

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Национальный исследовательский университет  
«Московский институт электронной техники»»

Институт микроприборов и систем управления им. Л.Н. Преснухина

Отчет по лабораторной работе № 1\_\_\_\_\_

---

Однократные измерения и их погрешности  
(название лабораторной работы)

---

Метрология и электрорадиоизмерения  
(название дисциплины)

Выполнили студенты группы ИВТ-32

---

Голев Андрей Дмитриевич  
(подпись) (Ф.И.О.)

---

Жигалов Даниил Владиславович  
(подпись) (Ф.И.О.)

---

Лазарева Мария Викторовна  
(подпись) (Ф.И.О.)

Проверил преподаватель

---

(подпись) (Ф.И.О.)

**Москва, 2023 г.**

## **1. Цель работы**

Постановка измерительных экспериментов по оценке электрических параметров цепей при статических однократных измерениях с использованием цифрового мультиметра и последующая оценка погрешностей данных измерений.

## **2. Используемое оборудование**

NI PXI-1033 (6259, 5102, 5402, 4065), NI ELVIS, резисторы.

### **Теоретические сведения**

**Метрология** – наука об измерениях и методах обеспечения их единства и требуемой точности.

В данной лабораторной работе предоставляется возможность постигнуть основы измерений и оценок их погрешностей. Рассматриваются и применяются на практике основные понятия метрологии.

В этом нам поможет оборудование от дружественной американской компании National Instruments.

В частности, используются шасси NI PXI-1033, функциональный генератор NI 5402, цифровой мультиметр NI 4065 и макетная плата NI ELVIS.



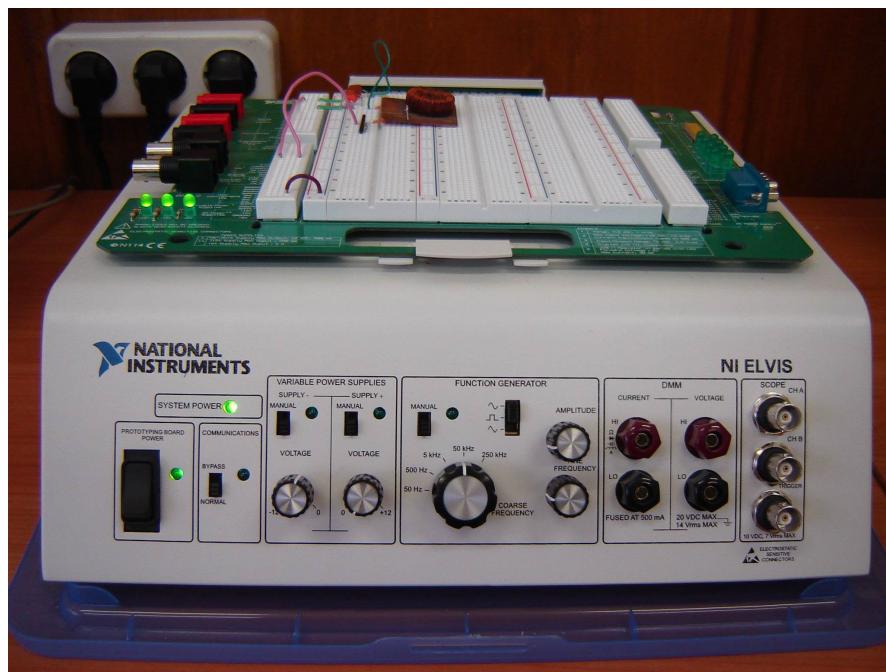
*Рисунок 1 - NI PXI-1033*



Рисунок 2 - NI 5402



Рисунок 3 - NI 4065



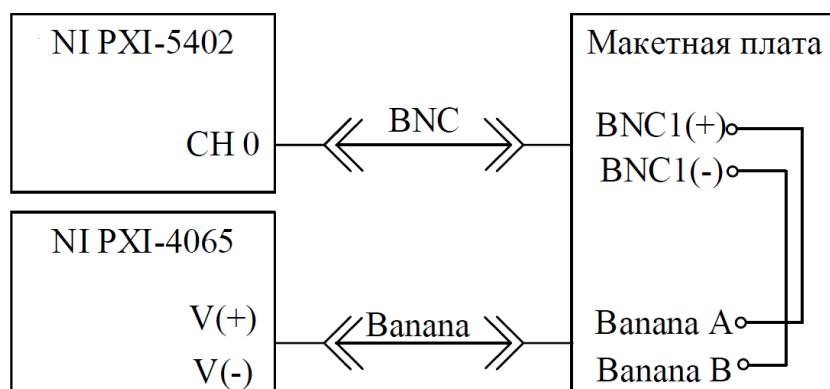
*Рисунок 4 - NI ELVIS*

**Измерение** – процесс экспериментального получения значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине.

### 3. Выполнение лабораторной работы

#### 3.1 Измерение напряжения с “чёрного ящика” и оценка точности проведённого измерения

4.1.1 Используя нижеприведённую схему, необходимо было собрать её макет и измерить напряжение с помощью программного мультиметра от NI.



*Рисунок 5 - Схема измерения постоянного напряжения*

Случайное значение напряжения подавалось на макетную плату NI ELVIS с помощью программы, написанной на Python (см. [листинг 2](#) в приложении А).

Далее были проведены измерения (см. [протокол измерений Б.1](#)) с помощью мультиметра NI PXI-4065.

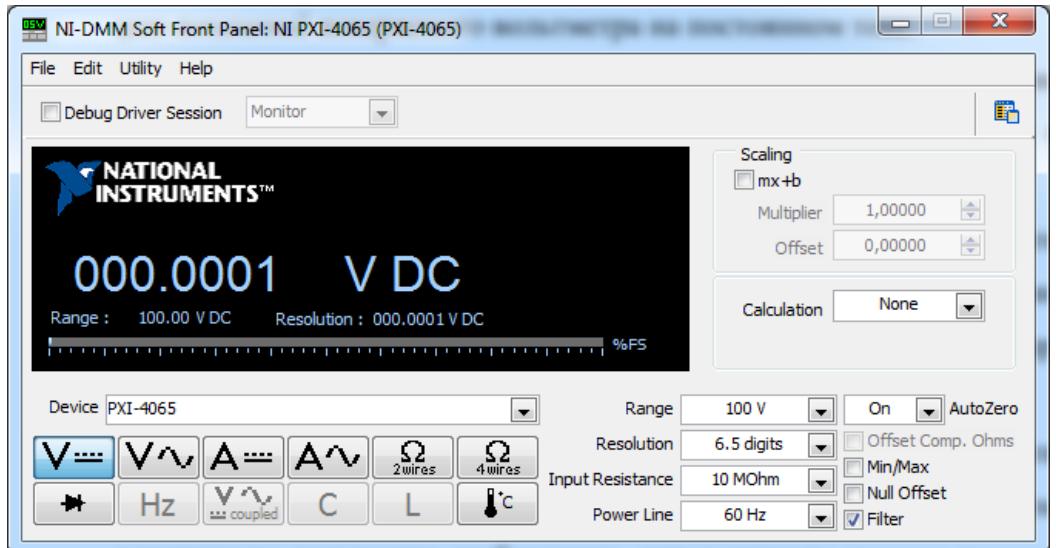


Рисунок 6 - Интерфейс мультиметра NI PXI-4065

#### 4.1.2 Рассчитаем методическую погрешность $\theta_m$ по формуле

$$\theta_m = U_{\text{ген}} \cdot \left( \frac{R_V}{R_V + R_{\text{ген}}} - 1 \right),$$

где  $R_V$  – входное сопротивление мультиметра,

$U_{\text{ген}}$  – напряжение генератора,

$R_{\text{ген}}$  – выходное сопротивление генератора [2].

Выразим  $U_{\text{ген}}$  через  $U_V$  с помощью формулы

$$U_V = U_{\text{ген}} \frac{R_V}{R_V + R_{\text{ген}}}$$

Получаем

$$U_{\text{ген}} = U_V \frac{R_V + R_{\text{ген}}}{R_V} = -9,659 \cdot \frac{10 \cdot 10^6 + 50}{10 \cdot 10^6} = -9,659048295.$$

Теперь вычислим методическую погрешность

$$\begin{aligned}\theta_m &= U_V - U_{\text{ген}} = U_{\text{ген}} \cdot \left( \frac{R_V}{R_V + R_{\text{ген}}} - 1 \right) = \\ &= -9,65905 \cdot \left( \frac{10^7}{10^7 + 50} - 1 \right) = 4,8295 \cdot 10^{-5}\end{aligned}$$

4.1.3 Оценим основную инструментальную погрешность по формуле

$$\theta_{\text{очн}} = \pm(a \cdot U_{\text{исп}} + b \cdot D_U),$$

где  $U_{\text{исп}}$  – измеренное значение,

$D_U$  – выбранный предел измерения.

$$\theta_{\text{очн}} = \pm(9 \cdot 10^{-5} \cdot (-9,659048295) + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 10) \approx 0,000749314,$$

4.1.4 Оценим дополнительную погрешность по формуле

$$\theta_{T_{\text{доп}}} = \pm(T_{\text{норм}} - T_{PXI}) \cdot (a \cdot U_{\text{исп}} + b \cdot D_U)$$

$$\theta_{T_{\text{доп}}} = \pm(28 - 38,2) \cdot (5 \cdot 10^{-6} \cdot (-9,659048295) + 10^{-6} \cdot 10) \approx \pm 0,000390611$$

4.1.5 Рассчитаем суммарную инструментальную погрешность

$$\begin{aligned}\theta(0,95) &= k_{0,95;2} \sqrt{\Delta i_{\text{очн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2} \\ \theta(0,95) &= 1,1 \cdot \sqrt{\Delta i_{\text{очн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2} = 0,000929515\end{aligned}$$

## 3.2 Оценка инструментальной погрешности на диапазоне измерений

4.2.1 Задавая опорное напряжение с помощью программы (см. [листинг 1](#) в приложении А), были проведены 10 измерений, результаты которых представлены в [протоколе измерений Б.2](#).

4.2.2 Построим график зависимости измеренных значений с границами погрешности измерения  $[U_{\text{п}} - \theta(0,95); U_{\text{п}} + \theta(0,95)]$  и границ погрешности генератора  $[U_{\text{оп}} - \theta_{\text{оп}}; U_{\text{п}} + \theta_{\text{оп}}(0,95)]$ .

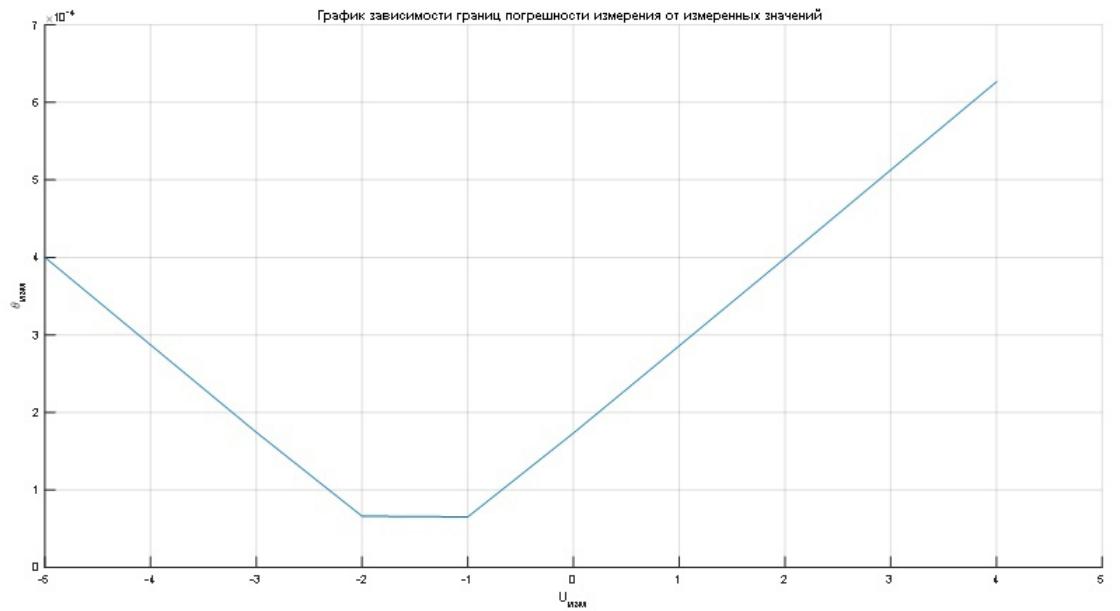


Рисунок 7 – График зависимости границ погрешности измерения от измеренных значений

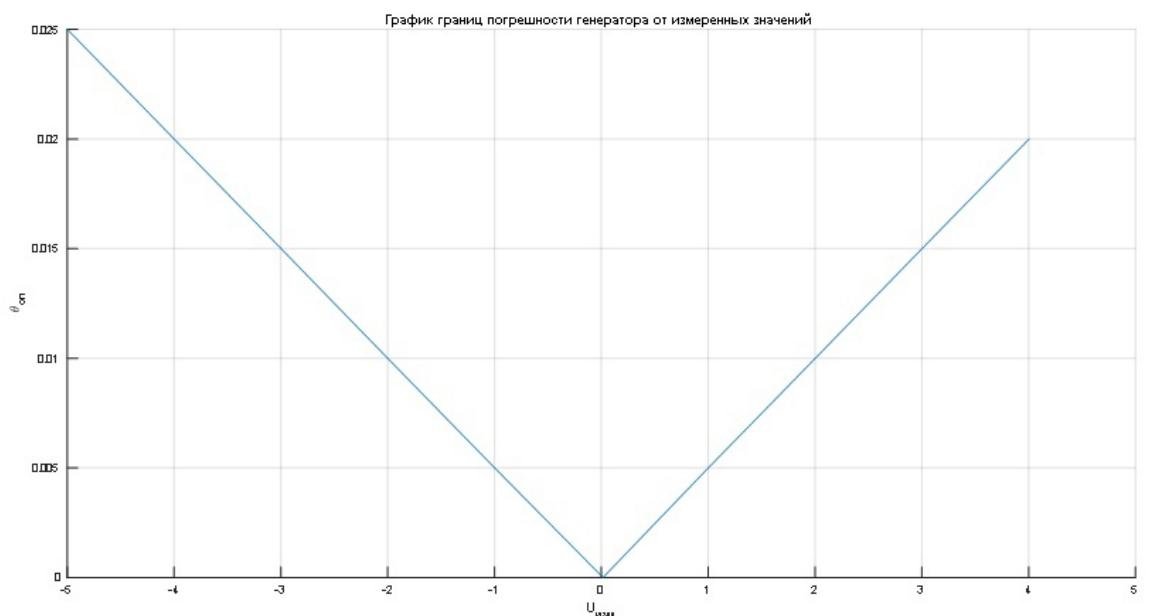


Рисунок 8 – График границ погрешности генератора от измеренных значений

## 4.3 Измерение сопротивлений резисторов

4.3.1 Заполнив [протокол измерений Б.3](#), оценим инструментальную погрешность мультиметра в режиме омметра при 2-х выводной схеме по формулам

$$\theta_{\text{осн}} = \pm(1,1 \cdot 10^{-4} \cdot R + 2 \cdot 10^{-5} \cdot D_R),$$

$$\theta_{\text{доп}} = \pm(8 \cdot 10^{-6} \cdot R + 1 \cdot 10^{-6} \cdot D_R),$$

$$\theta(0,95) = \pm 1,1 \sqrt{\Delta i_{\text{осн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2}.$$

$$\theta_{\text{осн}_1} = \pm(1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 1002,440 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^3) \approx \pm 0,130268 \text{ Ом}$$

$$\theta_{\text{осн}_2} = \pm(1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 998,740 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^3) \approx \pm 0,129861 \text{ Ом}$$

$$\theta_{\text{доп}_1} = \pm 10^{-3} \cdot (8 \cdot 1,00244 + 1) = \pm 0,00901952 \text{ Ом}$$

$$\theta_{\text{доп}_2} = \pm 10^{-3} \cdot (8 \cdot 0,99874 + 1) = \pm 0,00898992 \text{ Ом}$$

$$\theta_1(0,95) = \pm 1,1 \sqrt{\Delta i_{\text{осн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2} = \pm 0,143638 \text{ Ом}$$

$$\theta_2(0,95) = \pm 1,1 \sqrt{\Delta i_{\text{осн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2} = \pm 0,143189 \text{ Ом}$$

4.3.2 Оценим инструментальную погрешность мультиметра в режиме омметра при 4-х выводной схеме по формулам

$$\theta_{\text{осн}} = \pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot R + 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot D_R),$$

$$\theta_{\text{доп}} = \pm(3 \cdot 10^{-5} \cdot R + 2 \cdot 10^{-6} \cdot D_R),$$

$$\theta_{\text{осн}_1} = \pm 10^{-2} \cdot (0,5 \cdot 1,003955 + 2,4) \approx \pm 0,0290198 \text{ Ом}$$

$$\theta_{\text{осн}_2} = \pm 10^{-2} \cdot (0,5 \cdot 1,006770 + 2,4) \approx \pm 0,0290338 \text{ Ом}$$

$$\theta_{\text{доп}_1} = \pm 10^{-3} \cdot (0,3 \cdot 1,003955 + 2) = \pm 0,00230119 \text{ Ом}$$

$$\theta_{\text{доп}_2} = \pm 10^{-3} \cdot (0,3 \cdot 1,006770 + 2) = \pm 0,00230203 \text{ Ом}$$

$$\theta_1(0,95) = \pm 1,1 \sqrt{\Delta i_{\text{осн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2} = \pm 0,032022 \text{ Ом}$$

$$\theta_2(0,95) = \pm 1,1 \sqrt{\Delta i_{\text{осн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2} = \pm 0,0320374 \text{ Ом}$$

## 4.4 Расчёт схемы делителя напряжения

4.4.1 Рассчитаем выходное значение схемы делителя напряжения для номинальных значений резисторов при входном напряжении 5 В.

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5 \cdot \frac{1 \text{ кОм}}{2 \text{ кОм}} = 2,5 \text{ В}$$

4.4.2 Вычислим расчётную погрешность делителя напряжения при заданных значениях погрешности резисторов по формуле

$$\Delta U_{\text{вых}} = \pm \left( \frac{R_{2_{\text{н}}}}{(R_{1_{\text{н}}} + R_{2_{\text{н}}})^2} \cdot \Delta R_1 + \frac{R_{1_{\text{н}}}}{(R_{1_{\text{н}}} + R_{2_{\text{н}}})^2} \cdot \Delta R_2 \right) \cdot U_{\text{вх}} = \pm 0,025 \text{ В}$$

## 4.5 Оценка инструментальной погрешности делителя напряжения и сравнение с расчётным значением

4.5.1 На макетной плате была собрана схема делителя напряжения

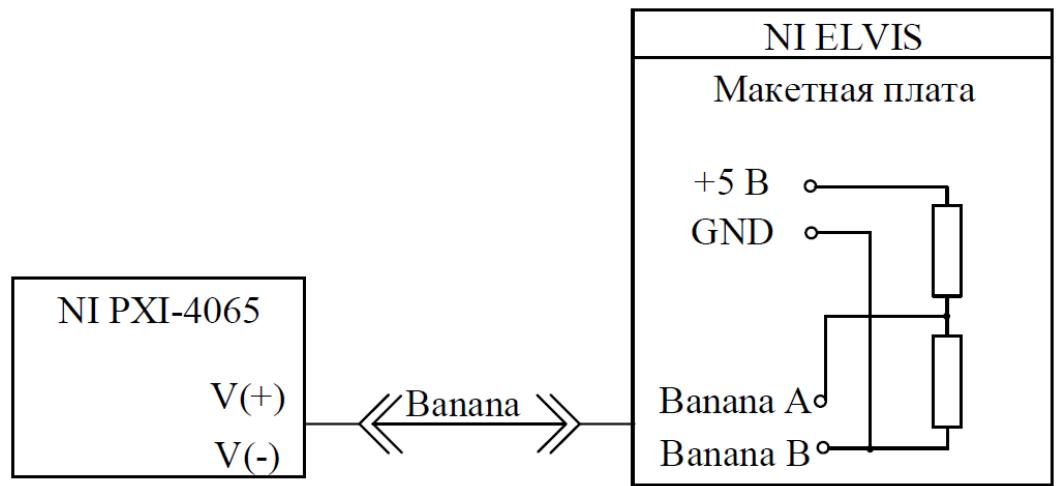


Рисунок 9 - Схема делителя напряжения

После измерения мультиметром был заполнен [протокол Б.4](#).

4.5.2 Оценим инструментальную погрешность для измеренного значения

$$\theta_{\text{очн}} = \pm(9 \cdot 10^{-5} \cdot 2,56175 + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 10) \approx 0,000350558 \text{ В}$$

$$\theta_{T_{\text{доп}}} = \pm(28 - 38,2) \cdot (5 \cdot 10^{-6} \cdot 2,56175 + 10^{-6} \cdot 10) \approx \pm 0,000233 \text{ В}$$

$$\theta(0,95) = 1,1 \cdot \sqrt{\Delta i_{\text{очн}}^2 + \Delta i_{\text{доп}}^2} = 0,000463 \text{ В}$$

#### 4. Вывод

В данной лабораторной работе мы ознакомились с основными принципами измерений и оценки погрешностей. Также были сопоставлены экспериментальные данные с расчётными, которые с учётом погрешностей являются валидными.

## Приложение А. Листинги программ

Листинг 1 – “generate dc value.py”

```
1. import nifgen
2. import sys

3. with nifgen.Session("PXI-5402") as session:
4.     session.output_mode = nifgen.OutputMode.FUNC
5.     session.load_impedance = -1.0;
6.     session.configure_standard_waveform(waveform=nifgen.Waveform.DC,
amplitude=0.0, frequency=0, dc_offset=0.0, start_phase=0.0)
7.     with session.initiate():
8.         value = 0.0;
9.         print('Generation dc voltage...')
10.        while True:
11.            try:
12.                print('Press "+" to increment voltage and "-" to
decrement by 1 volt or just a number from -10. to 10 V and then "Enter" or
press Ctrl+C to exit')
13.                bp = input()
14.                if bp == '+':
15.                    value += 0.5
16.                elif bp == '-':
17.                    value -= 0.5
18.                elif float(bp)>= -10.0 and float(bp)<= 10.0:
19.                    value = float(bp)/2
20.
session.configure_standard_waveform(waveform=nifgen.Waveform.DC,
amplitude=0.0, frequency=0,
21.                                         dc_offset=value,
start_phase=0.0)
22.             except KeyboardInterrupt:
23.                 print("to be able to exit script gracefully")
24.                 sys.exit()
```

Листинг 2 – “generate random dc value.py”

```
1. import nifgen
2. import sys
3. import random

4. with nifgen.Session("PXI-5402") as session:
5.     session.output_mode = nifgen.OutputMode.FUNC
6.     session.load_impedance = -1.0;
7.     with session.initiate():
8.         value = random.uniform(-5, 5)
9.         print('Generating random dc voltage')
10.        print('Press Ctrl+C to exit')
11.        while True:
12.            try:
13.
session.configure_standard_waveform(waveform=nifgen.Waveform.DC,
amplitude=0.0, frequency=0,
14.                                         dc_offset=value,
start_phase=0.0)
15.             except KeyboardInterrupt:
16.                 print("to be able to exit script gracefully")
17.                 sys.exit()
```

## Приложение Б. Протоколы измерений

*Таблица Б.1 - Протокол измерения напряжения постоянного тока*

Предел измерений, В	Разрешение	Входное сопротивление, МОм	Частота питания сети, Гц	Показания вольтметра $U_V$ , В	Температура СИ, °C
10	6,5	10	50	-9,659	37,74

*Таблица Б.2 - Протокол измерения напряжения постоянного тока в диапазоне 1-10 В и оценка инструментальной погрешности*

Предел измерений, В		Разрешение	Входное сопротивление, МОм	Частота питания сети, Гц	Показания вольтметра $U_V$ , В	Температура СИ, °C
10		6,5	10	50	-	38,2
№	Опорное напряжение $U_{оп} \pm \Delta_{оп}$	Измеренное напряжение $U_{изм}$		Инструментальная погрешность $\Delta_{pxi}$	Границы результата измерения $(U_{изм} - \Delta_{pxi}; U_{изм} + \Delta_{pxi})$	
1	-5±0,025	-4,99790		0,000400	(-4,998300; -4,997500)	
2	-4±0,02	-3,99860		0,000287	(-3,998887; -3,998313)	
3	-3±0,015	-2,99780		0,000174	(-2,997974; -2,997626)	
4	-2±0,01	-1,99980		0,000066	(-1,999866; -1,999734)	
5	-1±0,0005	-0,99898		0,000065	(-0,999045; -0,998915)	
6	0±0	0,01560		0,000175	(0,015425; 0,015775)	
7	-1±0,0005	1,00102		0,000286	(1,000734; 1,001306)	
8	-2±0,01	2,00228		0,000399	(2,001881; 2,002679)	
9	-3±0,015	3,00135		0,000513	(3,000837; 3,001863)	
10	-4±0,02	4,00323		0,000627	(4,002603; 4,003857)	

Таблица Б.3 - Протокол измерения сопротивлений резисторов

Предел измерений, Ом	Разрешение	Частота питания сети, Гц
1000	6,5	50
Показания омметра (2-х выводная схема) $R_1$ , кОм		1,002440
Показания омметра (2-х выводная схема) $R_2$ , кОм		0,998740
Показания омметра (4-х выводная схема) $R_1$ , кОм		1,003955
Показания омметра (4-х выводная схема) $R_2$ , кОм		1,006770

Таблица Б.4 - Протокол измерения выходного напряжения делителя

Предел измерений, В	Разрешение	Входное сопротивление, МОм	Частота питания сети, Гц	Показания вольтметра, В	Показания вольтметра, В
10	6,5	10	50	0,256175	0,253506

Гайдук Андрей  
Никитин Даниил  
Лагунова Мария  
Сурков

## **Список использованных источников**

1. ЛР1. Однократные измерения.
2. NI 5402 Specification. - C.3