

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра «Електротехніка та електричні машини»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до практичних занять з дисципліни
«МЕТРОЛОГІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА
ПРИЛАДИ»**

Харків – 2010

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до

друку на засіданні кафедри “Електротехніка та електричні машини” 15 січня 2009 р., протокол № 7.

Методичні вказівки призначені для студентів заочної форми навчання.

Укладачі:

проф. М.М. Бабаєв,
доц. А.А. Прилипко,
асист. О.Є. Зінченко

Рецензент

доц. С.В. Кошевий

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни
«МЕТРОЛОГІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА
ПРИЛАДИ»

Відповідальний за випуск Прилипко А.А.

Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 17.04.09 р.
Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 0,75. Обл.-вид.арк. 1,0.
Замовлення № Тираж 150. Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від. 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, майд. Фейєрбаха, 7

Загальні вказівки до проведення практичних занять

Одним з основних видів занять з курсу «Метрологія, технологічні вимірювання та прилади» є розв'язання задач на практичних заняттях. Пропоновані у методичних вказівках задачі охоплюють увесь матеріал курсу та відповідають програмі, затвердженій Міністерством освіти і науки України.

При вивченні курсу студенти отримують необхідні знання з основних методів розрахунку, з якими доводиться зустрічатись у курсі «Метрологія, технологічні вимірювання та прилади». Метою практичних занять є засвоєння студентами відповідних розділів курсу.

На практичних заняттях усім студентам необхідно мати калькулятор. У даних методичних вказівках плануються практичні заняття з основних розділів курсу.

При необхідності їх кількість і тематика можуть бути відкориговані згідно з навчальним планом.

З кожної теми практичних занять надається приклад розв'язання типової задачі, а потім студенти самостійно розв'язують задачі, а у кінці занять здають пророблений матеріал на перевірку викладачеві.

1 Короткий теоретичний матеріал

Метрологія – це наука про виміри, яка вивчає засоби вимірювальної техніки, правила, які забезпечують єдність вимірювання, та методи досягнення необхідної точності. Вона складається з трьох частин: теоретичної, практичної та юридичної.

Головним чинником для будь-якої держави є *єдність вимірювань*. Визначення цієї характеристики дається в законі України про метрологію та метрологічну діяльність: «єдність вимірювань – стан вимірювань, за якого їхні результати виражаються в узаконених одиницях вимірювань, а похибки вимірювань відомі та із заданою

ймовірністю не виходять за встановлені межі” [1]. Така пильна увага до метрології з боку держави пояснюється великою відповідальністю за виміри в суспільстві.

Виміром називається процес порівняння вимірюваної величини з відповідною одиницею виміру, однорідною за величиною. Тому завданням електричних вимірів є знаходження значень фізичних величин дослідним шляхом за допомогою спеціальних електротехнічних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) і вираження цих значень у прийнятих одиницях виміру.

Виміри класифікуються за різними ознаками: за способом отримання результату – прямі, непрямі; за методом виміру – абсолютні, граничні; за умовами виміру – рівно-точні, нерівно-точні; за ступенем достатності виміру – необхідні, надлишкові; за кількістю вимірів – однократні та багатократні; за зміною вимірюваної величини – статичні та динамічні.

При прямих – вимірювану величину порівнюють із мірою безпосередньо або ж за допомогою вимірювальних приладів, градуйованих у необхідних одиницях. Непрямі виміри – визначення фізичної величини, яку обчислюють на підставі відомої залежності, на підставі величин, які піддають прямим вимірам. За допомогою абсолютних вимірів досліджувана величина фіксується в аналоговому або дискретному вигляді, при цьому результати вимірів містять похибку і мають розмірність досліджуваної величини. Граничні виміри фіксують тільки факт знаходження величини в односторонньому або двосторонньому допуску (за принципом “так – ні”). Рівно-точні виміри проводяться при однакових умовах, при цьому у ряді результатів вимірів не можна віддати перевагу якому-небудь одному або декільком значенням, а нерівно-точні не відповідають цим критеріям. Надлишкові виміри мають у порівнянні з необхідними більше число вимірів або більшу точність та ін., тобто дають надлишкову інформацію. Однократний вимір виконується один раз. Багатократний – це вимір, який складається з ряду однократних. Статичний –

це вимір незмінної фізичної величини протягом часу виміру. Динамічний – вимір змінної за розміром величини.

Похибки. Похибка – це помилка у вимірюванні. Похибка з'являється через недосконалість методів і засобів вимірів, мінливість умов спостереження, а також через недостатній досвід спостерігача або особливості його органів чуттів.

За формою числового вираження похибки бувають: абсолютна, відносна (зворотна величина – точність виміру) та приведена. *Абсолютна похибка* Δ – це різниця між величиною, одержаною при вимірюванні, A та її істинним значенням.

$$\Delta = A - A_i.$$

Оскільки істинне значення A_i невідоме, похибка знаходиться за наближеною формулою

$$\Delta \approx A - A_d, \quad (1.1)$$

де A_d – дійсне значення вимірюваної величини, яке вимірюється за допомогою зразкового приладу. При вимірах з багатократними спостереженнями A_d береться як середньоарифметичне від результатів вимірювання.

Відносна похибка – це виражене у відсотках відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини:

$$\delta = \frac{\Delta}{A_d} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

Точність вимірів – це характеристика вимірів, що показує близькість їхніх результатів до істинного значення вимірюваної величини. Кількісно точність можна виразити величиною, зворотною модулю відносної погрішності:

$$\varepsilon = \left| \frac{\Delta}{A_d} \right|^{-1} \quad (1.3)$$

Зведена похибка – це виражене у відсотках відношення абсолютної похибки до нормативного значення приладу (найбільш часто нормативне значення – це максимальне значення вимірюваної величини за шкалою приладу)

$$\delta = \frac{\Delta}{A_{\max}} \cdot 100\% \quad (1.4)$$

Максимально допустима для приладу приведена похибка нормується стандартом. Вона називається класом точності приладу і визначається як виражене у відсотках відношення найбільш можливої абсолютної похибки $\Delta A_{\text{нм}}$ до значення, що нормується,

$$\gamma_{\text{д}} = \frac{\Delta A_{\text{нм}}}{A_{\text{н}}} \cdot 100\%. \quad (1.5)$$

Клас точності вказується на шкалі приладу.

З виразу (1.5) випливає, що при прямому методі безпосередньої оцінки, тобто коли за допомогою електровимірювального приладу вимірюється безпосередньо величина, що цікавить, наприклад, напруга – вольтметром, струм – амперметром, найбільш можлива абсолютна похибка буде

$$\Delta A_{\text{нм}} = \pm \gamma_{\text{д}} \frac{A_{\text{н}}}{100}. \quad (1.6)$$

Найбільш можлива відносна похибка вимірювань може бути визначена з формули (1.3), якщо в неї підставити вираз (1.6) для найбільш можливої абсолютної похибки

$$\gamma_{\text{нм}} = \gamma_{\text{д}} \frac{A_{\text{н}}}{A_{\text{д}}}. \quad (1.7)$$

З останнього виразу видно, що високий клас точності приладу $\gamma_{\text{д}}$ ще не забезпечує високої точності вимірювання. Для забезпечення високої точності необхідно правильно вибрати прилад за верхньою межею вимірювань. При

заданому класі точності приладу величина найбільш можливої відносної похибки пропорційна відношенню межі вимірювань приладу до вимірюваного значення.

Дійсне значення величини, що вимірюється, враховуючи (1.1) і (1.6), знаходиться у межах

$$A = A \pm \gamma_0 \frac{A_u}{100}. \quad (1.8)$$

При непряму методі вимірювань, при якому шукана величина обчислюється за результатами прямих вимірювань інших величин, вираз для найбільш можливої відносної похибки залежить від співвідношення між шуканою величиною і результатами прямих вимірювань.

Нехай шукана величина

$$A = B^n C^p D^q, \quad (1.9)$$

де B, C, D – результати прямих вимірювань.

Прологарифмуємо рівність (1.9)

$$\ln A = n \ln B + p \ln C + q \ln D. \quad (1.10)$$

Продиференціюємо одержаний вираз

$$\frac{dA}{A} = n \frac{dB}{B} + p \frac{dC}{C} + q \frac{dD}{D}. \quad (1.11)$$

Замінімо диференціали dA, dB, dC, dD прирощеннями ΔA , ΔB , ΔC , ΔD , які можна розглядати як абсолютні похибки відповідних вимірювань

$$\frac{\Delta A}{A} = n \frac{\Delta B}{B} + p \frac{\Delta C}{C} + q \frac{\Delta D}{D}. \quad (1.12)$$

Відношення $\frac{\Delta B}{B}$, $\frac{\Delta C}{C}$ і $\frac{\Delta D}{D}$ являють собою відносні похибки прямих вимірювань величин B, C, D.

Таким чином, відносну похибку непрямих вимірювань можна визначити із співвідношення

$$\gamma_A = n\gamma_B + p\gamma_C + q\gamma_D, \quad (1.13)$$

а найбільш можливу відносну похибку – із співвідношення

$$\gamma_{нмА} = n\gamma_{нмВ} + p\gamma_{нмС} + q\gamma_{нмD}. \quad (1.14)$$

У виразах (1.10) і (1.14) береться арифметична сума складових незалежно від знаків показників ступенів n , p , і q . Відносні похибки γ_B , γ_C , γ_D і найбільш можливі відносні похибки $\gamma_{нмВ}$, $\gamma_{нмС}$, $\gamma_{нмD}$ визначаються відповідно за формулами (1.3) і (1.7).

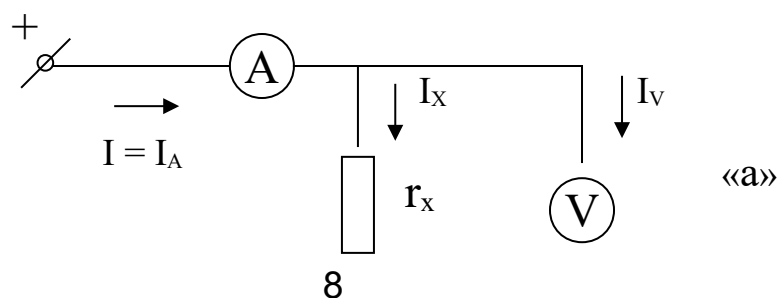
При посередніх методах вимірювань шукане значення величини знаходять на підставі відомої залежності між цією величиною та іншими, визначеними шляхом прямих вимірювань. Посередні виміри опорів звичайно виконують методом амперметра і вольтметра. Цей метод можна використовувати для виміру опорів усіх діапазонів. Йому відповідають два варіанти з'єднання вимірювальних приладів і випробного резистора, наведені на рисунку 1.1:

при з'єднанні за варіантом «а»

$$r_X = \frac{U_v}{I - \frac{U_v}{r_v}}; \quad (1.15)$$

при використанні варіанта «б»

$$r_X = \frac{U - I_X \cdot r_A}{I_X}. \quad (1.16)$$



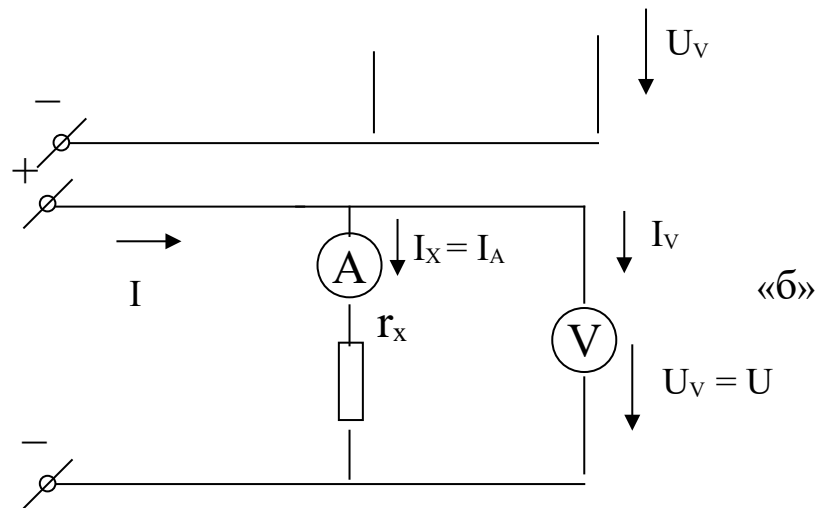


Рисунок 1.1

Похибка результатів посередніх вимірів, отриманих після обчислення за виразами (1.15) чи (1.16), визначається інструментальними похибками прямих вимірів величин I і U_V , I_X і U і похибками, з якими відомі внутрішні опори r_V і r_A .

2 Приклади розрахунку задач з метрології та задачі для самостійного розв'язання

Задача 1 Вольтметр класу точності 1,0 з межею вимірювання 300 В, що має максимальне число поділок 75, повірено на позначках 30, 40, 50, 60 та 75 поділок, при цьому абсолютна похибка у цих позначках склала 0,84 В; 1,2 В; 0,9 В; 0,6 В та 0,89 В. Визначити, чи відповідає прилад вказаному класу точності, а також відносні похибки на кожній позначці.

Розв'язання. Вольтметр класу точності 1,0 з межею вимірювання 300 В має найбільшу абсолютну похибку 3 В. Так як значення абсолютної похибки на усіх позначках, що перевіряються менше 3 В, то прилад відповідає класу точності 1,0.

Відносні похибки:

$$\beta = \frac{\Delta U}{U} 100\%; \quad \beta_1 = \frac{0,84}{30 \cdot 4} 100\% = 0,7\%;$$

$$\beta_2 = \frac{1,2}{40 \cdot 4} 100\% = 0,75\% ; \beta_3 = \frac{0,9}{50 \cdot 4} 100\% = 0,45\% ;$$

$$\beta_4 = \frac{0,6}{60 \cdot 4} 100\% = 0,25\% ; \beta_5 = \frac{0,89}{75 \cdot 4} 100\% = 0,297 \approx 0,3\% .$$

Задача 2 Необхідно виміряти струм у межах 35 – 40 А. Маємо мікроамперметр з межею вимірювання 500 мкА, внутрішнім опором 200 Ом і максимальним числом поділок 100. Визначити опір шунта для розширення межі вимірювання до 50 А і відносну похибку вимірювання на позначці 85 поділок, якщо клас точності приладу 1,0.

Розв'язання. Необхідно спочатку визначити коефіцієнт шунтування:

$$n = \frac{I}{I_A} = \frac{50}{500 \cdot 10^{-6}} = 10 \cdot 10^4 .$$

Тоді

$$r_{ш} = \frac{r_A}{n-1} = \frac{200}{10 \cdot 10^4 - 1} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} .$$

Визначаємо показання амперметра, що відповідає 85 поділкам, для чого ціну поділки 0,5 А/под помножимо на число поділок 85, тоді прилад покаже $I=42,5$ А.

Відносна похибка у цій точці

$$\beta = \frac{\Delta I_{\max}}{I} 100\% = \frac{0,5 \cdot 100}{42,5} = 1,96\% \approx 2\% ,$$

де $\Delta I_{\max} = 0,5$ А .

Задача 3 У мережі змінного струму через трансформатор струму 100/2,5 А і трансформатор напруги 600/150 увімкнені амперметр, вольтметр і ватметр, які показали відповідно 100, 120 і 88 поділок. Межі вимірювання приладів такі: амперметр – 3 А, вольтметр – 150 В, ватметр – 2,5 А по струму, 150 В по напрузі. Усі прилади класу точності 0,5 мають максимальне число поділок 150. Визначити повну потужність, що споживається мережею, її повний опір і коефіцієнт потужності, найбільшу

абсолютну і відносну похибки вимірювання повного опору, враховуючи клас точності приладів.

Розв'язання. Визначаємо ціну поділки кожного приладу як відношення виміру до максимального числа поділок. Для амперметра ціна поділки 0,02 А/под, для вольтметра – 1 В/под, для ватметра – 2,5 Вт/под. Тоді показання приладів: **$I=0,02 \cdot 100=2$ А; $U=1 \cdot 120=120$ В; $P=2,5 \cdot 88=220$ Вт.**

Коефіцієнти трансформації **$K_I=I_{1 \text{ ном}} / I_{2 \text{ ном}}=100/2,5=40$,**

$$K_U \text{ ном} = U_1 / U_{2 \text{ ном}} = 600/150 = 4.$$

Струм, напруга й активна потужність мережі

$$\begin{aligned} I_c &= K_I I = 40 \cdot 2 = 80 \text{ А,} \\ U_c &= K_U U = 4 \cdot 120 = 480 \text{ В,} \\ P_c &= K_I K_U P = 40 \cdot 4 \cdot 220 = 35,2 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Повну потужність, що споживає мережа, визначаємо через струм і напругу:

$$S = U_c I_c = 480 \cdot 80 = 38,4 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = P_c / S_c = 35,2 / 38,4 = 0,92.$$

Повний опір мережі

$$Z_c = 480 / 80 = 6 \text{ Ом.}$$

Найбільше значення повного опору

$$Z_{c \text{ max}} = \frac{U_{c \text{ max}}}{I_{c \text{ min}}} = \frac{120,75 \cdot 4}{1,85 \cdot 40} = 6,53 \text{ Ом,}$$

звідки абсолютна похибка

$$\Delta Z_C = Z_{C_{\max}} - Z_C = 6,53 \text{ Ом} - 6 \text{ Ом} = 0,53 \text{ Ом} .$$

Відносна похибка виміру

$$\beta = \frac{\Delta Z_C}{Z_C} 100\% = \frac{0,53}{6} 100\% = 8,85\% .$$

Задача 4 Методом амперметра і вольтметра вимірюється опір за схемою рисунка 2.1.

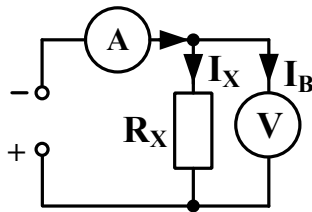


Рисунок 2.1

Показання амперметра і вольтметра такі:

$U=5,6 \text{ В}$, $I=0,4 \text{ А}$. Прилади мають клас точності 1,0 і межі вимірювання $I_{\text{пр}} = 250 \text{ мА}$, $U_{\text{пр}} = 7,5 \text{ В}$. Визначити опір, що вимірюється, найбільшу абсолютну і відносну похибки вимірювання.

Розв'язання. Опір, що вимірюється

$$R_x = U / I = 5,6 / 0,4 = 14 \text{ Ом} .$$

Найбільша абсолютна похибка вольтметра й амперметра відповідно з вказаними межами і класом точності 1,0

$$\begin{aligned} \Delta U_{\max} &= 1\% U_{\text{пр}} = 0,075 \text{ В} , \\ \Delta I_{\max} &= 1\% I_{\text{пр}} = 2,5 \text{ мА} = 0,0025 \text{ А} . \end{aligned}$$

Найбільше значення опору, що вимірюється, з урахуванням класу точності застосованих приладів

$$R_{x_{\max}} = \frac{U + \Delta U_{\max}}{I - \Delta I_{\max}} = \frac{5,6 + 0,075}{0,4 - 0,0025} = 14,277 \text{ Ом} .$$

Тоді відносна похибка виміру

$$\frac{R_{X_{\max}} - R_X}{R_X} 100\% = \frac{14,277 - 14}{14} 100\% = 1,977\% .$$

Задача 5 Паспортні дані лічильника електричної енергії: 220 В, 10 А, 1 кВт·год – 640 обертів диска. Визначити відносну похибку лічильника і поправочний коефіцієнт, якщо його було повірено при номінальних значеннях струму і напруги і за 10 хв він зробив 236 обертів.

Розв'язання. Визначаємо номінальну і дійсну постійні лічильника:

$$C_{\text{ном}} = W_{\text{ном}} / N_{\text{ном}} = 1000 \cdot 3600 / 640 = 5625 \text{ Вт} \cdot \text{с} / \text{об} ,$$

$$C = \frac{U I t}{N_1} = \frac{220 \cdot 10 \cdot 600}{236} = 5600 \text{ Вт} \cdot \text{с} / \text{об} .$$

Поправочний коефіцієнт лічильника

$$K = C / C_{\text{ном}} = 5600 / 5625 = 0,995 .$$

Відносна похибка лічильника

$$\beta = \frac{C_{\text{ном}} - C}{C_{\text{ном}}} 100\% = \frac{5625 - 5600}{5625} 100\% = 0,444\% .$$

Задача 6 Механізм магнітоелектричного стрілкового гальванометра характеризується такими конструктивними параметрами: індукція у зазорі постійного магніту $B = 0,25$ Тл, активна площа рамки $s = 1,66$ см², питомий протидіючий момент $W = 5,5 \cdot 10^{-7}$ Н·м/рад, число витків $\omega = 1500,5$, середня довжина витка рамки $\ell = 5,4$ см, діаметр проводу марки ПЕЛ 0,03 мм, момент інерції рухомої частини $J = 0,45 \cdot 10^{-7}$ кг·м², кут повного відхилення $\alpha_n = 13^\circ$, що відповідає відхиленню по шкалі 20 поділок.

Визначте: чутливість механізму по струму S_1 у радіанах на ампер (**рад/А**), поділках на ампер (**под/А**), градусах на

ампер (**град/А**); струм повного відхилення I_H ; опір обмотки рамки механізму; критичний опір $R_{кр}$; постійну по напрузі C_U ; період власних коливань рухомої частини T_0 .

Розв'язання. Чутливість механізму по струму S_1 визначається за формулою

$$S_1 = \frac{\alpha}{I} = \frac{Bs\omega}{W} = \frac{0,25 \cdot 1,66 \cdot 10^{-4} \cdot 1500,5}{5,5 \cdot 10^{-7}} = 1,1 \cdot 10^5 \text{ рад/А} .$$

Чутливість механізму по струму у град/А можна отримати, якщо підставити у ту саму формулу питомий протидіючий момент, виражений у ньютон-метрах на градус (**Н·м/град**), який дорівнює

$$W = \frac{5,5 \cdot 10^{-7} \cdot 3,14}{180} = 0,096 \cdot 10^{-7} ,$$

тоді

$$S_1 = \frac{0,25 \cdot 1,66 \cdot 10^{-4} \cdot 1500,5}{0,096 \cdot 10^{-7}} = 6,5 \cdot 10^6 \text{ град/А} .$$

Струм повного відхилення дорівнює

$$I_H = \frac{W\alpha_H}{Bs\omega} = \frac{5,5 \cdot 10^{-7} \cdot 13 \cdot 3,14 / 180}{0,25 \cdot 1,66 \cdot 10^{-4} \cdot 1500,5} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ А} .$$

Чутливість по струму

$$S_I = \frac{\alpha_H}{I_H} = \frac{20}{2 \cdot 10^{-6}} = 10^7 \text{ діл/А} .$$

Опір обмотки рамки механізму дорівнює

$$R_{обм} = \omega \ell R ,$$

де ℓ – довжина одного витка, м; R' – опір одного метра проводу, що дорівнює $R' = 24,6 \text{ Ом/м}$.

Тобто

$$R_{обм} = 1500,5 \cdot 0,054 \cdot 24,6 \approx 2_{ком} .$$

Критичний опір знайдемо за формулою

$$R_{кр} = \frac{(Bs\omega)^2}{2\sqrt{JW}} = \frac{(0,25 \cdot 1,66 \cdot 10^{-4} \cdot 1500,5)^2}{2\sqrt{0,45 \cdot 10^{-7} \cdot 5,5 \cdot 10^{-7}}} = 12,3 \text{ кОм} .$$

Чутливість і постійна механізму по напрузі визначаються відповідно за формулами

$$S_U = S_I / R_{кр} = 10^7 / 12,3 \cdot 10^3 = 0,8 \cdot 10^3 \text{ діл/В}$$

і

$$C_U = 1 / S_U = 1 / 0,8 \cdot 10^3 = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ В/діл} .$$

Період власних коливань рухомої частини механізму знайдемо, користуючись виразом

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{J}{W}} = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{0,45 \cdot 10^{-7}}{5,5 \cdot 10^{-7}}} = 1,8 \text{ с} .$$

Задачі для самостійного розв'язання

Задача 7. Визначити для вольтметра з межею вимірювання 30 В класу точності 0,5 відносну похибку для точок 5, 10, 15, 20, 25 і 30 В і найбільшу абсолютну похибку приладу.

Задача 8. Вольтметр з межею вимірювання 7,5 В і максимальним числом поділок 150 має найбільшу абсолютну похибку 36 мВ. Визначити клас точності приладу і відносну похибку в точках 40, 80, 90, 100 і 120 поділок.

Задача 9. Міліамперметр з межею вимірювання 300 мА і максимальним числом поділок 150 було повірено в точках

20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 і 150 поділок. Зразковий прилад дав такі показання (мА): 39,8; 80,1; 120,4; 159,7; 199,5; 20; 279,6; 300,3. Визначити клас точності приладу і побудувати для нього графік поправок: $\Delta I = F(I_{\text{пр}})$.

Задача 10. Амперметр класу точності 1,5 має 100 поділок. Ціна кожної поділки 0,5 А. Визначити межу вимірювання приладу, найбільшу абсолютну похибку і відносну похибку в точках 10, 30, 50, 70 і 90 поділок.

Задача 11. При повірці амперметра з межею вимірювання 10 А класу точності 0,5 відносна похибка на позначці 2 А склала 4,5%. Визначити, чи відповідає прилад вказаному класу точності, якщо абсолютна похибка в цій точці має найбільше значення.

Задача 12. Мілівольтметр магнітоелектричної системи класу точності 0,5 з межами вимірювання 3; 1,5; 0,6; 0,3; 0,15 В має максимальне число поділок 150. Визначити для кожної межі найбільше і найменше значення напруг, що вимірюються, в точці, що відповідає 40 поділкам.

Задача 13. Визначити клас точності мікроамперметра з двосторонньою шкалою і межею вимірювання 100 мкА, якщо найбільше значення абсолютної похибки отримано на позначці 40 мкА і дорівнює 1,7 мкА. Визначити відносну похибку приладу для цього значення.

Задача 14. Межа вимірювання мікроамперметра на 150 мкА повинна бути розширена до 15 А. Визначити опір шунта, якщо його внутрішній опір $r_A = 400$ Ом. Визначити також клас точності приладу, якщо найбільше значення абсолютної похибки амперметра 100 мА.

Задача 15. Для розширення межі вимірювання амперметра з внутрішнім опором $r_A = 0,5$ Ом у 50 разів необхідно підключити шунт. Визначити опір шунта, струм повного відхилення приладу і максимальне значення струму

на розширеній межі, якщо падіння напруги на шунті $U_H = 75$ мВ.

Задача 16. Амперметр з внутрішнім опором $r_A = 0,015$ Ом і межею вимірювання 20 А має шунт з опором 0,005 Ом. Визначити межу вимірювання амперметра з шунтом, а також струм у колі, якщо його показання дорівнює 12 А.

Задача 17. Магнітоелектричний прилад з опором 10 Ом і струмом повного відхилення 7,5 мА може бути використано як амперметр на 30 А. Визначити опір шунта.

Задача 18. Амперметр із зовнішнім шунтом $r_{ш} = 0,005$ Ом розраховано на межу вимірювання 60 А, його внутрішній опір $r_A = 15$ Ом. Визначити струм повного відхилення вимірювальної котушки приладу.

Задача 19. Амперметр класу точності 1,5 з межею вимірювання 100 А має зовнішній шунт з опором $r_{ш} = 0,001$ Ом. Визначити опір вимірювальної котушки приладу, якщо струм повного відхилення $I = 25$ мА. Визначити також найбільшу абсолютну і відносну похибки вимірювання таких значень струмів: 20, 30, 50, 75, 80 А. Визначити найбільшу потужність, що споживається амперметром.

Задача 20. Мілівольтметр з межею вимірювання 75 мВ і внутрішнім опором $r_B = 25$ Ом має 150 поділок шкали. Визначити опір шунта, щоб приладом можна було вимірювати граничне значення струму 30 А. Визначити ціну поділки приладу в обох випадках.

Задача 21. Є багатограничний амперметр. При множнику $n = 100$, що шунтує, амперметр має межу 2,5 А і падіння напруги на його затискачах при струмі повного відхилення $U_{ном} = 75$ мВ. Визначити опори шунтів і межі

вимірювання приладу при таких коефіцієнтах шунтування: 200, 300, 1000, 2000, 3000, 4000 і 5000.

Задача 22. Мікроамперметр з межею вимірювання 1000 мкА і внутрішнім опором $r_A = 300$ Ом необхідно використовувати як вольтметр на межу 30 В. Визначити додатковий опір.

Задача 23. Мілівольтметр з межею вимірювання 750 мВ необхідно переробити в багатограничний вольтметр з межами 7,5; 15; 75; 150 В. Додатковий опір на межі 7,5 В складає 1350 Ом. Визначити додатковий опір на кожній з меж, опір і струм повного відхилення приладів.

Задача 24. У вольтметра електродинамічної системи з межею вимірювання $U_1 = 300$ В і внутрішнім опором $r_B = 30$ кОм необхідно розширити межу до 1500 В. Визначити додатковий опір вольтметра і максимально споживану потужність на основній і розширеній межах.

Задача 25. Межа вимірювання вольтметра електромагнітної системи складає 7,5 В при внутрішньому опорі $r_B = 200$ Ом. Визначити додатковий опір, який необхідно увімкнути для розширення межі вимірювання до 600 В.

Задача 26. Для вимірювання напруги джерела $U_{дж} = 350$ В використано два послідовно увімкнених між собою вольтметри на межі вимірювання 300 і 150 В із внутрішнім опором відповідно 7 і 3 кОм. Визначити показання приладів, максимальну абсолютну і відносну похибки вимірювання, якщо прилади мають клас точності 0,5.

Задача 27. Напруга джерела вимірюється двома послідовно увімкненими вольтметрами з межами вимірювань 100 і 75 В і класами точності 1,0 і 1,5. Показання приладів такі: $U_1 = 78$ В, $U_2 = 67$ В. Визначити, чи відповідає цей вимір заданій точності 1,5 %.

Задача 28. Визначити опір резистора R_x (рисунок 2.1) для двох випадків: а) без урахування внутрішнього опору вольтметра; б) з урахуванням його. Показання вольтметра й амперметра при цьому такі: $U = 75 \text{ В}$, $I = 2,5 \text{ А}$. Внутрішній опір вольтметра $r_V = 5 \text{ кОм}$.

Задача 29. Опір вимірюється методом амперметра і вольтметра. Показання приладів при цьому $U = 12 \text{ В}$, $I = 0,25 \text{ А}$. Межі вимірювання і класи точності вольтметра й амперметра відповідно $U_{пр} = 15 \text{ В}$, клас точності 0,5, $I_{пр} = 0,5 \text{ А}$, клас точності 1,0. Визначити опір, що вимірюється, і найбільшу абсолютну і відносну похибки без урахування опору приладів.

Задача 30. Необхідно виміряти опір методом амперметра і вольтметра з точністю 1,5%. Якого класу точності необхідно взяти амперметр (не гірше), щоб виконати таке вимірювання? Показання приладів $U = 48 \text{ В}$, $I = 0,4 \text{ А}$. Вольтметр з межею вимірювання $U_{пр} = 75 \text{ В}$ класу точності 0,5; амперметр з межею вимірювання $I_{пр} = 0,5 \text{ А}$.

Задача 31. Визначити відносні похибки у відповідності до даних таблиці 2.1 при вимірюванні опорів за схемами рисунка 1.1,а,б методом амперметра і вольтметра.

Таблиця 2.1

Варіант	Опори, Ом		
	r_A	r_V	r_x
1	0,001	2000	0,2
2	0,01	7500	5
3	0,1	100000	200
4	1,0	25000	100
5	0,01	50000	40

Задача 32. Для вимірювання опору використано вольтметр з внутрішнім опором $r_V = 50 \text{ кОм}$. При послідовному його увімкненні з опором, що вимірюється, прилад показав 120 В, а при його увімкненні без опору –

162 В. Визначити опір і найбільшу абсолютну й відносну похибки вимірювання, якщо вольтметр має межу вимірювання 300 В і клас точності 2,5. Якого класу точності треба вибрати вольтметр для забезпечення точності 10%?

Задача 33. Для визначення повного, активного і реактивного опорів котушки зібрано схему (рисунок 2.2).

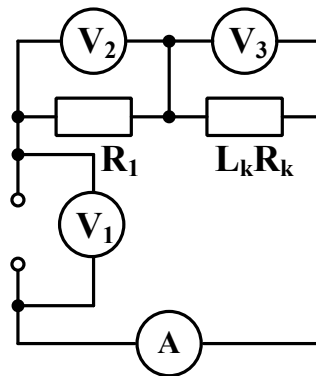


Рисунок 2.2

Показання приладів такі: $U_1 = 71,5$ В, $U_2 = 25$ В, $U_3 = 63,5$ В, $I = 2,5$ А. Визначити вказані опори і найбільше значення відносної похибки вимірювання R_1 і Z_k , якщо клас точності усіх приладів 1,0 і межі вимірювань такі: $U_{пр1} = U_{пр3} = 100$ В, $U_{пр2} = 30$ В, $I_{пр} = 3$ А.

Задача 34. При визначенні активного й індуктивного опору котушки в коло змінного струму вмикають амперметр, вольтметр і ватметр, які показали такі значення: 1,5 А – амперметр з межею вимірювання 3 А; 12 В – вольтметр з межею 50 В; 9 Вт – ватметр з межею 30 Вт. Клас точності всіх приладів 0,5. Визначити найбільше і найменше значення шуканих опорів з урахуванням класу точності усіх приладів і відносну похибку вимірювання цих величин.

Задача 35. Мостом постійного струму виконують вимірювання опору резистора (рисунок 2.3). Отримано такі значення опорів плеч моста при його врівноваженні: $R_1 = 136$ Ом, $R_2 = 1000$ Ом, $R_3 = 100$ Ом. Визначити опір, що вимірюється, і найбільшу абсолютну похибку вимірювання, якщо клас точності моста 1,0.

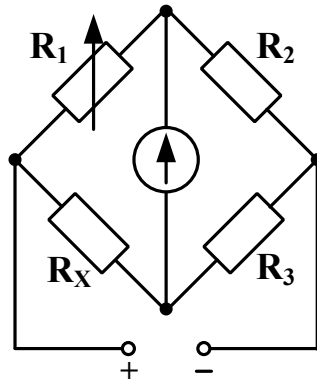


Рисунок 2.3

Задача 36. Визначити активний опір індуктивної котушки, що виміряно на постійному струмі мостовим методом. При цьому значення опорів виявились такими: $R_1 = 26,387 \text{ Ом}$, $R_2 = 100 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$. Як зміниться опір плеча R_1 , якщо вибрати: а) $R_2 = R_3 = 100 \text{ Ом}$; б) $R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$; в) $R_2 = 1000 \text{ Ом}$; $R_3 = 10 \text{ Ом}$; г) $R_2 = 10 \text{ Ом}$, $R_3 = 100 \text{ Ом}$? Яке з вимірювань дає найбільш точний результат, якщо R_1 може змінюватись до 1000 Ом , найменша його декада $0,001 \times 10 \text{ Ом}$?

Задача 37. За допомогою моста постійного струму, наведеного на рисунку 2.4, визначають місце короткого замикання у лінії. Міст врівноважено при таких значеннях опорів: $R_1 = 238,4 \text{ Ом}$, $R_2 = 1000 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$. Опір 1 м кабелю $0,005 \text{ Ом}$.

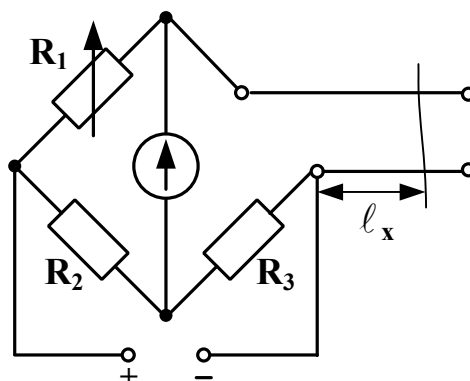


Рисунок 2.4

Задача 38. Для розбраковки резисторів R_x з номінальним опором 1000 Ом на чотири групи у

відповідності до відхилень від номіналу на +5; -5; +1; -1% складено міст, наведений на рисунку 2.5. Значення опорів $R_3 = R_4 = 1000 \text{ Ом}$. Визначити значення опорів R_2 , R_5 , R_6 , R_7 і R_8 .

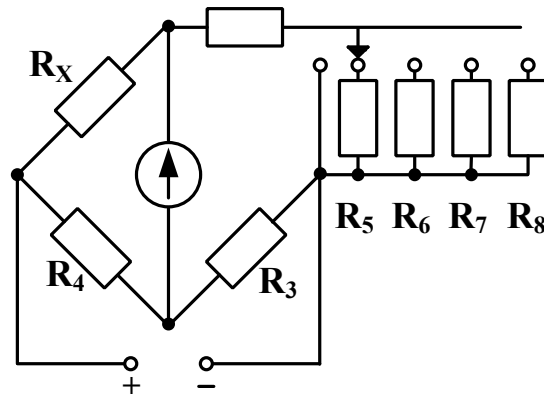


Рисунок 2.5

Примітка – При відхиленні опору, що вимірюється, на -1 і -5% від номінального руху система гальванометра відхиляється вліво, при відхиленні від номінального значення опору на +1 і +5% гальванометр дає відхилення вправо. Гальванометр відградує у відсотках.

Задача 39. У трифазну мережу з діючим значенням лінійної напруги 380 В підключено трифазний асинхронний двигун. Визначити активну потужність, що споживається двигуном, і коефіцієнт потужності в режимі холостого ходу і під навантаженням, якщо показання ватметра і амперметра, що увімкнені в одну з фаз двигуна, для вказаних режимів такі: $P_x = 20 \text{ Вт}$, $I_x = 0,3 \text{ А}$, $P_H = 154 \text{ Вт}$, $I_H = 1 \text{ А}$.

Задача 40. Активна потужність трифазного симетричного навантаження, увімкненого за схемою «зірка», вимірюється за методом двох ватметрів. Діюче значення лінійної напруги $U_L = 220 \text{ В}$. Повний опір кожної фази $Z = 120 \text{ Ом}$. Визначити показання другого ватметра при нульовому показанні першого.

Задача 41. Як зміняться показання ватметрів (задача 39), якщо навантаження: а) чисто активне; б) чисто реактивне?

Задача 42. У трифазному чотирипровідному колі з діючим значенням лінійної напруги $U_L = 220$ В і коефіцієнтом потужності навантаження у кожній фазі 0,7 показання ватметрів у фазах А, В і С дорівнюють 210, 320 і 375 Вт. Визначити повну активну і реактивну потужності, що споживаються навантаженням, а також повний, активний і реактивний опір навантаження в кожній фазі.

Задача 43. Методом амперметра і вольтметра у схемах рисунка 1.1 з заданими значеннями (таблиця 2.1) виміряно потужність кола. Визначити відносну похибку методу, зумовлену: а) опором приладів (таблиця 2.1); б) класом точності приладів, якщо показання амперметра і вольтметра складають 0,7 від межі вимірювання, а клас точності приладів 0,5.

Задача 44. Через трансформатор струму 50/5А і трансформатор напруги 3000/150 В в однофазне коло змінного струму увімкнено ватметр електродинамічної системи з межами вимірювань $I_{пр} = 5$ А, $U_{пр} = 150$ В. Визначити активну потужність кола і найбільшу відносну похибку виміру, якщо ватметр показав 125 поділок. Клас точності приладу 0,5, максимальне число поділок 150 (класом точності вимірювальних трансформаторів знехтувати).

Задача 45. Амперметр, вольтметр і ватметр підключені до навантаження через трансформатори струму 150/5 А і напруги 1000/100 В. Показання приладів при цьому були такі: $I = 2,4$ А, $U = 78$ В і $P = 165$ Вт. Визначити струм, напругу і потужність навантаження (повну, активну, реактивну) і $\cos \varphi$.

Задача 46. Для вимірювання температури у нагрівачі зібрано мостову схему (рисунок 2.6) з опором плеч $R_1=R_2=200$ Ом і $R_3=25$ Ом. Мідний датчик увімкнено у четверте плече моста і він має опір 25 Ом при 20° С. Визначити додатковий опір, що вмикається у вимірювальну діагональ моста послідовно з мікроамперметром на 100 мкА і внутрішнім опором 750 Ом для вимірювання температури в межах $20 - 320^\circ$ С при живленні моста $U_{\text{вх}} = 6$ В. Визначити ціну поділки приладу у градусах, якщо він має 50 поділок.

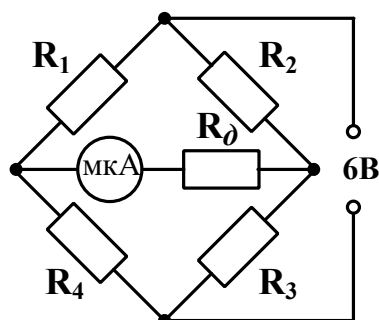


Рисунок 2.6

Задача 47. У мережі однофазного струму, що знаходиться під напругою 1500 В, проходить струм 140 А. Для вимірювання цих значень, споживаної активної потужності і $\cos \varphi$ використані вольтметр з межею вимірювання 75 В, амперметр на 5 А і ватметр з межами по струму і напрузі відповідно 5А і 75 В, з числом поділок 150. Прилади мають клас точності 0,5 і увімкнені в мережу через трансформатори струму і напруги з коефіцієнтом трансформації $K_{1 \text{ ном}} = 40$ при $I_{2 \text{ ном}} = 5$ А і $K_{U \text{ ном}} = 30$ при $U_{2 \text{ ном}} = 100$ В. Визначити показання амперметра і вольтметра, а також споживану активну потужність і $\cos \varphi$, якщо ватметр показав 90 поділок. Знайти відносні похибки виміру цих величин, що визначаються класом точності приладів.

Задача 48. Визначити повний, активний і реактивний опори і потужності кола змінного струму, якщо амперметр, вольтметр і ватметр, що увімкнені через трансформатори струму і напруги, з коефіцієнтами трансформації $K_{1 \text{ ном}} = 50$ і

$K_U_{\text{ном}} = 40$ при $I_{2\text{ ном}} = 5 \text{ А}$ і $U_{2\text{ ном}} = 100 \text{ В}$ показали такі значення: $I = 4,2 \text{ А}$, $U = 90 \text{ В}$, $P = 240 \text{ Вт}$.

Задача 49. Лічильник електричної енергії має паспортні дані: 120 В, 10 А, 1 кВт год – 625 обертів диска. Визначити номінальну постійну лічильника і потужність навантаження, якщо його диск зробив за 10 хв 450 обертів.

Задача 50. Визначити номінальну $C_{\text{ном}}$ і дійсну C постійні лічильника електричної енергії, його відносну похибку і поправочний коефіцієнт, якщо паспортні дані лічильника: 220 В, 5 А, 50 Гц, 1 кВт год – 1280 обертів диска. Лічильник перевірено при напрузі 220 В і струмі 5 А і він зробив 150 обертів за 6 хв.

Задача 51. Лічильник електричної енергії, увімкнений в коло змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц, зробив 11600 обертів за 15 год. Визначити струм навантаження при умові, що навантаження постійне, а $C_n = 4800 \text{ Вт с/об}$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Электрические измерения / Под ред. А.В. Фремке и Е.М. Душина. – Л.: Энергия, 1980.

2 Демидова-Панферова Р.М., Малиновский В.Н., Солодов Ю.С. Задачи и примеры расчетов по электроизмерительной технике. – М.: Энергоатомиздат, 1980.

3 Справочник по электроизмерительным приборам / Под ред. К.К. Илюнина. – Л.: Энергоатомиздат, 1983.

4 Основы метрологии и электрические измерения / Под ред. Е.М. Душина. – Л.: Энергоатомиздат, 1987.

5 Березкина Т.Ф., Гусев Н.Г., Маслеников В.В. Задачник по общей электротехнике с основами электроники – М.: Высш. шк., 1991.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Кафедра електротехніки та електричних машин

Методичні вказівки
до практичних занять з дисципліни «Метрологія, технологічні вимірювання
та прилади» для студентів заочної форми навчання.

Розглянуто на раді методичної комісії факультету АТЗ та
рекомендовано до друку та в світ для студентів факультету АТЗ спеці-
альності “ Автоматика та автоматизація на транспорті ” заочної форми навча-
ння

Голова методичної комісії
факультету АТЗ

О.В. Єлізаренко

Декан факультету АТЗ

О.М. Прогонний

Завідуючий кафедри

М.М. Бабаєв

Автори

М.М. Бабаєв

А.А. Прилипко

О.Є. Зінченко

Харків 2009

Методичні вказівки розглянуті і рекомендовані до друку на засіданні кафедри “Електротехніка та електричні машини” 15 січня 2009 р., протокол № 7.

Укладачі
проф. М.М. Бабаєв
доц. А. А. Прилипко
ас. О.Є. Зінченко

Рецензент
доц. С.В. Кошевий

Загальні вказівки до проведення практичних занять

Одним з основних видів занять з курсу «Метрологія, технологічні вимірювання та прилади» є розв'язання задач на практичних заняттях. Пропоновані у методичних вказівках завдання охоплюють увесь матеріал курсу та відповідають типовій програмі.

При вивченні курсу студенти отримують необхідні знання з основних методів розрахунку, з якими доводиться зустрічатись в курсі «Метрологія, технологічні вимірювання та прилади». Метою практичних занять є засвоєння студентами відповідних розділів курсу.

Студенти повинні завчасно готуватися до практичних занять, згідно з планом. При необхідності їх кількість і тематика можуть бути відкориговані згідно з учбовим планом. Підготовка складається з вивчення відповідних розділів теоретичного курсу за конспектами лекцій і навчальної літератури. На практичних заняттях усім студентам необхідно мати калькулятор.

З кожної теми практичних занять надається приклад розв'язання типової задачі, а потім студенти самостійно розв'язують задачі, а у кінці занять здають пророблений матеріал на перевірку викладачеві.

1. Короткий теоретичний матеріал

Метрологія це наука про виміри, яка вивчає засоби вимірювальної техніки, правила які забезпечують єдність вимірювання та методи досягнення необхідної точності. Вона складається з трьох частин: теоретична, практична та юридична.

Головним чинником для любої держави є *єдність вимірювань*. Визначення цієї характеристики дається в законі України про метрологію та метрологічну діяльність: “єдність вимірювань - стан вимірювань, за якого їхні результати виражаються в узаконених одиницях вимірювань, а похибки вимірювань відомі та із заданою ймовірністю не виходять за встановлені межі” [1]. Така пильна увага до метрології з боку держави пояснюється великою відповідальністю за виміри в суспільстві.

Виміром називається процес порівняння вимірюваної величини з відповідною одиницею виміру, однорідною за величиною. Тому завданням електричних вимірів є знаходження значень фізичних величин дослідним шляхом за допомогою спеціальних електротехнічних ЗВТ і вираження цих значень у прийнятих одиницях виміру.

Виміри класифікуються за різними ознаками: за способом отримання результату – прямі, непрямі; по методу виміру – абсолютні, граничні; за умовами виміру – рівно - точні, нерівно – точні; за ступенем достатності виміру – необхідні, надлишкові; за кількістю вимірів – однократні та багаторазові; за зміною вимірюваної величини - статичні та динамічні.

При прямих - вимірювану величину порівнюють із мірою безпосередньо або ж за допомогою вимірювальних приладів, градуйованих у необхідних одиницях. Непрямі виміри – визначення фізичної величини яку обчислюють на підставі відомої залежності, на підставі величин які піддають прямим вимірам. За допомогою абсолютних вимірів досліджувана величина фіксується в аналоговому або дискретному виді, при цьому результати вимірів містять погрішність і мають розмірність досліджуваної величини. Граничні виміри фіксують тільки факт знаходження величини в односторонньому або двосторонньому допуску (за принципом “так – ні”). Рівно – точні виміри проводяться при однакових умовах, при цьому у ряді результатів вимірів не можна віддати перевагу якому-небудь одному або декільком значенням, а нерівно – точні не відповідають цим критеріям. Надлишкові виміри мають у порівнянні з необхідними більше число вимірів, або більшу точність та ін., тобто дають надлишкову інформацію. Однократний вимір виконується один раз. Багатократний це вимір який складається з ряду однократних. Статичні це вимір незміненої фізичної величини протягом часу виміру. Динамічні – вимір змінної по розміру величини.

Похибки. Похибка це помилка у вимірюванні. Похибка з'являється із-за недосконалості методів і засобів вимірів, мінливості умов спостереження, а також із-за недостатнього досвіду спостерігача або особливостями його органів почуттів.

За формою числового вираження бувають абсолютна, відносна (зворотна величина точність виміру) та приведена. *Абсолютна похибка* Δ це різниця між величиною, здобутою при вимірюванні A та її істинним значенням.

$$\Delta = A - A_i.$$

Оскільки істинне значення A_i невідоме, похибка знаходиться за приближеною формулою

$$\Delta \approx A - A_d, \quad (1.1)$$

де A_d – дійсне значення вимірюваної величини, яке вимірюється за допомогою зразкового приладу. При вимірах з багатократними спостереженнями A_d береться як середньо арифметичне від результатів вимірювання.

Відносна похибка це виражене у відсотках відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини:

$$\delta = \frac{\Delta}{A_d} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

Точність вимірів - це характеристика вимірів, що показує близькість їхніх результатів до істинного значення вимірюваної величини. Кількісно точність можна виразити величиною, зворотної модулю відносної погрішності:

$$\varepsilon = \left| \frac{\Delta}{A_d} \right|^{-1} \quad (1.3)$$

Зведена похибка це виражене у відсотках відношення абсолютної похибки до нормативного значення приладу (найбільш часто нормативне значення це максимальне значення вимірюваної величини за шкалою приладу)

$$\delta = \frac{\Delta}{A_{\max}} \cdot 100\% \quad (1.4)$$

Максимально допустима для приладу приведена похибка нормується стандартом. Вона називається класом точності приладу і визначається як виражене у відсотках відношення найбільш можливої абсолютної похибки $\Delta A_{\text{нм}}$ до значення, що нормується

$$\gamma_{\delta} = \frac{\Delta A_{\text{нм}}}{A_n} \cdot 100\%. \quad (1.5)$$

Клас точності вказується на шкалі приладу.

З виразу (1.5) виходить, що при прямому методі безпосередньої оцінки, тобто коли за допомогою електровимірювального приладу вимірюється безпосередньо величина, що цікавить, наприклад, напруга – вольтметром, струм – амперметром, найбільш можлива абсолютна похибка буде

$$\Delta A_{\text{нм}} = \pm \gamma_{\delta} \frac{A_n}{100}. \quad (1.6)$$

Найбільш можлива відносна похибка вимірювань може бути визначена з формули (1.3), якщо в неї підставити вираз (1.6) для найбільш можливої абсолютної похибки

$$\gamma_{\text{нм}} = \gamma_{\text{д}} \frac{A_{\text{н}}}{A_{\text{д}}}. \quad (1.7)$$

З останнього виразу видно, що високий клас точності приладу ($\gamma_{\text{д}}$) ще не забезпечує високої точності вимірювання. Для забезпечення високої точності необхідно правильно вибрати прилад за верхньою межею вимірювань. При заданому класі точності приладу величина найбільш можливої відносної похибки пропорційна відношенню межі вимірювань приладу до вимірюваного значення.

Дійсне значення величини, що вимірюється, враховуючи (1.1) і (1.6), знаходиться у межах

$$A = A \pm \gamma_{\text{д}} \frac{A_{\text{н}}}{100}. \quad (1.8)$$

При непрямому методі вимірювань, при якому шукана величина обчислюється за результатами прямих вимірювань інших величин, вираз для найбільш можливої відносної похибки залежить від співвідношення між шуканою величиною і результатами прямих вимірювань.

Нехай шукана величина

$$A = B^n C^p D^q, \quad (1.9)$$

де B, C, D – результати прямих вимірювань.

Прологарифмуємо рівність (1.9)

$$\ln A = n \ln B + p \ln C + q \ln D. \quad (1.10)$$

Продиференціюємо одержаний вираз

$$\frac{dA}{A} = n \frac{dB}{B} + p \frac{dC}{C} + q \frac{dD}{D}. \quad (1.11)$$

Замінімо диференціали dA, dB, dC, dD прирощеннями ΔA , ΔB , ΔC , ΔD , які можна розглядати як абсолютні похибки відповідних вимірювань

$$\frac{\Delta A}{A} = n \frac{\Delta B}{B} + p \frac{\Delta C}{C} + q \frac{\Delta D}{D}. \quad (1.12)$$

Відношення $\frac{\Delta B}{B}$, $\frac{\Delta C}{C}$ і $\frac{\Delta D}{D}$ являють собою відносні похибки прямих вимірювань величин B, C, D.

Таким чином, відносна похибка непрямих вимірювань визначиться із співвідношення

$$\gamma_A = n\gamma_B + p\gamma_C + q\gamma_D, \quad (1.13)$$

а найбільш можлива відносна похибка – із співвідношення

$$\gamma_{\text{нм}A} = n\gamma_{\text{нм}B} + p\gamma_{\text{нм}C} + q\gamma_{\text{нм}D}. \quad (1.14)$$

У виразах (1.10) і (1.14) береться арифметична сума складових незалежно від знаків показників ступенів n, p, і q. Відносні похибки γ_B , γ_C , γ_D і найбільш можливі відносні похибки $\gamma_{\text{нм}B}$, $\gamma_{\text{нм}C}$, $\gamma_{\text{нм}D}$ визначаються відповідно за формулами (1.3) і (1.7).

При посередніх методах вимірювань шукане значення величини знаходять на підставі відомої залежності між цією величиною і іншими, визначеними шляхом прямих вимірювань. Посередні виміри опорів звичайно виконують методом амперметра і вольтметра. Цей метод можна використовувати для виміру опорів усіх діапазонів. Йому відповідають два варіанта з'єднання вимірювальних приладів і випробного резистора, наведені на рис. 1.1,а,б.

При з'єднанні по варіанту «а»

$$r_X = \frac{U_V}{I - \frac{U_V}{r_V}} \quad (1.15)$$

при використанні варіанта «б»

$$r_X = \frac{U - I_X \cdot r_A}{I_X} \quad (1.16)$$

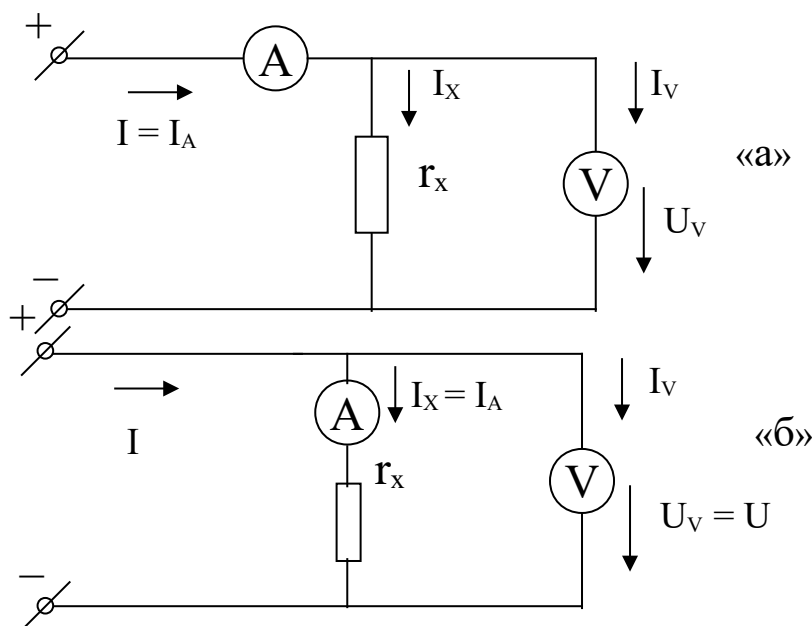


Рис. 1.1

Похибка результатів посередніх вимірів, отриманих після обчислення по виразам (1.15) чи (1.16), визначається інструментальними похибками прямих вимірів величин I і U_V , I_X і U і похибками, з якими відомі внутрішні опори r_V і r_A .

2. Приклади розрахунку задач по метрології та задачі для самостійного рішення

Задача 1. Вольтметр класу точності 1,0 з межею вимірювання 300 В, що має максимальне число поділок 75, повірено на позначках 30, 40, 50, 60 та 75 поділок, при цьому абсолютна похибка у цих позначках склала 0,84 В; 1,2 В; 0,9 В; 0,6 В та 0,89 В. Визначити чи відповідає прилад вказаному класу точності, а також відносні похибки на кожній позначці.

Розв'язання. Вольтметр класу точності 1,0 з межею вимірювання 300 В має найбільшу абсолютну похибку 3 В. Так як значення абсолютної похибки на усіх повіряємих позначках менше 3 В, то прилад відповідає класу точності 1,0.

Відносні похибки:

$$\beta = \frac{\Delta U}{U} 100\%; \beta_1 = \frac{0,84}{30 \cdot 4} 100\% = 0,7\%;$$

$$\beta_2 = \frac{1,2}{40 \cdot 4} 100\% = 0,75\%; \beta_3 = \frac{0,9}{50 \cdot 4} 100\% = 0,45\%;$$

$$\beta_4 = \frac{0,6}{60 \cdot 4} 100\% = 0,25\%; \beta_5 = \frac{0,89}{75 \cdot 4} 100\% = 0,297 \approx 0,3\%.$$

Задача 2. Необхідно виміряти струм у межах 35 – 40 А. Маємо мікроамперметр з межею вимірювання 500 мкА, внутрішнім опором 200 Ом і максимальним числом поділок 100. Визначити опір шунта для розширення межі вимірювання до 50 А і відносну похибку вимірювання на позначці 85 поділок, якщо клас точності приладу 1,0.

Розв'язання. Необхідно спочатку визначити коефіцієнт шунтування:

$$n = \frac{I}{I_A} = \frac{50}{500 \cdot 10^{-6}} = 10 \cdot 10^4.$$

Тоді

$$r_{ш} = \frac{r_A}{n-1} = \frac{200}{10 \cdot 10^4 - 1} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Визначаємо показання амперметра, що відповідає 85 поділкам, для чого ціну поділки 0,5 А/под помножимо на число поділок 85, тоді прилад покаже $I=42,5$ А.

Відносна похибка у цій точці

$$\beta = \frac{\Delta I_{\max}}{I} 100\% = \frac{0,5 \cdot 100}{42,5} = 1,96\% \approx 2\%,$$

де $\Delta I_{\max} = 0,5$ А.

Задача 3. В мережі змінного струму через трансформатор струму 100/2,5 А і трансформатор напруги 600/150 включені амперметр, вольтметр і ватметр, які показали відповідно 100, 120 і 88 поділок. Межі вимірювання приладів такі: амперметр – 3 А, вольтметр – 150 В, ватметр – 2,5 А по струму, 150 В по напрузі. Усі прилади класу точності 0,5 мають максимальне число поділок 150. Визначити повну потужність, що споживається мережею, її повний опір і коефіцієнт потужності, найбільшу абсолютну і відносну похибки вимірювання повного опору, враховуючи клас точності приладів.

Розв'язання. Визначаємо ціну поділки кожного приладу як відношення виміру до максимального числа поділок. Для амперметра ціна поділки 0,02 А/под, для вольтметра – 1 В/под, для ватметра – 2,5 Вт/под. Тоді показання приладів: $I=0,02 \cdot 100=2$ А; $U=1 \cdot 120=120$ В; $P=2,5 \cdot 88=220$ Вт.

Коефіцієнти трансформації $K_I=I_{1 \text{ ном}} / I_{2 \text{ ном}}=100/2,5=40$,

$$K_U \text{ ном}=U_1 / U_{2 \text{ ном}} =600/150=4.$$

Струм, напруга і активна потужність мережі

$$\begin{aligned} I_C &= K_I I = 40 \cdot 2 = 80 \text{ А}, \\ U_C &= K_U U = 4 \cdot 120 = 480 \text{ В}, \\ P_C &= K_I K_U P = 40 \cdot 4 \cdot 220 = 35,2 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Повну потужність, що споживає мережа, визначаємо через струм і напругу:

$$S = U_C I_C = 480 \cdot 80 = 38,4 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = P_C / S_C = 35,2 / 38,4 = 0,92.$$

Повний опір мережі

$$Z_C = 480 / 80 = 6 \text{ Ом}.$$

Найбільше значення повного опору

$$Z_{C \text{ max}} = \frac{U_{C \text{ max}}}{I_{C \text{ min}}} = \frac{120,75 \cdot 4}{1,85 \cdot 40} = 6,53 \text{ Ом},$$

звідки абсолютна похибка

$$\Delta Z_C = Z_{C \text{ max}} - Z_C = 6,53 \text{ Ом} - 6 \text{ Ом} = 0,53 \text{ Ом}.$$

Відносна похибка виміру

$$\beta = \frac{\Delta Z_C}{Z_C} 100\% = \frac{0,53}{6} 100\% = 8,85\%.$$

Задача 4. Методом амперметра і вольтметра вимірюється опір за схемою рис. 2.1.

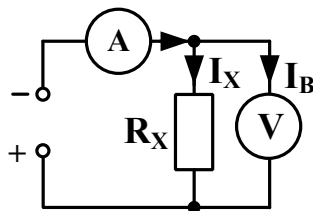


Рис. 2.1

Показання амперметра і вольтметра такі:

$U=5,6$ В, $I=0,4$ А. Прилади мають клас точності 1,0 і межі вимірювання $I_{\text{пр}} = 250$ мА, $U_{\text{пр}} = 7,5$ В. Визначити опір, що вимірюється, найбільшу абсолютну і відносну похибки вимірювання.

Розв'язання. Опір, що вимірюється

$$R_X = U / I = 5,6 / 0,4 = 14 \text{ Ом.}$$

Найбільша абсолютна похибка вольтметра і амперметра відповідно з вказаними межами і класом точності 1,0

$$\Delta U_{\text{max}} = 1\% U_{\text{пр}} = 0,075 \text{ В,}$$

$$\Delta I_{\text{max}} = 1\% I_{\text{пр}} = 2,5 \text{ мА} = 0,0025 \text{ А.}$$

Найбільше значення опору, що вимірюється з урахуванням класу точності застосованих приладів

$$R_{X_{\text{max}}} = \frac{U + \Delta U_{\text{max}}}{I - \Delta I_{\text{max}}} = \frac{5,6 + 0,075}{0,4 - 0,0025} = 14,277 \text{ Ом.}$$

Тоді відносна похибка виміру

$$\frac{R_{X_{\text{max}}} - R_X}{R_X} 100\% = \frac{14,277 - 14}{14} 100\% = 1,977\%.$$

Задача 5. Паспортні дані лічильника електричної енергії: 220 В, 10 А, 1 кВт ч – 640 обертів диска. Визначити відносну похибку лічильника і поправочний коефіцієнт, якщо його було повірено при номінальних значеннях струму і напруги и за 10 хв. зробив 236 обертів.

Розв'язання. Визначаємо номінальну і дійсну постійні лічильника:

$$C_{\text{ном}} = W_{\text{ном}} / N_{\text{ном}} = 1000 \cdot 3600 / 640 = 5625 \text{ Вт} \cdot \text{с} / \text{об},$$

$$C = \frac{U I t}{N_1} = \frac{220 \cdot 10 \cdot 600}{236} = 5600 \text{ Вт} \cdot \text{с} / \text{об}.$$

Поправочний коефіцієнт лічильника

$$K = C / C_{\text{ном}} = 5600 / 5625 = 0,995.$$

Відносна похибка лічильника

$$\beta = \frac{C_{\text{ном}} - C}{C_{\text{ном}}} 100\% = \frac{5625 - 5600}{5625} 100\% = 0,444\%.$$

Задача 6. Механізм магнітоелектричного стрілового гальванометра характеризується наступними конструктивними параметрами: індукція у зазорі постійного магніту $B = 0,25$ Тл, активна площа рамки $s = 1,66$ см², питомий

протидіючий момент $W = 5,5 \cdot 10^{-7}$ Н·м/рад, число витків $\omega = 1500,5$, середня довжина витка рамки $\ell = 5,4$ см, діаметр проводу марки ПЕЛ 0,03 мм, момент інерції рухомої частини $J = 0,45 \cdot 10^{-7}$ кг·м², кут повного відхилення $\alpha_n = 13^\circ$, що відповідає відхиленню по шкалі 20 поділок.

Визначте: чутливість механізму по струму S_1 у рад/А, діл/А, град/А; струм повного відхилення I_n ; опір обмотки рамки механізму; критичний опір $R_{кр}$; постійну по напрузі C_U ; період власних коливань рухомої частини T_0 .

Розв'язання. Чутливість механізму по струму S_1 визначається за формулою

$$S_1 = \frac{\alpha}{I} = \frac{Bs\omega}{W} = \frac{0,25 \cdot 1,66 \cdot 10^{-4} \cdot 1500,5}{5,5 \cdot 10^{-7}} = 1,1 \cdot 10^5 \text{ рад/А}.$$

Чутливість механізму по струму у град/А можна отримати, якщо підставити у ту саму формулу питомий протидіючий момент, виражений у Н·м/град, який дорівнює

$$W = \frac{5,5 \cdot 10^{-7} \cdot 3,14}{180} = 0,096 \cdot 10^{-7},$$

тоді

$$S_1 = \frac{0,25 \cdot 1,66 \cdot 10^{-4} \cdot 1500,5}{0,096 \cdot 10^{-7}} = 6,5 \cdot 10^6 \text{ град/А}.$$

Струм повного відхилення дорівнює

$$I_n = \frac{W\alpha_n}{Bs\omega} = \frac{5,5 \cdot 10^{-7} \cdot 13 \cdot 3,14 / 180}{0,25 \cdot 1,66 \cdot 10^{-4} \cdot 1500,5} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ А}$$

Чутливість по струму

$$S_1 = \frac{\alpha_n}{I_n} = \frac{20}{2 \cdot 10^{-6}} = 10^7 \text{ діл/А}.$$

Опір обмотки рамки механізму дорівнює

$$R_{обм} = \omega \ell R.$$

де ℓ – довжина одного витка, м; R' – опір одного метра проводу, що дорівнює $R' = 24,6$ Ом/м (див. додаток 3).

Тобто

$$R_{\text{обм}} = 1500,5 \cdot 0,054 \cdot 24,6 \approx 2_{\text{ком}} .$$

Критичний опір знайдемо за формулою

$$R_{\text{кр}} = \frac{(Bs\omega)^2}{2\sqrt{JW}} = \frac{(0,25 \cdot 1,66 \cdot 10^{-4} \cdot 1500,5)^2}{2\sqrt{0,45 \cdot 10^{-7} \cdot 5,5 \cdot 10^{-7}}} = 12,3 \text{кОм} .$$

Чутливість і постійна механізму по напрузі визначаються відповідно за формулами

$$S_U = S_I / R_{\text{кр}} = 10^7 / 12,3 \cdot 10^3 = 0,8 \cdot 10^3 \text{ діл/В}$$

і

$$C_U = 1 / S_U = 1 / 0,8 \cdot 10^3 = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ В/діл} .$$

Період власних коливань рухомої частини механізму знайдемо, користуючись виразом

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{J}{W}} = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{0,45 \cdot 10^{-7}}{5,5 \cdot 10^{-7}}} = 1,8 \text{ с} .$$

Задачі для самостійного рішення

Задача 7. Визначити для вольтметра з межею вимірювання 30 В класу точності 0,5 відносну похибку для точок 5, 10, 15, 20, 25 і 30 В і найбільшу абсолютну похибку приладу.

Задача 8. Вольтметр з межею вимірювання 7,5 В і максимальним числом поділок 150 має найбільшу абсолютну похибку 36 мВ. Визначити клас точності приладу і відносну похибку в точках 40, 80, 90, 100 і 120 поділок.

Задача 9. Міліамперметр з межею вимірювання 300 мА і максимальним числом поділок 150 було повірено в точках 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 і 150 поділок. Зразковий прилад дав наступні показання (ма): 39,8; 80,1; 120,4; 159,7; 199,5; 20; 279,6; 300,3. Визначити клас точності приладу і побудувати для нього графік поправок: $\Delta I = F(I_{\text{пр}})$.

Задача 10. Амперметр класу точності 1,5 має 100 поділок. Ціна кожної поділки 0,5 А. Визначити межу вимірювання приладу, найбільшу абсолютну похибку і відносну похибку в точках 10, 30, 50, 70 і 90 поділок.

Задача 11. При повірці амперметра з межею вимірювання 10 А класу точності 0,5 відносна похибка на позначці 2 А склала 4,5%. Визначити, чи відповідає прилад вказаному класу точності, якщо абсолютна похибка в цій точці має найбільше значення.

Задача 12. Мілівольтметр магнітоелектричної системи класу точності 0,5 з межами вимірювання 3; 1,5; 0,6; 0,3; 0,15 В має максимальне число поділок 150. Визначити для кожної межі найбільше і найменше значення напруг, що вимірюються, в точці, що відповідає 40 поділкам.

Задача 13. Визначити клас точності мікроамперметра з двосторонньою шкалою і межею вимірювання 100 мкА, якщо найбільше значення абсолютної похибки отримано на позначці 40 мкА і дорівнює 1,7 мкА. Визначити відносну похибку приладу для цього значення.

Задача 14. Межа вимірювання мікроамперметра на 150 мкА повинна бути розширена до 15 А. Визначити опір шунта, якщо його внутрішній опір $r_A = 400$ Ом. Визначити також клас точності приладу, якщо найбільше значення абсолютної похибки амперметра 100 мА.

Задача 15. Для розширення межі вимірювання амперметра з внутрішнім опором $r_A = 0,5$ Ом у 50 разів необхідно підключити шунт. Визначити опір шунта, струм повного відхилення приладу і максимальне значення струму на розширеній межі, якщо падіння напруги на шунті $U_H = 75$ мВ.

Задача 16. Амперметр з внутрішнім опором $r_A = 0,015$ Ом і межею вимірювання 20 А має шунт з опором 0,005 Ом. Визначити межу вимірювання амперметра з шунтом, а також струм у колі, якщо його показання дорівнює 12 А.

Задача 17 Магнітоелектричний прилад з опором 10 Ом і струмом повного відхилення 7,5 мА може бути використано в якості амперметра на 30 А. Визначити опір шунта.

Задача 18 Амперметр із зовнішнім шунтом $r_{Ш} = 0,005$ Ом розраховано на межу вимірювання 60 А, його внутрішній опір $r_A = 15$ Ом. Визначити струм повного відхилення вимірювальної котушки приладу.

Задача 19 Амперметр класу точності 1,5 з межею вимірювання 100 А має зовнішній шунт з опором $r_{Ш} = 0,001$ Ом. Визначити опір вимірювальної котушки приладу, якщо струм повного відхилення $I = 25$ мА. Визначити також найбільшу абсолютну і відносну похибки вимірювання наступних значень струмів: 20, 30, 50, 75, 80 А. Визначити найбільшу потужність, що споживається амперметром.

Задача 20 Мілівольтметр з межею вимірювання 75 мВ і внутрішнім опором $r_B=25$ Ом має 150 поділок шкали. Визначити опір шунта, щоб приладом можна було вимірювати граничне значення струму 30 А. Визначити ціну поділки приладу у обох випадках.

Задача 21 Є багатограничний амперметр. При множнику $n = 100$, що шунтує, амперметр має межу 2,5 А і падіння напруги на його затискачах при струмі повного відхилення $U_{ном} = 75$ мВ. Визначити опори шунтів і межі вимірювання приладу при наступних коефіцієнтах шунтування: 200, 300, 1000, 2000, 3000, 4000 і 5000.

Задача 22 Мікроамперметр з межею вимірювання 1000 мкА і внутрішнім опором $r_A= 300$ Ом необхідно використовувати в якості вольтметра на межу 30 В. Визначити додатковий опір.

Задача 23 Мілівольтметр з межею вимірювання 750 мВ необхідно переробити в багатограничний вольтметр з межами 7,5; 15; 75; 150 В. Додатковий опір на межі 7,5 В складає 1350 Ом. Визначити додатковий опір на кожній з меж, опір і струм повного відхилення приладів.

Задача 24 У вольтметра електродинамічної системи з межею вимірювання $U_1 = 300$ В і внутрішнім опором $r_B = 30$ кОм необхідно розширити межу до 1500 В. Визначити додатковий опір вольтметра і максимально споживану потужність на основній і розширеній межах.

Задача 25 Межа вимірювання вольтметра електромагнітної системи складає 7,5 В при внутрішньому опорі $r_B = 200$ Ом. Визначити додатковий опір, який необхідно включити для розширення межі вимірювання до 600 В.

Задача 26 Для вимірювання напруги джерела $U_{дж} = 350$ В використано два послідовно включених між собою вольтметра на межі вимірювання 300 і 150 В із внутрішнім опором відповідно 7 і 3 кОм. Визначити показання приладів, максимальну абсолютну і відносну похибки вимірювання, якщо прилади мають клас точності 0,5.

Задача 27 Напруга джерела вимірюється двома послідовно включеними вольтметрами з межами вимірювань 100 і 75 В і класами точності 1,0 і 1,5. Показання приладів наступні: $U_1 = 78$ В, $U_2 = 67$ В. Визначити, чи відповідає цей вимір заданій точності 1,5 %.

Задача 28 Визначити опір резистора R_x (див. рис. 2.1) для двох випадків: а) без урахування внутрішнього опору вольтметра; б) з урахуванням його.

Показання вольтметра і амперметра при цьому такі: $U = 75 \text{ В}$, $I = 2,5 \text{ А}$. Внутрішній опір вольтметра $r_B = 5 \text{ кОм}$.

Задача 29 Опір вимірюється методом амперметра і вольтметра. Показання приладів при цьому $U = 12 \text{ В}$, $I = 0,25 \text{ А}$. Межі вимірювання і класи точності вольтметра і амперметра відповідно $U_{\text{пр}} = 15 \text{ В}$, клас точності 0,5, $I_{\text{пр}} = 0,5 \text{ А}$, клас точності 1,0. Визначити опір, що вимірюється і найбільшу абсолютну і відносну похибки без урахування опору приладів.

Задача 30 Необхідно виміряти опір методом амперметра і вольтметра з точністю 1,5%. Якого класу точності необхідно узяти амперметр (не гірше), щоб виконати таке вимірювання? Показання приладів $U = 48 \text{ В}$, $I = 0,4 \text{ А}$. Вольтметр з межею вимірювання $U_{\text{пр}} = 75 \text{ В}$ класу точності 0,5; амперметр з межею вимірювання $I_{\text{пр}} = 0,5 \text{ А}$.

Задача 31 Визначити відносні похибки у відповідності з даними табл. 1 при вимірюванні опорів за схемами рис. 1.1,а,б методом амперметра і вольтметра.

Таблиця 1

Варіанти	Опори, Ом		
	r_A	r_V	r_x
1	0,001	2000	0,2
2	0,01	7500	5
3	0,1	100000	200
4	1,0	25000	100
5	0,01	50000	40

Задача 32 Для вимірювання опору використано вольтметр з внутрішнім опором $r_B = 50 \text{ кОм}$. При послідовному його включенні з опором, що вимірюється, прилад показав 120 В, а при його включенні без опору – 162 В. Визначити опір і найбільшу абсолютну і відносну похибки вимірювання, якщо вольтметр має межу вимірювання 300 В і клас точності 2,5. Якого класу точності треба вибрати вольтметр для забезпечення точності 10%?

Задача 33 Для визначення повного, активного і реактивного опорів котушки зібрано схему (рис. 2.2).

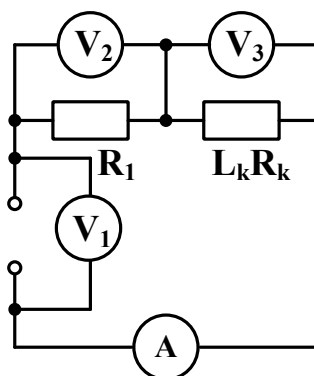


Рис. 2.2

Показання приладів наступні: $U_1 = 71,5 \text{ В}$, $U_2 = 25 \text{ В}$, $U_3 = 63,5 \text{ В}$, $I = 2,5 \text{ А}$. Визначити вказані опори і найбільше значення відносної похибки вимірювання R_1 і Z_k , якщо клас точності усіх приладів 1,0 і межі вимірювань наступні: $U_{\text{пр}1} = U_{\text{пр}3} = 100 \text{ В}$, $U_{\text{пр}2} = 30 \text{ В}$, $I_{\text{пр}} = 3 \text{ А}$.

Задача 34 При визначенні активного і індуктивного опору котушки в коло змінного струму вмикають амперметр, вольтметр і ватметр, які показали наступні значення: 1,5 А – амперметр з межею вимірювання 3 А; 12 В – вольтметр з межею 50 В; 9Вт – ватметр з межею 30 Вт. Клас точності всіх приладів 0,5. Визначити найбільше і найменше значення шуканих опорів з урахуванням класу точності усіх приладів и відносну похибку вимірювання цих величин.

Задача 35 Мостом постійного струму виконують вимірювання опору резистора (див. рис. 2.3). Отримано наступні значення опорів плеч моста при його врівноваженні: $R_1 = 136 \text{ Ом}$, $R_2 = 1000 \text{ Ом}$, $R_3 = 100 \text{ Ом}$. Визначити опір, що вимірюється і найбільшу абсолютну похибку вимірювання, якщо клас точності моста 1,0.

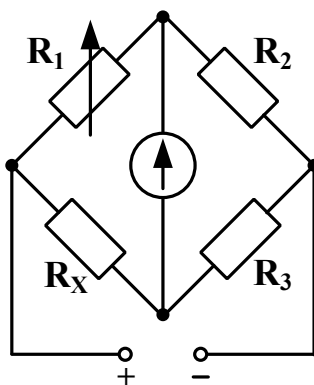


Рис. 2.3

Задача 36 Визначити активний опір індуктивної котушки, що виміряно на постійному струмі мостовим методом. При цьому значення опорів виявились такими: $R_1 = 26,387 \text{ Ом}$, $R_2 = 100 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$. Як зміниться опір плеча R_1 , якщо вибрати: а) $R_2 = R_3 = 100 \text{ Ом}$; б) $R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$; в) $R_2 = 1000 \text{ Ом}$;

$R_3 = 10 \text{ Ом}$; г) $R_2 = 10 \text{ Ом}$, $R_3 = 100 \text{ Ом}$? Яке з вимірювань дає найбільш точний результат, якщо R_1 може змінюватись до 1000 Ом , найменша його декада $0,001 \times 10 \text{ Ом}$?

Задача 37 За допомогою моста постійного струму, представленого на рис. 2.4, визначають місце короткого замикання у лінії. Міст врівноважено при наступних значеннях опорів: $R_1 = 238,4 \text{ Ом}$, $R_2 = 1000 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$. Опір 1 м кабелю $0,005 \text{ Ом}$.

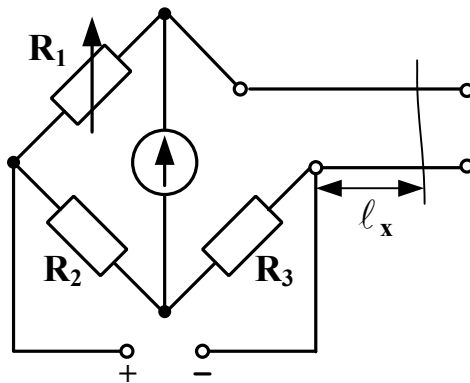


Рис. 2.4

Задача 38 Для розбраковки резисторів R_x з номінальним опором 1000 Ом на чотири групи у відповідності з відхиленням від номіналу на $+5\%$; -5% ; $+1\%$; -1% складено міст, представлений на рис. 2.5. Значення опорів $R_3 = R_4 = 1000 \text{ Ом}$. Визначити значення опорів R_2 , R_5 , R_6 , R_7 і R_8 .

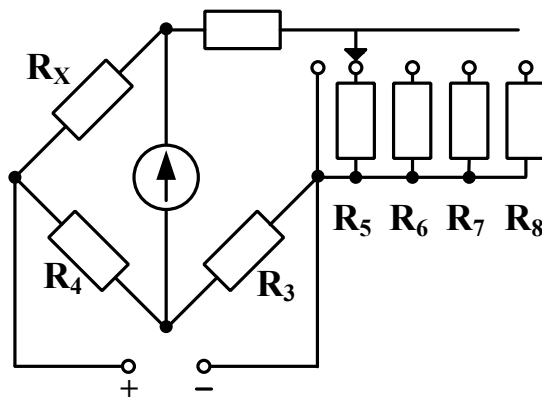


Рис. 2.5

П р и м і т к а. При відхиленні опору, що вимірюється, на -1 і -5% від номінального рухома система гальванометра відхиляється вліво, при відхиленні від номінального значення опору на $+1$ і $+5\%$ гальванометр дає відхилення вправо. Гальванометр відградує у процентах.

Задача 39 У трифазну мережу з діючим значенням лінійної напруги 380 В підключено трифазний асинхронний двигун. Визначити активну потужність, що споживається двигуном і коефіцієнт потужності в режимі холостого ходу і під навантаженням, якщо показання ватметра і амперметра, що включені в

одну з фаз двигуна, для вказаних режимів наступні: $P_X = 20$ Вт, $I_X = 0,3$ А, $P_H = 154$ Вт, $I_H = 1$ А.

Задача 40 Активна потужність трифазного симетричного навантаження, включеного за схемою «зірка», вимірюється за методом двох ватметрів. Діюче значення лінійної напруги $U_L = 220$ В. Повний опір кожної фази $Z = 120$ Ом. Визначити показання другого ватметра при нульовому показанні першого.

Задача 41 Як зміняться показання ватметрів (задача 39), якщо навантаження: а) чисто активне; б) чисто реактивне?

Задача 42 У трифазному чотирипровідному колі з діючим значенням лінійної напруги $U_L = 220$ В і коефіцієнтом потужності навантаження у кожній фазі 0,7 показання ватметрів у фазах А, В і С дорівнюють 210, 320 і 375 Вт. Визначити повну активну і реактивну потужності, що споживаються навантаженням, а також повний, активний і реактивний опір навантаження в кожній фазі.

Задача 43 Методом амперметра і вольтметра у схемах рис. 3, а, б з заданими значеннями (див. табл. 1) виміряно потужність кола. Визначити відносну похибку метода, зумовлену: а) опором приладів (див. табл. 1); б) класом точності приладів, якщо показання амперметра і вольтметра складають 0,7 від межі виміру, а клас точності приладів 0,5.

Задача 44 Через трансформатор струму 50/5А і трансформатор напруги 3000/150 В в однофазне коло змінного струму включено ватметр електродинамічної системи з межами вимірювань $I_{пр} = 5$ А, $U_{пр} = 150$ В. Визначити активну потужність кола і найбільшу відносну похибку виміру, якщо ватметр показав 125 поділок. Клас точності приладу 0,5, максимальне число поділок 150. (Класом точності вимірювальних трансформаторів знехтувати).

Задача 45 Амперметр, вольтметр і ватметр підключені до навантаження через трансформатори струму 150/5 А і напруги 1000/100 В. Показання приладів при цьому були наступні: $I = 2,4$ А, $U = 78$ В і $P = 165$ Вт. Визначити струм, напругу і потужність навантаження (повну, активну, реактивну) і $\cos \varphi$.

Задача 46 Для вимірювання температури у нагрівачі зібрано мостову схему (рис. 2.6) з опором плеч $R_1=R_2=200$ Ом і $R_3=25$ Ом. Мідний датчик включено у четверте плече моста і має опір 25 Ом при 20^0 С. Визначити додатковий опір, що включається у вимірювальну діагональ моста послідовно з мікроамперметром на 100 мкА і внутрішнім опором 750 Ом для вимі-

рювання температури в межах $20 - 320^{\circ}\text{C}$ при живленні моста $U_{\text{вх}} = 6 \text{ В}$. Визначити ціну поділки приладу у градусах, якщо він має 50 поділок.

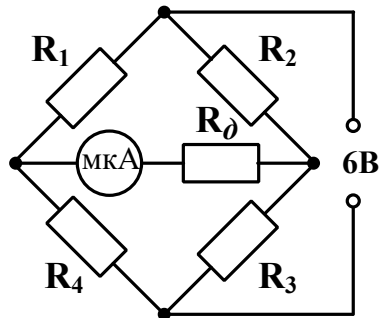


Рис. 2.6

Задача 47 В мережі однофазного струму, що знаходиться під напругою 1500 В, проходить струм 140 А. Для вимірювання цих значень, споживаної активної потужності і $\cos \Phi$ використані вольтметр з межею вимірювання 75 В, амперметр на 5 А і ватметр з межами по струму і напрузі відповідно 5 А і 75 В, з числом поділок 150. Прилади мають клас точності 0,5 і включені в мережу через трансформатори струму і напруги з коефіцієнтом трансформації $K_{I \text{ ном}} = 40$ при $I_{2 \text{ ном}} = 5 \text{ А}$ і $K_{U \text{ ном}} = 30$ при $U_{2 \text{ ном}} = 100 \text{ В}$. Визначити показання амперметра і вольтметра, а також споживаєму активну потужність і $\cos \Phi$, якщо ватметр показав 90 поділок. Знайти відносні похибки виміру цих величин, що визначаються класом точності приладів.

Задача 48 Визначити повний, активний і реактивний опори і потужності кола змінного струму, якщо амперметр, вольтметр і ватметр, що включені через трансформатори струму і напруги, з коефіцієнтами трансформації $K_{I \text{ ном}} = 50$ і $K_{U \text{ ном}} = 40$ при $I_{2 \text{ ном}} = 5 \text{ А}$ і $U_{2 \text{ ном}} = 100 \text{ В}$ показали наступні значення: $I = 4,2 \text{ А}$, $U = 90 \text{ В}$, $P = 240 \text{ Вт}$.

Задача 49 Лічильник електричної енергії має паспортні дані: 120 В, 10 А, 1 кВт ч – 625 обертів диска. Визначити номінальну постійну лічильника і потужність навантаження, якщо його диск зробив за 10 хвил. 450 обертів.

Задача 50 Визначити номінальну $C_{\text{ном}}$ і дійсну C постійні лічильника електричної енергії, його відносну похибку і поправочний коефіцієнт, якщо паспортні дані лічильника: 220 В, 5 А, 50 Гц, 1 кВт ч – 1280 обертів диска. Лічильник перевірено при напрузі 220 В і струмі 5 А і зробив 150 обертів за 6 хвилин.

Задача 51 Лічильник електричної енергії, включений в коло змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц, зробив 11600 обертів за 15 год. Визначити струм навантаження при умові, що навантаження постійне, а $C_{\text{н}} = 4800 \text{ Вт с/об}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Электрические измерения /Под ред. А. В. Фремке и Е. М. Душина. – Л.: Энергия, 1980.
- 2 Р.М. Демидова – Панферова, В.Н. Малиновский, Ю.С. Солодов. Задачи и примеры расчетов по электроизмерительной технике - М.: Энергоатомиздат, 1980.
- 3 Справочник по электроизмерительным приборам / Под ред. К. К. Илюнина. -Л.: Энергоатомиздат, 1983.
4. Основы метрологии и электрические измерения / Под ред. Е. М. Душина. -Л.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Т.Ф. Березкина, Н.Г. Гусев, В.В. Маслеников. Задачник по общей электротехнике с основами электроники - М.: Высшая школа, 1991.