

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ЩОДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ  
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
**«МЕТРОЛОГІЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, СЕРТИФІКАЦІЯ ТА  
УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ»**  
ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ПЕРШОГО (БАКАЛАВРСЬКОГО) РІВНЯ  
ДЕННОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ  
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 171 – «ЕЛЕКТРОНІКА»  
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ  
«ТЕХНОЛОГІЯ, ОБЛАДНАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВО  
ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ»

КРЕМЕНЧУК 2025

Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Метрологія, стандартизація, сертифікація та управління якістю» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня денної форми навчання зі спеціальності 171 – «Електроніка» освітньо-професійної програми «технологія, обладнання та виробництво електронної техніки»

Укладач к. т. н., доц. Д.В. Мосьпан

Рецензент к. т. н., доц. О.О. Юрко

Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол № 5 від 20 01.2025 року

Голова методичної ради



проф. Віктор Костін

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Перелік практичних робіт.....	7
Практична робота № 1 Похибки вимірювань .....	7
Практична робота № 2 Характеристики чутливості електричних приладів .....	21
Практична робота № 3 Характеристики точності засобів вимірювання.....	24
Практична робота № 4 Вимірювання сили струму та напруги .....	32
Практична робота № 5 Вимірювання опору, ємності та індуктивності.....	42
Практична робота № 6 Вивчення порядку роботи з нормативними документами.....	52
Практична робота № 7 Аналіз показників якості продукції, складання їх номенклатури .....	58
Практична робота № 8 Дослідження показників якості продукції. Розрахунок співвідношення ціна/якість.....	62
2 Критерії оцінювання знань студентів.....	72
Список літератури .....	73

## ВСТУП

Розвиток науки і техніки завжди був пов'язаний з прогресом у сфері вимірювань. У фізиці, механіці та інших науках вимірювання дозволяли точно встановити залежність, виражаючи об'єктивні закони природи. Кожному новому відкриттю у сфері природничих наук передувала значна кількість різноманітних вимірювань.

Важливе значення вони мають і для створення нових машин, будівель, підвищуючи якість продукції та ефективність підприємств. Проблема підвищення якості продукції та ефективності підприємств розв'язується завдяки автоматизації технологічних процесів, і успіх у всьому залежить від точності та своєчасності отримання вимірювальної інформації під час технологічного прогресу.

Прогрес у розвитку засобів електровимірювальної техніки останнім часом був забезпечений у результаті подальшого розвитку теорії вимірювань, широкого використання останніх досягнень мікроелектроніки, автоматичної, вимірювальної техніки.

Пропоновані методичні вказівки сприяють закріпленню теоретичних знань, отриманих на лекціях, набуттю практичних навичок розрахунків фізичних величин, проведенню розрахунків тих чи інших параметрів електричних кіл з використанням сучасних вимірювальних приладів, а також умінню аналізувати та обробляти результати вимірювань.

Для проведення кожного практичного заняття студенти повинні завчасно підготуватися: вивчити відповідні розділи теоретичного курсу, ознайомитися з методичними вказівками та зрозуміти мету практичного заняття.

Метою викладання навчальної дисципліни є ознайомлення студентів з основними вимогами й критеріями проведення вимірювання певних фізичних величин, які характеризують різноманітні параметри фізичних процесів, описувати правила побудови вимірювальних кіл та проведення обробки

отриманих результатів вимірювання, а також мати можливість самостійно визначати вимірювальні пристрої, які будуть оптимальнішими для проведення процесу вимірювання.

Вивчення навчальної дисципліни надає можливість здобути компетентності, потрібні для подальшої професійної діяльності:

ЗК3. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК10. Навички здійснення безпечної діяльності.

ЗК11. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

СК2. Здатність виконувати аналіз предметної області та нормативної документації, необхідної для проектування та застосування приладів, пристроїв та систем електроніки.

СК10. Здатність застосовувати на практиці галузеві стандарти та стандарти якості функціонування пристроїв та систем електроніки.

СК12. Здатність вирішувати інженерні задачі в галузі електроніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва електронних апаратів, пристроїв та систем генерування, індикації та вимірювання фізичних полів технічних і біологічних об'єктів, в тому числі – медичної апаратури.

РН6. Застосовувати експериментальні навички (знання експериментальних методів та порядку проведення експериментів) для перевірки гіпотез та дослідження явищ електроніки, вміти використовувати стандартне обладнання, планувати, складати схеми; аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати.

РН12. Використовувати документацію, пов'язану з професійною діяльністю, із застосуванням сучасних технологій та засобів офісного устаткування; використовувати англійську мову, включаючи спеціальну

термінологію, для спілкування з фахівцями, проведення літературного пошуку та читання текстів з технічної та фахової тематики.

PH14. Дотримуватися норм сучасної української ділової та професійної мови.

PH15. Виявляти навички самостійної та колективної роботи, лідерські якості, організувати роботу за умов обмеженого часу з наголосом на професійну сумлінність.

PH16. Застосовувати розуміння теорії стохастичних процесів, методи статистичної обробки та аналізу даних при розв'язанні професійних завдань.

PH17. Демонструвати навички проведення експериментальних досліджень, пов'язаних з професійною діяльністю; вдосконалювати методики вимірювання; контролювати достовірність отриманих результатів; систематизувати та аналізувати дані, отримані експериментальним шляхом.

PH19. Розробляти технічні засоби для побудови та діагностування технічного стану електронних пристроїв та систем генерування, індикації та вимірювання фізичних полів технічних і біологічних об'єктів, в тому числі – медичної апаратури, організувати та проводити плановий та позаплановий ремонт, налагодження та переналагодження у відповідності до поточних вимог виробництва.

# 1 ПЕРЕЛІК ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

## Практична робота № 1

### Тема. Похибка вимірювань

**Мета:** вивчити основні методи вимірювань і похибки вимірювань.

У результаті виконання практичної роботи студенти повинні:

- знати теоретичні основи організації проведення вимірювань;
- уміти проводити розрахунки для визначення точності вимірювань.

### Короткі теоретичні відомості

*Вимірюванням* називають процес визначення розміру фізичної величини за допомогою спеціальних технічних засобів унаслідок дослідного порівняння його з розміром іншої (відомої) фізичної величини, одноіменної з поданою.

Розрізняють *прямі* вимірювання (коли значення фізичної величини отримують безпосередньо за показаннями шкали засобу вимірювання) і *непрямі* вимірювання (коли значення фізичної величини розраховують за відомими формулами на підставі даних прямих вимірювань інших фізичних величин).

Можливість вимірювання ґрунтується на кількох *постулатах*. Перший постулат стверджує, що будь-яка фізична величина  $A$  має певний розмір, що чисельно виражається його *істинним значенням*  $A_{іст}$ . За другим постулатом, істинне значення фізичної величини є сталим.

Третій постулат установлює, що *результат спостереження*  $A$  з різних причин завжди відрізняється від істинного значення.

Різницю між істинним значенням і результатом вимірювання називають *абсолютною похибкою* вимірювання:

$$\Delta A = A - A_{іст}, \quad (1.1)$$

а її відношення до  $A_{іст}$  – *відносною похибкою*  $\delta\delta A$ . Відносну похибку часто виражають у відсотках:

$$\delta\delta A = \frac{A - A_{іст}}{A} \cdot 100 \% \quad (1.2)$$

Для *прямих повторних вимірювань* фізичної величини  $A$  проводять декілька ( $n$ ) ідентичних спостережень цієї величини й отримують ряд числових значень  $A_1, A_2, \dots, A_k, \dots, A_n$ . Послідовність цих значень називають *вибіркою* результатів окремих спостережень.

Через вплив випадкових неврахованих чинників (коливання температури, тиску, напруги тощо) дані окремих спостережень (числа  $A_k$ ) флюктують навколо деякого значення  $M(A)$ , відмінного від істинного значення  $A_{іст}$ .

Різницю  $\Delta = A - A_{іст}$  називають *систематичною похибкою*. Флюктуації величин  $A_k$  є випадковими й складають *випадкову похибку*  $\Delta^0 = A_{кк} - MM(A)$ .

Систематичні похибки  $\Delta$  є сталими або ж змінюються за певним законом під час повторних вимірювань однієї й тієї самої величини, тому їх можна виявити і ліквідувати або врахувати.

Випадкові похибки  $\Delta^0$  під час повторних вимірювань змінюються хаотично. Їх не можна позбутися дослідним шляхом, але можна зменшити внаслідок багаторазових повторних вимірювань за ідентичних умов.

Випадкові похибки описують способом визначення виду та параметрів закону розподілу ймовірності цієї похибки. Найчастіше випадкова похибка розподілена за нормальним законом:

$$\rho(\Delta^0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{\Delta^0{}^2}{\sigma^2}\right) \quad (1.3)$$



Середнє значення квадрата випадкової похибки називають *дисперсією*, а корінь квадратний з дисперсії – *середньоквадратичним відхиленням* (СКВ) величини  $A$ .

Для нормально розподіленої похибки СКВ дорівнює  $\sigma$ ; величину  $\varepsilon\varepsilon = 2\sigma/3$  у такому разі називають *ймовірною похибкою*, оскільки ймовірність появи похибки, меншої, ніж  $\varepsilon\varepsilon$ , дорівнює ймовірності появи похибки, більшої, ніж  $\varepsilon\varepsilon$ .

### Оцінювання результатів багаторазових вимірювань

Часто параметри закону розподілу (математичне очікування та дисперсія величини  $A$ ) невідомі. У такому разі найефективнішою оцінкою математичного очікування випадкової величини  $A$  є її вибіркове середнє арифметичне значення:

$$A_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n A_k \quad (1.4)$$

Вибіркова дисперсія  $\sigma^2$  у такому разі є не виправленою (зміщеною) оцінкою дисперсії:

$$\sigma^2 = \sum_{k=1}^n \frac{(A_k - A_n)^2}{n} \quad (1.5)$$

Виправленою (незміщеною) оцінкою дисперсії результатів окремих спостережень є величина:

$$s^2 = \sum_{k=1}^n \frac{(A_k - A_n)^2}{n-1} \quad (1.6)$$

Середнє значення  $A_n$ , як і окремий результат спостереження  $A_k$ , – величина випадкова, але його дисперсія менша в  $n$  разів, тобто ефективною оцінкою дисперсії середнього значення є величина:

$$s^2 = \frac{s^2}{n} = \sum_{k=1}^n \frac{(A_k - A_n)^2}{n(n-1)} \quad (1.7)$$

Остаточний результат багаторазових спостережень записують у вигляді *довірчого інтервалу* – області значень величини  $A$ , яка з довірчою ймовірністю  $P$  накриває істинне значення величини  $A$ :

$$A = A_n \pm t_n \cdot s_n, \quad (1.8)$$

де  $t_n$  – коефіцієнт Стюдента, який визначається за спеціальними таблицями і залежить від довірчої ймовірності  $P$  і числа спостережень  $n$ .

Таблиця 1.1 – Коефіцієнти Стюдента

n	P								
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	1,0	1,38	2,0	3,1	6,3	1,27	31,8	63,7	636,8
5	0,74	0,94	1,2	1,5	2,1	2,8	3,7	4,6	8,6
10	0,70	0,88	1,1	1,4	1,8	2,3	2,8	3,3	4,8
15	0,69	0,87	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	3,0	4,1

### Приклад розв'язання задач

Унаслідок повторних багаторазових вимірюваннях опору  $R$  отримано 10 значень: 30,45; 30,52; 30,43; 30,49; 30,48; 30,50; 30,46; 30,51; 30,47; 30,49 Ом.

Виконати обробку результатів вимірювань і визначити найбільш імовірне значення опору та довірчий інтервал, який відповідає довірчій ймовірності  $P = 0,95$ .

### Розв'язання

Обчислимо суму результатів окремих спостережень, випадкові відхилення результатів окремих спостережень  $\Delta_i = R_i - R$  і суму квадратів цих відхилень зведемо до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати окремих спостережень

$R_i, \text{ Ом}$	$\Delta_i, \text{ Ом}$	$\Delta_i^2, \text{ Ом}^2$	$R_i, \text{ Ом}$	$\Delta_i, \text{ Ом}$	$\Delta_i^2, \text{ Ом}^2$
30,45	-0,03	0,0009	30,46	-0,02	0,0004
30,52	+0,04	0,0016	30,51	+0,03	0,0009
30,43	-0,05	0,0025	30,47	-0,01	0,0001
30,49	+0,01	0,0001	30,49	+0,01	0,0001
30,48	0,00	0,0000	$\sum R_i = 304,8 \text{ Ом}$		$\sum \Delta_i^2 =$ $0,0070 \text{ Ом}^2$
30,50	+0,02	0,0004			

За даними таблиці обчислимо середнє арифметичне значення:

$$R = \sum R_i / 10 = 30,48 \text{ Ом},$$

та середньоквадратичне відхилення окремого спостереження:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2} \approx 0,028 \text{ Ом}.$$

Імовірна похибка окремого вимірювання:

$$\rho = \frac{2}{3} s \approx 0,019 \text{ Ом}.$$

Середньоквадратичне відхилення результату вимірювань:

$$s_n = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2} \approx 0,009 \text{ Ом}.$$

Коефіцієнт Стьюдента  $t_n(P) = 2,3$  для  $n = 10$ ;  $P = 0,95$ .

Найбільша можлива похибка результату вимірювання:

$$t_n(P) \cdot s_n \approx 0,020 \text{ Ом}.$$

Результат вимірювань:  $R = 30,480 \pm 0,020 \text{ Ом}$ .

### Завдання до теми

1. За даними аналізу результатів вимірювання опору одинарним мостом постійного струму, похибка вимірювання є переважно випадковою.

2. Скільки потрібно зробити спостережень, щоб визначити опір з точністю до 0,1 %, якщо клас точності приладу 1,0?

3. Зроблено вибірку ( $n = 100$  шт.) радіоламп з великої партії цих приладів. За даними випробувань, середній термін служби радіолампи дорівнює 5000 год. Знайдіть довірчий інтервал для середнього терміну служби ламп із цієї партії з імовірністю  $P = 0,95$ , якщо середнє квадратичне відхилення становить 40 год.

4. Зроблено 10 незалежних вимірювань випадкової величини  $X$ , розподіленої за нормальним законом з невідомими параметрами розподілу, і отримано такі результати: 2,5; 2,0; - 2,3; 1,9; - 2,1; 2,4; 2,3; - 2,5; 1,5; - 1,7. Знайдіть оцінку математичного очікування і дисперсії величини  $X$ , а також довірчий інтервал, який відповідає імовірності  $P = 0,99$ .

5. Виконано 12 вимірювань напруги радіосигналу одним і тим самим приладом, що не має систематичної похибки. Вибіркове середнє квадратичне відхилення  $S$  випадкових похибок виявилось таким, що дорівнює 0,6 В. Знайдіть межі випадкової похибки приладу з імовірністю 0,99.

6. Виконано п'ять вимірювань деякої фізичної величини одним і тим самим приладом, що не має систематичної похибки, і отримано такі результати: 92; 94; 103; 105; 106. Визначити оцінку математичного сподівання, вибіркoву ( $\sigma^2$ ) і виправлену ( $s^2$ ) дисперсію результатів вимірювання.

7. За даними атестації, виправлене середнє квадратичне відхилення радіовисотоміра складає  $\sigma = 15$  м. Скільки потрібно таких висотомірів, щоб з надійністю  $P = 0,99$  похибка середнього значення висоти не перевищувала 30 м, якщо похибки радіовисотомірів є випадковими і розподілені за нормальним законом?

8. За даними перевірки, похибка деякого мілівольтметра є випадковою і розподілена за нормальним законом з дисперсією  $\sigma^2 = 16$  (мВ)<sup>2</sup>.

Яка ймовірність того, що серед п'яти незалежних вимірювань похибка перевищить за модулем 6 мВ не менше трьох разів?

9. За даними перевірки, похибка деякого мілівольтметра є випадковою і розподілена за нормальним законом з дисперсією  $\sigma^2 = 16$  (мВ)<sup>2</sup>. Яка ймовірність того, що серед п'яти незалежних вимірювань похибка опиниться в інтервалі 0,5–3 мВ не менше одного разу?

10. Під час вимірювання деякої фізичної величини відносно середнє квадратичне відхилення результату окремого вимірювання складає 2,5 %.

Скільки потрібно зробити вимірювань, щоб похибка результату вимірювань не перевищувала 1,2 % з імовірністю  $P = 0,95$ ? Опір вимірюється омметром, середнє квадратичне відхилення якого за результатами атестації дорівнює  $\sigma^2 = 0,017$  Ом (для цього діапазону).

11. Вимірювання хдійснюють протягом 10 незалежних спостережень, вважаючи, що похибка результату вимірювань не перевищує 0,01 Ом за абсолютною величиною. Яка імовірність такого результату?

12. Похибка побутових лічильників активної електроенергії складає в середньому 2 %. Оцінити рівень невизначеності обліку побутових витрат електроенергії містом з населенням 1 млн мешканців. Розглянути випадки, коли похибка лічильника є систематичною, і коли вона змінюється від приладу до приладу випадково. Уважати, що на чотирьох мешканців міста припадає один лічильник, а середня споживана потужність у розрахунку на одного мешканця складає 30 Вт.

13. Зроблено 8 незалежних вимірювань випадкової величини  $X$ , розподіленої за нормальним законом з невідомими параметрами розподілу, і отримано такі результати: 1,8; 2,1; – 2,5; 1,9; – 2,0; 2,4; 2,3; – 2,5. Знайдіть оцінку математичного очікування і дисперсії величини  $X$ , а також довірчий інтервал, який відповідає ймовірності  $P = 0,95$ .

14. Виконано 15 вимірювань напруги радіосигналу одним і тим самим приладом, що не має систематичної похибки.

Вибіркове середнє квадратичне відхилення  $S$  випадкових похибок виявилось таким, що дорівнює 0,8 В. Знайдіть межі випадкової похибки приладу з імовірністю 0,95.

15. Виконано п'ять вимірювань деякої фізичної величини одним і тим самим приладом, що не має систематичної похибки, і отримано такі результати: 90; 92; 104; 103; 106. Визначити оцінку математичного очікування, вибіркoву ( $\sigma^2$ ) і виправлену ( $s^2$ ) дисперсію результатів вимірювання.

16. Скільки потрібно зробити спостережень, щоб визначити опір з точністю до 0,1 %, якщо клас точності приладу 0,5?

17. Зроблено вибірку ( $n = 120$  шт.) транзисторів з великої партії цих приладів. За даними випробувань, середній термін служби дорівнює 3000 год. Знайдіть довірчий інтервал для середнього терміну служби транзисторів з цієї партії з надійністю  $P = 0,99$ , якщо середнє квадратичне відхилення становить 30 год.

### **Систематичні похибки та їх вилучення**

Розрізняють декілька видів систематичних похибок залежно від форми вияву та походження.

За формою вияву систематичні похибки класифікують на *постійні*, *прогресуючі*, *періодичні* та такі, що змінюються за складним законом (*складні похибки*).

За походженням систематичні похибки поділяють на *інструментальні* (похибки конструкції, виготовлення та старіння), похибки *установлення* обладнання, похибки *чинників впливу*, *суб'єктивні* та *методичні*.

Виявлення та усунення систематичних похибок називають *вилученням* систематичних похибок.

Постійні похибки можна виявити лише за допомогою інших, більш точних засобів вимірювання, зокрема, вимірюючи значення високоточних мір певної фізичної величини.

Для цього застосовують такі методи вилучення систематичної похибки, як метод *заміщення, компенсації за знаком і протиставлення*.

У методі заміщення на вхід засобу вимірювання подають сигнал вимірюваної величини, фіксуючи показання приладу, а потім – сигнал багатозначної міри.

Додбирають таке значення міри, за якого показання приладу будуть такими самими, як і під час вимірювання невідомої величини. Із цим значенням міри ототожнюють значення шуканої величини.

У методі компенсації за знаком виконують два вимірювання величини  $X$ , у яких систематична похибка має протилежний знак. Тоді середнє арифметичне результатів цих двох спостережень  $X_1$  і  $X_2$  буде позбавленим систематичної похибки:

$$X = (X_1 + X_2)/2. \quad (1.9)$$

Метод протиставлення застосовують, коли джерело похибки та характер його вплив на результат вимірювань відомі, але невідома, власне, величина похибки. У цьому методі виконують два вимірювання величини  $X$  так, щоб джерело похибки впливало на результат вимірювань у протилежних напрямках. Тоді складають систему двох рівнянь, із яких знаходять як величину  $X$ , так і величину систематичної похибки.

Прогресуючі похибки можна виявити, застосовуючи метод *симетричних спостережень*. Для цього вимірюють кілька разів через однакові проміжки часу почергово невідому величину та її міру. За припущення, що похибка змінюється за лінійним законом, обчислюють значення вимірюваної величини, розв'язуючи відповідну систему рівнянь.

Наприклад, розглянемо варіант триразових симетричних спостережень. У цьому разі спочатку вимірюють шукану величину, отримуючи значення  $X_1$ . Потім, заміщуючи шукану величину багатозначною мірою, додбирають таке значення міри  $X_m$ , за якого показання приладу також становитимуть  $X_1$ .

Через проміжок часу, однаковий з проміжком часу між першими двома спостереженнями, знову вимірюють шукану величину й отримують значення  $X_2$ .

Тоді шукана величина дорівнює:

$$XX = XX_M + (XX_2 - XX_1)/2. \quad (1.10)$$

Методичну похибку можна визначити, порівнюючи робочу модель об'єкта та засобів вимірювань з більш точною моделлю.

### Приклад розв'язання задач

Ртутний барометр з латунною шкалою градуювали за температури  $T_0 = 20^\circ \text{C}$ . За температури  $T = 38^\circ \text{C}$  барометр показує тиск 760 мм рт. ст.

Обчислити дійсне значення тиску і похибку вимірювань, знаючи, що коефіцієнт лінійного розширення латуні  $\alpha\alpha = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$ . Коефіцієнт об'ємного розширення ртуті  $\beta\beta = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ 1/K}$ .

### Розв'язання

Гідростатичний тиск стовпчика ртуті в барометрі дорівнює:

$$P = \rho gh,$$

де  $\rho$  – густина ртуті,  $h$  – висота стовпчика за температури вимірювання  $T$ .

Дійсне значення висоти стовпчика ртуті в барометрі під час вимірювання тиску:

$$h = h_0 \cdot [1 + \alpha(T - T_0)],$$

де  $h_0$  – висота позначки шкали, що відповідає показанням барометра, в умовах градуювання.

Густина ртуті під час вимірювання тиску:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \beta(T - T_0)},$$

де  $\rho_0$  – густина ртуті за температури градуювання барометра  $T_0$ .

Оскільки показання барометра  $P_0 = \rho_0 gh_0$ , то дійсне значення тиску:

$$P = \rho_0 gh_0 \frac{1 + \alpha(T - T_0)}{1 + \beta(T - T_0)} = P_0 \frac{1 + \alpha(T - T_0)}{1 + \beta(T - T_0)}.$$



Підставляючи дані умови задачі, отримаємо:

$$P = 760 \frac{1+1,9 \cdot 10^{-5}(38-20)}{1+1,8 \cdot 10^{-4}(38-20)} = 760 \frac{1,000342}{1,00324} = 757,8 \text{ мм рт. ст.}$$

### Завдання до теми

1. За результатами перевірки, абсолютна похибка вольтметра склала: + 1,5 В – за напруги 10 В; + 1,8 В – за напруги 20 В; + 1,0 В за напруги 30 В; + 1,2 В – за напруги 40 В; + 0,6 В – за напруги 50 В; + 0,8 В – за напруги 60 В; + 0,6 В – за напруги 70 В; + 1,0 В – за напруги 80 В; + 1,0 В – за напруги 90 В; + 0,7 В – за напруги 100 В. Визначити систематичну похибку та величину поправки для її усунення.

2. Для визначення опору за допомогою одинарного моста постійного струму використовують метод заміщення для усунення систематичної похибки. При цьому вимірюваний і зразковий опори по чергово вмикають до одного й того самого плеча приладу. Доведіть, що похибка нерівноплечості моста під час цього вилучається з результату вимірювань.

3. Для усунення систематичної похибки нерівноплечості під час визначення опору за допомогою одинарного моста постійного струму вимірювання виконують у два етапи. Під час першого вимірювання невідомий опір і зразкову міру опору вмикають до протилежних плечей порівняння, а під час другого – їх міняють місцями. Складіть рівняння вимірювання та визначте метод вимірювання.

4. Опір  $R_x$  вимірюють одинарним мостом за однакового номінального значення опору обох плечей відношення:  $R_2 = R_3 = 1000 \text{ Ом}$ . Рівновага досягається тоді, коли опір плеча порівняння  $R_4 = 1000,4 \text{ Ом}$ . Після того, як  $R_x$  та  $R_4$  поміняли місцями, міст урівноважили при  $R_4 = 1000,2 \text{ Ом}$ . Визначити значення опору  $R_x$  і дійсне відношення плечей моста  $k = R_2 / R_3$ .

5. Перевіряється міра опору номіналом  $R = 100 \text{ Ом}$  за допомогою одинарного моста постійного струму, зразкового опору з дійсним значенням  $R_0 = 100,008 \text{ Ом}$  і додаткового опору  $R_1 = 0,010 \text{ Ом}$ . Для цього урівноважили

міст з опором  $R$ , а потім, тричі вмикаючи та вимикаючи джерело живлення моста, зробили три відліки показань нуль-індикатора:  $+ 1,0$ ;  $+ 0,3$  та  $+ 1,4$  поділки. Коли опір  $R$  замінили зразковим опором  $R_0$ , не змінюючи положення декадних перемикачів, стрілка нуль-індикатора відхилилася під час трьох вимірювань відповідно на  $+1,5$ ;  $+0,3$  та  $+1,2$  поділки. Під час вимірювання послідовно з'єднаних опорів  $R$  та  $R_1$  стрілка відхилилася на  $+ 1,8$ ;  $+ 0,5$  та  $+ 1,1$  поділки. Оцініть дійсне значення опору міри та поясніть порядок дій.

6. Для вимірювання на рівноплечих технічних терезах тягар був урівноважений важками загальною масою  $M_1 = 25,4$  г. Коли тягар і важки поміняли місцями, для врівноваження терезів довелося збільшити масу важків до  $M_2 = 25,6$  г. Визначити відношення довжин плечей терезів і поправковий множник.

7. Оцінити відносну похибку вимірювання напруги вольтметром, яку отримують, нехтуючи провідністю вольтметра. Вимірювання виконують за схемою, зображеною на рисунку 1.1.

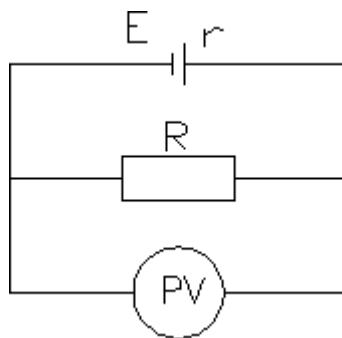


Рисунок 1.1 – Схема електрична принципова вимірювання напруги вольтметром

8. Термопару «хромель–алюмель» завдовжки 1 м, виготовлену з дроту діаметром 0,3 мм, приєднано до гальванометра класу точності 0,5 з внутрішнім опором  $R = 2970$  Ом і струмом повного відхилення рухомої частини

$I_{mm} = 10$  мкА. Визначити діапазон вимірювань температури такого термоелектричного термометра та межі допустимої основної похибки.

Уважати, що середня диференціальна термо-ЕРС становить 42 мкВ/К, а питомий опір дротів – 1,2 (Ом-мм<sup>2</sup>)/м.

9. До затискачів батареї елементів живлення з ЕРС  $E = 5$  В і внутрішнім опором  $r = 1$  Ом приєднали вольтметр на 7,5 В. Струм повного відхилення рамки вимірювального механізму  $I = 75$  мА. Визначити показання вольтметра і похибку вимірювання ЕРС джерела живлення.

10. До кола, опір якого складає 49 Ом, увімкнули джерело постійного струму з ЕРС  $E = 10$  В і внутрішнім опором  $r = 1$  Ом та амперметр з опором  $R_A = 1$  Ом. Обчислити показання амперметра та струм у колі за його відсутності. Визначити та класифікувати похибку.

11. У схемі на рисунку 1.2:  $E = 5$  В;  $R_1 = 5$  Ом;  $R_2 = 4$  Ом;  $r = 2$  Ом. Для вимірювання сили струму до кола ввімкнули амперметр з внутрішнім опором  $R_A = 0,1$  Ом. Яка систематична похибка виникла внаслідок цього?

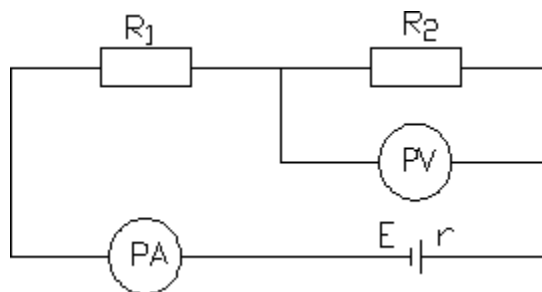


Рисунок 1.2 – Схема електрична принципова вимірювання сили струму

12. У схемі на рисунку 1.2:  $E = 5$  В;  $R_1 = 50$  Ом;  $R_2 = 40$  Ом;  $r = 2$  Ом. Для вимірювання сили струму до кола ввімкнули вольтметр з внутрішнім опором  $R_V = 1000$  Ом. Яка систематична похибка виникла внаслідок цього?

13. Як зміниться сила струму в обмотці магнітоелектричного вимірювального механізму, якщо температура оточення зросте на 300С?

Прилад має додатковий опір з манганіну і розрахований на вимірювання напруги до 75 В. Обмотка рамки виготовлена з міді й має опір 500 Ом за 200С. Додатковий опір за цих умов дорівнює 30 кОм. Температурний коефіцієнт опору (ТКО) манганіну –  $1,5 \cdot 10^{-5}$  1/К; ТКО міді  $-1/273$  1/К.

14. Маятник годинника рf температурb  $T_0$  має довжину  $l_0$ , і годинник іде правильно. Як зміниться хід годинника за температури  $T_1 = T_0 + 10^\circ \text{C}$ , якщо температурний коефіцієнт лінійного розширення матеріалу маятника складає  $1,2 \cdot 10^{-5}$  1/К?

15. Визначити похибку вимірювання довжини латунного стрижня стальним штангенциркулем за температури  $T_1 = -25^\circ \text{C}$ , якщо штангенциркуль градуювали за  $T_0 = +20^\circ \text{C}$ . Коефіцієнт лінійного теплового розширення сталі  $\alpha\alpha_0 = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ .

16. Геодезична мірна стрічка завдовжки 75 м виготовлена з інвару, термічний коефіцієнт розширення якого  $\alpha\alpha_1 = 9 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$ . Як зміниться її довжина зі зниженнями температури від нормальної ( $T_0 = +20^\circ \text{C}$ ) до  $T = -20^\circ \text{C}$ ? Як зміниться величина похибки, якщо стрічку виготовити зі сталі ( $\alpha\alpha_2 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ )? Порівняйте відносні похибки.

17. Стальний стрижень під час обробки на токарному верстаті нагрівається до  $T_1 = +90^\circ \text{C}$ . За  $T_0 = +20^\circ \text{C}$  він повинен мати діаметр 5 см у межах допуску  $\pm 10$  мкм. Чи потрібно враховувати нагрівання стрижня під час контрольного вимірювання діаметра стрижня під час обробки? Коефіцієнт лінійного теплового розширення сталі  $\alpha\alpha_0 = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ .

18. Скляні ртутні термометри градуують за стандартних умов з повним зануренням у рідину зі змінною температурою. Довжина латунної шкали 18 см, діапазон вимірювання термометра  $0 - 100^\circ \text{C}$ . Шкалу прикріплено до корпусу у верхній частині термометра на відстані 4 см від позначки « $100^\circ$ ». Під час поточного вимірювання температури кипіння води термометр занурили у киплячу воду лише до нульової позначки шкали.

Визначити показання термометра, якщо коефіцієнт лінійного розширення латуні  $\alpha_1 = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ , кварцевого скла –  $\alpha_2 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , а коефіцієнт об'ємного розширення ртуті  $\beta = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ .

19. Циліндричну посудину заввишки 6 м наповнюють нафтою вночі за температури  $0^\circ \text{ C}$ . До якого рівня можна наповнити посудину, щоб нафта не переливалася через край удень, коли температура сягає  $+ 40^\circ \text{ C}$ ? Температурний коефіцієнт об'ємного розширення нафти  $\beta = 9,2 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ .

20. Термопару тарують, занурюючи у киплячу воду та суміш води з льодом. Якої похибки можна припуститися, обчислюючи диференціальну термо-ЕРС термопари без урахування атмосферного тиску, якщо останній може коливатися у межах від 720 до 770 мм рт. ст.? Точка кипіння води зростає на  $0,1^\circ \text{ C}$  з підвищенням тиску на 2,7 мм рт. ст.

21. Пілот установив на аеродромі барометричний альтиметр (вимірювач висоти) на нульову позначку. Під час польоту атмосферний тиск зріс на 10 мм рт. ст. Чи потрібно враховувати похибку альтиметра під час посадки літака?

### Контрольні питання

1. Назвіть основні сучасні види вимірювань.
2. Назвіть похибки вимірювань.
3. Охарактеризуйте вибірккову дисперсію.
4. Поясніть, як проводиться оцінювання результатів багаторазових вимірювань?
5. Поясніть вплив коефіцієнта Стюдента на результат вимірювання.

**Література:** [1, 3].

### Практична робота № 2

**Тема.** Характеристики чутливості електричних приладів

**Мета:** вивчення основних характеристик електричних приладів.

У результаті виконання практичної роботи студенти повинні:

- знати будову та характеристики вимірювальних приладів і пристроїв;
- уміти проводити розрахунки технічних параметрів приладів і вимірювальних ланцюгів.

### Короткі теоретичні відомості

Вимірювальні прилади характеризують величиною чутливості  $S$  і ціни поділки  $C$  (або ціни одиниці молодшого розряду для цифрових приладів).

*Ціна поділки* – це приріст вимірюваної величини  $A$ , виражений в одиницях її вимірювання, який спричиняє переміщення покажчика (стрілки) приладу на одну поділку:

$$C = \frac{\Delta A}{\Delta N} \quad (2.1)$$

*Чутливість* приладу – це величина відхилення покажчика (стрілки) приладу, спричинена зростанням вимірюваної величини  $A$  на одну одиницю її вимірювання. Чутливість  $S$  – величина, обернена ціні поділки:

$$S = \frac{1}{C} = \frac{\Delta N}{\Delta A} \quad (2.2)$$

### Завдання до теми

1. Міліамперметр розрахований на струм 1 – 500 мА і має чутливість до струму 0,2 поділ./мА. Визначити кількість поділок шкали, ціну поділки і силу струму, якщо стрілка міліамперметра відхилилася на 60 поділок.

2. Шкала амперметра з верхньою межею діапазону вимірювань 1 А розділена на 100 поділок.

Визначити ціну поділки і силу струму в ланцюзі, якщо показання амперметра становлять 50 поділок.

3. Визначити діапазон вимірювань і чутливість вольтметра зі шкалою на 150 поділок і ціною поділки 0,1 В/поділ.

4. Міліамперметр магнітоелектричної системи розраховано на струм силою до  $I = 500$  мА. Визначити чутливість приладу і кількість поділок шкали, якщо ціна поділки приладу 5 мА/поділ.

5. Ватметр зі шкалою на 75 поділок має перемикач діапазонів сили струму на 2,5 і 5 А і перемикач діапазонів напруги на 25, 150 і 300 В. Визначити ціну поділки і чутливість у різних положеннях перемикачів сили струму і напруги.

6. Міліамперметр на 200 мА із чутливістю до струму 0,5 поділ./мА має опір 2 Ом. Визначити чутливість цього приладу до напруги і силу струму, що тече у колі, якщо стрілка приладу відхилилася на 37 поділок.

7. Міліамперметр на 75 мВ зі шкалою 150 поділок має опір 5 Ом. Визначити ціну поділки і чутливість цього приладу до струму і напруги, а також потужність власного споживання з номінальним струмом.

8. Вимірювальний механізм магнітоелектричної системи має номінальну напругу 75 мВ і номінальний струм 15 мА. Шкала має 150 поділок. Визначити чутливість вимірювального механізму до напруги і струму.

9. Визначити чутливість до напруги магнітоелектричного вимірювального механізму на 6 мА з внутрішнім опором 10 Ом і шкалою на 120 поділок.

10. Вимірювальний механізм магнітоелектричної системи з внутрішнім опором 15 Ом і номінальним струмом 5 мА має шкалу на 150 поділок. Визначити чутливість цього приладу до струму та напруги.

11. Чутливий міліамперметр використовується як вольтметр. Визначити ціну поділки шкали цього приладу у вольтах, якщо його внутрішній опір 500 Ом, а кожна поділка шкали відповідає 1 мА.

12. Визначити діапазон вимірювань і чутливість вольтметра зі шкалою на 100 поділок і ціною поділки 0,05 В/поділ.

### **Контрольні питання**

1. Наведіть основні технічні характеристики вимірювальних приладів.
2. Поясніть, які графічні позначення зображають на лицьовій панелі вимірювальних приладів і що вони означають?
3. Поясніть, що таке ціна поділки і як її визначити?
4. Прокоментуйте, що таке чутливість вимірювальних приладів.

5. Поясніть особливості визначення чутливості.

**Література:** [2, 3].

### Практична робота № 3

**Тема.** Характеристики точності засобів вимірювання

**Мета:** ознайомлення з точнісними характеристиками засобів вимірювання.

У результаті виконання практичної роботи студенти повинні:

- знати основні характеристики засобів вимірювання;
- уміти проводити розрахунки точності вимірювань.

#### Короткі теоретичні відомості

Різні засоби вимірювання забезпечують різну *точність* вимірювань. Точність технічного засобу чисельно характеризують величиною його *похибки*. Поняття «*похибка засобу вимірювання*» слід відрізнити від поняття «*похибка вимірювання*».

Похибка технічного засобу – це число, яке характеризує *найбільш імовірну* або ж *граничну* похибку, очікувану під час вимірювання фізичної величини таким засобом.

Розрізняють кілька форм похибки засобу вимірювання. Абсолютна та відносна похибки вимірювального пристрою визначаються аналогічно (2.1), (2.2). Окрім того, точність технічного засобу часто характеризують *приведеною похибкою*. Приведена похибка – це виражене у відсотках відношення абсолютної похибки  $\Delta A$  приладу до нормувального значення  $A_N$ :

$$\gamma\gamma = \frac{A - A_{icm}}{A_N} \cdot 100 \%. \quad (3.1)$$

Нормувальне значення  $A_{NN}$  – це величина, яка характеризує діапазон вимірювань цього засобу. Зокрема, якщо відлік шкали починається з нуля, то  $A_{NN}$  – це верхня межа діапазону вимірювань приладу.



Для практичного визначення та обчислення похибки технічного засобу вимірювання, замість істинного значення  $A_{\text{іст}}$  фізичної величини, використовують її *дійсне значення*  $A_{\text{д}}$ . Під *дійсним значенням*  $A_{\text{д}}$  фізичної величини розуміють значення, отримане за допомогою більш точного засобу вимірювання.

Похибку, яку можна отримати під час застосування цього технічного засобу за так званих *нормальних* умов експлуатації (тобто, коли значення сторонніх впливових чинників – температури, тиску тощо – не виходять за межі встановлених нормами інтервалів), називають *основною*.

Найбільша допустима основна похибка визначає *клас точності* вимірювального приладу.

Клас точності електровимірювальних приладів позначають числом, яке дорівнює найбільшій допустимій основній похибці, вираженій у відсотках і округленій (у бік більших чисел) до найближчого числа з нормованого ряду чисел виду  $a \cdot 10^n$ , де  $a = 1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5$ ;  $n$  – ціле число, не більше, ніж 1. Наприклад, якщо клас точності приладу 1,5, то його основна відносна або приведена похибка не перевищує 1,5 %.

За приведеною похибкою класифікують прилади, абсолютна похибка яких мало змінюється в межах діапазону вимірювань, тобто є *адитивною*. Наприклад, так класифікують електромеханічні прилади.

За відносною похибкою класифікують прилади, абсолютна похибка яких приблизно пропорційна розміру вимірюваної фізичної величини, тобто є *мультиплікативною*.

Наприклад, так класифікують вимірювальні трансформатори, магазини опорів тощо. Ще одна характеристика точності приладу – *варіація*.

Варіацією називають виражену у відсотках нормувального значення  $A_{\text{NN}}$  найбільшу різницю показань приладу під час багаторазового вимірювання однієї й тієї самої фізичної величини в ідентичних (нормальних) умовах:

$$\theta = \frac{A - A_{icm}}{A_N} \cdot 100 \% \quad (3.2)$$

Варіація показань приладу не повинна перевищувати половини допустимого інтервалу основної похибки. Наприклад, для приладів класу точності 1.0 варіація не повинна перевищувати 1 %.

Якщо похибка засобу вимірювання є систематичною і не залежить від вимірюваної величини (тобто є адитивною), її можна вилучити внаслідок обчислення *поправки* – величини, рівної за модулем і протилежної за знаком систематичній похибці  $\Delta$ .

Поправку додають до результату спостережень, отримуючи *дійсне* значення шуканої величини. Якщо систематична похибка мультиплікативна, її враховують, уводячи *поправковий множник*  $k$ , на який потрібно помножити результат спостережень, щоб отримати дійсне значення шуканої величини.

### Приклад розв'язання задач

Для визначення споживання енергії електричної металеплавильної печі були виміряні протягом доби: напруга в мережі  $U = 215$  В вольтметром класу точності 1,5 з верхньою межею діапазону вимірювання  $U_m = 250$  В; сила струму нагрівача  $I = 120$  А амперметром класу точності 1,0 з верхньою межею діапазону вимірювання  $I_m = 150$  А.

Визначити кількість енергії, споживану нагрівачем за добу, а також найбільшу можливу абсолютну та відносну похибки її вимірювання, якщо час вимірюється з точністю до 1 хв.

### Розв'язання

Тривалість однієї доби в секундах складає:  $t = 24 \cdot 3600 = 86400$  с.

Тоді енергія, спожита за добу, дорівнює:

$$W = UIt = 215 \cdot 120 \cdot 86400 = 2,23 \cdot 10^9 \text{ Дж} = 2,23 \text{ ГДж.}$$

Відносна похибка вимірювання напруги:

$$\frac{\delta U}{U} \leq \frac{\gamma_U \cdot U_N}{U} = 1,5 \cdot \frac{250}{215} = 1,75 \%.$$

Відносна похибка вимірювання сили струму:

$$\frac{\delta I}{I} \leq \frac{\gamma_{I:IN}}{I} = 1,0 \cdot \frac{150}{120} = 1,25 \%$$

Відносна похибка вимірювання часу:

$$\frac{\delta t}{U} \cdot 100\% = \left( \frac{60}{86400} \right) \cdot 100 = 0,07 \%$$

Отже, відносна похибка вимірювання енергії дорівнює:

$$WW = \delta\delta U + \delta\delta I + \delta\delta t \leq 1,75 + 1,25 + 0,07 = 3,1 \%$$

Абсолютна похибка вимірювання дорівнює:

$$WW = \delta\delta WW \cdot WW/100 = 3,1 \cdot 2,23 \cdot 10^9/100 = 6,9 \cdot 10^7 \text{ Дж} = 69 \text{ МДж.}$$

### Завдання до теми

1. Оцінити найбільшу можливу похибку вимірювання опору методом амперметра-вольтметра приладами класу точності 0,5 в умовах, коли відлік робиться поблизу останніх відміток шкал обох приладів, та в умовах, коли відлік робиться поблизу середини шкал.

2. Дібрати за класом точності магнітоелектричний мікроамперметр на 0,5 мА для вимірювання струму силою 0,1–0,5 мА з відносною похибкою небільше, ніж 1 %.

3. Оцінити відносну похибку найпоширенішого побутового вимірювального приладу – годинника, якщо його добовий хід, за результатами звірки із сигналами точного часу склав 3 с.

4. За який час (від моменту звірки з еталонним годинником) показання атомного годинника, побудованого з використанням коливань молекул газу на частоті 30 ГГц, міститимуть абсолютну похибку 1 с, якщо їхня відносна похибка становить  $5 \cdot 10^{-11}$ ?

5. Амперметр показує 20 А, а верхня межа його діапазону вимірювання – 50 А. Показання зразкового приладу, з'єданого послідовно, – 20,5 А. Визначити відносну та приведену похибки амперметра.

6. Під час вимірювання опору величиною 1,5 Ом у колі тече струм силою 16 А, а вольтметр показує напругу 121 В. Визначити абсолютну та відносну похибки вимірювання опору.

7. За деякий відрізок часу лічильник показав витрати енергії 600 кВт·год. Перевірка лічильника виявила, що його відносна похибка становить 2,25 %. Визначити дійсні витрати енергії.

8. Визначити величину опору, що вимірюється, якщо абсолютна похибка становить 10 Ом, а найбільша можлива відносна похибка  $\delta\delta = 10\%$ .

9. Електричне коло, що має опір  $R = 100$  Ом, живиться від джерела постійної напруги. Для вимірювання сили струму до кола ввімкнули амперметр із внутрішнім опором  $R_A = 1$  Ом. Визначити, яку похибку вніс до результату вимірювань амперметр.

10. Вимірюють напругу двома вольтметрами, з'єднаними паралельно. Перший вольтметр має клас точності 2,5 і розрахований на напругу до 30 В, а другий – 1,0 та 150 В відповідно. Показанням якого з них слід більше довіряти, якщо перший показує 29,2 В, а другий – 30,0 В?

11. Під час вимірювань опору величиною 5 Ом у колі тече струм силою 20 А, а вольтметр на 150 В показував напругу 98 В. Визначити відносну і приведену похибки. До якого класу точності належить цей вольтметр на підставі тільки даних вимірювань?

12. Під час вимірювання сили струму, що тече через резистор з опором 56 Ом, увімкнений у мережу з напругою 220 В амперметр на 5 А показав 4,1 А. Визначити абсолютну і відносну похибки вимірювання сили струму. Чи може цей амперметр належати до класу точності 1,5?

13. Є три вольтметри: на 350 В класу точності 10, на 230 В класу точності 1,5 та на 130 В класу точності 2,5. Визначити, який з вольтметрів забезпечить більшу точність вимірювань напруги в мережі з номінальним значенням напруги 110 В?

14. Під час вимірювання потужності ватметром класу точності 0,5 зі шкалою на 150 поділок стрілка приладу відхилилася на 60 поділок. Знайдіть межі, між якими лежить дійсне значення потужності, що вимірюється, якщо ватметр розрахований на номінальний струм 5 А і номінальну напругу 150 В.

15. Два вольтметри з однаковими межами вимірювання 250 В класу точності 4,0 і 2,5 мають опір відповідно 5500 Ом і 4000 Ом. Вольтметри з'єднані послідовно і ввімкнені в мережу напругою 380 В. Визначити показання кожного вольтметра і можливі відносну й абсолютну похибки вимірювання.

16. Обчислити найбільшу можливу відносну похибку визначення сили струму в нерозгалуженій ділянці кола під час вимірювання сили струму у двох паралельних гілках амперметрами класу точності 1,5 на номінальний струм 50 А. Показання амперметрів становлять, відповідно, 30 і 20 А. Зобразити схему з'єднання амперметрів.

17. Під час визначення класу точності ватметра на 750 Вт отримали такі показання: 47 Вт при  $P = 50$  Вт; 115 Вт при  $P = 100$  Вт; 204 Вт при  $P = 200$  Вт; 413 Вт при  $P = 400$  Вт; 518 Вт при  $P = 500$  Вт; 620 Вт при  $P = 600$  Вт; 728 Вт при  $P = 750$  Вт. До якого класу точності належить прилад?

На відміну від прямих, *непрямі* вимірювання виконують з використанням кількох засобів вимірювання. Похибку непрямих вимірювань обчислюють за даними оцінювання похибок прямих спостережень, за якими обчислюється результат непрямих вимірювань.

Для цього користуються такими правилами: гранична абсолютна похибка суми двох фізичних величин дорівнює сумі взятих за модулем граничних абсолютних похибок доданків; гранична відносна похибка добутку двох фізичних величин дорівнює сумі взятих за модулем граничних відносних похибок співмножників.

Останнє правило стосується тільки оцінювання малих похибок. Зокрема, якщо величину  $X$  визначають за формулою вигляду:

$$X \pm B, \quad (3.3)$$

то граничну абсолютну похибку вимірювання  $X$  обчислюють як:

$$\Delta X = |\Delta A| + |\Delta B|, \quad (3.4)$$

а граничну відносну похибку – як:

$$\delta X = \frac{|\Delta A| + |\Delta B|}{A \pm B}. \quad (3.5)$$

Якщо ж:

$$X = \frac{A^k B^m}{C^n} \quad (3.6)$$

то гранична відносна похибка вимірювання  $X$  дорівнює:

$$\delta X = |k \cdot \delta A| + |m \cdot \delta B| + |n \cdot \delta C|, \quad (3.7)$$

а граничну абсолютну похибку обчислюється за формулою:

$$\Delta X = \frac{\delta X \cdot X}{100\%}. \quad (3.8)$$

Граничні похибки результатів прямих спостережень оцінюють за класами точності відповідних технічних засобів.

Для оцінювання граничної похибки непрямих вимірювань, виконаних з невеликою точністю, потрібно користуватися точними формулами, обчислюючи результат непрямих вимірювань з різними комбінаціями граничних значень даних прямих вимірювань.

### Завдання до теми

1. Визначити клас точності амперметра на 500 А, необхідний для вимірювання потужності навантаження з похибкою не більше, ніж 3 %, якщо

напруга в мережі 220 В вимірюється з точністю 2 %, а сила струму, споживаного навантаженням, становить 320 А.

2. Для визначення електричної потужності, що виділяється в активному опорі, були виміряні напруга 125 В вольтметром на 150 В класу точності 1,5 і опір навантаження 20 Ом одинарним мостом з похибкою 0,2 %.

Обчислити потужність, що виділялася в навантаженні, і найбільшу можливу відносну похибку під час її вимірювання.

3. Для вимірювання потужності, споживаної активним навантаженням, що має опір  $R \pm 0,5$  Ом, застосовується вольтметр на номінальну напругу 300 В класу точності 1,5. Визначити споживану потужність і найбільшу відносну похибку, якщо вольтметр показує напругу 240 В.

4. Потужність у колі постійного струму вимірювали методом амперметра-вольтметра за допомогою таких приладів: вольтметра на 150 В класу точності 4; амперметра на 5 А класу точності 2,5.

Прилади показували відповідно 100 В і 3 А. Визначити можливі найбільші відносну й абсолютну похибки вимірювання потужності. Зобразити вимірювальну схему.

5. Під час вимірювання опору методом вольтметра та амперметра, вольтметр на 150 В класу точності 2,5 і амперметр на 5 А класу точності 1,5 відповідно показали 100 В і 3 А. Визначити межі, між якими лежить дійсне значення опору, що вимірюється. Зобразити схему з'єднання.

6. Визначити найбільшу можливу відносну похибку вимірювання енергії ватметром на 750 Вт класу точності 0,5 за час 10 хв, що вимірюється з точністю до 2 с, якщо ватметр увесь час показував 300 Вт.

7. Визначити точне значення граничної похибки непрямих вимірювань величини  $Z = XY$ , якщо граничні похибки вимірювання величин  $X$  та  $Y$  відомі.

8. Визначте точне значення граничної похибки непрямих вимірювань величини  $Z = X/Y$ , якщо граничні похибки вимірювання величин  $X$  та  $Y$  відомі.

9. Визначте точне значення граничної похибки непрямих вимірювань величини  $Z = X + Y$ , якщо граничні похибки вимірювання величин  $X$  та  $Y$  відомі.

10. За відсутності фазометра  $сссс \phi\phi$  можна виміряти непрямим методом – за допомогою ватметра, вольтметра та амперметра. Визначте граничну похибку вимірювання  $сссс \phi\phi$  двигуна цим методом, якщо прилади мають клас точності 4,0.

Порівняйте результат з оцінкою похибки, отриманою методом додавання відносних похибок.

11. Для вимірювання потужності, споживаної активним навантаженням, що має опір  $R \pm 0,1$  Ом, застосовується вольтметр на номінальну напругу 200 В класу точності 1,5. Визначити споживану потужність і найбільшу відносну похибку, якщо вольтметр показує напругу 180 В.

### Контрольні питання

1. Охарактеризуйте похибки прямих вимірювань.
2. Охарактеризуйте похибки непрямих вимірювань.
3. Поясніть що таке приведена похибка.
4. Яка величина характеризує клас точності вимірювального приладу?
5. Охарактеризуйте адитивну та мультиплікативну похибки.
6. Охарактеризуйте технічні показники вимірювальних приладів, які впливають на результат вимірювань.

**Література:** [1, 2].

### Практична робота № 4

**Тема.** Вимірювання сили струму та напруги

**Мета:** вивчення методів і приладів, використовуваних для вимірювання струму та напруги.

У результаті виконання практичної роботи студенти повинні:

– знати особливості вимірювання сили струму та напруги;



– уміти проводити розрахунки та аналіз отриманих даних під час вимірювання струму й напруги.

### Короткі теоретичні відомості

Силу струму та напругу вимірюють за допомогою відповідно амперметра та вольтметра. Тип приладу визначається метою вимірювань, видом характеристики, якою цікавляться (амплітудне, діюче чи середнє випрямлене значення), та параметрами сигналу (частота, форма тощо).

Для вимірювання бажано вибрати прилади, які споживають значно меншу потужність, ніж досліджуваний елемент кола. Для цього вольтметр повинен мати якомога більший, а амперметр – якомога менший опір. Вимірювальний механізм приладів магнітоелектричної, електромагнітної, електро- та феродинамічної систем безпосередньо реагує на силу струму, який тече через його обмотки.

Напруга на вхідних клеммах цих приладів визначається за законом Ома як добуток сили струму на внутрішній опір приладу. Через це показання вольтметрів перелічених систем залежать від величини їх внутрішнього опору, тоді як показання амперметрів цих самих систем.

Вимірювальний механізм вольтметрів електростатичної системи реагує безпосередньо на напругу на вхідних клеммах. Через це їх показання не залежать від величини внутрішнього опору.

Електромеханічні вимірювальні прилади можуть вимірювати середнє, діюче та середнє випрямлене значення сили струму та напруги.

Прилади магнітоелектричної системи без випрямного елемента реєструють середнє значення періодичного сигналу, частота якого перевищує частоту власних коливань рухомої частини вимірювального механізму:

$$A = \frac{1}{T} \int_0^T A(t) dt. \quad (4.1)$$

Прилади магнітоелектричної системи з випрямним елементом реєструють середнє значення періодичного сигналу:

$$A_{\text{випр}} = \frac{1}{T} \int_0^T |A(t)| dt. \quad (4.2)$$

Прилади електродинамічної, феродинамічної та електромагнітної систем реєструють діюче (середнє квадратичне) значення сигналу:

$$A_D = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [A(t)]^2 dt} \quad (4.3)$$

Вимірювальний механізм магнітоелектричних приладів розрахований на струм, сила якого не перевищує 50 мА. Тому слабкі струми (до 50 мА) подаються на обмотку вимірювального механізму повністю.

Для розширення діапазону вимірювань амперметрів для визначення сили струму, більшої за 50 мА, застосовують шунти – опори з нормованими метрологічними характеристиками. Для вимірювання сили струму в межах 50 мА–30 А застосовують шунти, умонтовані безпосередньо у прилад. Для вимірювання сили струму, вищої, ніж 30 А, які встановлюють у досліджуване коло (рисунок 4.1).

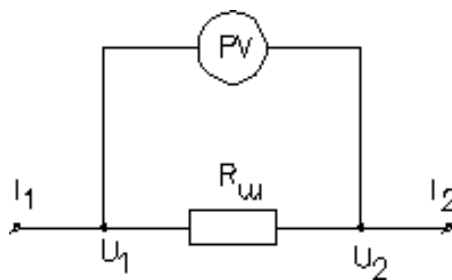


Рисунок 4.1 – Схема електрична принципова вимірювання сили струму із застосуванням шунта

Шунт – найпростіший вимірювальний перетворювач сили струму на напругу. Конструктивно він являє собою пластинку або дріт з манганіну (сплав з малим термічним коефіцієнтом опору) і чотири затискачі (два силові  $I_1$ ,  $I_2$  та два вимірювальні  $U_1$ ,  $U_2$ ).

За допомогою силових затискачів шунт умонтовують у коло. За допомогою вимірювальних затискачів шунт приєднують паралельно до амперметра. Опір шунта, необхідний для розширення діапазону вимірювання в  $n$  разів, розраховують за формулою:

$$R_{Ш} = \frac{R_A}{n-1}. \quad (4.4)$$

Число  $n$  часто називають шунтувальним множником. Якщо використовують зовнішній шунт, а шкала амперметра побудована без урахування шунта, показання амперметра потрібно помножити на  $n$ .

Для розширення діапазону вимірювання застосовують додаткові опори – найпростіші вимірювальні перетворювачі напруги на силу струму, – які включають послідовно з вольтметром (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Схема електрична принципова застосування додаткового опору

Додаткові опори для вольтметрів магнітоелектричної, електродинамічної, феродинамічної та електромагнітної систем виготовляють у вигляді резисторів з манганіну для забезпечення низької чутливості до змін температури навколишнього середовища. Величину опору, необхідного для розширення діапазону вимірювання напруги в  $n$  разів, розраховують за формулою:

$$R_D = R_V(n - 1). \quad (4.5)$$

Для розширення діапазону вимірювання вольтметрів електростатичної системи, замість манганінових резисторів, застосовують високовольтні конденсатори, які також вмикають послідовно з вольтметром.

Ємність такого конденсатора розраховують за формулою:

$$C = \frac{C_V V}{n-1}. \quad (4.6)$$

Як і шунти, додаткові опори бувають зовнішніми і вбудованими. У разі, коли застосовують зовнішній опір, а шкала вольтметра побудована без урахування додаткового опору, його показання треба помножити на  $n$ .

Для розширення діапазону вимірювання амперметрів і вольтметрів змінного струму застосовують вимірювальні трансформатори струму та напруги. Схеми ввімкнення їх до вимірювального кола зображено на рисунку 4.3, 4.4.

Дійсний коефіцієнт трансформації трансформатора сили струму:

$$K_I = I_1/I_2, \quad (4.7)$$

а трансформатора напруги:

$$K_U = U_1/U_2, \quad (4.8)$$

де  $I_1, I_2, U_1, U_2$  – дійсні значення відповідно первинних і вторинних сили струму та напруги. На щиткові трансформатора позначають *номінальний* коефіцієнт трансформації:

$$K_{NI} = I_{N1}/I_{N2}; \quad (4.9)$$

$$K_{NU} = U_{N1}/U_{N2}.$$

де  $I_{N1}, I_{N2}, U_{N1}, U_{N2}$  – номінальні значення, відповідно, первинних та вторинних сили струму та напруги.

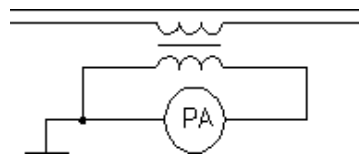


Рисунок 4.3 – Схема електрична принципова приєднання трансформатора струму

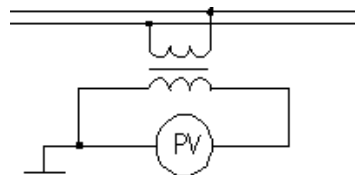


Рисунок 4.4 – Схема електрична принципова приєднання трансформатора напруги

Номінальний коефіцієнт трансформації можна обчислити, знаючи кількість витків у первинній ( $W_1$ ) і вторинній ( $W_2$ ) обмотках. Для трансформатора струму:

$$K_{H1} = WW_2/WW_1, \quad (4.10)$$

а для трансформатора напруги:

$$K_{HU} = WW_1WW_2. \quad (4.11)$$

### Приклад розв'язання задач

Для вимірювання напруги  $U = 3300$  В дводіапазонний вольтметр з верхніми межами діапазону вимірювання  $U_{N1} = 75$  В і  $U_{N2} = 150$  В приєднано до кола через вимірювальний трансформатор із номінальним коефіцієнтом трансформації  $K_H = 6000/100$ .

Шкала вольтметра має 150 поділок. Визначити ціну поділки приладу, приєднаного через трансформатор, для кожного діапазону вимірювання.

### Розв'язання

Ціна поділки вольтметра, приєднаного до кола через трансформатор, визначається за формулою:

$$C = \frac{U_N}{N} \cdot K_H.$$

Отже, для першого діапазону маємо:

$$C_1 = \frac{75}{150} \cdot \frac{6000}{100} = 30 \text{ В / поділку.}$$

Для другого діапазону:

$$C_2 = \frac{150}{150} \cdot \frac{6000}{100} = 60 \text{ В / поділку.}$$

### Завдання до теми

1. Чи покаже вольтметр, приєднаний до розімкнутих клем джерела струму, величину ЕРС джерела?
2. Що покажуть міліамперметри магнітоелектричної та випрямної (з двоівперіодним випрямлячем) систем, увімкнені в коло зі змінним струмом прямокутної форми з амплітудою 10 А?
3. Ідеальний однонапівперіодний випрямляч навантажено резистором з опором 100 Ом. Добуток показань амперметра та вольтметра магнітоелектричної системи, приєднаних для вимірювання потужності, становить 441 В·А.

Що показує кожен з приладів, якщо випрямляч живиться синусоїдальною напругою? Що в цьому разі показали б прилади електромагнітної системи?

4. Шкалу вольтметрів детекторної системи зазвичай градуують так, що вони показують величину  $(\pi/2\sqrt{2})U$ , а вольтметрів максимального значення –  $U_{\max}/\sqrt{2}$ . Тоді під час вимірюванні напруги синусоїдального струму вони показують діюче значення напруги. Визначити, що покажуть ці вольтметри під час вимірювання двополярної (симетричної) пилкоподібної напруги з амплітудою 141 В.

5. Визначте опір шунта для приладу типу М24, що має опір 3000 Ом і номінальний струм рамки 0,1 мА, щоб за допомогою цього приладу можна було виміряти струм силою до 3 А.

6. Для виготовлення амперметра на 1 А взяли прилад магнітоелектричної системи, що має струм повного відхилення рухомої частини 0,15 мА і напругу повного відхилення 0,225 В. Визначте опір шунта.

7. Міліамперметр М45 має номінальний струм  $I_N = 30$  мА та номінальну напругу  $U_A = 75$  мВ. Визначити опір шунта, який потрібно приєднати до міліамперметра, щоб його можна було використати для вимірювання струму силою до  $I = 3$  А.

8. Амперметр зі шкалою на 2 А і опором 0,5 Ом зашунтовано для вимірювання струму більшої величини. Під час вимірювання струму силою 60 А амперметр показав 1,2 А. Визначити опір шунта і верхню межу діапазону вимірювання зашунтованого амперметра. Зобразити схему приладу.

9. Амперметр розрахований на струм силою до 50 мА; опір приладу  $R_A = 0,8$  Ом. Визначити опір шунта для вимірювання струму силою до 10 А.

Визначити, як зміниться струм, що тече через амперметр, у разі неправильного приєднання шунта і з'єднувальних проводів, спільний опір яких складає  $R_{KK} = 0,002$  Ом (рисунок 4.5).

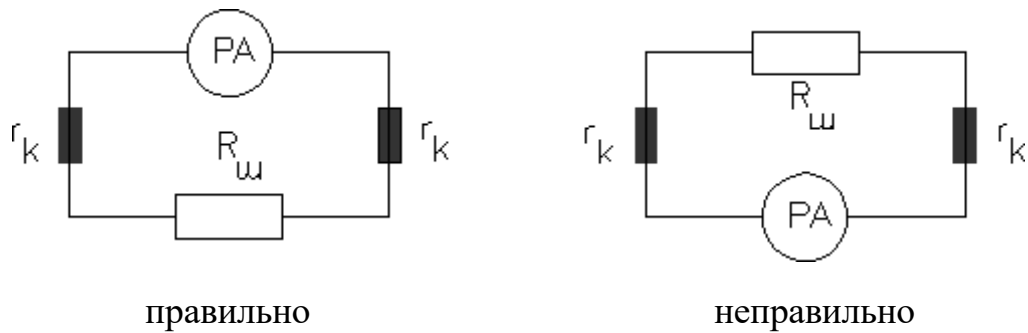


Рисунок 4.5 – Схема електрична принципова приєднання шунта

10. Для вимірювання сили струму в електричному колі використали амперметр зі шкалою, розрахованою на 5 А, і опором рамки 0,6 Ом. Визначити силу струму, що тече у колі, і коефіцієнт, на який потрібно помножити показання амперметра, якщо останній увімкнений із шунтом  $R_{ш} = 0,025$  Ом, а його стрілка зупинилася на поділці 3,6 А.

11. На рисунку 4.6 показано дві схеми розширення діапазону вимірювань електростатичного вольтметра. Знайдіть залежність між показаннями вольтметра  $U_V$  та вимірюваною напругою у кожному із цих випадків.



Рисунок 4.6 – Схема електрична принципова приєднання електростатичного вольтметра

12. Два вольтметри з однаковими діапазонами вимірювання 0 – 150 В, але з різними опорами обмоток (першого – 5 кОм; другого – 3 кОм) з'єднані послідовно і підключені до мережі з напругою 220 В. Визначити показання кожного вольтметра.

13. Є прилад з ціною поділки  $C = 10$  мкА. Шкала приладу має 100 поділок, його внутрішній опір  $R = 100$  Ом. Як з нього зробити вольтметр для

вимірювання напруги до  $U = 100 \text{ В}$  та амперметр для вимірювання струму силою до  $I = 1 \text{ А}$ ?

14. На основі магнітоелектричного міліамперметра з опором рамки  $R = 1 \text{ Ом}$ , шкалою на 150 поділок і ціною поділки  $C = 0,001 \text{ А/поділку}$  побудовано ампервольтметр з діапазонами вимірювання струму 1; 5; 3 та 15 А і напруги 1,5; 3 та 15 В. Визначити сталу приладу для всіх діапазонів вимірювань та опори окремих секцій шунта і додаткового опору. Скласти схему приладу.

15. Магнітоелектричний вимірювальний механізм має номінальну напругу 75 мВ і номінальний струм 5 мА. Шкала приладу має 75 поділок. Визначити чутливість вимірювального механізму до струму і напруги. Розрахувати опір додаткових резисторів для розширення діапазону вимірювання напруги до 3,15 та 150 В, а також сталу приладу для кожного з цих діапазонів.

16. Вимірювальний механізм магнітоелектричної системи має номінальну напругу 75 мВ і номінальний струм 15 мА. Шкала вимірювального механізму має 150 поділок. Визначити чутливість вимірювального механізму до напруги і струму. Розрахувати опір шунтів для розширення діапазону вимірювання до 1,5 та 3 А, а також сталу приладу для кожного діапазону. Зобразити схему багатодіпазонного амперметра.

17. Визначити чутливість до напруги магнітоелектричного вимірювального механізму на 6 мА з внутрішнім опором 10 Ом і шкалою на 120 поділок. Який опір повинен мати вимірювальний механізм, щоб за цієї чутливості до струму чутливість до напруги становила 2,5 поділки/мВ?

18. Амперметр на 7,5 А увімкнений з трансформатором струму 600/5.

Побудувати графік показань амперметра як функції сили струму, що вимірюється. Визначити найбільшу відносну похибку за номінального значення первинного струму, якщо прилади мають клас точності 1,0.

19. Амперметр на 5 А зі шкалою 0–500 увімкнений до кола через трансформатор струму 600/5.



Який струм тече в колі, якщо амперметр показує 300 А? Визначити найбільшу можливу абсолютну похибку вимірювань, якщо клас точності приладів – 1,0. Скласти схему приєднання амперметра.

20. Вимірювання сили струму в електричних колах високої частоти ускладнюється втратами струму через паразитні ємності.

Який з варіантів увімкнення амперметра до електричного кола «генератор–навантаження», зображених на рисунк 4.7, більш прийнятний?

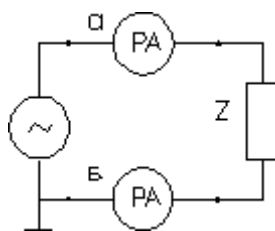


Рисунок 4.7 – Схема електрична принципова увімкнення амперметра до електричного кола

21. Необхідно виміряти змінну напругу на ділянці кола, струм у якій містить постійну складову. Якій із наведених на рисунку 4.8 схем а або б слід віддати перевагу, якщо частота струму  $f = 1$  кГц, а опір вольтметра  $R_v = 250$  кОм? Обґрунтуйте відповідь.

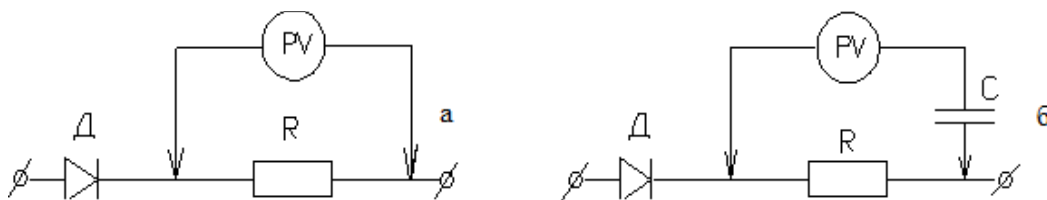


Рисунок 4.8 – Схема електрична принципова увімкнення вольтметра до електричного кола

### Контрольні питання

1. Прокоментуйте особливості вимірювання струму.
2. Прокоментуйте особливості вимірювання напруги.
3. Назвіть прилади, які використовують для розширення діапазону вимірювання струму.

4. Назвіть прилади, які використовують для розширення діапазону вимірювання напруги.

5. Охарактеризуйте вимірювальний трансформатор напруги.

6. Охарактеризуйте вимірювальний трансформатор струму.

**Література:** [3, 4].

## **Практична робота № 5**

**Тема. Вимірювання опору, ємності та індуктивності**

**Мета:** вивчення методів і приладів, використовуваних для вимірювання опору, ємності та індуктивності.

У результаті проведення практичного заняття студенти повинні:

- знати особливості визначення опору, ємності та індуктивності;
- уміти проводити побудову вимірювальних ланцюгів і проводити обробку отриманих даних під час вимірювання опору, ємності та індуктивності.

### **Короткі теоретичні відомості**

Існує два види опорів: *активний і реактивний*.

Активний опір  $R$  не залежить від частоти струму й визначається процесами незворотного розсіювання енергії в елементі електричного кола. Діапазон вимірюваних на практиці активних опорів дуже широкий.

Його можна умовно розділити на такі піддіапазони:

- а) малі опори – до 100 Ом;
- б) середні опори –  $10^2$  –  $10^6$  Ом;
- в) великі опори – понад  $10^6$  Ом.

Під час вимірювання малих опорів контактний опір та опір з'єднувальних проводів може вносити значну похибку в результат вимірювання.

Тому в таких випадках застосовують чотирипровідну схему з'єднання з вимірювальними приладами, приєднуючи по два проводи до кожної з точок, між якими вимірюється опір.

Один із проводів у кожній парі – силовий і використовується для ввімкнення опору в коло живлення. Другий – вимірювальний; за його допомогою опір з'єднується з вольтметром. Активний опір можна вимірювати прямими і непрямими методами. До прямих методів належать метод омметра та мостові методи. До непрямих методів належать метод амперметра і вольтметра, а також методи порівняння зі зразковим опором.

Для вимірювання невідомого активного опору  $R_X$  методом амперметра та вольтметра величину  $R_X$  визначають за законом Ома як  $R_X = U_V/I_A$ , де  $U_V$ ,  $I_A$  – показання вольтметра та амперметра, відповідно.

Залежно від величини опору застосовують дві схеми з'єднання приладів, які наведено на рисунках 5.1 та 5.2.

Схему, яку зображено на рисунку 5.1, застосовують для вимірювання великих опорів, коли величина  $R_X$  набагато перевищує внутрішній опір амперметра  $R_A$ . Схему, яку зображено на рисунку 5.2, застосовують для вимірювання малих опорів, коли величина  $R_X$  набагато менша від внутрішнього опору вольтметра.

Якщо ці умови не виконуються, виникає додаткова методична похибка, яку можна значно зменшити, якщо для обчислення  $R_X$  скористатися законами Кірхгофа.

Точне значення опору, обчислене за законами Кірхгофа, для першої схеми (рисунок 5.1), становить:

$$R_X = \frac{U_{VV}}{I_A} - R_A \quad (5.1)$$

а для другої схеми, зображеної на рисунку 5.2:

$$R_X = \frac{U_V}{I_A - U_{VV}/R_{VV}} \quad (5.2)$$

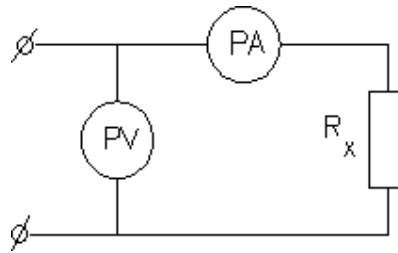


Рисунок 5.1 – Схема електрична принципова вимірювання великих опорів

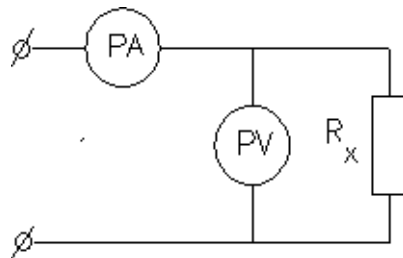


Рисунок 5.2 – Схема електрична принципова вимірювання малих опорів

Для вимірювання опору  $R_X$  методом порівняння зі зразковим опором  $R_0$  також застосовують два варіанти з'єднання опорів.

Для вимірювання малих опорів застосовують послідовне з'єднання  $R_X$  та  $R_0$ , вмикаючи їх у коло сталого за величиною постійного струму. Напругу  $U_X$  та  $U_0$  на затискачах, відповідно, невідомого та зразкового опорів визначають за допомогою потенціометра або цифрового вольтметра з великим вхідним опором. Опір  $R_X$  розраховують за формулою:

$$R_X = R_0 \frac{U_{XX}}{U_0} \quad (5.3)$$

Для вимірювання великих і середніх опорів застосовують паралельне з'єднання  $R_X$  і  $R_0$ , також вмикаючи їх до кола сталого за величиною постійного струму.

Силу струму  $I_X$  та  $I_0$ , що тече, відповідно, у невідомому та зразковому опорі, визначають за допомогою двох амперметрів з малим внутрішнім опором, увімкнених послідовно з кожним з опорів. Опір  $R_X$  розраховують за формулою:

$$R_X = R_0 \frac{I_0}{I_{XX}}. \quad (5.4)$$

Величину опору можна визначити непрямим методом, маючи лише один вольтметр, якщо його метрологічні характеристики відомі, а невідомий опір має той самий порядок величини, що і внутрішній опір приладу.

Для цього потрібно визначити показання  $U_0$  та  $U_X$  вольтметра, увімкненого в мережу, відповідно, без невідомого опору та послідовно з ним. Опір  $R_X$  обчислюють за формулою:

$$R_X = R_V \left( \frac{U_0}{U_{XX}} - 1 \right). \quad (5.5)$$

Реактивний опір поділяють на два різновиди: *індуктивний* ( $XX_L$ ) і *ємнісний* ( $XX_C$ ). Реактивний опір пов'язаний з процесами накопичення польової енергії в електричному колі й залежить від частоти струму:

$$XX_L = 2\pi fL; \quad XX_C = \frac{1}{2\pi fC}, \quad (5.6)$$

де  $L$  – індуктивність,  $C$  – ємність ділянки кола.

Повний (комплексний) опір ділянки кола визначається величинами  $R$ ,  $X_L$  та  $XX_C$  і залежить від схеми з'єднання окремих активних і реактивних компонентів. Модуль повного опору  $Z$  можна визначити методом амперметра–вольтметра, приєднавши цю ділянку кола до джерела змінного струму й знімаючи показання  $U_V$  та  $I_A$  відповідних приладів:

$$Z = \frac{U_{VV}}{I_A}. \quad (5.7)$$

Для цього застосовують такі самі схеми з'єднання приладів, що й для вимірювання активного опору. Найчастіше реактивний опір в електричних колах створюється котушками індуктивності та конденсаторами.

Еквівалентна схема котушки індуктивності являє собою з'єднані послідовно активний ( $R$ ) та індуктивний ( $XX_L$ ) опори. Відповідно, модуль повного (комплексного) опору котушки дорівнює:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}. \quad (5.8)$$

Величину  $R$  можна знайти, вимірюючи опір котушки за постійного струму. Тоді за допомогою формул (5.6) і (5.8) можна обчислити індуктивність котушки  $L$ .

Параметри котушки можна вимірювати також лише за змінного струму, використовуючи метод вольтметра–амперметра–ватметра. Для вимірювання великих опорів  $Z$  складається схема (рисунок 5.3). Схему для вимірювання малих опорів  $Z$  зображено на рисунку 5.4.

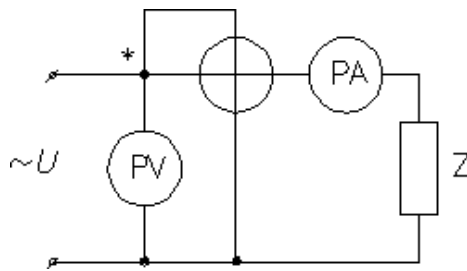


Рисунок 5.3 – Схема електрична принципова вимірювання великих опорів  $Z$

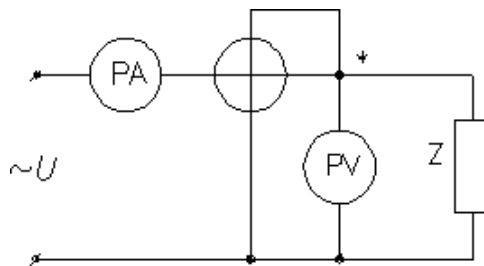


Рисунок 5.4 – Схема електрична принципова вимірювання малих опорів  $Z$

Активну складову опору визначають за показаннями ватметра ( $P_{WW}$ ) і амперметра ( $I_A$ ):

$$R = \frac{P_W}{I_A^2}. \quad (5.9)$$

Модуль повного опору визначають за показаннями вольтметра ( $U_V$ ) й амперметра:

$$Z = \frac{U_{VY}}{I_A}. \quad (5.10)$$

Еквівалентна схема конденсатора являє собою з'єднані паралельно активний ( $R$ ) і ємнісний ( $X_{CC}$ ) опори. Відповідно, модуль повного (комплексного) опору конденсатора дорівнює:

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1+R^2/X_{CC}^2}} = \frac{X_{CC}}{\sqrt{1+X_{CC}^2/R^2}}. \quad (5.11)$$

Величину  $R$  можна знайти, вимірюючи опір конденсатора за постійного струму. Тоді за допомогою формул (5.6) і (5.11) можна обчислити його ємність  $C$ . Практично активний опір більшості конденсаторів дуже великий (конденсатори з малими втратами).

Тому під час вимірювання ємності таких конденсаторів ним можна знехтувати, застосовуючи струм достатньо високої частоти.

Параметри конденсатора зі значними втратами (із малим  $R$ ) можна визначити методом вольтметра–амперметра–ватметра, складаючи такі самі схеми, як і для вимірювання параметрів котушок індуктивності. У цьому разі ємність  $C$  обчислюють за формулою:

$$C = \frac{I_A^2}{2\pi f \sqrt{U^2 I^2 - P^2}}. \quad (5.12)$$

Взаємну індуктивність  $M$  двох котушок визначають методом узгодженого і зустрічного їх вмикання, обчислюючи її за формулою:

$$MM = \frac{L_{yz} - L_{зyc}}{4}, \quad (5.13)$$

де  $L_{yz}$  і  $L_{зyc}$  – загальна індуктивність з'єднаних послідовно котушок за, відповідно, узгодженого та зустрічного вмикання.

Значення  $L_{yz}$  та  $L_{зyc}$  можна знайти методом амперметра–вольтметра:

$$L_{yz} = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{Z_{yz}^2 - (R_1 + R_2)^2}; \quad (5.14)$$

$$L_{зус} = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{Z_{зус}^2 - (R_1 + R_2)^2} \quad (5.15)$$

де  $R_1, R_2$  – активні опори котушок, знайдені за даними вимірювання їх опору за постійного струму.

### Приклад розв'язання задач

Для вимірювання опору  $R = 200$  Ом методом амперметра–вольтметра взяли амперметр з внутрішнім опором  $R_A = 0,05$  Ом і вольтметр із внутрішнім опором  $R_V = 10$  кОм. Порівняти точність двох можливих вимірювальних схем та вибрати кращу з них.

### Розв'язання

Результатом вимірювання опору  $R$  методом амперметра-вольтметра є величина:

$$R_X = \frac{U_{VV}}{I_A}$$

Для першої схеми (рисунок 5.1), яку застосовують для вимірювання великих опорів, дійсне значення опору, обчислене за законами Кірхгофа, складає:

$$R = \frac{U_{VV}}{I_A} - R_A;$$

відповідно, відносна похибка вимірювання  $R$ :

$$\delta\delta R = \frac{R_x - R}{R} \cdot 100\% = \frac{R_A}{R} \cdot 100\% = \frac{0,05 \cdot 100}{200} = 0,025\%.$$

Для другої схеми (рисунок 5.2), яку застосовують для вимірювання малих опорів, точне значення вимірюваного опору:

$$R = \frac{U_V}{I_A - U_{VV}/R_V} = R_V \frac{U_{VV}/I_A}{R_V - U_{VV}/I_A} = \frac{R_V R_x}{R_V + R_x},$$

звідки:



$$R_x = \frac{R \cdot R_{VV}}{R_{VV} - R}$$

Тому відносна похибка вимірювання  $R$  цими приладами:

$$\delta\delta R = \frac{1}{R} \left( \frac{R \cdot R_{VV}}{R_{VV} - R} - R \right) = - \frac{R}{R + R_{VV}} \cdot 100\% = - \frac{20 \cdot 100}{200 + 10000} \approx -2\%$$

У першому випадку похибка значно менша, тому ця схема з'єднання приладів краща, ніж друга.

### Завдання до теми

1. Як виміряти невідомий опір, маючи лише вольтметр з відомими характеристиками та джерело постійного струму? Накреслити можливі схеми з'єднання приладів.

2. Як виміряти опір, маючи джерело постійного струму, амперметр і вольтметр з невідомими внутрішніми опорами? Накреслити можливі схеми з'єднання приладів.

3. Як виміряти невідомий опір, маючи джерело постійного струму, амперметр і ватметр? Накреслити можливі схеми з'єднання приладів.

4. Як виміряти невідомий опір, маючи джерело постійного струму, вольтметр і ватметр? Накреслити можливі схеми з'єднання приладів.

5. Як виміряти невідомий опір, маючи джерело змінного струму, амперметр, вольтметр і ватметр? Накреслити можливі схеми з'єднання приладів.

6. Як визначити вдома опір електроплитки, не маючи омметра?

7. Як, не маючи омметра, визначити вдома опір електроплитки за умов, що інші споживачі електроенергії вимикати не можна?

8. Визначте ємність конденсатора, який потрібно з'єднати послідовно з електричною лампочкою на 127 В і 25 Вт, щоб її можна було увімкнути в мережу з напругою 220 В.

9. Необхідно виміряти опір кола, що працює під напругою 120 В, маючи лише гальванометр з чутливістю  $10^{-5}$  А/поділок і шкалу на 40 поділок. Як потрібно увімкнути гальванометр до кола, щоб він працював як омметр?

Побудуйте шкалу омметра, нехтуючи внутрішнім опором гальванометра.

10. Амперметр опором  $R_A = 0,01$  Ом і вольтметр опором  $R_V = 25$  Ом застосовують у схемі для вимірювання опору якоря електродвигуна.

Скласти схему вимірювання методом амперметра і вольтметра; визначити наближене і точне значення опору і відносну похибку, що допускається під час визначення опору за наближеною формулою, якщо найбільш імовірні значення струму і напруги, одержані внаслідок повторних вимірювань, такі:  $I = 8,5$  А;  $U = 1,25$  В.

11. Визначити значення опору і відносну похибку вимірювань опору послідовної обмотки збудження електродвигуна, якщо струм становить  $I = 1,1$  А, напруга  $U = 33$  мВ, опір амперметра  $0,1$  Ом, опір мілівольтметра  $10$  Ом. Скласти схему вимірювань.

12. За допомогою вольтметра зі шкалою на  $150$  В за струму силою  $30$  мА необхідно виміряти опір. Визначити, чому дорівнює цей опір, якщо після підключення послідовно з ним вольтметра в мережу з напругою  $U = 120$  В показання вольтметра складали  $U_V = 100$  В.

13. Вольтметр опором  $R_V = 12$  кОм за допомогою перемикача спочатку підключається до затискачів мережі, а потім – до тієї самої мережі послідовно з шуканим опором.

Визначити шуканий опір, якщо в першому випадку вольтметр показав  $120$  В, а в другому –  $30$  В. Скласти схему вимірювань.

14. Під час вимірювання опору обмотки якоря методом амперметра і вольтметра прилади, які застосовуються, мали такі показання: амперметр з верхньою межею діапазону вимірювання  $0,75$  А, стрілка відхилялася на  $90$  поділок, вольтметр з межею діапазону вимірювання  $7,5$  В і опором  $2,5$  кОм і стрілка відхилялась на  $113,5$  поділок.

15. Шкали обох приладів мають  $150$  поділок. Скласти схему вимірювання і визначити опір якоря.

16. Спад напруги, що вимірюється потенціометром на

опорах, був:  $U_1 = 0,25 \text{ В}$ ,  $U_2 = 0,05 \text{ В}$ . Зразковий опір  $R = 0,01 \text{ Ом}$ . Скласти схему і визначити значення опору.

17. Опір вимірювався методом порівняння зі зразковим опором за паралельного з'єднання. Зразковий опір  $R_0 = 100 \text{ кОм}$ . Струм у колі невідомого опору становив  $3,42 \text{ мкА}$ , а у колі зразкового –  $4,96 \text{ мкА}$ . Скласти схему вимірювань і визначити значення опору.

18. У лабораторії під час вимірювання двох опорів методом амперметра і вольтметра були застосовані міліамперметр з опором  $10 \text{ Ом}$  і вольтметр з опором  $400 \text{ Ом}$ . Показання приладів за схемою під час вимірювання першого опору були  $U_1 = 0,7 \text{ В}$ ,  $I_1 = 50 \text{ мА}$ , а під час вимірювання другого опору – відповідно,  $U_2 = 1,32 \text{ В}$  і  $I_2 = 26,5 \text{ мА}$ . Визначити значення опорів і відносну похибку вимірювань. Проаналізувати отримані результати. Показання приладів і результати обчислень звести в таблицю.

18. Визначити опір резистора за допомогою амперметра і вольтметра, якщо відомо, що показання вольтметра  $200 \text{ В}$ , амперметра  $10 \text{ А}$ , а опори приладів складають: амперметра –  $0,01 \text{ Ом}$ , вольтметра –  $5000 \text{ Ом}$ . Задачу розв'язати з урахуванням і без урахування похибок, що вносяться приладами, для обох можливих варіантів схеми з'єднання приладів. Визначити відносну похибку вимірювань для обох схем.

19. Для вимірювання параметрів котушки складена схема одинарного моста з живленням від мережі змінного струму частотою  $50 \text{ Гц}$ . У два плеча моста були ввімкнені активні опори, і в момент рівноваги моста їх величини дорівнювали  $13 \text{ і } 2 \text{ Ом}$ .

20. У третє плече були ввімкнений реостат і зразковий конденсатор. За рівноваги моста опір реостата був  $2 \text{ Ом}$ , а конденсатора –  $10 \text{ Ом}$ . Зобразити схему і визначити параметри котушки, увімкнутої у четверте плече.

21. Після підключення котушки індуктивності до джерела постійного струму амперметр показав  $I = 12 \text{ А}$ , вольтметр –  $U = 24 \text{ В}$ . Після підключення до мережі змінного струму показання такі:  $I = 2 \text{ А}$ ,  $U = 24 \text{ В}$ . Частота струму в мережі –  $50 \text{ Гц}$ .

Визначити індуктивність котушки.

22. Вимірюються параметри котушки індуктивності. За показаннями амперметра, вольтметра і ватметра, сила струму, напруга і потужність складають:  $I = 10 \text{ A}$ ,  $U = 220 \text{ В}$ ,  $P = 1,1 \text{ кВт}$ . Визначити активний опір та індуктивність котушки, скласти схему вимірювання. Частота струму в мережі – 50 Гц.

### **Контрольні питання**

1. Прокоментуйте особливості вимірювання опору.
2. Прокоментуйте особливості вимірювання ємності.
3. Прокоментуйте особливості вимірювання індуктивності.
4. Наведіть схеми вимірювання малих і великих опорів.
5. Поясніть, що таке прямий метод вимірювання активного опору.
6. Поясніть, що таке непрямий метод вимірювання активного опору.
7. Прокоментуйте проведення вимірювання реактивного опору.

**Література:** [4, 7].

### **Практична робота № 6**

**Тема. Вивчення порядку роботи з нормативними документами**

**Мета:** знайомлення з класифікатором та покажчиком державних стандартів, набуття навичок пошуку стандартів за бібліографічними джерелами.

У результаті проведення практичного заняття студенти повинні:

- знати порядок пошуку та роботи з нормативними документами;
- уміти проводити пошук і вибір необхідних стандартів за бібліографічними джерелами.

### **Короткі теоретичні відомості**

*Стандартизація* – діяльність, що полягає у розробленні положень для загального та багаторазового застосування щодо наявних чи можливих завдань для досягнення оптимального ступеня впорядкування у певній сфері, результатом якої є підвищення ступеня відповідності продукції, процесів і

послуг їх функціональному призначенню, усунення бар'єрів у торгівлі, сприяння науково-технічній співпраці.

*Нормативний документ* – документ, який визначає правила, загальні принципи чи характеристики різних видів діяльності або їх результати. Цей термін охоплює такі поняття, як «стандарт», «кодекс ustalеної практики» і «технічні умови».

*Стандарт* – документ, що містить правила для загального й багаторазового застосування, загальні принципи або характеристики, які стосуються діяльності чи її результатів, для досягнення оптимального ступеня впорядкованості у певній галузі, розроблений у встановленому порядку на підставі консенсусу.

*Модифікований стандарт* – це національний стандарт, який має технічні відхилення, але відтворює структуру міжнародного стандарту.

*Кодекс ustalеної практики* – документ, у якому подані правила чи процедури проектування, виготовлення, монтажу, технічного обслуговування, експлуатації, обладнання, конструкцій чи виробів.

Кодекс ustalеної практики може бути стандартом, частиною стандарту або окремим документом.

*Технічні умови* – документ, що містить технічні вимоги, яким мають відповідати продукція, процеси чи послуги. Технічні умови можуть бути стандартом, частиною стандарту або окремим документом.

*Технічний регламент* – нормативно-правовий акт, затверджений органом державної влади, що передбачає технічні вимоги до продукції, процесів чи послуг безпосередньо або через посилання на стандарти чи відтворює їх зміст.

*Об'єктами стандартизації* називають предмети (продукцію, процеси, послуги), що підлягають стандартизації. Ними можуть бути тільки результати людської діяльності (вироби, документи, міри, норми тощо). Не можуть бути об'єктами стандартизації натуральні продукти (нафта, вугілля, руди та інші

корисні копалини), однак продукти їх перероблення як результати людської діяльності підлягають стандартизації.

*Інформаційне забезпечення юридичних і фізичних осіб у галузі стандартизації, технічного регулювання та підтвердження відповідності проводиться на базі Фонду нормативних документів.*

*Класифікація нормативних документів* полягає у розміщенні документів у заданому порядку та послідовності, придатних для користування, і присвоєнні їм відповідних позначень (кодів). Процес розміщення документів у заданому порядку називають *систематизацією*.

### *Показчики стандартів*

Показчики стандартів надають можливість:

- визначити нормативні документи, що діють у конкретній галузі;
- ознайомитися з бібліографічними описами нормативних документів;
- визначити перелік необхідних нормативних документів;
- побачити динаміку розвитку технічного законодавства в конкретній галузі;
- сформулювати та регулярно оновлювати фонд стандартів.

### *Алфавітний показчик*

Алфавітний показчик подано у вигляді ключових слів у контексті назв стандартів. Форма подання інформації відповідає формі, прийнятій в каталогах стандартів. Назви стандартів з'являються поряд із ключовими словами. Ключові слова (надруковані жирним шрифтом) розташовані в алфавітному порядку одним стовпцем на сторінку. Кожна назва стандарту записується лише в один рядок для кожного ключового слова з цієї назви, і тому назви, що містять понад 120 знаків, скорочені.

Ключові слова відокремлені від назв стандартів символом «•» за винятком тих випадків, коли назва починається з ключового слова.

Для економії місця ключові слова у запису назви стандарту замінені на символ «#».

*Електронний збірник стандартів* – це база даних з бібліографічними описами стандартів і повними офіційними копіями актуалізованих текстів стандартів.

Електронна бібліотека стандартів складається з інформаційних довідників, у яких подані в повнотекстовому вигляді стандарти (ДСТУ, ДСТУ ISO, ДСТУ ІЕС, ДСТУ ГОСТ, ГОСТ тощо), які є чинними в Україні і розповсюджуються на продукцію (процеси) певної галузі.

Усі міждержавні нормативні документи, затверджені до 1992 р., чинні в Україні, окрім стандартів, чинність яких скасовано наказами Держспоживстандарту України. Міждержавні нормативні документи, розроблені з 1992 р., державами–учасницями «Угоди про проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології та сертифікації», вводяться в дію наказами Держспоживстандарту України.

Перелік міждержавних нормативних документів, до яких прийнято зміни і чинність яких встановлена Держспоживстандартом України, надано в покажчику «Міждержавні стандарти» (видається з 2000 р.). У переліку нормативних документів за галузями стандартизації документи згруповані відповідно до *Українського класифікатора нормативних документів* (ДК 004–2008).

Нормативні документи в переліку подано за порядком зростання реєстраційних номерів. Класифікація нормативних документів побудована за ієрархічною трирівневою системою.

Перший рівень – *клас* – охоплює галузі стандартизації.

Другий рівень – *група* – об'єкти стандартизації. Деякі групи мають подальший поділ на підгрупи.

Позначення та назви документів подано безпосередньо під назвами класифікаційних угруповань, до яких вони належать, за порядком зростання реєстраційних номерів відповідно до розміщення їх у розділах основної частини.

Якщо документ належить до двох або більше угруповань, то він розміщується в усіх цих угрупованнях.

### Приклад розв'язання задач

1. Заданий клас – 32 – Точне машинобудування.
2. За заданим класом знайдено такі нормативні документи.

Таблиця 6.1 – Нормативні документи

№ пор.	Позначення НД	Назва НД	Стан	Дата внесення змін	Код УКНД	Група відповідно до ДК 004–2008	Підгрупа відповідно до ДК 004–2008
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ДСТУ 2410–94	Машини технологічні. Основні поняття і циклограми. Терміни та визначення	діє	–	25.020	Виробничі складальні процеси	–

Таблиця 6.2 – Опис нормативних документів

№ пор.	Позначення НД	Назва НД	Вид НД	Чинність	Класифікація відповідно до ДК 004–2008
1	2	3	4	5	6
1	ДСТУ ISO 9000–2007	Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів	Національний стандарт України	Діє (набув чинності 01–01–08 згідно наказу №209 від 03.09.07)	03.120.10

Закінчення таблиці 6.2

На заміну	Об'єкт стандартизації	Сфера розповсюдження
7	8	9
ДСТУ ISO 9000–2007	Основні положення системи управління якістю.	Цей стандарт застосовують організації, які прагнуть досягнути переваги завдяки запровадження системи управління якістю



### Завдання до теми

1. Ознайомитися та вивчити класифікацію стандартів за допомогою класифікатора ДК 004–2008, звернувши увагу на принцип поділу стандартів на класи, групи та підгрупи.

2. За заданим викладачем класом вибрати з електронної бази нормативні документи, що належать до заданого класу. За результатами пошуку оформити таблицю 6.3.

Таблиця 6.3 – Нормативні документи

№ пор.	Позначення НД	Назва НД	Стан	Дата внесення змін	Код УКНД	Група відповідно до ДК 004–2008	Підгрупа відповідно до ДК 004–2008
1	2	3	4	5	6	7	8

3. Скласти опис нормативних документів, виданих викладачем, заповнити таблицю 6.4.

Таблиця 6.4 – Опис нормативних документів

№ пор.	Позначення НД	Назва НД	Вид НД	Чинність	Класифікація відповідно до ДК 004–2008
1	2	3	4	5	6

Закінчення таблиці 6.4

На заміну	Об'єкт стандартизації	Сфера розповсюдження
7	8	9

### Контрольні питання

1. Що таке стандартизація?
2. Що таке стандарт?
3. Що таке нормативний документ?
4. Назвіть об'єкти стандартизації.
5. Наведіть показники стандартів.
6. Прокоментуйте призначення електронного збірника стандартів.

Література: [9, 10].

## Практична робота № 7

**Тема.** Аналіз показників якості продукції, складання їх номенклатури

**Мета:** вивчення номенклатури показників якості продукції. Набуття навичок класифікації та визначення одиничних показників якості продукції.

У результаті проведення практичного заняття студенти повинні:

- знати особливості номенклатури показників якості продукції;
- уміти проводити класифікацію і визначення показників якості продукції.

### Короткі теоретичні відомості

*Якість продукції* (згідно з ДСТУ 15467) – це сукупність властивостей продукції, які обумовлюють її придатність задовольняти певні потреби відповідно до її призначення.

Кожен показник якості, як кількісна характеристика однієї з властивостей об'єкта, повинен відображати здатність цього об'єкта задовольняти суспільні потреби в конкретних умовах.

Отже, для формування (введення) будь-якого показника якості необхідно враховувати такі *компоненти якості*: суспільна потреба; конкретні умови; об'єкт; ступінь задоволення потреби.

Для того, щоб оцінити рівень якості, необхідно використовувати відповідну *номенклатуру показників*. Показники якості поділяють на такі групи:

1) показники призначення (техніко-економічні), які характеризують корисну роботу (виконувані функції, для виконання яких вона призначена, і що обумовлюють сферу її застосування). Сюди належать потужність, продуктивність, міцність, вміст корисних речовин, калорійність та ін.;

2) *показники надійності, довговічності і безпеки*, які виокремлюють ступінь забезпечення довготривалості використання і безпечних умов праці та життєдіяльності людини: безвідмовність роботи, можливий термін

використання, технічний ресурс, термін безаварійної роботи, граничний термін зберігання та ін.;

3) *показники технологічності* характеризують властивість виробу щодо ефективності конструктивно-технологічних рішень: трудоемність, матеріаломісткість, енергоємність;

4) *показники стандартизації та уніфікації* характеризують насиченість продукції стандартними, уніфікованими і запозиченими елементами;

5) *екологічні показники* характеризують ступінь шкідливого впливу на здоров'я людини і навколишнє середовище: токсичність виробів, вміст шкідливих речовин, обсяг шкідливих викидів у довкілля за одиницю часу та ін.;

6) *економічні показники* відображають ступінь економічної вигоди виробництва і придбання споживачем: ціна одиниці виробу, прибуток з одиниці виробу, рівень експлуатаційних витрат та ін.;

7) *ергономічні показники* окреслюють відповідність техніко-експлуатаційних параметрів виробу антропометричним, фізіологічним і психологічним вимогам працівника (споживача): ступінь легкості керування, можливість одночасного охоплення контрольованих експлуатаційних показників, величина шуму, вібрації та ін.;

Гігієнічні показники визначають відповідність виробу гігієнічним умовам життєдіяльності та працездатність людини. Сюди відносять показники рівнів освітленості, температури, вологості, тиску та ін.;

8) *естетичні показники* визначають естетичні властивості (дизайн) виробу: виразність і оригінальність форми, кольорове оформлення, ступінь естетичності тари (упаковки) та ін.;

9) *патентно-правові показники* відображають ступінь використання винаходів під час проектування виробів: коефіцієнт патентного захисту, коефіцієнт патентної чистоти;

10) *показники транспортабельності* характеризують властивості продукції до переміщення в просторі, що не супроводжується її використанням або споживанням.

До показників транспортабельності належать: середня трудомісткість підготовки одиниці продукції до транспортування; середня вартість пакування продукції; середня вартість перевезення одиниці продукції на один км шляху; середня тривалість розвантаження продукції тощо.

#### *Характеристики показників якості*

Основними характеристиками показників якості є кількісна і якісна характеристика. Показники якості мають розмірність або можуть бути безрозмірними. Якщо показник якості є безрозмірним, то кількісною характеристикою є бал.

Показники якості поділяють на одиничні й комплексні. Одиничні показники належать до однієї з властивостей продукції, що визначають якість, а комплексні – відразу до декількох.

#### **Приклад розв'язання задач**

Об'єктом дослідження є холодильник. Сформулюємо одиничні показники якості та одиниці їх вимірювання, дані заносимо до таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Показники якості та одиниці їх вимірювання

№ пор.	Номенклатура показників	Одиничні показники якості	Міри
1	Показники призначення	Загальний об'єм холодильника	літри
		Об'єм морозильної камери	літри
		Температура зберігання заморожених продуктів	°С
		Температура в камері	°С
		Потужність заморожування продуктів	кг/доб.
		Споживана потужність	Вт
		Наявність системи швидкого заморожування	±
2	Показники надійності, довговічності й безпеки	Термін безвідмовної роботи	год
		Термін зберігання в режимі консервації (запакований)	год
		Клас електробезпеки	A,B,C,D
3	Показники технологічності	Питомі добові витрати електроенергії	кВт/год
4	Показники стандартизації та уніфікації	Застосування уніфікованих вузлів (двигун)	±

### Продовження таблиці 7.1

5	Екологічні показники	Використання токсичного газу фреону	±
6	Економічні показники	Ціна	грн
7	Ергономічні показники	Величина шуму	дБ
		Величина вібрації	м/с
		Висота, ширина, глибина	м
		Легкість керування	бал
8	Естетичні показники	Дизайн	бал
		Наявність товарного знаку	±
9	Патентно-правові	Коефіцієнт патентної чистоти	%
10	Показники транспортальності	Вартість перевезення	грн

### Завдання до теми

1. Вибрати об'єкт дослідження із заданого переліку (таблиця 7.2).
2. Сформувані одиничні показники якості.
3. Визначити міри показників якості (в одиницях фізичних величин або у безрозмірних одиницях, балах)
4. Результати оформити у вигляді таблиці 7.1 і зробити висновки.

Таблиця 7.2 – Типові об'єкти дослідження

№ варіанта	Об'єкт дослідження
1	Телевізор
2	Ноутбук
3	Банкомат
4	Радіопримач
5	Тюнер
6	Сканер
7	Айпад
8	Мультиметр
9	Пирометр
10	Мобільний телефон
11	Айфон
12	Радіотелефон
13	Музичний центр
14	Калькулятор
15	Газова плита
16	Мікрохвильова піч

## Контрольні питання

1. Що таке якість продукції?
2. Що таке рівень якості?
3. Прокоментуйте одиничні показники якості:
  - показники призначення;
  - показники надійності, довговічності й безпеки;
  - показники технологічності;
  - показники стандартизації й уніфікації;
  - екологічні показники;
  - економічні показники;
  - ергономічні показники;
  - естетичні показники;
  - патентно-правові показники.

**Література:** [11, 12].

## Практична робота № 8

**Тема.** Дослідження показників якості продукції. Розрахунок співвідношення ціна/якість

**Мета:** набуття навичок з розрахунку показників якості продукції.

У результаті проведення практичного заняття студенти повинні:

- знати методику проведення дослідження показників якості продукції;
- уміти розраховувати показники якості продукції.

### Короткі теоретичні відомості

*Рівень якості* – це кількісна характеристика міри придатності того чи іншого виду продукції для задоволення конкретного попиту на неї порівнянно з відповідними базовими показниками за фіксованих умов споживання.

Для визначення загального рівня якості використовують такі методи: вимірвальний (об'єктивний), органолептичний, диференційований, комплексний.

*Об'єктивний метод* означає оцінювання рівня якості продукції за допомогою стендових випробувань і вимірювань з використанням приладів, лабораторного аналізу. Цей метод застосовують для вимірювання абсолютного рівня якості засобів виробництва та деяких властивостей споживчих товарів.

*Органолептичний метод* ґрунтується на сприйманні якості продукції органами чуттів людини без застосування технічних вимірювальних і реєстраційних засобів.

До цього методу залучають експертів і застосовують бальну систему оцінювання показників якості.

*Диференційований метод* передбачає порівняння одиничних виробів з відповідними показниками виробів–еталонів або з базовими показниками стандартів (технічних умов).

*Комплексний метод* полягає у визначенні узагальнювального показника рівня якості оцінюваного виробу.

На сьогодні для визначення загального рівня якості використовують прикладну кваліметрію, яка розробляє методи кількісного оцінювання якості для конкретних видів об'єктів.

*Кваліметрія* – наукова дисципліна, що вивчає методологію і проблеми комплексного кількісного оцінювання якості об'єктів будь-якої природи.

Для оцінювання рівня якості однорідної продукції використовуються два кваліметричні методи: *диференційний і комплексний*.

*Диференційним* називають метод, що ґрунтується на порівнянні одиничних показників якості розглянутого зразка продукції з такими самими показниками якості базового зразка.

*Базове значення показника якості продукції* – це значення показника якості продукції, прийняте для порівняльного оцінювання її якості.

Вибір базового зразка здійснюють залежно від мети оцінювання рівня якості розглянутих зразків.

У разі, коли метою оцінювання є прийняття рішення за результатами випробувань відповідно до нормативно-технічного документа, згідно з яким оцінювана продукція виробляється, а як базові показники використовують показники стандарту.

Якщо необхідно оцінити якість на думку споживача, то базовим є найбільш конкурентоспроможний зразок з розглянутих.

Використовують два методи порівняння показників якості продукції:

1. За кваліметричною шкалою інтервалів, коли від  $i$ -го значення показника, що розглядається, продукції  $p_i$  віднімається  $i$ -те значення показника якості базового зразка  $p_{i \text{ баз}}$ .

2. За кваліметричною шкалою відносин, визначають показники якості  $k_i$ :

$$k_i = p_i / p_{i \text{ баз}}; \quad (8.1)$$

$$k_i = p_{i \text{ баз}} / p_i, \quad (8.2)$$

де  $p_i$  – значення  $i$ -го показника якості оцінюваної продукції;  $p_{i \text{ баз}}$  – значення  $i$ -го базового показника;  $i$  – кількість показників якості продукції.

Вибирають ту формулу, у якій збільшення відносного показника відповідає підвищенню якості продукції. Відносні значення показників якості не повинні відрізнятися від одиниці в обидві сторони більше, ніж на 20 % ( $0,8 < k_i < 1,2$ ), оскільки в цих межах вплив зміни дійсного значення показника  $p_i$  на величину відносної зміни показника  $k_i$  однаковим за використання формули (8.1) або (8.2). Точки наносять у системі координат: по осі абсцис – значення показника  $p_i$ , буде приблизно, по осі ординат – оцінки показника  $k_i$ ; визначають тенденцію зміни залежності в інтервалі між головними точками і будують графік. Під час використання обчислювальних машин криві необхідно апроксимувати адекватними аналітичними функціями.

*Комплексний метод оцінювання рівня якості продукції здійснюють з використанням комплексних (узагальнених) показників якості.*



Слід звернути увагу, що комплексне оцінювання не дає уявлення про окремі властивості продукції; комплексні показники можна отримувати за різного поєднання одиничних показників.

Тому комплексні показники повинні доповнювати, а не замінити окремі показники якості. Комплексний показник характеризує сукупність взаємопов'язаних властивостей (складна властивість) з усієї безлічі властивостей, що утворюють якість продукції, і виражається одним числом, що дозволяє на практиці порівнювати велику кількість показників якості продукції з такою самою кількістю базових показників.

Він відображає таку сукупність властивостей продукції, за якою прийнято рішення оцінювати якість продукції. Комплексні показники визначають для усіченого та ієрархічного «дерева» властивостей якості.

З огляду оцінювання якості, якість подають у вигляді *ієрархічної структури «дерева властивостей»*. На найнижчому (нульовому) рівні «ієрархічного дерева властивостей» знаходиться якість як узагальнена комплексна властивість продукції, на самому найвищому – прості одиничні властивості.

Побудову «ієрархічного дерева якості» починають зі складання переліку одиничних показників якості (одиничних властивостей), які можуть виявитися істотними для розв'язуваного завдання оцінювання якості. До «дерева властивостей» не слід включати показники, що знаходяться в функціональній залежності з іншими показниками «дерева».

Вибір одиничних показників якості обґрунтовують. Після складання списку показників, їх об'єднують у групи за характерними властивостями: призначення, технологічності, безпеки та інші.

Розрахунок комплексного показника якості передбачає визначення *коефіцієнтів вагомості*. Комплексними показниками якості є головні, інтегральні та середньозважені. Коли це можливо, для оцінювання

використовується головний показник, який найбільш повно відображає основне призначення продукції.

Коефіцієнти вагомості показників якості, що потрібні для визначення комплексних показників якості, визначають *експертними методом ранжування*.

Експертні методи застосовуються під час розв'язання таких завдань:

- формулювання та уточнення мети оцінювання якості продукції;
- розроблення класифікації продукції та споживачів;
- побудова ієрархічної структурної схеми показників якості;
- визначення коефіцієнтів вагомості показників;
- визначення базових значень показників та інші.

*Застосування експертного методу* передбачає дотримання таких умов:

- експертне оцінювання проводиться у разі неможливості використання більш об'єктивних методів для вирішення питання;
- думки експертів повинні бути незалежними;
- формулювання питань, поставлених перед експертами, має виключати можливість різного тлумачення;
- експерти повинні бути компетентні в розв'язуваних питаннях;
- кількість експертів має бути оптимальною;
- відповіді експертів повинні бути однозначними і забезпечувати можливість їх математичної обробки.

До недоліків експертного методу належить властивий йому суб'єктивізм, а також явище конформізму – вплив переважного у групі судження на думку експерта.

*Сутність експертного методу ранжування* припускає розстановку об'єктів вимірювань або показників якості в порядку їх уподобання або важливості.

Для цього експертам пропонують проранжувати параметри в порядку зростання важливості, тобто мінімальний ранг  $a_y = 1$  отримує найменш

важливий показник, наступний, найменш важливий з решти, отримує ранг  $a_y = 2$  і так далі.

Найбільш важливому показнику присвоюється ранг  $n$ . Часто в процесі експертного опитування виникає ситуація, коли експерт не може провести чіткого розмежування між двома або кількома членами ряду.

У такому разі вводяться «зв'язані ранги». Ступінь узгодженості експертів (коефіцієнт конкордації  $W$ ) визначають за результатами ранжирування.

Коефіцієнт вагомості  $q_i$  визначають за формулою:

$$q_i = a_i / \sum a_i \quad (8.3)$$

де  $a_i$  – сума балів, присвоєних усіма експертами по  $i$ -м показником якості;  $\sum a_i$  – сума балів, присвоєних усіма експертами за всіма показниками.

Ступінь узгодженості думок експертів характеризується *коефіцієнтом конкордації*  $W$ . Істотність значення  $W$  установлюють за допомогою критерію  $\chi_{ww}^2$  (розподіл Пірсона). Коефіцієнт конкордації  $W$  обчислюють за формулою:

$$WW = 12 \cdot S / [n^2 \cdot (m^3 - m)], \quad (8.4)$$

де  $S$  – сума квадратів відхилень суми рангів кожного об'єкта експертизи від середньоарифметичного значення рангів;  $n$  – кількість експертів;  $m$  – кількість показників якості.

Коефіцієнт конкордації може набувати значення від 1 (за відсутності узгодженості) до 0 (за повної однастайності).

Якщо коефіцієнт конкордації має недостатньо високе значення, то з експертами проводять тренування і обговорюють результати та аналізують помилки.

Підвищення узгодженості в експертній групі можна досягнути завдяки ретельному відпрацюванню анкет опитування експертів, які складаються з пояснювальних записок і карт опитування експертів.

Пояснювальна записка роз'яснює порядок проведення експертного оцінювання якості продукції та визначає правила заповнення картки опитування.

Карта опитування містить набір звернених до експерта питань про якість продукції.

Істотність значення  $W$  установлюють за допомогою критерію  $\chi^2_{ww}$ :

$$\chi^2_{ww} = 12 \cdot S / [m \cdot n \cdot (m + 1)]. \quad (8.5)$$

Значення  $\chi^2_{ww}$  порівнюють з табличним за заданого рівня значущості  $\alpha = 0,05$  і числа ступенів свободи  $f = m - 1$ . При  $\chi^2_{ww} > \chi^2_n(\alpha)$  ступінь узгодженості між експертами не викликає сумніву.

Значення комплексних показників якості визначають за формулою:

$$K = \sum q_{jj} \cdot k_{jj}, \quad (8.6)$$

де  $q_{jj}$  – вагомість показника якості, а  $k_{jj}$  – відносний показник якості

### Приклад розв'язання задач

Оцінити рівень якості холодильників різних моделей. Їх одиничні показники якості наведено в таблиці 1. Розглянемо показники призначення.

Таблиця 8.1 – Технічні параметри холодильників різних моделей

№ пор.	Модель холодильника	Загальний об'єм холодильника, л	Об'єм морозильної камери, л	Вага, кг	Споживана потужність, Вт
1	2	3	4	5	6
1	Nord	100	30	70	140
2	Indesit	120	40	90	120
3	Liebherr	150	50	100	100
4	Samsung	110	35	80	100

Усі розглянуті моделі холодильників призначені для зберігання продуктів в охолодженому і замороженому стані. Конструкція холодильників постійно вдосконалюється, тому аналізовані моделі мають відмінності в технічних характеристиках, дизайні та зручності використання. Наприклад, холодильник моделі Liebherr, порівнянно з іншими моделями, має певні елементи комфортності:

- можливість перенавішування дверей на протилежне відкривання;
- можливість перестановки полиць і бар'єрів по висоті з інтервалом

50 мм;

– обмеження кута відкривання дверей холодильної камери.

До всіх моделей холодильників визначені однакові вимоги з техніки безпеки, виробники подають відповідні рекомендації з догляду за холодильником, а також правила його зберігання.

Для кількісного оцінювання показників якості застосуємо прикладну кваліметрію.

У роботі оцінювання рівня якості холодильників диференційним методом проведемо за допомогою кваліметричної шкали відношень.

Як базову модель виберемо холодильник моделі Liebherr, оскільки вона має певні елементи комфортності. Використовуючи формули (8.1) і (8.2), визначимо значення відносних показників якості трьох моделей холодильників, що залишились. Результати розрахунків оформимо у вигляді таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Відносні значення показників якості

№ пор.	Модель холодильника	Загальний об'єм холодильника	Об'єм морозильної камери, л	Вага	Споживана потужність, Вт
1	2	3	4	5	6
1	Nord	0,67	0,6	1,43	0,71
2	Indesit	0,80	0,8	1,11	0,83
3	Samsung	0,73	0,7	1,25	1,00

Із таблиці 8.2 видно, що частина значень відносних показників якості більша, ніж одиниця, а частина – менша, тому не можна однозначно оцінити рівень якості продукції, тобто не можна визначити кращу модель. Отже, диференціальний метод оцінювання неприйнятними.

Для оцінювання показників якості застосуємо комплексний метод, що ґрунтується на розрахунку комплексного показника якості. Коефіцієнти вагомості показників якості, що потрібні для визначення комплексних показників якості, визначають експертним методом ранжування.

Проведемо експертне опитування ранжування одиничних показників якості холодильників за допомогою експертної групи, що складається з трьох осіб.

Отже, визначимо коефіцієнти вагомості показників якості холодильників (формула 8.3). Результати опитування наведемо у таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Результати експертного опитування

№ пор.	Показники якості	Номер експерта			Сума балів	$q_i$
		1	2	3		
1	Загальний об'єм холодильника	2	2	4	8	0,27
2	Об'єм морозильної камери	3	3	3	9	0,30
3	Вага	4	1	2	7	0,23
4	Споживана потужність	1	4	1	6	0,20
Усього:				30		

Уважатимемо, що ступінь узгодженості між експертами є достатнім для прийнятності їх оцінок. Підраховуємо значення комплексних показників якості для оцінюваних моделей холодильників за формулою 8.6. Результати заносимо до таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Значення комплексних показників якості для оцінюваних моделей холодильників

Моделі холодильників	Nord	Indesit	Liebherr	Samsung
Комплексні показники якості	0,8318	0,8773	1	0,8946

На підставі розрахунку комплексних показників якості різних моделей холодильників, можна зробити висновок, що з поданих моделей холодильників, кращою з оцінюваних показниками якості є Liebherr. Найгіршою моделлю, на підставі розрахунку, є Nord.

#### Завдання до теми

1. Вибрати об'єкт дослідження із заданого переліку (таблиця 8.5).
2. Провести розрахунки одиничних показників якості, зробити висновки.
3. Провести процедуру визначення коефіцієнтів вагомості в групах.
4. Результати розрахунків оформити у вигляді таблиць.

5. Розрахувати комплексний показник якості та зробити висновки.

Таблиця 8.5 – Типові об'єкти дослідження

№ варіанта	Об'єкт дослідження
1	Телевізор (Samsung, Sony, Toshiba, LG, Philips)
2	Ноутбук (Samsung, Sony, LG, Lenovo)
3	Радіопримач (Samsung, Sony, LG, Philips )
4	Тюнер (Sony, Toshiba, Motorola, Philips)
5	Сканер (Samsung, HP, Toshiba, LG, Xerox)
6	Мультиметр (Samsung, Sony, Toshiba, LG)
7	Пирометр (Samsung, Sony, Toshiba, LG)
8	Мобільний телефон (Samsung, LG, Lenovo, Nokia)
9	Радіотелефон (Samsung, Sony, Toshiba, LG, Philips)
10	Музичний центр (Samsung, Sony, Toshiba, LG, Philips)
11	Калькулятор (Samsung, Sony, LG, Philips)
12	Газова плита (Samsung, Ariston, AMG, Milli)
13	Мікрохвильова піч (Samsung, LG, AMG, Milli)

### Контрольні питання

1. Що таке якість продукції?
2. Що таке рівень якості?
3. Методи визначення загального рівня якості:
  - об'єктивний метод;
  - органолептичний метод;
  - диференційований метод;
  - комплексний метод.
4. Що таке кваліметрія та її методи?
5. Базове значення показника якості. Вибір базового зразка.
6. Методи порівняння показників якості.
7. Комплексні показники якості.
8. «Ієрархічне дерево якості».
9. Застосування експертного методу ранжування.
10. Сутність експертного методу ранжування.

**Література:** [13-15].

## 2 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ

### 1. Розподіл балів та критерії оцінювання за семестрами

Навчальна дисципліна викладається у 2 семестрі, формою семестрового контролю є іспит. Критерії оцінювання знань наведено в табл. 9.1.

Таблиця 9.1 – Розподіл балів за видами занять

Вид занять, складові контролю	Кількість занять (завдань)	Максим. бал
<b>Поточний контроль</b>		
<b>Лекційні заняття:</b> відвідування, наявність конспекту та активність	15	20
<b>Лабораторні роботи:</b> підготовка, опрацювання результатів та оформлення звіту, захист	5	30
<b>Практичні заняття:</b> відвідування, активність, опитування, виконання індивідуальних завдань, перевірка самостійної роботи	8	30
<b>Підсумковий контроль</b>		
Іспит		20
Підсумок		100



Таблиця 9.2 – Таблиця відповідності результатів контролю знань за різними шкалами і критерії оцінювання

Сума балів за 100-бальною шкалою	Оцінка в ECTS	Значення оцінки ECTS	Критерії оцінювання	Рівень компетентості	Оцінка за національною шкалою
					іспит, диференційований залік
90-100	A	відмінно	Студент виявляє особливі творчі здібності, вміє самостійно здобувати знання, без допомоги викладача знаходить та опрацьовує необхідну інформацію, вміє використовувати набуті знання і вміння для прийняття рішень у нестандартних ситуаціях, переконливо аргументує відповіді, самостійно розкриває власні обдарування і нахили	Високий (творчий)	відмінно
82-89	B	дуже добре	Студент вільно володіє вивченим обсягом матеріалу, застосовує його на практиці, вільно розв'язує вправи і задачі у стандартних ситуаціях, самостійно виправляє допущені помилки, кількість яких незначна	Достатній (конструктивно-варіативний)	добре
74-81	C	добре	Студент вміє зіставляти, узагальнювати, систематизувати інформацію під керівництвом викладача; в цілому самостійно застосовувати її на практиці; контролювати власну діяльність; виправляти помилки, серед яких є суттєві, добирати аргументи для підтвердження думок		

Продовження табл. 9.2

64-73	D	задовільно	Студент відтворює значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання і розуміння основних положень; з допомогою викладача може аналізувати навчальний матеріал, виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих	Середній (репродуктивний)	задовільно
60-63	E	достатньо	Студент володіє навчальним матеріалом на рівні, вищому за початковий, значну частину його відтворює на репродуктивному рівні		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання семестрового контролю	Студент володіє матеріалом на рівні окремих фрагментів, що становлять незначну частину навчального матеріалу	Низький (рецептивно-продуктивний)	незадовільно
1-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням залікового кредиту	Студент володіє матеріалом на рівні елементарного розпізнання і відтворення окремих фактів, елементів, об'єктів		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Законодавство України про стандартизацію, метрологію і сертифікацію: закони і законодавчі акти / редкол.: В. С. Ковальський та ін. Київ: Юрінком Інтер, 2003. 446 с.
2. Саранча Г. Метрологія, стандартизація, відповідність, акредитація та управління якістю: підручник. М-во освіти і науки України, Київський нац. ун-т будівництва і архітектури. Київ: Центр навчальної літератури, 2006. 668 с.
3. Тарасова В. В., Малиновський А. С., Рибак М. Ф. Метрологія, стандартизація і сертифікація: підручник для вищих навчальних закладів. Мін-во освіти і науки України, Державний агроекологічний ун-т. Київ: Центр навчальної літератури, 2006. 262 с.
4. Шаповал М. Основи стандартизації, управління якістю і сертифікації: підручник. Європейський університет. 3-є вид., перероб. і доп. Київ: Вид-во Європейського ун-ту, 2001. 172 с.
5. Бабак В. П., Білецький А. Я., Приставка О. П., Приставка П. О. Основи теорії ймовірностей та математичної статистики. Київ: КВІЦ, 2003. 431 с.
6. Батаєв О. П., Ковтун І. В., Корольова Н. А. Теорія електричного зв'язку: навч. посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2010. 630 с.
7. Петровська М. Стандартизація, метрологія і сертифікація доквілля: навчальний посібник. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2019. 420 с.
8. Шуста В. С., Гомоннай О. О., Сливка О. Г., Гомоннай О. В. Основи статистичної обробки результатів вимірювань: метод. вказ. до лаб. робіт. Ужгород. 2020. 45 с.
9. Горкунов Б. М., Львов С. Г., Борисенко Є. А. Вимірювання параметрів електричних кіл: навчальний посібник для студентів спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка». Харків: ФОП Панов А. М., 2020. 165 с.

10. Сусліков Л. М., Студеняк І. П. Метрологія та вимірювання: Навчальний посібник. Ужгород: Видавництво УжНУ, 2014. 292 с.
11. Сенчук М. М., Хахула В. С., Василенко О. С. Метрологія: Навчально-методичний посібник для самостійної роботи та лабораторно-практичних занять за кредитно-модульною системою навчання студентів агробіотехнологічного факультету. Біла Церква, 2018. 154 с.
12. Кичак В.М., Стронський В. В., Белов В. С. Електрорадіовимірювання: лабораторний практикум. Вінниця: ВНТУ, 2017. 90 с.
13. Гара О. М. Основи метрології і стандартизації в будівництві. Навч. посіб. Одеса: ПОЛІГРАФ, 2016. 256 с.
14. Терлецький Т. В., Кайдик О. Л., Ткачук А. А., Речун О. Ю. Основи технічної документації: Навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей; під заг. ред. Терлецького Т.В. Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2021. 126 с.
15. Стойко І. І. Стандартизація, сертифікація, метрологія: Навч.-метод. посібник. Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2018. 212 с.
16. Машта Н. О., Бенчук О. П., Бенчук Г. П., Акімова Л. М., Дейнега О. В. Основи стандартизації, метрології та управління якістю: Навчальний посібник. Рівне: О. Зень, 2015. 388 с.

Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Метрологія, стандартизація, сертифікація та управління якістю» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня денної форми навчання зі спеціальності 171 – «Електроніка» освітньо-професійної програми «технологія, обладнання та виробництво електронної техніки»

Укладач к. т. н., доц. Д. В. Мосьпан

Відповідальний за випуск зав. кафедри КІЕ проф. А. Л. Перекрест

Підп. до др. \_\_\_\_\_. Формат 60×84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.  
Ум. друк. арк. \_\_\_\_\_. Наклад \_\_\_\_\_ прим. Зам. № \_\_\_\_\_. Безкоштовно.

Редакційно-видавничий відділ  
Кременчуцького національного університету  
імені Михайла Остроградського  
вул. Університетська 20, м. Кременчук, 39600