

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ

1 Під час перевірки вольтметра класу точності $k_V = 1,5$ із кінцевим значенням шкали $U_{VH} = 50$ В у точках шкали 10, 20, 30, 40 та 50 В добуто відповідно такі покази зразкового приладу: 9,5; 20,3; 30,5; 40,9; 49,4. З'ясувати, чи зберігся клас точності вольтметра.

Розв'язання

Абсолютна інструментальна похибка вольтметра

$$\Delta_x = \frac{k_V U_{VH}}{100} = \frac{1,5 \cdot 50}{100} = \pm 0,75 \text{ В.}$$

Обчислюємо похибки приладу для вказаних точок шкали:

$$\Delta_1 = 9,5 - 10 = -0,5;$$

$$\Delta_2 = 20,3 - 20 = +0,3;$$

$$\Delta_3 = 30,5 - 30 = +0,5;$$

$$\Delta_4 = 40,9 - 40 = +0,9;$$

$$\Delta_5 = 49,4 - 50 = -0,6.$$

Оскільки $|\Delta_4| > |\Delta_x|$, доводиться констатувати, що клас точності приладу не зберігся.

2 Вольтметр розрахований на вимірювання напруг до $U_{\text{вн}} = 3 \text{ В}$. Власний опір приладу $R_V = 300 \text{ Ом}$. Кількість поділок шкали $N = 100$. Якою буде ціна поділки шкали приладу, якщо використовувати його як міліамперметр?

Розв'язання

Ціна поділки приладу як вольтметра

$$c_V = U_{\text{вн}} / N = 3 / 100 = 0,03 \text{ В/под.}$$

Ціна поділки приладу як міліамперметра

$$c_A = I_{\text{Ан}} / N = U_{\text{Ан}} / (R_V N) = 3 / (300 \cdot 100) = 0,0001 \text{ А/под.} = 0,1 \text{ мА/под.}$$

3 Кількість поділок шкали приладу $\alpha_n = 150$. Яким має бути опір R цього приладу, щоб його можна було використати або як вольтметр (із межею вимірювання $U_{\text{вн}} = 15 \text{ В}$), або як міліамперметр (із межею вимірювання $I_{\text{Ан}} = 7,5 \text{ мА}$)?

Розв'язання

Опір приладу має становити

$$R = U_{\text{вн}} / I_{\text{Ан}} = 15 / (7,5 \cdot 10^{-3}) = 2 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Ціна поділки в разі вимірювання напруги

$$c_V = 15 / 150 = 0,1 \text{ В/под.}$$

Ціна поділки в разі вимірювання струму

$$c_A = 7,5 / 150 = 0,05 \text{ мА/под.}$$

4 Прилад має шкалу $-5 \dots 0 \dots +5 \text{ В}$; його клас точності $k_V = 0,5$. За одноразового прямого вимірювання показ приладу становить $x = 3 \text{ В}$. Записати результат одноразового вимірювання.

Розв'язання

Інструментальна похибка

$$\theta = \frac{k_V N_{VN}}{100} = \frac{0,5 \cdot 10}{100} = 0,05 \text{ В.}$$

Результат вимірювання:

$$U = (3,00 \pm 0,05) \text{ В.}$$

6

Амперметр зі шкалою $I_{\text{ан}} = 20 \text{ А}$ має найбільшу абсолютну похибку $\Delta_A = 0,15 \text{ А}$. Визначити клас точності k_A приладу та відносні похибки на позначках $I_A' = 2 \text{ А}$; $I_A'' = 10 \text{ А}$; $I_A''' = 15 \text{ А}$.

Розв'язання

Оскільки

$$\Delta_A = \frac{k_A I_{\text{ан}}}{100},$$

то клас точності

$$k_A = \frac{100 \Delta_A}{I_{\text{ан}}} = \frac{100 \cdot 0,15}{20} = 0,75 \% \approx 1,0.$$

Відносні похибки:

$$\delta'_A = \frac{\Delta_A}{I'_A} 100 = \frac{0,15 \cdot 100}{2} = 7,5 \%;$$

$$\delta''_A = \frac{\Delta_A}{I''_A} 100 = \frac{0,15 \cdot 100}{10} = 1,5 \%;$$

$$\delta'''_A = \frac{\Delta_A}{I'''_A} 100 = \frac{0,15 \cdot 100}{10} = 1 \%;$$

7 Який має бути клас точності k_V вольтметра з кінцевим значенням шкали $U_{VH} = 100$ В для вимірювання напруги в інтервалі $U_V \dots U_{VH}$ із відносною похибкою не більшою як $\delta_{\%} = 0,5$ %? Значення $U_V = 40$ В.

Розв'язання

Відносна похибка

$$\delta_{\%} = \frac{\Delta_V}{U_V} 100,$$

звідки

$$\Delta_V = \frac{\delta_{\%} U_V}{100} = \frac{0,5 \cdot 40}{100} = 0,2 \text{ В.}$$

Абсолютна похибка

$$\Delta_V = \frac{k_V U_{VH}}{100},$$

тому

$$k_V = \frac{\Delta_V}{U_{VH}} 100 = \frac{0,2 \cdot 100}{100} = 0,2 \%;$$

8 Передаточне число лічильника $A = 640$ об. / (кВт · год). Під час перевірки точності лічильника потужність навантаження становила $P = 1$ кВт; при цьому диск лічильника здійснив $n = 10$ обертів за $t = 55,7$ с. Перевірити, чи відповідає лічильник класу точності **(1,5)**.

Розв'язання

$$A = 640 \text{ об./ (кВт} \cdot \text{год)} = 0,000\,177\,7 \text{ об./ (Вт} \cdot \text{с)}.$$

Номінальна стала лічильника

$$C_0 = 1/A = 1/0,000\,177\,7 = 5\,625,000\,2 \text{ Вт} \cdot \text{с/об.}$$

Дійсна стала лічильника

$$C = Pt/n = 1\,000 \cdot 55,7/10 = 5\,570 \text{ Вт} \cdot \text{с/об.}$$

Відносна похибка лічильника

$$\delta_{\%} = \frac{C_0 - C}{C} 100 = \frac{5\,625,000\,2 - 5\,570}{5\,570} 100 = 0,987\,436\,26 \approx 1 \%$$

Лічильник відповідає класу точності $(1,5)$.

9

У схемі (рис. П.10): $E = 15,1 \text{ В}$; $r_0 = 2 \text{ Ом}$; $R = 100 \text{ Ом}$; $r_V = 12\,000 \text{ Ом}$.

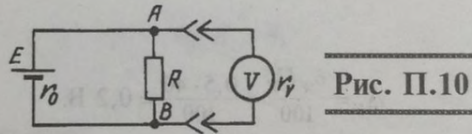


Рис. П.10

Як зміниться різниця потенціалів між точками А та В у разі підмикання до них вольтметра?

Розв'язання

Без вольтметра

$$I_1 = \frac{E}{r_0 + R} = \frac{15,1}{2 + 100} = 0,148\,039\,21 \text{ А};$$

$$U_{AB} = I_1 R = 0,148\,039\,2 \cdot 100 = 14,803\,921 \text{ В.}$$

У разі підмикання вольтметра

$$I_2 = \frac{E}{r_0 + Rr_V/(R+r_V)} = \frac{15,1}{2 + 100 \cdot 12\,000/(100 + 12\,000)} = 0,149\,248\,9 \text{ А};$$

$$U_V = I_2 \frac{Rr_V}{R+r_V} = 0,149\,248\,9 \frac{100 \cdot 12\,000}{100 + 12\,000} = 14,801\,502 \text{ В.}$$

Систематична похибка

$$\Delta_s = U_V - U_{AB} = 14,801\,502 - 14,803\,921 = -0,002\,419 \approx 0,002\,5 \text{ В.}$$

10 У схемі (рис. П.11): $R_1 = 10 \text{ кОм}$; $R_2 = 50 \text{ кОм}$; $U = 120 \text{ В}$. Який має бути внутрішній опір вольтметра, щоб відносна методична систематична похибка вимірювання, спричинена власним споживанням приладу, становила $\delta \leq |-5| \%$?

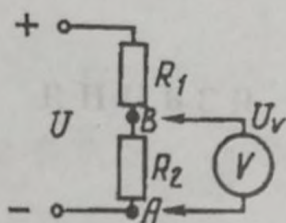


Рис. П.11

Розв'язання

Спад напруги між точками A та B без вольтметра

$$U_{AB} = \frac{U}{R_1 + R_2} R_2 = \frac{120 \cdot 50 \cdot 10^3}{(10 + 50)10^3} = 100 \text{ В.}$$

Спад напруги між точками A та B після підмикання вольтметра

$$\begin{aligned} U_V &= \frac{U \cdot R_2 R_V}{[R_1 + R_2 R_V / (R_2 + R_V)] (R_2 + R_V)} = \frac{U \cdot R_2 R_V}{R_1 R_2 + R_V (R_1 + R_2)} = \\ &= \frac{120 \cdot 50\,000 R_V}{10\,000 \cdot 50\,000 + R_V (10\,000 + 50\,000)} = \frac{600 R_V}{50\,000 + 6 R_V}. \end{aligned}$$

Граничне значення $U_V = 0,95 U_{AB} = 95 \text{ В}$,

тому

$$\frac{600 R_V}{50\,000 + 6 R_V} = 95,$$

звідки

$$R_V = \frac{4\,750\,000}{30} = 158\,333,33 \text{ Ом,}$$

отже,

$$R_V \approx 158 \text{ кОм.}$$

11 Повне відхилення показчика вольтметра відбувається при $U_{VН} = 3 \text{ В}$, тоді струм досягає $I_{VН} = 3 \text{ мА}$ (рис. П.12). Виключити систематичну похибку вимірювання, обчисливши дійсне значення ЕРС, якщо $R = 100 \text{ Ом}$, а показ вольтметра $U_V = 1,35 \text{ В}$.

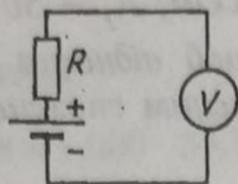


Рис. П.12

Розв'язання

Внутрішній опір вольтметра

$$R_V = U_{VН} / I_{VН} = 3 / 0,003 = 1\,000 \text{ Ом.}$$

Струм у колі

$$I = \frac{E}{R + R_V}.$$

Спад напруги на вольтметрі

$$U_V = IR_V = \frac{ER_V}{R + R_V}.$$

Звідси

$$E = \frac{U_V(R + R_V)}{R_V} = \frac{1,35(100 + 1\,000)}{1\,000} = 1,485 \text{ В.}$$

Методична похибка

$$\Delta_s = U_V - E = 1,35 - 1,485 = -0,135 \text{ В.}$$

12 Термопару мідь—константан (рис. П.13) виготовлено з дротів завдовжки по $l = 1 \text{ м}$ і діаметром $d = 0,51 \text{ мм}$. Напруга на виході схеми вимірюється мілівольтметром зі шкалою від 0 до $U_{VН} = 25 \text{ мВ}$; у разі повного відхилення показчика струм $I_{VН} = 3 \text{ мА}$. Питомий електричний опір ρ , Ом·м, для міді становить 0,0175, для константана — 0,5. Проаналізувати залежність показів приладу U_V від значень термоЕРС e_1 .

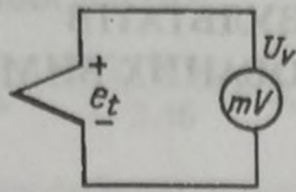


Рис. П.13

Розв'язання

Обчислюємо опір термопар:

$$R = \rho \frac{l}{s} = \rho \frac{4l}{\pi d^2};$$

для міді

$$R_m = 0,0175 \frac{4 \cdot 1}{\pi \cdot 0,51^2} = 0,085665866 \text{ Ом};$$

для константана

$$R_k = 0,5 \frac{4 \cdot 1}{\pi \cdot 0,51^2} = 2,4475962 \text{ Ом}.$$

Загальний опір термопар

$$R_T = R_m + R_k = 2,5332621 \text{ Ом}.$$

Опір мілівольтметра

$$R_{II} = \frac{U_{VH}}{I_{VH}} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-3}} = 8,3333333 \text{ Ом}.$$

Струм у колі вимірювальної схеми

$$I = \frac{e_t}{R_T + R_{II}}$$

Звідси спад напруги на мілівольтметрі

$$U_V = IR_{II} = e_t - IR_T = e_t \left(1 - \frac{R_T}{R_T + R_{II}} \right).$$

Підставивши значення R_T та R_{II} , дістанемо

$$U_V = 0,7668762e_p$$

тому

$$e_t = 1,3039914U_V \approx 1,30U_V.$$