

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИШНКБ ТПУ

\_\_\_\_\_ П.Ф. Баранов

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

**ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ**

Методические указания  
по выполнению лабораторной работы №3  
по курсу «Основы измерительной техники»

Томск – 2022

ББК 32.811.1я73  
УДК 621.372.037(075.8)  
Я 45

Якимов Е.В. Измерение постоянного тока и напряжения: методические указания по выполнению лабораторной работы №3 – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2022. – 13 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром отделения контроля и диагностики ИШНКБ ТПУ  
« » \_\_\_\_\_ 2022 г. протокол № \_\_\_\_\_

Руководитель ОКД ИШНКБ \_\_\_\_\_ Суржиков А.П.

*Рецензент*

Кандидат технических наук, доцент отделения  
контроля и диагностики ИШНКБ ТПУ

*Е.М. Фёдоров*

Томский политехнический университет, 2022

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1.1. Изучение принципа действия и области применения магнитоэлектрических измерительных механизмов;
- 1.2. Научиться с помощью дополнительных электрических схем конструировать на базе магнитоэлектрического механизма амперметры и вольтметры.

## 2. КРАТКИЕ ПОЯСНЕНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

В данной лабораторной работе рассматриваются методы измерения напряжений и токов с помощью приборов, основу которых составляют магнитоэлектрические измерительные механизмы. Исследуются способы расширения пределов измерения по току и напряжению.

### 2.1. Общие сведения

Токи и напряжения являются наиболее распространёнными электрическими величинами, которые приходится измерять. Наиболее распространёнными средствами измерений постоянных токов и напряжений являются амперметры, вольтметры, а также универсальные и комбинированные приборы различных конструкций.

Определение значений напряжений осуществляют, как правило, прямыми измерениями. Для измерения токов кроме прямых измерений, широко используют косвенные измерения, при которых измеряется падение напряжения  $U$  на резисторе с известным сопротивлением  $R$ , включённым в цепь измеряемого тока  $I_x$ . Значение тока находят по закону Ома:

$$I_x = \frac{U}{R}.$$

В этом случае погрешность результата измерений  $I_x$  определяется погрешностью измерения напряжения  $\Delta U$  и погрешностью изготовления сопротивления  $\Delta R$ .

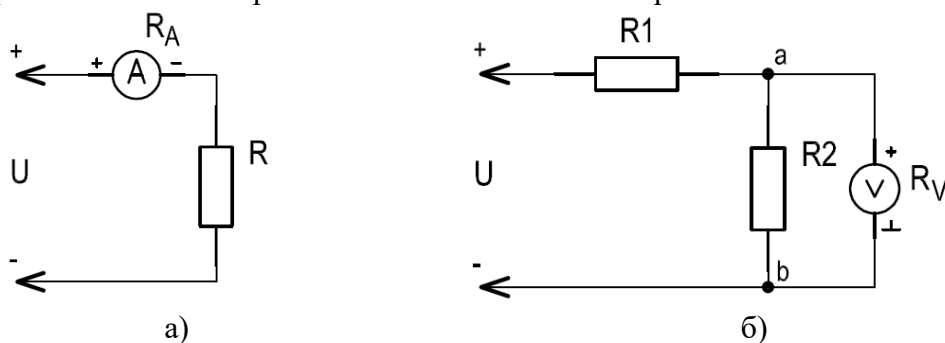


Рис. 1. Схемы измерения тока амперметром (а) и напряжения вольтметром (б)

Наличие внутреннего сопротивления у средств измерений вызывает **методическую погрешность** при измерении токов и напряжений. Включение в исследуемую цепь средства измерений искажает режим этой цепи. Так, например, включение амперметра, имеющего сопротивление  $R_A$ , в цепь, изображённую на рис.1.а, приведёт к тому, что вместо тока

$$I = \frac{U}{R},$$

который протекал в этой цепи до включения амперметра, после включения амперметра пойдёт ток

$$I_1 = \frac{U}{R + R_A}.$$

Методическая погрешность  $\Delta I = I_1 - I$  тем больше, чем больше сопротивление амперметра.

В относительной форме методическая погрешность измерения тока определяется выражением

$$\delta_M = \frac{I_1 - I}{I} \cdot 100\% = \frac{-R_A}{R + R_A} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Аналогичная погрешность возникает при измерении напряжений. Например, в цепи, представленной на рис. 1.б, при включении вольтметра, имеющего сопротивление  $R_V$ , режим цепи тоже нарушается, так как вместо напряжения

$$U_{ab} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U ,$$

которое было в схеме между точками а и б до включения вольтметра, после его включения напряжение станет равным

$$U_{ab1} = \frac{R_2 \cdot R_V}{R_2 + R_V} \cdot \frac{1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_V}{R_2 + R_V}} \cdot U .$$

Методическая погрешность  $\Delta U = U_{ab1} - U_{ab}$  тем больше, чем меньше сопротивление вольтметра.

В относительной форме методическая погрешность измерения напряжения определяется выражением

$$\delta_M = \frac{U_{ab1} - U_{ab}}{U_{ab}} \cdot 100\% = \frac{1}{1 + \frac{R_V}{R_1} + \frac{R_V}{R_2}} \cdot 100\% . \quad (2)$$

Из средств измерений, используемых для измерения напряжений, наименьшую методическую погрешность обеспечивают компенсаторы, электронные и цифровые приборы. Среди электромеханических приборов наименьшую мощность из измерительной цепи потребляют магнитоэлектрические приборы.

## 2.2. Магнитоэлектрические приборы

Магнитоэлектрическими приборами измеряют токи и напряжения (амперметры и вольтметры), сопротивления (омметры). Магнитоэлектрические приборы применяют в качестве нуль-индикаторов, приборов с высокой чувствительностью к току или напряжению, для оценки наличия или отсутствия тока или напряжения на определённом участке электрической цепи. Кроме того, их используют в самопишущих приборах для регистрации электрических величин.

Магнитоэлектрические приборы в основе своей состоят из магнитоэлектрического измерительного механизма, измерительной цепи и отсчётного устройства.

Измерительный механизм преобразует электрическую величину в угол поворота подвижной части.

Измерительная цепь служит для преобразования измеряемой электрической величины в другую электрическую величину, непосредственно воздействующую на измерительный механизм.

Отсчётное устройство состоит из шкалы и указателя. Шкала прибора представляет собой пластину, на которой нанесены отметки, соответствующие определённым значениям измеряемой величины. Указатель представляет собой перемещающуюся вдоль шкалы стрелку, жёстко скреплённую с подвижной частью измерительного механизма.

Для установки указателя на нулевую отметку в магнитоэлектрических приборах применяют устройство, называемое корректором. Корректор содержит винт, укрепленный на корпусе прибора, поворачивая который можно перемещать подвижную часть прибора

Амперметры, вольтметры или омметры принципиально отличаются друг от друга только измерительной цепью. Измерительный механизм при этом может быть одним и тем же. Всё это является важной предпосылкой для создания универсальных приборов.

Работа магнитоэлектрических механизмов основана на взаимодействии магнитного потока постоянного магнита и тока, проходящего по катушке (рамке). Возникающий при этом вращающий момент отклоняет подвижную часть механизма относительно неподвижной.

На рис. 2 показано устройство магнитоэлектрического измерительного механизма с подвижной катушкой, где 1 – постоянный магнит, 2 – магнитопровод, 3 – полюсные наконечники, 4 – неподвижный сердечник, 5 – спиральная пружинка, 6 – подвижная катушка, 7 – магнитный шунт, 8 – указатель. Ток к подвижной катушке подводится через спиральные пружинки.

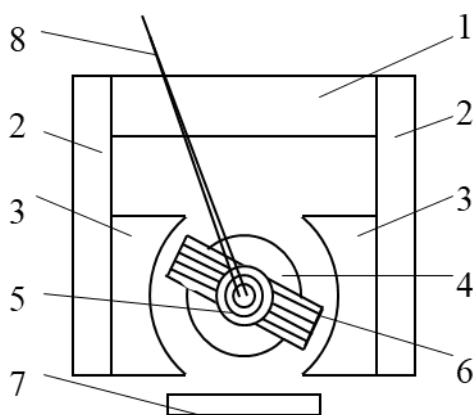


Рис. 2. Устройство магнитоэлектрического измерительного механизма

Угол отклонения  $\alpha$  подвижной части измерительного механизма определяется его конструктивными и электромагнитными параметрами и током  $I$ , протекающим по рамке

$$\alpha = \frac{B \cdot S \cdot w}{W} \cdot I, \quad (3)$$

где  $B$  – индукция радиального магнитного поля в зазоре между полюсными наконечниками и сердечником,

$w$  – число витков катушки (рамки),

$W$  – удельный противодействующий момент упругого элемента (спиральной пружинки) измерительного механизма,

$S$  – площадь рамки.

Из выражения (3) следует, что при постоянной индукции  $B$  в зазоре угол отклонения подвижной катушки пропорционален току в катушке, а знак угла отклонения меняется при изменении направления тока.

Магнитный шунт 7 в виде пластины из ферромагнитного материала (см. рис. 2) используют для регулировки индукции в воздушном зазоре механизма путём перемещения шунта. При этом происходит перераспределение магнитных потоков через воздушный зазор и шунт. Это необходимо для изменения чувствительности измерительного механизма при его калибровке.

Рамка наматывается, как правило, тонким медным проводом с большим числом витков и имеет собственное сопротивление от нескольких десятков Ом до нескольких десятков

кОм. Чтобы создать номинальный ток  $I_{ИМ(max)}$  (ток максимального отклонения), необходимо к рамке приложить напряжение

$$U_{ИМ(max)} = I_{ИМ(max)} \cdot R_{ИМ}, \quad (4)$$

где  $R_{ИМ}$  – сопротивление рамки измерительного механизма.

Таким образом, собственно измерительный механизм может использоваться как для измерения токов, так и напряжений. Например, микроамперметр с пределами измерения по току 0 – 100 мкА и внутренним сопротивлением 1 кОм может использоваться и как вольтметр с пределами измерений 0 – 100 мВ.

### 2.3. Амперметры на основе магнитоэлектрических приборов

В магнитоэлектрических амперметрах рамка измерительного механизма включается либо в цепь измеряемого тока непосредственно, либо с помощью шунта. Непосредственное включение механизма в токовую цепь допустимо при измерении относительно небольших токов (не более 20 мА) ввиду малой перегрузочной способности токопроводов и рамки измерительного механизма.

При измерениях больших токов применяют шунты (резисторы, включаемые параллельно рамке измерительного механизма), которые позволяют снизить ток через рамку измерительного механизма, по сравнению с измеряемым током, в требуемое число раз. Схема включения измерительного механизма в сочетании с шунтом показана на рис. 3.

Шунты изготавливают из материала с высоким удельным сопротивлением – *манганина*, что позволяет существенно уменьшить их габаритные размеры. В амперметрах на небольшие токи (до 30 А) шунты размещены непосредственно в корпусе прибора (встроенные шунты). Для измерения больших токов (до 10000 А) применяют наружные шунты.

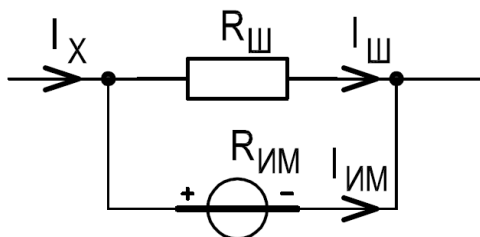


Рис. 3.

При расширении предела измерения сопротивление шунта выбирают из соотношения

$$R_{Ш} = \frac{R_{ИМ}}{n - 1}, \quad (5)$$

где  $n = \frac{I_{X(max)}}{I_{ИМ(max)}}$  – коэффициент шунтирования,

$I_{X(max)}$ ,  $I_{ИМ(max)}$  – соответственно измеряемый ток и ток через рамку измерительного механизма.

### 2.4. Вольтметры на основе магнитоэлектрических приборов

В магнитоэлектрических вольтметрах, для расширения их пределов измерения по напряжению, измерительный механизм включается в цепь вместе с добавочным резистором. Подбором соотношения их сопротивлений можно расширить предел измерения в требуемое количество раз.

Схема включения измерительного механизма с добавочным резистором показана на рис. 4.

Добавочные резисторы, как и шунты, изготавливаются из манганина.

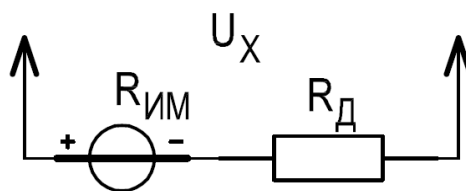


Рис. 4.

Сопротивление добавочного резистора рассчитывается по формуле:

$$R_{Д} = R_{ИМ} \cdot (m - 1), \quad (6)$$

где  $R_{Д}$  – сопротивление добавочного резистора,

$$m = \frac{U_{X(\max)}}{U_{ИМ(\max)}} \text{ – коэффициент расширения предела измерения по напряжению,}$$

$U_{X(\max)}$ ,  $U_{ИМ(\max)}$  – соответственно измеряемое напряжение и падение напряжения на сопротивлении рамки измерительного механизма.

Магнитоэлектрические приборы относятся к числу наиболее чувствительных и точных. Равномерная шкала и малое потребление энергии являются достоинствами этих приборов.

### 3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В лабораторной работе используются следующие приборы:

- магазины сопротивлений Р32, Р33;
- магнитоэлектрический микроамперметр М2001;
- вольтметр универсальный цифровой В7-78/1;
- блок питания LPS-305.

При выполнении расчётов используется пакет программ Mathcad версии 2000 и выше. Отчёты по лабораторной работе необходимо представить в формате \*.doc, \*.docx или

\*.pdf.

### 4. ПРОГРАММА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 4.1. Исследовать характеристики магнитоэлектрического прибора М2001: предел по току, сопротивление, падение напряжения на рамке механизма.
- 4.2. Собрать на основе магнитоэлектрического механизма М2001 амперметр с заданным пределом и определить его характеристики: погрешность измерения, методическую погрешность.
- 4.3. Собрать на основе магнитоэлектрического механизма М2001 вольтметр с заданным пределом и определить его характеристики: погрешность измерения, методическую погрешность.

### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Пояснить принцип действия магнитоэлектрического измерительного механизма.
- 5.2. В каких приборах используются магнитоэлектрические измерительные механизмы, их достоинства и недостатки?
- 5.3. Чем вызвана методическая погрешность при измерении токов и напряжений магнитоэлектрическими приборами?
- 5.4. Каким образом микроамперметр преобразовать в амперметр ?
- 5.5. Записать выражение и дать пояснение к нему для расчёта шунта.

- 5.6. Каким образом микроамперметр преобразовать в вольтметр ?  
 5.7. Как преобразовать милливольтметр в амперметр ?  
 5.8. Записать выражение для расчёта сопротивления добавочного резистора.  
 5.9. Из каких материалов изготавливают шунты и добавочные резисторы и почему ?

## 6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАДАНИЯ

### 6.1. Определение параметров магнитоэлектрического механизма.

По лицевой панели необходимо определить предел измерения  $I_{ИМ(max)}$  микроамперметра М2001: в лаборатории используются приборы с пределами 100 и 200 мкА.

Для определения сопротивления  $R_{ИМ}$  магнитоэлектрического измерительного механизма М2001 необходимо собрать схему, показанную на рис. 5.

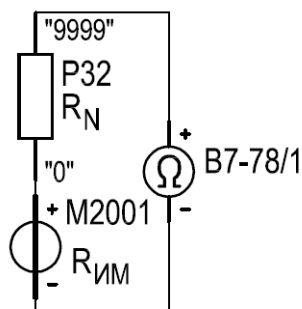


Рис. 5. Измерение сопротивления механизма М2001

Вольтметр В7-78/1 необходимо перевести в режим омметра и измерить суммарное сопротивление цепи  $R_{\Sigma}$ . Особое внимание следует обратить на полярность подключения омметра и магнитоэлектрического механизма (полярность входных клемм механизма указана на обратной стороне, рис. 6.б).

Без дополнительного резистора  $R_N$  ток через механизм М2001 будет больше, чем предел измерения, поскольку тестовый ток омметра В7-78/1 в этом случае равен 1 мА.



Рис. 6. Магнитоэлектрический механизм М2001 (а, б) и магазин сопротивлений Р32 (в)

В качестве образцового резистора  $R_N$  использовать магазин сопротивлений Р32 (или Р33), рис. 6.в. Клеммы магазина показаны символами «0» и «9999» (для магазина Р33 «99999»). Необходимо выставить сопротивление  $R_N = 8$  кОм.

Значение  $R_{ИМ}$  определяется разностью

$$R_{ИМ} = R_{\Sigma} - R_N. \quad (7)$$



## 6.2. Исследование амперметра на основе механизма М2001.

Рассчитать сопротивление шунта  $R_{ш}$ , необходимое для расширения предела измерения микроамперметра М2001, в соответствии с методикой п.2.3. Предел измерения  $I_{X(max)}$  задаётся преподавателем по вариантам (номер варианта соответствует номеру рабочей подгруппы). Определить новую цену деления преобразованного прибора.

Таблица 1.

Вариант	1	2	3	4	5	6
$I_{X(max)}$ , мА	1	2	3	4	5	6

Для экспериментального исследования собрать электрическую схему, изображённую на рис. 7, с учётом полярности образцового и исследуемого приборов.

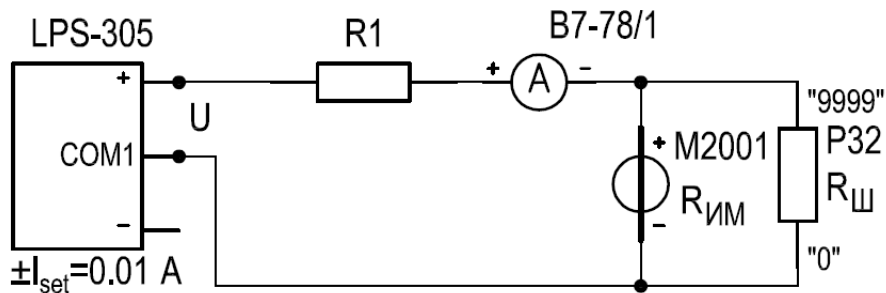


Рис. 7. Схема эксперимента для исследования амперметра

В качестве шунта использовать магазин сопротивлений P32 (или P33).

В качестве сопротивления  $R1$  использовать постоянный резистор, рис. 8, с номинальным сопротивлением 1.1 кОм (допускается использовать другие номинальные значения при условии обеспечения рабочего тока в цепи). Сопротивление резистора перед подключением в схему необходимо измерить прибором В7-78/1.



Рис. 8. Резистор МЛТ

В качестве образцового амперметра необходимо использовать прибор В7-78/1.

Регулировка тока осуществляется изменением напряжения блока питания LPS-305. Начальное напряжение блока рекомендуется установить с помощью кнопки  $+V_{SET}$  равным 1 В, а защиту по току  $+I_{SET}=0.01$  А. Кнопками с изображением стрелок вверх-вниз  $+▲$ ,  $+▼$  можно плавно регулировать выходное напряжение. Включить или выключить нагрузку можно нажатием на кнопку  $±OUTPUT ON/OFF$ .

Устанавливая значения тока через исследуемый прибор, соответствующие оцифрованным делениям его шкалы и измеряя действительные значения этого тока с помощью образцового амперметра В7-78/1, определить приведённые погрешности  $\gamma$ , в соответствии с которыми установить его класс точности.

Приведённая погрешность определяется из выражения

$$\gamma = \frac{\Delta I}{I_{X(\max)}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где  $I_0$  – действительное значение тока (показание образцового прибора);  $I_X$  – показания испытуемого прибора;  $\Delta I = I_X - I_0$  – абсолютная погрешность измерения;  $I_{X(\max)}$  – номинальное значение тока испытуемого прибора (предел измерения).

Приборы делятся на 8 классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; и 4,0. Класс точности прибора означает, что основная приведённая погрешность прибора (положительная или отрицательная) в рабочем диапазоне шкалы, выраженная в процентах, не превышает значения, соответствующего класса прибора.

Результаты измерений и расчётов записать в таблицу 2.

Таблица 2.

№	$I_X$	$I_X, \text{ мА}$	$I_0, \text{ мА}$	$\Delta I, \text{ мА}$	$\gamma, \%$
1	$0.2 \cdot I_{X(\max)}$				
2	$0.4 \cdot I_{X(\max)}$				
3	$0.5 \cdot I_{X(\max)}$				
4	$0.6 \cdot I_{X(\max)}$				
5	$0.8 \cdot I_{X(\max)}$				
6	$I_{X(\max)}$				

При экспериментальной оценке методической погрешности измерения тока необходимо измерить образцовым амперметром В7-78/1 токи через нагрузку с подключенным в схему исследуемым амперметром и без него. Относительная методическая погрешность измерения тока определяется как

$$\delta_{МЭ} = \frac{I_{01} - I_{02}}{I_{02}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где  $I_{01}$  – значение тока через нагрузку с подключенным прибором М2001,

$I_{02}$  – значение тока через нагрузку при отсутствии прибора М2001.

В последнем случае клеммы исследуемого прибора должны быть закорочены проводником либо вход «←» амперметра В7-78/1 напрямую соединён с входом «←» блока питания LPS-305.

Сравнить экспериментальное значение методической погрешности  $\delta_{МЭ}$  с теоретическим значением  $\delta_{МТ}$ , которое определяется выражением (1). Значение сопротивления амперметра  $R_A$  при этом равно эквивалентному сопротивлению параллельно соединённых сопротивлений  $R_{Ш}$  и  $R_{ИМ}$ .

### 6.3. Исследование вольтметра на основе механизма М2001.

Рассчитать сопротивление добавочного резистора  $R_D$ , необходимое для обеспечения предела измерения по напряжению прибора М2001, в соответствии с методикой п.2.4. Предел измерения  $U_{X(\max)}$  задаётся преподавателем по вариантам (номер варианта соответствует номеру рабочей подгруппы). Определить новую цену деления преобразованного прибора.

Таблица 3.

Вариант	1	2	3	4	5	6
$U_{X(\max)}$ , В	1	2	3	4	5	6

Для экспериментального исследования собрать электрическую схему, изображённую на рис. 9, с учётом полярности образцового и исследуемого приборов.

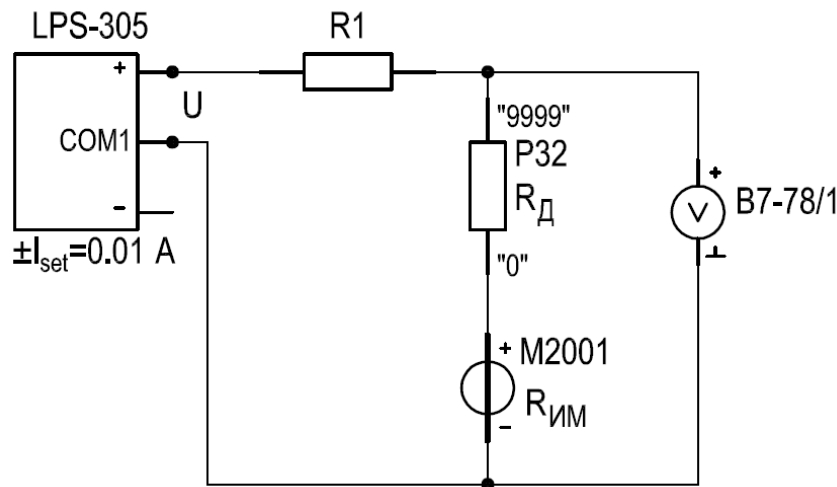


Рис. 9. Схема эксперимента для исследования вольтметра

В качестве добавочного резистора использовать магазин сопротивлений Р32 (или Р33).

В качестве сопротивления  $R1$  использовать постоянный резистор, рис. 8, с номинальным сопротивлением 1.1 кОм (допускается использовать другие номинальные значения при условии обеспечения рабочего тока в цепи). Сопротивление резистора перед подключением в схему необходимо измерить прибором В7-78/1.

В качестве образцового вольтметра необходимо использовать прибор В7-78/1.

Регулировка напряжения осуществляется изменением напряжения блока питания LPS-305. Начальное напряжение блока рекомендуется установить с помощью кнопки  $+V_{SET}$  равным 1 В, а защиту по току  $+I_{SET}=0.01$  А.

Устанавливая значения напряжения на исследуемом приборе, соответствующие оцифрованным делениям его шкалы и измеряя действительные значения напряжения с помощью образцового вольтметра В7-78/1, определить приведённые погрешности  $\gamma$ , в соответствии с которыми установить его класс точности.

Приведённая погрешность определяется из выражения

$$\gamma = \frac{\Delta U}{U_{X(\max)}} \cdot 100\%, \quad (10)$$

где  $U_0$  – действительное значение напряжения (показание образцового прибора);  $U_x$  – показания испытуемого прибора;  $\Delta U = U_x - U_0$  – абсолютная погрешность измерения;  $U_{x(\max)}$  – номинальное значение напряжения испытуемого прибора (предел измерения).

Результаты измерений и расчётов записать в таблицу 4.

Таблица 4.

№	$U_x$	$U_x, \text{В}$	$U_0, \text{В}$	$\Delta U, \text{В}$	$\gamma, \%$
1	$0.2 \cdot U_{x(\max)}$				
2	$0.4 \cdot U_{x(\max)}$				
3	$0.5 \cdot U_{x(\max)}$				
4	$0.6 \cdot U_{x(\max)}$				
5	$0.8 \cdot U_{x(\max)}$				
6	$U_{x(\max)}$				

При оценке методической погрешности измерения напряжения необходимо измерить образцовым вольтметром В7-78/1 токи через нагрузку с подключенным в схему исследуемым вольтметром и без него. Относительная методическая погрешность измерения определяется как

$$\delta_{MЭ} = \frac{U_{01} - U_{02}}{U_{02}} \cdot 100\%, \quad (11)$$

где  $U_{01}$  – значение напряжения с подключенным прибором М2001,

$U_{02}$  – значение напряжения при отсутствии прибора М2001.

В последнем случае клеммы исследуемого прибора должны быть разомкнуты (в цепи остаются вольтметр В7-78/1 и резистор  $R_1$ ).

Сравнить экспериментальное значение методической погрешности  $\delta_{MЭ}$  с теоретическим значением  $\delta_{MT}$ , которое определяется выражением (2). Значение сопротивления вольтметра  $R_v$  при этом равно сумме последовательно соединённых сопротивлений  $R_d$  и  $R_{IM}$ .

## 7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишмарев В.Ю. Технические измерения и приборы: учебник для вузов – 2-е изд. – М.: Академия, 2012. – 384 с.
2. Панфилов В.А. Электрические измерения. – 8-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 288 с.
3. Лачин В.И., Савёлов Н.С. Электроника: учебное пособие для вузов. – 8-е изд. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2010. – 704 с.
4. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы: аналоговые и цифровые. – К.: Вища школа, 1986. – 503 с.
5. Электрические измерения. / Под ред. А.В. Фремке, Е.М. Душина. - Л.: Энергия, 1980. – 392 с.
6. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М.: Дрофа, 2005. – 405 с.
7. Измерения в электронике: справочник/ Под ред. В.А. Кузнецова.- М.: Энергоатомиздат, 1987. - 512 с.
8. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника в 2 т. Т.1 – М.: ДМК Пресс, 2015. – 828 с.
9. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника в 2 т. Т.2 – М.: ДМК Пресс, 2015. – 942 с.
10. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 303 с.

## ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Методические указания к лабораторной работе №3  
по курсу «Основы измерительной техники»

Составитель Якимов Евгений Валерьевич