

# Работа № 2 Обработка и представление результатов однократных измерений при наличии систематической погрешности

## 1. Цель работы

Получение навыков обнаружения и устранения влияния систематических погрешностей на результаты прямых однократных измерений.

## 2. Сведения, необходимые для выполнения работы

Перед выполнением работы необходимо изучить следующие темы:

- Классификация и характеристики систематических погрешностей измерений.
- Результат измерений, погрешность результата измерений.
- Поправки и их практическое использование.
- Способы получения и представления результатов измерений при наличии систематической погрешности.
- Принцип действия, устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении настоящей работы.

Подавляющее большинство измерений являются однократными. Систематические погрешности могут существенно исказить результаты таких измерений. Поэтому обнаружению и устранению источников систематических погрешностей придается большое значение.

Систематические погрешности являются величинами детерминированными, поэтому, в принципе, всегда могут быть вычислены и учтены. Для исправления результатов измерений, содержащих систематическую погрешность, эти результаты складывают с поправками, равными систематическим погрешностям по величине и противоположными им по знаку. Поправки могут быть определены как экспериментально, так и теоретически. Поправки, определяемые экспериментально, задаются в виде таблиц или графиков, теоретически - в виде формул. Результат измерений, полученный после внесения поправки, называется исправленным результатом измерений.

На практике часто приходится сталкиваться с необходимостью учета систематической погрешности, возникающей из-за несовершенства принятого метода измерений. Эта погрешность известна как методическая. Для учета влияния методических погрешностей на результаты измерений обычно применяются математические зависимости, используемые для описания явления, положенного в основу измерения. В такой ситуации оценки погрешностей формул и физических констант, как правило, известны.

В процессе выполнения настоящей работы измеряется ЭДС источника постоянного напряжения, обладающего переменным внутренним сопротивлением. Значение измеряемой ЭДС лежит в диапазоне от 10 до 30 В. Для таких измерений можно использовать электромеханические и электронные аналоговые вольтметры, цифровые вольтметры и компенсаторы (потенциометры) постоянного тока.

Электромеханические вольтметры и простые цифровые вольтметры выбираются для работы, если требования к точности измерений сравнительно невысоки, а значение измеряемого напряжения лежит в диапазоне от десятков милливольт до сотен вольт. Измерения в этом случае выполняются методом непосредственной оценки. На практике очень удобно использовать простые и дешевые аналоговые вольтметры, например магнитоэлектрической системы. В отличие от электронных вольтметров они не требуют дополнительного источника питания и более просты в эксплуатации, а по сравнению с электромеханическими вольтметрами других систем имеют лучшие характеристики.

Магнитоэлектрические вольтметры имеют линейную шкалу, характеризуются весьма высокой точностью и чувствительностью, малым собственным потреблением энергии. На показания магнитоэлектрических вольтметров мало влияют колебания температуры окружающей среды и изменения напряженности внешнего электромагнитного поля. Входное сопротивление магнитоэлектрических вольтметров постоянного тока относительно невелико и колеблется в диапазоне от 10 до 100 кОм, по этому показателю они уступают как электронным аналоговым, так и цифровым вольтметрам.

Упрощенная электрическая схема магнитоэлектрического вольтметра приведена на рисунок 2.1. В состав схемы входят измерительный механизм (ИМ), обладающий собственным омическим сопротивлением  $R_{ИМ}$ , и добавочное сопротивление  $R_{д}$ . Показания вольтметра отсчитываются по

отклонению стрелки ИМ относительно неподвижной шкалы. Угол этого отклонения  $\alpha$  определяется в соответствии с уравнением преобразования механизма и равен:  $\alpha = S \cdot I$ , где  $S$  - чувствительность ИМ, а  $I$  - значение тока, протекающего через него. Соответственно для вольтметра получаем:

$$\alpha = \frac{S \cdot U}{R_{вх}} = \frac{S \cdot U}{R_{им} + R_{д}}. \quad (1.2.1)$$

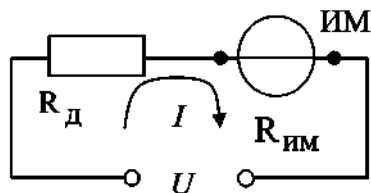


Рис. 1.2.1. Упрощенная схема магнитоэлектрического вольтметра

Отметим, что ток, протекающий через ИМ, не должен превышать некоторой номинальной величины, которая называется током полного отклонения. Значение этого тока для магнитоэлектрических ИМ лежит обычно в диапазоне от 1 мкА до 50 мА.

При использовании магнитоэлектрического вольтметра погрешность измерений в нормальных условиях определяется главным образом инструментальной погрешностью вольтметра и методической погрешностью измерений. Инструментальная погрешность определяется классом точности средства измерений, который составляет для магнитоэлектрических вольтметров от 0,2 до 2,5. Методическая погрешность зависит от соотношения между входным сопротивлением вольтметра и внутренним сопротивлением источника измеряемой ЭДС. Как указывалось, входное сопротивление магнитоэлектрического вольтметра сравнительно невелико, поэтому методическая составляющая погрешности может вносить определяющий вклад в результирующую погрешность измерений.

Для определения методической составляющей погрешности представим источник измеряемого напряжения в виде активного двухполюсника (рисунок 2.2), к которому подключен вольтметр, имеющий входное сопротивление  $R_{вх} = R_{им} + R_{д}$ . Пусть активный двухполюсник имеет ЭДС -  $U_0$  и внутреннее сопротивление -  $R_{вн}$ , тогда напряжение  $U_x$  на зажимах вольтметра можно вычислить по формуле:

$$U_x = \frac{U_0 \cdot R_{вх}}{R_{вн} + R_{вх}}. \quad (1.2.2)$$

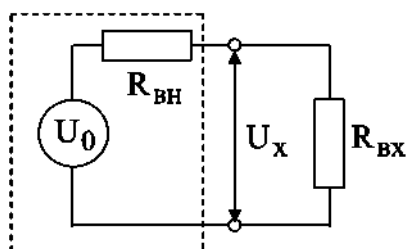


Рис. 2.2. Схема для определения методической погрешности измерения постоянного напряжения

Отсюда находим, что значение абсолютной методической погрешности  $\Delta U$  равно:

Кроме того, для модуля значения относительной методической погрешности  $\delta U$  имеем:

Как правило,  $R_{вн} \ll R_{вх}$ , поэтому можно принять, что модуль относительной методической погрешности приблизительно равен:

В рассматриваемом случае методическая погрешность проявляется как систематическая, поэтому она может быть исключена внесением поправки  $\Pi = -\Delta U$ , прибавленной к показанию вольтметра. Даже после внесения поправки всегда остается не исключенный остаток методической погрешности, в нашем случае такой остаток может возникнуть из-за отличия истинных значений сопротивлений от тех, которые использованы при расчетах. Кроме того, в качестве составляющих не исключенной систематической погрешности могут выступать систематические погрешности средства измерений и систематические погрешности, вызванные другими источниками. При определении границ не исключенной систематической погрешности результата измерений все такие составляющие рассматриваются как случайные величины и строится их композиция. Мы не будем здесь рассматривать правила построения такой композиции и остановимся только на

важном частном случае.

Пусть значение допустимого предела основной абсолютной инструментальной погрешности, определяемой классом точности средства измерений, равно  $A$ , а значение не исключенного остатка абсолютной методической составляющей погрешности равно  $\Delta_m$ , тогда границы абсолютной погрешности результата измерений  $\Delta_{изм}$  можно с приемлемой точностью вычислить по формуле:

### 3. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд представляет собой Lab VIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде находятся модели магнитоэлектрического вольтамперметра, электронного цифрового вольтметра, магазина сопротивлений, универсального источника питания (УИП) и коммутационного устройства (КУ) (рисунок 2.3).

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модель магнитоэлектрического вольтамперметра используется при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения методом непосредственной оценки.

Модель электронного цифрового мультиметра используется в процессе работы как цифровой вольтметр при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения методом непосредственной оценки.

Модель магазина сопротивлений используется при моделировании работы многозначной меры электрического сопротивления.

Модель УИП используется при моделировании работы регулируемого источника стабилизированного постоянного напряжения.

$$\Delta U = U_x - U_0 = -U_0 \frac{R_{вн}}{R_{вн} + R_{вх}} \quad (1.2.3)$$

$$\delta U = \left| \frac{\Delta U}{U_0} \right| = \frac{R_{вн}}{R_{вн} + R_{вх}} \quad (1.2.4)$$

$$\delta U \approx \frac{R_{вн}}{R_{вх}} \quad (1.2.5)$$

$$\Delta_{изм} = \sqrt{\Delta_m^2 + \Delta_{пр}^2} \quad (1.2.6)$$

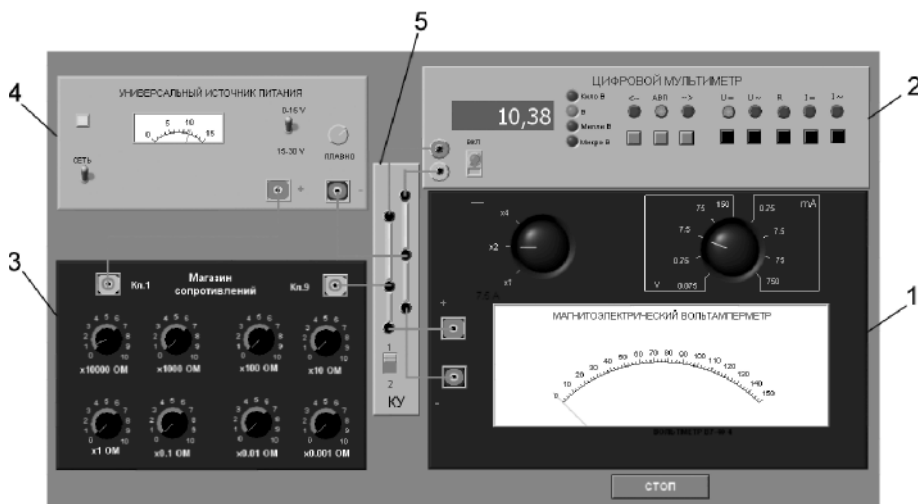


Рис. 1.2.3. Модель лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы № 1.2 (1 – магнитоэлектрический вольтамперметр, 2 – электронный цифровой мультиметр, 3 – магазин сопротивлений, 4 – универсальный источник питания, 5 – коммутационное устройство)

При выполнении работы модель магазина сопротивлений и модель УИП используются совместно, таким образом, моделируется источник постоянного напряжения, обладающий переменным

внутренним сопротивлением. Для этого модель магазина сопротивлений подключается последовательно с выходом модели УИП (рисунок 2.4). В результате создается источник напряжения с выходами «Кл. 9» магазина сопротивлений и «-» УИП, напряжение на выходе которого измеряется одним из вольтметров. Внутреннее сопротивление полученного источника напряжения равно сумме установленного сопротивления магазина и внутреннего сопротивления УИП, которое не превышает 0,3 Ом.

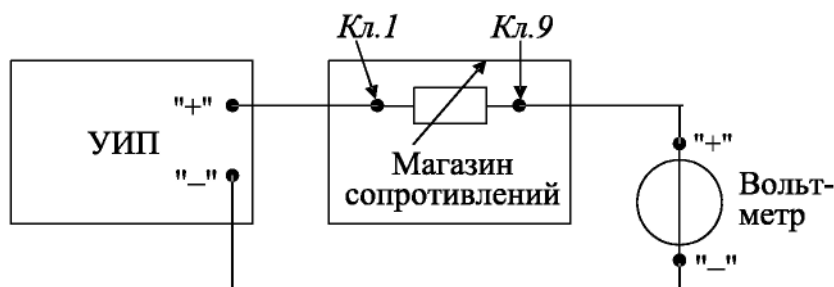


Рис. 1.2.4. Схема соединения приборов при выполнении работы № 1.2

Модель КУ используется при моделировании подключения входа вольтметров к выходу источника измеряемого напряжения. Подключение моделей вольтметров к модели источника производится путем установки переключателя КУ либо к магнитоэлектрическому милливольтамперметру, либо к электронному цифровому мультиметру.

## 4. Рабочее задание

4.1. Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу LR1\_2. На рабочем столе компьютера автоматически появятся модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (рис. 1.2.3) Создайте в среде MS Excel лабораторный журнал, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

4.2. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и вспомогательных устройств на лабораторном стенде. Включите модели и опробуйте их органы управления. Плавно изменяя напряжение на выходе УИП и подключая к нему поочередно с помощью КУ вольтметры, проследите за изменениями их показаний. Поменяйте пределы измерений вольтметров и снова проследите за изменениями их показаний по мере изменения напряжения на выходе УИП. После того, как вы убедитесь в работоспособности приборов, выключите модели.

4.3. Подготовьте к работе модель магнитоэлектрического вольтметра:

- установите переключатель пределов и рода работ магнитоэлектрического вольтметра в положение 7,5 В;
- установите переключатель множителя пределов измерения магнитоэлектрического вольтметра в положение  $\times 2$ .

4.4. Подготовьте к работе модель электронного цифрового мультиметра:

- включите тумблер «СЕТЬ»;
- с помощью переключателя U, расположенного на передней панели мультиметра, выберите род работы модели, соответствующий измерению постоянного напряжения, при этом на передней панели загорится соответствующий красный индикатор;
- с помощью переключателя АВП, расположенного на передней панели мультиметра, установите автоматический выбор пределов измерения, при этом на передней панели загорится соответствующий красный индикатор.

4.5. Подготовьте к работе модель УИП:

- тумблер переключения поддиапазонов УИП установите в положение «0-15 В»;
- включите тумблер «СЕТЬ».

4.6. Приступите к выполнению заданий лабораторной работы.

### **Задание 1. Измерение электрического напряжения на выходе источника с регулируемым внутренним сопротивлением**

а) Подключите магнитоэлектрический вольтметр к выходу источника постоянного напряжения (переключатель коммутационного устройства должен быть установлен в положение 2) согласно схеме соединений (рис. 1.2.4).

- б) Установите предел измерения магнитоэлектрического вольтметра равным 15 В и, ориентируясь на индикатор, установите на выходе УИП напряжение, значение которого несколько меньше выбранного предела измерений.
- в) Рассчитайте на выбранном пределе измерений входное сопротивление вольтметра (входное сопротивление определяется по току полного отклонения в соответствующем диапазоне измерений) и запишите в отчет.
- г) Установите последовательно значения сопротивления магазина равным 0 Ом, 3 Ом, 30 Ом, 300 Ом, 3000 Ом и 30 кОм. При каждом значении установленного сопротивления снимите показания магнитоэлектрического вольтметра, результаты запишите в отчет.
- д) Подключите цифровой мультиметр (в режиме вольтметра) к выходу источника постоянного напряжения (переключатель коммутационного устройства должен быть установлен в положение 1) согласно схеме соединений (рис. 1.2.4). **Напряжение на выходе УИП при этом должно остаться таким же, как при выполнении задания по п. «б».**
- е) Устанавливая последовательно те же значения сопротивления магазина, что и в п. «г», снимите показания цифрового вольтметра. Результаты запишите в отчет.
- ж) Установите предел измерения магнитоэлектрического вольтметра равным 30 В и, ориентируясь на индикатор, установите на выходе УИП напряжение, значение которого несколько меньше выбранного предела измерений.
- з) Для вновь установленного значения выходного напряжения УИП выполните задание, сформулированное в пп. «в»-«е».

**Задание 2. Исследование влияния соотношения между внутренним сопротивлением источника напряжения  $R_{вн}$  и входным сопротивлением вольтметра  $R_{вх}$  на результаты измерения электрического напряжения**

Используя сведения о классе точности магнитоэлектрического вольтметра и цифрового мультиметра, формулы (1.2.4)—(1.2.6) и полученные экспериментальные данные, определите:

- абсолютную и относительную инструментальную погрешность измерения напряжения на выходе источника с переменным внутренним сопротивлением;
- абсолютную и относительную методическую погрешность измерения напряжения на выходе источника с переменным внутренним сопротивлением;
- поправки к показаниям магнитоэлектрического вольтметра;
- неисправленные и исправленные результаты измерений, полученные с помощью магнитоэлектрического вольтметра;
- предельное значение неисключенной методической погрешности, если ошибка в оценке внутреннего сопротивления источника составляет 1%;
- абсолютную и относительную результирующую погрешность измерения напряжения на выходе источника с переменным внутренним сопротивлением;
- полученные данные запишите в отчет;
- сравните результаты измерений, полученные с помощью разных вольтметров, и объясните их.

Результаты запишите в отчет;

- постройте, пользуясь средствами MS Excel, график зависимости методической погрешности измерений от отношения выходного сопротивления источника напряжения к входному сопротивлению вольтметра. По экспериментальным данным и расчетным путем определите, при каком значении внутреннего сопротивления источника напряжения методическая составляющая погрешности измерений не превышает ее инструментальной составляющей и когда методической погрешностью измерений можно пренебречь.

4.7. Сохраните результаты.

4.8. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и при необходимости выключите компьютер.

## **5. Оформление отчета**

Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными во Введении, а также включать графики зависимости методической погрешности измерений от отношения выходного сопротивления источника напряжения к входному сопротивлению вольтметра. Рекомендованные формы таблиц для записи результатов приведены ниже.

Таблица 1.2.1. Измерение постоянного напряжения магнитоэлектрическим вольтметром в диапазоне до 15 (30) В

Вольтметр: класс точности \_\_\_\_\_, используемый диапазон измерения \_\_\_\_\_.  
Магазин сопротивлений: класс точности \_\_\_\_\_.

Установленное сопротивление магазина, Ом	Показания вольтметра, В	Абсолютная погрешность, мВ неискл. метод.	Поправка, мВ	Исправленные показания, В	Результат измерения, В
0					
3					
30					
300					
3000					
30 000					

Таблица 1.2.2. Измерение постоянного напряжения цифровым вольтметром в диапазоне до 15 (30) В

Вольтметр: класс точности \_\_\_\_\_, используемый диапазон измерения \_\_\_\_\_.  
Магазин сопротивлений: класс точности \_\_\_\_\_.

Сопротивление магазина, Ом	Показания вольтметра, В	Абсолютная погрешность, В	Относительная погрешность, %	Результат измерения, В
0				
3				
30				
300				
3000				
30 000				

## 6. Контрольные вопросы

- Что такое систематическая погрешность измерений? Дайте классификацию систематических погрешностей.
- Что такое методическая погрешность измерений? Всегда ли она оказывает влияние на результаты измерений? Когда ее влиянием можно пренебречь?
- Что такое инструментальная погрешность измерений? Всегда ли она оказывает влияние на результаты измерений? Когда ее влиянием можно пренебречь?
- Как оценить методическую составляющую погрешности?
- Что такое поправка к показаниям прибора? Как ее вычислить, как и когда она вносится?
- Как оценить инструментальную составляющую погрешности?
- Можно ли устранить инструментальную погрешность, вычисленную по классу точности прибора, введением поправки?
- В каком случае инструментальная погрешность может быть исключена введением поправки?
- Как вычислить погрешность измерений, если на результаты одновременно влияют инструментальная и методическая составляющие погрешности?
- Что следует сделать для того, чтобы влияние методической погрешности на результат измерения было минимальным?