**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Санкт-Петербургский государственный**

**электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Кафедра ИИСТ**

**отчет**

**по лабораторной работе №5**

**по дисциплине «Метрология и измерительная техника»**

**Тема:** Обработка результатов прямых и косвенных измерений

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент гр. 3582 |  | Данелян Г.С. |
| Студентка гр. 3582 |  | Хасанова А.Р. |
| Преподаватель |  | Брызгало В.С. |

Санкт-Петербург

2025

*Цель работы* – ознакомление с методами обработки результатов прямых и косвенных измерений при однократных и многократных измерениях.

**Задание**

1. Ознакомиться с лабораторным стендом и сменным модулем «Прямые, косвенные и совместные измерения».
2. **Прямые однократные измерения.** Измерить напряжение на выходе резистивного делителя (по указанию преподавателя). Результат однократного измерения напряжения записать в вид *Ux* = *U* ± Δ*U.*
3. **Косвенные однократные измерения.** Измерить ток, протекающий через резистивный делитель, путем измерения напряжения на образцовом сопротивлении. Результат однократного измерения тока записать в виде *Ix* = *I* ± Δ*I*.

Измерить мощность *Pmx*[[1]](#footnote-1), выделяемую на участке резистивного делителя с помощью цифрового вольтметра и образцового резистора известного сопротивления. Результат однократного измерения мощности записать в виде *Pmx* = *Pm* ± Δ*Pm*.

1. **Прямые многократные измерения**[[2]](#footnote-2)**.** Измерить несколько раз напряжение, указанное в п. 2, при наличии относительно больших случайных погрешностей (число измерений и уровень случайных погрешностей задаются преподавателем). Обработать полученные данные и результат измерений напряжения записать в виде *Ux* =  ± Δ*U*, *P* = … .
2. **Косвенные многократные измерения.** При наличии относительно больших случайных погрешностей измеритьнесколько раз ток, определяемый в соответствии с п. 3. Обработать полученные данные и результат измерений тока записать в виде *Ix* =  ± Δ*I*, *P* = … .

**Описание и порядок выполнения работы**

Сменный модуль, устанавливаемый на лабораторном стенде для выполнения работы, включает объекты испытаний (резистивные делители, линейные и нелинейные преобразователи) и вспомогательные устройства (набор образцовых сопротивлений, генератор случайных сигналов − ГСС, двухвходовой сумматор − Σ, блок выборки и хранения − БВХ, двухпозиционный переключатель − П).

Для выполнения лабораторной работы на вертикальном стенде используются источник постоянного напряжения, цифровые вольтметры и генератор сигналов ГС прямоугольной формы.

Для проведения однократных прямых и косвенных измерений используется схема, представленная на рис. 5.1, в которой пунктиром обведены ее элементы, расположенные на модуле, а источник питания и вольт­метры находятся на вертикальном стенде.

**Обработка результатов однократных прямых измерений напряжения.** Объектом испытаний для прямых измерений является резистивный делитель напряжения, состоящий из нескольких последовательно соединенных резисторов, например, *R*1, *R*2, *R*0 (указываются преподавателем); *R*0 – образцовое сопротивление. На вход делителя подают постоянное напряжение, контролируемое цифровым вольтметром *V*к. Выходное напряжение на сумме сопротивлений *R*2 и *R*0 измеряют цифровым вольтметром *V*; переключатель П в этом случае устанавливается в положение 1. При отсутствии случайных погрешностей результат измерения находят по однократному показанию *U* вольтметра *V*.

Погрешность Δ*U* результата измерений в данном случае определяется инструментальной погрешностью вольтметра, которую находят по его классу точности (см. введение). Результат однократного измерения следует представить в виде

*Ux* = *U* ± Δ*U*. (5.1)

**Обработка результатов однократных косвенных измерений.** Результатами косвенных измерений по схеме на рис. 5.1 могут быть, например, ток, протекающий через резисторы, и мощность, выделяемая на резисторах *R*2 и *R*0.

При косвенном измерении тока определяют напряжение *U*0 на известном образцовом сопротивлении *R*0; переключатель в этом случае ставится в положение 2. Ток, протекающий через резисторы, *I* = *U*0/*R*0. В этом случае относительная погрешность измерения тока

δ*Ι* = δ*U*0 + δ *R*0,

где δ*U*0 = (Δ*U*0 /*U*0)100 % – относительная погрешность измерения напряжения, %; Δ*U*0 – абсолютная погрешность измерения напряжения, определяемая классом точности вольтметра, В; δR0 – относительная погрешность сопротивления образцового резистора, % (указывается в описании).

Абсолютная погрешность косвенного измерения тока Δ*I* = *I*⋅ δ*Ι* /100, А.

Результат однократного косвенного измерения тока представляют в виде



При измерении мощности, выделяемой на резисторах *R*2 и *R*0, используется известное соотношение *Pm* = *UI.* Значения *U* и *I* были определены в предыдущих опытах. Относительная погрешность измерения мощности

δ*P* = δ*U* + δ*Ι*,

где δ*U*, δ*Ι* – относительные погрешности измерения напряжения и тока, определены выше.

Абсолютная погрешность измерения мощности Δ*Pm* = *Pm*⋅ δ *Pm* /100.

Результат измерения мощности представить в виде

*Pmх* = *Pm*  ± Δ *Pm.*

**Обработка многократных измерений.** Влияние случайных погрешностей на результаты измерений исследуется путем суммирования измеряемых напряжений со случайными сигналами. Схема проведения экспериментов представлена на рис. 5.2, где штриховой линией обведены элементы схемы, расположенные на модуле; остальные элементы схемы находятся на вертикальном стенде. В этой схеме, по сравнению со схемой однократных измерений (рис. 5.1), введены:



* генератор случайных сигналов ГСС с задающим генератором сигналов ГС прямоугольной формы; дисперсия выходного сигнала ГСС регулируется внутренним переключателем (положения 1…5) и частотой задающего генератора ГС; выходной сигнал генератора ГСС имеет нормальное распределение;
* сумматор Σ, позволяющий суммировать напряжение с испытуемого резистивного делителя и напряжение случайного сигнала с ГСС;
* блок выборки и хранения БВХ, предназначенный для получения дискретных значений измеряемой величины, содержащих случайные погрешности.

При исследовании влияния случайных погрешностей измеряются те же величины, что и при однократных измерениях, − падение напряжения на выбранном участке резистивного делителя (прямые измерения), ток и мощность, выделяемая на этом участке (косвенные измерения).

**Обработка результатов многократных прямых измерений напряжения.** Для исследования влияния случайных погрешностей устанавливают на ГСС (по указанию преподавателя) определенный уровень дисперсии случайной погрешности и проводят *n* (по указанию преподавателя) прямых измерений выходного напряжения делителя. Каждое из измерений получают нажатием кнопки «Выборка»на УВХ.

Далее необходимо произвести обработку полученных результатов в такой последовательности:

*а*) найти среднее арифметическое отдельных результатов наблюдений

,

где *n* – число наблюдений; принять  за действительное значение измеряемой величины (результат измерения);

*б*) найти оценку дисперсии случайной погрешности измерений

; 

*в*) найти оценку дисперсии погрешности результата измерения

.

Результаты измерений и вычислений свести в таблицу, где в 3–5-м столбцах представлены результаты обработки;

*г*) доверительный интервал погрешности результата измерений при нормальном законе распределения случайных погрешностей определяется выражением

,

где *tp*(*f*) – коэффициент распределения Стьюдента, соответствующий задаваемой доверительной вероятности *P* и числу степеней свободы *f* . В рассматриваемом случае *f* = *n* – 1. Значение *P* задается преподавателем. Некоторые значения коэффициента Стьюдента приведены в таблице. Отсутствующие значения можно найти линейной интерполяцией соседних значений.

При числе степеней свободы более 30 можно пользоваться графой , соответствующей нормальному закону распределения;

*д*) результат измерения напряжения записать в виде



**Обработка результатов многократных косвенных измерений мощности.** Методика определения мощности полностью совпадает с методикой при однократных измерениях.

Для исследования влияния случайных погрешностей устанавливают на ГСС (по указанию преподавателя) некоторый уровень дисперсии случайной погрешности и проводят (по указанию преподавателя) по *n* измерений выходного напряжения делителя в положениях 1 и 2 переключателя П (рис. 5.2). Каждое измерение проводят нажатием кнопки «выборка» на БВХ. В результате получают два ряда значений напряжений *U*1*i* и *U*2*i*; индексы 1 и 2 соответствуют положению переключателя П, *i =* 1, 2, … *n.*

Обработка результатов каждого ряда измерения напряжений проводится аналогично указанной ранее обработке результатов многократных прямых измерений и заполняются такие же таблицы (пп. *г* и *д* не выполняются).

Результат измерения мощности при многократном косвенном измерении

, (5.2)

где  − средние значение напряжений для двух рядов измерений, − среднее значение тока, текущее через сопротивление образцового резистора. Предполагается, что случайные погрешности много больше погрешности образцового сопротивления, которой в данном расчете пренебрегаем.

Определим доверительный интервал результата измерений. Из формулы полного дифференциала  и формулы (5.2) следует

 (5.3)

Поскольку использовался один и тот же ГСС, можно определить уточненную дисперсию средних  с числом степеней свободы *f =* 2*n* – 2 и использовать ее в (5.3) вместо . Результат измерения мощности следует записать в виде

, *Р =* … ,

где *kp*(*f*) – коэффициент Стьюдента, соответствующий числу степеней свободы *f =* 2*n* – 2 и доверительной вероятности *Р.*

1. В обозначение мощности «*Р*» искусственно введен индекс «*m*» c целью отличия от такого же общепринятого обозначения вероятности *Р*. [↑](#footnote-ref-1)
2. Для иллюстрации достоинств многократных измерений эксперименты пп. 4 и 5 по указанию преподавателя могут быть проведены дважды: при небольшом числе измерений (5…7) и числе измерений 20…25. Число измерений и количество экспериментов задаются преподавателем. [↑](#footnote-ref-2)