

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

2958 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З КУРСІВ «МЕТРОЛОГІЯ», «МЕТРОЛОГІЯ І ВИМІРЮВАННЯ»,
«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНА
ТЕХНІКА»
для студентів електротехнічних спеціальностей денної і заочної
форм навчання

ЧАСТИНА 1

Суми
«Видавництво СумДУ»
2010

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсів «Метрологія»,
«Метрологія і вимірювання», «Основи метрології та
електровимірювальна техніка», частина I/укладач Б.К. Лопатченко.-
Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 29 с.

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

«Вимірювання основних електричних величин і оцінка похибки вимірювання»

1.1 Мета роботи

Ознайомитися з побудовою вимірювальних приладів магнітоелектричної, електромагнітної і електродинамічної систем.

Ознайомитися з методикою перевірки вимірювальних приладів для визначення відповідності позначеного на них класу точності.

Отримати початкові практичні навички в читанні шкал приладів, що використовуються в роботі, у вимірюванні опору за допомогою амперметра і вольтметра, вимірюванні активної потужності ватметрів.

1.2 Установка, прилади та інструмент, які використовуються в роботі

Установка включає електровимірювальні прилади класів точності 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 і 4,0. Як джерело напруги, яка регулюється, використовується лабораторний автотрансформатор. Живлення установки здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В.

Перевірку приладів проводять шляхом порівняння показань приладів, які випробовуються, з показаннями зразкових. Як зразкові використовують прилади класів точності 0,2 і 0,5, а випробовувані - 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

При виконанні завдання збираються такі електричні схеми. (див. рис. 1.1; 1.2; 1.3; 1.4).

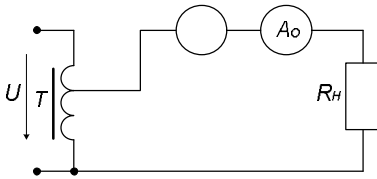


Рисунок 1.1 - Схема перевірки амперметра

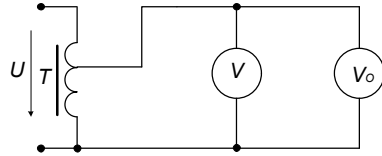


Рисунок 1.2 - Схема схема перевірки вольтметра

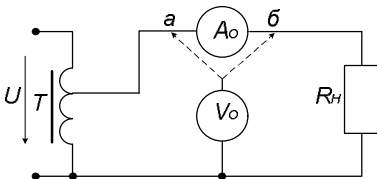


Рисунок 1.3 - Схема вимірювання опору методом амперметра – вольтметра

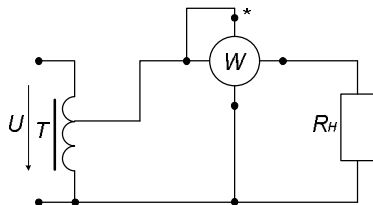


Рисунок 1.4 – Схема вимірювання активної потужності ватметром

Позначення на схемах:

T - лабораторний автотрансформатор;

A_0, V_0 - відповідно зразкові амперметр і вольтметр;

A, V - відповідно амперметр і вольтметр, які перевіряються;

W - ватметр;

R_H - резистор навантаження;

R_x - резистор невідомого опору.

1.3 Порядок виконання роботи

1.3.1 Використовуючи макети, плакати і таблиці, ознайомитися з будовою і принципом дії вимірювальних приладів

магнітоелектричної, електромагнітної і електродинамічної систем.

Ознайомитися з приладами експериментальної установки. Скласти перелік приладів, прочитати їх шкали, записати у протокол їх паспортні дані.

Зібрати схему рис. 1.1 або рис.1.2 і подати її для перевірки викладачеві.

Подати напругу на схему рис. 1.1 або рис. 1.2. За допомогою джерела регульованої напруги плавно перемістити стрілку від нульового показання до максимального і назад, переконатися у відсутності тертя стрілки.

Прогріти прилади впродовж 15 хв. струмом, що відповідає номінальному значенню вимірюваної величини. Знеструмити прилади і переконатися, що покажчик знаходиться на нульовій позначці шкали. У разі необхідності за допомогою коректора встановити покажчики на нульову позначку.

1.3.2 Провести перевірку амперметра (рис. 1.1), потім вольтметра (рис. 1.2), для чого покажчик вивіреного приладу встановити послідовно на всіх числових відмітках шкали спочатку при зростанні вимірюваної величини від нуля до найбільшого значення за шкалою і потім за тими самими точками від найбільшого значення до нуля. При цьому необхідно стежити за тим, щоб покажчик підходив до числової позначки шкали тільки з одного боку. За зразковим приладом визначити дійсне значення вимірюваної величини на цих відмітках.

1.3.2.1 Обчислити абсолютні і зведені похибки і поправки, вибираючи для цього більше значення для кожної пари абсолютних похибок. Обчислення робити за формулами

$$\Delta = X_{\text{п}} - X; \quad \gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100; \quad \text{П} = -\Delta,$$

де Δ - абсолютна похибка;

X_{Π} - показання вивіреного приладу;

X - показання зразкового приладу;

γ - зведена похибка у відсотках;

X_N - нормуюче значення вивіреного приладу; Π - поправка.

Обчислити варіацію показань приладу. Вона визначається при плавному підході стрілки до випробуваної позначки шкали при русі її один раз від початкової, а другий раз від кінцевої відміток шкали вивіреного приладу.

Варіація показань характеризує ступінь стійкості показань приладу за одних і тих самих умов вимірювання однієї й тієї самої величини. Вона наближено дорівнює подвоєній похибці від тертя, тому що причиною варіації в основному є тертя в опорах рухомої частини.

Обчислення робиться за формулою

$$\gamma_{BAP} = \frac{|X_B - X_H|_{\max}}{X_N} \cdot 100,$$

де γ_{BAP} - варіація показань у відсотках; X_B, X_H - відповідно покази зразкового приладу при збільшенні струму (напруги) і при зменшенні струму (напруги).

Результати спостережень і обчислень записати в таблицю 1.

1.3.2.2. За даними дослідів і обчислень побудувати криву поправок залежно від показань вивіреного приладу, тобто визначити класи точності приладів.

Таблиця 1 - Результати спостережень і обчислень

Показання приладу, який перевіряється X_{Π}	Показання зразкового приладу X		Абсолютні похибки Δ		Зведена похибка $\gamma, \%$	Варіація показів $\gamma_{BAP}, \%$
	При збільшенні струму (опору)	При зменшенні струму (опору)	При збільшенні струму (опору)	При зменшенні струму (опору)		

1.3.3 Зібрати схему рис. 1.3. і визначити опір резистора методом амперметра - вольтметра. Для правильного вибору точки підключення вольтметра (точка "а" або "б") керуються такими міркуваннями. При вимірюванні малих опорів, коли $R_X < \sqrt{R_V \cdot R_A}$, вольтметр підключають до точки "б". При вимірюванні великих опорів, коли $R_X > \sqrt{R_V \cdot R_A}$, вольтметр підключають до точки "а", де R_V і R_A - відповідно внутрішні опори вольтметра і амперметра. Метод амперметра-вольтметра є непрямим методом вимірювання опору, величина якого обчислюється на підставі відомої залежності, між величиною опору і величинами, що зазнали прямих вимірів, тобто струму і напруги. У цьому випадку похибка вимірювання обчислюється за формулою

$$\delta_R = \delta_V + \delta_I = \gamma_V \frac{U_N}{U} + \gamma_I \frac{I_N}{I},$$

де δ_R - відносна похибка вимірювання опору у відсотках;
 δ_V, δ_I - відносні похибки вимірювання у відсотках відповідно напруги та струму;

γ_V, γ_I - допустимі похибки наведені у відсотках відповідно вольтметра і амперметра (класи точності);

U_N, I_N - нормуючі значення відповідно вольтметра і амперметра;

U, I - покази відповідно вольтметра і амперметра.

Результат вимірювання записати у стандартній формі.

1.3.4 Зібрати схему рис. 1.4. і заміряти активну потужність, яка споживається навантаженням ватметрів. У ватметрів напрямок відхилення покажчика змінюється при зміні полярності струму або

напруги. При одночасному вимірюванні полярності струму та напруги напрямок відхилення покажчика не змінюється, а при зміні полярності струму або напруги покажчик відхиляється у протилежний бік. Тому затискачі послідовної (струмової) і паралельної (напругової) обмоток мають розмітку. Затискачі, які позначені зірочкою (*), називаються генераторними і повинні включатися в лінію з боку генератора, тобто з боку джерела живлення.

Для визначення виміряного значення потужності відраховане число поділок шкали треба помножити на ціну поділки C_W , яка для кожної межі вимірювання розраховується за формулою $C_W = U_k I_k / \alpha_k$, де U_k, I_k - межі вимірювання ватметрів відповідно за напругою і струмом; α_k - повне число поділок шкали ватметрів.

Відносну похибку вимірювання обчислити за формулою

$$\delta_P = \gamma_W \frac{P_k}{P},$$

де δ_P - відносна похибка вимірювання потужності у відсотках; γ_W - допустима похибка зведена (клас точності) ватметрів у відсотках; $P_k = U_k \cdot I_k$ - межа вимірювання ватметрів за потужністю в Вт; P - показання ватметрів у Вт.

Результат вимірювання записати у стандартній формі.

1.4 Питання для контролю і самоперевірки

1.4.1 Назвіть основні похибки вимірювальних приладів і дайте їх визначення.

1.4.2 У чому сутність понять "точність приладу" та "точність вимірювання"?

1.4.3 Поясніть основні види вимірювань.

1.4.4 Поясніть основні методи вимірювань.

1.4.5 Що таке клас точності приладу?

1.4.6 Які масштабні перетворювачі використовуються для розширення меж вимірювання вимірювальних приладів при постійному і змінному струмах.

1.4.7 Що таке варіація показань приладу і як практично робиться її визначення?

1.4.8 Побудова, принцип дії та сфера застосування приладів магнітоелектричної системи.

1.4.9 Побудова, принцип дії та область застосування приладів електромагнітної системи.

1.4.10 Побудова, принцип дії та область застосування приладів електродинамічної системи.

1.4.11 Переваги і недоліки приладів магнітоелектричної, електромагнітної та електродинамічної систем.

1.4.12 Наведіть електричні схеми включення амперметрів, вольтметрів, ватметрів в електричний ланцюг.

1.4.13 Проведіть відлік показань вимірювального приладу при положенні покажчика на шкалі, зазначеному викладачем.

1.4.14 Прочитайте шкалу електровимірювальних приладів.

1.4.15 Основні положення техніки безпеки під час виконання вимірювань.

Література

[1, с. 170-192; 2, с. 19-27, 101-109, 113-139; 3, с. 11-21, 56-72, 79-88]

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

«Дослідження залежності показань вольтметрів різних систем від форми кривої вимірюваної напруги»

2.1 Мета роботи

2.1.1 Засвоїти визначення основних параметрів змінної напруги різних форм.

2.1.2 Аналіз основних рівнянь шкал вольтметрів різних систем.

2.1.3 Дослідити залежність показань вольтметрів різних систем від форми кривої вимірюваної напруги.

2.1.4 Аналіз найбільшої результуючої похибки вимірювання несинусоїдної напруги вольтметром випрямної системи.

2.2 Установка, прилади та інструмент

Лабораторна установка містить: стенд, електронний осцилограф, набір вольтметрів різних систем, з'єднувальні дроти.

Живиться стенд від мережі змінної напруги 220 В, частоті 50 Гц. За допомогою п'яти формувачів отримуємо змінні напруги різної форми. Вибір напруги необхідної форми здійснює перемикачем - П.

За допомогою електронного осцилографа спостерігаємо напруги, що формуються, і контролюємо їх амплітуду. Схема лабораторної установки зображена на рис. 1.

Амплітуда формованої змінної напруги встановлюється за допомогою потенціометра - Р. Вибір досліджуваного вольтметра здійснюється ключами - К.

Лабораторна установка містить:

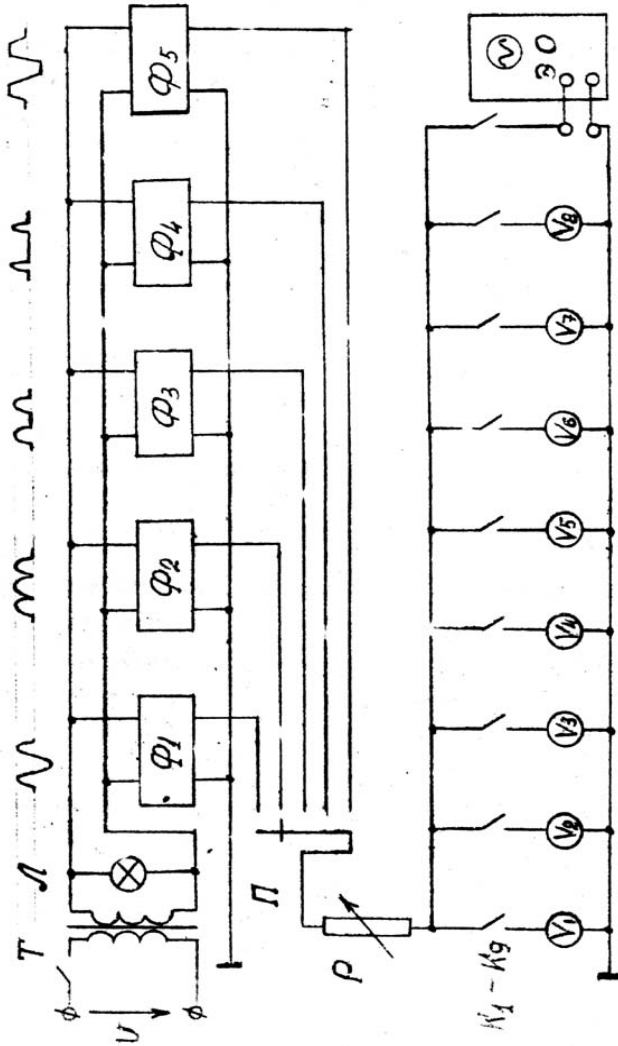


Рисунок 2.1

T - трансформатор знижувальний;

$\Phi_1 - \Phi_5$ - формувачі - пристрої, на виході яких формуються

напруги різної форми;

Π - перемикач, що забезпечує вибір необхідного формувача;

$K_1 - K_8$ - ключі вибору досліджуваних вольтметрів;

P - потенціометр для установки заданої амплітуди досліджуваної напруги:

V_1 - цифровий вольтметр;

V_2 - вольтметр магнітоелектричної системи;

V_3 - вольтметр електродинамічної системи;

V_4 - вольтметр електромагнітної системи;

V_5 - вольтметр випрямної системи;

V_6 - вольтметр випрямної системи із закритим входом (з розділовим конденсатором);

V_7 - вольтметр електростатичної системи;

V_8 - електронний вольтметр;

ЭО - електронний осцилограф.

2.3. Порядок виконання роботи

2.3.1. Визначення основних параметрів змінної напруги

У лабораторній роботі досліджуються напруги: синусоїдальної форми, на виході двопівперіодного випрямляча і на виході однопівперіодного випрямляча (табл. 1), а також інших форм.

Ці змінні та інші напруги характеризуються чотирма основними параметрами.

Пікове значення (для гармонійного коливання – амплітудне U_m) - це найбільше миттєве значення напруги $U(T)$ за період T .

Середнє значення U_{C3} - це постійна складова напруги за

період T :

$$U_{C3} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt .$$

Середньовипрямлене значення U_{CB3} - це середнє значення абсолютного значення напруги $U(T)$ за період T :

$$U_{CB3} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt .$$

Середньоквадратичне значення U_{CK3} (для гармонійного коливання - діюче U) - це позитивний корінь квадратний із середнього значення квадрата напруги $U(T)$ за період T :

$$U_{CK3} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt} .$$

У практиці вимірів для інтегральної характеристики форми напруги використовують коефіцієнти форми K_Φ , амплітуди K_A :

$$K_\Phi = \frac{U_{CK3}}{U_{CB3}} ; \quad K_A = \frac{U_{nK3}}{U_{CB3}} .$$

Обчисливши ці коефіцієнти і задавши один із параметрів змінної напруги (у даній роботі це U_{nK3}), можна визначити інші параметри.

Аналітичний вираз для кривих, наведених у табл. 1 під номерами 1, 2, 3, має вигляд

$$u(t) = U_m \sin \omega t .$$

Перейдемо від змінної в часі до змінної по куту, одержимо параметри і коефіцієнти:

а) для синусоїдної напруги

$$U_{C3} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_m \sin \omega t d\omega t = -\frac{U_m}{2\pi} \cos \omega t \Big|_0^{2\pi} = -\frac{U_m}{2\pi} (1-1) = 0$$

$$U_{CB3} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_m \sin \omega t d\omega t = -\frac{U_m}{\pi} \cos \omega t \Big|_0^{\pi} = -\frac{U_m}{\pi} (-1-1) = \frac{2U_m}{\pi};$$

$$U_{CK3} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \sqrt{\frac{U_m^2}{2\pi} \left(\frac{\omega t}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\omega t \right) \Big|_0^{2\pi}} =$$

$$= \sqrt{\frac{U_m^2 \cdot 2\pi}{2\pi \cdot 2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}};$$

$$K_A = \frac{U_m}{U_{CK3}} = \frac{U_m}{U_m / \sqrt{2}} = \sqrt{2}; \quad K_{\Phi} = \frac{U_{CK3}}{U_{CB3}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11;$$

б) для напруги на виході випрямляча двопівперіодного

$$U_{C3} = U_{CB3} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_m \sin \omega t d\omega t = \frac{2U_m}{\pi};$$

$$U_{CK3} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \sqrt{\frac{U_m^2 \cdot \pi}{\pi \cdot 2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}};$$

$$K_A = \sqrt{2}; \quad K_{\Phi} = \frac{U_{CK3}}{U_{CB3}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11;$$

в) для напруги на виході випрямляча однопівперіодного

$$U_{C3} = U_{CB3} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} U_m \sin \omega t d\omega t = -\frac{U_m}{2\pi} \cos \omega t \Big|_0^{\pi} = -\frac{U_m}{2\pi} (-1-1) = \frac{U_m}{\pi};$$

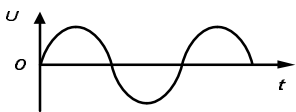
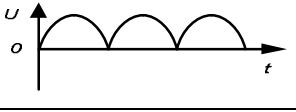
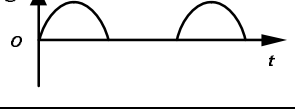
$$U_{CK3} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} U_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \sqrt{\frac{U_m^2}{2\pi} \left(\frac{\omega t}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\omega t \right) \Big|_0^{\pi}} =$$

$$= \sqrt{\frac{U_m^2 \cdot \pi}{2\pi \cdot 2}} = \frac{U_m}{2};$$

$$K_A = \frac{U_m}{U_{CK3}} = \frac{U_m}{U_m/2} = 2; \quad K_{\Phi} = \frac{U_{CK3}}{U_{CB3}} = \frac{\pi}{2} \approx 1,57.$$

Результати обчислень зведені у таблицю 1.

Таблиця 1

Форма напруги	U_{CK3}	U_{CB3}	U_{C3}	K_A	K_{Φ}
	$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2U_m}{\pi}$	0	$\sqrt{2}$	1,11
	$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2U_m}{\pi}$	$\frac{2U_m}{\pi}$	$\sqrt{2}$	1,11
	$\frac{U_m}{2}$	$\frac{U_m}{\pi}$	$\frac{U_m}{\pi}$	2	1,57

За заданими викладачем значеннями досліджуваних напруг визначте значення їхніх параметрів.

2.3.2 Розрахунок показань вольтметрів різних систем при

вимірюванні напруг різних форм.

Характерною властивістю вольтметрів є залежність показань від форми вимірюваної напруги.

Шкали більшості вольтметрів для роботи в ланцюгах змінного струму, а також вольтметрів, що використовуються в лабораторній роботі, градууються в середньоквадратичних (діючих) значеннях (СКЗ) синусоїдальної напруги.

2.3.2.1 Магнітоелектричні вольтметри

Основне рівняння шкали вольтметра магнітоелектричних системи записується як

$$\alpha = S_U \cdot U_{C3},$$

де α - кут відхилення рухомої частини приладу;

U_{C3} - середнє значення вимірюваної напруги;

S_U - чутливість приладу щодо напруги.

Отже, вольтметр вимірює середнє значення (постійну складову) досліджуваної напруги.

Шкала градується у постійних значеннях напруги. Отже, на шкалі приладу буде позначено середнє значення досліджуваної напруги, тобто

$$U_{np} = U_{C3},$$

де U_{np} - показання вольтметра.

2.3.2.2. Випрямні вольтметри

Основне рівняння шкали вольтметра випрямної системи записується як

$$\alpha = S_U \cdot U_{CB3},$$

де U_{CB3} - середньовипрямлене значення вимірюваної напруги.

Отже, цей вольтметр вимірює середньовипрямлене значення (CD3) досліджуваного напруги, а шкала градуйована в СКЗ синусоїдної напруги. Показання вольтметра визначиться як

$$U_{np} = K_{\Phi_{\alpha}} \cdot U_{СКЗ} ,$$

де $K_{\Phi_{\alpha}}$ - коефіцієнт форми синусоїдної напруги;

$$K_{\Phi_{\alpha}} \approx 1,11 .$$

Якщо форма кривої вимірюваної напруги відрізняється від синусоїдної в показаннях вольтметра, з'являється додаткова похибка, яка записується як

$$\delta_{\alpha} = \frac{K_{\Phi_{\alpha}} - K_{\Phi}}{K_{\Phi}} \cdot 100, \text{ або } \delta_{\alpha} = \frac{U_{np} - U_{СКЗ}}{U_{СКЗ}} \cdot 100,$$

де K_{Φ} - коефіцієнт форми вимірюваної напруги;

$U_{СКЗ}$ - дійсне значення вимірюваної напруги (визначається розрахунковим шляхом).

2.3.2.3 Електромагнітні вольтметри

Основне рівняння шкали вольтметра електромагнітної системи записується як

$$\alpha = \frac{1}{2W} \frac{dL}{d\alpha} U_{СКЗ} ,$$

де L - індуктивність котушки приладу, що залежить від положення сердечника;

W - питомий протидіючий момент;

$U_{СКЗ}$ - середньоквадратичне (діюче) значення вимірюваної напруги.

Отже, вольтметр електромагнітної системи вимірює середньоквадратичне значення (СКЗ) досліджуваної напруги, шкала

градуйована також у СКЗ. Показання вольтметра визначиться як

$$U_{np} = U_{СКЗ} \cdot$$

Додаткова похибка за рахунок відмінності форми кривої досліджуваної напруги від синусоїдної буде дорівнює нулю, тому що розрахункове значення збігається з вимірним.

2.3.2.4 Електродинамічні вольтметри

Основне рівняння шкали вольтметра електродинамічної системи записується як

$$\alpha = \frac{1}{WZ^2} \frac{dM_{12}}{d\alpha} U_{СКЗ}^2,$$

де Z - повний опір кола вольтметра;

M_{12} - взаємна індуктивність між рухомою і нерухомою котушками;

$U_{СКЗ}$ - середньоквадратичне (діюче) значення вимірюваної напруги.

Отже, вольтметр електродинамічної системи вимірює СКЗ досліджуваної напруги, шкала градуйована також у СКЗ. Показання вольтметра визначиться як

$$U_{np} = U_{СКЗ} \cdot K_{\Phi_\alpha}.$$

Додаткова похибка буде дорівнювати нулю.

2.3.2.5. Електростатичні вольтметри

Основне рівняння шкали вольтметра електростатичної системи записується як

$$\alpha = \frac{1}{2W} \frac{dC}{d\alpha} U_{СКЗ}^2,$$

де C - електрична ємність між нерухомим і рухомим електродами.

Отже, вольтметр електростатичної системи вимірює в СКЗ, шкала градуйована також у СКЗ. Показання вольтметра визначиться

як

$$U_{np} = U_{СКЗ}.$$

Додаткова похибка також дорівнює нулю:

$$\delta_{\delta} = 0.$$

Електростатичні вольтметри мають дуже високий вхідний опір і дуже мале власне споживання потужності, завдяки чому методична похибка вимірювання практично дорівнює нулю:

$$\delta_M = 0.$$

2.3.2.6. Електронні вольтметри

У лабораторній роботі використовується електронний вольтметр з піковим детектором, тобто електронний вольтметр (ПКЗ).

Основне рівняння шкали записується як

$$\alpha = K \cdot U_{нКЗ},$$

де K - коефіцієнт, який зрівнює розмірності лівої і правої частин рівняння;

$U_{нКЗ}$ - пікове (амплітудне) значення вимірюваної напруги.

Електронний вольтметр вимірює в ПКЗ, а шкала градуйована в СКЗ синусоїдної напруги. Показання вольтметра визначається

як

$$U_{np} = \frac{U_{нКЗ}}{K_{Ax}},$$

де K_{Ax} - коефіцієнт амплітуди синусоїдної напруги.

$$K_{Ax} = \sqrt{2}.$$

Якщо форма кривої вимірюваної напруги відрізняється від синусоїдної, буде мати місце додаткова похибка, яка записується як

$$\delta_o = \frac{U_{np} - U_{СКЗ}}{U_{СКЗ}} \cdot 100,$$

де $U_{СКЗ}$ - дійсне значення вимірюваної напруги (визначається розрахунковим шляхом).

2.3.2.7. Цифрові вольтметри

У лабораторній роботі використовується цифровий вольтметр з перетворювачем змінної напруги у постійну у вигляді випрямляча, тобто детектора середньовипрямленого значення.

Отже, вольтметр вимірює середньовипрямлене значення (СВЗ) досліджуваної напруги, а відліковий пристрій градуований у СКЗ синусоїдної напруги. Показання вольтметра визначиться як

$$U_{np} = U_{СВЗ} \cdot K_{\Phi_\infty}.$$

Якщо форма кривої вимірюваної напруги відрізняється від синусоїдної у показаннях вольтметра, буде мати місце додаткова похибка, яка записується як

$$\delta_o = \frac{U_{np} - U_{СКЗ}}{U_{СКЗ}} \cdot 100.$$

При вимірюванні синусоїдних напруг додаткова похибка дорівнює нулю і завдяки високій точності (0,01 - 0,001%), цифровий вольтметр у цієї лабораторній роботі можна використовувати для встановлення величини досліджуваної напруги.

2.3.2.8. Приклад. На вхід вольтметрів різних систем подається напруга, що зазначена у таблиці 1. під номером 3. Визначимо показання вольтметрів при $U_m = 100$ В.

Вольтметр магнітоелектричних системи покаже:

$$U_{np} = U_{C3} = \frac{U_m}{\pi} = \frac{100}{3,14} = 31,8 \text{ B}.$$

Вольтметри випрямної системи з відкритим входом і цифрової системи покажуть

$$U_{np} = U_{CB3} \cdot K_{\Phi_x} = K_{\Phi_x} \cdot \frac{U_m}{\pi} = 1,11 \cdot 31,8 = 35,3 \text{ B}.$$

Вольтметр електронної системи з відкритим входом (у лабораторній роботі використовується ЕВ із закритим входом) покаже

$$U_{np} = \frac{U_{nK3}}{K_{a_x}} = \frac{U_m}{K_{a_x}} = \frac{100}{\sqrt{2}} = 70,7 \text{ B}.$$

Вольтметри електромагнітної, електродинамічної, електростатичної систем покажуть

$$U_{np} = U_{CK3} = \frac{U_m}{K_a} = \frac{100}{2} = 50 \text{ B}.$$

Вольтметрам випрямної, електронної і цифрової систем буде властива додаткова похибка, яку необхідно розрахувати за наведеними вище виразами.

2.3.2.9. За заданим викладачем значенням досліджуваної напруги U_m розрахуйте очікувані показання вольтметрів $V_1 - V_8$.

Результати обчислень занесіть до табл. 2.

2.3.3. Дослідження залежності показань вольтметрів від форми кривої вимірюваної напруги

За завданням викладача встановіть амплітуду досліджуваної напруги U_m за допомогою потенціометра P на передній панелі стенда, для чого:

- зберіть електричну схему, зображену на рис. 1;
- за допомогою ключів $K_1 - K_9$ підключіть до формувача Φ вольтметри та електронний осцилограф, попередньо встановивши на вольтметрах діапазони вимірювань відповідно до заданого значення U_m ;
- подайте живлення на формувачі (попередньо подавши електричну схему на перевірку);
- перемикачем Π подайте на входи вольтметрів синусоїдну напругу і за цифровим вольтметром потенціометром P встановіть задане значення напруги, проконтролювавши його форму та величину (грубо) за осцилографом;
- зробіть вимірювання досліджуваної напруги рештою вольтметрів;
- перемикачем Π , по черзі подаючи на входи вольтметрів досліджувані напруги 2, 3, 4, 5 (табл. 2), провести відповідно вимірювання вольтметрами різних систем;
- показання вольтметрів занести в графу "експеримент" таблиці 2.

Маючи експериментальні та розрахункові значення показань вольтметрів, розрахувати додаткові похибки і результати занести до таблиці 2.

Провести аналіз показань вольтметрів.

2.3.4 Аналіз найбільшої результуючої похибки вимірювання несинусоїдної напруги вольтметром випрямної системи

У цьому досліді досліджується найбільша відносна похибка вимірювання (δ) діючого значення несинусоїдної напруги

трапецієдальної форми вольтметром випрямної системи, аналізуються окремі складові цієї похибки:

$$\delta = \delta_0 + \delta_\delta + \delta_m ,$$

де δ - найбільша відносна похибка;

δ_0 - основна інструментальна похибка;

δ_δ - додаткова похибка;

δ_m - методична похибка.

Як зразковий вольтметр може використовуватися вольтметр електростатичної системи, у якого відсутні додаткова і методична похибки.

Складові найбільшої відносної похибки обчислюються розрахунковим шляхом за експериментальними даними.

2.3.4.1 Відключити від стенда всі вольтметри за винятком вольтметра електростатичної системи.

Включити установку, подати живлення на стенд і перемикачем П на вхід вольтметра подати напругу трапецієдальної форми (контроль за осцилографом).

Потенціометром P по вольтметру електростатичної системи встановити величину напруги, задану викладачем.

Включити і зняти показання з випрямного вольтметра.

Основну інструментальну похибку визначити за формулою

$$\delta_0 = K_V \frac{U_N}{U_S},$$

де δ_0 - основна інструментальна похибка вимірювання;

K_V - клас точності випрямного вольтметра;

U_N - межа вимірювання випрямного вольтметра;

U_5 - показання випрямного вольтметра.

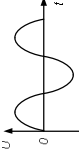
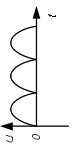
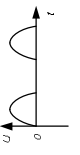
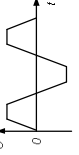

2.3.4.2 Додаткову похибку визначити за формулою

$$\delta_0 = \frac{U_5 - U_7'}{U_7'} \cdot 100,$$

де δ_0 - додаткова похибка вимірювання;

Таблиця 2

Е- тр сС р V ₈	екс						
Електро стат. V ₇	Роз						
	дп						
	екс						
Ви пр сС р V ₆	екс						
Випря мний V ₅	Роз						
	дп						
	екс						
Електро магнит. V ₄	Роз						
	дп						
	екс						
Електр одинам ич V ₃	Роз						
	дп						
	екс						
Магн. електр. V ₂	Роз						
	дп						
	екс						
Цифр V ₁	Роз						
	дп						
	екс						

Вольметри різн. систем	Форма дослід. напруги					
---------------------------	--------------------------	---	---	---	---	---

U_5 - показання випрямного вольметра;

U'_7 - показання електростатичного вольметра, береться за дійсне (СКЗ) значення вимірюваної трапецеїдальної напруги. (Встановлено викладачем).

Визначити коефіцієнт форми трапецеїдальної напруги за формулою

$$K_{\Phi} = \frac{U_{СКЗ}}{U_{СВЗ}} = \frac{U'_7 \cdot K_{\Phi_{\infty}}}{U_5} = 1,11 \frac{U'_7}{U_5},$$

де $U_{СКЗ} = U'_7$ - показання електростатичного вольметра (задано викладачем) при вимкненому випрямному вольметрі;

$U_{СВЗ}$ - середньовипрямлене значення трапецеїдальної напруги, обчислюється з міркування, що показання випрямного вольметра визначаються з виразу

$$U_5 = K_{\Phi} \cdot U_{СВЗ},$$

де $K_{\Phi} = 1,11$ - коефіцієнт форми синусоїдної напруги.

2.3.4.3 Методичну похибку визначити за формулою

$$\delta_M = \frac{U_7 - U'_7}{U'_7} \cdot 100,$$

δ_M - методична похибка, викликана власним споживанням потужності випрямним вольтметром, має особливо велике значення при вимірюваннях в малопотужних колах;

U_7 - показання електростатичного вольтметра при включеному випрямному вольтметрі;

U'_7 - показання електростатичного вольтметра при відключеному випрямному вольтметрі (див. п. 2.3.4.2).

2.3.4.4. На підставі даних, отриманих в п. 2.3.4.1; 2.3.4.2; 2.3.4.3, визначити найбільшу відносну похибку вимірювання:

$$\delta = \delta_0 + \delta_d + \delta_m.$$

Додавання окремих складових похибки навести алгебраїчно, оскільки основна і додаткова інструментальні похибки знакові, а методична похибка завжди негативна.

2.4 Питання для контролю і самоперевірки

2.4.1 Назвіть основні параметри змінного струму.

2.4.2 Наведіть аналітичні вирази основних параметрів змінного струму.

2.4.3 Дайте визначення коефіцієнтів форми і амплітуди,

2.4.4 Наведіть значення коефіцієнтів форми і амплітуди для найбільш поширених за формою змінних напруг.

2.4.5 Запишіть і поясніть основні рівняння шкал приладів магнітоелектричної, електромагнітної, електродинамічної, електростатичної та випрямної систем.

2.4.6 У яких значеннях змінного струму аналогові електромеханічні прилади показують і в яких значеннях градуйована шкала.

2.4.7 Визначте ПКЗ, СКЗ, СВЗ, якщо при вимірюванні пилоподібної напруги прилад випрямної системи показав 100В, а електронної системи з піковим детектором з відкритим входом показав також 100В.

2.4.8 Запишіть та поясніть вираз основної інструментальної, додаткової та методичної похибок.

2.4.9 Поясніть функціональну схему лабораторної установки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін.. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник; за ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Видавництво «Бескід Біт», 2003. – 544 с.

2. Основы метрологии и электрические измерения: учебник для вузов /Б.Я. Авдеев, Е.М.Антонюк, Е.М. Душин и др.; под ред. Е.М.Душина. - 6-е изд. - Л.: Энергоатомиздат, 1987. - 480 с.

3. Электрические измерения: учебник для вузов /Л.И.Байда, Н.С.Добровольский, Е.М.Душин и др.; под ред. А.В.Фремке и Е.М.Душина. - 5-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергия, 1980. - 392 с.

4. Кукуш В.Д. Электрорациоизмерения: учебн. пособие для вузов. - М.: Радио и связь , 1985. - 363 с.

5. Осциллограф универсальный СИ-83: ТО и ИЭ. – Альбом №1, 1965. - 160 с.

ЗМІСТ

	с.
Робота 1. Вимірювання основних електричних величин та оцінка похибки вимірювання	3
Робота 2. Дослідження залежності показань вольтметрів різних систем від форми кривої вимірюваної напруги	10
Список літератури	27

