

## Практическая работа по метрологии

### ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЯМЫХ ОДНОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

**Цель работы:** научиться определять абсолютную и относительную погрешность прямых однократных измерений.

1. Стрелочный вольтметр имеет диапазон измерений от 0 до 150 В. Определено, что максимальная абсолютная погрешность измерений равна 0,27 В. Определить класс точности прибора.

Решение

Класс точности определяем по максимальному значению приведенной погрешности.

Приведенную погрешность определяем по формуле [1]:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} 100\%, \quad (1)$$

где  $\Delta$  – абсолютная погрешность;

$X_N$  – нормирующее значение измеряемой величины.

Так как нулевая отметка находится на краю шкалы, то нормирующее значение принимается равным пределу измерения, т.е.  $X_N = 150 \text{ В}$ .

Тогда максимальная приведенная погрешность:

$$\gamma = \frac{0,27}{150} \cdot 100\% = 0,18 \%$$

Полученное значение не совпадает ни с одним из значений стандартного ряда классов точности [1], поэтому класс точности определяем как ближайшее большее значение, то есть 0,2.

Ответ: класс точности равен 0,2.

2. Стрелочный вольтметр имеет диапазон измерений от 0 до 120 В. Класс точности прибора равен 0,5. Определить относительную погрешность прибора в точке 75 В.

Решение

Класс точности вольтметра 0,5. Это означает, что используется прибор, у которого предел допускаемой приведенной погрешности постоянен и выражается формулой (1) [1].

Из формулы (1) выразим абсолютную погрешность:

$$\Delta = \pm \frac{\gamma X_N}{100\%}. \quad (2)$$

Так как нулевая отметка находится на краю шкалы, то нормирующее значение принимается равным пределу измерения, т.е.  $X_N = 120$  В. Тогда:

$$\Delta = \pm \frac{0,5 \cdot 120}{100\%} = \pm 0,6 \text{ В.}$$

Относительную погрешность определяем по формуле:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X} \cdot 100\%, \quad (3)$$

$$\delta = \pm \frac{0,6}{75} \cdot 100\% = \pm 0,8 \text{ \%}.$$

Ответ:  $\delta = \pm 0,8 \text{ \%}$ .

Результат измерения:

$$U = 75,0 \pm 0,6 \text{ В.}$$

3. Эталонный вольтметр имеет диапазон измерений от 0 до 150 В и класс точности 0,2. Поверяемый вольтметр имеет диапазон измерений от 0 до 15 В и класс точности 1,0. Можно ли проводить поверку этого прибора?

### Решение

Класс точности эталонного вольтметра 0,2. Это означает, что используется прибор, у которого предел допускаемой приведенной погрешности постоянен и выражается формулой (1) [1].

Абсолютную погрешность определим по формуле (2).

Так как нулевая отметка находится на краю шкалы, то нормирующее значение принимается равным пределу измерения, т.е.  $X_N = 150$  В. Тогда:

$$\Delta_{\text{э}} = \pm \frac{0,2 \cdot 150}{100\%} = \pm 0,3 \text{ В.}$$

Класс точности поверяемого вольтметра 1,0. Это означает, что используется прибор, у которого предел допускаемой приведенной погрешности постоянен и выражается формулой (1) [1].

Абсолютную погрешность определим по формуле (2).

Так как нулевая отметка находится на краю шкалы, то нормирующее значение принимается равным пределу измерения, т.е.  $X_N = 15$  В. Тогда:

$$\Delta_{\Pi} = \pm \frac{1 \cdot 15}{100\%} = \pm 0,15 \text{ В.}$$

Ответ: поскольку абсолютная погрешность поверяемого вольтметра  $\Delta_{\Pi} = \pm 0,15 \text{ В}$  меньше абсолютной погрешности эталонного вольтметра  $\Delta_{\Sigma} = \pm 0,3 \text{ В}$ , то этим эталонным вольтметром нельзя проводить поверку заданного поверяемого вольтметра.

4. С помощью тестера (мультиметра), работающего в режиме измерения переменного напряжения, получено значение  $Y_{\text{изм}} = 120 \text{ В}$ . Диапазон измерений прибора: от 0 до 150 В. В паспорте указано, что при работе в этом диапазоне относительная погрешность не превышает 2 %. Определить значение абсолютной погрешности.

Решение

Выразим абсолютную погрешность и формулы (3):

$$\Delta = \pm \frac{\delta \cdot X}{100\%}, \quad (4)$$

$$\Delta = \frac{2 \cdot 120}{100\%} = 2,4 \text{ В.}$$

Ответ:  $\Delta = 2,4 \text{ В}$ .

Результат измерения:

$$U = 120,0 \pm 2,4 \text{ В}.$$

5. Стрелочный вольтметр имеет диапазон измерений от 0 до 75 В. Класс точности прибора 0,2. В каком диапазоне измерений относительная погрешность результата измерений не превысит 0,25 %.

Решение

Класс точности вольтметра 0,2. Это означает, что используется прибор, у которого предел допускаемой приведенной погрешности постоянен и выражается формулой (1) [1].

Подставим формулу (2) в формулу (3):

$$\delta = \pm \frac{\gamma X_N}{X}. \quad (5)$$

Так как нулевая отметка находится на краю шкалы, то нормирующее значение принимается равным пределу измерения, т.е.  $X_N = 75 \text{ В}$ . Тогда:

$$\frac{0,2 \cdot 75}{X} \leq 0,25,$$

$$X \geq \frac{0,2 \cdot 75}{0,25},$$

$$X \geq 60 \text{ В.}$$

Ответ: относительная погрешность результата измерений не превысит 0,25 % в диапазоне измерений от 60 до 75 В.

6. При выполнении лабораторной работы по электронике измеряется ток в цепи. Получено значение тока  $I_{\text{изм}} = 2,0 \text{ А}$ . Шкала проградуирована от 0 до 2,5 А; цена деления 0,1 А. На шкале прибора приведен класс точности  $\left( \begin{smallmatrix} 0, \\ - \end{smallmatrix} \right)$ .

Требуется определить абсолютную погрешность измерений.

Решение

Класс точности прибора  $\left( \begin{smallmatrix} 0, \\ - \end{smallmatrix} \right)$ .

Такое обозначение применяют для приборов, у которых предел допускаемой относительной погрешности постоянен во всем диапазоне измерений и его определяют по формуле (3).

Абсолютную погрешность определим по формуле (4).

$$\Delta = \pm \frac{0,2 \cdot 2}{100\%} = \pm 0,004 \text{ А.}$$

Ответ:  $\Delta = \pm 0,004 \text{ А.}$

Результат измерения:

$$I = 2,000 \pm 0,004 \text{ А.}$$

7. При выполнении лабораторной работы по электронике измеряется ток в цепи. Получено значение тока  $I_{\text{изм}} = 2,0 \text{ А}$ . Шкала проградуирована от 0 до 2,5 А; цена деления 0,1 А. Класс точности обозначен 2,0/1,0. Требуется определить погрешность измерений.

Решение

Класс точности обозначен двумя числами 2,0/1,0. Такое обозначение применяют для приборов, у которых погрешность нормирована по двухчленной формуле [1]:

$$\delta = \pm \left[ c + d \left( \left| \frac{X_K}{X} \right| - 1 \right) \right], \quad (6)$$

где  $X_K$  – больший по модулю из пределов измерения;



В данном случае  $c=2,0$ ,  $d=1,0$ , тогда приняв  $X_K = 2,5$  А:

$$\delta = \pm \left[ 2 + 1 \cdot \left( \left| \frac{2,5}{2} \right| - 1 \right) \right] = \pm 2,25 \text{ \%}.$$

Абсолютную погрешность определяем по формуле (4):

$$\Delta = \pm \frac{2,25 \cdot 2}{100\%} = \pm 0,045 \text{ А}.$$

Ответ с учётом правил округления:  $\Delta = \pm 0,04$  А.

Результат измерения:

$$I = 2,00 \pm 0,04 \text{ А}.$$

8. В распоряжении техника имеется прибор комбинированный Ц4354–М1 для измерения силы тока и напряжения постоянного тока, среднеквадратического значения силы и напряжения переменного тока синусоидальной формы, сопротивления постоянному току, электрической емкости. Имеется описание к прибору. Нужно определить, пригоден ли этот прибор для измерения сопротивления изоляции с погрешностью, не превышающей  $\Delta = \pm 100$  кОм. Нормативное значение сопротивления  $R = 2500$  кОм. Значения основных погрешностей выражаются в процентах от нормирующего значения  $X_K$  в виде приведенных погрешностей по формуле:  $\gamma_H = \pm \Delta / X_K 100\%$ .

Прибор имеет 5 поддиапазонов измерения сопротивления: 0...3; 0...30; 0...300; 0...3000; 0...30000кОм; для всех поддиапазонов приведенная погрешность составляет  $\pm 2,5 \%$ .

### Решение

Измеряемое значение сопротивления  $R=2500$  кОм. Для данного значения выбираем поддиапазон измерения 0...3000 кОм.

Абсолютную погрешность определим по формуле (2).

Так как нулевая отметка находится на краю шкалы, то нормирующее значение принимается равным пределу измерения, т.е.  $X_N=3000$  кОм. Тогда:

$$\Delta = \pm \frac{2,5 \cdot 3000}{100\%} = \pm 75 \text{ кОм} < \pm 100 \text{ кОм} .$$

Ответ: этот прибор пригоден для измерения сопротивления изоляции с погрешностью, не превышающей  $\Delta=\pm 100$  кОм.

Результат измерения:

$$R=2500\pm 80 \text{ кОм}.$$

9. Для условий предыдущей задачи определить, пригоден ли этот прибор для измерения сопротивления изоляции с относительной погрешностью, не превышающей  $\pm 5 \%$ .

## Решение

Относительную погрешность определяем по формуле (3):

$$\delta = \pm \frac{75}{2500} \cdot 100\% = \pm 3 \% < \pm 5 \%$$

Ответ: этот прибор пригоден для измерения сопротивления изоляции с относительной погрешностью, не превышающей  $\pm 5 \%$ .

10. Определить, какого класса точности следует взять прибор, чтобы измерить синусоидальное напряжение в сети питания  $(220 \pm 10)$  В.

## Решение

Поскольку конечное шкалы прибора не задана, то класс точности определяем по значению относительной погрешности.

Относительную погрешность определяем по формуле (3):

$$\delta = \pm \frac{10}{220} \cdot 100\% = \pm 4,545 \%$$

Полученное значение не совпадает ни с одним из значений стандартного ряда классов точности [1], поэтому класс точности определяем как ближайшее большее значение, то есть 5.

Ответ: следует взять прибор класса точности  $\textcircled{5}$ .

11. Отчет по равномерной шкале прибора с нулевой отметкой и предельным значением 50 А составил 25 А. Пренебрегая другими видами погрешностей, оценить пределы допускаемой абсолютной погрешности этого отсчета при условии, что класс точности прибора равен 0,02/0,01.

### Решение

Класс точности обозначен двумя числами 0,02/0,01. Такое обозначение применяют для приборов, у которых погрешность нормирована по двухчленной формуле (6) [1].

В данном случае  $c=0,02$ ,  $d=0,01$ , тогда приняв  $X_K = 50$  А:

$$\delta = \pm \left[ 0,02 + 0,01 \cdot \left( \left| \frac{50}{25} \right| - 1 \right) \right] = \pm 0,03 \text{ \%}.$$

Абсолютную погрешность определяем по формуле (4):

$$\Delta = \pm \frac{0,03 \cdot 25}{100\%} = \pm 0,0075 \text{ А}.$$

Ответ с учётом правил округления:  $\Delta = \pm 0,008 \text{ A}$ .

Результат измерения:

$$I = 25,000 \pm 0,008 \text{ A}.$$

12. Отчет по равномерной шкале прибора с нулевой отметкой и предельным значением 50 А составил 25 А. Пренебрегая другими видами погрешностей, оценить пределы допускаемой абсолютной погрешности этого отсчета при условии, что класс точности прибора равен 0,5.

Решение

Класс точности прибора 0,5. Это означает, что используется прибор, у которого предел допускаемой приведенной погрешности постоянен и выражается формулой (1) [1].

Абсолютную погрешность определим по формуле (2).

Так как нулевая отметка находится на краю шкалы, то нормирующее значение принимается равным пределу измерения, т.е.  $X_N = 50 \text{ A}$ . Тогда:

$$\Delta = \pm \frac{0,5 \cdot 50}{100\%} = \pm 0,25 \text{ A}.$$

Ответ с учётом правил округления:  $\Delta = \pm 0,25 \text{ A}$ .

Результат измерения:

$$I = 25,00 \pm 0,25 \text{ A}.$$

Вывод: выполнено решение задач по обработке результатов прямых однократных измерений. Определены абсолютные и относительные погрешность прямых однократных измерений. Записаны результаты измерений.

### Контрольные вопросы

1. Что такое абсолютная погрешность измерения?

Абсолютной погрешностью  $\Delta$ , выражаемой в единицах измеряемой величины, называют отклонение результата измерения  $X$  от истинного  $X_{\text{ист}}$  (или действительного) значения:

$$\Delta = X - X_{\text{ист}}.$$

2. В чем отличие относительной и приведенной погрешности?

Относительная погрешность  $\delta$  есть отношение абсолютной погрешности измерения к истинному (или измеренному) значению измеряемой величины, а приведенной погрешностью  $\gamma$  называют отношение абсолютной погрешности  $\Delta$  к некоторому нормирующему значению  $X_N$  (например, к конечному значению шкалы прибора).

### 3. Как связаны класс точности прибора и погрешность измерения?

Класс точности прибора не является непосредственной оценкой точности измерений, поскольку погрешность зависит ещё от ряда факторов: метода измерений, условий измерений и т.д. Класс точности лишь позволяет судить о том, в каких пределах находится погрешность средства измерений данного типа.

Например, если класс точности задан числом, то нормирована приведенная погрешность, а для вычисления абсолютной погрешности используется формула (2). Если класс точности задан числом в кружочке, то нормирована относительная погрешность, а для вычисления абсолютной погрешности используется формула (4). Если класс точности задан двумя числами разделёнными косой чертой, то нормирована относительная погрешность, а для вычисления абсолютной погрешности используются формулы (6) и (4).

### 4. Какие составляющие включает результат прямого однократного измерения?

Результат прямого однократного измерения включает в себя инструментальную, методическую и личную составляющие погрешности измерения, в каждой из которых могут быть выделены систематические и случайные составляющие.

5. Перечислите правила округления результата измерения.

1) Абсолютная погрешность результата измерения указывается двумя значащими цифрами, если первая из них равна 1 или 2, и одной – если первая есть 3 и более.

2) Среднее значение измеренной величины округляется до того же десятичного разряда, которым оканчивается округленное значение абсолютной погрешности.

3) Округления производится лишь в окончательном ответе.

4) Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов меньше 5, то остающиеся цифры числа не изменяются.

5) Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов больше или равна 5, но за ней следуют отличные от нуля цифры, то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу.

6) Если отбрасываемая цифра равна 5, а следующие за ней цифры неизвестны или равны 0, то последнюю сохраняемую цифру не изменяют, если она четная и увеличивают на единицу, если она не четная.



## Список литературы

1. ГОСТ 8.401-80 Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений.

2. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений.