НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА ЛІТЕРАТУРА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА
ПУЛЮЯ

Кафедра електричної інженерії

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

З КУРСУ

«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ»

**для здобувачів вищої освіти
за спеціальністю G3 Електрична інженерія
першого рівня вищої освіти**

ID 1743

Тернопіль 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Кафедра електричної інженерії

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

З КУРСУ

«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ»

для здобувачів вищої освіти
за спеціальністю G3 Електрична інженерія
першого рівня вищої освіти

ID 1743

Тернопіль 2026

Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентів з дисципліни «Основи метрології та електричних вимірювань» для здобувачів вищої освіти за спеціальністю G3 Електрична інженерія, першого рівня вищої освіти / Уклад.: к.т.н., доцент Сергій БАБЮК. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2026. – 37 с.

Укладач: к.т.н., доцент Сергій БАБЮК

Рецензент: д.т.н., професор Анатолій ЛУПЕНКО

Методичні вказівки розглянуто і затверджено на засіданні кафедри електричної інженерії
Протокол № 1 від 25.08.2026 р.

Схвалено методичною радою ФПТ Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.
Протокол № 1 від 28.08.2026 р.

ЗМІСТ

1. Мета, завдання та результати навчання
2. Структура дисципліни і місце самостійної роботи
3. Види самостійної роботи та розподіл годин
4. Загальні рекомендації щодо організації самостійної роботи
5. Зміст тем для самостійного опрацювання
6. Підготовка до лабораторних занять
7. Розрахункові завдання для самостійного виконання
8. Підготовка до тестування та заліку. Питання для самоперевірки
9. Контроль і оцінювання самостійної роботи
10. Рекомендована література та інформаційні ресурси

Додатки:
А. Таблиця коефіцієнтів Стьюдента й критичних значень Грабса.
Б. Форма титульного аркуша та контрольний список оформлення.
В. Індивідуальний план самостійної роботи.

ВСТУП

Самостійна робота є невід’ємною частиною навчального процесу й основою пізнавальної діяльності студента. Для дисципліни «Основи метрології та електричних вимірювань» вона має особливу вагу: за робочою програмою 2024 р. частка годин самостійної роботи становить 55 % для денної та 90 % для заочної (дистанційної) форми навчання. Лекції подають лише опорні положення, тому значна частина матеріалу виноситься на самостійне опрацювання.

Мета цих методичних вказівок – допомогти студенту організувати самостійну роботу так, щоб вона давала вимірюваний результат: засвоєні поняття, виконані розрахунки, підготовленість до лабораторних занять, успішне складання модульних тестів і заліку.

У вказівках наведено: розподіл годин за видами робіт; перелік питань для опрацювання з посиланнями на джерела; вимоги до конспекту та звіту; сім розрахункових завдань із вибором варіанта за номером залікової книжки та зразками розв’язання; питання для самоперевірки; критерії оцінювання.

Примітка. Самостійна робота студента охоплює три групи діяльності, закладені в робочій програмі: опрацювання розділів програми, які не виносяться на лекції; підготовку до лабораторних занять; підготовку до тестування. Розрахункові завдання розділу 7 виконуються в межах годин опрацювання розділів програми і служать способом перевірити засвоєння теми.

1. МЕТА, ЗАВДАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Мета вивчення дисципліни – здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з метрологією, електричними вимірюваннями, роботою пристроїв автоматичного керування, релейного захисту та автоматики.

Завдання дисципліни. Студент повинен:

- знати теоретичні основи метрології та електричних вимірювань, одиниці фізичних величин та їх систему, еталони основних величин і принципи їх побудови, будову і принцип дії вимірювальних приладів, методи обробки результатів вимірювань з урахуванням похибок;
- вміти виконувати вимірювання, обробляти їх результати, оцінювати похибки за метрологічними характеристиками апаратури, застосовувати засоби вимірювальної техніки для розв'язання професійних задач.

Успішне засвоєння курсу передбачає попереднє вивчення дисциплін «Фізика», «Вища математика», «Теоретичні основи електротехніки».

Програмні результати навчання: ПРН 2 (знати і розуміти теоретичні основи метрології та електричних вимірювань, мати навички вимірювань); ПРН 18 (вміти самостійно вчитися, опановувати нові знання, вдосконалювати навички роботи з вимірювальною технікою та прикладним програмним забезпеченням).

Компетентності: ІК; ЗК01, ЗК02, ЗК03, ЗК04, ЗК05, ЗК06, ЗК07, ЗК08, ЗК10; ФК14, ФК19, ФК20, ФК21 (повні формулювання – у робочій програмі дисципліни).

Самостійна робота безпосередньо розвиває ЗК05 (пошук, оброблення та аналіз інформації з різних джерел), ЗК08 (здатність працювати автономно), ФК14 (розв'язання спеціалізованих задач метрології) і ПРН 18.

Очікувані результати самостійної роботи. Після її виконання студент:

1. пояснює основні поняття метрології і користується системою СІ, коректно записує результат вимірювання з похибкою;
2. визначає метрологічні характеристики засобу вимірювання за його класом точності та шкалою;
3. обробляє ряд багатократних спостережень, виявляє грубі промахи, будує довірчий інтервал;
4. розраховує шунти, додаткові резистори, вимірювальні трансформатори, схеми вимірювання потужності та енергії;
5. пояснює принцип дії, будову і похибки електромеханічних, електронних та цифрових приладів, мостових і компенсаційних схем;
6. готує звіт і захищає результати лабораторних та розрахункових робіт.

2. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛІНИ І МІСЦЕ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 2.1 – Структура дисципліни (за робочою програмою 2024 р.)

Показник	Денна форма	Заочна (дистанційна) форма
Кількість кредитів / годин	4 / 120	4 / 120
Аудиторні заняття, год.	54	12
– лекції	36	8
– лабораторні заняття	18	4
Самостійна робота, год.	66	108
– опрацювання розділів програми, що не виносяться на лекції	40	82
– підготовка до лабораторних занять	16	16
– підготовка до тестування та складання заліку	10	10
Частка самостійної роботи	55 %	90 %
Форма підсумкового контролю	залік	залік

Дисципліна складається з двох змістових модулів. Модуль 1 охоплює теми 1–6 (основи метрології, похибки, обробка результатів, засоби вимірювальної техніки, їх похибки і класи точності). Модуль 2 охоплює теми 7–12 (вимірювальні перетворювачі, аналогові та електронні прилади, міри, прилади порівняння, вимірювання потужності та енергії).

Навчально-методичне забезпечення розміщено в електронному середовищі ATutor (ID курсу 1743): конспект опорних лекцій, методичні вказівки до лабораторних робіт, матеріали для самостійного вивчення, питання поточного та підсумкового контролю.

3. ВИДИ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ТА РОЗПОДІЛ ГОДИН

Таблиця 3.1 – Рекомендований розподіл годин самостійної роботи

№	Тема для самостійного опрацювання	Джерело (Посібник, 2015)	ДФН, год.	ЗФН, год.
1	Метрична система мір, Міжнародна система одиниць (СІ), біт і децибел	розд. I, с. 8–22	3	6
2	Основні поняття метрології. Робочі та зразкові засоби вимірювання. Забезпечення єдності вимірювань, еталони, повірка і калібрування	розд. II, с. 23–31	4	8
3	Нормування метрологічних характеристик засобів вимірювання. Клас точності	розд. III, с. 32–42	4	8
4	Джерела похибок, види похибок за походженням і властивостями. Обробка результатів прямих багатократних вимірювань	розд. IV, с. 43–52	4	9
5	Лічильники електричної енергії: індукційні, електронні, цифрові. Ідентифікація електромеханічних приладів	розд. VI, XVIII, с. 67–77, 150–157	4	8
6	Розширення меж вимірювання амперметрів і вольтметрів. Шунти, додаткові резистори, давачі Холла	розд. VII, с. 78–83	4	8
7	Вимірювальні трансформатори струму та напруги	розд. VIII, с. 84–90	4	9
8	Вимірювання потужності та енергії в колах постійного і змінного струму, у трифазних колах (схема Арона)	розд. IX, с. 91–100	3	7
9	Методи порівняння: компенсатори, мости постійного та змінного струму	розд. XI–XIII, с. 109–124	3	7
10	Електронно-променевий осцилограф. Електронні вольтметри	розд. XIV, с. 125–131	3	6
11	Цифрові вимірювальні прилади: АЦП, коди, елементи і блоки, цифрові вольтметри та частотоміри	розд. XV–XVII, с. 132–149	4	6
	Разом: опрацювання розділів програми		**40**	**82**
12	Підготовка до лабораторних занять (8 робіт по 2 год.)	розділ 6 цих вказівок	16	16
13	Підготовка до модульних тестів і заліку (2 модулі по 5 год.)	розділ 8 цих вказівок	10	10
	Усього самостійної роботи		**66**	**108**

4. ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

4.1. Алгоритм опрацювання теми

Кожну тему доцільно опрацьовувати за єдиною схемою. Вона економить час і забезпечує, що матеріал не просто прочитано, а засвоєно.

1. **Огляд (10–15 хв).** Прочитайте назви підрозділів, перелік питань до теми (розділ 5) і контрольні питання (розділ 8). Визначте, що саме ви маєте вміти після вивчення.
2. **Уважне читання.** Читайте з олівцем: виділяйте визначення, формули, умови їх застосування. Позначайте незрозумілі місця – до них ви повернетеся.
3. **Самоперевірка.** Закрийте джерело й письмово дайте відповіді на питання до теми. Те, що не вдалося відтворити, – повторіть.
4. **Задача.** Закріпіть тему розрахунком: розв’яжіть приклад з розділу 7 або контрольну задачу зі свого варіанта.
5. **Фіксація питань.** Запишіть те, що залишилося незрозумілим, і поставте ці питання викладачеві на консультації або під час допуску до лабораторної роботи.

4.2. Робота з джерелами

Рекомендований порядок: (1) конспект опорних лекцій та матеріали курсу в ATutor; (2) навчально-методичний посібник Решетника В. Я., Бабюка С. М. (2015) – основний текст для самостійного вивчення; (3) підручники й навчальні посібники (Поліщук Є. С. та ін., Кухарчук В. В. та ін., Лавренова Д. Л., Хлистов В. М. та інші зі списку літератури); (4) нормативні документи й закони.

4.4. Рекомендований графік самостійної роботи (денна форма)

При 66 годинах самостійної роботи й тривалості семестру 15 тижнів у середньому припадає 4–5 годин на тиждень. Розподіл тем за тижнями наведено в таблиці 4.1; його слід узгодити з розкладом лекцій і лабораторних занять. Студенти заочної (дистанційної) форми складають індивідуальний графік на міжсесійний період: 108 годин рекомендовано розподілити за темами пропорційно до таблиці 3.1 і завершити конспекти та розрахункові завдання до початку сесії (форма індивідуального плану – у додатку В).

Таблиця 4.1 – Орієнтовний графік самостійної роботи

Тиждень	Самостійна робота	Контрольна точка
1	СР-1 (метрична система, СІ); підготовка до ЛР №1	Допуск до ЛР №1
2	СР-2 (основи метрології, єдність вимірювань)	–
3	СР-3 (нормування метрологічних характеристик); завдання 1	Підготовка до ЛР №2
4	СР-4 (похибки, обробка результатів); завдання 2	Підготовка до ЛР №3
5	Повторення модуля 1; підготовка до ЛР №4	Модульний тест 1 (ATutor)
6	СР-5 (лічильники енергії); завдання 7	–
7	СР-6 (розширення меж вимірювання); завдання 3	Допуск до ЛР №4
8	СР-7 (вимірювальні трансформатори); завдання 4	Підготовка до ЛР №5
9	СР-8 (потужність та енергія); завдання 5	–
10	СР-9 (методи порівняння, мости)	Підготовка до ЛР №6
11	СР-10 (осцилографи, електронні вольтметри)	–
12	СР-11 (цифрові прилади); завдання 6	Підготовка до ЛР №7
13	Оформлення розрахункових завдань, подання на перевірку	Підготовка до ЛР №8
14	Повторення модуля 2	–
15	Консультація, повторення	Модульний тест 2, залік

4.5. Академічна доброчесність

Самостійна робота має бути виконана особисто. Запозичені фрагменти (формулювання, рисунки, таблиці) супроводжуйте посиланнями. Розрахункові завдання виконуються за власним варіантом; копіювання розв’язань та їх відтворення без розуміння ходу обчислень унеможливлює захист. Якщо ви користуєтеся сервісами на основі штучного інтелекту для пояснення незрозумілих місць, перевіряйте отримані твердження за підручником і нормативними документами та не подавайте згенерований текст як власний конспект. Правила використання таких сервісів визначаються положенням університету про академічну доброчесність.

4.6. Консультації

У разі труднощів студент отримує консультацію викладача за графіком кафедри. Питання краще формулювати конкретно: вказати розділ, формулу або крок розрахунку, на якому виникла проблема.

5. ЗМІСТ ТЕМ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ

Теми самостійної роботи (СР-1 … СР-11) охоплюють матеріал, що виноситься на самостійне вивчення повністю або частково, і доповнюють лекційні теми 1–12 робочої програми. Нумерація СР-n не збігається з нумерацією лекційних тем. Для кожної теми вказано питання для вивчення, ключові поняття та форму звіту. Сторінки подано за посібником 2015 р.

СР-1. Метрична система мір. Міжнародна система одиниць (СІ). Біт і децибел

Питання для вивчення.

- Передумови створення метричної системи мір; діяльність Метричної комісії, роль П. С. Лапласа; перші еталони метра і кілограма.
- Міжнародна система одиниць: сім основних одиниць, похідні одиниці з власними назвами, кратні та частинні одиниці (префікси), правила написання назв і позначень.
- Перегляд СІ 2019 р.: через які сталі визначено ампер, кілограм, кельвін і моль; чим нові визначення відрізняються від попередніх.
- Розмірність фізичної величини; когерентні системи одиниць.
- Одиниця кількості інформації – біт; одиниці рівня сигналу – децибел і непер; формули $L = 20 \cdot \lg(U_2/U_1)$ і $L = 10 \cdot \lg(P_2/P_1)$.

Ключові поняття: фізична величина, одиниця, розмірність, основні та похідні одиниці, префікс, логарифмічні одиниці.

СР-2. Основні поняття метрології. Засоби вимірювання. Забезпечення єдності вимірювань

Питання для вивчення.

- Вимірювання як процес; істинне, дійсне та виміряне значення величини; результат і похибка вимірювання.
- Засоби вимірювальної техніки: міри, вимірювальні перетворювачі, вимірювальні прилади, вимірювальні установки та системи; робочі й зразкові засоби вимірювання.
- Єдність вимірювань; еталони (первинні, вторинні, робочі), перевірна (повірочна) схема як ієрархія передачі розміру одиниці.
- Повірка та калібрування: у чому різниця, хто виконує, який документ видається.
- Законодавча метрологія в Україні: Закон «Про метрологію та метрологічну діяльність», державний метрологічний нагляд, ДСТУ 2681-94 (терміни та визначення), ДСТУ 2682-94 (державна система забезпечення єдності вимірювань).

Ключові поняття: єдність вимірювань, простежуваність, еталон, повірка, калібрування, законодавча метрологія.

СР-3. Нормування метрологічних характеристик засобів вимірювання. Клас точності

Питання для вивчення.

- Метрологічні характеристики: діапазон і межі вимірювання, ціна поділки, чутливість, поріг чутливості, варіація показів, вхідний опір.
- Основна та додаткові похибки; нормальні та робочі умови застосування; впливні величини.
- Способи нормування похибок: абсолютна, відносна, приведена; клас точності та його позначення на шкалі (число без позначки, число в колі, дріб c/d).
- Розрахунок граничної похибки за класом точності та вибір приладу під задане значення вимірюваної величини (чому слід вимірювати у другій половині шкали).

Ключові формули: $\Delta max = \gamma \cdot X_{ном} / 100$; $\delta = \Delta / X \cdot 100\ \%$; для класу c/d: $\delta = c + d \cdot (X_к / X - 1)$.

Форма звіту: розв'язання завдання 1 (розділ 7) з обґрунтуванням вибору приладу.

СР-4. Джерела похибок. Види похибок. Обробка результатів прямих багатократних вимірювань

Питання для вивчення.

- Класифікація похибок: за способом вираження, за закономірністю прояву (систематичні, випадкові, грубі), за джерелом (методичні, інструментальні, суб'єктивні, зовнішні).
- Виявлення та усунення систематичних похибок: поправка, метод заміщення, компенсація похибки за знаком, протиставлення.
- Закони розподілу випадкових похибок; нормальний закон; оцінки середнього значення, середнього квадратичного відхилення (СКВ) і СКВ середнього.
- Довірчий інтервал і довірча ймовірність; коефіцієнт Стьюдента; запис результату вимірювання (правила округлення).
- Виявлення грубих похибок (критерій Граббса); непрямі вимірювання – похибка суми, добутку, частки.
- Для поглибленого вивчення: стандартна невизначеність типу A і типу B та сумарна невизначеність (JCGM 100:2008).

Ключові формули: $\bar{x} = \Sigma x_i / n$; $S = \sqrt{[\Sigma(x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)]}$; $S(\bar{x}) = S / \sqrt{n}$; $\varepsilon = t(P, n-1) \cdot S(\bar{x})$.

Форма звіту: розв’язання завдання 2 (розділ 7) з таблицею проміжних обчислень.

СР-5. Лічильники електричної енергії. Ідентифікація електромеханічних приладів

Питання для вивчення.

- Однофазний індукційний лічильник: будова (струмова й напругова котушки, алюмінієвий диск, гальмівний магніт, лічильний механізм), принцип дії, умова пропорційності обертів диска спожитій енергії.
- Передавальне число (кількість обертів диска на 1 кВт·год), стала лічильника, чутливість, самохід, клас точності; повірка лічильника методом ватметра й секундоміра.
- Електронні та цифрові лічильники: структурна схема (датчики струму й напруги, АЦП, мікроконтролер, інтерфейс, дисплей), багатотарифний облік; трифазні лічильники; поняття про автоматизовані системи контролю й обліку електроенергії.
- Ідентифікація електромеханічних приладів: умовні позначення на шкалах (система приладу, рід струму, положення шкали, клас точності, випробувальна напруга ізоляції).

Форма звіту: розв’язання завдання 7.

СР-6. Розширення меж вимірювання амперметрів і вольтметрів

Питання для вивчення.

- Схеми вмикання амперметра і вольтметра в коло, за яких методична похибка менша; вплив власного опору приладів.
- Шунт для розширення меж вимірювання амперметра: схема, розрахунок опору, клас точності шунтів, номінальне падіння напруги на шунті, його похибки та вплив температури; чотиризатискачні шунти.
- Додатковий резистор для вольтметра; багатограничні вольтметри; подільники напруги.
- Вимірювання великих постійних струмів (до 1000 А) за допомогою давачів Холла: принцип дії та переваги.

Ключові формули: $R_ш = R_п / (n - 1)$, $n = I / I_п$; $R_д = R_п \cdot (m - 1)$, $m = U / U_п$.

Форма звіту: розв’язання завдання 3 (опори $R_ш$ і $R_д$ для свого варіанта), що готує до лабораторної роботи №4.

СР-7. Вимірювальні трансформатори струму та напруги

Питання для вивчення.

- Призначення вимірювальних трансформаторів: розширення меж вимірювання, гальванічна розв'язка кіл високої напруги від приладів.
- Трансформатор струму (ТС): схема вмикання, номінальний коефіцієнт трансформації, режим роботи близький до короткого замикання, **небезпека розмикання вторинного кола**, заземлення вторинної обмотки.
- Трансформатор напруги (ТН): схема вмикання, режим роботи близький до холостого ходу, **недопустимість короткого замикання вторинного кола**, захист запобіжниками.
- Похибки трансформаторів: похибка коефіцієнта трансформації (струмова або напругова) і кутова похибка; класи точності; номінальне вторинне навантаження (ВА) та вплив перевантаження на клас точності.
- Вплив похибок вимірювальних трансформаторів на результат вимірювання потужності й енергії.

Ключові формули: $K_{ном} = I1_{ном} / I2_{ном}$ (для ТН – $U1_{ном} / U2_{ном}$); $I1 = K_{ном} \cdot I2$; $fI = (K_{ном} \cdot I2 - I1) / I1 \cdot 100\ \%$.

Форма звіту: розв'язання завдання 4.

СР-8. Вимірювання потужності й енергії в колах постійного і змінного струму

Питання для вивчення.

- Ватметри електродинамічної та феродинамічної систем: схема, генераторні затискачі, умова правильного вмикання, цифрова ціна поділки.
- Вимірювання потужності в колах постійного та однофазного змінного струму; вимірювання через ТС і ТН.
- Короткі відомості з теорії трифазних кіл: симетричне та несиметричне навантаження, схеми «зірка» і «трикутник», лінійні та фазні величини.
- Вимірювання активної потужності: один ватметр (симетричне навантаження), два ватметри (схема Арона), три ватметри (чотирипровідна мережа).
- Вимірювання реактивної потужності в трифазних колах; визначення коефіцієнта потужності cos φ за показами двох ватметрів.

Ключові формули (симетричне навантаження, схема Арона): $P = P_1 + P_2$; $Q = \sqrt{3} \cdot (P_1 - P_2)$; $S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$; $\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \cdot (P_1 - P_2) / (P_1 + P_2)$.

Форма звіту: розв'язання завдання 5.

СР-9. Методи порівняння: компенсатори та мости постійного і змінного струму

Питання для вивчення.

- Суть методів порівняння з мірою; нульовий і диференціальний методи.
- Компенсатор постійного струму: принцип дії, схема, джерело зразкової напруги, нуль-індикатор; автоматичні компенсатори.
- Міст постійного струму (Уітстона): умова рівноваги, чутливість, межі застосування; подвійний міст (Томсона) для вимірювання малих опорів.
- Мости змінного струму: два комплексні рівняння рівноваги (за модулем і за фазою), мости для вимірювання ємності, індуктивності, добротності й тангенса кута втрат.
- Джерела похибок мостових схем і шляхи їх зменшення.

Ключові формули: $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$ (міст постійного струму); $Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$ (міст змінного струму).

СР-10. Електронно-променевий осцилограф. Електронні вольтметри

Питання для вивчення.

- Будова й принцип роботи електронно-променевої трубки; функціональна схема осцилографа: канал вертикального відхилення, генератор розгортки, синхронізація, підсилювачі.
- Вимірювання за допомогою осцилографа: амплітуда, період і частота, зсув фаз (метод еліпса, фігури Ліссажу); похибки осцилографічних вимірювань.
- Цифрові осцилографи: аналого-цифрове перетворення, частота дискретизації, вимоги до неї відносно смуги сигналу.
- Електронні вольтметри: структури вольтметрів із перетворювачами амплітудних, середньовипрямлених і середньоквадратичних значень; градуювання шкал у середньоквадратичних значеннях синусоїди; вплив форми кривої (коефіцієнти форми й амплітуди).

СР-11. Цифрові вимірювальні прилади

Питання для вивчення.

- Аналого-цифрове перетворення: дискретизація, квантування, кодування; похибка квантування та роздільна здатність.
- Коди цифрових приладів: двійковий, двійково-десятковий, код Грея.
- Елементи й блоки: логічні елементи, тригери, двійковий і двійково-десятковий лічильники, дешифратор, знаковий індикатор.

- Цифровий вольтметр часо-імпульсного перетворення та цифровий вольтметр двотактного інтегрування: структурні схеми, часові діаграми, похибки, завадостійкість.
- Цифровий частотомір: режими вимірювання частоти й періоду, похибка дискретності.

Ключові формули: $q = U_{max} / 2^n$; $\Delta_{кв} = \pm q / 2$; для двотактного інтегрування $U_x = U_{зр} \cdot T_2 / T_1$; для частотоміра $f_x = N / T_0$, $\delta_{дискр} = \pm 1 / N$.

Форма звіту: розв’язання завдання 6.

6. ПІДГОТОВКА ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

До лабораторної роботи студент готується самостійно (2 години на кожну з восьми робіт). Рівень підготовки перевіряє викладач на початку заняття. Студента, який не відповів на контрольні питання або не оформив звіт з попередньої роботи, до виконання нової роботи не допускають; пропущену роботу він виконує у додатково призначений час. Звіт оформлюється самостійно до початку наступної роботи й захищається індивідуально, як правило, на наступному занятті.

6.1. Порядок підготовки

1. Прочитайте мету роботи й теоретичні відомості в методичних вказівках до лабораторних робіт (ID 1743).
2. Опрацюйте відповідну тему самостійної роботи (таблиця 6.1) та лекційний матеріал.
3. Підготуйте в зошиті заготовку звіту: титульний аркуш, мету, схеми, перелік обладнання, порожні таблиці для результатів, формули для обчислень.
4. Виконайте передбачені методичними вказівками попередні розрахунки та підготуйте письмові відповіді на контрольні питання.
5. Повторіть правила техніки безпеки в лабораторії. Особливу увагу приділіть роботам із мегаомметром і вимірюванням опору заземлення.

6.2. Зміст підготовки до кожної роботи

Таблиця 6.1 – Підготовка до лабораторних робіт

ЛР	Тема роботи	Що опрацювати	Що підготувати до допуску	Пов’язана СР
1	Вивчення аналогових електровимірювальних приладів та їх метрологічних характеристик	Принцип дії та шкали магнітоелектричних, електромагнітних, електродинамічних, електростатичних і термоелектричних приладів	Зарисована в натуральну величину шкала приладу за варіантом (за останньою цифрою номера залікової книжки), розшифровка позначок, таблиця абсолютних і відносних похибок оцифрованих поділок, графіки, висновок	СР-3, СР-5
2	Вимірювання струму, напруги, потужності в	Шунти, додаткові резистори, ТС,	Схеми досліду, таблиці 1–5	СР-6, СР-7, СР-8

ЛР	Тема роботи	Що опрацювати	Що підготувати до допуску	Пов’язана СР
	колах постійного та змінного струмів	ватметр; схеми вмикання	методичних вказівок, формули розрахунку опорів шунта й додаткового резистора	
3	Вивчення різних методів вимірювання електричних опорів	Метод амперметра-вольтметра (дві схеми), омметри, мегаомметр, мостовий метод	Обидві схеми вмикання, формули поправок на власні опори приладів, правила безпеки для мегаомметра	СР-6, СР-9
4	Розрахунок шунта до амперметра і додаткового резистора до вольтметра	Принцип розширення меж; схеми ампервольтомметра та омметра	Розв’язання завдання 3 цих вказівок для свого варіанта як тренувальна вправа	СР-6
5	Вимірювання індуктивності та ємності мостом змінного струму	Умови рівноваги мосту змінного струму; схеми для L, C, добротності й tg δ	Виведені умови рівноваги, схеми мостів, таблиці для результатів	СР-9
6	Оцінка похибок прямих вимірювань з одноразовими спостереженнями	Основна та додаткові похибки, класи точності, форми запису результату	Розв’язання завдання 1 цих вказівок, формули запису результату	СР-3, СР-4
7	Основні характеристики випадкових похибок і експериментальний аналіз випадкових величин	Елементи теорії ймовірностей: функції розподілу, нормальний закон, числові характеристики	Формули оцінок, порядок побудови гістограми, приклад із завдання 2	СР-4
8	Вимірювання опору заземлення	Заземлювач, заземлювальний провідник, питомий опір ґрунту, прилад Ф4103-М1, періодичність вимірювання опору	Схема розташування допоміжних електродів, порядок роботи з приладом, вимоги безпеки	СР-2 (нормативні вимоги)

ЛР	Тема роботи	Що опрацювати	Що підготувати до допуску	Пов’язана СР
		заземлювальних пристроїв		

Примітка. Конкретні вимоги до змісту звіту кожної роботи подано в методичних вказівках до лабораторних робіт

7. РОЗРАХУНКОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ

Розрахункові завдання закріплюють теми СР і виконуються в межах годин, відведених на опрацювання розділів програми. Кожне завдання має десять варіантів. **Номер варіанта дорівнює останній цифрі номера залікової книжки (цифра 0 відповідає варіанту 10).**

Вимоги до оформлення розв'язання:

- умова задачі зі своїми вихідними даними («Дано», «Знайти»);
- схема (там, де вона потрібна), виконана з дотриманням умовних позначень;
- розв'язання з формулами в загальному вигляді, підстановкою чисел з одиницями вимірювання та результатом; проміжні результати округлювати з запасом, остаточну відповідь – за правилами округлення результатів вимірювань;
- відповідь і короткий висновок (що випливає з числового результату);
- розв'язання виконується від руки або в електронному документі і подається викладачеві на перевірку до модульного контролю.

Нижче до кожного завдання наведено приклад розв'язання. Студент має виконати **аналогічні** розрахунки для свого варіанта.

Завдання 1. Клас точності та вибір засобу вимірювання (СР-3)

Умова. Напругу U вимірюють вольтметром 1 (межа вимірювання U_1ном, клас точності γ_1) та вольтметром 2 (U_2ном, γ_2). Для кожного приладу визначити: найбільшу абсолютну похибку Δmax; відносну похибку δ при вимірюванні напруги U; інтервал, у якому лежить дійсне значення напруги. Вибрати точніший прилад і пояснити вибір. Для приладу 1 визначити мінімальне значення вимірюваної напруги, при якому відносна похибка не перевищує $2\gamma_1$.

Таблиця 7.1 – Варіанти до завдання 1

Варіант	U_1ном, В	γ_1, %	U_2ном, В	γ_2, %	U, В
1	150	1,5	300	0,5	100
2	100	1,0	150	0,5	60
3	75	1,5	150	0,5	50
4	300	1,0	500	0,5	220
5	30	1,0	150	0,5	25
6	50	1,5	100	0,5	40
7	250	1,0	400	0,5	200
8	15	1,5	30	0,5	10
9	600	1,0	1000	0,5	380
10	10	1,5	50	0,5	8

Приклад (варіант 1). Дано: $U_{1ном} = 150$ В, $\gamma_1 = 1{,}5$ %; $U_{2ном} = 300$ В, $\gamma_2 = 0{,}5$ %; $U = 100$ В.

1. $\Delta_1 = \gamma_1 \cdot U_{1ном} / 100 = 1{,}5 \cdot 150 / 100 = 2{,}25$ В; $\Delta_2 = 0{,}5 \cdot 300 / 100 = 1{,}5$ В.

2. $\delta_1 = \Delta_1 / U \cdot 100\ \% = 2{,}25 / 100 \cdot 100\ \% = 2{,}25$ %; $\delta_2 = 1{,}5 / 100 \cdot 100\ \% = 1{,}5$%.

3. Результат: $U = (100 \pm 2{,}25)$ В для приладу 1 та $U = (100 \pm 1{,}5)$ В для приладу 2.

4. Висновок: точнішим у цій точці є вольтметр 2 ($\delta_2 < \delta_1$), хоча його межа ширша. Прилад із меншим класом точності не завжди кращий: вирішує відношення $U_{ном} / U$.

5. $\delta = \gamma \cdot U_{ном} / U \le 2\gamma$, звідки $U \ge U_{ном} / 2$: для приладу 1 $U_{min} = 75$ В, тобто вимірювати слід у другій половині шкали.

Контрольні питання. Чим приведена похибка відрізняється від відносної? Чому для стрілочних приладів рекомендують працювати в другій половині шкали? Що означає клас точності, поданий у вигляді дробу c/d?

Завдання 2. Обробка результатів прямих багатократних вимірювань (СР-4)

Умова. Вісім разів виміряли одну й ту саму величину (ряд $x_1 \dots x_8$ у таблиці 7.2). Потрібно: знайти середнє $\bar{x}$, СКВ окремого спостереження S та СКВ середнього $S(\bar{x})$; перевірити ряд на наявність грубих похибок за критерієм Граббса (таблиця А.2 додатка А); побудувати довірчий інтервал для довірчої ймовірності $P = 0{,}95$ (коефіцієнт Стьюдента – таблиця А.1); порівняти випадкову складову з похибкою приладу (його межа та клас точності вказані в таблиці) і записати остаточний результат з урахуванням обох складових.

Таблиця 7.2 – Варіанти до завдання 2

Варіант	Величина, прилад	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
1	U, В; вольтметр 300 В, кл. 0,5	219,77	220,45	219,80	219,72	219,18	219,81	220,98	220,37
2	I, А; амперметр 10 А, кл. 0,5	5,02	5,00	5,01	5,00	4,97	5,02	5,01	5,01
3	U, В; вольтметр 15 В, кл. 0,2	11,92	11,92	11,96	11,98	12,01	12,00	12,03	11,97
4	U, В; вольтметр 75 В, кл. 0,5	48,06	48,08	47,87	48,33	48,11	48,23	47,88	47,86
5	U, В; вольтметр 150 В, кл. 0,5	99,86	99,96	100,25	100,10	99,82	99,62	99,79	100,49
6	I, А; амперметр 5 А, кл. 0,2	3,29	3,30	3,31	3,28	3,30	3,32	3,27	3,30
7	U, В; вольтметр 30 В, кл. 0,2	23,99	23,92	24,05	23,99	23,86	24,08	24,06	24,09
8	U, В; вольтметр 15 В, кл. 0,5	9,05	9,01	9,00	8,95	9,02	8,98	8,98	8,95

Варіант	Величина, прилад	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
9	U, В; вольтметр 75 В, кл. 0,5	59,77	59,87	60,31	59,51	59,65	60,06	60,35	60,14
10	I, А; амперметр 30 А, кл. 0,5	14,89	14,85	15,02	14,96	14,93	15,06	15,07	15,01

У варіанті 2 критерій Граббса вказує на можливу грубу похибку – такий результат необхідно обґрунтувати та виключити з ряду, після чого розрахунок повторити для семи спостережень ($t = 2{,}447$ для $P = 0{,}95$).

Приклад (варіант 1). $n = 8$.

1. Середнє: $\bar{x} = \Sigma x_i / n = 1760{,}08 / 8 = 220{,}01$ В.
2. Відхилення $v_i = x_i - \bar{x}$: −0,24; +0,44; −0,21; −0,29; −0,83; −0,20; +0,97; +0,36. Сума квадратів $\Sigma v_i^2 = 2{,}1788$ В².
3. $S = \sqrt{[\Sigma v_i^2 / (n - 1)]} = \sqrt{(2{,}1788 / 7)} = 0{,}558$ В; $S(\bar{x}) = S / \sqrt{n} = 0{,}558 / 2{,}828 = 0{,}197$ В.
4. Груба похибка: найбільше відхилення $|v|_{max} = 0{,}97$ В, $G = 0{,}97 / 0{,}558 = 1{,}74 < G_{кр}(8) = 2{,}13$, отже грубих похибок немає.
5. Довірчий інтервал для $P = 0{,}95$: $t(0{,}95; 7) = 2{,}365$; $\varepsilon = t \cdot S(\bar{x}) = 2{,}365 \cdot 0{,}197 = 0{,}47$ В. Випадкова складова: $U = (220{,}01 \pm 0{,}47)$ В.
6. Похибка приладу: $\Delta_{прил} = \gamma \cdot U_{ном} / 100 = 0{,}5 \cdot 300 / 100 = 1{,}5$ В. Вона втричі перевищує ε, тому вирішальною є інструментальна складова, і подальше збільшення кількості спостережень точності не підвищить.
7. Сумарна оцінка (за підходом JCGM 100:2008, для поглибленого вивчення): $u_A = S(\bar{x}) = 0{,}197$ В; $u_B = \Delta_{прил} / \sqrt{3} = 0{,}866$ В (рівномірний розподіл); $u_c = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)} = 0{,}888$ В; розширена невизначеність при $k = 2$ (близько 95 %): $U = 2 \cdot u_c = 1{,}8$ В.
8. Результат: $U = (220{,}0 \pm 1{,}8)$ В, $P \approx 0{,}95$, $n = 8$.

Контрольні питання. Чому у формулі для S у знаменнику $n - 1$? Як змінюється коефіцієнт Стьюдента зі зростанням n? Яка складова похибки домінує у вашому варіанті і що це означає для планування вимірювань?

Завдання 3. Розрахунок шунта і додаткового резистора (СР-6)

Умова. Магнітоелектричний міліамперметр має струм повного відхилення $I_п$ та опір рамки $R_п$. Розрахувати: опір шунта $R_ш$ для розширення межі вимірювання за струмом до I_x; опір додаткового резистора $R_д$ для перетворення приладу на вольтметр із межею U_x; вхідний опір отриманого вольтметра; потужність, що розсіюється в шунті при струмі I_x. Накреслити схеми.

Таблиця 7.3 – Варіанти до завдання 3

Варіант	$I_п$, мА	$R_п$, Ом	I_x, А	U_x, В
1	1	50	0,5	15
2	0,5	100	1	30
3	2	25	2	10

Варіант	Іп, мА	Rп, Ом	Іх, А	Uх, В
4	0,1	850	0,01	5
5	5	10	5	60
6	1	40	1	75
7	0,2	200	0,2	3
8	10	5	10	150
9	0,05	1000	0,005	10
10	1	30	3	45

Приклад. Мікроамперметр: Іп = 100 мкА, Rп = 850 Ом (напруга повного відхилення Uп = Іп·Rп = 85 мВ). Потрібно: амперметр на межу 1 А та вольтметр на межу 10 В.

1. Коефіцієнт розширення межі за струмом n = Іх / Іп = 1 / (100·10⁻⁶) = 10 000.
2. Опір шунта: Rш = Rп / (n − 1) = 850 / 9999 = 0,0850 Ом.
3. Потужність у шунті: Pш ≈ Uп·(Іх − Іп) = 0,085·0,9999 ≈ 0,085 Вт.
4. Додатковий резистор: Rд = Uх / Іп − Rп = 10 / (100·10⁻⁶) − 850 = 100 000 − 850 = 99 150 Ом.
5. Вхідний опір вольтметра Rвх = Rд + Rп = 100 кОм, або 10 кОм/В.
6. Для багатограничного вольтметра (1; 10; 20 В) отримуємо Rд = 9 150; 99 150; 199 150 Ом.

Контрольні питання. Чому шунт, як правило, чотиризатискачний? Як температура впливає на точність шунтованого амперметра? Що означає параметр «Ом/В» для вольтметра і як він пов’язаний із методичною похибкою?

Завдання 4. Вимірювальні трансформатори струму та напруги (СР-7)

Умова. Через трансформатор струму (ТС) із номінальним співвідношенням $I_{1ном} / I_{2ном}$ амперметр показує I_2. Через трансформатор напруги (ТН) з номінальним співвідношенням $U_{1ном} / U_{2ном}$ вольтметр показує U_2. Визначити: номінальні коефіцієнти трансформації; первинні значення I_1 і U_1; граничну абсолютну похибку первинних значень за класом точності трансформаторів (клас вказано в таблиці); чи не перевищує вторинне навантаження ТС $S_2 = I_{2ном}^2 \cdot Z_2$ його номінальну потужність $S_{2ном} = 10$ ВА (Z_2 – повний опір вторинного кола).

Таблиця 7.4 – Варіанти до завдання 4

Варіант	ТС: $I_{1ном}/I_{2ном}$, А	I_2, А	Z_2, Ом	ТН: $U_{1ном}/U_{2ном}$, В	U_2, В	Клас точності ТС і ТН
1	100/5	3,8	0,20	6000/100	97,5	0,5
2	150/5	4,2	0,30	10000/100	98,5	0,5
3	200/5	2,6	0,40	35000/100	99,2	0,5
4	300/5	3,9	0,50	10000/100	96,0	0,5
5	400/5	4,5	0,35	6000/100	101,0	0,5
6	50/5	3,1	0,25	10000/100	95,8	1,0
7	600/5	2,2	0,45	20000/100	100,4	1,0

Варіант	ТС: $I_{1ном}/I_{2ном}$, А	I_2, А	Z_2, Ом	ТН: $U_{1ном}/U_{2ном}$, В	U_2, В	Клас точності ТС і ТН
8	75/5	4,0	0,28	110000/100	99,0	1,0
9	250/5	3,3	0,38	15000/100	98,0	1,0
10	800/5	4,6	0,52	35000/100	99,5	1,0

Приклад. ТС 200/5, $I_2 = 3{,}8$ А, $Z_2 = 0{,}40$ Ом, клас 0,5; ТН 10000/100, $U_2 = 98{,}5$ В, клас 0,5.

1. $KI = 200 / 5 = 40$; $KU = 10000 / 100 = 100$.
2. $I_1 = KI \cdot I_2 = 40 \cdot 3{,}8 = 152$ А; $U_1 = KU \cdot U_2 = 100 \cdot 98{,}5 = 9850$ В.
3. Клас 0,5 означає, що похибка коефіцієнта трансформації за номінальних умов не перевищує ±0,5 %: $\Delta I_1 = \pm 0{,}005 \cdot 152 = \pm 0{,}76$ А; $\Delta U_1 = \pm 0{,}005 \cdot 9850 \approx \pm 49$ В. Результат: $I_1 = (152{,}0 \pm 0{,}8)$ А; $U_1 = (9850 \pm 49)$ В.
4. $S_2 = I_{2ном}^2 \cdot Z_2 = 25 \cdot 0{,}40 = 10$ ВА $= S_{2ном}$, тобто навантаження на межі допустимого. Збільшення навантаження вивело б ТС за межі його класу точності.

Контрольні питання. Чому не можна розмикати вторинне коло ТС під навантаженням? Чому вторинне коло ТН не можна замикати накоротко? Для чого заземлюють вторинні обмотки?

Завдання 5. Вимірювання потужності в трифазному колі методом двох ватметрів (СР-8)

Умова. Активну потужність симетричного трифазного споживача вимірюють двома однаковими ватметрами за схемою Арона. Відомі покази ватметрів P_1 і P_2 та лінійна напруга $U_л$. Визначити: активну P, реактивну Q і повну S потужності, кут зсуву фаз φ, коефіцієнт потужності cos φ і лінійний струм $I_л$. Накреслити схему вмикання ватметрів.

Таблиця 7.5 – Варіанти до завдання 5

Варіант	P_1, Вт	P_2, Вт	$U_л$, В
1	1200	400	380
2	1500	300	380
3	2000	600	380
4	900	100	220
5	2500	1500	380
6	1800	900	380
7	3000	1000	380
8	1000	700	220
9	2200	200	380
10	1600	800	220

Приклад (варіант 1). $P_1 = 1200$ Вт, $P_2 = 400$ Вт, $U_л = 380$ В.

1. $P = P_1 + P_2 = 1200 + 400 = 1600$ Вт.
2. $Q = \sqrt{3} \cdot (P_1 - P_2) = 1{,}732 \cdot 800 = 1385{,}6$ вар.
3. $S = \sqrt{(P^2 + Q^2)} = \sqrt{(1600^2 + 1385{,}6^2)} = 2116{,}6$ ВА.

4. $\operatorname{tg}\varphi = Q / P = 1385{,}6 / 1600 = 0{,}866$, звідки $\varphi = 40{,}9°$; $\cos\varphi = P / S = 0{,}756$.

5. Лінійний струм: $I_л = S / (\sqrt{3}\cdot U_л) = 2116{,}6 / (1{,}732\cdot 380) = 3{,}22$ А.

Контрольні питання. За якої умови виконуються ці формули (симетричне навантаження)? При якому куті φ показ одного з ватметрів дорівнює нулю й що відбувається з його стрілкою за більшого кута? Як змінюються покази P_1 і P_2, якщо навантаження стає чисто активним?

Завдання 6. Параметри аналого-цифрового перетворювача (СР-11)

Умова. Розрядність АЦП n, верхня межа діапазону Umax (діапазон 0 … Umax), вхідна напруга Ux. Визначити: крок квантування q; граничну похибку квантування Δкв; цифровий код N, що відповідає Ux (десяткове й двійкове значення); відносну похибку квантування в точці Ux; мінімальну розрядність, за якої $q \le 1$ мВ для даного Umax.

Таблиця 7.6 – Варіанти до завдання 6

Варіант	n, біт	Umax, В	Ux, В
1	8	5	0,5
2	10	5	1
3	12	10	2,5
4	10	2,5	0,7
5	12	5	3,3
6	16	10	2,0
7	8	2,55	1,0
8	14	10	5
9	10	10	3
10	12	4,096	1,5

Приклад (варіант 2). n = 10, Umax = 5 В, Ux = 1 В.

1. Крок квантування $q = U_{max} / 2^n = 5 / 1024 = 4{,}883$ мВ.

2. Гранична похибка квантування (округлення до найближчого рівня) $\Delta_{кв} = \pm q / 2 = \pm 2{,}44$ мВ.

3. Код $N = U_x / q = 1 / 0{,}004883 = 204{,}8$, округлено до 205; у двійковій системі $205 = 0011001101_2$.

4. Відносна похибка квантування $\delta_{кв} = (q / 2) / U_x \cdot 100\ \% = 2{,}44\cdot 10^{-3} / 1 \cdot 100\ \% = 0{,}244\ \%$.

5. Потрібна розрядність: $2^n \ge U_{max} / q_{вимог} = 5 / 0{,}001 = 5000$. Оскільки $2^{12} = 4096 < 5000 \le 2^{13} = 8192$, мінімальна розрядність n = 13.

Контрольні питання. Чим дискретизація відрізняється від квантування? Чому відносна похибка квантування зростає при малих Ux? Яка похибка цифрового приладу, крім похибки квантування, визначає його клас точності?

Завдання 7. Повірка індукційного лічильника електричної енергії (СР-5)

Умова. Лічильник із передавальним числом A (обертів диска на 1 кВт·год) і класом точності K перевіряють методом ватметра та секундоміра: при незмінному навантаженні P, виміряному зразковим ватметром, за час t диск зробив N обертів. Визначити дійсну енергію $W_д = P \cdot t$, енергію за показами лічильника $W_л = N / A$, відносну похибку лічильника $\delta = (W_л - W_д) / W_д \cdot 100\ \%$, кількість обертів, яку мав би зробити ідеальний лічильник, і зробити висновок про відповідність класу точності.

Таблиця 7.7 – Варіанти до завдання 7

Варіант	A, об/(кВт·год)	P, Вт	t, с	N	Клас лічильника
1	1200	500	180	31	2,0
2	1600	1000	90	39	2,0
3	2000	800	150	67	2,0
4	1200	2000	90	61	2,0
5	3000	1500	60	74	2,0
6	1000	400	300	35	1,0
7	1500	1200	120	62	1,0
8	2500	600	100	42	1,0
9	1200	300	360	35	1,0
10	3200	2200	45	87	1,0

Приклад (варіант 1). A = 1200 об/(кВт·год), P = 500 Вт, t = 180 с, N = 31, клас 2,0.

1. $W_д = P \cdot t = 500 \cdot 180 / 3\,600\,000 = 0{,}02500$ кВт·год.
2. Ідеальний лічильник зробив би $N_0 = A \cdot W_д = 1200 \cdot 0{,}025 = 30$ обертів.
3. $W_л = N / A = 31 / 1200 = 0{,}02583$ кВт·год.
4. $\delta = (0{,}02583 - 0{,}02500) / 0{,}02500 \cdot 100\ \% = +3{,}33\ \%$.
5. Висновок: $|\delta| = 3{,}33\ \% > 2{,}0\ \%$, лічильник не відповідає своєму класу точності за цього навантаження і потребує регулювання. Примітка: у лабораторній практиці повірку виконують при кількох значеннях навантаження та $\cos\varphi$, а похибку визначають за кількох повторних вимірювань.

Контрольні питання. Чому диск лічильника обертається пропорційно активній потужності? Що таке самохід і як його усувають? Як збільшення числа обертів N у часі повірки впливає на похибку дискретності?

8. ПІДГОТОВКА ДО ТЕСТУВАННЯ ТА ЗАЛІКУ. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

8.1. Форми контролю

Поточний контроль охоплює допуск до лабораторних робіт, виконання й захист звітів. Модульний контроль здійснюється у формі тестування в електронному середовищі ATutor: окремо за модулем 1 (теми 1–6) і за модулем 2 (теми 7–12). Підсумковий контроль – залік. На підготовку до тестування й заліку програма відводить 10 годин самостійної роботи. Конкретну кількість запитань, тривалість і типи завдань тесту визначає викладач; їх слід уточнити на початку семестру.

8.2. Як готуватися

- Складіть із конспектів власний стислий довідник: визначення, формули, схеми, таблиця класів точності та позначок на шкалах.
- Проробіть питання для самоперевірки (п. 8.3) письмово й вголос: відповідь має містити визначення, формулу та приклад.
- Повторно розв’яжіть кілька задач розділу 7 для інших варіантів, щоб відпрацювати типові розрахунки (Δ і δ за класом точності, довірчий інтервал, шунт і додатковий резистор, схема Арона).
- Для тестових завдань із кількома правильними відповідями перевіряйте кожне твердження окремо, а не обирайте «найбільш схоже».
- Залишайте час на повторення: рекомендується розподілити підготовку на 3–4 сесії й не відкладати її на останню добу.

8.3. Питання для самоперевірки

Модуль 1 (теми 1–6)

1. Що вивчає метрологія? Назвіть її розділи (теоретична, законодавча, прикладна).
2. Що таке фізична величина, розмір і значення величини? Чим істинне значення відрізняється від дійсного?
3. Назвіть основні одиниці СІ. Як утворюються похідні одиниці та що таке розмірність? Які зміни в СІ відбулися у 2019 р.?
4. Класифікація вимірювань: прямі, непрямі, сукупні, сумісні; статичні й динамічні. Охарактеризуйте методи вимірювань (безпосередньої оцінки, порівняння з мірою: нульовий, диференціальний, заміщення).
5. Що таке абсолютна, відносна та приведена похибки? Що таке поправка?
6. Класифікація похибок за походженням і закономірністю прояву; приклади систематичних, випадкових і грубих похибок.
7. Назвіть методи виявлення та виключення систематичних похибок.
8. Чим методична похибка відрізняється від інструментальної? Наведіть приклад методичної похибки при вимірюванні струму й напруги.
9. Нормальний закон розподілу: параметри, вигляд густини, правило трьох сигм.

10. Що таке довірчий інтервал і довірча ймовірність? Для чого потрібен коефіцієнт Стьюдента?

11. Типові моделі розподілу похибок (рівномірний, трикутний, нормальний): ситуації, у яких вони трапляються.

12. Порядок обробки ряду багатократних спостережень: від середнього до запису результату.

13. Як виявити грубу похибку? Критерій Граббса.

14. Як обчислюють похибку непрямого вимірювання для суми, добутку, частки та степеневої залежності?

15. Правила округлення похибки та результату. Стандартні форми запису результату вимірювання.

16. Структурні схеми засобів вимірювальної техніки: прямого перетворення та зрівноважувальні – у чому різниця?

17. Основні метрологічні характеристики ЗВТ: діапазон, межі, ціна поділки, чутливість, поріг чутливості, варіація, вхідний і вихідний опір.

18. Неметрологічні характеристики ЗВТ.

19. Основна та додаткові похибки; нормальні та робочі умови; впливні величини.

20. Способи нормування похибок і позначення класу точності на шкалах приладів. Як за класом точності обчислити Δmax і δ у заданій точці шкали?

21. Нормування додаткових похибок (температура, частота, зовнішнє магнітне поле, положення приладу).

22. Методика вибору засобу вимірювання для технічних вимірювань.

Модуль 2 (теми 7–12)

23. Шунти, додаткові резистори, подільники напруги: призначення, схеми, формули, класи точності.

24. Трансформатор струму: призначення, схема, режими роботи, похибки, чому не можна розмикати вторинне коло.

25. Трансформатор напруги: призначення, схема, режими роботи, похибки, захист.

26. Вимірювальні підсилювачі: метрологічні характеристики, похибки.

27. Перетворювачі середньовипрямленого, середньоквадратичного й амплітудного значень: принцип дії та відмінності.

28. Магнітоелектричні прилади: принцип дії, будова, похибки, переваги та недоліки.

29. Електромагнітні прилади: принцип дії, будова, похибки, переваги та недоліки.

30. Електродинамічні й феродинамічні прилади.

31. Електростатичні прилади.

32. Випрямні й термоелектричні прилади.

33. Індукційні прилади та лічильники електричної енергії: принцип дії, передавальне число, повірка.

34. Електронні аналогові вольтметри: структури та метрологічні характеристики.

35. Будова ЕПТ і функціональна схема осцилографа; вимірювання амплітуди, частоти й зсуву фаз.

36. Цифровий осцилограф: принцип дії, частота дискретизації.

37. Міри: класифікація, вимоги до мір електричних величин; калібратори; міри опору, ємності та індуктивності.

38. Метод порівняння; компенсатор постійного струму: принцип дії, схема, переваги.

39. Міст Уітстона: умова рівноваги, чутливість; міст Томсона: для яких вимірювань призначений.

40. Мости змінного струму: умови рівноваги; схеми вимірювання індуктивності, ємності, добротності й tg δ.

41. Компаратори електричних величин.

42. Вимірювання потужності в колах постійного та однофазного змінного струму; будова й вмикання ватметра.

43. Вимірювання активної потужності в трифазних колах: методи одного, двох і трьох ватметрів.

44. Схема Арона: формули для P, Q, cos φ; випадки, коли показ одного з ватметрів дорівнює нулю або від'ємний.

45. Вимірювання реактивної потужності й коефіцієнта потужності.

46. Вимірювання електричної енергії; електронні й цифрові лічильники.

47. Вимірювання опорів: метод амперметра-вольтметра (дві схеми), прямі методи, мостовий метод; похибки.

48. Вимірювання опору заземлення: призначення, схема, вимоги безпеки.

49. Аналого-цифрове перетворення: дискретизація, квантування, кодування; похибка квантування (СР-11).

50. Коди цифрових приладів; логічні елементи, тригери, лічильники, дешифратор (СР-11).

51. Цифровий вольтметр часо-імпульсного перетворення й двотактного інтегрування: структура, діаграми, похибки (СР-11).

52. Цифровий частотомір: структура, режими, похибка дискретності (СР-11).

9. КОНТРОЛЬ І ОЦІНЮВАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

9.1. Структура оцінки з дисципліни

Згідно з робочою програмою (2024 р.) максимальна оцінка з дисципліни становить 100 балів. Форма підсумкового контролю – залік; залікова оцінка дорівнює одній третині від суми балів, набраних впродовж семестру.

Таблиця 9.1 – Розподіл балів

Складова	Модуль 1 (теми 1–6)	Модуль 2 (теми 7–12)
Теоретичний курс (тестування в ATutor)	20	20
Лабораторні роботи	ЛР №1 – 4; ЛР №2 – 4; ЛР №3 – 5; ЛР №4 – 4 (разом 17)	ЛР №5 – 5; ЛР №6 – 4; ЛР №7 – 4; ЛР №8 – 5 (разом 18)
Разом за модуль	37	38
Сума балів за семестр	75	
Залік (1/3 від суми балів за семестр)	25	
Разом з дисципліни	**100**	

9.2. Як самостійна робота впливає на оцінку

Самостійна робота не має окремої шкали балів: її результат перевіряється через дві складові поточної оцінки.

1. **Допуск до лабораторних робіт і їх захист.** Підготовка до лабораторного заняття (розділ 6) – умова допуску. Бали за ЛР нараховуються за виконання, звіт і захист, тобто залежать від якості самостійної підготовки.
2. **Модульне тестування.** Питання тесту формуються з матеріалу лекцій і тем СР. Якісно опрацьовані теми СР безпосередньо підвищують бали за теоретичний курс (до 20 балів у кожному модулі).

9.3. Критерії перевірки конспекту та розрахункового завдання

Таблиця 9.2 – Критерії перевірки

Критерій	Зараховано	На доопрацювання
Повнота	Розкрито всі питання теми з розділу 5	Пропущено частину питань або тему розкрито поверхнево
Самостійність і точність	Власне викладення; визначення й формули правильні, позначення розшифровано	Дослівне переписування, помилки у визначеннях чи формулах
Схеми й рисунки	Є всі необхідні схеми з підписами та умовними позначеннями за стандартами	Схем немає, вони нечитабельні або без пояснень
Розрахунки	Хід розв’язання зрозумілий; одиниці вимірювання й округлення правильні; є висновок	Є арифметичні або методичні помилки, немає одиниць чи висновку

Критерій	Зараховано	На доопрацювання
Джерела	Наведено джерела зі сторінками	Джерела відсутні або не відповідають змісту
Оформлення	Структура відповідає вимогам п. 4.2 і розділу 7	Порушено структуру, нечіткий або неохайний запис

9.4. Шкала оцінювання

Підсумкова оцінка переводиться у національну шкалу та шкалу ECTS за таблицею, прийнятою в університеті. Для довідки наведено поширену шкалу, яку слід звірити з чинним положенням закладу.

Таблиця 9.3 – Шкала оцінювання

Сума балів	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90–100	A	відмінно
82–89	B	добре
74–81	C	добре
64–73	D	задовільно
60–63	E	задовільно (достатньо)
35–59	FX	незадовільно, з можливістю повторного складання
0–34	F	незадовільно, з обов’язковим повторним вивченням

10. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ТА ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

Базова

1. Решетник В. Я. Основи метрології та електричних вимірювань : навчально-методичний посібник для студентів електромеханічного факультету / В. Я. Решетник, С. М. Бабюк. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – 160 с. Електронна версія: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/20752/1/osnovy_metrolohiyi_ta_elek_vymir.pdf
2. Кобель Г. П. Основи метрології : навчальний посібник / Г. П. Кобель, Н. А. Головіна, Г. П. Шаварова. – Луцьк : Вежа-Друк, 2022. – 125 с. https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/21381/1/metrologiia_2022.pdf
3. Кухарчук В. В. Основи метрології та електричних вимірювань. Частина І : конспект лекцій / В. В. Кухарчук. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 148 с.
4. Лавренова Д. Л. Основи метрології та електричних вимірювань : навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Д. Л. Лавренова, В. М. Хлистов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 133 с. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/30052/1/Lavrenova2019_Posibnyk_OMEV2.pdf
5. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, В. О. Яцук та ін. ; за ред. Є. С. Поліщука. – 2-ге вид., допов. та перероб. – Львів : Львівська політехніка, 2012. – 544 с.
6. Навчальний посібник до самостійного вивчення курсу «Основи метрології і електричних вимірювань» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад. Н. В. Єрмілова, С. Г. Кислиця. – Полтава : ПолтНТУ, 2017. – 141 с.
7. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Основи метрології та електричних вимірювань» для студентів спеціальності 141 / уклад. С. Бабюк. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2024. – 103 с.

Допоміжна

8. Кухарчук В. В. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 522 с.
9. Дорожовець М. Основи метрології та вимірювальної техніки : у 2 т. / М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник та ін. ; за ред. Б. Стадника. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005.
10. Головко Д. Б. Основи метрології та вимірювань / Д. Б. Головко, К. Г. Рего, Ю. С. Скрипник. – Київ : Либідь, 2001. – 408 с.
11. Гуржій А. М. Електричні і радіотехнічні вимірювання / А. М. Гуржій, Н. І. Поворознюк. – Київ : Навчальна книга, 2002. – 287 с.

12. Федорів Р. Ф. Елементи теорії міряння / Р. Ф. Федорів, Г. В. Микитин. – Львів–Тернопіль : ФМІ НАНУ – ТДТУ, 1999. – 155 с.

Нормативні документи

13. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 05.06.2014 № 1314-VII.

14. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення. – Київ : Держстандарт України, 1994.

15. ДСТУ 2682-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. – Київ : Держстандарт України, 1994.

16. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). – BIPM, 2008.

17. JCGM 200:2012. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). – BIPM, 2012.

18. The International System of Units (SI) : SI Brochure, 9th edition. – BIPM, 2019.

Перед посиланням на нормативний документ перевіряйте його чинність і редакцію на офіційних ресурсах.

Інформаційні ресурси

- Бабюк С. М. Основи метрології та електричних вимірювань [електронний ресурс] : інституційний репозитарій ATutor (код дисципліни ID 1743) : офіційний сайт ТНТУ імені Івана Пулюя. – Режим доступу: https://dl.tntu.edu.ua/bounce.php?course=1743
- Електронний архів ТНТУ імені Івана Пулюя (elartu.tntu.edu.ua) – навчально-методичні видання кафедри.
- Сайт Міжнародного бюро мір і ваг (BIPM): bipm.org – документи JCGM, брошура CI.

ДОДАТОК А. ТАБЛИЦІ ДЛЯ ОБЧИСЛЕНЬ

Таблиця А.1 – Коефіцієнти Стьюдента $t(P, \nu)$, $\nu = n - 1$

ν	$P = 0{,}95$	$P = 0{,}99$
1	12,706	63,657
2	4,303	9,925
3	3,182	5,841
4	2,776	4,604
5	2,571	4,032
6	2,447	3,707
7	2,365	3,499
8	2,306	3,355
9	2,262	3,250
10	2,228	3,169
15	2,131	2,947
20	2,086	2,845
30	2,042	2,750
∞	1,960	2,576

Таблиця А.2 – Критичні значення $G_{кр}$ критерію Граббса (двосторонній, рівень значущості 0,05)

n	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
$G_{кр}$	1,155	1,481	1,715	1,887	2,020	2,126	2,215	2,290	2,412	2,549	2,709

Порядок застосування: $G = |x_i - \bar{x}|_{max} / S$. Якщо $G > G_{кр}$, найбільш віддалене спостереження вважають грубою похибкою; його виключають, після чого $\bar{x}$ і S перераховують. Перевірку повторюють не більш ніж для одного-двох значень.

ДОДАТОК Б. ТИТУЛЬНИЙ АРКУШ КОНСПЕКТУ ТА КОНТРОЛЬНИЙ СПИСОК

Форма титульного аркуша

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя Кафедра електричної інженерії

Конспект самостійної роботи (розрахункове завдання) з дисципліни «Основи метрології та електричних вимірювань» Тема (завдання): СР-___ [назва] / Завдання № ___, варіант ___

Виконав(ла): студент(ка) групи _____ [прізвище, ім’я] Перевірив(ла): [прізвище, ініціали викладача] Дата подання: _____

Контрольний список перед поданням

- розкрито всі питання теми з розділу 5;
- усі формули супроводжені розшифруванням позначень та одиницями СІ;
- є схеми з підписами; умовні позначення відповідають стандартам;
- розрахунки містять «Дано», «Знайти», хід розв’язання, відповідь і висновок;
- результат запису вимірювання містить значення, похибку, одиницю і довірчу ймовірність;
- наведено список джерел зі сторінками;
- сторінки пронумеровано, титульний аркуш заповнено.

ДОДАТОК В. ІНДИВІДУАЛЬНИЙ ПЛАН САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА

Студент (група): _____ Форма навчання: ДФН / ЗФН Семестр: _____

№	Вид роботи	Годин (ДФН/ЗФН)	Планові терміни	Фактично	Відмітка викладача
1	СР-1. Метрична система, СІ, біт децибел	3 / 6			
2	СР-2. Основи метрології, єдність вимірювань	4 / 8			
3	СР-3. Нормування МХ, клас точност (завдання 1)	4 / 8			
4	СР-4. Похибки, обробка результатів (завдання 2)	4 / 9			
5	СР-5. Лічильники енергії (завдання 7)	4 / 8			
6	СР-6. Розширення меж вимірювання (завдання 3)	4 / 8			
7	СР-7. Вимірювальні трансформатори (завдання 4)	4 / 9			
8	СР-8. Потужність і енергія (завдання 5)	3 / 7			
9	СР-9. Компенсатори та мости	3 / 7			
10	СР-10. Осцилографи, електронн вольтметри	3 / 6			
11	СР-11. Цифрові прилади (завдання 6)	4 / 6			
12	Підготовка до ЛР №1–8	16 / 16			
13	Підготовка до модульних тестів заліку	10 / 10			
	Разом	**66 / 108**			