МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Сарапульский политехнический институт (филиал)

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования

"Ижевский государственный технический университет имени М.Т.Калашникова" (СПИ (филиал) ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М.Т.Калашникова)

**СБОРНИК ЗАДАЧ ПО РАСЧЕТУ**

**ПОГРЕШНОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Методические указания

* упражнениям и самостоятельной работе по дисциплинам «Метрология, стандартизация и сертификация»,

«Метрология, стандартизация и

технические измерения» и

«Метрология, стандартизация и сертификация в инфокоммуникациях» для студентов направлений:

230100.62 «Информатика и вычислительная техника», 210200.62 «Конструирование и технология электронных средств», всех форм обучения

Сарапул

2014

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **ОГЛАВЛЕНИЕ** |  |
|  | **ВВЕДЕНИЕ** | 4 |
| 1. **ОКРУГЛЕНИЕ И ЗАПИСЬ РЕЗУЛЬТАТОВ** | | 5 |
|  | **Примеры** | 6 |
|  | **Задачи для самостоятельного решения** | 6 |
| 2. | **ОЦЕНКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ** | 8 |
|  | **Примеры** | 8 |
|  | **Задачи для самостоятельного решения** | 10 |
| 3. | **ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОДНОКРАТНЫХ** | 12 |
|  | **ИЗМЕРЕНИЙ** |  |
| 3.1 | **Прямые измерения** | 12 |
|  | **Примеры** | 12 |
|  | **Задачи для самостоятельного решения** | 16 |
| 3.2 | **Косвенные измерения** | 20 |
|  | **Примеры** | 20 |
|  | **Задачи для самостоятельного решения** | 21 |
| 4. | **ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЯМЫХ** | 24 |
|  | **МНОГОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ** |  |
|  | **Примеры** | 24 |
|  | **Задачи для самостоятельного решения** | 25 |
|  | **Литература** | 26 |
|  | **Приложение 1** | 27 |
|  | **Приложение 2** | 27 |
|  | **СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ** | 28 |

2

**ВВЕДЕНИЕ**

Результат измерения любой физической величины обязан включать и н-

формацию о точности полученного значения. Для этого производится оцен и-вание погрешности, базирующееся на расчете характеристик погрешности измерения исходя из имеющихся сведений об объекте измерения и испол ьзу-емых средствах измерений.

В зависимости от преоблада ния систематической или случайной соста в-

ляющей погрешности используют измерения соответственно с однократн ы-ми или многократными наблюдениями. Потому выбранная методика измер е-ний определяет и способ оценивания погрешностей.

В представленных методических ука заниях рассматриваются задачи по

расчету характеристик погрешностей измерений с однократными наблюд е-

ниями и многократными. В качестве таких характеристик, чаще всего, и с-

пользуются симметричные доверительные интервалы для заданных значений доверительной вероятности.

Предлагаемые методические указания предназначены для студентов, из у-чающих методику метрологических расчетов в рамках ДН(М) «Метрология, стандартизация и сертификация» и «Метрология, стандартизация и технич е-ские измерения».

В силу ограниченност и учебного времени, в методиках расчетов допущ е-

ны некоторые упрощения. Так при определении границ доверительных и н-тервалов погрешностей для доверительной вероятностей 0,95 и 0,99 испол ь-зуется ограниченное число дополнительных влияющих факторов. Из методик

расчетов устранены проверки гипотез о принадлежности результатов но р-

мальному распределению.

3

1. **ОКРУГЛЕНИЕ И ЗАПИСЬ РЕЗУЛЬТАТОВ**

В соответствии с Рекомендацией МИ 1317-2004 [1] совместно с резуль-татом измерений представляют характеристики его погрешности:

а) именованным числом, например

* результат измерения температуры составил *T*=35,74±0,04ºС;
* результат измерения мощности составил *P*=563,5·102±1,8·102 Вт;

б) неименованным числом, например

* результат измерения добротности составил *Q*=45,0±0,3;
* результат измерения числа импульсов составил *N*=1144,0±1,2.
  + примерах значащие цифры числа – все цифры от первой слева, н е-

равной нулю, до последней справа. При этом нули, следующие из множит еля 10, не учитывают. Так:

а) число 45,0 имеет три значащие цифры (4, 5 и 0); б) число 30 имеет две значащие цифры (3 и 0);

в) число 563,5·10*n* имеет четыре значащие цифры (5, 6, 3 и 5); г) 0,514·10*n* имеет три значащие цифры (5, 1 и 4);

д) 0,0056 имеет две значащие цифры (5 и 6).

Значение погрешности, как правило, вычисл яют, а потому результат может содержать значительное число знаков. Поэтому в соответствии с Ре-

комендацией МИ 1317-2004 [1] «характеристики погрешности и их статист и-

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ческие оценки выраж ают числом, содержащим не более двух | | | значащих |
|  |  |  |  |
| цифр…» В многолетней практике обычных измерений сложилось | | | [2], что |

обозначение погрешности с одной значащей цифрой *оптимально* осуществ-лять, если первая из них (слева) равна 3 и более. При этом ряд применимых значений погрешностей имеет вид: 0,10 –0,12–0,14–0,18–0,20–0,25–0,30–0,35– 0,40–0,45–0,50–0,6–0,7––0,8–0,9–1,0.

При окончательной записи результата измерений (согласно МИ 1317-

2004) его наименьшие разряды числовых значений принимают т акими же,

как и наименьшие разряды числовых значений СКО абсолютной погрешн о-

4

сти измерений или числ овых значений границ, в которых находится абс о-лютная погрешность измерений.

**Примеры**

- если результат измерения составил 4,57, а рассчитанное значение погре ш-

ности ±0,0374 единицы, то окончательная запись результата 4,57±0,04;

- если результат измерения составил 8,12 В, а рассчитанное значение п о-

грешности ±0,374 В, то окончательная запись результата 8,12±0,35 В;

* если результат измерения 8379 кГц, а рассчитанное значение погрешности

±1,31 кГц, то окончательная запись результата 8379±1кГц;

**-** если результат вычисления сопротивления составил*R*=19,82256Ом,а в ы-численное значение погрешности ∆*R*=±0,43293 Ом, то результат *оптимально* записать как *R*=19,82±0,45 Ом.

* если результат расчета мощности составил *P*=56354 Вт, а вычисленное значение погрешности ∆*P*=±158 Вт, то результат *P*=563,5·102±1,6·102 Вт

**Задачи для самостоятельного решения**

1.1 Округлите в соответствии с правилами округления следующие числа, согласно условий по вариантам согласно таблицы 1.

Варианты заданий для подстановки в условие задачи 1.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | Таблица 1 | |  |
|  |  |  |  |  |
| Вариант | Числа | Условие |  |
| 1 | 148935; 535; 3455 | до 5 значащих цифр |  |  |
| 2 | 1234,50; 8765,49; | до целого |  |  |
|  | 43210,500 |  |  |  |
| 3 | 6783,6; 5499,7; 12,34501 | до 4 значащих цифр |  |  |
| 4 | 2,54499; 5354; 3455 | до 3 значащих цифр |  |  |
| 5 | 12,34·101; 33,499; 21,549 | до целого |  |  |
| 6 | 8,45; 99,6; 4,3501 | до 2 значащих цифр |  |  |
| 7 | 499935; 23; 3455 | до 3 значащих цифр |  |  |
| 8 | 1234,5·10-1; 4765,491; | до целого |  |  |
|  | 43210,501 |  |  |  |
| 9 | 8637,495; 9999,9; 45,501 | до 4 значащих цифр |  |  |
| 10 | 2,54499; 5354; 3455·102 | до 2 значащих цифр |  |  |
| 11 | 148935; 535; 3455 | до 4 значащих цифр |  |  |
| 12 | 0,50; 99,49; 43210,999 | до целого |  |  |

5

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 13 | 6783,6; 5499,7; 12,34501 | до 2 значащих цифр |
| 14 | 2,54499; 5354; 3455 | до 2 значащих цифр |
| 15 | 0,34·101; 0,499; 1,4999 | до целого |
| 16 | 8,45001; 99,66; 4,3501 | до 3 значащих цифр |
| 17 | 499935; 23,451; 3455 | до 3 значащих цифр |
| 18 | 134,5·10-1; 645,491; 10,501 | до целого |
| 19 | 37701,495; 19999,9; 54,501 | до 4 значащих цифр |
| 20 | 2,54499; 5354; 3455·102 | до 3 значащих цифр |

1.2 Результат измерения составил *Х*. Вычисленное значение погрешности составило *Y*. Записать результат измерения с учетом Рекомендации МИ 1317-2004. Выбор заданий осуществлять согласно вариантам, приведенным в та б-лице 2.

Варианты заданий для подстановки в условие задания 1.2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | Таблица 2 | |
| Вари- | *Х* | *Y* |  |
| ант |  |  |  |
| 1 | 2 | 3 |  |
| 1 | Частоты *f*=19,822 кГц | ∆*f*=±0,0329 кГц |  |
| 2 | Напряжения *U*=5,453 В | ∆*U*=±0,09449 В |  |
| 3 | Силы тока *I*=0,037 A | ∆*I*=±3,249·10-2 кГц |  |
| 4 | Мощности *P*=753 Вт | ∆*P*=±1,449 Вт |  |
| 5 | Периода *Т*=374738 мкс | ∆*Т*= ±12,439 мкс |  |
| 6 | Емкости *С*=102,3 пФ | ∆*С*=±0,149 пФ |  |
| 7 | Индуктивности *L*=98,5 мкГн | ∆*L*=±0,0494 мкГн |  |
| 8 | Добротности *Q*=37,5 | ∆*Q*=±0,249 |  |
| 9 | Сопротивления *R*=158,6554 кОм | ∆*R*=±0,009148 кОм |  |
| 10 | Коэффициента усиления *К*=34,51 | ∆*К*=±0,188 |  |
| 11 | Силы *F*=132,083·102 Н | ∆*F*=±1,551 Н |  |
| 12 | Заряда *q*=0,573 Кл | ∆*q*=±0,05669 Кл |  |
| 13 | Температуры *t*=20,052 °C | ∆*t*=±2,49·10-2 °C |  |
| 14 | Скорости *V*=49,554 м/с | ∆*V*=±0,5499 м/с |  |
| 15 | Длины *l*=374,738 м | ∆*l*= ±566·10--5 м |  |
| 16 | Массы *m*=2,3351 кг | ∆*m*=±495,4·10-6 кг |  |
| 17 | Напряжения *U*=98,53 мкВ | ∆*U*=±0,4929 мкВ |  |
| 18 | Сопротивления *R*=37,54 Ом | ∆*R*=±0,459 Ом |  |
| 19 | Интервала времени *τ*=158,65 с | ∆τ=±0,0958 с |  |
| 20 | Силы тока *I*=4,51 мкА | ∆*I*=±0,8481 мкА |  |

6

1. **ОЦЕНКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ Примеры**

2.1 Определите действительное значение тока *Ι* в электрической цепи, е с-ли стрелка миллиамперметра отклонилась на α = 37 делений, цена деления *СI*

* 2 мА/дел., а поправка для этой точки ∇ = -0,3 мА.

*Решение*:

С учетом поправки *I* = *CI* ⋅α +∇,

подставив числовые значения, получим *Ι* = 2⋅37 + (-0,3) = 73,7 мА. *Ответ*: 73,7мА

2.2 Оценить систематическую погрешность измерения напряжения исто ч-ника ЭДС, обусловленную наличием внутреннего сопротивления вольтметра. Внутреннее сопротивление источни ка *R*ЭДС=50 Ом; сопротивление вольтме т-ра *RV*=5 кОм; показание вольтметра *U*ИЗМ=14,4 В.

*Решение*:схема электрическая цепи будет

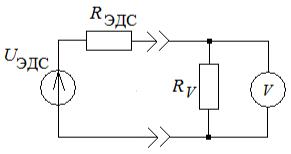


Рис. Схема электрическая цепи источника и вольтметра

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Здесь *U*ИЗМ | | = | *RV* | | ⋅*U X* .Отсюда | | | | |  |  |  |  |  |
|  | *RV* + *R*ЭДС | |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *U X* | = | *U* ИЗМ⋅(*RV* | + *R*ЭДС) | | =*U* ИЗМ +*U* ИЗМ | | ⋅ | *R*ЭДС | | . |  |  |  |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | *RV* | |  |  |  |  | *RV* | | |  |  |  |  |  |
|  | Систематическая поправка будет | | | | | | ∇ = | | *R*ЭДС | | ⋅*U*ИЗМ = | 50 | ⋅14,4 = 0,144 | В |  |
|  | *RV* | | 5000 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

*Ответ*:систематическая составляющая∇=0,14В

7

2.3 Условное обозначение класса точности прибора 0,05/4·10 -3, измерен-ное значение сопротивления резистора равно *RX*=150 Ом, предельное знач е-ние шкалы прибора *R*K=500 Ом. Оценить относительную и абсолютную п о-грешности измерения.

*Решение*:

Согласно ГОСТ 8.401 -80 [3] п ределы допускаемой относительной п о-грешности устанавливают, в том числе, по формуле

* *cd X* K1,
  + =±+⋅−

*xx*



где δ – пределы допускаемой относительной основной погрешности, %;

– пределы допускаемой абсолютной погрешности, выраженной в ед и-ницах измеряемой величины на входе (выходе) или условно в делен иях шкалы;

1. – значение измеряемой величины на входе (выходе) СИ или число дел е-ний, отсчитанных по шкале, принимаем равным *RX* ;

*X*K–больший(по модулю)из пределов измерений,принимаемы й равным *R*К;

*c, d* – положительные числа, выбираемые из ряда, условно обознача ющие класс точности прибора и представляемые через косую черту (*c*/*d*).

Найдем относительную погрешность

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | −3 |  |  | 500 | | |  | = ±(0,05 + 0,004⋅2,33)= ±0,059 % . |  |
| δ = ± | 0,05 + 4⋅10 |  |  |  |  |  |  | −1 |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | 150 | |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| Найдем величину | | | |  |  | из выражения | | | |  |

* δ ⋅ *RX* , = ±0,059 ⋅150 /100 = ±0,0885 ≈ ±0,089 Ом.

*Ответ*:δ=±0,059%,∆=±0,089Ом

2.4 Необходимо измерить ток *I* = 7 А. Имеются два амперметра: первый класса точности γ 1=0,5 имеет верхний предел измерения *I*1K=30 А, второй

8

класса точности γ2=2,0 имеет верхний предел измерения *I*2K=10 А. Определи-те, у какого прибора ниже предел допускаемой основной относительной п о-

грешности, и какой прибор выго днее использовать для заданного измерения тока.

*Решение*:

Пределы допускаемых основных погрешностей равны *I* =γ⋅ *IN* ,

где *IN* – нормирующее значение, в качестве которого выступают верхние пре-делы измерений, заданные по условию как *I*1K и *I*2K.

При измерении амперметром класса γ1=0,5 и γ2=1,5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I*1 |  | 0,5⋅ | 30 | |  | = ±0,15 А, | *I* 2 |  | 2,0 ⋅ | 10 | |  | = ±0,2 А. |  |
| = ± |  |  |  | = ± |  |  |  |  |
| 100 | | 100 | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Наибольшие относительные погрешности прибора при измерении зада н-

*I*



ного тока равны δ = *I* ⋅100, %.



Тогда при использовании амперметра класса 0,5 и 2,0

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| δ1 = |  | 0,15 |  | ⋅100 = 2,1%, δ2 = |  |  | 0,2 |  |  | ⋅100 = 2,8% |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 7 |  |  | 7 | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

*Ответ*:при измерении тока *I*=7А выгоднее с точки зрения точности и с-пользовать прибор класса 0,5 с верхним пределом измерения 30 А.

**Задачи для самостоятельного решения**

Для выбора варианта задания используйте таблицу 3 в Приложении 1

1.5 Микровольтметр с максимальным показанием *UMAX* имеет равноме рную

шкалу в *N* делений, его класс точности обозначен γ. Определить цену дел е-

ния и пределы абсолютной допускаемой погрешности.

1. *UMAX* =100мкВ; *N*=200;γ=0,1
2. *UMAX* =10В; *N*=100;γ=1,5
3. *UMAX* =3В; *N*=150;γ=2

2.6 В цепь с последовательным включением сопротивления *R* и источника ЭДС *E* с внутренним сопротивлением *r* включили амперметр, сопротивление

9

которого *RI* . Опред елить показание амперметра, вычислить относите льную погрешность, обусловленную отличием сопротивления амперметра от нуля.

1. *R*=100Ом; *E*=10В; *r*=2Ом; *RI* =0.5Ом.
2. *R*=10кОм; *E*=0,3В; *r*=1Ом; *RI* =0.1Ом.
3. *R*=1кОм; *E*=0,1В; *r*=0,1Ом; *RI* =1Ом.

2.7 К источнику ЭДС напряжением *E* с внутренним сопротивлением *r* присо-

единен вольтметр с входным сопротивлением *RV*. Определить показ ание вольтметра, классифицировать и оценить погрешность измерения, обусло в-ленную наличием внутреннего и входного сопротивлений

1. *E*=10В; *r*=2Ом; *RV* =0.5Ом.
2. *E*=0,3В; *r*=1Ом; *RV* =0.1Ом.
3. *E*=0,1В; *r*=0,1Ом; *RV* =1Ом.

2.8 Условное обозначение класса точности универсального вольтметра В7 -23 имеет вид δ. Оценить абсолютную и относительную погрешности измер е-ний двух значений напряжения *U*1 и *U*2 на выбранном пределе шкалы *UN* при нормальных условиях.

1. δ=(-0,04/0,02); *U*1=52 В; *U*2=97 В; *UN* =100 В
2. δ=(0,01/0,01); *U*1=0,21 В; *U*2=0,89 В; *UN* =1 В
3. δ=(0,02/0,02); *U*1=9 В; *U*2=29 В; *UN* =30 В

2.9 Милливольтметр имеет конечное значение шк алы равное *UN*. Его нулевая отметка расположена в начале шкалы. При измерении напряжения *U* относи-тельная погрешность равна δ. Определить класс точности прибора.

1. *UN* =300мВ; *U*=150мВ;δ=4%.
2. *UN* =100мВ; *U*=50мВ;δ=4%.
3. *UN* =30мВ; *U*=15мВ;δ=4%.

2.10 Выполнено измерение напряжения с помощью вольтметра класса то ч-ности γ в нормальных условиях. Показание вольтметра на шкале *UN* было *U* ,

известно внутреннее сопротивление источника измеряемого напряж ения равное *r* и входное сопротивление вольтметра *RV* . Оценить методическую погрешность измерения.

10

1. γ= 0,5; *UN* =1 В; *U*=0,92 В; *r*=1,5 Ом; *RV*=1500 Ом.
2. γ= 1,0; *UN* =3 В; *U*=2,52 В; *r*=1,5 Ом; *RV*=1500 Ом.
3. γ= 1,5; *UN* =10 В; *U*=9,25 В; *r*=1,5 Ом; *RV*=1500 Ом.

2.11 Цифровым частот омером Ч3-34 в нормальных условиях получено пок а-зание *fХ* . Оценить погрешность дискретности и записать результат измерения в соответствии с МИ 1317 -2004 если основная относительная погре шность

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| измерения прибором частоты опр еделяется δ |  |  | δ |  |  |  | 1 |  | , где | δ |  | – основная |  |
| *f* | ≤ ± | O | + |  |  |  | O |  |
|  |  |  |  | *f X* |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | ⋅*tC* | |  |  |  |  |  |
| относительная погрешность частоты внутреннего кварц | | | | | | | | евого | |  | генератора; | |  |
| *f X* –измеряемая частота в Гц; *tC* –время счета в с. | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1. *fХ* *=*371,96 кГц; δO = ±2·10-6; *tC* =1с |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2. *fХ* *=*0,235 кГц; δO = ±2·10-6; *tC* =1с |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. **ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОДНОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**3.1 Прямые измерения**

**Примеры**

3.1 К выходу источника постоянного напряжения с внутренним сопрот ивле-

нием *R*=100кОм подключен цифровой воль тметр, показание которого

*U*=0,9453В.Измерение выполняется при температуре окружающей среды *Т*=30оС.

Характеристики вольтметра: условное обозначение класса точности δ 0,05/0,05; диапазон показаний (0…1) В; нормальн ая область значений те м-пературы *T*H=(20 ± 5) оС; рабочая область значений темпер атуры (0…30) оС; *К*ВЛ.Т=О/20оС; *RV* = 2,0МОм.

Представить результат измерения в виде доверительного интервала для доверительной вероятности *P*=0,95.

*Решение*:схема включения источника и вольтметра

11

∇ = 0,0473

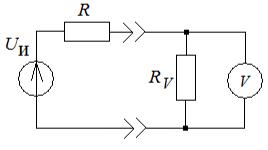


Рис. Схема соединения источника и вольтметра

Определим методическую составляющую погрешности, обусловленную взаимодействием сопротивлений вольтметра и источника . Можно показать, что при подсоединении вольтме тра к цепи исходное напряжение источника *U*Иуменьшается на величину

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| M | =−*U*⋅*R R* , | | M | = −0,9453⋅100⋅103 | 2000⋅103 = −0,0473 В, |  |
|  | *V* |  |  |  |
| в относительной форме | | | | |  |  |
| δM =− | | M *U* ⋅100,δM= −0,0473 0,9453⋅100%≈ −5,0%. | | | |  |



Оцененная методическая погрешность является систематической со став-ляющей погрешности измерений и должна быть внесена в результат измер е-

ния в виде поправки В. Тогда результат измерения *U*И с учетом п о-

правки на систематическую погрешность

*U*И=0,9453+0,0473=0,9926В.

Найдем границы погрешности резу льтата измерения. Инструментальная составляющая погрешности определяется основной и дополнительной п о-грешностями. Основная погре шность прибора указана в приведенной форме класса точности. Следовательно, предел допускаемой основной относител ь-ной погрешности вольтметра

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  | | |  |  | *U* | |  |  |  |  | , δO |  |  |  | 1 |  |  |  | %. |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| δ | O | = |  | = ± *c* + *d* ⋅ | | | | |  |  |  |  | *K* |  |  | −1 | = ± | 0,05 + 0,05⋅ |  |  |  | −1 | = ±0,053 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | *U* | |  |  |  | | |  | *U* | | |  |  |  |  |  |  | 0,9453 | |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| В абсолютных единицах | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | O =δO⋅ | | | |  | *U* |  | /100; | | | | |  |  |  | O = 0,053 ⋅ 0,9453 /100 = 0,0005 В. | | | | | | | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

12

Дополнительная погрешность, обусловленная отклонением температуры от нормальной (20± 5) °С на 10 °С, определяется

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| T = *K*ВЛ.Т ⋅ |  | *Т* −*Т*Н |  | , T = | O | ⋅ |  | *Т* −*Т*Н |  | = | 0,0005 | ⋅ |  | 30−25 |  | = 0,000125 | В. |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 20 | 20 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

При отсутствии прочих составляющих границы доверительного интервала НСП для доверительной вероятности, равной 0,95 определятся



ГР(*P*)=*KP*⋅  2O+ 2T ;

Здесь *KP* – коэффициент, определяемый принятой *Р* и числом составляю-щих НСП. Для вероятностей *Р*=0,90 и *Р*=0,95 *КР*=0,95 и *КР*=1,1 соответствен-но независимо от числа составляющих НСП. Тогда



ГР(0,95) =1,1⋅ (5⋅10−4 )2 +(1,25⋅10−4 )2 = 5,154⋅10−4 В.

Согласно рекомендации Р 50.2.038 –2004 [4] в качестве погрешности р е-зультата однократного измерения представляют неисключенную системат и-ческую погрешность, выраженную границами ±Θ (*P*=1), или доверительными (*P*<1) границами ± Θ(*P*).

*Ответ*: *U*И= (0,9926±0,0005)В; *Р*=0,95

3.2 К выходу источника постоянного тока с внутренним сопротивлен ием

*R*И=30Ом подключен а мперметр,показание которого α= 65дел.Измерениевыполняется при температуре окружающей среды *Т* = 10 оС.

Характеристики амперметра: класс точности γ 1,0; диапазон показаний – (0…2)А; шкала содержит α К=100 делений; нормальная область знач ений температуры *T*H=(20±5) оС; рабочая область значений температуры – (10…35) оС; *К*ВЛ.Т = О /20 оС; *RI* = 0,150 Ом.

Представить результат измерения в виде доверительного интервала для доверительной вероятности, равной 0,95.

*Решение:* схема включения источника тока и амперметра

13

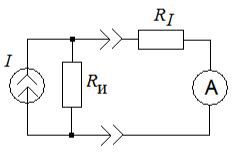


Рис. Схема соединения источника и вольтметра

Определим цену деления амперметра

*CI* = *IN* /αK; *CI* =2/100=0,02А/дел.

Определим показание прибора

1. = *CI* ⋅α; *I* =0,02⋅65=1,30А.

Определим мето дическую составляющую погрешности, обусловленную взаимодействием сопротивлений амперметра и источника . Так, при подс о-единении амперметра к источнику цепи, исходный ток источника *I*И умень-шается на величину

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| M=*I*⋅*RI R*И, | | | М =1,30⋅0,150 30 = 0,0065А, | | |  |  |
| в относительной форме | | | |  |  |  |  |
| δM =− | M | ⋅100% | ,δM=− | 0,0065 | ⋅100% = −0,5 %. |  |  |
|  |  |  |
|  | 1.31 |  |  |
|  | *I* | |  |  |  |  |
| Оцененная методическая погрешность является систематической соста | | | | | | в- |  |
| ляющей погрешности измерений и должна быть внесена в результат измер | | | | | | е- |  |
| ния в виде поправки ∇ = | | | | М = 0,0065В. | |  |  |



Тогда результат измерения *U* с учетом поправки на систематическую п о-грешность

*I*И=1,31+0,0065=1,3165А.

Найдем границы погрешности результата измерения. Инструментальная составляющая погрешности определяется основной и дополнительной п о-грешностями. Основная погрешность прибора указана в приведенной форме

14

класса точности. Следовательно, предел допускаемой основной п огрешности амперметра

O = γ⋅*UN* /100; O =1,0⋅2/100 = 0,02 А.

Дополнительная погрешность из -за влияния магнитного поля не ук азана. Дополнительная температурная погрешность, обусловленная отклон ением температуры от нормальной *Т*Н (20±5 °С) на 10 °С, определяется

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *T* = *K*ВЛ.Т⋅ |  | *Т* −*Т*Н |  | , *T* = | O | ⋅ |  | *Т* −*Т*Н |  | = | 0,02 | ⋅ |  | 10 −15 |  | = 0,005В. |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 20 | 20 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Границы доверительного интервала НСП для доверительной вероятн ости, равной 0,95 определятся



ГР(*P*)=*KP*⋅ 2O+ 2*T* ;

Здесь *KP* – коэффициент, определяемый принятой *Р* и числом составля ю-щих НСП. Для вероятностей *Р*=0,90 и *Р*=0,95 *КР*=0,95 и *КР*=1,1 соответствен-но независимо от числа составляющих НСП. Тогда



ГР (0,95) =1,1⋅ (20 ⋅10−3 )2 + (5 ⋅10−3 )2 = 0,0206 А. Результат округлим до одной значащей цифры

ГР (0,95) = 0,02 А.

Согласно рекомендации Р 50.2.038-2004 в качестве погрешности результа-та однократного измерения представляют неисключенную систематич ескую погрешность, выраженную границами ±Θ ( *P*=1), или доверительн ыми (*P*<1) границами ± Θ(*P*).

*Ответ*: *I*И=(1,32±0,02)А; *Р*=0,95

**Задачи для самостоятельного решения**

Для выбора варианта задания используйте таблицу 3 в Приложении 1

3.3 Цифровым омметром в диапазоне измерений *DR* измеряется активное с о-противление объекта. Условия измерения отличаю тся от нормальных только температурой *Т* . Объект соединен с прибором двухпроводной лин ией связи. Сопротивление проводов можно учесть величиной *R*К. Измеренное значение составило *R*.

15

Характеристики омметра: класс точно сти (0,02/0,05); нормальная о бласть значений температуры *T*H (20 ± 5) оС; рабочая область значений темп ературы

– (-10…+50) оС; *К*ВЛ.Т = О /20 оС.

Представьте результат измерения с указанием погрешности для довер и-тельной вероятности, равной 0,90, если:

1. *DR* (0…1000)Ом; *Т* = 30оС; *R*К=0,06Ом; *R*=352,42Ом
2. *DR* (0…300)Ом; *Т* = 32оС; *R*К=0,06Ом; *R*=159,28Ом
3. *DR* (0…100)Ом; *Т* = 12оС; *R*К=0,06Ом; *R*=68,74Ом

3.4 Микровольтметром с диапазоном измерений *DU*, со шкалой, содержащей

1. делений, измеряется напряжение источника. Условия измерения отличаю т-

ся от нормальных только температ урой, *Т* оС. Отсчет произведен по шкале и получено *n* делений. Выходное сопротивление источника равно *R*ИСТ.

Характеристики микровольтметра: класс точности γ 1,0; вход ное сопр о-тивление 100 кОм; нормальная область значений температуры *T*H (20 ± 5) оС; *К*ВЛ.Т=О/20оС;рабочая область значений температуры– (0…+50)оС.

Представьте результат измерения с указанием погрешности для довер и-тельной вероятности, равной 0,95, если:

1. *DU* =(0...100)мкВ; *N*=100делений; *Т*= +5оС;α=52деления; *R*ИСТ=1кОм.
2. *DU*=(0...300)мкВ; *N*=300делений;*Т*=+12оС;α=258делений; *R*ИСТ=1,5кОм.
3. *DU*=(0...103)мкВ; *N*=100делений; *Т*=+28оС;α=78делений; *R*ИСТ=0,5кОм.3.5 Осциллографическим методом определен размах синусоидального сигна-

ла от генератора переменного напряжения 2 *UMAX*. Получено значение *N* деле-ний, при положении аттенюатора *n*, В/дел. Условия измерения отличаются от нормальных только температурой *Т*. Выходное сопротивление и сточника

|  |  |
| --- | --- |
| *R*ИСТ.Влияние входной емкости осциллографа на результат измерения н | и- |
| чтожно мало. |  |
| Характеристики осциллографа: пределы допускаемого значения относ | и- |
| тельной погрешности ±4% (класс точности); входное активное сопротивл | е- |

ние канала вертикального отклонения 1МОм; нор мальная область зн ачений

16

температуры *T*H (20 ± 5) оС; *К*ВЛ.Т = О /20 оС; рабочая область значений те м-пературы *–* (0…+50) оС.

Представьте результат измерения действующего значения напряжения с указанием погрешности для доверительной вероятности, равной 0,90, если:

1. *N*=5,6деления; *n*=1В/дел; *Т* = +10оС; *R*ИСТ=50кОм.
2. *N*=4,8деления; *n*=0,1В/дел; *Т* = +5оС; *R*ИСТ=30кОм.
3. *N*=5,2деления; *n*=1В/дел; *Т* = +30оС; *R*ИСТ=40кОм.

3.6 Стрелочным прецизионным омметром в диапазоне измерений *DR* в усло-виях, отличающихся от нормальных только температурой *Т*, измеряется с о-противление объекта. Объект соединен с прибором двухпроводной линией

связи, сопротивление проводов которой можно учесть величиной *R*К.Р е-

зультат измерения составляет *R*.

Характеристики ом метра: класс точности γ 0,1; нормальная область зн а-

чений температуры *T*H (20 ± 5) оС; рабочая о бласть значений температуры –

(10…+50) оС; *К*ВЛ.Т = О /15 оС.

Представьте результат измерения с указанием погрешности для довер и-тельной вероятности, равной 0,95, если:

1. *DR* (0…100) Ом; *Т* = 32 оС; *R*К=0,1 Ом; *R*=62,7 Ом.

2. *DR* (0…30) Ом; *Т* = 28 оС; *R*К=0,15 Ом; *R*=29,8 Ом.

3. *DR* (0…10) Ом; *Т* = 12 оС; *R*К=0,12 Ом; *R*=8,7 Ом.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 3.7 Осциллографическим методом определена | амплитуда синусоидального | | |
|  |  |  |  |
| сигнала от генератора переменного напряжения | *UMAX*.Получено значение | | *N* |
| делений, при положении аттенюатора *n*, В/дел. Условия измерения отлич | | | а- |

ются от нормальных только температурой, *Т* = +12 оС. Выходное сопротивле-ние источника *R*ИСТ=60 кОм. Влияние входной емкости осци ллографа на р е-зультат измерения ничтожно мало.

Характеристики осциллографа: пределы допускаемого значения относ и-

тельной погрешности ±3% (класс точности); входное активное сопротивл е-

ние канала вертикального отклонения 1МОм; нормальная область зн ачений

17

температуры *T*H (20 ± 5) оС; *К*ВЛ.Т = О/20 оС; рабочая область значений те м-пературы *–* (0…+50) оС.

Представьте результат измерения действующего значения напряжения с указанием погрешности для доверительной вероятности, равной 0,90, если:

1. *N*=3,6деления; *n*=1В/дел; *Т* = +10оС; *R*ИСТ=50кОм.
2. *N*=3,4деления; *n*=0,1В/дел; *Т* = +12оС; *R*ИСТ=40кОм.
3. *N*=3,2деления; *n*=2В/дел; *Т* = +28оС; *R*ИСТ=30кОм.

3.8 Вольтметром в диапазоне измерений *DU*, со шкалой, содержащей *N* деле-ний, измеряется напряжение источника. Условия измерения отличаются от нормальных только температурой, *Т* оС. Отсчет произведен по шкале и пол у-чено *n* делений. Выходное сопротивление источника равно *R*ИСТ.

Характеристики вольтметра: класс точности γ 2,0; входное сопротивл ение

300 кОм; нормальная область значений температуры *T*H (20 ± 5) оС; *К*ВЛ.Т = О

/20 оС; рабочая область значений температуры – (10…+50) оС.

Представьте результат измерения с указанием погрешности для довер и-

тельной вероятности, равной 0,95, если:

1. *DU* = (0...1) В; *N* = 100 делений; *Т* = +5 оС; *n* = 52 деления; *R*ИСТ = 3 кОм.

2. *DU* = (0 ... 300) мкВ; *N* = 300делений; *Т* = +12оС; *n* = 258делений;

*R*ИСТ=3,5кОм.

*3. DU* = (0 ... 1000)мкВ; *N* = 100делений; *Т* = +28оС; *n* = 78делений;

*R*ИСТ=4кОм.

3.9Микроамперметром в диапазоне измерений *DI*, со шкалой, содерж ащей *N*

делений, в условиях, отличающихся от нормальных только темпер атурой *Т*

оС, измеряется ток источника. Выходное сопротивление источника *R*И.Р е-

зультат представлен в виде отсчета числа делений *n*.

Характеристики амперметра: класс точности γ 1,0; входное сопротивление 1,0 кОм; нормальная область значений те мпературы *T*H (20 ± 5) оС; *К*ВЛ.Т = О /20 оС; рабочая область значений температуры – (10…+50) оС.

Представьте результат измерения с указанием погре шности для довер и-тельной вероятности, равной 0,95, если

18

*R*=*U*/*I*

1. *DI* = (0 … 100) мкА; *N* = 100 делений; *Т* = + 28 оС; *n* = 78 делений; *R*И=10кОм.

2. *DI* = (0 … 300) мкА; *N* = 300 делений; *Т* = +32 оС; *n* = 285 делений; *R*И=10кОм

**3.2** **Косвенные измерения**

**Примеры**

3.10 Электрическое сопротивление нагрузки определяется по закону Ома

*R*=*U*/*I*.При измерении силы тока и напряжения п олучены значения *U*=100±1В, *I* =2±0,1А.Найти и записать результат измерения в соответствии

* требованиями МИ 1317.

*Решение*:1 способ

Найдем сопротивление , *R* =100 / 2 = 50 Ом.

Поскольку уравнение для расчета сопротивления определяет нелине йную зависимость сопротивления от напряжения и тока, то в соответствии с МИ 2083–90 [5] определяем погрешность как сумму частных погрешностей

*R*=∂*R*∂*U*⋅ *U*+∂*R*∂*I*⋅ *I*,

**

где ∂*R*∂*U* =1*I* =0,5А-1,∂*R*∂*I* = −*U**I*2=100/ 4=25В/А2.

В результате *R* =0,5⋅1+25⋅0,1=3Ом

1. способ

При обработке результатов косвенных измерений, если искомая измеря е-мая ве личина *Х* равна произведению нескольких величин, измеренных пр я-мым методом:

1. = *AK* ⋅*BM* ⋅*CN* ⋅...,

где A, B, C – величины, измеренные прямым методом; *К*, *М*, *N* -постоянные числа,

то предельная относительная погрешность косвенного измерения определя-ется следующим выражением:

δ*X* = *K*⋅δ*A* + *M*⋅δ*B* ⋅ *N*⋅δ*C* +... .

**

19

Тогда относительные погрешности измерения напряжения и тока δ*U* = *U* *U* =1100=0,01, δ*I* = *I*  *I* =0,12=0,05.

Определяем коэффициенты: *K* = 1, *M* = -1. Уравнение для относительной погрешности будет

* *R* = *K* ⋅δ*U* + *M* ⋅δ*I* = 1⋅0,01 + −1⋅0,05 = 0,06



В результате абсолютная величина погрешности

1. = *R*⋅δ*R* = 50⋅0,06 = 3Ом

*Ответ*: *R*=50±3 (Ом)

3.11 Электрическая мощность *Р* определяется по результатам измерений п а-дения напряжения *U*=220 В и силы тока *I*=5 А. *P*=*U·I*. Средние квадратич е-ские отклонения показаний: воль тметра σ *U* = 1 В, амперметра σ *I* = 0,04 A. Найти и записать результат измерения мощности с вер оятностью *P*=0,9944 (*tP*=2,77)

*Решение*

Найдем мощность

1. =*U* ⋅*I* , *P* = 220⋅5=1100Вт .

Среднее-квадратическое отклонение случайно й погрешности результата косвенных измерений σ*P* вычислим по формуле [5]:



* *P* = (∂*P*∂*U* )2 ⋅σ*U*2 + (∂*P*∂*I*)2 ⋅σ2*I* .
  + результате получим
* *P* = *I* 2⋅σ*U*2+*U* 2⋅σ2*I* = 52 ⋅12 + 220⋅0,042 = 25 + 2202 ⋅0,0016 =10,12 Вт .



Найдем доверительные границы случайно погрешности результата ко с-венных измерений мощности

* *P* (*P*) = *tP* ⋅σ*P* = 2,77⋅10,12 = 28,01 Вт.

*Ответ*: *P*=1100±28Вт, *Р*=0,99

**Задачи для самостоятельного решения**

Для выбора варианта задания используйте таблицу 3 в Приложении 1

20

3.12 Определить значение потребленной электрической энергии в цепи, оценить погрешность ее измерени я и записать результат, если известны: ток в цепи *I*, сопротивление *R*, время *t*. Границы погрешности указаны для вер о-ятности 0,95 при нормальных условиях измерения.

1. *I*=(10,230±0,015)А; *R*=(11,08±0,01)Ом; *t*=(405,2±0,1)с;
2. *I*=(6,450±0,025)А; *R*=(5,23±0,02)Ом; *t*=(639,6±0,2)с;
3. *I*=(8,870±0,035)А; *R*=(14,34±0,01)Ом; *t*=(967,4±0,1)с.

3.13 Коэффициент трения определяется по формуле *kтр=Fтр/FN*. Записать р е-зультат определения *kтр* если измерением получены значения:

1. *Fтр*=50±0,5 *Н*, *FN* =1000±10 *Н;*
2. *Fтр*=75±0,6 *Н*, *FN* =2500±22 *Н;*
3. *Fтр*=30±0,4 *Н*, *FN* =500±6 *Н.*

3.14 Найти доверительные границы случайной погрешности и змерения силы

* *F* с вероятностью *P* =0,966 (*tP*=2,12) если при о пределении силы инерции по

зависимости *F* = *m* ⋅ *a* измерениями получены значения: масса *m*, ускорение *a*,

средние квадратические отклонения результатов измерений: σ*m* и σ*a* .

1. *m* = 100 *кг*, *a* = 2м/с2,σ*m* = 0,5 *кг*,σ*a* = 0,01м/с2.
2. *m* = 80 *кг*, *a* = 3м/с2,σ*m* = 0,6 *кг*,σ*a* = 0,02м/с2.
3. *m* = 50 *кг*, *a* = 5м/с2,σ*m* = 0,2 *кг*,σ*a* = 0,01м/с2.

3.15 В нормальных условиях с помощь электронного осци ллографа измерено

пиковое значение сигнала *Um*,а квадратичным вольтметром – его средн е-

квадратическое значение *U*. Полученные результаты использованы для в ы-числения коэффициента амплитуды *ka* = *U* *m* /*U* . Оценить абсолютную и отн о-сительную погрешности измерения коэффициента амплитуды, если с вероя т-ностью 0,997 известны пределы допускаемых относительных погре шностей измерения напряжения осциллографом – δ*Um* и вольтметром – δ*U*.

1. *Um* = 3В, *U* = 2,3В,δ*Um*=6%,δ*U*=4%.
2. *Um* = 5В, *U* = 3,7В,δ*Um*=4%,δ*U*=2,5%.
3. *Um* = 7В, *U* = 5,7В,δ*Um*=6%,δ*U*=1,5%.

21

3.16 При измерении скважности периодического импульсного сигнала в но р-мальных условиях с помощью электронного осциллографа получены резул ь-таты измерения периода *TOSC* и длительности импульса τ *OSC* . Задан преде л допускаемой отн осительной погрешности измерения отрезков времени – δ. Оценить абсолютную и относительную погрешности измерения скважности

* оформить результат измерения в соответствии с МИ 1317-2004
  1. *TOSC* =60мкс,τ*OSC* =15мкс,δ=4 %.
  2. *TOSC* =80мкс,τ*OSC* =20мкс,δ=6 %.
  3. *TOSC* =120мкс,τ*OSC* =30мкс,δ=6 %.

3.17 При измерении *Q*-метром катушки со значением индуктивности *L* и соб-

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ственной емкостью *CL* | | получен резонанс при емкости измерительного ко | | | | | | | н- |  |
| денсатора *C*0. Оценить | | абсолютную и относительную погрешно сти измер е- | | | | | | | |  |
| ния резонансной частоты контура *f* = | | |  | 1 | |  |  | , если индуктивность конт у- | |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 2*π* |  | *L*(*C* +*C* | ) |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | 0*L* |  |  |  |  |  |
| ра известна с погрешностью , а емкость конденсатора и собственная е | | | | | | | | | м- |  |
| кость катушки – с относительной погрешностью δ. | | | | | | | | |  |  |
| 1. | *L*=20мкГн, *CL*=5пФ, *C*0=100пФ, | | | =± 1 мкГн, δ=2%. | | | | |  |  |
| 2. | *L*=55мкГн, *CL*=7пФ, *C*0=120пФ, | | | =± 1,5 мкГн, δ=2,5%. | | | | |  |  |
| 3. | *L*=125мкГн, *CL*=9пФ, *C*0=200пФ, | | |  | =± 2 мкГн, δ=3%. | | | |  |  |



3.18 При доверительной вероятности *P*=0,95 в нормальных условиях измер е-ния на основе прямых измерений тока *I* и напряжения *U* в цепи получены ре-зультаты. Определите потребляемую мощность, запишите результат измер е-ния в соответствии с МИ 1317-2004 если

1. *I*=0,50±0,02А, *U*=150В±5%.
2. *I*=2,50±0,04А, *U*=250В±6%.
3. *I*=1,50±0,03А, *U*=50В±2%.

22

1. **ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЯМЫХ МНОГОКРАТНЫХ ИЗ-**

**МЕРЕНИЙ**

**Примеры**

4.1 В нормальных условиях получен ряд из пяти наблюдений: 10,8 В; 10,5 В;

9,25 В; 9,6 В; 10,1 В. Определить: результат измерения, оценку среднеква д-ратического отклонения результата измерения и доверительный интервал р е-зультата измерения при доверительной вероятности 0,95, считая что в ыборка относится к нормальному распределению. Запишите в соответствии с МИ 1317-2004 результат измерения если известно, что систематическая погре ш-ность прибора составляет 0,52 В

*Решение*

За результат измерения принимают согласно ГОСТ 8.207 –76 [6] среднее арифметическое результатов измерения. Поэтому используем формулу

* =∑*n xi* .
  1. =1 *n*



Тогда *U* = (10,8 +10,5 + 9,25 + 9,6 +10,1) / 5 =10,05 В

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Для нахождения оценки средн | | | | еквадратического отклонения результата | | | | | | | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | *n* | ~ 2 |  |  |  |  |  |
| воспользуемся выражением *S*( *A*) = | | | |  |  | ∑(*xi* − *A*) | | | | | |  |
|  |  | *n* ⋅(*n* −1). | | | | | |  |
|  |  |  | ~ |  |  | *i*=1 |  |  |  |  |  |  |
| Тогда | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  |
| ~ |  | (10,8 −10,05)2 + (10,5 −10,05)2 | + (9,25 −10,05)2 | | | | + (9,6 −10,05)2 + (10,1−10,05)2 | | | | |  |
| *S*(*U*)= | |  |  |  |  |  |  |  |  |  | = 0,28В |  |
|  |  | 5 ⋅ 4 | | |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



Согласно ГОСТ 8.207–76 для нахождения доверительного интервала во с-пользуемся формулой

~ ~

*ε* = *tP* ⋅ *S* ( *A*)= *tP* ⋅ *S* (*U* ),

где *tP* – коэффициент Стъ юдента, который в зависимости от довер ительной вероятности *Р* и числа результатов измерений *n* находят по таблице 4 Приложения 2.

Выбираем значение *tP*. Для *n*=5 и *P*=0,95 *tP*=2,776. Тогда

23

* = 2,776 ⋅0,28 = 0,777В

*Ответ*:учитывая результаты наблюдений округляем результаты расчетовдо 10,1±0,8 В, *Р*=0,95.

**Задачи для самостоятельного решения**

Для выбора варианта задания используйте таблицу 3 в Приложении 1

4.2 Известен результат измерения *U*,с относительной погрешностью δ,при

числе наблюдений *N*, вероятности *P* при нор мальном распределении в но р-

мальных условиях. Определите среднеквадратическое отклонение результ а-

тов наблюдения.

1. *U*=15,32В,δ±0,2 %, *N*=11, *P*=0,99.
2. *U*=6,45В,δ±0,1 %, *N*=7, *P*=0,95.
3. *U*=88,1В,δ±0,3 %, *N*=11, *P*=0,99.

4.3 Принадлежит ли результат н аблюдения *U* к ряду из 14 наблюдений с в е-роятностью *P*. Ряд в мВ: 0,46; 0,59; 0,51; 0,62; 0,44; 0,49; 0,53; 0,50; 0,48; 0,61; 0,60; 0,47; 0,55; 0,56?

1. *U*= 0,45мВ, *P*=0,95.
2. *U*= 0,59мВ, *P*=0,99.
3. *U*= 0,62мВ, *P*=0,99.

4.4 Прецизионное шестикратное наблюдени е частоты в нормальных услов и-ях дало ряд результатов *f* в Гц. Записать результат измерения частоты с дов е-рительной вероятностью *P*=0,99 в соответствии с МИ 1317-2004.

1. 535,632; 535,628; 535,624; 535,620; 535,616; 535,612.
2. 172,340; 172,361; 172,357; 172,346; 172,352; 172,344.
3. 12,723; 12,715; 12,727; 12,719; 12,731; 12,735.

4.5 При многократном измерении температуры *Т* в производственном пом е-щении получен ряд значений в градусах Цельсия. Укажите доверительные границы истинного значения темпер атуры в пом ещении с вероятностью *Р*=0,95.

1. 12,4; 12,6; 12,8; 13,0; 13,2; 12,8; 12,6; 13,4; 13,2.
2. 20,4; 19,7; 20,2; 20,0; 20,1; 20,5; 20,3; 20,4.

24

3. 6,34; 6,42; 6,40; 6,38; 6,32; 6,30; 6,28; 6,30; 6,36.

4.6 При многократном измерении постоянного напряжения *U* получен ряд его значений в Вольтах. Укажите доверительные границы истинного знач е-ния напряжения с вероятностью *Р*=0,99.

1. 2,34; 2,22; 2,26; 2,28; 2,24; 2,30; 2,32; 2,36.
2. 7,34; 7,42; 7,62; 7,38; 7,46; 7,58; 7,50; 7,54.
3. 13,8; 14,0; 14,8; 14,2; 13,9; 14,1; 14,5; 14,3.

4.7 При многократном измерении силы *F* получен ряд ее значений в Н: Ук а-

жите доверительные границы истинного значения силы с вероятн остью *Р*=0,95.

1. 23; 26; 20; 21; 25; 27; 26; 25.
2. 111; 113; 109; 108; 107; 115; 114; 112.
3. 403; 408; 410; 405; 406; 398; 406; 404.

4.8 При многократном измерении длины *L* получен ряд ее значений в мм. Укажите доверительные границы истинного значения длины с вероятн остью *Р*=0,99.

1. 12,4; 12,2; 12,2; 12,3; 12,0; 12,7; 12,9.

1. 30,2; 30,0; 30,4; 29,7; 30,3; 29,9; 30,2

**Литература**

1. Рекомендация МИ 1317 -2004 «ГСИ. Результаты и характеристики п о-грешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров»

1. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерите льная те х-

ника: Учебное пособие / К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Б. Барбарович, Б.Я.

Литвинова. – СПб.: Питер, 2006. – 368 с.: ил.

1. ГОСТ 8.401-80 «ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие треб о-

вания»

1. Р 50.2.038–2004 Рекомендации по метрологии. Государственн ая система

обеспечения единства измерений. Измерения прямые однократные. Оцен и-вание погрешностей и неопределенности результата измерений.

25

1. Рекомендация МИ 2083–90 «ГСИ. Измерения косвенные. Определение ре-

зультатов измерений и оценивание их погрешностей»

1. ГОСТ 8.207–76 «ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдени я-

ми. Методы обработки результатов наблюдения. Основные положения»

**Приложение 1**

Таблица для выбора задач по вариантам для заданий 2, 3.1, 3.2, 4 Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ва |  | № Задачи | |  | Вари |  | № Задачи | |  |  |
| ри |  |  |  |  | ри- |  |  |  |  |  |
| Зада- | Зада- | Зада- | Зада- | Зада- | Зада- | Зада- | Зада- |  |
| ан | ние 2 | ние | ние | да- | ант | ние 2 | ние | ние 3.2 | ние 4 |  |
| т |  | 3.1 | 3.2 | ние 4 |  |  | 3.1 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 2.5.1 | 3.3.1 | 3.12.1 | 4.2.1 | 11 | 2.8.2 | 3.6.2 | 3.15.2 | 4.5.2 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 | 2.6.1 | 3.4.1 | 3.13.1 | 4.3.1 | 12 | 2.9.2 | 3.7.2 | 3.16.2 | 4.6.2 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 | 2.7.1 | 3.5.1 | 3.14.1 | 4.4.1 | 13 | 2.10.2 | 3.8.2 | 3.17.2 | 4.7.2 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 | 2.8.1 | 3.6.1 | 3.15.1 | 4.5.1 | 14 | 2.11.2 | 3.9.2 | 3.18.2 | 4.8.2 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 | 2.9.1 | 3.7.1 | 3.16.1 | 4.6.1 | 15 | 2.5.3 | 3.3.3 | 3.12.3 | 4.2.3 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 | 2.10.1 | 3.8.1 | 3.17.1 | 4.7.1 | 16 | 2.6.3 | 3.4.3 | 3.13.3 | 4.3.3 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7 | 2.11.1 | 3.9.1 | 3.18.1 | 4.8.1 | 17 | 2.7.3 | 3.5.3 | 3.14.3 | 4.4.3 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8 | 2.5.2 | 3.3.2 | 3.12.2 | 4.2.2 | 18 | 2.8.3 | 3.6.3 | 3.15.3 | 4.5.3 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9 | 2.6.2 | 3.4.2 | 3.13.2 | 4.3.2 | 19 | 2.9.3 | 3.7.3 | 3.16.3 | 4.6.3 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 | 2.7.2 | 3.5.2 | 3.14.2 | 4.4.2 | 20 | 2.10.3 | 3.8.3 | 3.17.3 | 4.7.3 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



**Приложение 2**

Таблица значений коэффициента *tP* для случайной величины *Y*, имеющей

распределение Стьюдента с *n*-1 степенями свободы

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | Таблица 4 |
|  |  |  |  |  |  |
| *n*-1 | P=0,95 | P=0,99 | *n*-1 | P=0,95 | P=0,99 |
|  |  |  |  |  |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|  |  |  |  |  |  |
| 3 | 3,182 | 5,841 | 16 | 2,120 | 2,921 |
|  |  |  |  |  |  |

26

KВЛ.Т

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|  |  |  |  |  |  |
| 4 | 2,776 | 4,604 | 18 | 2,101 | 2,878 |
|  |  |  |  |  |  |
| 5 | 2,571 | 4,032 | 20 | 2,086 | 2,845 |
|  |  |  |  |  |  |
| 6 | 2,447 | 3,707 | 22 | 2,074 | 2,819 |
|  |  |  |  |  |  |
| 7 | 2,365 | 3,499 | 24 | 2,064 | 2,797 |
|  |  |  |  |  |  |
| 8 | 2,306 | 3,355 | 26 | 2,056 | 2,779 |
|  |  |  |  |  |  |
| 9 | 2,262 | 3,250 | 28 | 2,048 | 2,763 |
|  |  |  |  |  |  |
| 10 | 2,228 | 3,169 | 30 | 2,043 | 2,750 |
|  |  |  |  |  |  |
| 12 | 2,179 | 3,055 | ∞ | 1,960 | 2,576 |
|  |  |  |  |  |  |
| 14 | 2,145 | 2,977 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

– абсолютная погрешность;

* – относительная погрешность;
* – приведенная погрешность;
* – отсчет показаний по числу делений;
* – доверительная вероятность;

гр(*Р*) – граничное значение для симметричного доверительного инте р-вала погрешности при доверительной вероятности P < 1;

*KP* –коэффициент,зависящий от доверительной вероятности *Р*,использу-

емый при вычислени и гр(*Р*): *KP*(*Р*=0,9)=0,95; *KP*(*Р*=0,95)=1,1; *KP*(*Р*=0,99)=1,4;

о – основная погрешность;

* – систематическая погрешность;
* – методическая составляющая погрешности;
* – дополнительная температурная погрешность;

*T*H–нормальная область значений температуры;

– коэффициент влияния температуры;

*DR* –диапазон измеряемых сопротивлений омметра;

27

*DU* –диапазон измеряемых напряжений вольтметра;

∇ – поправка для измеренного значения, численно равная систематич е-

ской составляющей погрешности измерения, взятой с п ротивополож-

ным знаком;

*RV* –входное сопротивление вольтметра;

*RI* –входное сопротивление амперметра.

28