5.1

1) Методом амперметра-вольтметра

измеряется сопротивление RX (см. рису-

нок). При этом RX определяется в соот-

ветствии с законом Ома по показаниям

амперметра IA и вольтметра UV . Извест-

но, что IA= 0,03 А, UV = 9В, RA = 3 Ом, RV =10 кОм.

Определить абсолютную погрешность измерения, величину поправки, исправленный результат измерения, относительную погрешность измерения RX . Классифицировать вид измерения, погрешность измерения, метод устранения погрешности.

**Решение.**

Результат измерения в соответствии с указанным методом

определяется на основании закона Ома по показаниям приборов

Rх изм = = = 300 Ом

Абсолютная методическая погрешность измерения

∆R = Rх изм – Rx ист = - Rx ист = - Rx ист = + - Rx ист = + Rx ист - Rx ист = = RA = 3 Ом,

где Ux и UA – падения напряжения на Rx и RA соответственно, Ix – ток через Rx

Относительная методическая погрешность измерения

δ =

Найдем RΧ ист, это исправленный результат измерения с учетом внесенной поправки ΑR = −ΔR = −RΑ = - 3 Οм , тогда

RΧ ист = RΧ изм + ΑR = (300 − 3) Οм = 297 Οм

δ = ·100% = 1,01 %

Погрешность измерения является в данном случае методической, т.к. обусловлена неидеальностью метода измерения (по условию задачи амперметр измеряет силу тока абсолютно точно, т.е. инструментальные погрешности отсутствуют); систематической (т.к. при многократных измерениях погрешность остается постоянной). Метод амперметра—вольтметра является косвенным, так как основан на использовании закона Ома, по которому измеряемое сопротивление прямо пропорционально падению напряжения на нем и обратно пропорционально силе тока, протекающего по нему.

Отсюда следует общеизвестный вывод: для обеспечения малой методической погрешности измерения амперметр должен обладать малым сопротивлением, т.е. должно выполняться условие RА << Rх, а также использовать при подключении приборы высокого класса точности.

Ответ: ∆R = 3 Ом, ΑR = -3 Ом, RΧ ист = 297 Ом,

δ = 1,01 %

5.2

10) При измерении мощности сигнала были получены следующие результаты: Р′ = 25,2 мВт; составляющие систематической погрешности

θ1 = 0,4 мВт, θ2 = 0,3 мВт; составляющие случайной погрешности в виде границ доверительных интервалов ε0,95 = 0,15 мВт, ε0,9 = 0,1 мВт. Случайные погрешности распределены по нормальному закону.

Записать результат измерения при доверительной вероятности РД = 0,95.

**Решение.**

Для определения общей погрешности измерения необходимо просуммировать отдельно составляющие систематической погрешности θi , отдельно составляющие случайной погрешности Si и затем сложить полученные суммарные значения НСП и случайной погрешности в соответствии с правилами суммирования погрешностей.

Границы доверительного интервала случайной погрешности

ε = tн (ΡД ) ⋅ Si,

где tН (PД ) — коэффициент нормального закона распределения.

При PД = 0,95 tН = 1,96, 0,15 = 1,96 · S1; S1 = 0,08 мВт

PД = 0,90 tН = 1,65, 0,10 = 1,65 · S2; S2 = 0,06 мВт

Границы систематической погрешности равны:

θ∑ (РД) = k (РД) = k (0,95) = 1,1 = 0,55 мВт

СКП систематической погрешности:

Sθ = = = 0,35

В условии задачи отсутствует указание величин коэффициента корреляции, следовательно, составляющие случайной погрешности некоррелированы (независимы) и суммарная СКП:

S∑ = = = = 0,1 мВт

Границы доверительного интервала случайной погрешности

εΣ = tн (ΡД )⋅ SΣ =1,96 ⋅ 0,1 = 0,196

Далее необходимо сложить систематическую и случайные составляющие погрешности. Сначала определяем соотношение

= = 5,5

Тогда ∆Робщ (РД) = K∑ · Sобщ,

где K∑ = = = 1,66

Sобщ = = = 0,36

∆Робщ (0,95) = 1,66 · 0,36 = 0,5976 мВт

Результат измерения с учетом правил округления погрешности и результата запишется в следующем виде

Р = Р´ ± ∆Робщ , РД, Р = (25,2 ± 0,6) мВт, РД = 0,95

Ответ: Р = (25,2 ± 0,6) мВт, РД = 0,95

5.3

1) Вольтметр имеет предел измерения Uшк1 =1В , класс точности γ1 = 1.0 , входное сопротивление Rv = 1 кОм.

Рассчитать величину и допустимую относительную погрешность добавочного сопротивления, необходимого для изменения предела измерения до Uшк2 = 10В и достижения общего класса точности γ2 = 0.5.

**Решение.**

Для расширения шкалы в *n* раз измерений вольтметру последовательно подключают добавочное сопротивление, величина которого рассчитывается по формуле:

*R* доб = *R* V · (*n* − 1),

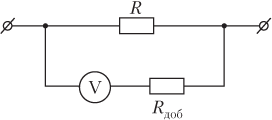
где  *R*V — внутреннее сопротивление вольтметра;

*n –* коэффициент расширения предела измерения:

*n* =  ,

*U*0 — максимальное напряжение, которое можно было измерять до подключения добавочного сопротивления;

*U* — максимальное напряжение, которое необходимо измерять данным вольтметром (после подключения добавочного сопротивления).



*R* доб = 1000 ·( -1) = 9000 Ом = 9 кОм

Основная погрешность прибора с добавочным резистором:

δR = · 100 % = · 100 % = ± 0,01 %

Ответ: δR = ± 0,01 %

5.4

5) При многократных измерениях индуктивности получены следующие результаты: 45; 45.4; 45.8; 44.2; 44.6; 45; 44.6; 45.4; 48.2; 45 мкГн.

Записать результат измерения при доверительной вероятности PД = 0.9.

**Решение.**

Найдем среднее арифметическое значение измеряемой величины по формуле:

,

где *n* – число измерений.

· (45+45,4+45,8+44,2+44,6+45+44,6+45,4+48,2+45) = = 45,3 мкГн

Вычисляем среднее квадратическое отклонение единичных результатов:

S =

S =

S = = 1,1

Предполагая, что погрешность распределена по нормальному закону, исключаем «промахи», т.е. измерения с грубыми погрешностями, для которых

tгр (РД, n),

где *xi* - подозрительный на наличие промаха результат измерения из полученной выборки;

tгр (РД, n) - коэффициент допускаемых нормированных отклонений, выбирается при заданных РД и n из таблицы П.2 Приложения. Определяем для нашей задачи, tгр(0,95; 10) = 2,414

= 1 < 2,414

= 2,636 > 2,414

Условие промаха выполняется, то есть L9 = 48,2 мкГн — промах.

Его удаляем из ряда многократных измерений. Теперь n = 9 .

Продолжаем проверку на наличие промахов. Пересчитываем

вновь значения

· (45+45,4+45,8+44,2+44,6+45+44,6+45,4+45) = = 45 мкГн

S =

S = = 0,5

По таблице определяем новые границы tгр (0,95;9) = 2,349.

Проверяем условие промаха:

= 1,6 < 2,349

= 1,6 < 2,349

Грубые промахи исключены.

Вычисляем среднее квадратическое отклонение среднего арифметического (СКО результата измерений):

=

= = 0,2

Определяем доверительные границы случайной погрешности при заданной доверительной вероятности Р = 0,90:

ɛ = ·,

где – коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности Р и числа измерений n. Выбираем коэффициент t из таблицы

(t = 1,9)

ɛ = 1,9 · 0,2 = 0,4

Запишем окончательный вариант: (45,0 0,4) мкГн

Ответ: (45,0 0,4) мкГн

5.5

2) Определить результат и абсолютную погрешность косвенного измерения реактивной мощности Q =U × I sinϕ по результатам прямых измерений:

– показания вольтметра класса точности 2.5 с пределом измерения 100 В ,

U = 75 В ;

– показания амперметра класса точности 1.0 с пределом измерения 10 А,

I = 4 А , ϕ = 30° ±1° .

Записать результат измерения.

**Решение.**

Известно, что результат косвенных измерений определяется

представленной функциональной зависимостью при подстановке в нее результатов измерений аргументов. В нашем случае

Q = U · I · sinϕ = 75 · 4 · sin30˚ = 150 Вт

В общем виде погрешность косвенного измерения

*∆y = · ∆xi*

где *xi* - аргументы функции F,

Δxi - их абсолютные погрешности,

y - измеряемая косвенным образом величина,

- частные производные функции по соответствующим аргументам.

Определим абсолютные погрешности аргументов заданной зависимости:

максимальная абсолютная погрешность амперметра:

= = = ± 0,04 А

где - относительная погрешность прибора, заданная классом точности, в данной задаче δ = ± 1,0 %;

- нормирующее значение шкалы, равно пределу измерения.

Аналогично для вольтметра:

= = = ± 2,5 В

где *Кт  -* класс точности прибора

Так как погрешности аргументов заданы границами интервалов, которые определены, в том числе, и с помощью измерительных приборов, то можно считать, что эти погрешности распределены равновероятно. Тогда, в соответствии с правилами суммирования погрешностей, общая погрешность при заданной доверительной вероятности PД может быть определена выражением:

∆Q(РД) = k (РД)

Величина доверительной вероятности в условии задачи не

указана. Необходимо воспользоваться известными рекомендациями, в которых для технических электрорадиоизмерений применяется PД = 0,95. Тогда

∆Q(0,95) = 1,1 = 1,04 Вт

Запишем результат измерения с учетом правил округления

Q = (150 ± 1) Вт, РД = 0,95

Ответ: Q = (150 ± 1) Вт, РД = 0,95