

Погрешности измерений

РАСОВ Д.Д.

ГПОУ «СЦБТ»

Основная погрешность определяется при нормальных условиях работы измерительного прибора, т.е. при определенных температуре, влажности окружающей среды, давлении, частоте, форме и значении питающего напряжения, а также при его рабочем положении (для электромеханических приборов).

Дополнительная погрешность появляется при отклонении величин, влияющих на результат измерения, от нормальных значений.

Нормальные условия работы для измерительных приборов следующие:

- температура $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность $(60 \pm 15) \%$;
- атмосферное давление (750 ± 30) мм рт. ст.

При работе питание прибора от сети переменного тока напряжение питания может отличаться от нормального (номинального) значения не более чем на $\pm 10 \%$ (198... 242 В) при частоте (50 ± 1) Гц.

Абсолютная погрешность измерения

$$\Delta = |A_{\text{н}} - A|. \quad (2.1)$$

Так как абсолютная погрешность не дает представления о точности измерения, используют *относительную действительную погрешность* измерения (или установки) параметра, %,

$$\gamma_{\text{д}} = \frac{\Delta}{A} 100. \quad (2.2)$$

Относительная приведенная погрешность измерения, %,

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{\Delta_{\text{max}}}{A_{\text{ном}}} 100. \quad (2.3)$$

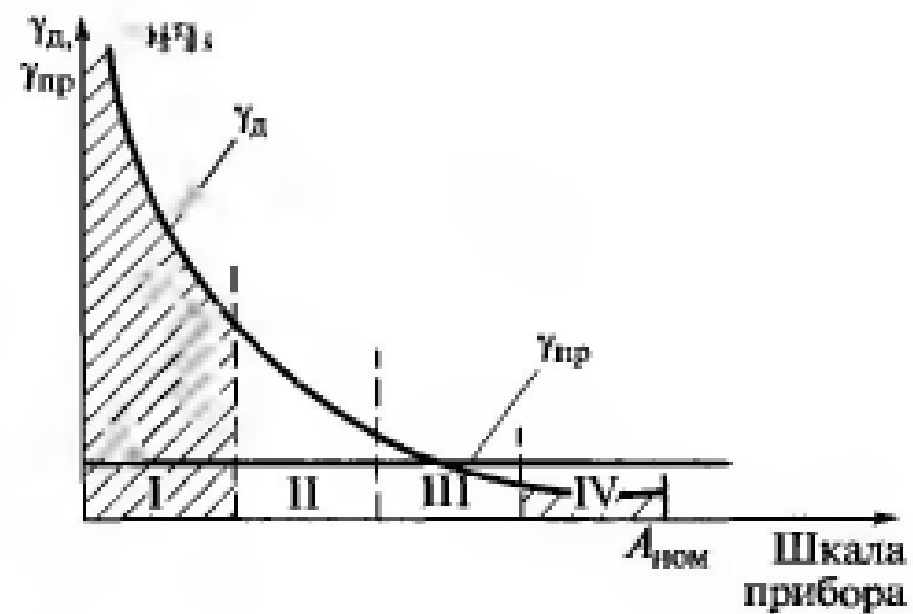


Рис. 2.1. Графики зависимостей γ_d и $\gamma_{пр}$ от положения стрелки измерительного прибора с односторонней шкалой

Если в формулу (2.2) подставить абсолютную погрешность, определенную из выражения (2.3), получим формулу, связывающую γ_d и $\gamma_{пр}$:

$$\gamma_d = \gamma_{пр} \frac{A_{ном}}{A}. \quad (2.4)$$

Большинство радиоизмерительных приборов по классам точности не подразделяются. Значение их абсолютной или относительной погрешности приводится в техническом паспорте в виде конкретной цифры или формулы. Например, в паспорте на низкочастотный генератор ГЗ-107 указана относительная действительная погрешность установки частоты в следующем виде:

$$\gamma_{дF} = \pm \left(3 + \frac{30}{F} \right).$$

Погрешности косвенных измерений определяются по следующей формуле:

$$\gamma_d = |k_1 \gamma_{d1}| + |k_2 \gamma_{d2}| + \dots + |k_n \gamma_{dn}|, \quad (2.5)$$

где k_1, k_2, \dots, k_n — показатели степени (как известно, они могут быть положительными и отрицательными, целыми и дробными); $\gamma_{d1}, \gamma_{d2}, \dots, \gamma_{dn}$ — относительные действительные погрешности результатов прямых измерений.

Необходимо отметить, что относительные действительная и приведенная погрешности могут быть как положительными, так и отрицательными.

На практике формула (2.5) чаще всего ограничивается двумя слагаемыми.

Косвенные измерения основываются на использовании следующих известных зависимостей:

$$U = I^1 R^1, \quad k_1 = 1, k_2 = 1;$$

$$I = \frac{U}{R} = U^1 R^{-1}, \quad k_1 = 1, k_2 = -1;$$

$$R = \frac{U}{I} = U^1 I^{-1}, \quad k_1 = 1, k_2 = -1;$$

$$P = U^1 I^1, \quad k_1 = 1, k_2 = 1;$$

$$P = \frac{U^2}{R} = U^2 R^{-1}, \quad k_1 = 2, k_2 = -1;$$

$$P = I^2 R = I^2 R^1, \quad k_1 = 2, k_2 = 1;$$

$$W_C = \frac{C^1 U_C^2}{2}, \quad k_1 = 1, k_2 = 2;$$

$$W_L = \frac{L^1 I_L^2}{2}, \quad k_1 = 1, k_2 = 2;$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi} L^{-\frac{1}{2}} C^{-\frac{1}{2}}, \quad k_1 = -1/2, k_2 = -1/2;$$

$$F = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{R^{-1}C^{-1}}{2\pi}, \quad k_1 = -1, k_2 = -1.$$

Точность и относительная погрешность измерений связаны между собой обратной зависимостью: $v = 1/\gamma_d$.

Примеры решения задач

Пример 2.1. Измерены два значения напряжения 50 и 400 В вольтметром с номинальным значением 400 В с одной и той же абсолютной погрешностью 1 В. Требуется определить погрешность измерения какого из указанных значений напряжения меньше.

Решение. При определении погрешности измерений необходимо правильно ввести обозначения исходных данных.

Так как измерение напряжений выполняется рабочим вольтметром, в данной задаче

$$U_1 = 50 \text{ В}, U_2 = 400 \text{ В}, \Delta_1 = \Delta_2 = 1 \text{ В}.$$

Вид шкалы вольтметра в условии задачи не указан, следовательно, используется прибор с односторонней шкалой, у которого $A_{\min} = 0$, $A_{\max} = 400 \text{ В}$, поэтому $u_{\text{ном}} = 400 \text{ В}$.

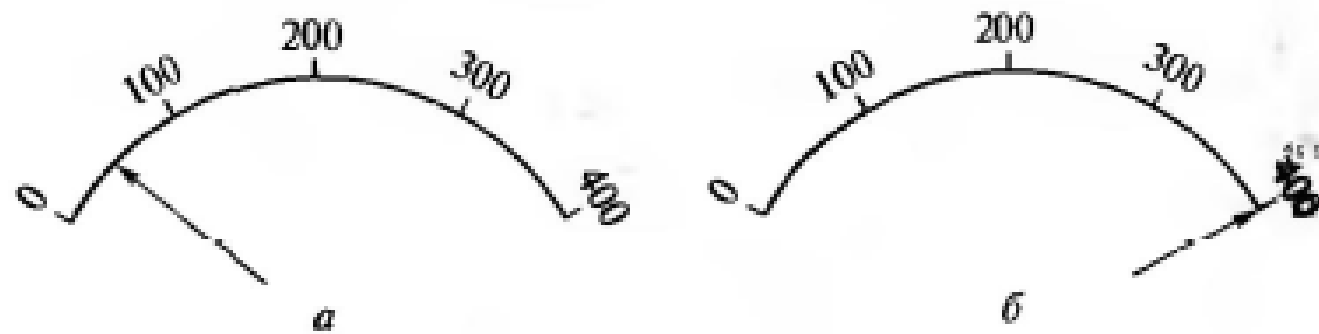


Рис. 2.2. Положения стрелки вольтметра при измерении напряжений 50 (а) и 400 В (б)

Отличие погрешностей измерения одним и тем же вольтметром напряжений 50 и 400 В в 8 раз объясняется с помощью рис. 2.1, т. е. при измерении $U_1 = 50$ В стрелка индикатора вольтметра будет находиться в первой четверти шкалы (рис. 2.2, а), а при измерении $U_2 = 400$ В — в четвертой четверти (рис. 2.2, б).

Пример 2.2. В результате калибровки вольтметра магнитоэлектрической системы со шкалой 0 ... 50 В и шагом шкалы 10 В получены следующие показания образцового вольтметра:

$U, \text{ В}$	0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
$U_{\text{н}}, \text{ В}$	0,2	10,2	19,9	30,3	39,5	50,9

Требуется определить относительную приведенную погрешность измерения и назначить класс точности прибора.

Решение. Для определения $\gamma_{\text{пр}}$ используем формулу (2.3).

Максимальная абсолютная погрешность измерения $\Delta_{\text{гmax}} = 50,9 - 50 = 0,9 \text{ В}$, номинальное напряжение $U_{\text{ном}} = 50 - 0 = 50 \text{ В}$, тогда

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{0,9 \text{ В}}{50 \text{ В}} 100 \% = 1,8 \%$$

Полученное значение не попадает в существующие классы точности прибора, поэтому присваиваем данному вольтметру ближайший больший класс точности — 2,5 %.

Следует отметить, что класс точности прибора, определяя приведенную погрешность, не является непосредственным показателем точности измерений. Для доказательства этого утверждения рассмотрим следующую задачу.

Пример 2.3. Для измерения тока 4 мА имеются два миллиамперметра: первый — класса точности 1 % с верхним пределом 20 мА и второй — класса точности 2,5 % с верхним пределом 5 мА. Требуется определить, каким прибором заданный ток можно измерить с меньшими абсолютной и относительной погрешностями.

Решение. Относительные действительные погрешности измерения определяем по формуле (2.4):

$$\gamma_{д1} = \gamma_{пр1} \frac{I_{ном1}}{I} = 1 \% \frac{20 \text{ мА}}{4 \text{ мА}} = 5 \%;$$

$$\gamma_{д2} = \gamma_{пр2} \frac{I_{ном2}}{I} = 2,5 \% \frac{5 \text{ мА}}{4 \text{ мА}} = 3,125 \%.$$

Следовательно, стрелка второго миллиамперметра (более низкого класса точности) при измерении будет находиться в четвертой четверти шкалы, а стрелка первого миллиамперметра, имеющего класс точности 1 %, — в первой.

Абсолютные погрешности измерения определяем по формуле (2.2):

$$\Delta_1 = \frac{\gamma_{д1} I_1}{100} = \frac{5 \% \cdot 4 \text{ мА}}{100 \%} = 0,2 \text{ мА};$$

$$\Delta_2 = \frac{\gamma_{д2} I_2}{100} = \frac{3,125 \% \cdot 4 \text{ мА}}{100 \%} = 0,125 \text{ мА}.$$

Для пояснения, каким образом в целях получения наименьшей погрешности измерения обеспечивается нахождение стрелки индикатора в четвертой или третьей четверти шкалы, рассмотрим следующий пример.

Пример 2.4. Для измерения напряжения 20 В имеется много-предельный вольтметр с пределами 7,5, 15, 30, 60 В класса точности 0,5 %. Требуется выбрать оптимальный предел измерения вольтметра и оценить погрешность этого измерения. Варианты положения стрелки прибора показаны на рис. 2.3.

Решение. Представим положение стрелки вольтметра в каждом из четырех указанных пределов измерения заданного напряжения.

Оптимальным положение стрелки вольтметра для данного измерения, а следовательно, для обеспечения меньшей погрешности является в пределе 30 В.

По формуле (2.4) находим

$$\gamma_{\text{д}} = 0,5 \% \frac{30 \text{ В}}{20 \text{ В}} = 0,75 \%.$$

Пример 2.5. Требуется определить относительную и абсолютную погрешности установки частоты 90 Гц на генераторе ГЗ-107, если в его паспорте указана $\gamma_{uF} = \pm(3 + 30F)$.

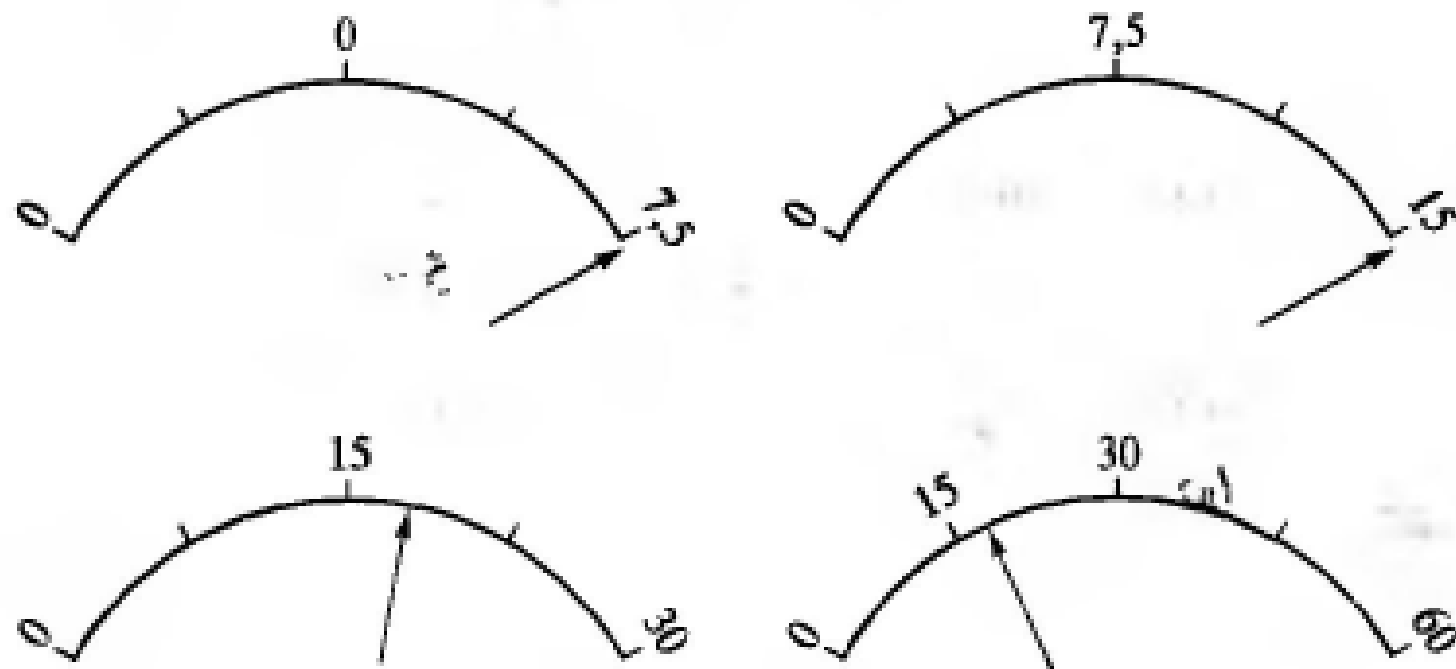


Рис. 2.3. Варианты положения стрелки вольтметра при измерениях в различных пределах

Решение. Относительная погрешность

$$\gamma_{дF} = \pm \left(3 + \frac{30}{90} \right) \approx \pm 3,3 \%$$

Абсолютную погрешность установки частоты 90 Гц определяем из формулы (2.2):

$$\Delta_1 = \frac{\gamma_{дF} F}{100} = \frac{\pm 3,3 \% \cdot 90 \text{ Гц}}{100 \%} \approx 3 \text{ Гц.}$$

Пример 2.6. Определить абсолютную и относительную погрешности установки частоты 200 Гц на генераторе ГЗ-34, если в его паспорте указана $\Delta_F = \pm(1 + 0,02F)$.

Решение. Абсолютная погрешность установки частоты

$$\Delta_F = \pm(1 + 0,02 \cdot 200 \text{ Гц}) = \pm 5 \text{ Гц.}$$

Относительную погрешность установки частоты находим по формуле (2.2):

$$\gamma_{дF} = \frac{\pm 5 \text{ Гц} \cdot 100\%}{200 \text{ Гц}} = \pm 2,5\%.$$

В практике электрорадиоизмерений прибор часто не соответствует установленному заводом-изготовителем классу точности из-за его естественного износа (старения) или вследствие неправильной эксплуатации. В этом случае возможны два варианта действий: замена такого прибора исправным или использование его с учетом графика поправок.

Рассмотрим второй вариант на примере следующей задачи.

Пример 2.7. Имеется миллиамперметр с шагом шкалы 20 мА и номинальным значением 100 мА класса точности 0,2%. Подключением к нему шунта расширили предел измерения до 200 мА. При этом для проверки соответствия измерения заявленному за-
водом классу точности подключили образцовый миллиамперметр и получили следующие показания:

I_1 0; 20; 40; 60; 80; 100 мА;

I_2 0; 40; 80; 120; 160; 200 мА;

I_n 0,2; 40,2; 80,3; 121,5; 161; 202 мА,

а абсолютная погрешность измерения составила: 0,2; 0,2; 0,3; 1,5; 1,0; 2,0 мА.

Требуется рассчитать и построить график поправок для данных измерений.

Решение. Найдем относительную приведенную погрешность по формуле (2.3):

$$\gamma_{пр} = \frac{\Delta_{max}}{I_{ном2}} 100 = \frac{2 \text{ мА} \cdot 100 \%}{200 \text{ мА}} = 1 \%$$

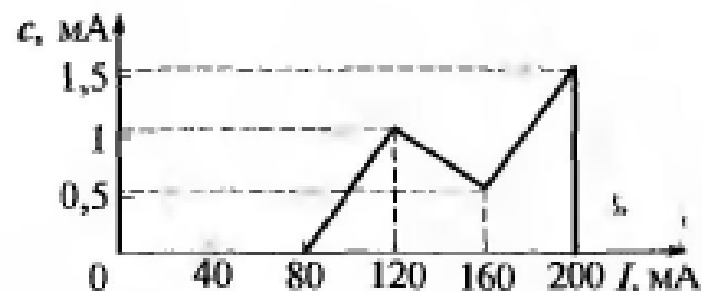


Рис. 2.4. График поправок к примеру 2.7

- Следовательно, класс точности прибора не сохранился (не соответствует заводскому). Для обеспечения возможности дальнейшего использования прибора из формулы (2.3) определим его максимальную допустимую абсолютную погрешность при заводском классе точности 0,2 %:

$$\Delta_{\max} = \frac{\gamma_{\text{пр}} I_{\text{ном2}}}{100} = \frac{200 \text{ мА} \cdot 0,2 \%}{100 \%} = 0,4 \text{ мА}.$$

Так как абсолютная погрешность не постоянна, поправка рассчитывается следующим образом: $c = 0$, если $\Delta \leq \Delta_{\max}$; $c = \Delta - \Delta_{\max}$ если $\Delta > \Delta_{\max}$.

Для рассматриваемого прибора поправки по оцифрованным делениям шкалы составят соответственно: 0; 0; 0; 1,1; 0,6; 1,6, график поправок будет иметь вид, показанный на рис. 2.4.

Проверим правильность полученного графика поправок.

Предположим, что миллиамперметром был измерен ток 160 мА

С учетом поправки $I = 160 + 0,6 = 160,6$ мА.

Абсолютная погрешность $\Delta = I_{н} - I = 161 \text{ мА} - 160,6 \text{ мА} = 0,4 \text{ мА}$

что не превышает рассчитанную Δ_{max} .

Относительная приведенная погрешность

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{0,4 \text{ мА} \cdot 100 \%}{200 \text{ мА}} = 0,2 \%$$

Рассмотрим задачу на косвенные измерения.

Пример 2.8. Измерены напряжение на резисторе 40 В вольтметром с верхним пределом 50 В класса точности 1 % и ток 2 мА миллиамперметром с абсолютной погрешностью 0,1 мА.

Требуется определить сопротивление резистора, а также абсолютную и относительную погрешности полученного измерения.

Решение. Для определения сопротивления резистора используем закон Ома:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{40 \text{ В}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ А}} = 20\,000 \text{ Ом} = 20 \text{ кОм.}$$

Формулу для расчета R перепишем в виде $R = U^1 I^{-1}$, откуда можно записать, что $k_1 = 1$, $k_2 = -1$.

В формулу для определения погрешности косвенных измерений (2.5) вместо γ_{d1} подставим γ_{dU} , так как k_1 относится к напряжению, а вместо γ_{d2} подставим γ_{dI} , так как k_2 относится к току, т. е. запишем

$$\gamma_{dR} = |k_1 \gamma_{dU}| + |k_2 \gamma_{dI}|.$$

Напряжение и ток измерялись прямым методом, следовательно, используя формулы (2.2) и (2.4) для прямых измерений, найдем

$$\gamma_{dU} = \gamma_{пр} \frac{U_{ном}}{U} = 1 \% \frac{50 \text{ В}}{40 \text{ В}} = 1,25 \%;$$

$$\gamma_{dI} = \frac{\Delta I}{I} 100 = \frac{0,1 \text{ мА}}{2 \text{ мА}} 100 \% = 5 \%.$$

Тогда $\gamma_{\Delta R} = |1 \cdot 1,25 \%| + |-1 \cdot 0,5 \%| = 1,75 \%.$

Абсолютную погрешность сопротивления резистора найдем из формулы (2.2):

$$\Delta_R = \frac{\gamma_{\Delta R} R}{100} = \frac{1,75 \% \cdot 20 \text{ кОм}}{100 \%} = 0,35 \text{ кОм.}$$

Задачи для самостоятельного изучения

2.1. Для измерения тока 8 мА использовали многопредельный миллиамперметр с пределами измерения 5; 15; 30; 60 мА, класса точности 0,5 %.

Выбрать оптимальный предел измерения и оценить погрешность выполненного измерения.

2.2. У вольтметра с $U_{\text{ном}} = 30$ В и $\gamma_{\text{пр}} = 1$ % посредством использования добавочного резистора расширили номинальное значение до 60 В. Шкала вольтметра имеет шаг 5 В. При поверке получили следующие показания образцового вольтметра:

U , В	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
$U_{\text{и}}$, В	5,2	10,2	15,3	19,6	25,4	31,0	35,7	40,8	45,5	54,0	56,0	61,0

Рассчитать и построить график поправок для вольтметра при заводском (1 %) классе точности.

2.3. При измерении напряжения постоянного тока цифровым вольтметром В7-16 с пределами 1: 10; 100: 1 000 В получено значение 5,7 В.

Выбрать оптимальный предел измерения и определить абсолютную и относительную погрешности указанного измерения, если в паспорте приведена формула расчета приведенной погрешности

$$\gamma_{\text{пр}} = \pm \left(0,1 + 0,1 \frac{U_{\text{ном}}}{U} \right).$$

2.4. Для измерения напряжения 150 мВ с частотой 100 кГц использовали вольтметр ВЗ-38.

Определить абсолютную и относительную погрешности этого измерения, если в паспорте вольтметра указаны следующие технические характеристики:

а) диапазон измеряемых напряжений от 100 мкВ до 300 В перекрывается следующими пределами:

мВ	1	3	10	30	100	300
В	1	3	10	30	100	300

б) диапазон частот измеряемых напряжений от 20 Гц до 5 МГц;

в) в нормальной области частот от 45 Гц до 1 МГц основная погрешность, выраженная в процентах от конечного значения установленного предела измерения, не превышает $\pm 2,5\%$ в диапазоне 1...300 мВ и 4% в диапазоне 1...300 В;

г) в рабочих областях частот приведенные погрешности прибора не превышает следующих значений:

Предел измерения	Погрешность, %, в диапазоне		
	20...45 Гц	1...3 МГц	3...5 МГц
1...300 мВ	$\pm 4,0$	$\pm 4,0$	$\pm 6,0$
1...300 В	$\pm 4,0$	$\pm 6,0$	$\pm 6,0$

2.5. В результате поверки миллиамперметра класса точности 0,02 %, имеющего $I_{\text{ном}} = 30$ мА и шкалу с шагом 2 мА, получили следующие показания образцового прибора: 2; 4; 5,9; 7,9; 10,1; 12,1; 14,0; 16,1; 17,9; 20,0; 21,9; 24,0; 26,0; 28,15; 30,1.

Оценить соответствие проверяемого миллиамперметра заводскому классу точности, рассчитать и построить график поправок при сохранении указанного класса точности.

2.6. Показание образцового миллиамперметра 1,68 мА, показание рабочего прибора 1,7 мА.

Определить абсолютную и относительную погрешности измерения.

2.7. Рабочий вольтметр с односторонней шкалой и пределом измерений 250 В показал значение 100 В, а образцовый — 102,5 В.

Определить абсолютную и относительную погрешности измерения.

2.8. При проведении градуировки вольтметра с $U_{\text{ном}} = 100$ В оказалось, что его показаниям 6 и 80 В соответствуют показания образцового вольтметра 5 и 79 В.

Определить погрешности этих измерений.

2.9. Определить погрешность установки частоты 15 кГц на генераторе ГЗ-102, имеющем следующие технические характеристики:

а) диапазон генерируемых частот от 20 Гц до 200 кГц, перекрываемый следующими четырьмя поддиапазонами с плавной перестройкой внутри каждого из них:

1-й ($\times 1$) от 20 до 200 Гц,

2-й ($\times 10$) от 200 до 2 000 Гц,

3-й ($\times 10^2$) от 2 000 до 20 000 Гц,

4-й ($\times 10^3$) от 20 000 до 200 000 Гц;

б) в диапазоне 20...20 000 Гц приведенная погрешность по ча-

стоте не превышает значения $\gamma_{пр} = \pm \left(1 \cdot \frac{50}{F} \right)$, где F — устанавли-

ваемая по шкале частота, а в диапазоне 20...200 кГц $\gamma_{пр} = \pm 1,5 \%$.

2.10. При поверке вольтметра магнитоэлектрической системы с $U_{\text{ном}} = 10$ В, имеющего шкалу с шагом 1 В, получили следующие показания образцового прибора: 0,2; 1,2; 2,3; 3,3; 4,4; 5,4; 6,5; 7,5; 8,5; 9,5; 10,5.

Определить приведенную погрешность измерения и построить график поправок при классе точности прибора 4,0 %.

2.11. Миллиамперметр М4201 с верхним пределом 50 мА показал значение 25 мА, а образцовый прибор — 26 мА.

Определить абсолютную и относительную погрешности измерения.

2.12. При определении сопротивления резистора были измерены ток, проходящий через него, — 80 мА прибором с $I_{\text{ном}} = 100$ мА и $\gamma_{\text{пр}} = 1,0$ % и мощность — 0,64 Вт ваттметром с $P_{\text{ном}} = 1$ Вт класса точности 2,5 %.

Рассчитать сопротивление резистора, а также абсолютную и относительную погрешности измерения.

2.13. При измерении значения тока 12 мА использовали два прибора: первый с $I_{\text{ном}1} = 20$ мА и $\gamma_{\text{пр}1} = 1,5\%$, второй с $I_{\text{ном}2} = 100$ мА и $\gamma_{\text{пр}2} = 0,5\%$.

Определить, какой из приборов измерит ток с меньшей погрешностью, и рассчитать абсолютные погрешности.

Вид измерения	Поддиапазоны с верхними пределами, В	Погрешность, %, при частотах					
		свыше 20 Гц до 1к Гц	свыше 1 до 3 к Гц	свыше 3 до 20 кГц	свыше 20 кГц до 50 МГц	свыше 50 до 300 МГц	свыше 300 до 600 МГц
Через входные гнезда	300	±2,0					
С внешним делителем ДН-518 (1 : 1000)	1	±2,0					
С пробником	100	±2,0			±5,0	±10,0	
С внешним делителем ДН-519 (1 : 100)	1,3 и 10	—	±3,0		±10,0		

2.15. При поверке вольтметра со шкалой от 0 до 50 В получили следующие значения абсолютных погрешностей: $-0,1$; $0,2$; $-0,05$; $-0,15$.

Определить приведенную погрешность измерения и назначить класс точности вольтметра.

2.16. Абсолютная погрешность измерений при использовании вольтметра М24-07 постоянна и равна $0,5$ В.

Рассчитать поправку и истинные значения следующих измеренных этим прибором напряжений: 10 , 15 , 20 , 25 , 30 В.

2.17. Частотомером с номинальным значением 100 Гц класса точности $4,0\%$ измерены два значения частоты 20 и 100 Гц.

Определить абсолютные и относительные погрешности измерений.

2.18. Приведенная погрешность электронного вольтметра В3-38 в пределах измерения 1...300 мВ не превышает $\pm 2,5\%$, а в пределах измерения 1...300 В не превышает $\pm 4\%$. Диапазон измеряемых вольтметром напряжений перекрывается следующими пределами: 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ и 1; 3; 10; 30; 100; 300 В.

Определить погрешность измерения напряжения 4 В, выбрав оптимальный предел.

2.19. Определить, с какой абсолютной погрешностью будет установлена частота 1,9 кГц на генераторе ГЗ-7А, имеющем следующие технические характеристики:

а) диапазон генерируемых частот от 20 Гц до 10 МГц, перекрываемый следующими восемью поддиапазонами:

1-й от 20 до 200 Гц,

5-й от 200 до 500 кГц,

2-й от 200 до 2 000 Гц,

6-й от 500 кГц до 1,4 МГц,

3-й от 2 до 20 кГц,

7-й от 1,4 до 4 МГц,

4-й от 20 до 200 кГц,

8-й от 4 до 10 МГц;

б) основная погрешность по частоте не превышает 2 %.

2.20. Вольтметром М4202 измерены два значения напряжения 20 и 100 В с одной и той же абсолютной погрешностью 0,5 В.

Определить, относительная погрешность какого измерения будет меньше.

2.21. При определении мощности были измерены ток 80 мА прибором с $I_{\text{ном}} = 100$ мА и $\gamma_{\text{пр}} = 0,5\%$ и сопротивление 100 Ом с абсолютной погрешностью 1 Ом.

Определить мощность косвенным методом, а также абсолютную и относительную погрешности измерения ее значений.

2.22. На базе микроамперметра магнитоэлектрической системы с $I_{\text{ном}} = 7,5$ мкА и $\gamma_{\text{пр}} = 1,5\%$ выполнена выпрямительная схема. При проверке градуировки этого прибора получены следующие показания образцового микроамперметра: 1,1; 2,3; 3,3; 4,4; 5,0; 6,1; 7,2; 7,5.

Что необходимо сделать, чтобы после подключения выпрямительной схемы микроамперметр имел прежний класс точности?

2.23. Какова погрешность измерения напряжения 5 В вольтметром электромагнитной системы с $U_{\text{ном}} = 50$ В и $\gamma_{\text{пр}} = 2,5\%$?

2.24. Определить абсолютную погрешность установки частоты 3 МГц на генераторе Г4-18А, имеющем следующие технические характеристики:

а) диапазон генерируемых частот от 100 кГц до 35 МГц, покрываемый следующими шестью поддиапазонами:

1-й от 0,1 до 0,3 МГц,

4-й от 3 до 10 МГц,

2-й от 0,3 до 1,0 МГц,

5-й от 10 до 20 МГц,

3-й от 1 до 3 МГц,

6-й от 20 до 35 МГц;

б) погрешность установки частоты не более 1 %.

2.25. Измеренное значение тока 49,9 мА, а его истинное значение 50 мА.

Определить абсолютную и относительную погрешности измерения.

2.26. При проверке миллиамперметра с $I_{\text{ном}} = 10$ мА образцовым прибором получены следующие значения абсолютной погрешности: 0,05; -0,03; 0,04; -0,08; 0,06.

Определить приведенную погрешность и назначить класс точности миллиамперметра.

2.27. Определить, какова должна быть поправка, чтобы вольтметр М4201 с $U_{\text{ном}} = 10$ В имел класс точности 4 %, если при его поверке получены следующие значения:

U , В	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
$U_{\text{н}}$, В	0,2	1,2	2,3	3,3	4,4	5,4	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5

2.28. Определить погрешность измерения напряжения 37,5 В вольтметром электродинамической системы с $\gamma_{\text{пр}} = 4\%$ и следующими пределами измерений: 7,5; 15; 75; 150 В.

2.29. Определить абсолютную погрешность установки частоты 0,06 МГц на генераторе Г4-42, имеющем следующие технические характеристики:

а) диапазон генерируемых частот от 12 кГц до 10 МГц, перекрываемый шестью следующими поддиапазонами:

1-й от 12 до 28 кГц,

4-й от 300 до 1 000 кГц,

2-й от 28 до 85 кГц,

5-й от 1 до 3 МГц,

3-й от 85 до 300 кГц,

6-й от 3 до 10 МГц;

б) погрешность установки частоты не более 1% в диапазоне от 85 кГц до 10 МГц и не более 1,5% в диапазоне от 12 до 85 кГц?

2.30. Для определения электрической энергии в конденсаторе измерили его емкость 20 мкФ с абсолютной погрешностью $0,5 \text{ мкФ}$ и напряжение на нем 9 В вольтметром с $U_{\text{ном}} = 10 \text{ В}$ и $\gamma_{\text{пр}} = 4 \%$.

Рассчитать значение электрической энергии в конденсаторе и абсолютную и относительную погрешности ее измерения.

2.31. На резисторе имеется надпись $510\text{k} \pm 5 \%$. В результате измерения сопротивления этого резистора получено значение 480 кОм .

Определить, входит ли указанное сопротивление в границы допуска.

2.32. В цепи постоянного тока $3,5 \text{ А}$ с напряжением 127 В включенный ваттметр, имеющий $P_{\text{ном}} = 750 \text{ Вт}$, показал значение 456 Вт .

Определить истинное значение мощности в цепи и абсолютную и относительную погрешности ее измерения.

2.33. Выбрать оптимальный предел и определить абсолютную и относительную погрешности измерения напряжения вольтметром ВЛ-38, имеющим следующие пределы: 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ и 1; 3; 10; 30; 100; 300 В, если на частоте 5 МГц получено значение напряжения 14,1 мВ. Приведенные погрешности в рабочих областях частот вольтметра указаны в следующей таблице:

Предел измерения	Погрешность, %, в диапазоне частот		
	20...45 Гц	1...3 МГц	3...5 МГц
1...300 мВ	$\pm 4,0$	$\pm 4,0$	$\pm 6,0$
1...300 В	$\pm 4,0$	$\pm 6,0$	$\pm 6,0$

2.34. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения напряжения 40 мВ на частоте 800 Гц вольтметром типа ВЗ-4 и оптимальный предел измерения при следующих технических характеристиках прибора:

а) диапазон измеряемых напряжений 1...1000 мВ, перекрываемый пятью поддиапазонами с пределами измерения 10; 30; 100; 300; 1000 мВ. Применение внешнего делителя 1:100 повышает предел измерения до 100 В;

б) основная приведенная погрешность для нормальной области частот от 400 Гц до 20 кГц не превышает $\pm 2\%$;

в) приведенная погрешность для рабочих областей частот 20...500 кГц и 40...400 Гц не превышает $\pm 4\%$, для частот от 500 кГц до 5 МГц — $\pm 6\%$, а для частот от 5 до 30 МГц — $\pm 12\%$.

2.35. В цепи постоянного тока с напряжением 20,8 В, внутренним сопротивлением 0,4 Ом и включенным резистором с сопротивлением 10 Ом амперметр показал значение тока 2,02 А.

Определить истинное значение тока в цепи и абсолютную и относительную погрешности его измерения.

2.36. При проверке градуировки шкалы рабочего вольтметра с $U_{\text{ном}} = 100$ В оказалось, что его отсчетам 5 и 70 В соответствуют показания образцового вольтметра 4 и 69 В.

Определить абсолютную и относительную погрешности измерения в обоих случаях.

2.37. Рабочим вольтметром с $U_{\text{ном}} = 50$ В измерили напряжение 40 В, при этом образцовый прибор показал значение 39 В.

Определить абсолютную, относительную действительную, относительную приведенную погрешности измерения и назначить класс точности прибора.

2.38. Частотомером вибрационной системы с безнулевой шкалой 45...55 Гц класса точности 1 % измерили значение частоты 50 Гц.

Определить погрешность измерения.

2.39. Определить абсолютную и относительную приведенную погрешности установки частоты 3 МГц на генераторе Г4-102, имеющем следующие технические характеристики:

а) диапазон генерируемых частот 0,1...50 МГц, перекрываемый восьмью поддиапазонами со следующими граничными частотами:

1-й от 0,1 до 0,18 МГц,

2-й от 0,18 до 0,35 МГц,

3-й от 0,35 до 0,75 МГц,

4-й от 0,75 до 1,7 МГц,

5-й от 1,7 до 4 МГц,

6-й от 4 до 10 МГц,

7-й от 10 до 20 МГц,

8-й от 20 до 50 МГц;

б) основная погрешность установки частоты не превышает 1 %.

2.40. При измерении напряжения 6 В использовали два вольтметра: первый с $U_{\text{ном1}} = 10$ В и $\gamma_{\text{пр1}} = 2,5$ %, второй с $U_{\text{ном2}} = 50$ В и $\gamma_{\text{пр2}} = 1,0$ %.

Определить абсолютную и относительную погрешности измерения напряжения обоими вольтметрами.

2.41. Абсолютная погрешность измерения тока амперметром постоянна и составляет 0,1 мА.

Определить поправку и истинные значения следующих измеренных этим амперметром токов: 5, 6, 8, 10, 11 мА.

2.42. Для определения сопротивления резистора измерили напряжение 40 В вольтметром с $U_{\text{ном}} = 50$ В и $\gamma_{\text{пр}} = 1,0$ % и ток 2 мА миллиамперметром с $I_{\text{ном}} = 3$ мА и $\gamma_{\text{пр}} = 1,0$ %.

Найти сопротивление резистора и абсолютную и относительную погрешности измерения этого сопротивления.

2.43. Цифровым вольтметром В7-16 с пределами измерения 1; 10; 100; 1 000 В измерили напряжение постоянного тока 3 В. В техническом паспорте вольтметра дана формула расчета приведенной погрешности

$$\gamma_{\text{пр}} = \left(0,1 + 0,1 \frac{U_{\text{ном}}}{U} \right).$$

Определить абсолютную и относительную погрешности указанного измерения.

2.44. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения амплитуды импульсного сигнала с напряжением 1 В и частотой следования 1 МГц осциллографом С1-72, имеющим погрешность измерения амплитуд импульсных сигналов в диапазоне от 48 мВ до 60 В с частотой не более 2 МГц при длительности импульсов не менее 0,2 мкс, не превышающую $\pm 10\%$.

2.45. Для определения сопротивления резистора измерили напряжение 40 В вольтметром с $U_{\text{ном}} = 50$ В и $\gamma_{\text{пр}} = 2,5\%$ и мощность 45 Вт ваттметром с $P_{\text{ном}} = 60$ Вт и $\gamma_{\text{пр}} = 4\%$.

Найти сопротивление резистора и абсолютную и относительную погрешности его измерения.

2.46. Абсолютные погрешности измерения напряжения вольтметром Э358 с односторонней шкалой 0...100 В составляют 1,0; -2,5; 0,8; -1,5; -1,75 В.

Определить класс точности этого вольтметра.

2.47. При поверке вольтметра с $U_{\text{ном}} = 15$ В и $\gamma_{\text{пр}} = 1,0\%$ получили следующие показания образцового прибора:

$U, \text{В}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$U_{\text{ном}}, \text{В}$	1,1	1,9	3,2	4,1	4,9	5,8	7,3	8,3	9,0	10,1	11,2	11,96	13,1	14	15,05

Определить, соответствует ли прибор заводскому классу точности, и построить график поправок, необходимый для сохранения этого класса точности.

2.48. Определить абсолютную и относительную действительные погрешности установки частоты 8 кГц на генераторе ГЗ-34, имеющем частотный диапазон от 20 Гц до 20 кГц, если в его паспорте указана формула абсолютной погрешности $\Delta_f = \pm(0,02F + 1)$ Гц.

2.49. Определить погрешность измерения частоты синусоидального сигнала 0,1 Гц частотомером ЧЗ-54, если время счета составляет 1 мс, а время работы частотомера 11 месяцев. При этом относительная погрешность измерения частоты синусоидальных и импульсных сигналов данным частотомером находится в пределах значений, рассчитываемых по формуле

$$\gamma_{df} = \pm \left(\gamma_0 \frac{1}{F t_{\text{сч}}} \right),$$

где γ_0 — относительная погрешность по частоте внутреннего кварцевого резонатора, составляющая не более $\pm 1,5 \cdot 10^{-7}$ в течение первого месяца, $\pm 2,5 \cdot 10^{-7}$ в течение шести месяцев и $\pm 5,0 \cdot 10^{-7}$ в течение 12 месяцев; F — измеряемая частота, Гц; $t_{\text{сч}}$ — время счета, с.

2.50. Абсолютная погрешность измерения напряжений 10, 20, 30, 40, 50, 60 В постоянна и составляет 0,3 В.

Определить поправку и истинные значения измеренных напряжений.

2.51. Для определения мощности были измерены напряжение на резисторе 40 мВ вольтметром с $U_{\text{НОМ}} = 50$ мВ и $\gamma_{\text{пр}} = 0,1\%$ и сопротивление этого резистора 10 Ом с абсолютной погрешностью 0,05 Ом.

Найти мощность, выделяемую на резисторе, и абсолютную и относительную погрешности измерения этой мощности.

2.52. У миллиамперметра с $I_{\text{ном}} = 100$ мА и $\gamma_{\text{пр}} = 0,02\%$ (шкала с шагом 20 мА) с помощью шунта расширили предел измерения до 300 мА. При проверке градуировки миллиамперметра с помощью образцового прибора получили следующие значения $I_{\text{н}}$: 0; 60,1; 118,2; 179,5; 242,5; 303 мА.

Определить, соответствует ли миллиамперметр заводскому классу точности после подключения шунта, и пояснить, что необходимо сделать, чтобы у прибора остался прежний класс точности.

2.53. Каковы абсолютная и относительная погрешности измерения частоты 100 кГц аналоговым частотомером, имеющим одностороннюю шкалу с $F_{\text{ном}}$, равной 10; 20; 50; 100; 200; 500 кГц, и класс точности 1%?

2.54. Определить погрешность и оптимальный предел измерения напряжения 0,5 В с частотой 0,8 МГц вольтметром ВЗ-13 при следующих его технических характеристиках:

а) пределы измерения напряжений 3; 10; 30; 100; 300 мВ и 1; 3; 10; 30; 100; 300 В;

б) частотный диапазон измеряемых напряжений от 20 Гц до 1 МГц;

в) приведенная погрешность прибора в пределе от 3 мВ до 1 В в диапазоне частот от 20 Гц до 1 МГц и в пределе от 3 до 300 В в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц не превышает $\pm 4\%$, а в пределе от 3 до 300 В в диапазоне частот от 20 кГц до 1 МГц — $\pm 6\%$.

2.55. Измеренное значение тока 10 мА, истинное — 10,8 мА, а номинальное значение прибора с односторонней шкалой 25 мА.

Определить абсолютную и относительные погрешности измерения и назначить класс точности прибора.

2.56. При определении резонансной частоты контура были измерены индуктивность катушки 300 мГн с абсолютной погрешностью 10 мГн и емкость конденсатора 300 пФ с абсолютной погрешностью 16 пФ.

Определить резонансную частоту и абсолютную и относительную погрешности ее измерения.

2.57. Для измерения тока 15 мА использовали два прибора: первый с $I_{\text{ном1}} = 20$ мА и $\gamma_{\text{пр1}} = 1,5\%$, а второй с $I_{\text{ном2}} = 100$ мА и $\gamma_{\text{пр2}} = 0,5\%$.

Определить, какой прибор имеет меньшую погрешность измерения.

2.58. Выбрать оптимальный предел и рассчитать абсолютную и относительную погрешности измерения напряжения 12,8 мВ с частотой 2,9 МГц вольтметром ВЗ-38, имеющим пределы измерения 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ и 1; 3; 10; 30; 100; 300 В при следующих значениях приведенной погрешности:

Предел измерения	Погрешность, %, в диапазоне частот		
	20... 45 Гц	1... 3 МГц	3... 5 МГц
1... 300 мВ	±4	±4	±6
1... 300 В	±4	±4	±6

2.59. Определить абсолютную и относительную погрешности установки частоты 1 МГц на генераторе, имеющем следующие технические характеристики:

а) диапазон генерируемых частот от 100 до 25 000 кГц, перекрываемый восьмью поддиапазонами со следующими граничными частотами:

1-й от 100 до 180 кГц,	5-й от 1 400 до 2 800 кГц,
2-й от 180 до 350 кГц,	6-й от 2 800 до 5 800 кГц,
3-й от 350 до 700 кГц,	7-й от 5 800 до 12 000 кГц,
4-й от 700 до 1 400 кГц,	8-й от 12 000 до 25 000 кГц;

б) основная погрешность установки частоты ±1 %?

2.60. Микроамперметр с пределами измерения 1,5; 7,5; 15; 60 мкА класса точности 0,2% показывает значение тока 1,2 мкА.

Каковы оптимальный предел для проведения данного измерения и его абсолютная и относительная погрешности?

2.61. Каковы границы значений сопротивления резистора с надписью 470 к $\pm 5\%$?

2.62. Для определения электрической энергии в конденсаторе измерили емкость 10 мкФ с абсолютной погрешностью 0,5 мкФ и напряжение на нем 18 В вольтметром с $U_{ном} = 20$ В класса точности 4%.

Рассчитать значение электрической энергии и абсолютную и относительную погрешности измерения.

2.63. Каковы абсолютная и относительная погрешности измерения напряжения переменного тока 10 В вольтметром В7-26 с приведенной погрешностью $\pm 2,5\%$ и пределами измерения 1; 3; 10; 30; 100; 300 В?

2.64. Определить абсолютную погрешность измерения амплитудного значения напряжения 1 В осциллографом, имеющим следующие технические характеристики:

- а) диапазон амплитуд напряжения входного сигнала от 50 мВ до 1,5 В;
- б) погрешность измерения амплитуды не более $\pm 10\%$;
- в) погрешность измерения временных интервалов не более $\pm 10\%$.

2.65. Для определения сопротивления резистора прибором с $I_{\text{ном}} = 100$ мА и $\gamma_{\text{пр}} = 1,0\%$ измерили ток, проходящий через резистор, 80 мА и ваттметром с $P_{\text{ном}} = 1$ Вт и $\gamma_{\text{пр}} = 2,5\%$ мощность потерь 0,64 Вт.

Рассчитать сопротивление резистора и абсолютную и относительную погрешности.

2.66. Для определения магнитной энергии катушки индуктивности измерили индуктивность 50 мГн с абсолютной погрешностью 0,5 мГн, ток 40 мА амперметром с $I_{\text{ном}} = 50$ мА и $\gamma_{\text{пр}} = 0,5\%$.

Рассчитать магнитную энергию W_L и абсолютную и относительную погрешности.

2.67. Многопредельный вольтметр М2001 с пределами измерений 0,3; 1,5; 7,5; 15; 75; 150 В класса точности 1,5% показал значение напряжения 16 В.

Рассчитать абсолютную и относительную погрешности измерения этого напряжения.

2.68. Определить абсолютную и относительную приведенную погрешности установки частоты 15 МГц на приборе СЗ-3, имеющем следующие технические характеристики:

а) диапазон частот от 150 кГц до 30 МГц, разделенный на пять следующих перекрываемых поддиапазонов:

1-й от 0,15 до 0,9 МГц,

4-й от 6,0 до 13,5 МГц,

2-й от 0,9 до 2,5 МГц,

5-й от 13,5 до 360 МГц.

3-й от 2,5 до 6,0 МГц,

б) погрешность установки частоты не более $\pm 6\%$.

2.69. Миллиамперметром класса точности 4 %, имеющим шкалу от нуля до 100 мА, измерены два значения тока: 20 и 100 мА. Определить абсолютную и относительную погрешности эти измерений.

2.70. При измерении напряжения вольтметром со шкалой от нуля до 60 В были получены пять значений абсолютных погрешностей: 1,0; -2,5; 0,8; -1,5; -1,75 В.

Определить приведенную погрешность и пояснить, что необходимо сделать, чтобы вольтметр соответствовал девятому классу точности (4 %).

2.71. Вольтметром ВЗ-43 с пределами измерения 10; 30; 100 мВ и 0,3; 1; 3 В с приведенной погрешностью $\pm 2,5\%$ в частотном диапазоне от 20 Гц до 100 кГц измерено напряжение 15 мВ.

Рассчитать абсолютную и относительную погрешность измерения этого напряжения.

2.72. Определить абсолютную погрешность измерения напряжения 5 В осциллографом С1-67, имеющим следующие технические характеристики:

а) обеспечение возможности наблюдения формы импульсов полярностей в диапазоне от 5 мВ до 300 В;

б) погрешность измерения напряжения в условиях эксплуатации не более $\pm 12\%$?