

Обчислити струм у колі джерела струму, замкненого на резистор $R = (1000 \pm 1)$ Ом (рис. П.23), якщо в разі послідовного вмикання в це коло міліамперметра ($k_A = 0,5$; $I_{An} = 100$ мА; власний опір $R_A = (102,0 \pm 0,5)$ Ом) його показ становить $I_A = 25$ мА.

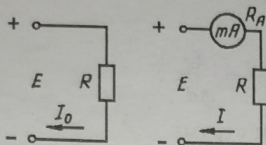


Рис. П.23

Розв'язання

Інструментальна похибка міліамперметра

$$\Delta_A = 0,5 \cdot 100 / 100 = 0,5 \text{ мА.}$$

Струм у колі $I = E / (R + R_A)$, звідки $E = I (R + R_A)$, тому формула зв'язку

$$I_0 = \frac{E}{R} = \frac{I (R + R_A)}{R}.$$

Найімовірніше значення струму I_0

$$A_{I_0} = \frac{25 \cdot 10^{-3} (1000 + 102)}{1000} = 0,027 55 \text{ А.}$$

Похибка обчислення

$$\Delta_{I_0} = A_{I_0} \sqrt{\left(\frac{\Delta_A}{I_A}\right)^2 + \frac{\Delta_R^2 + \Delta_{R_A}^2}{(R + R_A)^2} + \left(\frac{\Delta_R}{R}\right)^2} =$$

$$= A_{I_0} \sqrt{\left(\frac{0,5}{25}\right)^2 + \frac{1^2 + 0,5^2}{(1000 + 102)^2} + \left(\frac{1}{1000}\right)^2} = 0,000 552 395 9 \text{ А} \approx 0,6 \text{ мА.}$$

Результат опосередкованого вимірювання:

$$I_0 = (27,6 \pm 0,6) \text{ мА.}$$

45

Обчислити густину j струму, якщо за час $t = (10,0 \pm 0,1)$ с крізь поперечний переріз s провідника проходить заряд $q = (100 \pm 1)$ Кл. Діаметр провідника $d = (2,0 \pm 0,1)$ мм. Взяти $\pi = 3,141\,592\,6$. Вихідні дані для формули зв'язку:

$$j = I/s; \quad I = q/t; \quad s = \pi d^2/4.$$

Розв'язання

Формула зв'язку:

$$j = \frac{i}{s} = \frac{q}{ts} = \frac{4q}{\pi d^2}.$$

Найімовірніше значення густини струму

$$A_j = \frac{4 \cdot 100}{10 \pi \cdot 2^2} = 3,183\,098\,7 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Похибка обчислення

$$\begin{aligned} \Delta j &= A_j \sqrt{\left(\frac{\Delta q}{q}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta d}{d}\right)^2} = \\ &= A_j \sqrt{\left(\frac{1}{100}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{10}\right)^2 + \left(2 \frac{0,1}{2}\right)^2} = \\ &= 0,321\,477\,18 \approx 0,3 \end{aligned}$$

Результат опосередкованого вимірювання:

$$j = (3,2 \pm 0,3) \text{ А/мм}^2.$$

46

Для визначення електричної потужності, яка розсіюється на активному опорі, було виміряно струм $I_A = 4,5$ А амперметром із номінальним струмом $I_{An} = 5$ А класу точності $k_A = 0,5$ та опір навантаження $R = (124,7 \pm 0,1)$ Ом. Визначити потужність P навантаження. Формула зв'язку:

$$P = I^2 R.$$

Розв'язання

Інструментальна похибка амперметра

$$\Delta_A = k_A I_{An} / 100 = 0,5 \cdot 5 / 100 = 0,025 \text{ А}$$

Найімовірніше значення потужності

$$A_P = I^2 R = 4,5^2 \cdot 124,7 = 2\,525,175 \text{ Вт}$$

Похибка обчислення

$$\Delta_P = A_P \sqrt{\left(2 \frac{\Delta_A}{I_A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_R}{R}\right)^2} =$$

$$= A_P \sqrt{\left(2 \frac{0,025}{4,5}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{124,7}\right)^2} = 28,130\,477 \approx 3 \cdot 10 \text{ Вт}$$

Результат опосередкованого вимірювання:

$$P = (253 \pm 3) \text{ Вт} = (2,53 \pm 0,03) \text{ кВт}$$

47

Визначити електричну потужність, що розіється на активному опорі, якщо цей опір $R = (5,340 \pm 0,025) \text{ Ом}$ підімкнений до джерела змінного струму з напругою 120 В (виміряною вольтметром класу точності $k_V = 2,5$ зі шкалою $0 \dots 150 \text{ В}$). Формула зв'язку:

$$P = U^2 / R$$

Розв'язання

Абсолютна похибка вольтметра

$$\Delta_V = k_V N_{Vn} / 100 = 2,5 \cdot 150 / 100 = 3,75 \approx 4 \text{ В}$$

Найімовірніше значення потужності

$$A_P = 120^2 / 5,340 = 2\,696,629 \text{ Вт}$$

Похибка результату вимірювання потужності

$$\Delta_P = A_P \sqrt{\left(2 \frac{\Delta_V}{U_V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_R}{R}\right)^2} =$$

$$= A_p \sqrt{\left(2 \frac{4}{120}\right)^2 + \left(\frac{0,025}{5,340}\right)^2} = 180,218\ 01 \approx 2 \cdot 10^2 \text{ Вт.}$$

Результат опосередкованого вимірювання потужності:

$$P = (27 \pm 2)10^2 \text{ Вт} = (2,7 \pm 0,2) \text{ кВт.}$$

48 Визначити коефіцієнт потужності кола (рис. П.24), якщо показ амперметра класу точності $k_A = 0,5$ із межею вимірювання $I_{An} = 5 \text{ А}$ становить $I_A = 4 \text{ А}$, показ вольтметра класу точності $k_V = 1,0$ зі шкалою на $U_{Vn} = 250 \text{ В}$ становить $U_V = 180 \text{ В}$, а показ ватметра класу точності $k_W = 0,5$ зі шкалою на $P_{Wn} = 750 \text{ Вт}$ становить $P_W = 300 \text{ Вт}$. Опорами послідовних кіл приладів знехтувати. Формула зв'язку:

$$\cos \varphi = P/(UI).$$

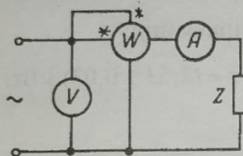


Рис. П.24

Розв'язання

Найімовірніше значення $\cos \varphi$

$$A_{\cos \varphi} = 300 / (180 \cdot 4) = 0,416\ 666\ 6.$$

Інструментальні похибки приладів:

$$\Delta_V = 1,0 \cdot 250 / 100 = 2,5 \text{ В;}$$

$$\Delta_I = 0,5 \cdot 5 / 100 = 0,025 \text{ А;}$$

$$\Delta_W = 0,5 \cdot 750 / 100 = 3,75 \text{ Вт.}$$

Похибка результату вимірювання

$$\Delta_{\cos \varphi} = A_{\cos \varphi} \sqrt{\left(\frac{\Delta_V}{U_V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_I}{I_A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_W}{P_W}\right)^2} =$$

$$= A_{\cos \varphi} \sqrt{\left(\frac{2,5}{180}\right)^2 + \left(\frac{0,025}{4}\right)^2 + \left(\frac{3,75}{300}\right)^2} = 0,008\ 209\ 639\ 9 \approx 0,008.$$

Результат опосередкованого вимірювання:

$$\cos \varphi = 0,417 \pm 0,008 .$$

49

Струм у первинній обмотці трансформатора $I_1 = 0,5$ А, напруга на її кінцях $U_1 = 220$ В (амперметр класу точності $k_A = 1,5$ зі шкалою $0 \dots 1$ А; вольтметр класу точності $k_V = 1,5$ зі шкалою $0 \dots 250$ В). Струм у вторинній обмотці $I_2 = 11$ А, напруга на її кінцях $U_2 = 9,5$ В (амперметр класу точності $k_A = 1,5$ зі шкалою $0 \dots 20$ А; вольтметр класу точності $k_V = 1,5$ зі шкалою $0 \dots 10$ В). Визначити ККД трансформатора.

Розв'язання

Інструментальні похибки для первинної обмотки:

$$\Delta'_A = 1,5 \cdot 1/100 = 0,015 \text{ А};$$

$$\Delta'_V = 1,5 \cdot 250/100 = 3,75 \text{ В}.$$

Інструментальні похибки для вторинної обмотки:

$$\Delta''_A = 1,5 \cdot 20/100 = 0,3 \text{ А};$$

$$\Delta''_V = 1,5 \cdot 10/100 = 0,15 \text{ В}.$$

Затрачена потужність

$$A_{P_1} = I_1 U_1 = 0,5 \cdot 220 = 110 \text{ Вт}.$$

Похибка обчислень

$$\begin{aligned} \Delta_{P_1} &= A_{P_1} \sqrt{\left(\frac{\Delta'_A}{I_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta'_V}{U_1}\right)^2} = \\ &= 110 \sqrt{\left(\frac{0,015}{0,5}\right)^2 + \left(\frac{3,75}{220}\right)^2} = 3,7954742 \approx 4. \end{aligned}$$

Корисна потужність

$$A_{P_2} = I_2 U_2 = 11 \cdot 9,5 = 104,5 \text{ Вт}.$$

Похибка обчислень

$$\Delta_{P_2} = A_{P_2} \sqrt{\left(\frac{\Delta''_A}{I_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta''_V}{U_2}\right)^2} =$$

$$= 104,5 \sqrt{\left(\frac{0,3}{11}\right)^2 + \left(\frac{0,15}{9,5}\right)^2} = 3,293\ 174\ 6 \approx 3.$$

ККД трансформатора

$$A_\eta = P_2 / P_1 = 104,5 / 110 = 0,95 = 95\%.$$

Похибка визначення ККД

$$\Delta_\eta = A_\eta \sqrt{\left(\frac{\Delta_{P_1}}{P_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{P_2}}{P_2}\right)^2} =$$

$$= 95 \sqrt{\left(\frac{4}{110}\right)^2 + \left(\frac{3}{104,5}\right)^2} = 4,401\ 352 \approx 4\%.$$

Результат обчислення:

$$\eta = (95 \pm 4)\%.$$

50

Для визначення добової витрати енергії на постійному струмі було виміряно напругу та струм. Вольтметр класу точності $k_V = 2,5$ зі шкалою $0 \dots 250$ В; його показ $217,5$ В. Амперметр класу точності $k_A = 1,5$ зі шкалою $0 \dots 150$ А; його показ $125,5$ А. Похибка вимірювання часу за добу не перевищує 1 хв. Записати результат вимірювання.

Розв'язання

Абсолютна інструментальна похибка вольтметра

$$\Delta_V = k_V N_{Vн} / 100 = 2,5 \cdot 250 / 100 = 6,25 \approx 6,2 \text{ В.}$$

Абсолютна інструментальна похибка амперметра

$$\Delta_A = k_A N_{Aн} / 100 = 1,5 \cdot 150 / 100 = 2,25 \approx 2,2 \text{ А.}$$

Формула зв'язку:

$$W = UI t.$$

Найімовірніше значення витрати енергії

$$A_W = 217,5 \cdot 125,5 \cdot 24 = 655\ 110 \text{ Вт} \cdot \text{год.}$$

Похибка вимірювання часу $\Delta_t = 1/60$ год.

Похибка результату вимірювання витрати енергії

$$\begin{aligned}\Delta_W &= A_W \sqrt{\left(\frac{\Delta_V}{U_V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_A}{I_A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_t}{t}\right)^2} = \\ &= A_W \sqrt{\left(\frac{6,2}{217,5}\right)^2 + \left(\frac{2,2}{125,5}\right)^2 + \left(\frac{1}{60 \cdot 24}\right)^2} = \\ &= 21\,927,664 \approx 20 \text{ кВт} \cdot \text{год.}\end{aligned}$$

Результат опосередкованого вимірювання витрати енергії:

$$W = (655 \pm 20) \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$