# Лабораторная работа

# ИЗУЧЕНИЕ КОМПЕНСАЦИОННОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы:

*Ознакомление с методом компенсации в практике измерений физических величин, получение навыков пользования приборами мостового типа.*

*Оборудование:* мост Уитстона, смонтированный на панели; источник постоянного тока, магазин сопротивлений *Р33* или резистор известного номинала, набор резисторов, мультиметр, потенциометр постоянного тока (*ПП-63* или аналогичный), термопара.

1. **Теоретическая часть**

Измерение электрического сопротивления проводника (резистора) можно произвести с помощью закона Ома (рис 1.): .



Рис. 1 Рис. 2

Однако введение в электрическую цепь амперметра и вольтметра неизбежно приводит к определенным погрешностям. Введение в цепь амперметра неизбежно уменьшают силу тока в цепи, а, значит и показания вольтметра. Подключение в цепь вольтметра увеличивают силу тока и показания амперметра. Конечно, хорошие измерительные приборы изготовляются так, чтобы сопротивление амперметра было как можно более малым, а сопротивление вольтметра как можно более большим. Тем не менее, метод амперметра – вольтметра невозможно принципиально избавить от указанных недостатков.

Электродвижущая сила *ε* равна разности потенциалов на полюсах источника тока при отсутствии разрядного тока. Напряжение *U*, измеряемое вольтметром при его подключении к источнику тока связано с протеканием тока в получившейся цепи. При этом показания вольтметра неизбежно оказываются меньше истинного значения э.д.с. на величину падения напряжение на самом источнике тока: *U= ε − I⋅r* (рис. 2).

Боле точные результаты измерений различных электрических величин можно получить только *компенсационными методами,* суть которых заключаются в том, что измеряемая величина сравнивается с аналогичной величиной, измеренной с высокой точностью. Момент наступления «равновесия» фиксируется с помощью нуль-индикаторов той или иной конструкции. Роль нуль-индикатора заключается не в том, чтобы измерять ток, а в том, чтобы устанавливать его отсутствие. При этом через нуль-индикатор протекает очень маленький ток, что позволяет практически исключить влияние измерительного прибора на процесс измерения. Стрелочные нуль-индикаторы имеют зеркальную шкалу, содержащую всего несколько делений и очень тонкую стрелку. При измерении необходимо смотреть на прибор «прямо сверху», при этом сама стрелка и ее изображение в зеркале должны совпадать.

К приборам компенсационного типа относится мост постоянного тока Уитстона, предназначенный для измерения сопротивления проводников, и потенциометр, предназначенный для измерения э.д.с. источников тока.

### **Мост постоянного тока Уитстона для измерения сопротивления**

На рис. 3 изображена схема моста Уитстона. Он состоит из четырех последовательно соединенных сопротивлений, образующих четырехугольник *АВБДА*. В диагональ *ДВ* включен нуль-индикатор *G* (гальванометр или микроамперметр с центральной стрелкой). Измеряемое сопротивление *rx* образует ветвь *АВ*, а в ветвь *БД* включен эталонный резистор, сопротивление которого *r0* измерено с большой степенью точности. Сопротивления *r1* и *r2* можно подобрать такими, что разность потенциалов между точками *В* и *Д* будет равна нулю. При этом ток через гальванометр не идет, наступает *равновесие моста*.

Рис. 3 Рис. 4



##### Применим второе правило Кирхгофа для контуров *АВД* и *ВБД*

 (1)

Решение системы (1) дает

 (2)

Обычно ветвь *АДБ* представляет собой реохорд (реохордный мост Уитстона). В данном приборе это прямая проволока постоянного сечения с подвижным контактом (рис. 4). Балансировка моста достигается перемещением контакта вдоль реохорда. При этом величины сопротивлений  *r1* и *r2* пропорциональны длинам плеч реохорда *l1*  и  *l2* и формула (2) преобразуется в

 (3)

Формально погрешность измерения неизвестного сопротивления определяется погрешностью измерения плеч реохорда и погрешностью эталонного сопротивления:

 (4)

Обычно эта погрешность невелика. Но следует учитывать, что она увеличивается при большом неравенстве плеч реохорда. Например, при *l1/l2 =* *4* или *0,25* она в *1,5* раза больше, чем при *l1/l2 ≈ 1*. Это означает, что желательно проводить измерения так, чтобы эталонное и измеряемое сопротивления были сравнимы по величине *rx ≈ r0*. Большое влияние на погрешность измерений также оказывает точность проведения нулевого отсчета, т.е. фактически чувствительность нуль-индикатора. Что избежать других погрешностей применяют специальные приемы, один из которых будет описан в задании к работе.

**Потенциометр для измерения э.д.с.**

Принципиальная схема потенциометра показана на рис. 5. Источник питания с э.д.с. *ε0*, заведомо превосходящей э.д.с. исследуемого источника тока, поддерживает постоянную силу тока в цепи реохорда *АБ*. Перемещая движок реохорда *Д*, можно получить на участке *АД* падение напряжение, пропорциональное сопротивлению *r* этого участка, т. е. фактически длине этого участка реохорда



Рис. 5

 (5)

Если *встречно* к этому участку подключить через гальванометр источник тока, у которого э.д.с. равно этому напряжению (*ε* *= U*), то произойдет компенсация напряжений и ток через гальванометр не будет проходить. В качестве образцового источника тока в данном потенциометре используется *нормальный элемент Вестона*, э.д.с. которого (*1,0183 В*) практически не меняется с течением времени. При подключении его и балансировке потенциометра выполняется:

 (6)

Затем вместо нормального элемента можно подключить источник с неизвестны э.д.с и снова уравновесить прибор:

 (7)

Из формул (6) и (7) получается рабочая формула

 , (8)

где измерениям подлежат длины плеч *l1*и *l2*.

#### 2. Выполнение эксперимента

***Задание 1.*****Измерение сопротивлений**

Мост Уитстона собран на панели, при этом монтажная схема полностью соответствует принципиальной, что обычно не делается в заводских приборах. В качестве образцового сопротивления используется высококачественный резистор с известным сопротивлением *r0* или *магазин сопротивлений Р33*, на котором с помощью ручек-декад можно набирать сопротивления от *0,1* до *99999,9 Ом*. Напряжение, подаваемое на прибор можно регулировать в пределах *0 – 4 В*. В работе используются набор резисторов, распаянных на «линейке», сопротивление которых неизвестно.

1. Подключите образцовый резистор или магазин сопротивлений к «правому» плечу прибора. Распаянные на линейке резисторы №1-№6 имеют номинал *500 – 3000 Ом*. Поэтому на магазине сопротивлений можно установить *r0 = 1000 Ом* и оставлять это значение при всех измерениях.

2. Подключите к «левому» плечу прибора резистор №1.

3. Подключите источник тока (полярность не имеет значения). Установите ручной регулятора напряжения среднее напряжение.

4. Перемещая движок реохорда, уравновесьте мост.

5. Запишите в таблицу 1 отчета значения длин плеч реохорда *l1* и *l2*.

6. По формуле (3) вычислите значение неизвестного сопротивления. Результаты можно округлять до целых значений.

7. Измерьте сопротивление резисторов №2 - №6.

8. Одна из трудностей при изготовлении моста Уитстона состоит в том, что трудно достичь полной электрической симметрии «левой» и «правой» сторон моста. Это приводит к появлению систематической погрешности, которую трудно учесть. Один из способов обойти эту трудность состоит в том, что надо повторить измерения сопротивлений всех резисторов, поменяв местами магазин сопротивлений и линейку с резисторами. Затем, в качестве окончательного значения можно взять среднее арифметическое из двух измерений.

9. Измерьте сопротивления резисторов №1 - №6 с помощью мультиметра (омметра) – таблица 2.

10. Рассчитайте в процентах среднее расхождение между результатами, полученными с помощью моста и с помощью мультиметра.

***Задание 2****.* **Измерение электродвижущей силы источника тока**

Принцип компенсационного метода измерения э.д.с. воплощен в промышленном потенциометре постоянного тока ПП-63 (класса точности 0,05). Кроме измерения э.д.с. ПП-63 может служить в качестве источника регулируемого напряжения (ИРН). Внешний вид потенциометра показан на рис. 6

Рис. 6



Перед началом работы органы управления и регулировки потенциометра должны находится в следующих положениях:

* Переключатель питания прибора «ПИТАНИЕ» - в отключенном положении.
* Переключатель нормального элемента в положение «В» - внутренний нормальный элемент. (При использовании наружного нормального элемента он подключается к клеммам «НЭ» и переключатель переводится в положение «Н»).
* Переключатель гальванометра в положение «В» - внутренний гальванометр. (При использовании наружного гальванометра он подключается к клеммам «Г» и переключатель переводится в положение «Н»).
* Переключатель питания в положение «В» - внутреннее питание (наружный источник питания подключается к клеммам «БП» и переключатель переводится в положение «Н»).
* Переключатель полярности потенциометра «+», «-» - в положение «+».
* Кнопки «ГРУБО» и «ТОЧНО» - в отжатых (расфиксированных» положениях).

В данной работе в качестве источника тока использоваться хромель-алюмеливая[[1]](#footnote-1) термопара. Если спай термопары нагреть, то она станет источником тока. э.д.с. которой и надо измерить.

1. Подключите термопару к клеммам «Х» потенциометра.

2. Установите переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение «ПОТЕНЦИОМЕТР».

3. Установите переключатель «ПИТАНИЕ» в положение «ВКЛ».

4. Установите переключатель пределов измерений – штепсель в положение «×*1*». Положение этого штепселя определяется пределами измерения э.д.с.: «×*0*,5» - при измерении э.д.с. до *25 мВ*, «×*1*» - при измерении э.д.с. до *50 мВ*, «×*2*» - при измерении э.д.с. до *100 мВ*.

Проведите установку (контроль) рабочего тока потенциометра. Для этого:

* Установите переключатель «К» - «И» в положение «К». При этом подключается нормальный элемент.
* Установите стрелку гальванометра на «0» вращение рукояток «ГРУБО» (верхняя рукоятка) и «ТОЧНО» (нижняя рукоятка) регулятора «РАБОЧИЙ ТОК», вначале при нажатой (зафиксированной) кнопке «ГРУБО», а затем – «ТОЧНО».
* Достижение компенсации в этом случае означает выполнение условия (6).

##### 5. Проведите измерение неизвестной э.д.с. Для этого

* Зажмите один спай термопары двумя пальцами.
* Установите переключатель «К»-«И» в положение «И».
* Установите стрелку гальванометра на «0» вращением рукояток секционного переключателя «mV» и реохорда «mV», вначале при нажатой кнопке «ГРУБО», а затем «ТОЧНО».
* Достижение компенсации в этом случае означает выполнение условия (7).
* Значение измеряемого э.д.с. в милливольтах будет равно сумме показаний секционного переключателя и реохорда, умноженной на значение множителя, установленной на переключателе пределов измерений при помощи штепселя.
* При подключении источника тока (термопары) к потенциометру необходимо соблюдать полярность. Если полярность источника тока неизвестна, и он подключен к клемма «Х» неправильно, то компенсации при измерении добиться невозможно (источники включены «*не встречено*»). Для изменения полярности следует воспользоваться тумблером «+»,«-».

6. Опустите спай термопары горячую воду или нагрейте его зажигалкой. Измерьте э.д,с этого источника тока.

1. Хромель, алюмель – сплавы на основе хрома и алюминия, спай которых дает большую термо-э.д.с. [↑](#footnote-ref-1)