

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

Ю.М. Гальченко, Н.В. Глухова

**МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ.
РОЗДІЛ «ТЕОРІЯ ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ. ЧАСТИНА 2».
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

для бакалаврів спеціальностей

151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології,

152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Дніпро
НТУ «ДП»

2021

Рекомендовано до видання навчально-методичним відділом (протокол № 6 від 07.06.2021) за поданням методичної комісії спеціальностей 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (протокол № 4 від 20.04.2021) та 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка (протокол № 3 від 23.04.2021).

Гальченко Ю.М.

Метрологія та вимірювання. Розділ «Теорія похибок вимірювань. Частина 2». Методичні рекомендації до лабораторних робіт для бакалаврів спеціальностей 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка / Ю.М. Гальченко, Н.В. Глухова ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2021. – 53 с.

Автори:

Ю.М. Гальченко, ас. (лабораторні роботи № 8/01_МВ, № 8/02_МВ)

Н.В. Глухова, канд. техн. наук, доц. (лабораторна робота № 8/03_МВ)

Методичні матеріали призначено для підготовки та виконання лабораторних робіт студентами спеціальностей 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка під час опанування нормативної дисципліни «Метрологія та вимірювання».

Подано теоретичні відомості з розрахунку похибок вимірювання фізичних величин аналоговими електронними, цифровими приладами і електронно-променевим осцилографом, розрахунку похибок прямих вимірювань з багаторазовими спостереженнями.

Рекомендації орієнтовано на активізацію виконавчого етапу навчальної діяльності студентів.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірвальних систем, д-р техн. наук, проф. В.В. Ткачов.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота №8/01_МВ	
Пряме вимірювання електричного опору з багаторазовими спостереженнями... 6	
Лабораторна робота №8/02_ МВ	
Вимірювання параметрів електричних сигналів аналоговими електронними та цифровими приладами.....	16
Лабораторна робота №8/03_ МВ	
Вимірювання параметрів електричних величин електронно-променевим осцилографом.....	30
Додаток А	
Таблиця значень β для критерію смірнова	43
Додаток Б	
Таблиця значень інтегральної функції лапласа	44
Додаток В	
Таблиця критичних точок розподілу χ^2	45
Додаток Г	
Таблиця значень критерію стьюдента	46
Додаток Д	
Метрологічні характеристики вольтметра В7-38.....	47
Додаток Е	
Метрологічні характеристики мультиметра ВР-11А.....	49
Додаток Ж	
Метрологічні характеристики електронного вольтметра В3-38	51

ВСТУП

Метрологія є одним з найважливіших інструментів забезпечення якості та безпеки продукції. Висновок про якість продукції робиться на підставі результатів випробувань продукції за конкретними показниками. Від професійних навичок експериментатора залежить правильність виконання методу випробування та точність результату вимірювання.

Методичні вказівки призначені для студентів денної форми навчання за спеціальностями 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Методичні вказівки призначено для закріплення теоретичних основ метрології, порядку проведення вимірювань значень фізичних величин і правил обробки результатів вимірювань.

В результаті вивчення дисципліни «Метрологія та вимірювання» та виконання лабораторних робіт студенти опанують методи нормування похибок засобів вимірювань та оцінювання похибки результату вимірювання, зможуть самостійно обирати метод та засіб вимірювання в залежності від необхідної точності та умов проведення експерименту.

Кожна лабораторна робота містить назву, мету та програму роботи, самостійну підготовку, яка включає розв'язування задачі, теоретичні відомості, необхідні для виконання роботи, зміст звіту, питання для самоперевірки та список літератури.

Процес виконання кожної лабораторної роботи складається з чотирьох етапів:

1. Підготовка до лабораторної роботи. Виконується студентом самостійно та включає опрацювання теоретичного матеріалу за конспектом лекцій та методичними вказівками і розв'язання задачі. На цьому етапі кожен студент повинен законспектувати або роздрукувати відповідну лабораторну роботу, яка повинна містити: номер, назву, мету та програму лабораторної роботи; умову та розв'язання задачі; всі таблиці та електричні схеми.

2. Виконання експериментального дослідження. До виконання експериментального дослідження студенти допускаються після перевірки викладачем підготовки студента до лабораторної роботи та короткої співбесіди за темою роботи.
3. Складання звіту. Після виконання експериментального дослідження та опрацювання результатів дослідження складається звіт про виконання лабораторної роботи. Вимоги до змісту звіту наведено у кожній лабораторній роботі.
4. Захист звіту. Захист звіту проводиться кожним студентом окремо в усній формі. Підготуватись до захисту можна за контрольними запитаннями, які містяться наприкінці кожної лабораторної роботи. За три повні правильні відповіді студент отримує оцінку «відмінно», за дві – «добре», за одну – «задовільно».

Під час виконання лабораторної роботи необхідно дотримуватись наступних правил безпеки:

- перед початком збирання схеми впевнитись у тому, що автомат подачі напруги живлення вимкнено;
- подавати напругу живлення на схему тільки після перевірки та з дозволу викладача;
- не торкатися будь-яких елементів схеми, що знаходиться під напругою;
- усі перемикання виконувати від'єднавши схему від мережі;
- при виявленні будь-яких несправностей чи ненормальної роботи схеми (поява іскор, спалахів, тощо) негайно відімкнути схему від мережі і доповісти про це викладачу;
- не залишати зібрану електричну схему, що знаходиться під напругою, без нагляду;
- після виконання експериментального дослідження, від'єднавши схему від мережі, розібрати схему та привести робоче місце у порядок.

**ПРЯМЕ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ З
БАГАТОРАЗОВИМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯМИ**

Мета: набути практичних навичок прямого вимірювання електричного опору з багаторазовими спостереженнями та оволодіти методикою опрацювання результатів експерименту.

Програма роботи

1. Підготовка до вимірювального експерименту

1.1. Опрацювання теоретичного матеріалу за конспектом лекцій та методичними вказівками.

1.2. Розв'язання задачі.

2. Виконання вимірювального експерименту

2.1. Вивчення метрологічних характеристик використовуваних приладів.

2.2. Визначення умов виконання вимірювання.

2.3. Вимірювання електричного опору з багаторазовими спостереженнями.

3. Опрацювання результатів експерименту

3.1. Складання моделі похибки вимірювання електричного опору з багаторазовими спостереженнями.

3.2. Оцінювання довірчих границь випадкової похибки результату вимірювання.

3.3. Визначення інструментальних (основної і додаткової) похибок використовуваних приладів.

3.4. Оцінювання граничного значення сумарної похибки результату вимірювання електричного опору з багаторазовими спостереженнями.

3.5. Запис результатів вимірювання електричного опору з багаторазовими спостереженнями.

3.6. Висновок.

Підготовка до вимірювального експерименту

Етап 1.1. Опрацювання теоретичного матеріалу за конспектом лекцій та методичними вказівками.

За літературними джерелами, конспектом лекцій та методичними вказівками вивчити принцип дії і роботу аналогових електронних та цифрових приладів.

Загальні відомості

Метою вимірювань з багаторазовими спостереженнями є підвищення точності вимірювання шляхом зменшення впливу випадкової похибки.

Алгоритм обробки вимірювань з багатократними спостереженнями:

1. Оцінюється найкраща оцінка результату вимірювання.
2. Розраховується оцінка середньоквадратичного відхилення результату спостереження.
3. Виключаються з результатів спостережень грубі похибки (промахи).
4. Виключаються відомі систематичні похибки результатів спостережень.
5. Розраховується середнє арифметичне виправлених результатів спостережень або іншу оцінку математичного сподівання, що приймається за результат спостережень.
6. Розраховується оцінка середньоквадратичного відхилення результату спостереження.
7. Розраховується оцінка середньоквадратичного відхилення результату вимірювання.
8. Перевіряється гіпотеза про те, що результати спостережень належать обраному закону розподілу.
9. Обчислюються довірчі границі випадкової похибки результату вимірювання.
10. Обчислюються границі невиключеної систематичної похибки результату вимірювання.
11. Обчислюються довірчі границі сумарної похибки результату вимірювання.

Етап 1.2. Розв'язання задачі.

З попередніх досліджень відомо, що результати спостережень опору розподілено за нормальним законом, а їх середньоквадратичне відхилення становить $\sigma = 3,8$ Ом. Визначити яку кількість спостережень n необхідно виконати, щоб випадкова похибка результату вимірювання $\varepsilon_{\bar{x}}$ не перевищувала 4,655 Ом, з рівнем довіри $P_{дов} = 0,95$.

Виконання вимірювального експерименту

Етап 2.1. Вивчення метрологічних характеристик використовуваних приладів.

За допомогою технічних паспортів ознайомитися з роботою і технічними характеристиками використовуваного приладу. Установити принцип дії приладів, призначення, клас точності, необхідні вимоги щодо коректного виконання вимірів.

Дані про метрологічні характеристики приладу занести до табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Метрологічні характеристики приладів

Назва	Система	Діапазон вимірювань	Клас точності	Вхідний опір	Заводський номер	Рік виготовлення

Етап 2.2. Визначення умов виконання вимірювання.

Перед проведенням вимірювань необхідно за паспортними даними визначити умови їх експлуатації: температуру та вологість навколишнього повітря, атмосферний тиск, наявність поблизу приладів джерел електричних та магнітних полів. Результати занести до табл. 1.2 (рядок 2).

Отримані дані про умови вимірювань занести до табл. 1.2 (рядок 3).

Проаналізувавши отримані дані про умови виконання вимірювань зробіть висновок (табл. 1.2, рядок 4) про наявність чи відсутність додаткової інструментальної похибки і можливість її оцінки.

Таблиця 1.2 – Умови виконання вимірювань

Прилад	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Атмосферний тиск, мм.рт.ст.	Інше
фактичні умови				
Висновок				

Етап 2.3. Вимірювання електричного опору з багаторазовими спостереженнями.

За допомогою цифрового вольтметра чи мультиметра провести спостереження за значеннями 20 опорів резисторів, обраними з однієї технологічної партії. Результати багатократних спостережень занести до табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Результати прямого вимірювання опору з багатократними спостереженнями

Результати спостережень, R_i , Ом	Розраховані значення				
	\bar{R} , Ом	S^2 , Ом	$S_{\bar{R}}^2$, Ом	$\varepsilon_{\bar{R}}$, Ом	
		Модель похибки:			
		Інструментальна		Систематична	Випадкова
		Основна	Додаткова		
		$\Delta(\bar{R})$, мА	$\Delta_d(\bar{R})$, мА		
		Сумарна:	$\Delta_{гр}(\bar{R}) =$		
		Результат вимірювання:			

Після проведення вимірювань розрахувати абсолютні основні інструментальні похибки приладів, визначити додаткові похибки, оцінити граничні значення систематичних та випадкової похибок. Записати результат вимірювань. Розраховані значення похибок і результат вимірювань занести до

таблиці 1.3. За результатами багатократних вимірювань побудувати графіки гістограми та теоретичної функції густини ймовірностей вимірюваної величини.

Опрацювання результатів експерименту

Етап 3.1. Складання моделі похибки вимірювання електричного опору з багаторазовими спостереженнями.

Модель (рівняння) абсолютної похибки вимірювання з багаторазовими спостереженнями включає складові систематичної похибки (інструментальних абсолютних похибок (основної і додаткової) і методичної похибки) та випадкової:

$$\Delta_{\text{гр}}(\bar{R}) = \Delta_c + \Delta_{\text{в}},$$

де Δ_c – граничне значення систематичної похибки;

$\Delta_{\text{в}}$ - випадкова похибка.

Отримані моделі абсолютних похибок вимірювання опору занести у табл.1.3.

Етап 3.2. Оцінювання довірчих границь випадкової похибки результату вимірювання.

При обробці результатів вимірювань з багатократними спостереженнями висувається гіпотеза про нормальний закон розподілу вимірюваних випадкових величин та розкиду їх похибок.

Обробка результатів прямих вимірювань із багатократними спостереженнями складається з наступних етапів:

1. Найкраща оцінка результату вимірювання дорівнює математичному сподіванню:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i,$$

де n - загальне число спостережень;

R_i - значення опору при виконанні i -го вимірювання, Ом.

2. Оцінка середньоквадратичного відхилення результату спостереження:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}.$$

3. Виключення з результатів спостережень грубих похибок (промахів).

При підозрі на аномальність (невідповідність нормальному закону розподілу випадкових величин) якогось результату спостереження, який значно відрізняється від інших у експериментальній вибірці, перевірку грубих помилок та промахів виконати за критерієм Смірнова, який має вид:

$$V_k < \beta,$$

де V_k – показник аномальності;

β – таблична величина (див. додаток А), що залежить від вірогідності $P_{\text{дов}}$ та числа спостережень n .

Показник аномальності результату спостереження визначається за формулою:

$$V_k = \left| \frac{R_k - \bar{R}}{S^2} \right|.$$

Якщо підозри підтверджуються, то цей результат спостереження повинен бути виключеним із вибірки, а значення \bar{R} та S^2 обчислені заново з урахуванням зменшеної кількості спостережень n .

4. Розрахунок оцінки середньоквадратичного відхилення результату вимірювання:

$$S_{\bar{R}} = \frac{S}{\sqrt{n}}.$$

5. Перевірка гіпотези про те, що результати спостережень належать обраному закону розподілу.

5.1. Побудова гістограми випадкової похибки та висунення гіпотези о виді її розподілу.

Для побудови гістограми спочатку знаходять розмах вибірки V – різниці між найбільшим та найменшим значеннями впорядкованої вибірки:

$$V = R_{\text{max}} - R_{\text{min}}.$$

Знаходять кількість інтервалів r :

$$r = \sqrt{n}.$$

Знаходять ширину інтервалів h :

$$h = \frac{V + \text{OMP}}{r},$$

де ОМР – одиниця молодшого розряду.

Для знайденої ширини h границі сусідніх інтервалів z_j становлять:

$$z_j = x_{min} + h \cdot (j - 1), \quad (j = 1, 2, \dots, r + 1),$$

причому ліва границя входить до цього інтервалу, а права – до наступного, тобто до j -го інтервалу потрапляють результати спостережень, які задовольняють умові:

$$z_j \leq x_i < z_{j+1}.$$

Підрахувавши кількість результатів n_j , які потрапили до кожного j -го інтервалу, можна визначити емпіричну частоту потрапляння у цей інтервал w_j за виразом:

$$w_j = \frac{n_j}{n}.$$

Отримані значення w_j відповідають висотам відповідних прямокутників гістограми.

Сума емпіричних частот w_j повинна становити 1.

За формою гістограми чи полігона висувається гіпотеза про вид моделі густини розподілу випадкових величин.

5.2. Перевірка гіпотези про модель теоретичного розподілу результатів спостережень. Критерій Пірсона (χ^2).

Розрахункове значення критерію χ^2 обчислюється за формулою:

$$\chi^2 = n \sum_{j=1}^r \frac{(w_j - P_j)^2}{P_j},$$

де w_j – розраховані емпіричні частоти;

P_j – теоретичні ймовірності, які для моделі нормального розподілу знаходять за виразом:

$$P_j = \Phi(z_{j+1}) - \Phi(z_j),$$

де $\Phi(z_{j+1})$ та $\Phi(z_j)$ – значення функції Лапласа у точках z_{j+1} та z_j відповідно.

Таблиця значень функції $\Phi(x)$ наведена у додатку Б.

Гіпотеза про вид моделі густини розподілу випадкових величин приймається, якщо виконується умова:

$$\chi^2 \leq \chi_{\vartheta, \alpha}^2,$$

де $\chi_{\vartheta, \alpha}^2$ – табличне значення критерію χ^2 , що залежить від числа ступенів свободи $\vartheta = n - 1$ та рівня істотності $\alpha = 1 - P$. Таблиця з критичними точками розподілу χ^2 наведена у додатку В.

Якщо розраховане значення більше за табличне, то гіпотеза про заданий розподіл відкидається з рівнем істотності α .

6. Обчислення довірчих границь випадкової похибки результату вимірювання:

$$\varepsilon_{\bar{X}} = \pm t_p(\vartheta) \cdot S_{\bar{R}},$$

де $t_p(\vartheta)$ – коефіцієнт Стьюдента, який залежить від довірчої ймовірності $P_{дов}$ та числа ступенів свободи ϑ (додаток Г).

Етап 3.3. Визначення інструментальних (основної і додаткової) похибок використовуваних приладів.

Основна інструментальна похибка приладів оцінюється на підставі даних про їх клас точності.

Оцінювання додаткових інструментальних похибок виконується на підставі паспортних даних на прилад.

Етап 3.4. Оцінювання граничного значення сумарної похибки результату вимірювання електричного опору з багаторазовими спостереженнями.

Якщо $\frac{\Delta_{с,дов}}{S_{\bar{R}}} < 0,8$, то систематичною похибкою нехтують і за границю результату вимірювання приймають випадкову похибку $\Delta_{гр}(\bar{R}) = \varepsilon_{\bar{X}}$.

Якщо $\frac{\Delta_{с,дов}}{S_{\bar{R}}} > 8$, то випадковою похибкою нехтують і за границю результату вимірювання приймають систематичну похибку $\Delta_{гр}(\bar{R}) = \Delta_{с,дов}$.

Довірчі границі систематичної похибки обчислюються за виразом:

$$\Delta_{с,дов} \cong \pm z_n(P_{дов}) \cdot S_c,$$

де $z_n(P_{дов})$ – коефіцієнт-квантиль нормального розподілу для заданої довірчої ймовірності $z_n(P_{дов})$;

S_c - середньоквадратичне відхилення систематичної похибки.

Якщо $0,8 < \frac{\Delta_{с,дов}}{S_{\bar{R}}} < 0,8$, то граничне значення сумарної похибки прямих вимірювань з багатократними спостереженнями обчислюється за виразом:

$$\Delta_{гр}(\bar{R}) = K(P_{дов}) \cdot \sqrt{S_c^2 + S_{\bar{R}}^2},$$

де $K(P_{дов})$ – коефіцієнт, що залежить від довірчої ймовірності $P_{дов}$ і розраховується за формулою:

$$K(P_{дов}) = \frac{\Delta_{с,дов} + \varepsilon_{\bar{X}}}{S_c + S_{\bar{R}}};$$

S_c^2 та S_c – відповідно дисперсія та середньоквадратичне відхилення систематичної похибки;

$S_{\bar{R}}^2$ та $S_{\bar{R}}$ – відповідно дисперсія та середньоквадратичне відхилення випадкової похибки.

Етап 3.5. Запис результатів вимірювання електричного опору з багаторазовими спостереженнями.

Результат вимірювання записують у формі:

$$R = \bar{R} \pm \Delta_{гр}(\bar{R}); P_{дов} = ; \text{ сист. пох. } S_c = , \text{ розп. }; \text{ вип. пох. } S_{\bar{R}} = , \text{ розп. } n = .$$

Етап 3.6. Висновок.

На підставі аналізу отриманих даних зробити висновок про доцільність використання прямого методу вимірювання опору із багатократними спостереженнями в рамках даної лабораторної роботи. Проаналізувати складові сумарної похибки результату вимірювання опору та висунути пропозиції щодо підвищення точності вимірювання.

Звіт повинен містити

1. Номер, назву, мету та програму лабораторної роботи.
2. Умову та розв'язання задачі.
3. Метрологічні характеристики використаних приладів (табл. 1.1).
4. Умови виконання вимірювань (табл. 1.2).
5. Таблицю 1.3 з результатами вимірювання.
6. Формули та розрахунки похибок до таблиці 1.3.

7. Формули, розрахунки, що використовуються для перевірки гіпотези про належність результатів спостережень обраному закону розподілу.
8. Гістограму.
9. Висновки.

Список літератури

1. Опрацювання результатів вимірювань. / Дорожовець М. Навч. Посібник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – С. 183-194, 246-251
2. Основи метрології та електричні вимірювання: Навч. посібник / М.Г. Поляков, В.Г. Тарасенко. – Дніпропетровськ: НГАУ, 2002. – С.32-33.

Контрольні запитання

1. Поясніть поняття довірчого інтервалу та довірчої ймовірності.
2. За яких умов результат вимірювань приймають за аномальний?
3. Що називається гістограмою і для чого її використовують? Поясніть у яких випадках її потрібно будувати, а у яких ні.
4. У якому випадку можна знехтувати випадковою похибкою?
5. Як правильно записати результат вимірювань: а) одного спостереження; б) багатьох спостережень?
6. Перелічіть основні етапи опрацювання результатів вимірювань з багатократними спостереженнями.
7. Як визначити найкращу оцінку результату вимірювання?
8. Що означає таке зображення класу точності приладів: 1,5; $\textcircled{1,0}$; $\underline{2,5}$; 0,02/0,01?
9. У якому випадку можна знехтувати систематичною похибкою?
- 10.3 якою метою виконують вимірювання із багаторазовими спостереженнями?

**ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ
АНАЛОГОВИМИ ЕЛЕКТРОННИМИ ТА ЦИФРОВИМИ ПРИЛАДАМИ**

Мета: набути практичних навичок вимірювання параметрів електричних сигналів аналоговими електронними та цифровими приладами та оволодіти методикою опрацювання результатів експерименту.

Програма роботи

1. Підготовка до вимірювального експерименту

1.1. Опрацювання теоретичного матеріалу за конспектом лекцій та методичними вказівками.

1.2. Розв'язання задачі.

2. Виконання вимірювального експерименту

2.1. Вивчення метрологічних характеристик використовуваних приладів.

2.2. Визначення умов виконання вимірювання.

2.3. Вимірювання електричних величин мультиметром ВР-11А.

2.4. Вимірювання напруги і опору за допомогою вольтметра В7-38.

2.5. Вимірювання напруги аналоговим електронним мілівольтметром ВЗ-38А.

3. Опрацювання результатів експерименту

3.1. Складання моделей похибок вимірювання параметрів електричних сигналів.

3.2. Визначення інструментальних (основної і додаткової) похибок використовуваних приладів.

3.3. Оцінювання граничного значення сумарної похибки вимірювання параметрів електричних сигналів.

3.4. Запис результатів вимірювання параметрів електричних сигналів.

3.5. Висновок.

Підготовка до вимірювального експерименту

Етап 1.1. Опрацювання теоретичного матеріалу за конспектом лекцій та методичними вказівками.

За літературними джерелами, конспектом лекцій та методичними вказівками вивчити принцип дії і роботу аналогових електронних та цифрових приладів.

Загальні відомості

Змінну напругу характеризує амплітудне (пікове), діюче (середньоквадратичне, ефективне), середнє і середньовипрямлене значення.

Амплітудне значення – найбільше миттєве значення напруги за час спостереження (і за період коливання).

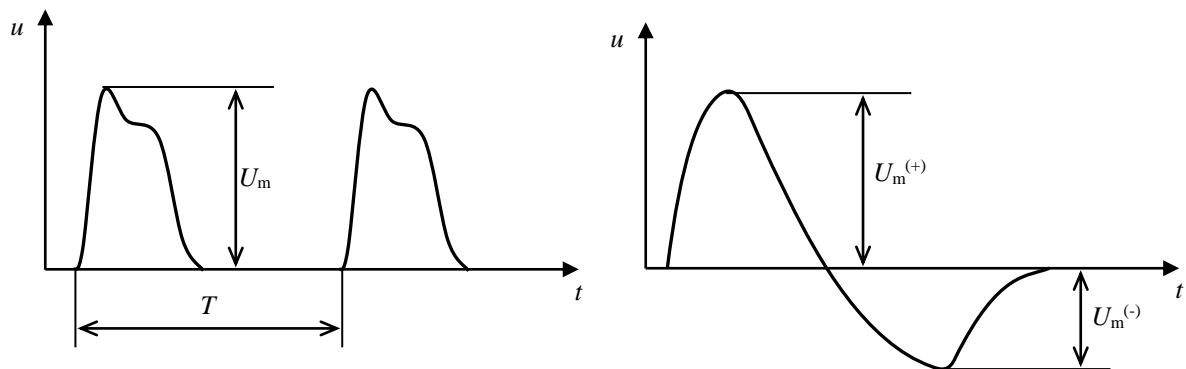


Рисунок 2.1 - Графіки, що ілюструють поняття "амплітудне значення" напруги

При різнополярних несиметричних кривих напруги розрізняють два пікових значення: позитивне і негативне.

Діюче значення (середньоквадратичне, ефективне) – це середньоквадратичне з миттєвих значень напруги за один період вимірювання:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} .$$

Квадрат діючого значення періодичної напруги несинусоїдальної форми дорівнює сумі квадратів діючих значень постійної і всіх гармонійних складових цієї напруги:

$$U^2 = U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots$$

або діюче значення періодичної напруги складної форми дорівнює:

$$U = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2}.$$

Середнє значення (постійна складова) визначається середнім арифметичним з миттєвих значень за один період вимірювання:

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt.$$

Середньовипрямлене значення – це середнє арифметичне з абсолютних миттєвих значень:

$$U_{\text{ср.в.}} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt.$$

При однополярній напрузі середнє значення (постійна складова) дорівнює середньовипрямленому. При різнополярній напрузі ці дві величини різні.

Зв'язок між піковим (амплітудними), діючим і середньовипрямленим значеннями напруги заданої форми встановлюється за допомогою **коефіцієнта амплітуди**, рівного відношенню пікового значення до діючого:

$$K_a = \frac{U_m}{U}$$

і **коефіцієнта форми кривої**, що визначається відношенням діючого значення до середньовипрямленого:

$$K_{\phi} = \frac{U}{U_{\text{ср.в.}}}.$$

Аналогові електронні вольтметри

Аналоговий електронний вольтметр – вимірювальний прилад, у якому поєднано електронний перетворювач і магнітоелектричний вимірювач.

За призначенням аналогові електронні вольтметри розрізняють: вольтметри постійної, змінної і імпульсної напруги; універсальні; фазочутливі; селективні.

Основне призначення електронних вольтметрів – вимірювання напруги в радіоелектронних колах.

На відміну від магнітоелектричних вольтметрів, електронні вольтметри постійного та змінного струму мають дуже великий вхідний опір (порядку 5-10 МОм), значення якого не залежить від обраної межі вимірювання; високу чутливість; широкі межі вимірювання; широкий частотний діапазон (20 Гц – 1000 МГц); мале споживання струму з вимірювального кола.

Узагальнена структурна схема електронного вольтметра постійного струму представлена на рисунку 2.2.

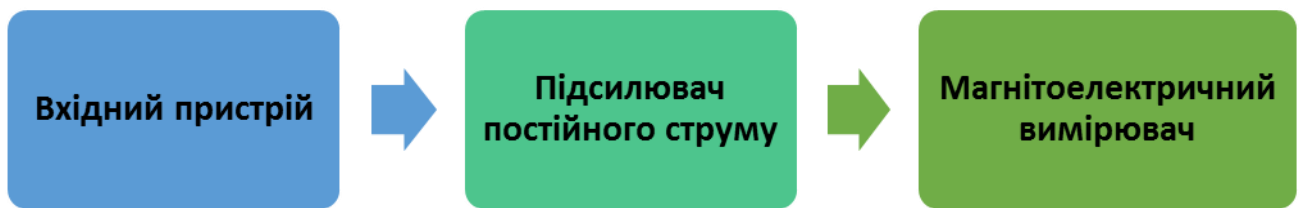


Рисунок 2.2 – Загальна структурна схема електронного вольтметра постійного струму

Вольтметр складається з:

- вхідного пристрою (високоомного резистивного дільника напруги),
- електронного перетворювача (підсилювача постійного струму),
- електромеханічного перетворювача (магнітоелектричного вимірника).

Вхідний пристрій послаблює сигнал у задану кількість раз, що дозволяє розширити діапазон у сторону більших значень вимірюваної напруги, та забезпечує високий вхідний опір вольтметра.

Підсилювач постійного струму підвищує чутливість вольтметра, є підсилювачем потужності, необхідним для приведення в дію магнітоелектричного вимірника. Він повинен забезпечувати високу лінійність амплітудної характеристики, постійність коефіцієнта посилення, малий дрейф нуля, тобто повільної зміни вихідного сигналу за відсутності на вході інформаційного сигналу.

Електронні вольтметри змінного струму будуються за двома схемами:

1) перетворення змінної напруги в постійну і подальше посилення постійної напруги (рис.2.3, а). Вольтметри, побудовані за цією схемою мають широкий частотний діапазон 20 Гц - 700 МГц, але недостатньо високу чутливість.

2) посилення змінної напруги і подальше перетворення змінної напруги в постійну (рис.2.3, б). Вольтметри, побудовані за цією схемою характеризуються порівняно вузьким частотним діапазоном 10Гц - 10МГц, що визначаються смугою пропускання підсилювача змінного струму, але більш високою чутливістю.



а)



б)

Рисунок 2.3 – Загальна структурна схема електронних вольтметрів змінного струму

Характеристики аналогових електронних вольтметрів змінного струму і характер їх шкал в основному визначаються схемою електронного перетворювача (детектора). Розрізняють перетворювачі: амплітудного, середньовипрямленого, середньоквадратичного значень, які здійснюють перетворення змінної напруги в постійну, пропорційну відповідному амплітудному (максимальному), середньовипрямленому і середньоквадратичному значенням напруги.

Вхід перетворювачів щодо постійної складової вимірюваної напруги може бути або *відкритим*, або *закритим* (з розділовим конденсатором). У вольтметрів

із *відкритим входом* конденсатор на вході відсутній і у вимірювальну схему надходить весь сигнал $u(t)$ який надалі перетворюється за алгоритмом роботи конкретного перетворювача. У вольтметрів із *закритим входом* конденсатор на вході відсікає постійну складову U_0 і у вимірювальну схему надходить сигнал $u(t) - U_0$ який надалі перетворюється за алгоритмом роботи конкретного перетворювача.

За частотним діапазоном аналогові електронні вольметри змінного струму діляться на низькочастотні, високочастотні і надвисокочастотні.

Шкали більшості електронних вольметрів, незалежно від типу перетворення, градуують у діючих значеннях синусоїдального сигналу, тому градуювання справедливе тільки при вимірюванні сигналу синусоїдальної форми, за винятком вольметра зі середньоквадратичним перетворювачем.

Цифрові вольметри

Принцип дії цифрових вимірювальних приладів засновано на дискретному і цифровому представленні безперервних вимірюваних фізичних величин. Спрощену структурну схему цифрового вольметра зображено на рис.2.4.

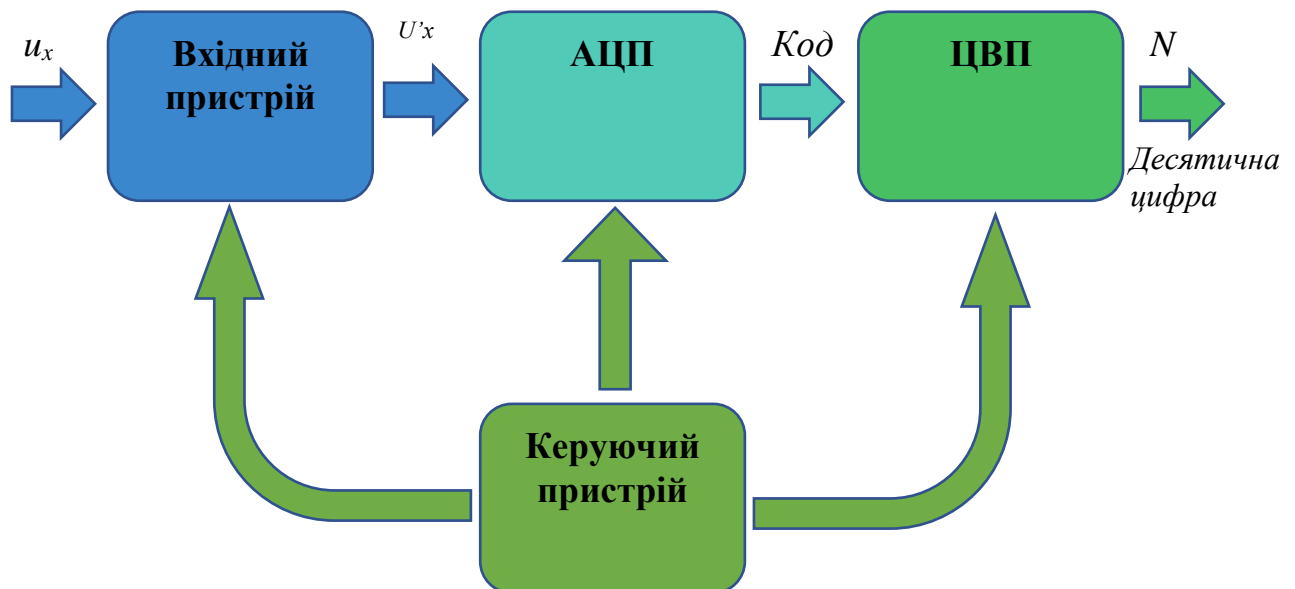


Рисунок 2.4 – Спрощена структурна схема цифрового вольметра

Вхідний пристрій містить подільник напруги, а у вольметрах змінного струму він включає ще й перетворювач змінного струму у постійний.

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) перетворює аналоговий сигнал у цифровий, що являє собою цифровий код. Використання АЦП у цифрових вольтметрах двійководосятичного коду полегшує зворотнє перетворення коду у десятичне число, що відображається на цифровому відліковому пристрої (ЦВП). ЦВП реєструє вимірювану величину. Керуючий пристрій об'єднує всі вузли вольтметра.

За типом АЦП цифрові вольтметри поділяють на дві групи:

1. Кодоімпульсні, в яких реалізується принцип компенсаційного методу вимірювання напруги.
2. Часоімпульсні, в яких реалізується перетворення за допомогою АЦП вимірюваної напруги у пропорційний інтервал часу, який заповнюють рахованими імпульсами, які слідуєть з відомою стабільною частотою слідування.

Етап 1.2. Розв'язання задачі.

Амплітудне значення змінної напруги синусоїдальної форми становить $U_m = 8$ В. Визначити значення коефіцієнтів амплітуди k_a та форми k_f та обчислити діюче (середньоквадратичне) U та середньовипрямлене $U_{вин}$ значення напруги.

Виконання вимірювального експерименту

Етап 2.1. Вивчення метрологічних характеристик використовуваних приладів.

Вивчити технічні та метрологічні характеристиками приладів В7-38, ВР-11А, ВЗ-38. Проаналізувати умовні позначки на шкалах і розшифрувати їх. Установити принцип дії приладів, призначення, клас точності, необхідні вимоги щодо коректного виконання вимірів.

Дані про метрологічні характеристики приладів занести до табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Метрологічні характеристики приладів

Назва	Система	Діапазон вимірювань	Клас точності	Вхідний опір	Заводський номер	Рік виготовлення
BP-11A						
B7-38						
B3-38						

Етап 2.2. Визначення умов виконання вимірювання.

Перед проведенням вимірювань необхідно за паспортними даними визначити умови їх експлуатації: температуру та вологість навколишнього повітря, атмосферний тиск, наявність поблизу приладів джерел електричних та магнітних полів. Результати занести до табл. 2.2 (рядок 2 – 4).

Отримані дані про умови вимірювань занести до табл. 2.2 (рядок 5).

Проаналізувавши отримані дані про умови виконання вимірювань зробіть висновок (табл.2.2, рядок б) про наявність чи відсутність додаткової інструментальної похибки і можливість її оцінки.

Таблиця 2.2 – Умови виконання вимірювань

Прилад	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Атмосферний тиск, мм.рт.ст.	Інше
ВР-11А				
В7-38				
В3-38				
фактичні умови				
Висновок				

Етап 2.3. Вимірювання електричних величин мультиметром ВР-11А.

Прилад ВР-11А має широкі межі вимірювання напруги, опору та частоти.

У якості джерела досліджуваних електричних сигналів на всіх етапах даної лабораторної роботи, використовується генератор сигналів. Рівень сигналу за напругою та його частоту плавно змінюється за допомогою генератора.

Під час виконання вимірювань кожна підгрупа студентів довільно обирає будь-яке значення напруги/електричного опору/частоти з наведеного у табл.2.3-2.5 діапазону. Результати вимірювання заносяться до відповідної таблиці.

Для вимірювання напруги і частоти прилад слід під'єднати на вихід генератора сигналів. Оптимальна напруга при вимірюванні частоти становить 4...5 В.

Результати спостережень повинні мати цифри в усіх чотирьох розрядах.

Результати спостережень занесіть до таблиці 2.3 – 2.5.

Таблиця 2.3 – Результати вимірювання напруги на різних частотах

Параметр	$0,2 < U < 2$ В $f = 50$ Гц	$2 < U < 20$ В $f = 20$ кГц
U_x , В		
δU , %		
ΔU , В		
Модель похибки		
Результат вимірювання		

Таблиця 2.4 – Результати вимірювання опору

Параметр	$R < 2 \text{ кОм}$	$2 \text{ кОм} < R < 20 \text{ кОм}$
$R_x, \text{кОм}$		
$\delta R, \%$		
$\Delta R, \text{кОм}$		
Модель похибки		
Результат вимірювання		

Таблиця 2.5 – Результати вимірювання частоти

Параметр	$0,2 \text{ кГц} < f < 2 \text{ кГц}$	$2 \text{ кГц} < f < 20 \text{ кГц}$
$f_x, \text{кГц}$		
$\delta f, \%$		
$\Delta f, \text{кГц}$		
Модель похибки		
Результат вимірювання		

Етап 2.4. Вимірювання напруги і опору за допомогою вольтметра В7-38.

Перед початком роботи вольтметр В7-38 необхідно ввімкнути до джерела живлення з напругою 220 В і прогріти протягом 2-3 хвилин.

За допомогою вольтметра виміряти діюче значення синусоїдальної напруги, результати занести до табл.2.6.

Таблиця 2.6 - Результати вимірювання напруги на різних частотах

Параметр	$0,2 < U < 2 \text{ В}$ $f = 50 \text{ Гц}$	$2 < U < 20 \text{ В}$ $f = 20 \text{ кГц}$
$U_x, \text{В}$		
$\delta U, \%$		
$\Delta U, \text{В}$		
Модель похибки		
Результат вимірювання		

Прилад В7-38 вимірює опір постійному струму в межах від 10^{-5} Ом до $2 \cdot 10^4$ Ом. Виміряти значення опорів в межах, вказаних у табл.2.7. Результати вимірювання занести до табл.2.7. У якості R_x використовувати магазин опорів Р33.

Таблиця 2.7 - Результати вимірювання опору

Параметр	$R < 200 \text{ Ом}$	$200 \text{ Ом} < R < 30 \text{ кОм}$
$R_x, \text{ кОм}$		
$\delta R, \%$		
$\Delta R, \text{ Ом}$		
Модель похибки		
Результат вимірювання		

Етап 2.5. Вимірювання напруги аналоговим електронним мілівольтметром В3-38А.

Перед початком роботи вольтметр В73-38А необхідно ввімкнути до джерела живлення з напругою 220 В і прогріти протягом 2-3 хвилин.

Використовуючи вольтметр В3-38А провести вимірювання напруги на межах вимірювання, вказаних у табл.2.8. Результати спостережень занести до табл.2.8.

Таблиця 2.8 - Результати вимірювання напруги на різних частотах

Параметр	$10 \text{ мВ} < U < 30 \text{ мВ}$ $f=10 \text{ кГц}$	$3 < U < 10 \text{ В}$ $f=10 \text{ кГц}$
$U_x, \text{ В}$		
$\Delta U, \text{ В}$		
Модель похибки		
Результат вимірювання		

Після проведення вимірювань розрахувати абсолютні і відносні основні інструментальні похибки приладів, визначити додаткові і суб'єктивні похибки, оцінити граничні значення систематичних похибок. Записати результат вимірювань. Розраховані значення похибок і результат вимірювань занести до таблиць 2.3 – 2.8.

Опрацювання результатів експерименту

Етап 3.1. Складання моделей похибок вимірювання параметрів електричних сигналів.

Модель (рівняння) абсолютної похибки вимірювання включає складові інструментальних абсолютних похибок (основних і додаткових), суб'єктивних похибок експериментатора і методичної похибки.

Отримані моделі абсолютних похибок вимірювання параметрів електричних сигналів занести у таблиці 2.3 та 2.8.

Етап 3.2. Визначення інструментальних (основних і додаткових) похибок використовуваних приладів.

Основна інструментальна похибка приладів оцінюється на підставі даних про їх клас точності.

Оцінювання додаткових інструментальних похибок виконується на підставі паспортних даних на прилад.

Етап 3.3. Оцінювання граничного значення сумарної похибки вимірювання параметрів електричних сигналів.

Граничне значення сумарної похибки є сумою інструментальної (основної та додаткової) і суб'єктивної похибок.

Етап 3.4. Запис результатів вимірювання параметрів електричних сигналів.

Результат вимірювання згідно з вимогами нормативних документів подається у вигляді:

$$X = X_1 \pm \Delta X, \quad (1)$$

де X_1 - результат спостереження величини, що вимірюється; ΔX - абсолютна похибка вимірювання величини.

Наприклад, результати спостережень вимірювання частоти f та напруги U дорівнюють 398.4 Гц та 4.16 В відповідно. Розраховані значення абсолютних похибок становлять $\Delta f = 13.8$ Гц; $\Delta U = 0.0299$ В. При записі результату вимірювань абсолютні похибки округлюються до перших двох значущих цифр, тобто $\Delta f = 14$ Гц; $\Delta U = 0.030$ В. Запис $\Delta U = 0.03$ В недопустимий, оскільки нуль після трійки є значущою цифрою.

Результати спостережень, що підставляються у формулу (1) заокруглюють і записують у відповідності зі значеннями найменшого розряду абсолютної похибки:

$$f = 398 \pm 14 \text{ Ом}; \quad (2)$$

$$U = 4.16 \pm 0.03 \text{ В}. \quad (3)$$

Результат спостережень містить одну й ту саму кількість цифр після коми, що і абсолютна похибка.

Дані необхідні для розрахунку абсолютних та відносних похибок при вимірюванні вольтметром В7-38 наведено у паспортні на прилад (додаток Д). Результати вимірювання приладом В7-38 занести в табл. 2.1, 2.2.

Дані необхідні для обчислення абсолютних та відносних похибок при вимірюванні мультиметром ВР-11А наведено у паспорті на прилад (додаток Е). Результати вимірювань мультиметром ВР-11А занести до табл. 2.3, 2.4, 2.5.

Дані необхідні для обчислення абсолютних та відносних похибок мілівольтметром ВЗ-38А наведено у паспорті на прилад (додатку Ж). Результати вимірювань занести до табл. 2.6.

Етап 3.6. Висновок.

Проаналізувати отримані результати розрахунків і зробити висновки про закономірність зміни значення похибок при вимірюванні електронними та цифровими приладами.

Звіт повинен містити

1. Номер, назву, мету та програму лабораторної роботи.
2. Умову та розв'язання задачі.
3. Метрологічні характеристики використаних приладів (табл. 2.1).
4. Умови виконання вимірювань (табл. 2.2).
5. Таблиці 2.3 – 2.8 з результатами вимірювання.
6. Формули та розрахунки похибок до таблиць 2.3 – 2.8.
7. Висновки.

Список літератури

1. Основи метрології та електричні вимірювання: Навч. посібник / М.Г. Поляков, В.Г. Тарасенко. – Дніпропетровськ: НГАУ, 2002. – С.100-113.
2. Основи метрології та вимірювальної техніки. / Дорожовець М. та ін.; під ред. Стадника Б. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», Том 2. Вимірювальна техніка, 2005. – С. 183-194, 211-222.

Контрольні запитання

1. Вкажіть принципові відміни між аналоговими електромеханічними та електронними вимірювальними приладами.
2. Вкажіть принципові відміни між аналоговими електромеханічними та цифровими вимірювальними приладами.
3. Опишіть загальний принцип дії аналогових електронних вимірювальних приладів
4. Опишіть загальний принцип дії цифрових вимірювальних приладів.
5. Поясніть сутність процедур дискретизації та квантування, які здійснюються цифровими вимірювальними приладами.
6. Поясніть різницю між адитивною та мультиплікативною складовими похибки цифрових приладів.
7. Які значення напруги вимірюють використані у лабораторній роботі прилади?
8. Чи можна використовувати електронний вольтметр ВЗ-38 для вимірювання значень напруги несинусоїдального сигналу? Поясніть чому.
9. Поясніть різницю між електронним вольтметром з відкритим та закритим входом.
10. Наведіть правила запису результату вимірювання.

**ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН
ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВИМ ОСЦИЛОГРАФОМ**

Мета: набути навичок вимірювання електричних величин, що змінюються періодично, за допомогою електронно-променевого осцилографа та оволодіти методикою опрацювання результатів експерименту.

Програма роботи

1. Підготовка до вимірювального експерименту

1.1. Опрацювання теоретичного матеріалу за конспектом лекцій та методичними вказівками.

1.2. Розв'язання задачі.

2. Виконання вимірювального експерименту

2.1. Вимірювання часових та амплітудних параметрів синусоїдального сигналу: частоти, періоду, кута зсуву фаз, амплітуди і діючого значення.

2.2. Вимірювання середнього значення напруги однополуперіодного випрямляча.

3. Опрацювання результатів експерименту

3.1. Обчислення параметрів синусоїдального_сигналу: частоти, періоду, кута зсуву фаз, амплітуди і діючого значення.

3.2. Обчислення параметрів однопівперіодного випрямляча.

3.3. Оцінювання похибок вимірювання часових та амплітудних параметрів синусоїдального_сигналу, та вимірювання середнього значення напруги однопівперіодного випрямляча.

3.4. Запис результатів вимірювання часових та амплітудних параметрів синусоїдального сигналу та постійної складової сигналу.

3.5. Висновок.

Підготовка до вимірювального експерименту

Етап 1.1. Опрацювання теоретичного матеріалу за конспектом лекцій та методичними вказівками.

За конспектом лекцій, літературними джерелами та методичними вказівками вивчити призначення та принцип дії основних конструктивних елементів осцилографа. Ознайомитись з правилами роботи з осцилографом.


Опис органів керування осцилографом. Загальні правила роботи з осцилографом.

Схема управління променем осцилографа виробляє прямокутні імпульси, які поступають на блокуючі пластини і використовуються для гасіння променя електронного осцилографа під час зворотного ходу розгортки.

Органи керування осцилографом:

Регулювання яскравості зображення виконується ручкою “*”

Регулювання чіткості (фокусу) зображення – ручкою “Θ”

Регулювання чіткості освітлення шкали на екрані осцилографа – ручкою “”

Органи керування вертикального відхилення:

Встановлення каліброваних коефіцієнтів відхилення каналу виконується за допомогою перемикача “V /дел”.

Регулювання положення променя по вертикалі – ручкою “↑”.

Регулювання положення променя по горизонталі – ручкою “↔”.

Перемикач вибору режиму роботи підсилювача вхідного сигналу (каналу Y).

“~” – вимірювання змінної складової частини досліджуваного сигналу.

– “~ ” – вимірювання змінної і постійної складової частини досліджуваного сигналу.

Перемикач режиму роботи підсилювача (для однопроменевих осцилографів з комутатором):

“Г” – на екрані осцилографа відображається досліджуваний сигнал, що надходить на канал I.

“II” – на екрані осцилографа відображається досліджуваний сигнал, що надходить на канал II.

“...” – на екрані осцилографа відображаються досліджувані сигнали, що надходять на канал I і II.

“→→” – на екрані осцилографа обидва досліджувані сигнали відображаються у кінці кожного прямого ходу розгортки.

I + II – на екрані осцилографа відображається сума обох досліджуваних сигналів.

Перемикач полярності (інвертування) каналу II.

“+” – фаза сигналу не змінюється.

“-” – зміна фази сигналу на 180° .

Органи керування синхронізації.

Вибір рівня досліджуваного сигналу, при якому виконується запуск розгортки виконується за допомогою ручки “Уровень”.

Стабілізація початку розгортки сигналу – ручкою “Стабильность”.

Перемикач виду синхронізації.

Внутрішня синхронізація сигналу – “Внутр.”, (+), (-).

Синхронізація розгортки зовнішнім сигналом – “Внешн.”.

Розгортка при дослідженні періодичних сигналів – “Авт.”

Ввімкнення розгортки переднім фоном досліджуваного сигналу – “Ждуц.”

Органи управління розгорткою.

Встановлення каліброваного коефіцієнту розгортки при крайньому правому положенні ручки “Плавно” (до фіксації) виконується за допомогою перемикача “Время/дел”.

Плавне регулювання коефіцієнта розгортки з перекриттям в 2,5 рази в кожному положенні перемикача “Время/дел” – ручкою “Плавно”.

Перед початком роботи на панелі осцилографа органи керування встановити в наступні положення:

“*” – крайнє праве;

“Θ” – середнє;

“ $V/\text{дел}$ ” – максимальне значення;

“ \updownarrow ” – середнє;

“ \sim ”, “ \sim ” – положення “ \sim ”; —

перемикач полярності – в “+”;

“Время/дел” – “1 mS ”;

“Авт”, “Ждущ” - “Авт.”;

перемикач виду синхронізації – “Внутр.”;

“Уровень” – крайнє праве положення;

“ \leftrightarrow ” – середнє;

для однопроменевого осцилографа – у крайнє праве.

Перед початком роботи осцилограф необхідно під’єднати до джерела живлення, ввімкнути та прогріти протягом 2-3 хвилин. Провести налаштування чіткості та фокусу променю так, щоб він з’явився у робочій зоні екрану. Зачекати 10-15 хвилин, після чого провести балансування підсилювача за допомогою ручки «Баланс». Балансування вважається виконаним, коли промінь на екрані осцилографа не переміщується при зміні положення перемикача “ $V/\text{дел}$ ”. Спираючись на масштаб за віссю ординат, розрахувати максимальне значення напруги, яке може бути подано на вхід осцилографу.

Коли всі вищенаведені операції будуть виконані на вхід осцилографа подати досліджуваний сигнал.

Етап 1.2. Розв’язання задачі.

Для осцилограми напруги зображеної на рис.3.1 знайти: період T , частоту f , розмах r , амплітуду A , ціну поділки вертикального m_U та горизонтального m_x відхилення, амплітудне U_m та діюче значення U напруги.

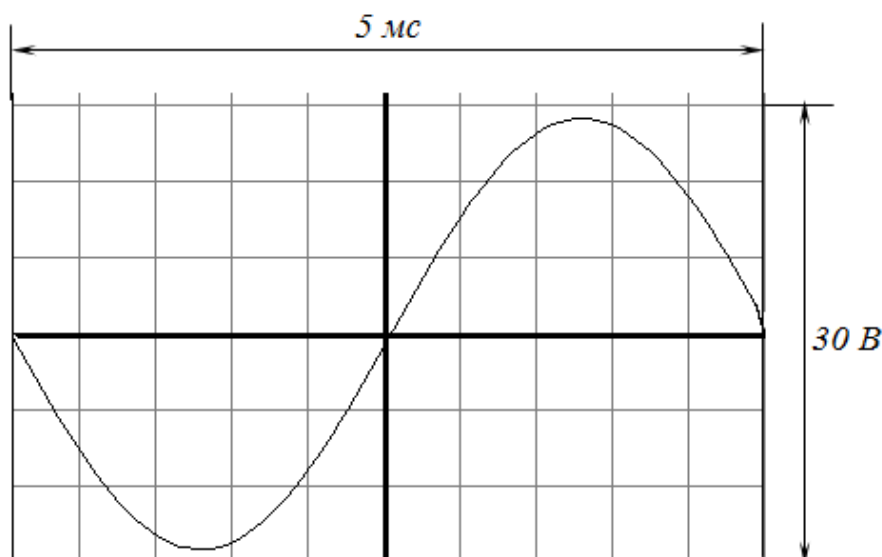


Рисунок 3.1 – Осцилограма напруги

Виконання вимірювального експерименту

Етап 2.1. Вимірювання часових та амплітудних параметрів синусоїдального сигналу: частоти, періоду, кута зсуву фаз, амплітуди і діючого значення.

Зібрати електричне коло зображене на рис.2.2. Електричне коло під'єднується до входу генератора звукових сигналів (ГЗС), який дозволяє отримати синусоїдальний сигнал з регульованими параметрами.

Вимірювання характеристик синусоїдального сигналу виконується у такій послідовності:

- 1) подати вимірювальну напругу в гніздо “ $\ominus 1\text{ M}\Omega, 30\text{ pF}$ ”;
- 2) установити перемикачем режиму роботи підсилювача відповідний канал;

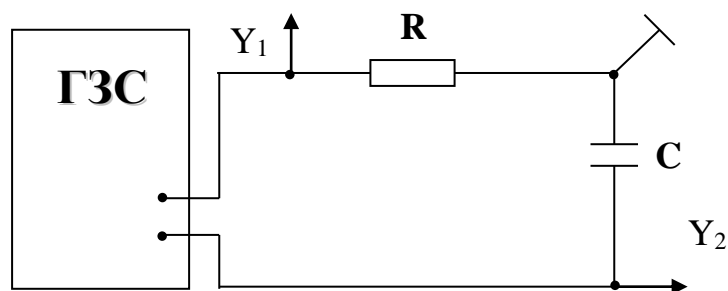


Рисунок 2.2 – Електричне коло для вимірювання часових та амплітудних параметрів періодичного сигналу

- 3) перемикачем “ $V / \text{дел}$ ” виставити амплітуду зображення у 5 клітинок;
 - 1) Поставити перемикачі каналів та синхронізації “ \sim ”, “ \sim ” в положення “ \sim ”;
 - 2) відповідно каналу “У”, на який подається сигнал, ввімкнути синхронізації. “Внутр.” I або II;
 - 3) ручку “Уровень” установити в середнє положення; ручку “Стаб.” повільно переводити з крайнього лівого положення в праве до появи сталого зображення;
 - 4) ручкою “Уровень” установити стале зображення;
 - 5) ручку “ \updownarrow ” установити так, щоб мінімальний рівень сигналу співпадав із однією із нижніх ліній, а максимальний був у межах екрану.

Для визначення фази між двома синусоїдальними сигналами однієї частоти можна використовувати двоканальний осцилограф. При цьому:

- 1) перемикачі каналів “ \sim ”, “ \sim ” установити в однакове положення;
- 2) установити перемикач режиму роботи підсилювача в положення “...”;
- 3) подати опорний сигнал на вхід каналу I, а порівнюючий – на вхід каналу II;

Будьте уважні! При вмиканні кінців вимірювального кабелю до схеми його виводи “ $\perp 1$ ”, “ $\perp 2$ ” повинні бути приєднані до однієї точки, інакше вони перемкнуться елементи схеми.

- 4) Інвертувати сигнал II каналу шляхом натискання кнопки П;
- 5) установити перемикачем “ $V / \text{дел}$ ” кожного із каналів близькі за величинами зображення (біля 5 клітинок по амплітуді);
- 6) ручкою “Уровень” установити стійке зображення сигналів;
- 7) установити перемикач “Время/дел” на швидкість розгортки, що забезпечує 1, 2 періоди сигналів на екрані;
- 8) розмістити осцилограми сигналів Y_1 та Y_2 симетрично відносно горизонтальної осі за допомогою ручки “ \updownarrow ”;
- 9) виміряти період опорного сигналу 1 (рис. 3.3);
- 10) виміряти різницю по горизонталі між відповідними точками сигналів;
- 11) фазовий зсув розраховується за формулою

$$\varphi = \frac{360}{t_1} t_x.$$

Отримані дані занести до таблиці 3.1.

Після проведення вимірювань обчислити значення часових та амплітудних параметрів синусоїдального сигналу, абсолютні похибки вимірювань. Записати результат вимірювань. Розраховані значення похибок і результат вимірювань занести до таблиці 3.1.

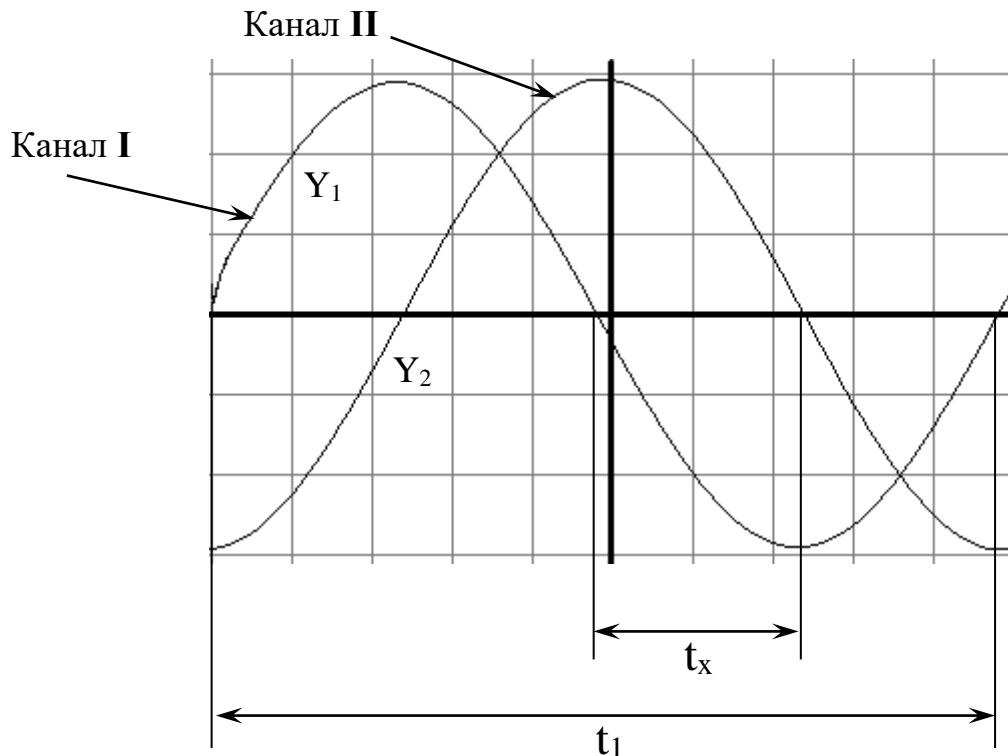


Рисунок 3.3 – Осцилограми сигналів Y_1 та Y_2 для визначення фазового зсуву

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання часових та амплітудних параметрів синусоїдального сигналу

Виміряні значення									
R, Ом	C, Ф	N ₁ , клітинок	m _U , В/под	N ₂ , клітинок	m _s , с/под	2U _m , В	t ₁ , с	t _x , с	
Розраховані значення									
T, с	ΔT, с	f, Гц	Δf, Гц	U, В	ΔU, В	I _m , А	ΔI _m , А	I, А	ΔI, А
Результати вимірювання									
T =		f =		U =		I _m =		I =	

Етап 2.2. Вимірювання середнього значення напруги однопівперіодного випрямляча.

Для вимірювання постійної складової (середнього значення) сигналу зібрати електричне коло за схемою, наведеною на рис.3.4, та виконати наступну послідовність дій:

а) шляхом перемикання відповідних ручок управління осцилографом забезпечити стійке зображення дослідного сигналу на екрані;

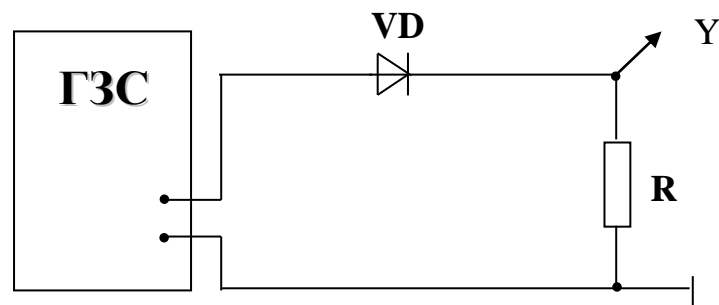


Рисунок 3.4 - Електричне коло для вимірювання постійної складової сигналу

б) встановити тумблер “~”, “_~” в положення “~”, при цьому на екрані осцилографа буде отримано зображення, аналогічне наведеному на рис.3.5, крива 1;

в) перемкнути тумблер в “~”, “_~” в положення “_~”, при цьому зображення сигналу зміститься на його постійну складову U_0 (аналогічно рис.3.5, крива 2);

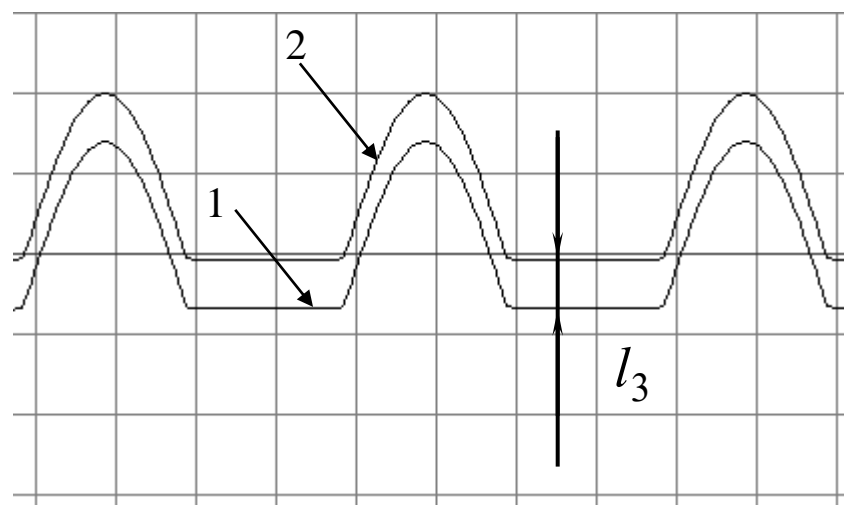


Рисунок 3.5 – Вимірювання постійної складової сигналу

Отримані дані занести до таблиці 3.2.

Після проведення вимірювань обчислити значення постійної складової сигналу, діючого значення напруги, розрахувати середнє значення (постійну складову) напруги, коефіцієнти амплітуди та форми сигналу, абсолютні похибки вимірювань. Записати результат вимірювання. Розраховані значення похибок і результат вимірювання занести до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати вимірювання середнього значення напруги однопівперіодного випрямляча

Виміряні та розраховані значення						
l_z , клітинок	m_U , В/под	U_0 , В	U , В	U_{cp} , В	k_a	k_ϕ
Абсолютні похибки та результати вимірювань						
ΔU_0 , В	$U_0 = U_0 \pm \Delta U_0$	ΔU , В	$U = U \pm \Delta U$	ΔU_{cp} , В	$U_{cp} = U_{cp} \pm \Delta U_{cp}$	

Опрацювання результатів експерименту

Етап 3.1. Обчислення параметрів синусоїдального сигналу: частоти, періоду, кута зсуву фаз, амплітуди і діючого значення.

Наприклад, ми отримали зображення, наведене на рис. 3.6.

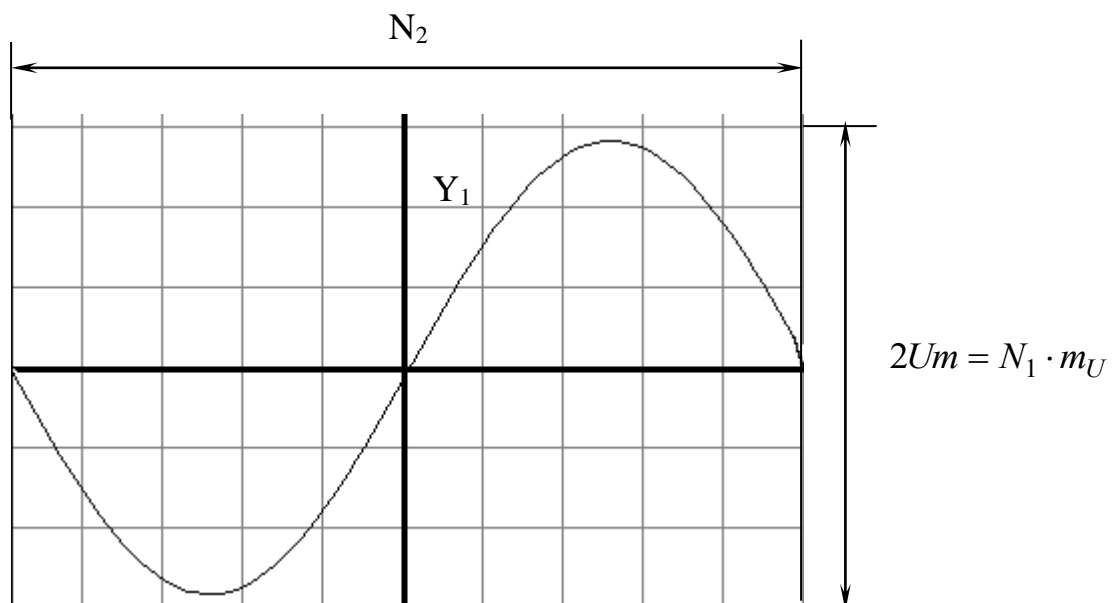


Рисунок 3.6 – Осцилограма форми періодичного сигналу

Період сигналу $T = N_2 \cdot m_S$, де N_2 - кількість клітинок, що відповідає періоду сигналу на екрані осцилографа; m_S - масштабний множник часу, “с/дел”.

$$\text{Частота сигналу } f = \frac{1}{T}.$$

Амплітуда сигналу $U_m = \frac{N_1 \cdot m_U}{2}$, де N_1 - кількість клітин, що відповідають розмаху синусоїдального сигналу; m_U - масштабний множник напруги, “В/дел”.

Діюче значення напруги синусоїдального сигналу:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

Осцилограма напруги на активному опорі R за формою співпадає з осцилограмою струму у цьому колі $i_R = iR$. На підставі цього можна розрахувати амплітудні параметри сили струму за законом Ома $I_m = U_m / R$.

Діюче значення струму синусоїдального сигналу розраховується аналогічно напрузі.

Етап 3.2. Обчислення параметрів однопівперіодного випрямляча.

Постійна складова сигналу, виміряна за допомогою осцилографа, обчислюється за наступною формулою:

$$U_0 = l_3 \cdot m_U.$$

Діюче значення напруги однопівперіодного випрямляча розраховується за формулою:

$$U = \frac{U_m}{2}.$$

Постійна складова напруги однопівперіодного випрямляча може бути розрахована за формулою:

$$U_{\text{ср}} = \frac{U_m}{\pi}.$$

Порівняйте значення постійної складової сигналу виміряної за допомогою осцилографа (U_0) та розрахованою за формулою ($U_{\text{ср}}$).

Коефіцієнт амплітуди – відношення амплітуди періодично змінюваної функції до її діючого значення:

$$k_a = \frac{U_m}{U}$$

Коефіцієнт форми – відношення діючого значення періодично змінюваної функції до її середнього за півперіоду значенню:

$$k_\phi = \frac{U}{U_{cp}}$$

Етап 3.3. Оцінювання похибок вимірювання часових та амплітудних параметрів синусоїдального сигналу, та вимірювання середнього значення напруги однопівперіодного випрямляча.

Похибки вимірювання часових та амплітудних параметрів синусоїдального сигналу, та вимірювання середнього значення напруги однопівперіодного випрямляча розраховуються на підставі даних про клас точності електронно-променевого осцилографа.

Осцилографи бувають 1, 2, 3 та 4 класів точності, яким відповідають значення відносних похибок, що приведені у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Відносні похибки електронно-променевих осцилографів

Клас точності	1	2	3	4
Відносна похибка, %	2	6	10	12

Етап 3.4. Запис результатів вимірювання часових та амплітудних параметрів синусоїдального сигналу та постійної складової сигналу.

Відповідно з вимогами діючих нормативних документів результат вимірювання подається з вказанням абсолютної похибки вимірювання величини. Розрахунок абсолютної похибки виконується на підставі даних про клас точності осцилографа.

Етап 3.5. Висновок.

Проаналізувати отримані результати вимірювання електричних сигналів. Порівняти похибки вимірювання осцилографів з іншими видами приладів для вимірювання параметрів електричних сигналів.

Звіт повинен містити

1. Номер, назву, мету та програму лабораторної роботи.
2. Умову та розв'язання задачі.
3. Схеми дослідних кіл (рис.3.1-3.4).
4. Експериментальні осцилограми з визначеними масштабами за напругою та часом.
5. Таблиці 3.1 та 3.2 з результатами вимірювання.
6. Формули та розрахунки похибок до таблиць 3.1 та 3.2.
7. Висновки.

Список літератури

1. Основы метрологии и электрические измерения: учебник для вузов / под ред. Е.М. Душина. – 6 изд. – Л. Энергоатомиздат, 1987. – С. 175-183.

2. Основы метрології та електричні вимірювання: Навч. посібник / М.Г. Поляков, В.Г. Тарасенко. – Дніпропетровськ: НГАУ, 2002. – С.78-85.

1. Метрологія та вимірювання. / Дорожовець М. та ін.; під ред. Стадника Б. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2012. – С. 261-274.

Контрольні запитання

1. Назвіть методи вимірювання частоти електронно-променевим осцилографом.

2. Як можна виміряти за допомогою осцилографа значення сили струму?

3. Чи можна за допомогою ручок осцилографа зупинити постійний рух зображення по горизонталі? Як це зробити?

4. Назвіть види синхронізації зображення.

5. Як розширити межу вимірювання осцилографа за напругою?

6. Яке призначення генератора розгортки?

7. Як перевірити калібровку каналів підсилювача та розгортки?

8. Яке призначення закритого і відкритого входів осцилографа?

9. Як розраховується діюче значення сигналу?

10. Чим визначається точність вимірювання за допомогою електронно-променевого осцилографа?

Таблиця – Значення β для критерію Смірнова

n	β		n	β	
	$P_{\text{дов}} = 0.9$	$P_{\text{дов}} = 0.95$		$P_{\text{дов}} = 0.9$	$P_{\text{дов}} = 0.95$
3	1.412	1.414	23	2.683	2.843
5	1.869	1.917	25	2.718	2.880
7	2.093	2.182	27	2.749	2.913
9	2.238	2.349	29	2.778	2.944
11	2.343	2.470	31	2.805	2.972
13	2.426	2.563	33	2.830	2.998
15	2.532	2.670	35	2.853	3.022
17	2.551	2.701	37	2.874	3.044
19	2.601	2.754	39	2.894	3.065
21	2.644	2.801	41	2.913	3.084

Таблиця – Значення інтегральної функції Лапласа $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$

x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)
0,00	0,0000	0,50	0,1915	1,00	0,3413	1,50	0,4332	2,00	0,4772	3,00	0,49865
0,01	0,0040	0,51	0,1950	1,01	0,3438	1,51	0,4345	2,02	0,4783	3,20	0,49931
0,02	0,0080	0,52	0,1985	1,02	0,3461	1,52	0,4357	2,04	0,4793	3,40	0,49966
0,03	0,0120	0,53	0,2019	1,03	0,3485	1,53	0,4370	2,06	0,4803	3,60	0,499841
0,04	0,0160	0,54	0,2054	1,04	0,3508	1,54	0,4382	2,08	0,4812	3,80	0,499928
0,05	0,0199	0,55	0,2088	1,05	0,3531	1,55	0,4394	2,10	0,4821	4,00	0,499968
0,06	0,0239	0,56	0,2123	1,06	0,3554	1,56	0,4406	2,12	0,4830	4,50	0,499997
0,07	0,0279	0,57	0,2157	1,07	0,3577	1,57	0,4418	2,14	0,4838	5,00	0,499997
0,08	0,0319	0,58	0,2190	1,08	0,3599	1,58	0,4429	2,16	0,4846		
0,09	0,0359	0,59	0,2224	1,09	0,3621	1,59	0,4441	2,18	0,4854		
0,10	0,0398	0,60	0,2257	1,10	0,3643	1,60	0,4452	2,20	0,4861		
0,11	0,0438	0,61	0,2291	1,11	0,3665	1,61	0,4463	2,22	0,4868		
0,12	0,0478	0,62	0,2324	1,12	0,3686	1,62	0,4474	2,24	0,4875		
0,13	0,0517	0,63	0,2357	1,13	0,3708	1,63	0,4484	2,26	0,4881		
0,14	0,0557	0,64	0,2389	1,14	0,3729	1,64	0,4495	2,28	0,4887		
0,15	0,0596	0,65	0,2422	1,15	0,3749	1,65	0,4505	2,30	0,4893		
0,16	0,0636	0,66	0,2454	1,16	0,3770	1,66	0,4515	2,32	0,4898		
0,17	0,0675	0,67	0,2486	1,17	0,3790	1,67	0,4525	2,34	0,4904		
0,18	0,0714	0,68	0,2517	1,18	0,3810	1,68	0,4535	2,36	0,4909		
0,19	0,0753	0,69	0,2549	1,19	0,3830	1,69	0,4545	2,38	0,4913		
0,20	0,0793	0,70	0,2580	1,20	0,3849	1,70	0,4554	2,40	0,4918		
0,21	0,0832	0,71	0,2611	1,21	0,3869	1,71	0,4564	2,42	0,4922		
0,22	0,0871	0,72	0,2642	1,22	0,3883	1,72	0,4573	2,44	0,4927		
0,23	0,0910	0,73	0,2673	1,23	0,3907	1,73	0,4582	2,46	0,4931		
0,24	0,0948	0,74	0,2703	1,24	0,3925	1,74	0,4591	2,48	0,4934		
0,25	0,0987	0,75	0,2734	1,25	0,3944	1,75	0,4599	2,50	0,4938		
0,26	0,1026	0,76	0,2764	1,26	0,3962	1,76	0,4608	2,52	0,4941		
0,27	0,1064	0,77	0,2794	1,27	0,3980	1,77	0,4616	2,54	0,4945		
0,28	0,1103	0,78	0,2823	1,28	0,3997	1,78	0,4625	2,56	0,4948		
0,29	0,1141	0,79	0,2852	1,29	0,4015	1,79	0,4633	2,58	0,4951		
0,30	0,1179	0,80	0,2881	1,30	0,4032	1,80	0,4641	2,60	0,4953		
0,31	0,1217	0,81	0,2910	1,31	0,4049	1,81	0,4649	2,62	0,4956		
0,32	0,1255	0,82	0,2939	1,32	0,4066	1,82	0,4656	2,64	0,4959		
0,33	0,1293	0,83	0,2967	1,33	0,4082	1,83	0,4664	2,66	0,4961		
0,34	0,1331	0,84	0,2995	1,34	0,4099	1,84	0,4671	2,68	0,4963		
0,35	0,1368	0,85	0,3023	1,35	0,4115	1,85	0,4678	2,70	0,4965		
0,36	0,1406	0,86	0,3051	1,36	0,4131	1,86	0,4686	2,72	0,4967		
0,37	0,1443	0,87	0,3078	1,37	0,4147	1,87	0,4693	2,74	0,4969		
0,38	0,1480	0,88	0,3106	1,38	0,4162	1,88	0,4699	2,76	0,4971		
0,39	0,1517	0,89	0,3133	1,39	0,4177	1,89	0,4706	2,78	0,4973		
0,40	0,1554	0,90	0,3159	1,40	0,4192	1,90	0,4713	2,80	0,4974		
0,41	0,1591	0,91	0,3186	1,41	0,4207	1,91	0,4719	2,82	0,4976		
0,42	0,1628	0,92	0,3212	1,42	0,4222	1,92	0,4726	2,84	0,4977		
0,43	0,1664	0,93	0,3238	1,43	0,4236	1,93	0,4732	2,86	0,4979		
0,44	0,1700	0,94	0,3264	1,44	0,4251	1,94	0,4738	2,88	0,4980		
0,45	0,1736	0,95	0,3289	1,45	0,4265	1,95	0,4744	2,90	0,4981		
0,46	0,1772	0,96	0,3315	1,46	0,4279	1,96	0,4750	2,92	0,4982		
0,47	0,1808	0,97	0,3340	1,47	0,4292	1,97	0,4756	2,94	0,4984		
0,48	0,1844	0,98	0,3365	1,48	0,4306	1,98	0,4761	2,96	0,4985		
0,49	0,1879	0,99	0,3389	1,49	0,4319	1,99	0,4767	2,98	0,4986		

Таблиця – Критичні точки розподілу χ^2

Число ст. своб. ν	Рівень істотності α					
	0,01	0,025	0,05	0,95	0,975	0,99
1	6,6	5,0	3,8	0,0039	0,00098	0,00016
2	9,2	7,4	6,0	0,103	0,051	0,020
3	11,3	9,4	7,8	0,352	0,216	0,115
4	13,3	11,1	9,5	0,711	0,484	0,297
5	15,1	12,8	11,1	1,15	0,831	0,554
6	16,8	14,4	12,6	1,64	1,24	0,872
7	18,5	16,0	14,1	2,17	1,69	1,24
8	20,1	17,5	15,5	2,73	2,18	1,65
9	21,7	19,0	16,9	3,33	2,70	2,09
10	23,2	20,5	18,3	3,94	3,25	2,56
11	24,7	21,9	19,7	4,57	3,82	3,05
12	26,2	23,3	21,0	5,23	4,40	3,57
13	27,7	24,7	22,4	5,89	5,01	4,11
14	29,1	26,1	23,7	6,57	5,63	4,66
15	30,6	27,5	25,0	7,26	6,26	5,23
16	32,0	28,8	26,3	7,96	6,91	5,81
17	33,4	30,2	27,6	8,67	7,56	6,41
18	34,8	31,5	28,9	9,39	8,23	7,01
19	36,2	32,9	30,1	10,1	8,91	7,63
20	37,6	34,2	31,4	10,9	9,59	8,26
21	38,9	35,5	32,7	11,6	10,3	8,90
22	40,3	36,8	33,9	12,3	11,0	9,54
23	41,6	38,1	35,2	13,1	11,7	10,2
24	43,0	39,4	36,4	13,8	12,4	10,9
25	44,3	40,6	37,7	14,6	13,1	11,5
26	45,6	41,9	38,9	15,4	13,8	12,2
27	47,0	43,2	40,1	16,2	14,6	12,9
28	48,3	44,5	41,3	16,9	15,3	13,6
29	49,6	45,7	42,6	17,7	16,0	14,3
30	50,9	47,0	43,8	18,5	16,8	15,0

Критерій Ст'юдента t

Число ступенів свободи f	Рівень значимості α			
	0,10	0,05	0,01	0,001
1	6,31	12,70	63,70	637,00
2	2,92	4,30	9,92	31,60
3	2,35	3,18	5,84	12,90
4	2,13	2,78	4,60	8,61
5	2,01	2,57	4,03	6,86
6	1,94	2,45	3,71	5,96
7	1,89	2,36	3,50	5,40
8	1,86	2,31	3,36	5,04
9	1,83	2,26	3,25	4,78
10	1,81	2,23	3,17	4,59
11	1,80	2,20	3,11	4,44
12	1,78	2,18	3,05	4,32
13	1,77	2,16	3,01	4,22
14	1,76	2,14	2,98	4,14
15	1,75	2,13	2,95	4,07
16	1,75	2,12	2,92	4,01
17	1,74	2,11	2,90	3,96
18	1,73	2,10	2,88	3,92
19	1,73	2,09	2,86	3,88
20	1,73	2,09	2,85	3,85
21	1,72	2,08	2,83	3,82
22	1,72	2,07	2,82	3,79
23	1,71	2,07	2,81	3,77
24	1,71	2,06	2,80	3,74
25	1,71	2,06	2,79	3,72
26	1,71	2,06	2,78	3,71
27	1,71	2,05	2,77	3,69
28	1,70	2,05	2,76	3,66
29	1,70	2,05	2,76	3,66
30	1,70	2,04	2,75	3,65
40	1,68	2,02	2,70	3,55
60	1,67	2,00	2,66	3,46
120	1,66	1,98	2,62	3,37
∞	1,64	1,96	2,58	3,29

Визначення похибок при вимірюванні вольтметром В7-38

Величина, що вимірюється	Діапазон вимірювальних величин, В, кОм, мА	Межі вимірювання, В, кОм, мА	Межі допустимої похибки, %	Примітка
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Напруга постійного струму	10^{-5} - 10^{-3}	0,2; 2	$\pm (0,04 + 0,02U_n / U_x)$	
		20; 200; 1000	$\pm (0,07 + 0,02U_n / U_x)$	
Напруга змінного струму частотою 30Гц-40Гц	10^{-5} -300	0,2; 2; 20; 200; 300	$\pm (1,5 + 0,1U_n / U_x)$	
Напруга змінного струму частотою 40Гц-60Гц	10^{-5} -300	0,2; 2; 20; 200	$\pm (0,4 + 0,05U_n / U_x)$	$K\tilde{a} \leq 0,5\%$
		300	$\pm (0,5 + 0,4U_n / U_x)$	$K\tilde{a} \leq 0,8\%$
Напруга змінного струму частотою 60Гц-10кГц	10^{-5} -300	0,2; 2; 20; 200	$\pm (0,2 + 0,05U_n / U_x)$	$K\tilde{a} \leq 0,2\%$
		300	$\pm (0,2 + 0,4U_n / U_x)$	$K\tilde{a} \leq 0,5\%$
Напруга змінного струму частотою 10кГц-100кГц	10^{-5} -200	0,2; 2	$\pm (0,2 + 0,1U_n / U_x)$	$K\tilde{a} \leq 0,5\%$
		20; 200	$\pm (0,5 + 0,1U_n / U_x)$	$K\tilde{a} \leq 0,5\%$
10кГц-20кГц	10^{-5} -300	300	$\pm (0,5 + 0,6U_n / U_x)$	$K\tilde{a} \leq 0,5\%$

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Опір постійного струму	$10^{-5}-2 \cdot 10^4$	0,2	$\pm (0,07 + 0,1R_n / R_x)$	
		2; 20	$\pm (0,07 + 0,2R_n / R_x)$	
		200	$\pm (0,07 + 0,2R_n / R_x)$	
		2000	$\pm (0,15 + 0,2R_n / R_x)$	
		$2 \cdot 10^4$	$\pm (0,5 + 0,1R_n / R_x)$	
Сила постійного струму	$10^{-5}-2 \cdot 10^3$	0,2; 2; 20; 200; 2000	$\pm (0,25 + 0,02I_n / I_x)$	
Сила змінного струму частотою 30Гц-40Гц		0,2; 2; 20; 200; 2000	$\pm (1,6 + 0,1I_n / I_x)$	
Сила змінного струму частотою 40Гц-20кГц	$10^{-5}-2 \cdot 10^3$	0,2; 2; 20; 200; 2000	$\pm (0,5 + 0,05I_n / I_x)$	$K\tilde{a} = 0,5\%$

У таблиці: $K\tilde{a}$ - коефіцієнт гармонік;

U_x, I_x, R_x - показання приладу або номінальне значення міри (при перевірці) напруги, сили струму, опору;

U_n, I_n, R_n - межі виміру напруги, сили струму, опору.

Примітка:

1. Спільне гніздо приладу допускає відносно заземлюючого контакту напругу постійного або змінного струму не більше 500 В.
2. Межі вимірювання 0,2 В, кОм відповідає положення коми на першій лампі зліва.
Межі вимірювання 2 В, кОм відповідає положення коми на другій лампі зліва і т.д.
На межі 20000 кОм кома не індицирується.
3. Вимір сили струму проводиться за допомогою виносного шунта.
4. Постійна складова напруги при вимірюванні напруги змінного струму допускається не більше 600 В.

Визначення абсолютних похибок вимірювань мультиметром ВР-11А

Перелік перевіряємих характеристик	Діапазон вимірювальних величин	Межі вимірювання	Основна похибка вимірювання
Напруга постійного струму	$10^{-3}-10^3$	2, 20, 200, 1000*	$\pm (0,5\%U_x + 0,4\zeta i)$
Напруга змінного струму**			
20Гц-45Гц	$10^{-3}-500$	2, 20, 200, 500*	$\pm (2\%U_x + 10\zeta i)$
45Гц-1кГц	$10^{-3}-500$	2, 20, 200, 500*	$\pm (1\%U_x + 10\zeta i)$
1кГц-10кГц	$10^{-3}-200$	2, 20, 200	$\pm (5\%U_x + 10\zeta i)$
10кГц-20кГц	$10^{-3}-200$	2	$\pm (5\%U_x + 10\zeta i)$
		20, 200	$\pm (10\%U_x + 10\zeta i)$
20кГц-100кГц	$10^{-3}-2$	2	$\pm (5\%U_x + 10\zeta i)$
Опір постійному струму, кОм	$10^{-3}-2 \cdot 10^3$	2, 20, 200, 2000	$\pm (1\%R_x + 7\zeta i)$
	$10-2 \cdot 10^4$	20000***	$\pm (10\%R_x + 50\zeta i)$
Сила постійного струму, мА	$10^{-3}-1 \cdot 10^3$	2, 20, 200, 1000*	$\pm (1\%I_x + 7\zeta i)$
		10000*	$\pm (3\%I_x + 8\zeta i)$
Сила змінного струму**, мА, 20Гц-10кГц	$10^{-3}-10 \cdot 10^3$	1000	$\pm (2,5\%I_x + 12\zeta i)$
		10000	$\pm (5\%I_x + 12\zeta i)$
Частота змінного струму, кГц	$0,01-10^4$	2, 20, 200, 1000* x10	$\pm (1\%F_x + 2\zeta i)$

Примітки: 1. * На перемикачі натиснута кнопка 2000.

2. ** Гармонічної форми з викривленням не більше 0,5%.

3. *** На перемикачі натиснуті кнопки 20 і 2000.

4. U_x , R_x , F_x , I_x - показання приладу або номінальне значення міри (при перевірці) напруги, опору, частоти та сили струму.

5. зн – одиниця молодшого розряду.

6. Постійна складова на вході приладу при вимірі напруги і частоти змінного струму не повинна перевищувати 250 В і 50 В відповідно.

Діапазон вхідних напруг при вимірюванні частоти змінного струму 1-20 В. Межа допустимої додаткової похибки вимірювань (зміна показань) при зміні температури повітря від $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ до 10°C або 35°C не перевищує половини межі допустимої основної похибки.

Визначення похибок електронного вольтметра ВЗ-38

Піддіпазони	Межі допустимих похибок (межі допустимих змін показань), %			
	Робочі ділянки частот, Гц			
	45 – 1 · 10 ⁶	20-45	(1 – 3) · 10 ⁶	(3 – 5) · 10 ⁶
1-300 мВ	± 2,5	± 4,0(±4,0)	± 4,0(±4,0)	± 6,0(±6,0)
1-300 В			± 6,0(±6,0)	

Частота градуювання 1кГц.

1. Зміни показань приладу, що викликаються зміною температури навколишнього повітря від нормальної до будь-якої температури в межах робочої ділянки температур, не перевищує межі основної похибки на кожні 10⁰С зміни температури.

2. Зміна показань приладу, виражена в процентах від значення верхньої межі встановленого піддіпазона, при відхиленні форми кривої вимірюваного сигналу від синусоїдальної (коефіцієнт гармонік не більше 20%) не перевищує половини значення коефіцієнта гармонік у процентах.

3. Відхилення покажчика від нуля, викликане власними шумами, не перевищує 5% від значення верхньої межі встановленого піддіпазона вимірювання при замкнутому накоротко вході.

4. Прилад зберігає свої технічні характеристики в межах норм, при наявності на вході постійної складової напруги не більше 250 В.

5. Час встановлення показань приладу не перевищує 4 с.

6. Прилад зберігає основну похибку після впливу п'ятикратної перегрузочної напруги, але не більше 600 В.

7. Активний вхідний опір приладу, виміряний на частоті 45 Гц, не менше 5 МОм на під діпазонах з верхніми межами 1-300 В.

8. Вхідна ємність приладу не більше 25 пФ на діпазонах з верхніми межами 1-300 мВ і не більше 15пФ на під діпазонах з верхніми межами 1- 300 В. Ємність кожного із з'єднувальних кабелів не більше 80 пФ.

9. Час встановлення робочого режиму 15 хв.

10. Прилад зберігає свої технічні характеристики при живленні його від мережі змінного струму напругою (220 ± 22) В частотою $(50 \pm 0,5)$ Гц.
11. Потужність, що споживається від мережі при номінальній напрузі, не перевищує 6ВА.
12. Прилад допускає безперервну роботу в робочих умовах на протязі 8 годин.
13. Габарит приладу не більше 152x206x275 мм.
14. Маса приладу не більше 3,2 кг. Маса приладу з транспортною тарою не більше 25 кг.

Автори

Гальченко Юлія Миколаївна

Глухова Наталія Вікторівна

**МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ.
РОЗДІЛ «ТЕОРІЯ ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ. ЧАСТИНА 2».
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

для спеціальностей бакалаврів

151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології,

152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Видано у редакційній обробці авторів

Електронне видання

НТУ «Дніпровська політехніка».
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.