

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

Факультет дистанционного обучения (ФДО)

М. С. Сахаров

МЕТРОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

**Методические указания
по выполнению лабораторной работы для обучающихся
с применением дистанционных образовательных технологий**

Томск 2025

Корректор: А. Н. Миронова

Сахаров М. С.

Метрология и технические измерения : методические указания по выполнению лабораторных работ для обучающихся с применением дистанционных образовательных технологий / М. С. Сахаров. – Томск : ФДО, ТУСУР, 2025. – 33 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа «Измерение активных сопротивлений на постоянном токе»	5
1 Общие положения	5
2 Теоретический материал	7
2.1 Метод непосредственной оценки	7
2.2 Метод замещения мерой	7
2.3 Косвенный метод	8
2.4 Нулевой метод	11
3 Варианты заданий	14
4 Требования к отчету	26
Литература	27
Приложение А Сводная таблица результатов измерений	28
Приложение Б Технические характеристики мультиметра АММ-1071	29
Приложение В Технические характеристики электромеханического вольтамперметра М2044	30
Приложение Г Параметры измерительного моста Р 329	31
Приложение Д Погрешности измерителя параметров цепей Е7-21	32
Приложение Е Пример оформления титульного листа отчета	33

ВВЕДЕНИЕ

Целью лабораторной работы является изучение методов измерения активных сопротивлений, анализ полученных результатов измерений и получение практических навыков обработки результатов однократных измерений.

Задачи, решаемые при выполнении лабораторной работы:

- изучение методов измерений активных сопротивлений;
- получение практических навыков работы с паспортными данными средств измерений;
- получение практических навыков расчета погрешностей прямых и косвенных однократных измерений.

В методических указаниях рассматривается несколько методов измерения активных сопротивлений, которые в ходе выполнения работы необходимо проанализировать. По результатам обработки результатов измерений следует сделать выводы о точности и эффективности каждого из методов.

По результатам выполнения работы студент должен получить навыки обработки экспериментальных данных, которые он сможет применять при изучении последующих дисциплин и в трудовой деятельности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ»

1 Общие положения

Лабораторная работа выполняется студентом самостоятельно. В случае обнаружения факта несамостоятельного выполнения работа к рассмотрению не принимается и не рецензируется.

Перед выполнением лабораторной работы изучите теоретический материал, представленный в курсе и данных методических указаниях.

В ходе выполнения работы необходимо рассчитать погрешность измерений сопротивлений для следующих методов:

- 1) метод непосредственной оценки;
- 2) метод замещения мерой;
- 3) косвенный метод;
- 4) нулевой метод.

После проведения расчетов записать результаты каждого измерения в соответствии с правилами метрологии, а также проанализировать результаты измерений и сделать выводы о точности и эффективности каждого метода.

Специального оборудования для выполнения лабораторной работы не потребуется. Для расчетов можно использовать любое программное обеспечение, например MathCad и другие подобные средства.

Для обработки результатов измерений потребуются приведенные в приложениях Б–Д паспортные данные средств измерений, при помощи которых получены экспериментальные данные.

Лабораторная работа состоит из 5 заданий, каждое из которых имеет 20 вариантов. В методических указаниях приведены примеры решения заданий.

Выбор варианта для лабораторной работы осуществляется по общим правилам с использованием следующей формулы:

$$V = (N \times K) \operatorname{div} 100,$$

где V – искомый номер варианта,

N – общее количество вариантов,

K – код варианта,

div – целочисленное деление.

При $V = 0$ выбирается максимальный вариант.

2 Теоретический материал

2.1 Метод непосредственной оценки

Величина измеряемого сопротивления определяется непосредственно по показаниям цифрового прибора – мультиметра АММ-1071 или измерителя параметра цепей Е7-21. Погрешность определяется в соответствии с паспортными данными указанных средств измерений, представленными в приложении Б.

2.2 Метод замещения мерой

В качестве меры сопротивления применяются магазин сопротивлений МСР-63, в качестве инструмента сравнения – мультиметр АММ-1071. Измерения производятся в два этапа. На первом этапе мультиметром замеряется сопротивление. На втором этапе на магазине сопротивлений выставляется такое значение, чтобы показания мультиметра были такими же, как на первом этапе. При этом выставленное на магазине значение сопротивления может не совпадать с показаниями мультиметра, но именно оно является измеренным значением. Погрешность измерений состоит из погрешности магазина сопротивлений и разрешения мультиметра, равного 1 единице младшего разряда (е.м.р.). Погрешность магазина определяется согласно его техническим характеристикам, взятым из паспорта:

$$\delta R_m = \pm \left(0,05 + 0,1 \frac{m}{R} \right) \%,$$

где m – число разрядов, значения которых не равны нулю;

R – значение включенного сопротивления, Ом.

Тогда абсолютная погрешность измерения определяется выражением:

$$\Delta R = \pm \left(\frac{\delta R_m R}{100\%} + 1 \text{ е.м.р.} \right) = \pm \left(\frac{0,05R + 0,1m}{100\%} + 1 \text{ е.м.р.} \right). \quad (1.1)$$

2.3 Косвенный метод

Измерения косвенным методом производятся в соответствии со схемами, приведенными на рисунках 1.1 и 1.2, т. е. непосредственно измеряются ток I , протекающий через сопротивление, и падение напряжения U на сопротивлении. Значения измеряемого сопротивления пересчитываются в соответствии с законами электротехники. Для измерения токов и напряжений применяется электромеханический вольтамперметр М2044. Источник напряжения E и переменное сопротивление R предназначены для создания в измеряемом сопротивлении тока и падения напряжения на этом же сопротивлении, подходящего под диапазоны измерений амперметра и вольтметра.

Схема, изображенная на рисунке 1.1, применяется для измерения малых сопротивлений. Значение малого сопротивления рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{UR_V}{IR_V - U}, \quad (1.2)$$

где R_V – внутреннее сопротивление вольтметра, которое должно быть намного больше измеряемого сопротивления.

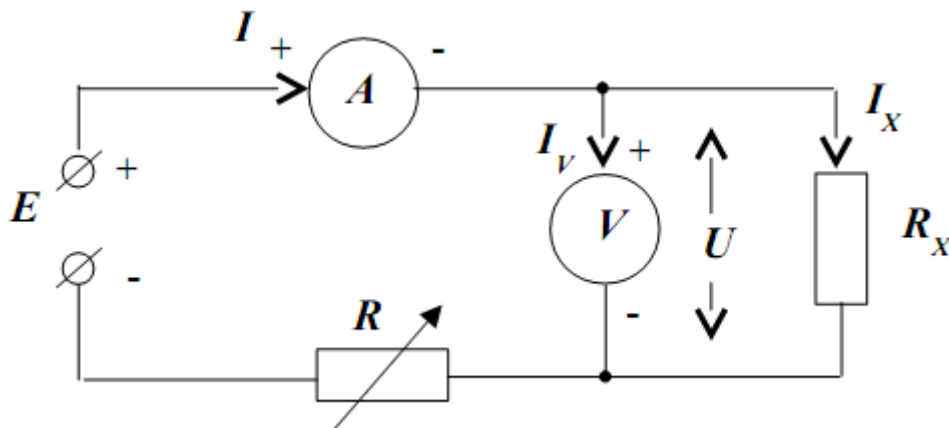


Рис. 1.1 – Схема косвенного измерения малых сопротивлений

Значение внутреннего сопротивления вольтметра рассчитывается по формуле:

$$R_V = \frac{U_K}{I_V}, \quad (1.3)$$

где U_K – установленный предел измерений вольтметра;

I_V – номинальный ток, протекающий через вольтметр, его значение можно найти в паспорте вольтметра в зависимости от значения U_K .

Относительная погрешность измерения малого сопротивления определяется формулой:

$$\delta R = \sqrt{\left(1 + \frac{R}{R_V}\right)^2 (\delta I^2 + \delta U^2) + \left(\frac{R}{R_V} \delta R_V\right)^2}, \quad (1.4)$$

где δI , δU и δR_V – соответственно относительные погрешности тока, напряжения и внутреннего сопротивления вольтметра.

Относительная погрешность внутреннего сопротивления вольтметра δR_V равна 1%. Относительные погрешности тока и напряжения определяются в соответствии с классом точности средства измерения с аддитивной погрешностью:

$$\delta I = \frac{\gamma I \cdot I_K}{I}, \quad \delta U = \frac{\gamma U \cdot U_K}{U}, \quad (1.5)$$

где I_K – установленный предел измерений амперметра;

γI и γU – соответственно классы точности амперметра и вольтметра; они равны, поскольку ток и напряжение измеряются прибором одного типа.

Класс точности берется из технических характеристик вольтамперметра М2044.

Показания тока и напряжения изначально даются в делениях, значения в единицах физических величин определяются по формулам:

$$I = \frac{N_I \cdot I_K}{150}, \quad U = \frac{N_U \cdot U_K}{150}, \quad (1.6)$$

где N_I и N_U – соответственно количество делений на шкале амперметра и вольтметра.

Значение большого сопротивления рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{U}{I} - R_A, \quad (1.7)$$

где R_A – внутреннее сопротивление амперметра, которое должно быть намного меньше измеряемого сопротивления.

Схема, изображенная на рисунке 1.2, применяется для измерения больших сопротивлений. Значение внутреннего сопротивления амперметра рассчитывается по формуле:

$$R_A = \frac{U_A}{I_K}, \quad (1.8)$$

где U_V – номинальное падение напряжения на амперметре, его значение можно найти в паспорте амперметра в зависимости от значения I_K .

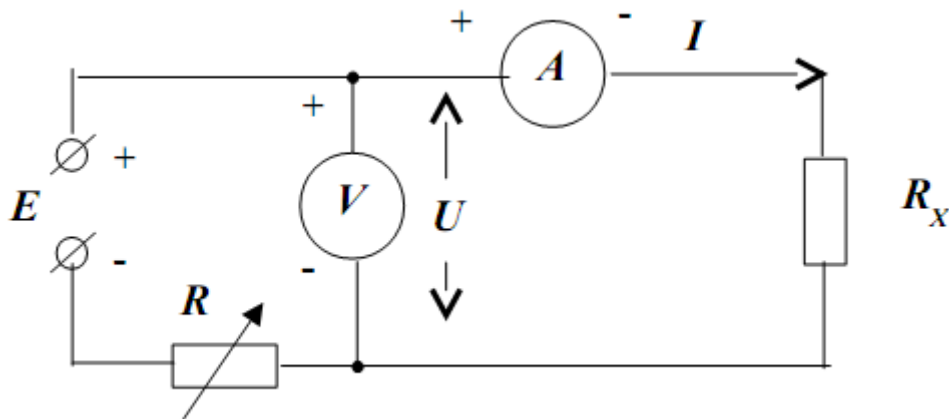


Рис. 1.2 – Схема косвенного измерения больших сопротивлений

Относительная погрешность измерения большого сопротивления определяется формулой:

$$\delta R = \sqrt{\left(1 + \frac{R_A}{R}\right)^2 (\delta I^2 + \delta U^2) + \left(\frac{R_A}{R} \delta R_A\right)^2}, \quad (1.9)$$

где δR_A – относительная погрешность внутреннего сопротивления амперметра, равная 1%.

Относительные погрешности тока и напряжения определяются по формулам (1.5).

2.4 Нулевой метод

Для измерений применяется мостовая схема, изображенная на рисунке 1.3. Источник питания E предназначен для создания токов в сопротивлениях. Переменное сопротивление R_1 выполнено в виде высокоточного магазина сопротивлений, постоянные сопротивления R_2 и R_3 также являются высокоточными и обычно имеют одинаковые номинальные значения. Нуль-индикатор G предназначен для фиксации момента равновесия моста, его функции выполняет мультиметр АММ-1071, включенный в режиме микроамперметра. Схема реализована в приборе Р 329.

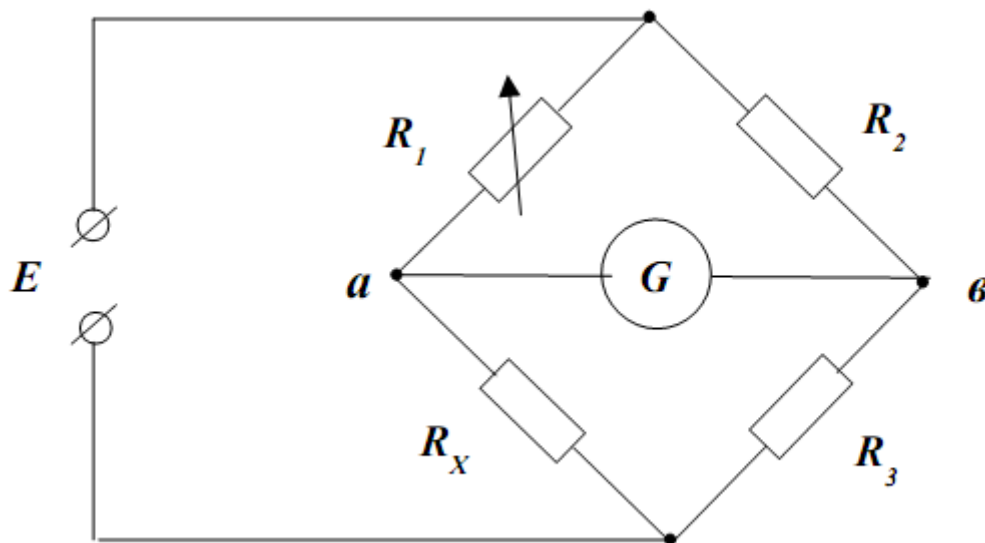


Рис. 1.3 – Мостовая схема для измерений активных сопротивлений

В процессе измерений значение R_1 подбирается таким образом, чтобы ток нуль-индикатора был нулевым, это является показателем того, что мост находится в равновесии. При этом верно выражение:

$$R_x = R_1 \frac{R_2}{R_3}. \quad (1.10)$$

Учитывая равенство R_2 и R_3 , значение измеренного сопротивления можно считать равным установленному значению высокоточного магазина сопротивлений R_1 .

Погрешность измерений обусловлена точностью изготовления образцовых сопротивлений, а также чувствительностью моста, которая определяется как минимальное отклонение сопротивления R_1 от равновесного значения, способное вызвать минимальное изменение показаний нуль-индикатора. Теоретически чувствительность зависит от большого количества факторов, в число которых помимо явно известных значений E , R_2 и R_3 входят паразитные параметры нуль-индикатора и источника питания, поэтому значение чувствительности проще определить экспериментально при помощи задания изменения переменного сопротивления на величину dR_1 , при котором нуль-индикатор покажет некоторое ненулевое значение dI_G . Значение чувствительности определяется отношением:

$$S = \frac{dI_G}{dR_1}. \quad (1.11)$$

Относительная погрешность измерения сопротивления определяется формулой:

$$\delta R = \sqrt{\delta R_1^2 + \delta R_2^2 + \delta R_3^2 + \delta S^2}, \quad (1.12)$$

где δR_1 – относительная погрешность переменного образцового сопротивления R_1 , определяемая его конкретным значением;

δR_2 и δR_3 – относительные погрешности постоянных образцовых сопротивлений R_2 и R_3 , равные 0,015%;

δS – частная относительная погрешности, обусловленная неточностью нуль-индикатора.

Для определения δR_1 сначала рассчитывают абсолютную погрешность ΔR_1 сопротивления R_1 , из которой потом определяют относительную. Так как сопротивление R_1 представляет собой магазин сопротивлений, его

погрешность будет складываться из погрешностей отдельных резисторов разрядов магазина, включенных в плечо R_1 моста при равновесии:

$$\Delta R_1 = \sum_{i=1}^5 n_i \frac{\delta R_i \cdot R_i}{100\%}, \quad (1.13)$$

где n_i – значение i -го разряда магазина сопротивлений;

R_i – цена i -го разряда магазина сопротивлений;

δR_i – относительная погрешность i -го разряда магазина сопротивлений.

Значения указанных параметров определяются в соответствии с техническими характеристиками измерительного моста Р 329.

Частная относительная погрешности, обусловленная неточностью нуль-индикатора, определяется выражением:

$$\delta S = \frac{dR_1}{R_1} \frac{\Delta I_G}{dI_G} \cdot 100\%, \quad (1.14)$$

где ΔI_G – абсолютная погрешность нуль-индикатора, равная 1 е.м.р.

3 Варианты заданий

Задание 1. Метод непосредственной оценки.

Измерение мультиметром АММ-1071

1. Выберите значения большого R_6 и малого R_m сопротивления, измеренных методом непосредственной оценки мультиметром АММ-1071, согласно вашему варианту (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Результаты измерения мультиметром АММ-1071

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_6 , Ом	100,2	109,3	118,5	127,8	137,2	146,7	156,3	166,1	175,9	185,8
R_m , Ом	16,5	15,9	15,3	14,7	14,1	13,5	12,9	12,3	11,7	11,1
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R_6 , Ом	195,9	206,1	216,3	226,5	236,8	247,2	257,7	268,3	279,1	289,8
R_m , Ом	10,5	9,9	9,3	8,7	8,1	7,5	6,9	6,3	5,7	5,1

2. Рассчитайте погрешность измерений в соответствии с техническими характеристиками, данными в паспорте мультиметра АММ-1071 (приложение Б).

3. Запишите результаты измерений большого и малого сопротивления в соответствии с правилами метрологии в сводную таблицу (приложение А).

Пример решения задания 1

Измеренное сопротивление равно 593,4 Ом. Для расчета погрешности в паспорте мультиметра даны диапазоны измерения и соответствующие им формулы для расчета погрешностей. Измеренное сопротивление попадает в диапазон 400 Ом – 4 кОм, для него указана погрешность $\pm(1,5\% + 5 \text{ е.м.р.})$. В записях такого вида принято, что процент берется от измеренного значения, а е.м.р. расшифровывается как единица младшего разряда. Поскольку измеренное значение отобразилось с точностью до десятых долей, то 1 е.м.р. в данном случае равна 0,1 Ом. Таким образом, получается следующая формула для расчета погрешности:

$$\Delta R = \pm \left(\frac{1,5\% \cdot R_x}{100\%} + 0,5 \right) \text{ Ом.}$$

После подстановки значений получается:

$$\Delta R = \pm \left(\frac{1,5\% \cdot 593,4 \text{ Ом}}{100\%} + 0,5 \right) \text{ Ом} = \pm 9,401 \text{ Ом.}$$

Полученное значение погрешности округляется в соответствии с правилами метрологии. Первая значащая цифра равна 9, поскольку она больше 4, то остается только одна значащая цифра, кроме того, 9 всегда округляется до следующего разряда, поэтому окончательное значение погрешности равно 10 Ом. По правилам записи результата измерений измеренное значение округляется с той же точностью, что и погрешность, в данном случае до десятков, т. е. остается 590 Ом.

Результат измерения: $R = (590 \pm 10) \text{ Ом.}$

Контролируемые значения: ΔR с точностью до 3 значащих цифр, результат измерения.

Задание 2. Метод непосредственной оценки.

Измеритель параметров цепей Е7-21

1. Выберите значения большого R_6 и малого R_m сопротивлений, измеренных методом непосредственной оценки измерителем параметров цепей Е7-21, согласно вашему варианту (табл. 1.2).

Таблица 1.2 – Результаты измерения прибором Е7-21

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_6 , Ом	100,1	109,2	118,4	127,9	137,1	146,8	156,2	166,2	175,8	185,9
R_m , Ом	16,51	15,89	15,32	14,68	14,13	13,47	12,94	12,26	11,75	11,05
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R_6 , Ом	195,8	206,2	216,2	226,6	236,7	247,3	257,6	268,4	279,2	289,7
R_m , Ом	10,56	9,84	9,37	8,63	8,18	7,42	6,99	6,21	5,69	5,11

2. Рассчитайте погрешность измерений в соответствии с техническими характеристиками, данными в паспорте измерителем параметров цепей E7-21 (приложение Д).

3. Запишите результаты измерений большого и малого сопротивлений в соответствии с правилами метрологии в сводную таблицу (приложение А).

Пример решения задания 2

Измеренное сопротивление равно 258,6 Ом. Для расчета погрешности в паспорте E7-21 даны несколько таблиц, каждая из которых соответствует измеряемой физической величине. В каждой таблице даны тестовые частоты, диапазоны измерения и соответствующие им формулы для расчета погрешностей. Как видно из таблицы для сопротивлений, тестовая частота в этом случае значения не имеет. Измеренное сопротивление попадает в диапазон 100 Ом – 1000 Ом, для него дана формула относительной погрешности:

$$\delta R = \pm \left[0,15 + 0,01 \left(\frac{R_k}{R} - 1 \right) \right] \%,$$

где R_k – конечное значение диапазона измерений, в данном случае равное 1000 Ом.

После подстановки значений:

$$\delta R = 0,15 + 0,01 \left(\frac{1000 \text{ Ом}}{258,6 \text{ Ом}} - 1 \right) = 0,177\%.$$

В конце рассчитывается абсолютная погрешность:

$$\Delta R = \frac{0,177\% \cdot 258,6 \text{ Ом}}{100\%} = 0,462 \text{ Ом}.$$

Первая значащая цифра 4, поэтому остается только одна значащая цифра, окончательное значение погрешности равно 0,5 Ом. По правилам записи результата измерений измеренное значение округляется с той же

точностью, что и погрешность, в данном случае до десятых, т. е. остается 258,6 Ом.

Результат измерения: $R = (258,6 \pm 0,5) \text{ Ом}$.

Контролируемые значения: δR , ΔR , с точностью до 3 значащих цифр, результат измерения.

Задание 3. Метод замещения мерой

1. Выберите значения большого R_6 и малого R_m сопротивлений, измеренных методом замещения мерой, согласно вашему варианту (табл. 1.3).

Таблица 1.3 – Результаты измерения методом замещения мерой

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_6 , Ом	100,1	109,4	118,4	127,9	137,1	146,8	156,2	166,2	175,8	185,9
R_m , Ом	16,5	15,9	15,3	14,7	14,1	13,5	12,9	12,3	11,7	11,1
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R_6 , Ом	195,8	206,2	216,2	226,6	236,7	247,3	257,6	268,4	279,1	289,7
R_m , Ом	10,5	9,9	9,3	8,7	8,1	7,5	6,9	6,3	5,7	5,1

2. Рассчитайте погрешность измерений в соответствии с формулой (1.1).

3. Запишите результаты измерений большого R_6 и малого R_m сопротивлений в соответствии с правилами метрологии в сводную таблицу (приложение А).

Пример решения задания 3

Измеренное сопротивление равно 250,4 Ом. Видно, что в нём всего 4 значащие цифры, но одна из них равна нулю, поэтому $m = 3$. Поскольку значение на мультиметре отобразилось с точностью до десятых долей,

то 1 е.м.р. в данном случае равна 0,1 Ом. Расчет погрешности производится в соответствии с формулой (1.1):

$$\Delta R = \pm \left(\frac{0,05 \cdot 290,3 \text{ Ом} + 0,1 \cdot 3}{100\%} + 0,1 \text{ Ом} \right) = 0,248 \text{ Ом}.$$

Полученное значение погрешности округляется в соответствии с правилами метрологии. Первая значащая цифра равна 2. Поскольку она меньше 3, то остаются две значащих цифры и окончательное значение погрешности равно 0,25 Ом. По правилам записи результата измерений измеренное значение округляется с той же точностью, что и погрешность, в данном случае до десятков, т. е. 250,40 Ом.

Результат измерения: $R = (250,40 \pm 0,25) \text{ Ом}.$

Контролируемые значения: ΔR с точностью до 3 значащих цифр, результат измерения.

Задание 4. Косвенный метод

1. Выберите значения токов и напряжений, соответствующих большому R_b и малому R_m сопротивлениям, измеренных косвенным методом, согласно вашему варианту (табл. 1.4 и 1.5).

Таблица 1.4 – Результаты измерения большого сопротивления косвенным методом

Вариант	Показания амперметра, дел	Предел шкалы амперметра I_N , мА	Показания вольтметра, дел	Предел шкалы вольтметра, В
1	130	7,5	135	0,75
2	129	30	145	3
3	115	15	140	1,5
4	103	7,5	135	0,75
5	149	15	105	3
6	140	7,5	105	1,5

Окончание таблицы 1.4

Вариант	Показания амперметра, дел	Предел шкалы амперметра I_N , мА	Показания вольтметра, дел	Предел шкалы вольтметра, В
7	143	3	105	0,75
8	142	15	120	3
9	134	7,5	120	1,5
10	141	3	120	0,75
11	141	15	140	3
12	134	7,5	140	1,5
13	139	3	135	0,75
14	126	15	145	3
15	117	7,5	140	1,5
16	123	3	135	0,75
17	111	15	145	3
18	103	7,5	140	1,5
19	110	3	135	0,75
20	143	7,5	105	3

Таблица 1.5 – Результаты измерения малого сопротивления косвенным методом

Вариант	Показания амперметра, дел	Предел шкалы амперметра I_N , мА	Показания вольтметра, дел	Предел шкалы вольтметра, В
1	146	150	120	3
2	139	75	110	1,5
3	133	30	100	0,6
4	102	300	149	3
5	103	150	145	1,5
6	100	75	135	0,75
7	113	300	145	3
8	114	150	140	1,5
9	116	75	135	0,75

Окончание таблицы 1.5

Вариант	Показания амперметра, дел	Предел шкалы амперметра I_N , мА	Показания вольтметра, дел	Предел шкалы вольтметра, В
10	131	300	145	3
11	134	150	140	1,5
12	137	75	135	0,75
13	145	300	135	3
14	138	150	120	1,5
15	136	75	110	0,75
16	146	300	110	3
17	145	300	100	3
18	107	300	135	1,5
19	123	1500	140	7,5
20	113	750	145	3

2. Рассчитайте погрешность измерений в соответствии с техническими характеристиками, представленными в паспорте электромеханического вольтамперметра М2044 (приложение В), и формулами (1.2) – (1.9) п. 2.3.

3. Запишите результаты измерений большого и малого сопротивлений в соответствии с правилами метрологии в сводную таблицу (приложение А).

Пример решения задания 4 (для малого сопротивления)

Амперметр показал 137 делений при установленном пределе измерений тока 300 мА = 0,3 А. Вольтметр показал 140 делений при установленном пределе измерений напряжения 3 В.

В соответствии с формулами (1.6) получаются следующие значения напряжения и тока:

$$I = \frac{137 \cdot 0,3 \text{ А}}{150} = 0,274 \text{ А}, \quad U = \frac{140 \cdot 3 \text{ В}}{150} = 2,8 \text{ В}.$$

Для расчета измеренного сопротивления в соответствии с формулой (1.2) потребуется значение внутреннего сопротивления вольтметра, определяемого по формуле (1.3). Согласно техническим характеристикам вольтметра, пределу измерений $U_k = 3 \text{ В}$ соответствует номинальный ток $I_V = 0,6 \text{ мА}$. Тогда

$$R_V = \frac{3 \text{ В}}{6 \cdot 10^{-4} \text{ А}} = 5000 \text{ Ом}.$$

Измеренное значение сопротивления:

$$R_m = \frac{2,8 \text{ В} \cdot 5000 \text{ Ом}}{0,274 \text{ А} \cdot 5000 \text{ Ом} - 2,8 \text{ В}} = 10,24 \text{ Ом}.$$

Далее по формулам (1.5) определяются относительные погрешности тока и напряжения. Значения класса точности амперметра и вольтметра согласно техническим характеристикам равны 0,2:

$$\delta I = \frac{0,2\% \cdot 0,3 \text{ А}}{0,274 \text{ А}} = 0,219\%,$$

$$\delta U = \frac{0,2\% \cdot 3 \text{ В}}{2,8 \text{ В}} = 0,214\%.$$

Относительная погрешность внутреннего сопротивления равна 1%. По формуле (1.4) определяется относительная погрешность измеренного сопротивления:

$$\delta R = \sqrt{\left(1 + \frac{10,24 \text{ Ом}}{5000 \text{ Ом}}\right)^2 (0,219\%^2 + 0,214\%^2) + \left(\frac{10,24 \text{ Ом}}{5000 \text{ Ом}} 1\%\right)^2} = 0,307\%.$$

В конце рассчитывается абсолютная погрешность:

$$\Delta R = \frac{0,307\% \cdot 10,24 \text{ Ом}}{100\%} = 0,0314 \text{ Ом}.$$

Первая значащая цифра равна 3, поэтому остаются две значащие цифры и окончательное значение погрешности равно 0,031 Ом. Измеренное значение округляется до тысячных, т. е. 10,240 Ом.

Результат измерения: $R = (10,240 \pm 0,031) \text{ Ом}.$

Контролируемые значения для малого сопротивления: I , U , R_V , R_m , δI , δU , δR , ΔR с точностью до 3 значащих цифр, результат измерения.

Пример решения задания 4 (для большого сопротивления)

Амперметр показал 143 деления при установленном пределе измерений тока 7,5 мА. Вольтметр показал 105 делений при установленном пределе измерений напряжения 3 В.

В соответствии с формулами (1.6) получаются следующие значения напряжения и тока:

$$I = \frac{143 \cdot 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ А}}{150} = 7,15 \cdot 10^{-3} \text{ А}, \quad U = \frac{105 \cdot 3 \text{ В}}{150} = 2,1 \text{ В}.$$

Для расчета измеренного сопротивления в соответствии с формулой (1.7) потребуется значение внутреннего сопротивления амперметра, определяемого по формуле (1.8). Согласно техническим характеристикам амперметра, пределу измерений $I_k = 7,5 \text{ мА}$ соответствует падение напряжения $U_A = 25 \text{ мВ}$. Тогда

$$R_A = \frac{25 \cdot 10^{-3} \text{ В}}{7,5 \cdot 10^{-3} \text{ А}} = 3,33 \text{ Ом}.$$

Измеренное значение сопротивления:

$$R_x = \frac{2,1 \text{ В}}{7,15 \cdot 10^{-3} \text{ А}} - 3,33 \text{ Ом} = 290,4 \text{ Ом}.$$

Далее по формулам (1.5) определяются относительные погрешности тока и напряжения:

$$\delta I = \frac{0,2\% \cdot 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ А}}{7,15 \cdot 10^{-3} \text{ А}} = 0,21\%,$$

$$\delta U = \frac{0,2\% \cdot 3 \text{ В}}{2,1 \text{ В}} = 0,286\%.$$

Относительная погрешность внутреннего сопротивления равна 1%. По формуле (1.9) определяется относительная погрешность измеренного сопротивления:

$$\delta R = \sqrt{\left(1 + \frac{3,33 \text{ Ом}}{290,4 \text{ Ом}}\right)^2 (0,21\%^2 + 0,286\%^2) + \left(\frac{3,33 \text{ Ом}}{290,4 \text{ Ом}} 1\%\right)^2} = 0,357\%.$$

В конце рассчитывается абсолютная погрешность:

$$\Delta R = \frac{0,357\% \cdot 290,4 \text{ Ом}}{100\%} = 1,037 \text{ Ом}.$$

Первая значащая цифра равна 1, она меньше 3, поэтому остаются две значащие цифры и окончательное значение погрешности равно 1,0 Ом. Измеренное значение округляется до десятых, т. е. 290,4 Ом.

Результат измерения: $R = (290,4 \pm 1,0) \text{ Ом}$.

Контролируемые значения для большого сопротивления: I , U , R_A , R_6 , δI , δU , δR , ΔR с точностью до 3 значащих цифр, результат измерения.

Задание 5. Нулевой метод

1. Выберите значения большого R_6 сопротивления, измеренного нулевым методом, отклонение dR_1 образцового сопротивления от равновесного состояния, ток dI_G нуль-индикатора при выведении моста из равновесия согласно вашему варианту (табл. 1.6).

Таблица 1.6 – Результаты измерения большого сопротивления нулевым методом

Вариант	R_1 , Ом	dR_1 , Ом	dI_G , мкА
1	100,12	10	70,1
2	109,38	10	61,9
3	118,43	10	54,2
4	127,87	10	49,8
5	137,11	10	44,3

Окончание таблицы 1.6

Вариант	R_1 , Ом	dR_1 , Ом	dI_G , мкА
6	146,79	10	39,7
7	156,26	10	36,4
8	166,14	10	32,6
9	175,81	10	30,5
10	185,89	10	27,9
11	195,82	10	25,1
12	206,18	10	23,8
13	216,23	10	21,2
14	226,57	10	20,7
15	236,74	10	18,3
16	247,26	10	17,6
17	257,65	10	16,4
18	268,35	10	15,5
19	279,01	10	14,1
20	289,89	10	13,9

2. Рассчитайте погрешность измерений в соответствии с техническими характеристиками, представленными в паспорте измерительного моста Р 329 (приложение Г) и мультиметра АММ-1071 (приложение Б), и формулами (1.12) – (1.14) пп. 2.4.

3. Запишите результаты измерений большого и малого сопротивлений в соответствии с правилами метрологии в сводную таблицу (приложение А).

Пример решения задания 5

По результатам эксперимента $R_X = R_1 = 504,63$ Ом, при этом отклонение R_1 от равновесия на величину $dR_1 = 10$ Ом дало показания микроамперметра $dI_G = 15,2$ мкА.

В соответствии с формулой (1.13) и данными из приложения Г определяется абсолютная погрешность сопротивления R_1 . Поскольку его значение равно 504,63, то $n_1 = 5$, $n_2 = 0$, $n_3 = 4$, $n_4 = 6$, $n_5 = 3$.

$$\Delta R_1 = 5 \cdot \frac{0,015\% \cdot 100 \text{ Ом}}{100\%} + 0 \cdot \frac{0,015\% \cdot 10 \text{ Ом}}{100\%} + 4 \cdot \frac{0,15\% \cdot 1 \text{ Ом}}{100\%} + 6 \cdot \frac{0,55\% \cdot 0,1 \text{ Ом}}{100\%} + 3 \cdot \frac{1\% \cdot 0,01 \text{ Ом}}{100\%} = 0,0846 \text{ Ом}.$$

Относительная погрешность рассчитывается по определению:

$$\delta R_1 = \frac{\Delta R_1}{R_1} \cdot 100\% = \frac{0,0846 \text{ Ом}}{504,63 \text{ Ом}} \cdot 100\% = 0,0168\%.$$

Как видно из показаний микроамперметра, 1 е.м.р. = 0,1 мкА. Частная относительная погрешности, обусловленная неточностью нуль-индикатора, в соответствии с (1.14) равна:

$$\delta S = \frac{10 \text{ Ом}}{504,63 \text{ Ом}} \cdot \frac{0,1 \cdot 10^{-6} \text{ А}}{15,2 \cdot 10^{-6} \text{ А}} \cdot 100\% = 0,013\%.$$

Полная относительная погрешность, определяемая в соответствии с (1.12):

$$\delta R = \sqrt{0,0168\%^2 + 0,015\%^2 + 0,015\%^2 + 0,013\%^2} = 0,03\%.$$

В конце рассчитывается абсолютная погрешность:

$$\Delta R = \frac{0,03\% \cdot 504,63 \text{ Ом}}{100\%} = 0,151 \text{ Ом}.$$

Первая значащая цифра равна 1, она меньше 3, поэтому остаются две значащие цифры и окончательное значение погрешности равно 0,15 Ом. Измеренное значение округляется до сотых, т. е. 504,63 Ом.

Результат измерения: $R = (504,63 \pm 0,15) \text{ Ом}.$

Контролируемые значения: ΔR_1 , δR_1 , δS , δR , ΔR , с точностью до 3 значащих цифр, результат измерения.

После выполнения всех заданий сравните результаты измерений и сделайте выводы о точности каждого метода.

4 Требования к отчету

Составляющие отчета:

- титульный лист (приложение Е);
- цель работы;
- задание;
- расчетная часть;
- заполненная сводная таблица (приложение А);
- заключение (после выполнения всех заданий сравните результаты измерений и сделайте выводы о точности каждого метода).

При оформлении отчета следует руководствоваться требованиями образовательного стандарта ТУСУР 01-2021 «Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления» (<https://regulations.tusur.ru/documents/70>).

Отчет по лабораторной работе может быть предоставлен в форматах DOC, DOCX, ODT, PDF, RTF и т. п.

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Волегов, А. С. Метрология и измерительная техника: электронные средства измерений электрических величин : учеб. пособие для вузов / А. С. Волегов, Д. С. Незнахин, Е. А. Степанова. – М. : Юрайт, 2024. – 103 с. // Образовательная платформа «Юрайт» : сайт. – URL: <https://urait.ru/bcode/535171> (дата обращения: 30.01.2025).
2. Евтихийев, Н. Н. Измерение электрических и неэлектрических величин : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Евтихийев, Я. А. Купершмидт, В. Ф. Папуловский, В. Н. Скугоров. – М. : Энергоатомиздат, 1990 – 352 с.
3. Нефедов, В. И. Метрология и радиоизмерения : учеб. пособие для вузов / В. И. Нефедов, А. С. Сигов, В. К. Бирюков. – 2-е изд., перераб. – М. : Высшая школа, 2006. – 526 с.: ил.
4. Сахаров, М. С. Метрология и технические измерения / М. С. Сахаров, В. Ф. Отчалко. – Томск : ФДО, ТУСУР, 2025. – 200 с.

Дополнительные источники по организации самостоятельного обучения

1. Гид студента : электронный курс. – URL: <https://study.tusur.ru/tdo> (Меню студента – Гид студента).
2. Современные образовательные технологии / под общ. ред. Л. Л. Рыбцовой. – М. : Юрайт, 2022. – 92 с. // Образовательная платформа «Юрайт» : сайт. – URL: <https://urait.ru/viewer/sovremennye-obrazovatelnye-tehnologii-493618#page/1> (дата обращения: 30.01.2025).
3. Куклина, Е. Н. Организация самостоятельной работы студента / Е. Н. Куклина, М. А. Мазниченко, И. А. Мушкина. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2023. – 235 с. // Образовательная платформа «Юрайт» : сайт. – URL: <https://urait.ru/viewer/organizaciya-samostoyatelnoy-raboty-studenta-513809#page/1> (дата обращения: 30.01.2025).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Сводная таблица результатов измерений

Таблица А.1 – Сводная таблица результатов измерений

Объект измерения	Метод измерения	Измеренное значение, Ом	Погрешность измерения, Ом
Большое сопротивление	Метод непосредственной оценки (АММ-1071)		
	Метод непосредственной оценки (Е7-21)		
	Метод замещения мерой		
	Косвенный метод		
	Нулевой метод		
Малое сопротивление	Метод непосредственной оценки (АММ-1071)		
	Метод непосредственной оценки (Е7-21)		
	Метод замещения мерой		
	Косвенный метод		

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Технические характеристики мультиметра АММ-1071

Таблица Б.1 – Погрешность измерения сопротивлений

Функция	Диапазон	Разрешение	Погрешность
Сопротивление	0 Ом – 400 Ом	0,1 Ом	$\pm(1,5\% + 5 \text{ е.м.р.})$
	400 Ом – 4 кОм	1 Ом	$\pm(1,5\% + 5 \text{ е.м.р.})$
	4 кОм – 40 кОм	10 Ом	$\pm(1,5\% + 5 \text{ е.м.р.})$
	40 кОм – 400 кОм	100 Ом	$\pm(1,5\% + 5 \text{ е.м.р.})$
	400 кОм – 4 МОм	1 кОм	$\pm(1,5\% + 5 \text{ е.м.р.})$
	4 МОм – 40 МОм	10 кОм	$\pm(2,5\% + 20 \text{ е.м.р.})$

ПРИЛОЖЕНИЕ В
Технические характеристики
электромеханического вольтамперметра М2044

Класс точности: 0,2.

Количество делений N в шкале: 150.

Таблица В.1 – Падение напряжения U_A на амперметре при разных диапазонах измерения тока I_k

I_k, A	30	15	7,5	3	1,5	0,75
$U_A, мВ$	300	150	75	140	70	35
I_k, mA	300 30	150 15	75 7,5	3	1,5	0,75
$U_A, мВ$	100	50	25	82	40	20

Таблица В.2 – Ток I_V вольтметра при разных диапазонах измерения напряжения U_k

$U_k, В$	300 30 3	150 15 1,5	75 7,5 0,75
$U_k, мВ$	300 60	150 30	75 15
I_V, mA	0,6	0,3	0,15

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Параметры измерительного моста Р 329

Таблица Г.1 – Параметры измерительного моста Р 329

Порядковый номер разряда	i	1	2	3	4	5
Наименование разряда		Сотни	Десятки	Единицы	Десятые	Сотые
Цена деления разряда, Ом	R_i	100	10	1	0,1	0,01
Относительная погрешность разряда, %	δR_i	0,015	0,015	0,15	0,55	1

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Погрешности измерителя параметров цепей Е7-21

Таблица Д.1 – Погрешности измерителя параметров цепей Е7-21

Измеряемая величина	Рабочая частота	Номер диапазона	Диапазон измерения R	Пределы допускаемой основной погрешности по R , %
R	100 Гц 1 кГц	1	(1,000 – 20,00) МОм	$\pm[1 + 0,2(R/R_H - 1)]$
		2	(100,0 – 1000) кОм	$\pm[0,15 + 0,01(R/R_H - 1)]$
		3	(10,00 – 100) кОм	
		4	(1,000 – 10,00) кОм	
		5	(100,0 – 1000) Ом	$\pm[0,15 + 0,01(R_K/R - 1)]$
		6	(10,00 – 100,0) Ом	
		7	(1,000 – 10,00) Ом	
		8	(1 – 1000) мОм	$\pm[1 + 0,2(R_K/R - 1)]$

Примечание:

1. R – измеренное значение сопротивления;

R_H , R_K – начальное и конечное значения установленного диапазона измерений.

2. Допускается нестабильность показаний прибора, если она не приводит к погрешности измерения, превышающей допустимые для соответствующего вида измерений значения.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е**Пример оформления титульного листа отчета**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

Лабораторная работа
«Измерение активных сопротивлений на постоянном токе»
по дисциплине «Метрология и технические измерения»

Вариант № ____

Студент гр. ____

И. О. Фамилия

«____» _____ 20__ г.

Томск 20__