

РАБОТА №3.3. ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦИИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с компенсационным методом измерения постоянного напряжения. Получение сведений о погрешностях измерения напряжения компенсационным методом. Знакомство с компенсаторами (потенциометрами) постоянного тока.

2. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКИ

1. Ознакомьтесь с методами измерения ЭДС и постоянного напряжения.

2. Ознакомьтесь со способами обработки результатов измерений при наличии методической и инструментальной составляющей погрешности.

3. Ознакомьтесь со способами обработки результатов косвенных измерений.

4. Ознакомьтесь с принципом действия, устройством и характеристиками потенциометра постоянного тока.

5. Ознакомьтесь с принципом действия, устройством и характеристиками магазина сопротивлений.

6. Ознакомьтесь с принципом действия, устройством и характеристиками делителя постоянного напряжения.

3. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

При измерении малых постоянных напряжений (менее 10мВ) можно воспользоваться как методом непосредственной оценки, так и методом сравнения с мерой.

При повышенных требованиях к точности измерений (относительная погрешность измерений менее 10^{-4}), используются или компенсаторы (потенциометры) постоянного

тока или интегрирующие цифровые вольтметры высокого класса точности.

Высокоточные цифровые вольтметры, подходящие для этого случая, существенно дороже аналогичных по точности потенциометров. Поэтому, если в лабораторных условиях необходимо измерить малое постоянное напряжение с высокой точностью, удобно использовать компенсаторы (потенциометры) постоянного тока.

Компенсаторы (потенциометры) постоянного тока предназначены для выполнения измерений ЭДС, напряжений и величин, функционально с ними связанных, методом сравнения с мерой. Существует несколько разновидностей метода сравнения с мерой, и все они обеспечивают весьма высокую точность измерений.

При использовании компенсатора (потенциометра) реализуется разновидность метода сравнения, известная как нулевой метод измерений. При использовании этого метода измеряемая величина одновременно или периодически сравнивается с мерой, и результирующий эффект воздействия этих величин на устройство сравнения доводится до нуля. Очевидно, что используемая в нулевом методе мера должна быть изменяемой (регулируемой), а погрешность метода тем меньше, чем выше чувствительность устройства сравнения. Из сказанного ясно, почему нулевой метод известен также под названием компенсационного метода измерений, а соответствующие средства измерений называются компенсаторами. В измерительной технике компенсаторы, служащие для измерения постоянного напряжения, известны также под названием потенциометров, это последнее наименование мы и будем дальше использовать.

При выполнении измерений с помощью потенциометра измеряемая величина, сравнивается с мерой, в качестве которой выступает образцовое компенсирующее напряжение, создаваемое регулируемым источником образцового напряжения (ИОН). В электрической схеме этот источник включается встречно с источником измеряемого напряжения, который

характеризуется напряжением холостого хода U_x и внутренним сопротивлением $R_{вн}$ (рис.3.3.1). В качестве устройства сравнения (нуль – индикатора) служит гальванометр, обладающий высокой чувствительностью. Значение напряжения на выходе ИОН (компенсирующего напряжения) $U_{ком}$ изменяется в процессе измерений до тех пор, пока $U_{ком}$ не уравнивает U_x .

При выполнении соотношения:

$$U_{ком} = U_x, \quad (3.3.1)$$

ток через нуль – индикатор (НИ) не проходит. В этот момент и снимаются показания потенциометра.

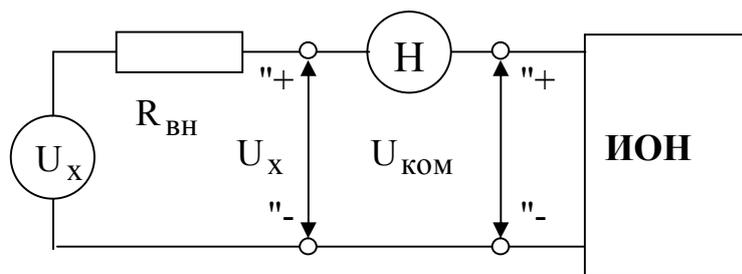


Рис. 3.3.1 Схема, поясняющая принцип работы потенциометра

Поскольку напряжение на выходе ИОН известно с высокой точностью, точность, с которой выполняется равенство (3.3.1), велика вследствие высокой чувствительности гальванометра, то и результат измерений также получается с высокой точностью.

У потенциометра есть еще одно уникальное свойство. В момент снятия результатов измерений ток через источник напряжения не протекает, следовательно, падение напряжения на его внутреннем сопротивлении $R_{вн}$ отсутствует, поэтому напряжение, измеряемое на его зажимах совпадает с напряжением холостого хода. Таким образом, при использовании потенциометра методическая погрешность измерений, обусловленная влиянием входного сопротивления средства измерений, практически сведена к нулю, и с помощью

потенциометра можно выполнять прямые измерения не только величины падения напряжения, но и ЭДС источника. Выпускаемые промышленностью потенциометры постоянного тока обычно имеют класс точности в пределах от 0,0005 до 0,5.

Потенциометрам постоянного тока присущи и недостатки. Во-первых, максимальное значение измеряемого напряжения на входных клеммах прибора не может превышать 1,5 – 2 вольт, во-вторых, процесс измерений с помощью этих приборов весьма трудоемок.

Для того, чтобы расширить пределы измерений потенциометров, используют делители напряжения. В этом случае измеряемое напряжение U_x делится на вход делителя, а к его выходу подключается потенциометр (рис.3.3.2).

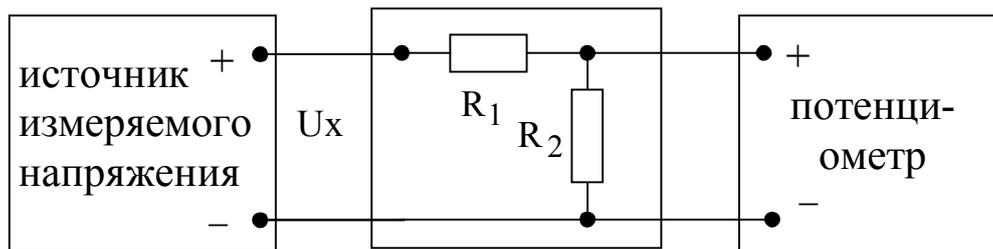


Рис.3.3.2 Схема подключения потенциометра для расширения пределов измерения

Основными характеристиками делителя напряжения являются номинальное значение коэффициента деления K и погрешность воспроизведения этого значения.

Для удобства измерений номинальное значение коэффициента деления K выбирается из ряда 10^{-n} , где $n = 0, 1, 2$ и т. д.

Значение коэффициента деления связано с сопротивлениями верхнего R_1 и нижнего R_2 плеч делителя соотношением:

$$K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_x} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}. \quad (3.3.2)$$

При использовании делителя от источника измеряемого напряжения потребляется некоторая мощность, т. к. через делитель протекает ток. Следовательно, теряется одно из основных преимуществ компенсационного метода измерений. Чтобы свести эти потери к минимуму, общее сопротивление делителя $R_1 + R_2$ должно быть намного больше, чем внутреннее сопротивление источника измеряемого напряжения $R_{вн}$. Использование делителя приводит и к изменению вида измерений. Измерения, выполняемые с помощью потенциометра, являются прямыми. Использование делителя приводит к тому, что измерения становятся косвенными. Зависимость между измеряемой величиной U_x и показаниями потенциометра $U_{пот}$ имеет вид:

$$U_x = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{пот}. \quad (3.3.3)$$

Погрешность косвенных измерений в рассматриваемом случае вычисляется по формуле:

$$\frac{\Delta U_x}{U_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_{пот}}{U_{пот}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2}, \quad (3.3.4)$$

где $\frac{\Delta U_{пот}}{U_{пот}}$ – предел относительной погрешности потенциометра,

определяемый по его классу точности, а $\frac{\Delta R_1}{R_1}$ и $\frac{\Delta R_2}{R_2}$ – пределы

относительных погрешностей воспроизведения номинальных значений сопротивления плеч делителя.

Разработано несколько типовых электрических схем потенциометров постоянного тока. Одна из таких схем (упрощенная) приведена на рис.3.3.3. Модель потенциометра, которая используется в работе, имеет аналогичную электрическую схему.

В рассматриваемом потенциометре компенсирующее напряжение образуется за счет сложения падений напряжения, возникающих при протекании рабочего тока $I_{р1}$ через

измерительные сопротивления R_2 и R_4 первого контура и рабочего тока I_{p2} через измерительные сопротивления R_6 и R_8 второго контура.

Рабочие токи создаются с помощью высокостабильных вспомогательных источников питания B_2 и B_3 . Значения величин рабочих токов регулируются с помощью регулировочного

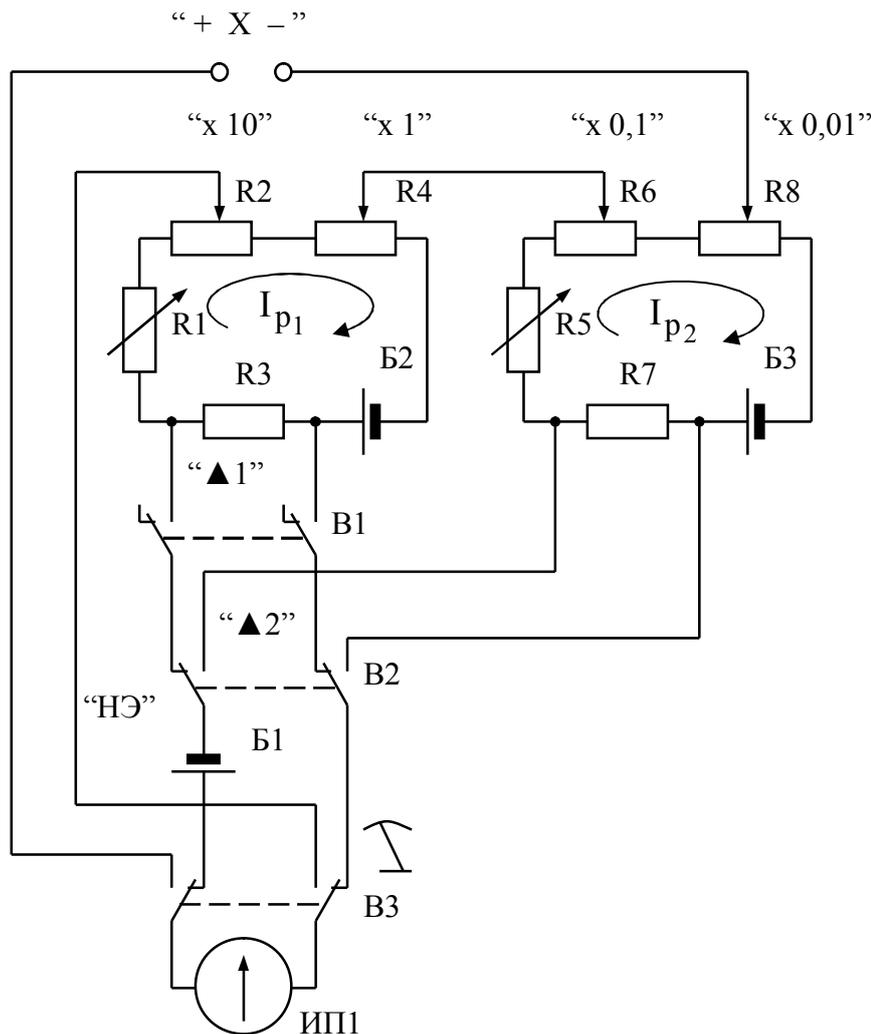


Рис.3.3.3 Схема потенциометра постоянного тока

резистора R_1 в первом и регулировочного резистора R_5 во втором контуре. Регулировку выполняют до тех пор, пока падение напряжения, возникающее при протекании рабочих токов через установочные сопротивления R_3 и R_7 , не станет равным ЭДС

нормального элемента. Гальванометр (Г), который служит в качестве индикатора нуля, включается в цепь первого контура с помощью кнопки «▲ 1», а в цепь второго – с помощью кнопки «▲ 2». При измерении неизвестного напряжения U_x гальванометр включается кнопкой ВЗ.

Высокая точность воспроизведения ЭДС нормального элемента, высокая точность и температурная стабильность используемых резисторов, высокая стабильность вспомогательных источников питания способствуют достижению высокой точности измерений.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой персональный компьютер, на рабочем столе которого расположены модели потенциометра, магазина сопротивлений и источника питания УИП (рис. 3.3.4).



Рис. 3.3.4 Вид экрана лабораторного стенда при проведении работы №3.3.

Схема подключения потенциометра для расширения пределов измерений приведена на рис.3.3.5.

При выполнении работы манипуляция органами управления средствами измерений и других устройств производится с помощью мыши в таком же порядке, как это предусмотрено при работе с реальными приборами и устройствами.



Рис. 3.3.5 Схема электрического соединения приборов при выполнении работы

Предел допустимого отклонения действительного значения сопротивления магазина от номинального значения в процентах определяется по формуле:

$$\frac{\Delta R}{R} = \pm \left[0.02 + 0.000002 \left(\frac{R_k}{R} - 1 \right) \right], \quad (3.3.5)$$

где R – номинальное значение включенного сопротивления в омах, а $R_k = 111111,110$ Ом.

Универсальный измерительный прибор предназначен для измерения сопротивлений, постоянных ЭДС и напряжений и поверки теплотехнических приборов. Класс точности прибора при использовании в качестве потенциометра постоянного тока 0,05. Диапазон измерения ЭДС и напряжений при использовании прибора в качестве потенциометра от 0 до 111,10 мВ. Регулировка компенсирующего напряжения осуществляется ступенчато четырьмя декадными переключателями с минимальным шагом дискретности 0,01 мВ (контур I – 10 ступеней по 10 мВ и 10 ступеней по 1 мВ, контур II – 10 ступеней по 0,1 мВ и 10 ступеней по 0,01 мВ). При использовании прибора

в качестве потенциометра предел допускаемой основной погрешности, выраженный в вольтах, следует определять по формуле:

$$\Delta U_{\text{пот}} = \pm 5 \cdot 10^{-4} \times (0,01 + U_{\text{пот}}), \quad (3.3.6)$$

где $U_{\text{пот}}$ - показание потенциометра, выраженное в вольтах.

4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Изучите описание работы и рекомендованную литературу. Запустите программу-оболочку лабораторного практикума, нажав кнопку RUN (“стрелка направо” в левом верхнем углу окна программы), и выберите лабораторную работу №3 «Измерение постоянного напряжения методом компенсации» в группе работ «Измерение электрических величин».

2. При необходимости еще раз почитайте описание работы, ответьте на вопросы коллоквиума и получите допуск к выполнению работы. После сдачи коллоквиума на рабочем столе автоматически появится окно лицевой панели ВП и окно лабораторного журнала, созданного в программе MS Excel. В лабораторный журнал в процессе выполнения работы будут вноситься данные, необходимые для последующего составления отчета.

3. Приготовьте к работе проверенную на отсутствие вирусов, отформатированную 3,5-дюймовую дискету и вставьте её в дисковод.

4. Изучите органы управления, находящиеся на передней панели приборов. На лицевой панели потенциометра расположены:

На лицевой панели универсального измерительного прибора расположены:

- гальванометр,
- ручки пятидекадного магазина сопротивлений,

- кнопки включения чувствительности прибора ∇ (грубо) и ∇ (точно),
- ручки ∇ (грубо), ∇ (точно) регуляторов «Рабочий ток» потенциометра первого 1 и второго 2 контуров,
- кнопки рода работ \blacktriangle 1, \blacktriangle 2 (установка рабочих токов в первом и втором контурах), \perp (измерение), «П» и другие,
- кнопки выбора встроенных или наружных: нормального элемента «НЭ», гальванометра «Г», батареи потенциометра «БП» и другие,
- кнопка «СЕТЬ» включения питания прибора от сети,
- кнопка «ОТКЛ»,
- зажимы «-», «мВ», «В» для подключения измеряемой ЭДС или напряжения X.

На лицевой панели магазина сопротивлений расположены:

- ручки восьмидекадного переключателя сопротивлений,
- зажимы для подключения прибора в электрическую схему «Кл.1», «Кл.2», «Кл.9».

На лицевой панели УИП расположены:

- тумблер «сеть» включения питания прибора от сети;
- тумблер переключения диапазонов выходного напряжения;
- ручка плавной регулировки выходного напряжения;
- индикатор уровня выходного напряжения.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовьте модель потенциометра к работе.

1.1. Нажмите кнопку «СЕТЬ» для подключения потенциометра к сети.

1.2. Нажмите кнопку «П» – прибор перейдет в режим потенциометра,

1.3. Нажмите кнопки «Г», «БП», «НЭ» – к схеме потенциометра подключатся встроенные гальванометр, батареи потенциометра и нормальный элемент соответственно,

1.4. нажмите кнопку ▲1 – гальванометр подключится в цепь первого контура,

1.5. Установите рабочий ток первого контура, для чего, вращая ручки «рабочий ток 1» и «рабочий ток 2» вначале при нажатой кнопке 1, а затем при нажатой кнопке 2, установите стрелку гальванометра на нулевую отметку,

1.6. Нажмите кнопку ▲2 – гальванометр подключится в цепь второго контура,

1.7. Установите рабочий ток второго контура, для чего, вращая ручки «рабочий ток 1» и «рабочий ток 2» вначале при нажатой кнопке 1, а затем при нажатой кнопке 2, установите стрелку гальванометра на нулевую отметку.

2. Установите тумблер переключения поддиапазонов УИП в положение «0-15 В», а регулятор выходного напряжения в крайнее левое положение и включите источник. Вращая регулятор, убедитесь в том, что показания на индикаторе УИП изменяются. Верните регулятор в крайнее левое положение.

3. Убедитесь в том, что переключатели магазина сопротивлений могут быть установлены в выбранном положении.

4. В случае если хотя бы одна из моделей окажется неработоспособной, обратитесь к преподавателю.

5. Измерьте с помощью потенциометра напряжение на выходе УИП.

5.1. Рассчитайте сопротивления плеч делителя, соответствующие коэффициенту деления $K=1:100$ и установите эти значения на модели делителя.

5.2. Ориентируясь на индикатор УИП, установите на его выходе напряжение, равное примерно 2 – 3 вольтам.

5.3. Измерьте с помощью потенциометра напряжение на выходе делителя.

Для выполнения измерений необходимо:

- нажать кнопку ;

- нажать кнопку \blacksquare (грубо) и, вращая ручки декадных переключателей « $\times 10$ Ом(мВ)» и « $\times 1$ Ом(мВ)» установить стрелку гальванометра на нуль;

- нажать кнопку \blacktriangledown (точно) и, вращая ручки декадных переключателей « $\times 0,1$ Ом(мВ)» и « $\times 0,01$ Ом(мВ)» опять установить стрелку гальванометра на нуль.

Значение измеренного напряжения в милливольтках будет равно сумме показаний декад.

Таблица 3.3.1

Измерение напряжения на выходе УИП с помощью потенциометра и делителя с коэффициентом деления 1:1000.

Показания потенциометра, мВ	Абсолютная погрешность,		Относительная погрешность, %		Погрешность измерений		результат измерений
	потенциометра	коэффициента деления	потенциометра	коэффициента деления	абсолютная	относит.	

5.4. Запишите в лабораторный журнал показания потенциометра по форме, приведенной в таблице 3.3.1.

6. Повторите измерения, в соответствии с предыдущим пунктом задания при пяти различных положениях регулятора выходного напряжения УИП. При выборе положения регулятора следите за тем, чтобы индикатор УИП показывал не более 10В.

7. Нажмите кнопку СТОП.

8. Сохраните файл лабораторного журнала на дискете под оригинальным именем.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

При оформлении лабораторного отчета необходимо полностью заполнить имеющуюся в распоряжении студента таблицу, находящуюся в лабораторном журнале.

Помимо заполненной таблицы в отчете должны содержаться:

- сведения о цели и порядке выполнения работы;
- данные о характеристиках использованных приборов;
- электрические схемы;
- примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц;
- графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей измерений от результата измерений, с выделенными на них полосами допустимых погрешностей;
- выводы по результатам проделанной работы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните, в чем заключаются измерения методом непосредственной оценки и сравнения с мерой. Как эти методы реализуются при измерении постоянного напряжения?

2. Объясните, в чем заключаются прямые и косвенные измерения. Как вычисляется погрешность измерений в этих случаях?

3. Объясните что такое инструментальная (приборная) составляющая погрешности измерений. Как вычислить приборную составляющую погрешности? Чему она равна для использованных в работе потенциометра и магазина сопротивлений?

4. Объясните, в чем заключается методическая составляющая погрешности измерений. Как вычислить методическую составляющую погрешности при измерении постоянного напряжения? Как уменьшить ее влияние на результаты измерения значения ЭДС и напряжения?

5. Как вычислить погрешность измерений при наличии приборной и методической составляющих погрешности?

6. Объясните принцип действия и устройство потенциометра (компенсатора) постоянного тока. Каковы основные источники его погрешности?

7. В каких случаях при измерении постоянного напряжения используются косвенные измерения?