rho n}$	4,6	3,17	2,95	2,86	2,58

Результат вимірювання при цьому записується в стандартній формі, тобто у відповідності з ГОСТ 8.417 – 81.

$$x_0 = \bar{X} \pm \Delta_{1,2}; P_\theta. \quad (1.11)$$

Вираз (1.11) визначає справжнє значення x_0 фізичної величини, виражене в абсолютних одиницях при заданій довірчій ймовірності P_θ .

1.2.2. Оцінка похибки результату непрямих вимірювань

При оцінці випадкових похибок непрямих вимірювань необхідно враховувати, що вимірювальна величина у функціонально зв'язана з однією чи декількома безпосередньо вимірювальними величинами x_1, x_2, \dots, x_m , тобто

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m). \quad (1.12)$$

Тому абсолютна похибка результату непрямих вимірювань буде визначатися як

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \Delta x_1^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_m}\right)^2 \Delta x_m^2}, \quad (1.13)$$

де Δx_i ; $i = \overline{1, m}$ – абсолютні похибки прямих спостережень, знайдених за формулою

$$\Delta x = \frac{k_{x_i} x_{k_i}}{100} \quad (1.14)$$

або

$$\Delta x_i = \frac{\delta_{x_i} x_i}{100}, \quad (1.15)$$

де k_{x_i} - клас точності приладу;

x_{k_i} - межа вимірювання;

δ_{x_i} - відносна похибка;

x_i - результат вимірювання.

Таблиця 1.3

Функція	Абсолютна похибка
$x_1 \pm x_2$	$\pm \sqrt{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2}$
$x_1 \cdot x_2$	$\pm \sqrt{x_1^2 (\Delta x_1)^2 + x_2^2 (\Delta x_1)^2}$
x_1 / x_2	$\pm \sqrt{[x_2^2 (\Delta x_1)^2 + x_1^2 (\Delta x_2)^2]} x_2^{-4}$

1.3. Задачі для самостійного розв'язання

1.3.1. В процесі $n = m$ – кратного вимірювання напруги вольтметром отримані значення U_i , вказані в таблиці 1.4. Вважаючи, що систематичною похибкою можна знехтувати, а випадкові похибки розподілені по нормальному закону, визначити:

- найбільш вірогідніші значення вимірюємої напруги;
- математичне очікування вимірюємої величини;
- дисперсію та оцінку середньоквадратичної похибки методу вимірювання;
- наявність грубої похибки спостереження і у випадку її виявлення результат спостереження виключити;
- оцінку середньоквадратичної похибки результату вимірювання;
- довірчий інтервал, в якому знаходиться дійсне значення вимірюємої величини при заданій довірчій ймовірності P_σ ;
- результат вимірювання записати в стандартній формі, тобто відповідно до ГОСТ 8.417-81.

Примітка. Значення нормованої функції Лапласа і коефіцієнта розподілу Стьюдента приведені відповідно в табл. 1.1 і 1.2.

1.3.2. Використовуючи данні табл. 1.5, визначити похибку і записати результат, отриманий непрямым шляхом по дослідним даним прямих вимірювань, виконаних вимірювальними засобами з заданими класами точності K_x і межами вимірювання U_k, I_k, P_k або з відносною похибкою δ_x результату вимірювання.

1.4. Завдання для самопідготовки до практичного заняття №2

1.4.1. Закінчити розв'язок задачі для самостійного розв'язання по заданому варіанту, якщо вони повністю не розв'язані на занятті.

1.4.2. Підготувитися до виконання 10–хвилинної контрольної роботи, для чого ознайомитися з варіантами задач, приведеними в описі змісту практичного завдання №2, і повторити теоретичний матеріал по темі заняття №1.

Таблиця 1.4

Варіант	1	2	3	4	5
$P\partial$	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
m	1-15	2-16	3-17	4-18	5-20
Варіант	6	7	8	9	10
$P\partial$	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92
m	6-21	7-22	8-23	9-24	10-25
i_m	1	2	3	4	5
U_i, B	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5
i_m	6	7	8	9	10
U_i, B	10,6	10,7	10,8	10,9	11
i_m	11	12	13	14	15
U_i, B	11,1	11,2	11,3	11,4	11,5
i_m	16	17	18	19	20
U_i, B	10,2	10,4	10,6	10,8	11
i_m	21	22	23	24	25
U_i, B	11,3	11,1	10,9	10,7	10,5

Таблиця 1.5

Варіант	$Y=f(x)$	U, B	I, A	U_k, B	I_k, A	$k_U, \%$	$K_b, \%$
1	$R = \frac{U}{I}$	25	0,6	30	1	1,0	1,5
2	$P = UI$	20	0,5	30	1	1,5	1,0
3	$\alpha = \frac{1}{UI}$	30	1	50	5	1,0	1,0
4	$G = \frac{I}{U}$	10	0,1	20	0,5	2,0	2,5
5	$R = \frac{U}{I}$	U, B	I, A	$\delta_U, \%$	$\delta_I, \%$	-	-
		10	1	0,1	0,2	-	-
6	$Q = \frac{2I}{U}$	15	0,1	0,5	0,2	-	-
7	$X = \frac{\omega L}{R}$	R, OM	$L, \text{Гн}$	$\omega, \frac{P}{C}$	$\delta_R, \%$	$\delta_L, \%$	$K_\omega, \%$
		10	0,1	100	0,2	0,1	1,0
8	$\delta_x = \omega RC$	R, OM	$C, \text{мкФ}$	$f, \text{Гц}$	$\delta_R, \%$	$\delta_L, \%$	$\delta_f, \%$
		0,1	100	50	1,5	0,2	0,1
9	$W = UIT$	U, B	I, A	T, c	U_k, B	I_k, A	$K_{UIT}, \%$
		65	8.5	65	75	10	1,0
10	$W = PT$	$P, \text{Вт}$	T, c	$P_k, \text{Вт}$	$K_w, \%$	$\delta_T, \%$	-
		280	40	300	0,5	0,1	-

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ №2

Розрахунок похибок вимірювання аналогових електромеханічних приладів

2.1. Мета заняття

2.1.1. Навчитися розраховувати похибки вимірювань аналогових електромеханічних приладів (АЕП).

2.1.2. Знати визначення основних похибок АЕП.

2.2. Загальні теоретичні відомості

По способу вираження розрізняють абсолютну, відносну, приведену, основну і додаткову похибки АЕП.

Абсолютна похибка Δ_n приладу – різниця між показами приладу X_n і дійсним значенням X_0 вимірюємої електричної величини (струму I або напруги U), а саме:

$$\Delta_n = X_n - X_0. \quad (2.1)$$

Абсолютна похибка, взята з протилежним знаком, називається поправкою

$$\Pi = -\Delta_n. \quad (2.2)$$

Відносна похибка δ_{Π} приладу – відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюємої величини і виражається в % або в частинах від дійсного значення:

$$\delta_{\Pi} = \frac{X_{\Pi} - X_0}{X_0} \cdot 100 = \left[\frac{\Delta_{\Pi}}{X_0} \right] \cdot 100. \quad (2.3)$$

Приведена похибка γ_{Π} приладу – відношення абсолютної похибки до нормуючого значення X_N , по відношенню до якого розраховується похибка:

$$\gamma_{\Pi} = \frac{X_{\Pi} - X_0}{X_N} \cdot 100 = \left[\frac{\Delta_{\Pi}}{X_N} \right] \cdot 100. \quad (2.4)$$

Основна приведена похибка $\gamma_{оп}$ приладу – похибка, викликана дією окремих впливових величин, внаслідок відхилення їх значень від нормальних.

Клас точності K_n приладу – його узагальнена характеристика, обумовлена межами допускних основних і додаткових похибок, тобто

$$K_n = \gamma_{п\ max}. \quad (2.5)$$

З врахуванням (2.4) максимальне значення приведеної похибки визначається як

$$\gamma_{п\ max} = \frac{(X_{п} - X_0)_{\max}}{X_N} \cdot 100 = \left[\frac{\Delta_{п\ max}}{X_N} \right] \cdot 100. \quad (2.6)$$

Похибка приладу в залежності від поточного значення вхідної величини X можна представити у вигляді адитивної Δ_a і мультиплікативної Δ_m складових:

$$\Delta_n = \pm(\Delta_a + \Delta_m). \quad (2.7)$$

Адитивна похибка Δ_a – похибка, що не залежить від чутливості приладу і постійна для всіх значень вимірюємої величини X .

Мультиплікативна похибка Δ_m – похибка, що залежить від чутливості приладу і змінюється пропорційно поточному значенню вхідної величини:

$$\Delta_m = \gamma_s \cdot X, \quad (2.8)$$

де γ_s – відносна похибка чутливості приладу;
 X – поточне значення вхідної величини.

З врахуванням (2.7) і (2.8) відносна похибка приладу буде визначатися як

$$\delta_{п} = \pm \left[\gamma_s + \frac{\Delta_a}{X} \right] \cdot 100. \quad (2.9)$$

Чутливість S_n приладу до вимірюємої величини X називається похідна від кута α відхилення рухомої частини вимірювального механізму:

$$S_n = \frac{d\alpha}{dX}. \quad (2.10)$$

Якщо чутливість $S_n = \text{const}$, тоді

$$S_n = \frac{\alpha}{X}. \quad (2.11)$$

В цьому випадку чутливість приладу дорівнює переміщенню вказівника, що відповідає одиниці вимірюємої величини.

Величина, обернена до чутливості,

$$C = \frac{1}{S_n}. \quad (2.12)$$

називається ціною ділення (постійною приладу). Вона дорівнює кількістю одиниць вимірюємої величини, що приходяться на одну поділку шкали.

2.3. Задачі для самостійного розв'язання

2.3.1. При повірці амперметра з кінцевим значенням шкали I_N в точках шкали I отримані покази зразкового приладу I_0 . Визначити клас точності K_I амперметра. Данні у відповідності з варіантом зведені в таблицю 2.1. Кінцеве значення шкали I_N відповідає межі вимірювання $I_K = I_N = I_{max}$, де I_{max} – максимальне значення вимірюваного струму по повіряемому амперметру.

2.3.2. Після ремонту вольтметра класу точності K_U , з межею вимірювання U_K провели повірку основної похибки. Найбільша абсолютна похибка була ΔU_m на відмітці шкали U . Чи збереже вольтметр після ремонту свій клас точності? Розрахунок супроводити поясненнями (Табл. 2.2).

Таблиця 2.1

1	I, A	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
	I_0, A	0,95	2,07	3,045	4,075	4,95
2	I, A	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
	I_0, A	2,1	4,15	5,9	8,15	10,2
3	I, A	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
	I_0, A	1,45	2,1	3,05	4,1	4,9
4	I, A	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	I_0, A	0,197	0,402	0,603	0,795	1,02
5	I, A	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0
	I_0, A	4,5	11,1	15,5	20,3	24,5
6	I, A	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
	I_0, A	0,39	0,83	1,26	1,628	1,99
7	I, A	5,0	7,5	10,0	12,5	15
	I_0, A	4,5	7,7	9,8	13,1	14,5
8	I, A	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5
	I_0, A	1,4	3,07	4,55	6,08	7,4
9	I, A	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
	I_0, A	9,1	16,1	21,5	27,0	29,1
10	I, A	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
	I_0, A	0,48	1,2	1,53	2,08	2,45

2.3.3. Вимірюють напругу за допомогою двох паралельно включених вольтметрів: V_1 – класу точності K_{U1} є межею вимірювання, і V_2 – класу точності K_{U2} є межею вимірювання U_{K2} .

Покази якого вольтметра точніше, якщо перший показав U_1 , а другий – U_2 (табл. 2.3).

Таблиця 2.2

Варіант	1	2	3	4	5
K_U	1,5	0,5	0,2	0,1	2,5
U_K, B	150	75	30	15	150
$\Delta U_m, B$	2,1	0,4	0,1	0,01	3,9
U, B	120	70	15	10	110
Варіант	6	7	8	9	10
K_U	4,0	0,05	1,5	0,5	1,5
U_K, B	600	15	100	150	300
$\Delta U_m, B$	25	0,01	0,9	0,8	4,0
U, B	450	12	80	90	230
Варіант	11	12	13	14	15
K_U	1,5	2,5	0,1	4,0	0,2
U_K, B	100	125	25	250	50
$\Delta U_m, B$	5	2	0,1	25	1,2
U, B	30	100	12	100	35

2.3.4. При повірці амперметра в точках шкали I отримали наступні покази зразкового приладу I_0 .

1. Визначити абсолютну, відносну та приведену похибки в кожній точці шкали амперметра.

2. До якого класу точності можна віднести амперметр?

3. Побудуйте графік похибок $\Pi=f(I)$.

Примітка. Максимальне значення точки шкали відповідає межі вимірювання приладу I_K .

Дані у відповідності до варіанту зведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.3

Варіант	0	1	2	3	4
K_{U1}	2,5	4,0	2,5	1,0	0,5
U_{K1}, B	30	50	100	300	300
U_1, B	29,5	40	60,5	120	20
K_{U2}	1,0	1,5	4,0	2,5	0,2
U_{K2}, B	150	100	75	150	600
U_2, B	30	40,2	60	119	15
Варіант	5	6	7	8	9
K_{U1}	2,5	4,0	1,0	0,5	2,5
U_{K1}, B	30	50	600	100	150
U_1, B	29,2	40	118	80	30
K_{U2}	0,5	2,5	2,5	0,1	4,0
U_{K2}, B	150	100	150	600	30
U_2, B	31	40,5	120	80,5	29,5

2.4 Задачі для самопідготовки до практичного завдання №3

2.4.1. Закінчити розв'язок задач для самостійного розв'язання по заданому варіанту, якщо вони повністю не розв'язані на занятті.

2.4.2. Підготувитися до виконання 10-хвилинної контрольної роботи, для чого ознайомитися з прикладами задач, приведеними в описі змісту практичного завдання №3 і повторити теоретичний матеріал по темі заняття №2.

2.5 Аудиторна контрольна робота по темі практичного завдання №1. Типові задачі

2.5.1. Проведено вимірювання сили струму I_1, I_2, \dots, I_m . Спостереження I_{max} різко відрізняється від інших. Чи можна його відкинути як таке, що містить грубу похибку?

2.5.2. Оцінити похибку непрямого вимірювання потужності по результатам прямих вимірювань струму I і опору R . Границі сумарної похибки вимірювання струму і опору складають $[\delta_I; \delta_R]$ %.

2.5.3. Напруга джерела U_0 , що має внутрішній опір $R_c=(R_0\pm\Delta R)$, складає за показами вольтметра з допустимою похибкою $\delta_{\Pi},\% U_X$ на межі U_K . Опір вольтметра R_{Π} з допустимою похибкою $\delta_{Rn},\%$. Визначити систематичну похибку, обумовлену шунтуючою дією вольтметра. Введіть поправку.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3

Розрахунок вимірювальних перетворювачів

3.1. Мета заняття

3.1.1. Засвоїти основні принципи вимірювання напруги і струму за допомогою вимірювальних перетворювачів (ВП).

3.1.2. Оволодіти методами розрахунку основних типів ВП при побудові на їх основі засобів вимірювання в колах змінного і постійного струму.

3.1.3. Знати призначення і область застосування основних типів ВП.

3.2 Загальні теоретичні відомості

Вимірювальні перетворювачі – засоби вимірювання, призначені для виробітку сигналу вимірювальної інформації в зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки та (або) зберігання формі, але не підлягаючій безпосередньому сприйняттю спостерігача. В електричних ВП вхідна X і вихідна Y величини зв'язані залежністю

$$Y=f(X), \quad (3.1)$$

яка називається рівнянням перетворення.

До ВП з рівнянням перетворення (3.1) відносяться шунти, додаткові резистори, дільники струму та напруги, вимірювальні трансформатори, детектори, термперетворювачі та інше.

3.2.1. Шунти та додаткові резистори.

Шунт являється найпростішим вимірювальним перетворювачем струму та напруги. Він являє собою резистор з чотирма затискачами. Два вхідних затискача, до яких підводиться струм, називається струмовим, а два вихідних затискача, з яких знімається напруга, називаються потенційними. До потенційних затискачів зазвичай приєднують вимірювальний механізм (ВМ) приладу.

Шунти призначаються для розширення меж вимірювання ВМ струму, при цьому велику частину вимірювального струму пропускають через шунт, а меншу через ВМ. Шунти мають невеликий опір і застосовуються, головним чином, в колах постійного струму з магнітоелектричними ВМ. При цьому опір шунта буде дорівнювати

$$R_{III} = \frac{R_{II}}{n-1}, \quad (3.2)$$

де $n = \frac{I}{I_{II}}$ - коефіцієнт шунтування;

I – вимірювальний стум;

I_{II} – струм через ВМ;

R_{II} – опір ВМ.

Чутливість амперметра, що складається з ВМ і шунта, можна виразити як

$$S_I^A = S_I^{BM} \left[1 + \frac{R_{II}}{R_{III}} \right]^{-1}, \quad (3.3)$$

де S_I^{BM} – чутливість ВМ по струму;

R_{II}, R_{III} – опір ВМ і шунта.

Додаткові резистори являються вимірювальними перетворювачами напруги в струм, а на значення струму безпосередньо реагують вимірювальні механізми стрілочних вольтметрів усіх систем, за виключенням електростатичної та електронної. Додаткові резистори призначені для розширення меж вимірювання по напрузі вольтметрів різних систем та інших приладів, що мають паралельні кола, що підключаються до джерела напруги. Додатковий резистор підключають послідовно з ВМ. Величина опору додаткового резистора буде вимірюватися як

$$R_{\vartheta} = R_{II}(m-1), \quad (3.4)$$

де $\frac{U}{U_{II}}$ - коефіцієнт ділення;

U – вимірювальна напруга;
 U_{II} – межа вимірювання ВМ;
 R_{II} – опір ВМ.

Чутливість вольтметра з додатковим резистором буде дорівнювати

$$S_U^V = \frac{S_I^{BM}}{R_\partial}, \quad (3.5)$$

де S_I^{BM} – чутливість ВМ по струму;
 R_∂ – опір додаткового резистора.

3.2.2. Дільники напруги

Розширення меж вимірювань ВМ електростатичної системи проводиться з допомогою дільників напруги як на постійному так і на змінному струмах.

На постійному струмі використовують в основному дільники напруги. Для кіл, зображених на рис. 3.1, можна записати

$$U = U_{II} \left[1 + \frac{R_1}{R_{II}} + \frac{R_1}{R_2} \right]. \quad (3.6)$$

Найчастіше $R_{II} \gg R_1$, тоді

$$U = U_{II} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right), \quad (3.7)$$

де U – вимірюєма напруга;
 U_{II} – межа вимірювання ВМ;
 R_1, R_2 – опір дільника;

На змінному струмі для розширення меж вимірювання використовують додаткові конденсатори або ємнісні дільники напруги.

Для кола, зображеного на рис. 3.2, можна записати

$$U = U_{II} \left[\frac{(C_{II} + C_\partial)}{C_\partial} \right], \quad (3.8)$$

де U – вимірюєма напруга;

U_{II} – напруга на ВМ;

C_{II} – ємність ВМ;

C_0 – ємність додаткового конденсатора.

Ємність ВМ C_{II} змінюється в залежності від показів вольтметра, тому що з підключенням конденсатора змінюється відношення $\frac{U}{U_{II}}$, що впливає на характер шкали. Крім того,

конденсатори мають втрати, що залежать від частоти. Отже, при включенні вольтметра через додатковий конденсатор похибки вимірювання збільшуються.

Найкраще для розширення меж вимірювання електростатичних вольтметрів використовувати дільник напруги (рис. 3.3). В цьому випадку будемо мати

$$U = U_{II} \left[\frac{(C_1 + C_2 + C_{II})}{C_2} \right]. \quad (3.9)$$

Якщо параметри ємнісного дільника вибрані так, що $C_1 \gg C_{II}$, то відношення $\frac{U}{U_{II}}$ практично не залежить від показів вольтметра і шкали приладу не спотворюється.

3.2.2. Вимірювальні трансформатори

Застосування шунтів для розширення меж вимірювання електромагнітних амперметрів нераціонально, так як це призводить до збільшення споживаної приладами потужності, громіздкості та високої вартості.

Межі вимірювання амперметрів розширюють за допомогою вимірювальних трансформаторів струму (ВТС). Первинна обмотка ВТС с меншим числом витків вмикається послідовно в коло вимірювального струму I_I , а до затискачів вторинної обмотки більшою кількістю витків під'єднується амперметр.

Вимірюємий струм I_x визначають шляхом множення показів амперметра на номінальний коефіцієнт трансформації струму K_{IH} , так як

$$I_X = I_2 K_{IH}. \quad (3.10)$$

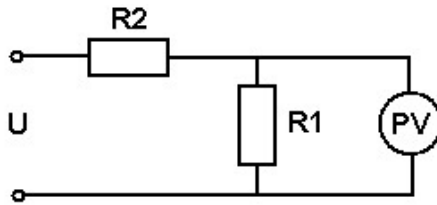


Рисунок 3.1 - Схема розширення діапазону вимірювання електростатичного вольтметра на постійному струмі

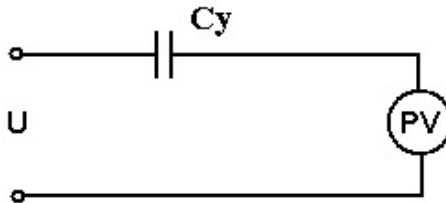


Рисунок 3.2 - Розширення меж вимірювання з допомогою додаткового конденсатора

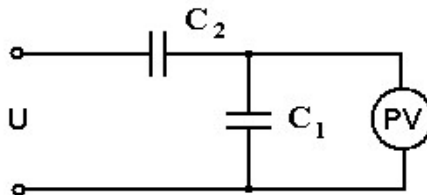


Рисунок 3.3 - Схема розширення діапазону вимірювання за допомогою ємнісного дільника

Для розширення меж вимірювання електромагнітних вольтметрів застосовують вимірювальні трансформатори напруги (ВТН). Первинну обмотку ВТН з малою кількістю витків підключають паралельно ділянці кола, на якому вимірюється напруга U_1 , вторинну обмотку з напругою U_2 і малою кількістю витків з'єднують з вольтметром.

Вимірюєма напруга U_X визначається шляхом множення показів вольтметра на номінальний коефіцієнт трансформації K_{UH} тобто

$$U_X = U_I = U_2 K_{UX}. \quad (3.11)$$

3.2.3. Детектори середньовипрямлених значень

При вимірюванні змінного стуму і напруги до 10 кГц використовується ВП магнітоелектричної системи разом з шунтом, додаткового резистора і детектора.

Детектор являє собою напівпровідникову схему одно- чи двонапівперіодного випрямляючого перетворювача.

На рисунок 3.4 представлена схема однонапівперіодного випрямляча. В колах однонапівперіодного випрямляча стум $I_{II}(t)$ через ВП, включений послідовно з діодом VD1, протікає тільки в додатні на півперіоди напруги $U(t)$. У від'ємні напівперіоди, для котрих опір діода VD1 дуже велике, струм протікає через діод VD2, захищаючи тим самим діод VD1 від пробую. Опір R , що ввімкнутий в коло встроеного діода і рівний опору ВМ $R = R_{II}$, створює вхідний опір кола в обох напрямках однаковим. Рухома частина ВМ із-за своєї інертності не встигає слідувати за миттєвими значеннями обертаючого моменту, тому реагує на середнє значення моменту

$$M = \frac{1}{T} \int_0^T m(t) dt = \frac{\Psi_0}{T} \int_0^T i(t) dt = \frac{2\Psi_0}{T} \int i_{II}(t) dt. \quad (3.12)$$

Враховуючи, що

$$I_0 = \frac{1}{T} \int_0^T i_{II}(t) dt, \quad (3.13)$$

тоді з формули (3.12) отримаємо

$$M = \Psi_0 I_0, \quad (3.14)$$

де Ψ_0 - потокозчеплення обмотки рамки ВМ при повороті її на кут $\alpha = 1$ рад;

I_0 - постійна складова стуму через рамку ВМ.

З рівності $M = W\alpha$, слідує, що

$$\alpha = \frac{\Psi_0 I_0}{W} = S_I I_0, \quad (3.15)$$

де $S_I = \Psi_0 W$ - чутливість ВМ по стуму;
 W – питомий протидіючий момент.

У випадку, якщо

$$i_{II}(t) = I_m \sin \omega t ,$$

$$I_0 = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} I_m \sin \omega t = \frac{I_m}{\pi} ,$$

тоді

$$\alpha = \frac{S_I I_m}{\pi} , \quad (3.16)$$

Шкалу приладу, який вимірює напругу, зазвичай градуують в середньоквадратичних значеннях синусоїдального сигналу, тому струм I_0 можна виразити через середньоквадратичне значення $I_{СКЗ}$ вимірююмого струму і коефіцієнт форми K_ϕ синусоїди

$$I_{II} = \frac{I_m}{\pi} = \frac{I_{СКЗ}}{2K_\phi} = 0,45I_{СКЗ} , \quad (3.17)$$

де $K_\phi = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11$.

При струмі повного відхилення I_K ВМ граничне середньоквадратичне значення вимірююмого струму

$$I = 2,22I_K , \quad (3.18)$$

В колі двонапівперіодного випрямлення з чотирма діодами (рис. 3.5) струм I_{II} , що проходить через ВМ, збільшується вдвоє в порівнянні зі струмом, що протікає через ВМ в колі однонапівперіодного випрямлення, а саме:

$$I_{II} = 0,9I_{СКЗ} . \quad (3.19)$$

З формули (3.19) граничне середньоквадратичне значення вимірююмого синусоїдального стуму

$$I = 1,11 \cdot I_{II} . \quad (3.20)$$

В схемах випрямляючих вольтметрів з однонапівперіодними випрямленнями при градуїровці шкали в середньоквадратичних значеннях вимірюємої напруги отримуємо

$$U = 2.22 \cdot U_{CBЗ}, \quad (3.21)$$

а в вольтметрах з двонапівперіодним випрямленням

$$U = 1.11 \cdot U_{CBЗ}, \quad (3.22)$$

де $U_{CBЗ}$ – середньовипрямлене значення вимірюємої напруги.

3.2.4. Термоелектричні перетворювачі

Термоелектричні вимірювальні перетворювачі мають квадратичну функцію перетворення: вихідна напруга (струм) прямо пропорційна квадрату вхідної напруги (струму).

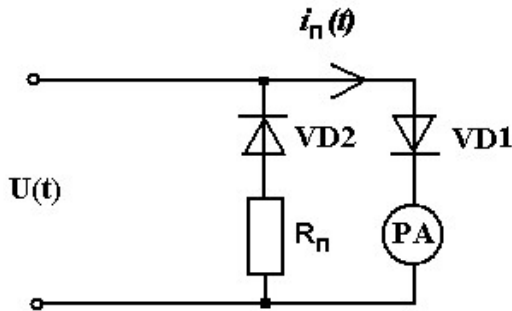


Рисунок 3.4 - Схема однонапівперіодного випрямлення

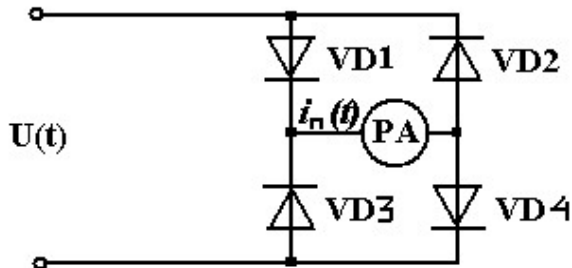


Рисунок 3.5 - Схема двонапівперіодного випрямлення

Конструктивно термоперетворювач складається з θ -нагрівача і однієї або декілька з'єднувальних батарей термопар, в котрих під дією тепла, виділяемого в нагрівачі струмом I_X , виникає термо-ЕРС E_T , котра в замкнутому колі термопар створює термоелектричний струм I_T . Нагрівач представляє собою тонкий провідник з нагрівостійкого матеріалу. Термопари створюють з різнорідних матеріалів або їх сплавів.

Нехай температура робочого сплаву термопар θ_1 , а температура холодних кінців θ_2 .

При $\theta_1 > \theta_2$ між кінцями термопар у відповідності з ефектом Зеебека виникає термо-ЕРС E_T , прямо пропорційна різниці температур $\theta_1 - \theta_2$.

Визначимо характер залежності між термо-ЕРС та вимірюємим струмом. Допустимо, що нагрівач термопари ввімкнутий в коло вимірюемого змінного струму $i_X(t)$. Тоді кількість тепла Q_H , яке виділяється в нагрівачі за період T змінного струму, буде дорівнювати

$$Q_H = R_H \int_0^T i_X(t) dt, \quad (3.23)$$

де R_H – активний опір нагрівача.

Тепло Q_0 , що відводиться від нагрівача за той же час T ,

$$Q_0 = cS\theta T, \quad (3.24)$$

де c – коефіцієнт тепловіддачі;

S – поверхня охолодження нагрівача;

$\theta = \theta_1 - \theta_2$ – різниця температур нагрівача θ_1 та навколишнього середовища θ_2 .

У встановленому режимі $Q_0 = Q_H$. Порівнюючи (3.23) і (3.24) і виражаючи θ , отримуємо

$$\theta = \frac{R_H}{cST} \int_0^T i_X^2(t) dt = \frac{i_X^2 R_H}{cS}, \quad (3.25)$$

Де i_X – середньоквадратичне значення струму.

Оскільки E_m прямопропорційно θ , то рівняння термоелектричного перетворювача буде мати вигляд

$$E_T = kI_x^2, \quad (3.26)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від конструктивних параметрів і термоелемента.

3.3 Задачі для самостійного розв'язання

3.3.1. Розрахувати шунт для амперметра на межу вимірювання струму I_K . Опір рамки r_p . Опір спіральних пружин $2r_{СП}$. Для зменшення температурної похибки послідовно з рамкою включений додатковий резистор R_D . Спад напруги на шунті $U_{Ш}$. Скласти розрахункову схему. Данні зведені у відповідності з варіантами в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1

Варіант	0	1	2	3	4
I_K, A	1	2,5	5	7,5	10
$R_p, Ом$	0,25	0,4	0,2	0,5	0,6
$2R_{СП}, Ом$	75	1,0	0,8	0,9	1,2
$R_D, Ом$	0,5	1,2	1,5	1,2	1,3
$U_{Ш}, мВ$	75	150	150	75	50
Варіант	5	6	7	8	9
I_K, A	2,5	5	7,5	10	1
$R_p, Ом$	0,5	0,3	0,6	0,7	0,2
$2R_{СП}, Ом$	0,8	0,75	0,65	1,5	0,5
$R_D, Ом$	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
$U_{Ш}, мВ$	75	100	125	150	50

3.3.2. Мілівольтметр з кінцевим значенням шкали 75мВ і внутрішнім опором 10 Ом використаний в якості амперметра для наступних меж вимірювання I_K . Визначити опір шунта. Скласти розрахункову схему.

Данні зведені у відповідності з варіантами в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2

Варіант	1	2	3	4	5
I_K, A	15		30		100
I_K, mA		150		100	
Варіант	6	7	8	9	10
I_K, A		150		75	
I_K, mA	75		30		15

3.3.3. Амперметр з межею вимірювання I_K через ВТТ з коефіцієнтом трансформації K_{IH} включений в лінію. Шкала амперметра має α_K поділок. Покази амперметра в поділках шкали α . Визначити покази амперметра в амперах.

Данні зведені в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3

Варіант	0	1	2	3	4
I_K, A	2,5	5	1,5	2	1
K_{IH}	50/5	20/5	1000/5	200/5	1000/5
α_K	100	100	50	100	100
α	84	92	43	75	37
Варіант	5	6	7	8	9
I_K, A	2,5	5	1,5	2,0	1,0
K_{IH}	1000/10	50/5	20/5	200/5	100/5
α_K	100	100	50	100	100
α	60	70	80	40	30

3.3.4. Для вимірювання напруги U в лінію через ВТС з коефіцієнтом трансформації K_{UH} включений вольтметр з кінцевим значенням шкали U_K . Шкала вольтметра має α_K поділок. Визначити покази вольтметра в поділках шкали α .

Данні зведені в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4

Варіант	1	2	3	4	5
$U, kВ$	3,3	4,2	12,4	2,3	5,4
K_{UH}	$\frac{6000}{100}$	$\frac{6000}{100}$	$\frac{9000}{150}$	$\frac{12000}{150}$	$\frac{8000}{100}$
$U_K, В$	75	150	300	30	75
α_K	150	150	150	150	150
Варіант	6	7	8	9	10
$U, kВ$	3,3	4,2	10	2,0	5,1
K_{UH}	$\frac{6000}{100}$	$\frac{6000}{100}$	$\frac{9000}{150}$	$\frac{12000}{150}$	$\frac{8000}{100}$
$U_K, В$	80	90	100	110	120
α_K	100	100	150	150	150
Варіант	11	12	13	14	15
$U, kВ$	75	150	300	30	75
K_{UH}	$\frac{6000}{100}$	$\frac{9000}{150}$	$\frac{12000}{150}$	$\frac{8000}{100}$	$\frac{6000}{150}$
$U_K, В$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
α_K	150	150	150	100	100

3.3.5. Для розширення межі вимірювання електростатичного вольтметра з напругою від U_{II} до U використовується ємнісний дільник (мал. 3.3) напруги. Визначити ємність C_1 , якщо відомі C_2 та C_{II} .

Данні зведені в таблицю 3.5

Таблиця 3.5

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_{II}, В$	100	200	300	400	100	200	300	400	100
$U, kВ$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_2, nФ$	500	600	700	800	500	600	700	800	900
$C_{II}, nФ$	30	40	50	60	70	80	90	100	50

3.3.6. Визначити покази магнітоелектричного ВП з детектором середньовипрямлених значень і з термоперетворювачем при вимірюванні струму $i(t)=I_0=I_m \cdot \sin 314t$.

Данні зведені в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_0, A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I_m, A	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

3.4 Завдання для самопідготовки до практичного заняття №4

3.4.1. Закінчити розв'язок задачі для самостійного розв'язання по заданому варіанту, якщо вони повністю не розв'язані на занятті.

3.4.2. Підготувитися до виконання 10–хвилинної контрольної роботи, для чого ознайомитися з варіантами задач, приведеними в описі змісту практичного завдання №4, і повторити теоретичний матеріал по темі минулих занять.

3.5. Аудиторна контрольна робота по темі практичного заняття №2.

Типові приклади задач

3.5.1. Визначити відносну похибку вимірювання активної потужності ватметром. Зі шкали приладу отримані $K_W, U_K, I_K, \alpha_K, \alpha$. Результат вимірювання записати в стандартній формі.

3.5.2. Визначити відносну похибку вимірювання опору резистора, якщо воно вимірювалося методом амперметра – вольтметра. Зі шкали отримано: $K_b, I_K, \alpha_K, \alpha_b, K_U, U_K, \alpha_U$. Результат вимірювання записати в стандартній формі.

3.5.3. При повірці амперметра з I_K в точках шкали I отримали покази зразкового приладу I_0 . Визначити клас точності амперметра. Побудувати графік похибок.

3.5.4. Після ремонту вольтметра класу точності K_U з межою вимірювання U_K провели перевірку основної похибки.

Найбільша абсолютна похибка ΔU . Чи зберіг вольтметр після ремонту свій клас точності?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки до практичних занять з курсу "«Метрологія», «Метрологія і вимірювання», «Основи метрології та електровимірювальна техніка» / укладач : Б. К. Лопатченко. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – Ч. 1. – 35 с.

2. Метрологія та вимірювальна техніка. За редакцією Є.С. Поліщука. – Львів: видавництво „Бескід Біт”, 2003 р.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для виконання практичних робіт
із дисциплін
«Вступ до техніки вимірювань»,
«Метрологія ,стандартизація і управління якістю зв'язку»
для студентів спеціальностей
171 *«Електроніка»*,
172 *«Телекомунікації та радіотехніка»*
денної форми навчання

Відповідальний за випуск А. С. Опанасюк
Редактор Н. М. Мажура
Комп'ютерне верстання О. Є. Горячева

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 1,17. Обл.-вид. арк. 1,10.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.