

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ

**Методические указания к лабораторной работе
по дисциплинам
«Аналоговые измерительные устройства»,
«Преобразовательная техника»**

Казань 2016

УДК 621.317
ББК 31.221
И51

И51 **Измерение сопротивлений:** методические указания к лабораторной работе / Сост.: А.А. Наумов, Н.А. Гарифуллина. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – 16 с.

Рассматриваются прямые и косвенные виды измерений сопротивлений с использованием различных средств измерений, а также методика измерения сопротивлений при помощи одинарного и двойного моста.

Предназначена для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки «Электроэнергетика и электроника».

УДК 621.317
ББК 31.221

Введение

В электроэнергетике существует потребность измерения сопротивлений в широком диапазоне. По величине сопротивления постоянному току принято условно разделять: малые сопротивления – 10 нОм ... 10 Ом; средние – 10 Ом ... 1 МОм; большие – свыше 1 МОм.

Выбор средств и метода измерения зависит от значения сопротивления, условий измерения, требуемой точности и наличия средств измерения. Возможно использование прямых и косвенных методов измерения. Наиболее простым является прямой метод, при котором результат определяется непосредственно по показаниям измерительных средств.

При выполнении данной работы студенты осваивают следующие компетенции:

- способность использовать технические средства для измерения основных параметров электроэнергетических и электротехнических объектов и систем и происходящих в них процессов;
- способность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации электроэнергетических и электротехнических объектов, элементы экономического анализа в практической деятельности;
- готовность планировать экспериментальные исследования;
- готовность выполнять экспериментальные исследования по заданной методике, обрабатывать результаты экспериментов.

Цель работы

Ознакомление с наиболее распространенными методами и приборами для измерения сопротивлений в диапазоне от 10^{-8} до 10^{10} Ом.

Краткая теоретическая часть

К прямым методам измерения сопротивления относятся измерения с помощью омметров магнитоэлектрической системы, мегаомметров магнитоэлектрической системы с подвижной катушкой и с электронным устройством в измерительной цепи, мегомметров, выполненных по схеме логометра, а также одинарно-двойных мостов постоянного тока.

С помощью мостов постоянного тока измерения сопротивления осуществляют с высокой точностью. Мосты постоянного тока (одинарные) могут иметь диапазон измерения: 10 Ом ... 0,1 ПОм (приставка пета – множитель 10^{15}); классы точности: 0,005... 10,0.

В уравновешенных одинарных мостах (Рис. 1) при любом напряжении источника U ток в диагонали питания и напряжение в диагонали равновесия равны 0. Следовательно, падения напряжения в плече 1 равно падению в плече 4, соответственно равны падения напряжения в плечах 2 и 3:

$$I_1 R_x = I_4 R_4 ; I_2 R_2 = I_3 R_3 .$$

При отсутствии разности потенциалов в точках 1 и 2 ток через гальванометр отсутствует, следовательно, $I_1 = I_2$, $I_3 = I_4$. Разделив почленно равенства падений напряжения получаем условие равновесия одинарного моста:

$$R_x = \frac{R_2 R_4}{R_3}.$$

Уравновешивание моста возможно выполнить изменением соотношения сопротивлений 2 и 3, при известном R_4 .

При измерении малых сопротивлений на результат измерения существенно влияют сопротивления контактов и подводящих проводов, а также контактная ЭДС. Для уменьшения этого влияния применяют четырехзажимную схему включения исследуемого объекта, а измерения производят с помощью двойных мостов постоянного тока (рис. 2). Возможный диапазон измерения: 10 нОм ... 10 Ом (приставка нано – множитель 10^{-9}); классы точности: 0,01 ... 2,0.

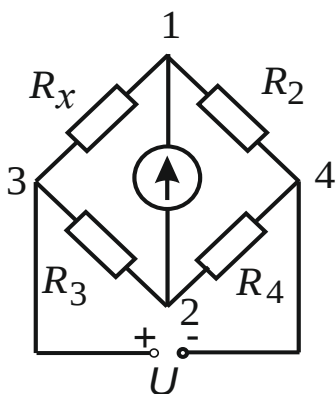


Рис. 1. Одинарный мост постоянного тока

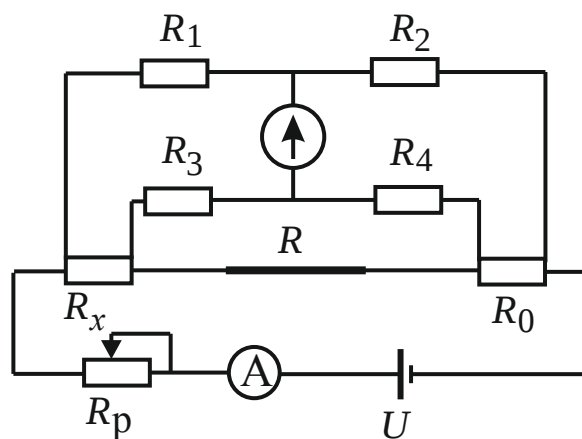


Рис. 2. Двойной мост постоянного тока

Двойной мост содержит рабочую цепь, состоящую из источника питания, регулировочного сопротивления R_p , измеряемого сопротивления R_x ,

образцового сопротивления R_0 , сопротивления проводов и контактов R . Измерительная часть цепи состоит из резисторов R_1 – R_4 . Рассчитывают измеряемое сопротивление после уравнивания моста по формуле

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_0.$$

Для измерения больших сопротивлений можно использовать магнитоэлектрические омметры, омметры-логометры и электронные тераомметры.

Электронный логометр (тераомметр). Это прибор, в котором последовательно с измеряемым сопротивлением R_x включается образцовое сопротивление R_0 . С помощью электронного вольтметра измеряют падение напряжения на R_x (при условии, что $R_0 \gg R_x$), которое пропорционально измеряемому сопротивлению. Шкала при этом будет линейной. При $R_0 \ll R_x$ измеряют падение напряжения на R_0 , шкала выходного прибора обратно пропорциональна измеряемому сопротивлению и носит гиперболический характер. Обычно это многопредельные приборы с неравномерной шкалой. Диапазон измерения: 10 Ом ... 10 ПОм; классы точности: 1,5; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0.

При косвенных измерениях сопротивлений R_x широко используют метод амперметра-вольтметра. Этот метод основан на раздельном измерении тока и напряжения с последующим вычислением сопротивления по закону Ома. Метод надежен, но обладает невысокой точностью, ограниченной классом точности применяемых приборов и методической погрешностью, вносимой этими приборами. В зависимости от значения сопротивления для измерения тока можно использовать милли- и микроамперметры, гальванометры; для измерения напряжения – милли- и микровольтметры, гальванометры. Погрешность измерения порядка 1,5 ... 2 %.

Описание лабораторной установки

В лабораторной работе используются следующие приборы, измеряющие сопротивления: мегаомметры М1101 и ЭС0210/2-Г, магнитоэлектрический омметр Ц4317 и одинарно-двойной мост Р-329.

На лабораторном стенде находятся органы управления: тумблер «Сеть», лампочка «Сеть», переключатель сопротивлений на 11 положений « R_x » (переключение производится с помощью многопозиционного переключателя на стенде), зажимы сопротивлений, шунт, зажимы питания одинарного моста (от встроенного источника напряжением 3 В), зажимы

питания двойного моста (от встроенного источника напряжением 12 В), переключатель полярности напряжения двойного моста, амперметр, гальванометр М197, реостат, термосопротивление. Магазин сопротивлений и измерительные приборы размещены на столе лабораторного стенда.

Мегаомметры служат для измерения больших сопротивлений (от 0,4 кОм до 10 ТОм) и применяются при испытаниях изоляции сетей, обмоток машин, трансформаторов и других электрических установок.

Приборы Ц4317 и Ц4317М являются универсальными приборами для измерения постоянных и переменных напряжения и тока, а также сопротивления на постоянном токе. Диапазон измеряемых сопротивлений варьируется от 1 Ом до 3 МОм для Ц4317 и от 1 Ом до 10 МОм для прибора Ц4317М. Внешний вид приборов Ц4317 и Ц4317М с указанием коммутационных устройств и органов управления приведен на рис. 3, а и 3, б.

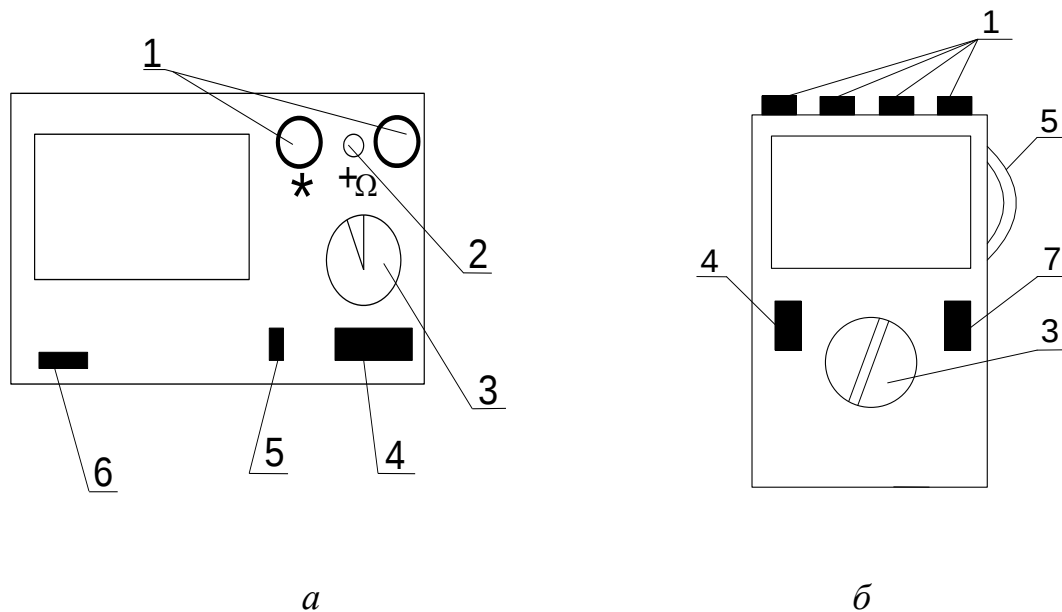


Рис. 3. Лицевые панели омметров: а – Ц4317; б – Ц4317М

- 1 – зажимы омметра; 2 – гнездо; 3 – переключатель пределов измерения;
4 – переключатель режимов работы; 5 – ручка установки нуля; 6 – кнопка защиты;
7 – ручка множителя

Одинарно-двойной мост Р-329 предназначен для измерений сопротивлений от 10^{-8} до 10^6 Ом на постоянном токе как со встроенным блоком образцовых сопротивлений 1 Ом или 0,001 Ом, так и с внешними образцовыми сопротивлениями различных номиналов (магазином сопротивлений). Общий вид панели моста представлен на рис. 4.

Блок встроенных сопротивлений имеет четыре зажима: два токовых « I_1 » и « I_2 » и два потенциальных « U_1 » и « U_2 », а также штепсельные колодки с гнездами для включения образцового сопротивления в схему.

Потенциальные выводы блока при работе в схеме двойного моста соединяются с зажимами « $+R_N$ » и « $-R_N$ » медными соединительными перемычками.

В качестве нуль-индикатора в схеме используют гальванометр М197.

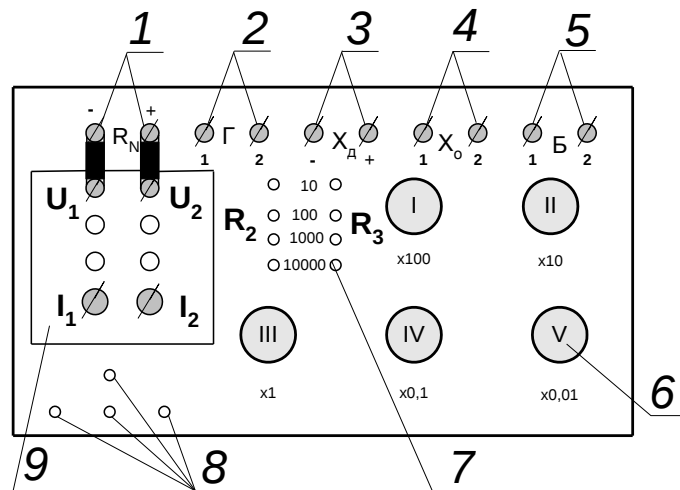


Рис. 4. Лицевая панель одинарно-двойного моста:

- 1 – зажимы для присоединения образцового сопротивления;
 2 – зажимы для подключения нуль-индикатора; 3, 4 – зажимы для подключения измеряемого сопротивления при измерении в схеме двойного моста (3) или одинарного моста (4); 5 – зажимы для подключения питания; 6 – I, II, III, IV, V – рычажные декадные переключатели сравнительного плеча; 7 – R_2 , R_3 плечи отношений (штепсельные магазины сопротивлений); 8 – кнопки в цепи нуль-индикатора; 9 – блок встроенных образцовых сопротивлений

Рабочее задание

1. Ознакомьтесь с приборами, измеряющими сопротивления, и внесите в отчет их основные метрологические и эксплуатационные данные.
2. Измерьте мегаомметром и омметром сопротивления, указанные преподавателем.
3. Используя магазин сопротивлений, амперметр и источник питания, измерьте эти же величины сопротивлений методом замещения;
4. Рассчитайте абсолютную, относительную и приведенную погрешности результатов измерений.
5. Одинарным мостом измерьте сопротивление, указанное преподавателем.
6. Двойным мостом измерьте сопротивление шунта $R_{ш}$.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомление с приборами

Занесите в табл. 1 данные, указанные на лицевых панелях измерительных приборов.

Таблица 1

Данные измерительных приборов

№	Наименование	Тип прибора	Класс точности	Диапазон измерений
1.	Мегаомметр			
2.	Омметр			
3.	Одинарно-двойной мост			
4.	Миллиамперметр			

2. Прямое измерение сопротивлений

Проведите измерения сопротивлений, указанных преподавателем, с помощью мегаомметров и омметра.

2.1. Измерение мегаомметром

При измерении мегаомметром М1101 соедините его зажимы и зажимы R_X проводами. Непрерывно вращая ручку мегаомметра по часовой стрелке со скоростью 120 об./мин, снимите поочередно показания по шкалам к Ω и М Ω . Если стрелка прибора находится в положении 0 Ом или ∞ Ом, то в табл. 2 следует записать, например: < 50 Ом или > 300 кОм, где 50 Ом и 300 кОм – соответственно наименьшая и наибольшая отметки шкалы прибора.

Мегаомметр ЭС0210/2-Г состоит из следующих основных узлов: генератора переменного тока, преобразователя, предназначенного для получения стабильного измерительного напряжения, и электронного измерителя. При подготовке к проведению измерения мегаомметром ЭС00210-Г необходимо подключить провода к соединительным клеммам согласно схеме на стенде и убедиться в отсутствии напряжения на измеряемом сопротивлении. Для проведения измерения следует нажать кнопку и вращать рукоятку электромеханического генератора. Свечение индикатора красного цвета на шкале свидетельствует о наличии высокого измерительного напряжения на выходных зажимах мегаомметра.

2.2. Измерение омметром

Подключите провода к зажимам «*» и « Ω ». Перед измерением омметром следует проводить калибровку для каждого предела измерений. Для этого при измерении сопротивлений до 200 Ом необходимо установить переключатель рода работ в положение R_X , переключатель пределов

измерения в положение Ω . Замкните зажимы прибора. Ручкой установки нуля омметра установите стрелку на отметку « ∞ » шкалы Ω .

Для измерения сопротивлений прибором Ц4317 подсоедините измеряемое сопротивление к зажиму «*» и гнезду $+\Omega$, оставив закороченные зажимы (см. рис. 5, а). Для измерения сопротивлений прибором Ц4317М дополнительно ничего подключать не нужно.

При измерении сопротивлений до 300 кОм переключатель рода работ устанавливается в положение R_X , переключатель пределов измерения в положение кОм. Прибор Ц4317М подключите к зажимам «*» и «V, мА, кОм, МОм», а прибор Ц4317 согласно рис. 5, б. Замкните провода между собой и ручкой установки нуля омметра зафиксируйте стрелку на отметку «0» шкал кОм, МОм. После калибровки провода разомкните и подсоедините к измеряемому сопротивлению. Отсчет производится по шкалам кОм, МОм (см. рис. 5, в).

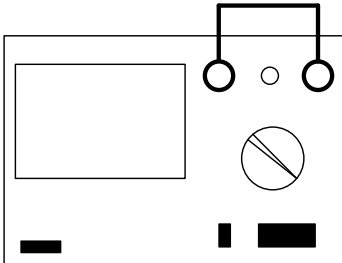
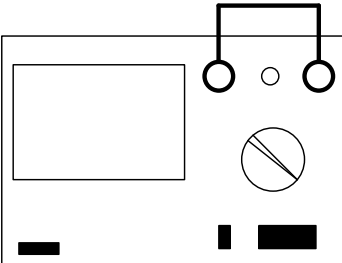
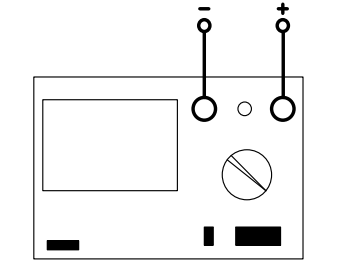
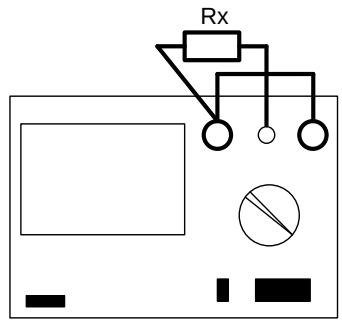
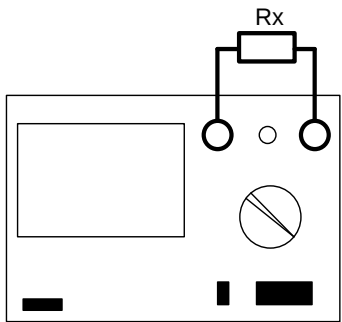
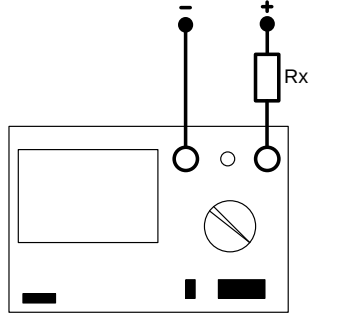
Режим / Предел	а До 200 Ом	б До 3, 30, 300 кОм	в До 3 МОм
Положение переключателя предела	Ω	кОм: « $\times 1$ », « $\times 10$ », « $\times 100$ »	МОм
Калибровка			
Измерение			

Рис. 5. Схемы подключения входных зажимов

При измерении сопротивлений до 3 МОм переключатель рода работ устанавливается в положение R_X , переключатель пределов измерения в положение МОм. Дополнительным источником служит батарея

с напряжением 12–15 В (на стенде это питание двойного моста). Подключите батарею к зажиму «*» отрицательным полюсом, а к другому зажиму – положительным. Включите питание стенда. Ручкой установки нуля омметра зафиксируйте стрелку на отметке «0» шкалы кΩ, МΩ. Провода разомкните и подсоедините к измеряемому сопротивлению. Отсчет по шкалам кΩ, МΩ (см. рис 5, в).

Следует обратить внимание, что переключатель пределов у омметра указывает не верхний предел, а множитель.

Результаты измерений следует занести в табл. 2. Сравните полученные значения между собой. Обведите кружком те результаты измерения, которые получены с наибольшей точностью.

Таблица 2

Результаты измерения мегаомметром и омметром

№	Мегаомметр		Омметр				
	кОм	МОм	200 Ом	3 кОм	30 кОм	300 кОм	3 МОм

Сделайте вывод о правильности выбора предела измерений и прибора для каждого из измеренных сопротивлений.

3. Измерение методом замещения

Соберите схему, изображенную на рис. 6, где R_X – измеряемое сопротивление, R_M – магазин сопротивлений. Для питания используйте зажимы питания одинарного моста и при помощи переключателя рода работ переведите прибор в режим работы миллиамперметра. Для прибора Ц4317М подключите провода к зажимам «*» и «V, mA, кΩ, МΩ».

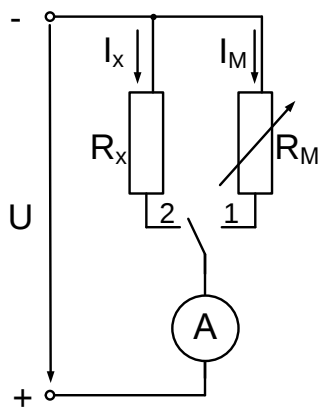


Рис. 6. Схема измерения сопротивления методом замещения

Измерьте ток в цепи при каждом положении переключателя сопротивлений R_X и запишите его значение в табл. 3. Отключите питание и подключите в схему вместо переключателя сопротивлений R_X магазин сопротивлений. Предел сопротивления в начале эксперимента должен быть максимально возможным для ограничения тока в цепи.

Изменяя значения разрядов магазина сопротивлений от большего к меньшему, добейтесь того, чтобы показания амперметра были такими же, как и при сопротивлениях на стенде. Зная действительные значения сопротивлений, рассчитайте абсолютную и относительную погрешности измерений. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 3.

4. Измерение сопротивления одинарным мостом

4.1. Убедитесь в том, что стенд отключен. Соберите схему для измерения термосопротивления R_X в соответствии с рис. 7. Для питания одинарного моста используйте зажимы источника 3 В на стенде «Питание одинарного моста». Зажимы $+R_N$ и $-R_N$ замыкаются накоротко перемычкой 1. Проверьте правильность всех соединений.

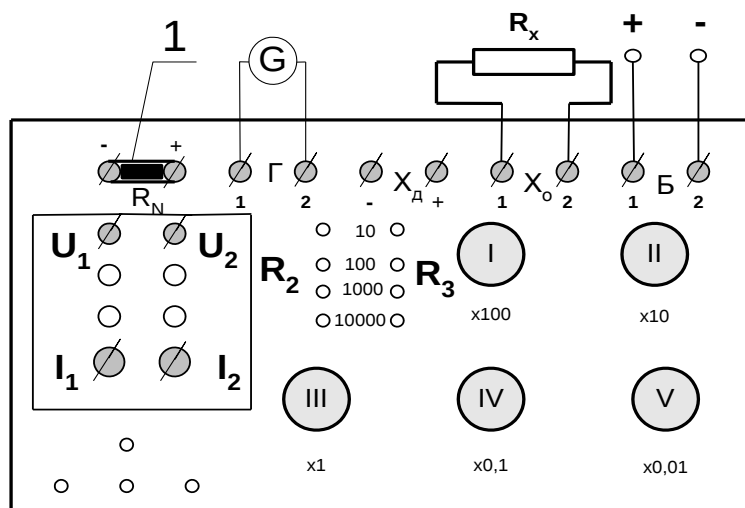


Рис. 7. Схема измерения одинарным мостом

4.2. Установите переключатель чувствительности гальванометра в положение наименьшей чувствительности « $\times 100$ ». Установите сопротивления всех разрядов магазина R_1 равными 5.

Таблица 3

Результаты измерения методом замещения

№	Измеренное значение сопротивления	Действительное значение сопротивления	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность

4.3. Проведите измерение в следующем порядке:

– включите питание стенда;

– определите соотношение сопротивлений $R_2:R_3$, при котором мост может быть уравновешен с наибольшей точностью. При подборе отношения $R_2:R_3$ гальванометр следует включать кратковременно, легким нажатием кнопки «Грубо». Последовательно изменяя отношение сопротивлений $R_2:R_3$ от 10:10000 до 10000:10 найдите такое соотношение $R_2:R_3$, при котором при увеличении значения R_1 указатель гальванометра будет отклоняться в одну сторону, а при уменьшении значений R_1 – в другую.

– произведите предварительное уравнивание моста при включении гальванометра с помощью кнопки «Грубо». Изменяя сопротивление магазина R_1 , получите нулевые показания гальванометра. Сопротивление следует подбирать, переходя от старшего разряда к младшему, по мере того как возможности уравнивания старшего разряда уже исчерпаны. Для более быстрого затухания колебаний используйте кнопки успокоения. По мере того как отклонения указателя гальванометра становятся все меньше, увеличивайте чувствительность гальванометра («×10», «×1») и используйте кнопку «Точно». Для достижения наибольшей чувствительности моста отключите успокоение. Результат регистрируется при чувствительности гальванометра «×1», когда его стрелка находится на нуле и использованы все декады сопротивления R_1 ;

– выключите питание стенда.

Произведите расчет искомого сопротивления по формуле:

$$R_x = R_1 \cdot \frac{R_2}{R_3}.$$

5. Измерение сопротивления двойным мостом

5.1. Убедитесь в том, что стенд отключен. Соберите схему для измерения сопротивления шунта в соответствии с рис. 8. Для питания двойного моста используйте зажимы источника 12 В «Питание двойного

моста». Соедините потенциальные выводы блока образцовых сопротивлений с зажимами $+R_N$ и $-R_N$ медными соединительными перемычками (рис. 8) Установите движок реостата в среднее положение. Проверьте правильность всех соединений.

5.2. Установите переключатель чувствительности гальванометра в положение наименьшей чувствительности « $\times 100$ ». Установите сопротивление образцового резистора в блоке образцовых резисторов моста P-329 равным 0,001 Ом с помощью штепсельных переключателей.

Установите $R_1 = 100$ Ом.

В ходе опыта R_2 всегда должен быть равен R_3 .

5.3. Проведите измерение в следующем порядке:

– включите питание стенда. Установите по показаниям амперметра с помощью реостата ток не более 1,5 А;

– определите значение сопротивлений $R_2 = R_3$, при котором мост может быть уравновешен с наибольшей точностью. Гальванометр включайте кратковременно, легким нажатием кнопки «Грубо». Указатель гальванометра не должен выходить за пределы шкалы. Последовательно изменяя отношение сопротивлений $R_2 = R_3$ от 10000 до 10 Ом, найдите такое значение, при котором при значении $R_1 = 100$ Ом, указатель гальванометра будет отклоняться в одну сторону, а при значении $R_1 = 1000$ Ом – в другую. При этом искомое сопротивление R_1 будет находиться в пределах $100 \div 1000$ Ом и будут задействованы все пять разрядов магазина сопротивлений;

– произведите предварительное уравнивание моста при включении гальванометра с помощью кнопки «Грубо». Изменяя сопротивление магазина R_1 от 100 до 1000 Ом, получите нулевые показания гальванометра. Сопротивление следует подбирать, переходя от старшего разряда к младшему по мере того, как возможности уравнивания старшего разряда уже исчерпаны. Для более быстрого затухания колебаний используйте кнопки успокоения. По мере того как отклонения указателя гальванометра становятся все меньше, увеличивайте чувствительность гальванометра (« $\times 10$ », « $\times 1$ ») и используйте кнопку «Точно». Для достижения наибольшей чувствительности моста отключите успокоение. Результат регистрируется при чувствительности гальванометра « $\times 1$ », когда его стрелка находится на нуле;

– выключите питание стенда.

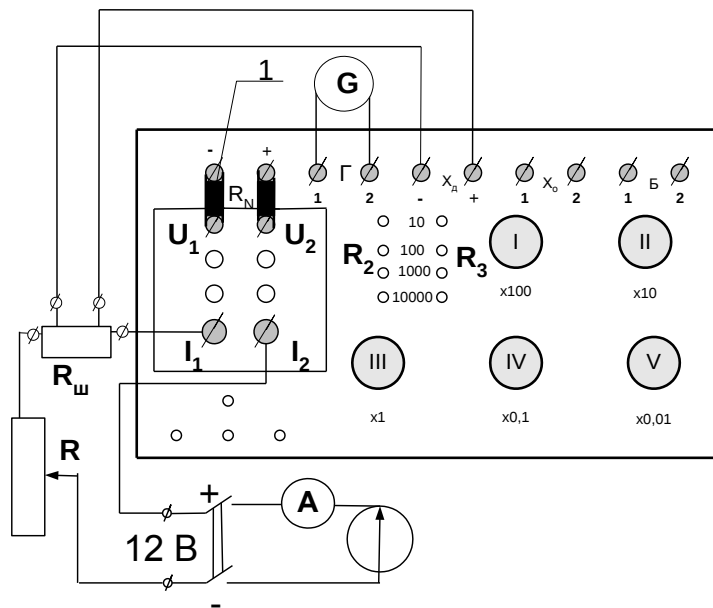


Рис. 8. Схема измерения сопротивления шунта

5.4. Произведите расчет искомого сопротивления шунта по формуле:

$$R_x = R_n \cdot \frac{R_1}{R_2}.$$

б) Зная истинное значение сопротивления шунта, рассчитайте абсолютную и относительную погрешности измерения двойным мостом.

Указания по оформлению отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы каждый студент оформляет индивидуально. Отчет должен содержать:

- цель лабораторной работы;
- краткое описание лабораторной установки;
- результаты расчетных и экспериментальных данных.

Указания по технике безопасности

Перед выполнением лабораторных работ для студентов проводится инструктаж по технике безопасности, после чего каждый студент расписывается в специальном журнале.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение следующих понятий: «измерение», «результат измерения», «чувствительность прибора», «мера».
2. Назовите виды измерений.
3. Назовите методы измерений и дайте их краткую характеристику.
4. Какие приборы применяют для измерения больших, средних и малых сопротивлений?
5. Устройство и краткая характеристика однорамочных омметров.
6. С какой целью проводится калибровка магнитоэлектрического омметра?
7. Устройство и краткая характеристика мегаомметров.
8. Для чего служит калибровка?
9. Почему не требуется проводить калибровку мегаомметра перед измерением?
10. Методика измерения одинарным мостом.
11. Методика измерения двойным мостом.
11. Для чего используется гальванометр с изменяющейся чувствительностью?
12. Обоснуйте применение четырехзажимной схемы включения измеряемого сопротивления.
13. Какие значения сопротивлений удобно измерять с помощью двойного моста и одинарного моста постоянного тока?

Библиографический список

1. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин / Э.Г. Атамалян. – М: Дрофа, 2005. – 415 с.
2. Авдеев Б.Я. Основы метрологии и электрические измерения / Б.Я. Авдеев, В.В.Алексеев, Е.М. Антонюк и др. / Под ред. В.В.Алексеева – М: Изд. центр «Академия», 2008. – 384 с.
3. Борисов Ю.И. Метрология, стандартизация и сертификация / Ю.И. Борисов, А.С. Сигов, В.И. Нефедов. – М: Форум – Инфра-М, 2014. – 336 с.

Учебное издание

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ
Методические указания к лабораторной работе
по дисциплинам
«Аналоговые измерительные устройства»,
«Преобразовательная техника»

Составители: **Наумов Анатолий Алексеевич,**
Гарифуллина Надежда Александровна

Кафедра теоретических основ электротехники КГЭУ

Редактор издательского отдела *С.Н.Касимова*
Компьютерная верстка *Т.И. Лунченкова*

Подписано в печать 24.06.16.

Формат 60 × 84/16. Бумага «Business». Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 1,03. Тираж 100 экз. Заказ № 76/эл.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ,
420066, Казань, Красносельская, 51