

ГУАП

КАФЕДРА № 6

ОТЧЕТ  
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ  
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

ассистент

должность, уч. степень, звание

подпись, дата

К.В. Золотухин

инициалы, фамилия

## ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1

Измерение постоянных напряжений

по курсу: Метрология

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛИ

СТУДЕНТЫ гр. № 2212

подпись, дата

Г.С. Солдатенков

М.С. Мухин

В.Р. Быкадоров

Е.С. Пистунова

В.Ю. Прокофьев

инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2024

# Лабораторная работа "Измерение постоянных напряжений"

Таблица 1.1

Градуировка магнитоэлектрического вольтметра  
и измерение напряжения вольтметра источника питания

Отсчет по шкале $\alpha_x$ , дел.	Показания образцового вольтметра $U_0$ , В	Показания вольтметра источника питания $U_{ИП}$ , В	Погрешность измерения напряжения $\delta U_{ИП}$ , %
0	0	0	0
5	1,5	1,6	
10	2,9	3	
15	4,2	4,3	
20	5,7	5,8	
25	7,2	7,3	
30	8,6	8,7	
35	10	10,1	
40	11,3	11,4	
45	12,8	12,9	
50	14,3	14,6	

Таблица 1.2

Измерение внутреннего сопротивления магнитоэлектрического вольтметра

Тип вольтметра	Класс точности (%)	Показания		$R_0$ , кОм	$R_B$ , Ом	Погрешности, %		
		$U_1$ , дел.	$U_2$ , дел.			$\delta U_1$	$\delta U_2$	$\delta R_B$
Магнитоэлектрический	2,0	50	25	270				

гр. 2212

Мухин М.С.

Прокорьев В.Ю.

Пистунова Е.С.

Быкадоров В.Р.

Сондатов Г.С.

08.10.21

# «Измерение постоянных напряжений»

Таблица 1.3

## Определение поправки для компенсации систематической погрешности

Точки схе- мы	Пока- зания мультиметра, $U_0$ , В	Показания магнитоэлектрического вольтметра							
		Отсчеты		Поправка $C$ , дел	Исправленный отсчет $a = a_{изм} + C$	Напряжение без поправки $U_{изм}$ , В	Напряжение с по- правкой $U_{из}$ , В	Погрешность без поправки $\gamma_{без погр.}$	Погрешность с по- правкой $\gamma_c погр$
		$a_{изм}$ , дел (без шунта)	$a_{из}$ , дел (с шунтом)						
1	4,26	25	24,5						
2	6,51	22,5	20,5						
3	6,49	22,5	17						
4	5,30	18,5	18						
5	—	—	—						
6	7,72	26,5	24,5						
7	7,84	27	27						
8	4,65	16	15,5						
9	6,38	22	21						
10	5,11	17,5	15						



1. Цель работы: ознакомление с типовым вольтметром постоянного напряжения, овладение методикой измерений постоянных напряжений, внутреннего сопротивления магнитоэлектрического вольтметра, приобретение навыков его градуировки, определение поправки для компенсации систематической погрешности вольтметра.

2. Описание лабораторной установки:

2.1 Используемое оборудование

- Магнитоэлектрический вольтметр;
- Цифровой мультиметр MXD-4660;
- Источник постоянного напряжения PS-2403D;
- Электронный блок.

Магнитоэлектрический вольтметр.

Магнитоэлектрический вольтметр класса точности 2,0 выполнен в виде макета (рисунки 1, 2) по схеме (рисунок 3). Основными элементами вольтметра является магнитоэлектрический микроамперметр и добавочный резистор  $R_1$ . Для определения внутреннего сопротивления вольтметра предназначено образцовое сопротивление  $R_0$ . Для экспериментального определения поправки на отвлечение тока в цепь вольтметра в схему введен контрольный шунт  $R_{ш}$ . Контрольный шунт подключается параллельно входу вольтметра с помощью переключателя  $S_1$  (переключатель «шунт вкл» / «шунт выкл» на рисунках 2, 3).



Рисунок 1 – Внешний вид макета магнитоэлектрического вольтметра



Рисунок 2 – Схема макета магнитоэлектрического вольтметра

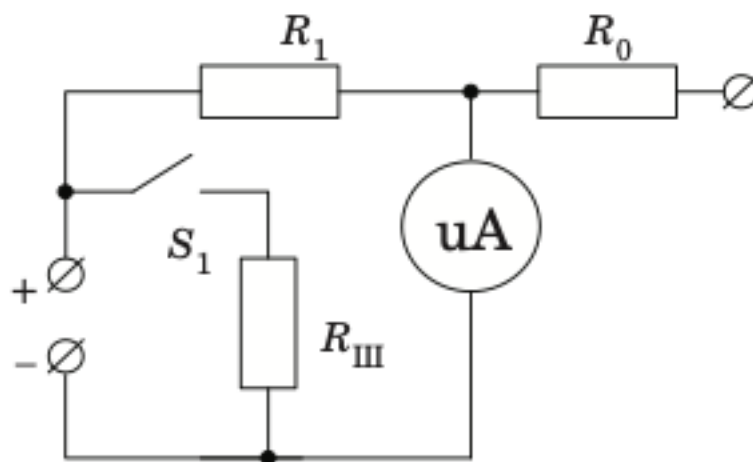


Рисунок 3 – Принципиальная схема магнитоэлектрического вольтметра  
Цифровой мультиметр MXD-4660.

Данное средство измерений (рисунок 4) класса точности 0,5 имеет несколько режимов: измерение напряжения, тока, сопротивления. В работе используется режим измерения постоянного напряжения.



Рисунок 4 - Цифровой мультиметр MXD-4660

Источник постоянного напряжения PS-2403D.

Регулируемый двухканальный блок питания постоянного тока PS-2403D (рисунок 5) имеет следующие характеристики. Два блока питания в одном

корпусе. Напряжение  $0 \sim 40$  В, ток  $0 \sim 3$  А каждого. Четыре цифровых дисплея (2 вольтметра и 2 амперметра). Плавная регулировка напряжения и тока.



Рисунок 5 - Источник постоянного напряжения PS-2403D

Электронный блок.

Электронный блок (рисунок 6) предназначен для проведения измерений с целью расчета поправки и компенсации систематической погрешности. Блок имеет контакты для подключения к источнику питания, клемму «земля» (на боковой стенке) и 10 контрольных точек с различными уровнями выходных напряжений, выведенных на переднюю панель.



Рисунок 6 – Макет электронного блока

## 2.2 Градуировка магнитоэлектрического вольтметра

Градуировка (нем. *graduieren* «градуировать» от лат. *gradus* «шаг, ступень, степень») средств измерений, иногда тарирование – метрологическая операция, при помощи которой средство измерений (меру или измерительный прибор) снабжают шкалой или градуировочной таблицей/кривой. Отметки шкалы должны с требуемой точностью соответствовать значениям измеряемой величины, а таблица/кривая с требуемой точностью отражать связь эффекта на выходе прибора с величиной, подводимой ко входу. Градуировка производится с помощью более точных, чем градуируемые, средств измерений, по показаниям которых устанавливают действительные значения измеряемой величины. Точные средства измерений градуируются

индивидуально, менее точные снабжаются шкалой, напечатанной заранее, или стандартной таблицей (кривой) градуировки. Применение типовых шкал или стандартных градуированных таблиц требует иногда регулировки средств измерений с целью доведения их погрешностей до установленных нормами. В лабораторной работе в качестве более точного средства измерений для градуировки исследуемого магнитоэлектрического вольтметра класса точности 2,0 используется цифровой мультиметр MXD-4660 класса точности 0,5 [2]. При таком соотношении классов точности используемых приборов мультиметр MXD-4660 можно считать образцовым. Градуировка выполняется путем сравнения показаний  $\alpha_x$  градуируемого вольтметра (в делениях) с показаниями  $U_0$  образцового вольтметра (в вольтах). Внешний вид измерительной установки и схема подключения приборов для выполнения градуировки показана на рисунках 7, 8. При проведении градуировки следует исключить из схемы вольтметра образцовое сопротивление  $R_0$  и сопротивление шунта  $R_{ш}$ .

Одновременно с градуировкой производится проверка точности встроенного вольтметра источника питания, для которого мультиметр также является образцовым, поэтому сравнение показаний мультиметра и источника питания позволят рассчитать погрешность последнего.



Рисунок 7 – Внешний вид измерительной установки

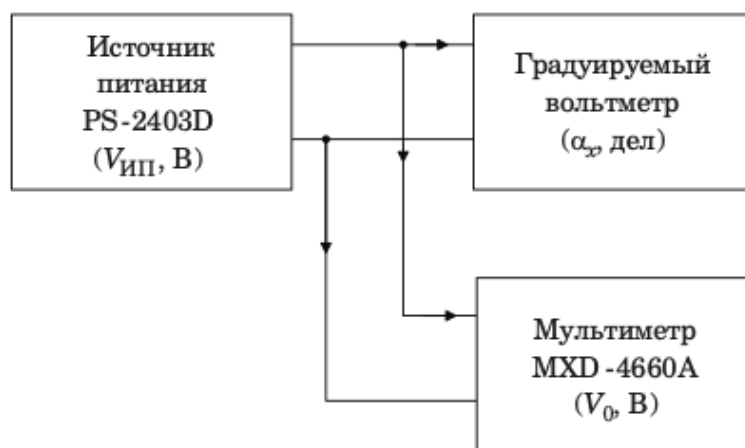


Рисунок 8 – Схема градуировки магнитоэлектрического вольтметра

### 3. Рабочие формулы:

Погрешность измерения напряжения:

$$\delta U_{\text{ип}} = \left| \frac{U_0 - U_{\text{ип}}}{U_0} \right| \times 100\% \quad (1)$$

Сопротивление вольтметра:

$$R_{\text{в}} = \frac{R_0}{\left( \frac{U_1}{U_2} - 1 \right)} \quad (2)$$

Погрешности измерения  $U_1, U_2$ :

$$\delta U_{1,2} = \frac{U_{\text{п}}}{U_{1,2}} \times \delta, \% \quad (3)$$

Относительная погрешность внутреннего сопротивления вольтметра:

$$\delta R_{\text{в}} = |\delta R_0| + \left| \frac{U_1}{U_1 - U_2} \times \delta U_1 \right| + \left| \frac{U_1}{U_1 - U_2} \times \delta U_2 \right| \quad (4)$$

Поправка для контрольной точки:

$$C = U_{\text{изм}} \frac{U_{\text{изм}} - U_{\text{к}}}{2U_{\text{к}} - U_{\text{изм}}} \quad (5)$$

Исправленный отсчёт:

$$\alpha = \alpha_{\text{изм}} + C \quad (6)$$

Приведенная погрешность без поправки:

$$\gamma_{\text{без погр}} = \frac{U_0 - U_{\text{изм}}}{U_{\text{пред}}} \times 100\% \quad (7)$$

Приведенная погрешность с поправкой:



$$\gamma_{\text{с погр}} = \frac{U_0 - U_{\text{п}}}{U_{\text{пред}}} \times 100\% \quad (8)$$

#### 4. Результаты измерений и вычислений:

Таблица 1 – Градуировка магнитоэлектрического вольтметра и измерение напряжения вольтметра источника питания

Отсчёт по шкале $\alpha_x$ , дел	Показания образцового вольтметра $U_0$ , В	Показания вольтметра источника питания $U_{\text{ип}}$ , В	Погрешность измерения напряжения $\delta U_{\text{ип}}$ , %
0	0	0	0
5	1,538	1,5	2,47
10	2,877	2,8	2,68
15	4,413	4,3	2,56
20	5,727	5,6	2,22
25	7,264	7,2	0,88
30	8,651	8,5	1,75
35	10,058	9,9	1,57
40	11,551	11,4	1,3
45	12,945	12,8	1,12
50	14,315	14,2	0,8

Таблица 2 – Каскад с ООС при  $R_{\text{и}}=2 \text{ кОм}$

Тип вольтметра	Класс точнос ти	Показан ия		$R_0$ , кО м	$R_{\text{в}}$ , кОм	Погрешности		
		$U_1$ , дел	$U_2$ , дел			$\delta U_1$ , %	$\delta U_2$ , %	$\delta R_{\text{в}}$ , %
Магнитоэлектричес кий	2,0	50	25	270	11,2 5	2	4	13

Таблица 3 – Определение поправки для компенсации систематической погрешности

То чк и схе мы	Показа ния мульт иметра , U <sub>0</sub> , В	Показания магнитоэлектрического вольтметра							
		Отсчёты		Поп равк а С, дел	Исправ ленный отсчёт, $\alpha$	Напря жение без попра вки, U <sub>изм</sub> , В	Напря жение с попра вкой, U <sub>п</sub> , В	Погре шност ь без поправ ки, $\gamma_{\text{без попр}}$	Погре шност ь с поправ кой, $\gamma_{\text{с попр}}$
		$\alpha_{\text{изм}}$ , (без шун та)	$\alpha_{\text{к}}$ , дел (с шун том)						
1	7,265	25	24,5	0,52	25,52	7,1	6,4	1,2	2,3
2	6,519	22,5	20,5	2,44	24,94	6,6	6,2	0,4	0,6
3	6,477	22,5	17	10,7 7	33,27	6,7	5	0,5	2,7
4	5,308	18,5	18	0,53	19,03	5,6	5,4	0,8	0,3
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	7,724	26,5	24,5	11,2 4	37,74	7,8	7	0,7	1,1
7	7,840	27	27	0	27	8,2	8,3	0,8	0,6
8	4,654	16	15,5	0,53	16,53	4,6	4,8	0,2	0,1
9	6,381	22	21	1,1	23,1	6,7	6,2	0,8	0,04
10	5,115	17,5	15	3,5	21	-	-	-	-

#### 5. Примеры вычислений:

По формуле (1):  $\delta U_{\text{ип}} = \left| \frac{U_0 - U_{\text{ип}}}{U_0} \right| \times 100\% = \left| \frac{1,538 - 1,5}{1,538} \right| \times 100\% = 2,47\%$

По формуле (2):  $R_{\text{в}} = \frac{R_0}{\left(\frac{U_1}{U_2} - 1\right)} = \frac{270}{\left(\frac{50}{25} - 1\right)} = 11,25 \text{ кОм}$

По формуле (3):  $\delta U_1 = \frac{U_{\text{п}}}{U_1} \times \delta, \% = \frac{50}{50} \times 2 = 2\%$

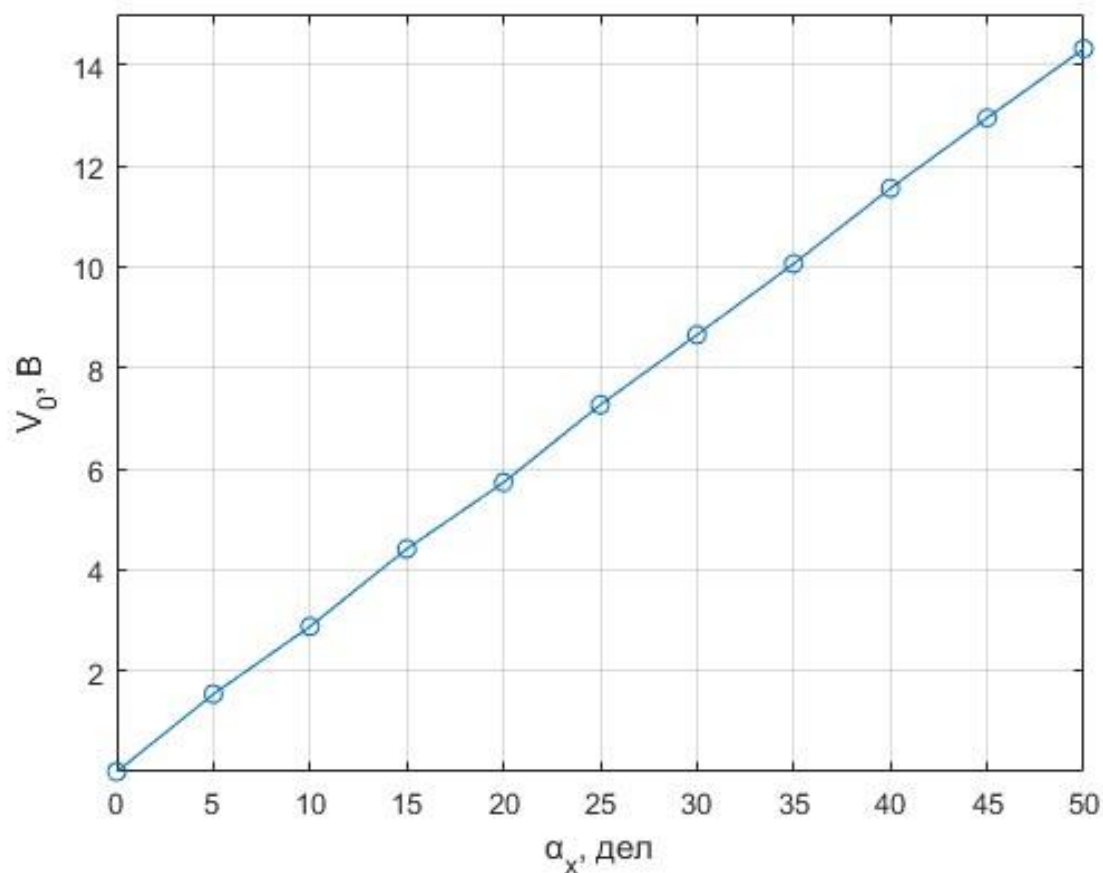
$$\delta U_2 = \frac{U_{\text{п}}}{U_2} \times \delta, \% = \frac{50}{25} \times 2 = 4\%$$

По формуле (4):  $\delta R_{\text{в}} = |\delta R_0| + \left| \frac{U_1}{U_1 - U_2} \times \delta U_1 \right| + \left| \frac{U_1}{U_1 - U_2} \times \delta U_2 \right| = |\pm 1| + \left| \frac{50}{50 - 25} \times 2 \right| + \left| \frac{50}{50 - 25} \times 4 \right| = 13\%$

По формуле (5):  $C = 25 \times \frac{25 - 24,5}{2 \times 24,5 - 25} = 0,52 \text{ дел}$

По формуле (6):  $\alpha = \alpha_{\text{изм}} + C = 25 + 0,52 = 25,52 \text{ дел}$

6. График:



7. В данной лабораторной работе был изучен принцип работы магнитоэлектрического вольтметра. В ходе эксперимента было установлено, что при измерении напряжения в электрической цепи неизбежна погрешность, вызванная прохождением части тока через вольтметр. Погрешность измерения без шунта составила 2%, что находится в пределах допустимых значений. Однако, при использовании шунта погрешность увеличилась до 3,8%, так как часть тока отводится не только на вольтметр, но и на шунт. По результатам проведенных измерений был построен график градуировки магнитоэлектрического вольтметра.