

Зобразити схему вимірювання внутрішнього опору амперметра. В схемі використати такі прилади (рис. П.15): вольтметр класу точності $k_V = 2,5$ зі шкалою від 0 до $U_{Vн} = 300$ мВ; амперметр класу точності $k_A = 1,0$ зі шкалою від 0 до $I_{An} = 5$ мА. Покази приладів: $U_V = 208$ мВ; $I_A = 4,1$ мА.

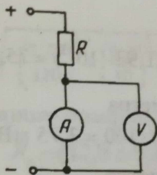


Рис. П.15

Розв'язання

Опір амперметра

$$R_A = U_V / I_A = 208 \cdot 10^{-3} / (4,1 \cdot 10^{-3}) = 50,731707 \text{ Ом.}$$

Інструментальна похибка вольтметра

$$\Delta_V = 2,5 \cdot 300 / 100 = 7,5 \text{ мВ.}$$

Інструментальна похибка амперметра

$$\Delta_A = 1 \cdot 5 / 100 = 0,05 \text{ мА.}$$

Абсолютна похибка вимірювання опору амперметра

$$\Delta_{R_A} = R_A \sqrt{\left(\frac{\Delta_V}{U_V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_A}{I_A}\right)^2} = R_A \sqrt{\left(\frac{7,5}{208}\right)^2 + \left(\frac{0,05}{4,1}\right)^2} = 1,931\,058\,4 \approx 2,0.$$

Тоді

$$R_A = (50,7 \pm 2,0) \text{ Ом.}$$

30

Зобразити схему вимірювання внутрішнього опору вольтметра. В схемі використати такі прилади (рис. П.16): вольтметр класу точності $k_V = 2,5$ зі шкалою від 0 до $U_{VN} = 150$ мВ; амперметр класу точності $k_A = 1,0$ зі шкалою від 0 до $I_{AN} = 5$ мА. Покази приладів: $U_V = 145$ мВ; $I_A = 1,93$ мА.

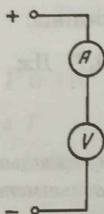


Рис. П.16

Розв'язання

Опір вольтметра

$$R_V = U_V / I_A = 145 \cdot 10^{-3} / (1,93 \cdot 10^{-3}) = 75,129\,533 \text{ Ом.}$$

Інструментальна похибка вольтметра

$$\Delta_V = 2,5 \cdot 150 / 100 = 3,75 \text{ мВ.}$$

Інструментальна похибка амперметра

$$\Delta_A = 1 \cdot 5 / 100 = 0,05 \text{ мА.}$$

Абсолютна похибка вимірювання опору вольтметра

$$\Delta_{R_V} = R_V \sqrt{\left(\frac{\Delta_V}{U_V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_A}{I_A}\right)^2} = R_V \sqrt{\left(\frac{3,75}{145}\right)^2 + \left(\frac{0,05}{1,93}\right)^2} = 2,750\,198\,1 \approx 3 \text{ Ом.}$$

Тоді

$$R_V = (75 \pm 3) \text{ Ом.}$$

31

Вольтметр (рис. П.17) розрахований на вимірювання напруг до $U_{Vн} = 30$ В; при цьому крізь нього проходить струм $I_{Vн} = 10$ мА (інструментальні похибки: $\Delta_V = 0,75$ В; $\Delta_A = 0,1$ мА). Який додатковий опір R_n треба підімкнути до вольтметра, щоб ним можна було вимірювати напругу до $U = 150$ В?

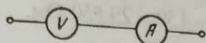


Рис. П.17

Розв'язання

На додатковому опорі спад напруги

$$\Delta U = U - U_{Vн} = 150 - 30 = 120 \text{ В.}$$

За того самого струму $I_{Vн}$ потрібен додатковий опір

$$R_n = \Delta U / I_{Vн} = 120 / 0,010 = 12\,000 \text{ Ом} = 12 \text{ кОм.}$$

Похибка визначення A_{R_n}

$$\Delta_{R_n} = A_{R_n} \sqrt{\left(\frac{\Delta_V}{\Delta U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_A}{I_{Vн}}\right)^2} =$$

$$= 12\,000 \sqrt{\left(\frac{0,75}{120}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{10}\right)^2} = 141,509\,71 \text{ Ом.}$$

Результат опосередкованого вимірювання:

$$R_n = (12,0 \pm 0,1) \text{ кОм.}$$

32

Повне відхилення покажчика міліамперметра ($k_A = 0,5$) відбувається за $I_{An} = 0,01$ А; опір його $R_A = (150,0 \pm 0,7)$ Ом. Який додатковий опір R_n треба підімкнути до приладу, щоб використовувати його для вимірювання напруги до $U_{Vн} = 300$ В?

Розв'язання

Інструментальні похибки приладу

$$\Delta_A = 0,5 \cdot 0,01 / 100 = 0,000\,05 \text{ А;}$$

$$\Delta_V = 0,5 \cdot 300/100 = 1,5 \text{ В.}$$

Загальний опір $R_A + R_d$ можна обчислити за формулою

$$R_A + R_d = U_{V_{II}}/I_{A_{II}} = 300/0,01 = 30\,000 \text{ Ом};$$

звідси

$$R_d = 30\,000 - 150 = 29\,850 \text{ Ом.}$$

Похибка обчислення $R_A + R_d$

$$\begin{aligned} \Delta_{\pm} &= (R_A + R_d) \sqrt{\left(\frac{\Delta_V}{U_{V_{II}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_A}{I_{A_{II}}}\right)^2} = \\ &= 30\,000 \sqrt{\left(\frac{1,5}{300}\right)^2 + \left(\frac{0,000\,05}{0,01}\right)^2} = 212,132\,03 \approx 2 \cdot 10^2 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Похибка обчислення R_d

$$\Delta_d \approx \Delta_{\pm},$$

оскільки

$$\Delta_{R_A} \ll \Delta_{\pm}.$$

Результат обчислення:

$$R_d = (298 \pm 2) \cdot 10^2 \text{ Ом.}$$

33

Для вимірювання напруги на ділянці AB увімкнено два вольтметри (рис. П.18) класу точності $k_V = 1,0$ зі шкалами $U_{V_{II}} = 100 \text{ В}$. Показ першого вольтметра $U_{V_1} = 40 \text{ В}$, показ другого $U_{V_2} = 80 \text{ В}$. Знайти опір R_{V_2} другого вольтметра, якщо опір першого $R_{V_1} = (5,1 \pm 0,1) \text{ кОм}$.

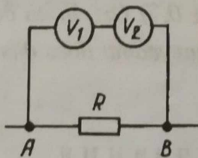


Рис. П.18

Розв'язання

Інструментальна похибка кожного вольтметра

$$\Delta_{V_1} = \Delta_{V_2} = k_V U_{V_{\text{н}}} / 100 = 1 \cdot 100 / 100 = 1 \text{ В.}$$

Струм крізь вольтметри

$$I_V = U_{V_1} / R_{V_1} = U_{V_2} / R_{V_2};$$

звідси

$$R_{V_2} = R_{V_1} (U_{V_2} / U_{V_1}).$$

Найімовірніше значення опору другого вольтметра

$$A_{R_{V_2}} = 5,1 (80/40) = 10,2 \text{ кОм.}$$

Похибка визначення R_{V_2}

$$\Delta_{R_{V_2}} = A_{R_{V_2}} \sqrt{\left(\frac{\Delta_{R_{V_1}}}{R_{V_1}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{V_1}}{U_{V_1}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{V_2}}{U_{V_2}}\right)^2} =$$

$$= 10,2 \sqrt{\left(\frac{0,1}{5,1}\right)^2 + \left(\frac{1}{40}\right)^2 + \left(\frac{1}{80}\right)^2} = 0,348 \ 254 \ 57 \approx 0,3 \text{ кОм.}$$

Результат опосередкованого вимірювання:

$$R_{V_2} = (10,2 \pm 0,3) \text{ кОм.}$$

34

У схемі (рис. П.19) вольтметр має клас точності $k_V = 1,5$ та шкалу $0 \dots 30 \text{ В}$; амперметр — $k_A = 0,5$ та шкалу $0 \dots 100 \text{ мА}$. Показ вольтметра $U_V = 20 \text{ В}$, показ амперметра $I_A = 40 \text{ мА}$. Опір $R = (1,024 \pm 0,005) \text{ кОм}$. Визна-

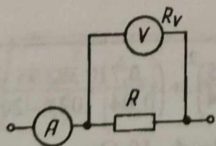


Рис. П.19

Розв'язання

Формула зв'язку:

$$R_V = \frac{U_V R}{I_A R - U_V}$$

Інструментальні похибки приладів:

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

$$\Delta_V = 1,5 \cdot 30 / 100 = 0,45 \text{ В}.$$

Найімовірніше значення опору вольтметра

$$A_{R_V} = \frac{20 \cdot 1024}{0,04 \cdot 1024 - 20} = 977,099 \text{ 23 Ом}.$$

Похибка обчислення $I_A R$

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

$$= I_A R \sqrt{\left(\frac{0,5}{40}\right)^2 + \left(\frac{0,005}{1,024}\right)^2} = 0,549 \text{ 676 23}.$$

Похибка обчислення знаменника

$$\Delta_{\text{зн}} = \sqrt{\Delta_{I_A R}^2 + \Delta_V^2} = \sqrt{0,549 \text{ 676 23}^2 + 0,45^2} = 0,710 \text{ 382 95}.$$

Похибка обчислення опору вольтметра

$$\Delta_{R_V} = A_{R_V} \sqrt{\left(\frac{\Delta_V}{U_V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{зн}}}{I_A R - U_V}\right)^2} =$$

$$= A_{R_V} \sqrt{\left(\frac{0,45}{20}\right)^2 + \left(\frac{0,005}{1,024}\right)^2 + \left(\frac{0,710 \text{ 382 95}}{0,04 \cdot 1024 - 20}\right)^2} =$$

$$= 40,034 \text{ 618} \approx 4 \cdot 10 \text{ Ом}.$$

Результат вимірювання:

$$R_V = (98 \pm 4) \text{ Ом.}$$

35 Визначити опір R_1 , якщо покази приладів $U_V = 50 \text{ В}$, $I_A = 0,5 \text{ А}$ (рис. П.20). Характеристики приладів: $k_V = 1,5$, шкала 0...75 В; $k_A = 0,5$, шкала 0...1 А. Опір вольтметра $R_V = (40,0 \pm 0,6) \text{ кОм}$. Вихідні дані для формули зв'язку:

$$I_A = \frac{U_V(R_V + R_1)}{R_V R_1}.$$

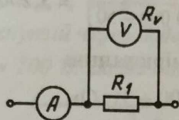


Рис. П.20

Розв'язання

Формула зв'язку:

$$R_1 = \frac{U_V R_V}{I_A R_V - U_V}.$$

Інструментальні похибки приладів:

$$\Delta_V = 1,5 \cdot 75 / 100 = 1,125 \text{ В};$$

$$\Delta_A = 0,5 \cdot 1 / 100 = 0,005 \text{ А.}$$

Найімовірніше значення опору R_1

$$A_{R_1} = \frac{50 \cdot 40\,000}{0,5 \cdot 40\,000 - 50} = 100,250\,62 \text{ Ом.}$$

Похибка обчислення $I_A R_V$

$$\begin{aligned} \Delta_{I_A R_V} &= I_A R_V \sqrt{\left(\frac{\Delta_A}{I_A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{R_V}}{R_V}\right)^2} = 0,5 \cdot 40\,000 \sqrt{\left(\frac{0,005}{0,5}\right)^2 + \left(\frac{0,6}{40}\right)^2} = \\ &= 360,555\,12. \end{aligned}$$

Похибка обчислення знаменника

$$\Delta_{\text{зн}} = \sqrt{\Delta_{I_A R_V}^2 + \Delta_V^2} = \sqrt{360,555 \cdot 12^2 + 1,125^2} = 350,556 \cdot 87.$$

Похибка обчислення R_1

$$\Delta_{R_1} = A_{R_1} \sqrt{\left(\frac{\Delta_V}{U_V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{R_V}}{R_V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{зн}}}{I_A R_V U_V}\right)^2} =$$

$$= A_{R_1} \sqrt{\left(\frac{1,125}{50}\right)^2 + \left(\frac{0,6}{40}\right)^2 + \left(\frac{360}{20\,000 - 50}\right)^2} = 3,256\,602\,3 \approx 3 \text{ Ом.}$$

Результат опосередкованого вимірювання:

$$R_1 = (100 \pm 3) \text{ Ом.}$$