

# **Лабораторная работа №1**

## **«Однократные измерения и их погрешности»**

**Цель работы:** постановка измерительных экспериментов по оценке электрических параметров цепей при статических однократных измерениях с использованием цифрового мультиметра и последующая оценка погрешностей данных измерений.

**Используемое оборудование:** NI PXI-1033 (6259, 5102, 5402, 4065), NI ELVIS, резисторы.

### **Теоретические сведения**

Цель измерения состоит в получении информации об интересующей величине, называемой *измеряемой величиной*.

**Результат измерения величины** - множество значений величины, приписываемых измеряемой величине вместе с любой другой доступной и существенной информацией.

Результат измерения может быть представлен измеренным значением величины с указанием соответствующего показателя точности. К показателям точности относятся, например, среднее квадратическое отклонение, доверительные границы погрешности, стандартная неопределенность измерений, суммарная стандартная и расширенная неопределенности. Если значение показателя точности измерений можно считать пренебрежимо малым для заданной цели измерения, то результат измерения может выражаться как одно измеренное значение величины. Во многих областях это является обычным способом выражения результата измерения, с указанием класса точности применяемого средства измерений.

**Истинное значение (величины)** – значение величины, которое соответствует определению измеряемой величины.

**Опорное значение** – значение величины, которое используют в качестве основы для сопоставления со значениями величин того же рода.

Опорное значение может быть истинным значением величины, подлежащим измерению, в этом случае оно неизвестно, или принятым значением величины, в этом случае оно известно.

**Точность измерений (точность результата измерения)** – близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины.

**Погрешность (результата измерения)** – разность между измеренным значением величины и опорным значением величины.

Понятие погрешности обратно по смыслу понятию точности.

Для получения результата измерения и оценки его погрешности необходимо воспользоваться техническим средством – средство измерения, которые бы выдавало показания измеряемой величины.

**Средство измерений** – техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные (установленные) метрологические характеристики.

**Показание** – значение величины, формируемое средством измерения или измерительной системой.

Всякое средство измерения имеет свои метрологические и точностные характеристики (МХ и ТХ), то есть характеристики влияющие как на результат измерения, так и его погрешности, которые отображаются в показаниях измерений.

**Метрологическая характеристика** – характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений.

**Точностные характеристики** – совокупность метрологических характеристик средства измерения, влияющих на точность измерения.

Для каждого средства измерения есть свои метрологические характеристики, например, для мультиметров к МХ относятся диапазон измерений, предел измерений, разрешение, чувствительность, диапазон частот.

**Предел измерения** – максимальное значение диапазона измерения или разность между максимальным и минимальным значением диапазона измерения.

**Диапазон измерений** – множество значений величин одного рода, которые могут быть измерены данным средством измерений или измерительной системой с указанными инструментальной неопределенностью или указанными показателями точности при определенных условиях.

**Разрешение** - наименьшее изменение измеряемой величины, которое является причиной заметного изменения соответствующего показания.

К точностным характеристикам относятся погрешность средства измерений, нестабильность, смещение нуля и др.

**Точность (средства измерений)** - качество средства измерений, отражающее близость к нулю его погрешности.

**Инструментальная погрешность** – составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений.

**Класс точности** – обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая их уровень точности и выражаемая точностными характеристиками средств измерений.

Существует несколько классификаций как самих измерений, так и их погрешностей.

По количеству повторных измерений измерения делятся на однократные и многократные. А по изменению оцениваемого параметра измеряемой величины во времени – на статические и динамические. В данной лабораторной работе речь пойдет о статических однократных измерениях.

Если говорить о классификации погрешностей, то одна из основных – это классификация по свойствам (характеру проявления) погрешностей – выделяют систематические и случайные погрешности.

**Систематическая погрешность** – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

**Случайная погрешность** – составляющая погрешность измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных в определенных условиях.

При этом очевидно, что так как в работе речь идет только о статических однократных измерениях, то анализ случайных погрешностей не может быть выполнен, а значит будет осуществляться анализ только систематических погрешностей.

Возвращаясь к классам точности средств измерений, существует три формы представления инструментальной погрешности – абсолютная, относительная, приведенная:

- **абсолютная погрешность** – разность между показаниями измерительного прибора и действительным значением измеряемой им величины –  $\Delta = x_{\text{п}} - x_{\text{д}}$ ;
- **относительная погрешность** – отношение абсолютной погрешности измерительного прибора к действительному значению измеряемой им величины –  
$$\delta = \frac{\Delta}{x_{\text{д}}} \cdot 100\%$$
;
- **приведенная погрешность** – отношение погрешности измерительного прибора к нормирующему значению, в качестве которого чаще всего выступает предел измерения –  $\gamma = \frac{\Delta}{x_{\text{п}}} \cdot 100\%$

В данной работе проводятся только статические измерения и поэтому будут рассматриваться только основные и дополнительные инструментальные погрешности.

- **основная погрешность средства измерений** – погрешность средства измерений, используемого в нормальных условиях;

- **дополнительная погрешность** – изменение основной погрешности средства измерения при отклонении влияющей величины от нормального значения либо выходе его за пределы нормальной области значений.

И в случае основной и в случае дополнительных погрешностей – это погрешности показаний средства измерений для измеряемой величины, но при этом, для оценки наличия только основных или и основных и дополнительных погрешностей, необходимо оценивать другие физические величины – влияющие на измерительный эксперимент. Примерами влияющих величин являются температура, магнитное поле, высота над уровнем моря, частота питающей сети средства измерения, влажность воздуха и т.д. – все то, что может повлиять на работу средства измерения.

В теории измерений основные и дополнительные погрешности рассматриваются как случайные величины с равномерным распределением и заданными границами (как в абсолютной форме, так и в относительной или приведенной). Причем их абсолютные границы – это доверительные границы со 100% вероятностью попаданию в них показаний средства измерения. Суммарная инструментальная погрешность  $\Theta(\alpha)$  – это доверительная граница, получаемая с определенной доверительной вероятностью, чаще всего – 95%<sup>1</sup>:

$$\Theta(\alpha) = k_{\alpha;n} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \Delta_{i,\text{доп}}^2 + \Delta_{\text{осн}}^2}, \quad (1)$$

где  $\Delta_{\text{осн}}$  – предельная основная погрешность средства измерения,  $\Delta_{\text{доп}}$  – дополнительные погрешности,  $k_{\alpha;n}$  – поправочный коэффициент, зависящий от количества слагаемых под квадратным корнем –  $n$  и доверительной вероятности  $\alpha$ . Коэффициент  $k_{0,95;2} = 1,1$ .

Для оценки дополнительных составляющих погрешностей необходимо оценивать значения соответствующих влияющих величин, которые могут быть за границами нормальных условий, но должны лежать в границах рабочих условий. Нормальные условия всегда меньше или равны рабочим условиям, в которых нормированы метрологические характеристики средства измерения. То есть если температура, при которой проводятся измерения (например, напряжения), лежит в пределах нормальных условий (обычно это диапазон температур от 18°C до 28°C), то дополнительную температурную погрешность можно не учитывать и тогда результатом измерения будет измеренное значение со средства измерения и предельная основная погрешность этого средства измерения, если же измерения проводятся в рабочих условиях, но выходят за рамки нормальных, то

---

<sup>1</sup> вероятность в 100% уже не применима, т.к. композиция нескольких равномерных распределений – это уже не равномерное распределение.

необходимо считать суммарную погрешность как совокупность основной и дополнительный – по формуле (1).

Предельные основная и дополнительная погрешности средства измерения указываются в его техническом описании, выражены в одной из форм представления инструментальной погрешности и зависят как от показаний средства измерения  $x_n$ , так и от нормирующего значения  $x_h$ :

- $\Delta = \pm b[x]$  – предельная абсолютная погрешность, как постоянная смещения;
- $\Delta = \pm(a \cdot x_n + b)[x]$  – предельная абсолютная погрешность, с постоянной смещения  $b$  (может принимать нулевое значение) и линейно-зависимая (с коэффициентом  $a$ ) от показаний СИ;
- $\Delta = \pm(a \cdot x_n + b \cdot x_h)[x]$  – предельная абсолютная погрешность, с коэффициентами  $(a, b)$  при показании СИ и нормирующем значении (предел измерения);
- $\delta = c + d(x_h/x_n - 1)[\%]$  – предельная относительная погрешность, выраженная через коэффициенты  $(c, d)$ .

Так как предельная погрешность зависит от предела измерения, то поэтому, проводя измерения, необходимо выбирать предел измерения максимально близким к предполагаемому значению измеряемой величины, т.к. в таком случае основная погрешность средства измерения будет наименьшей.

### *Разрешение аналого-цифрового преобразователя*

Проводя измерительный эксперимент с использованием цифровых средств измерения, одной из основных метрологических характеристик таких СИ является разрешение. Разрешение выражается в битах или знаках. Если разрешение представлено в единицах размерности измеряемой величины, оно также называется квантом измерения. Разрешение в битах равно битности аналого-цифрового преобразователя (АЦП) мультиметра. Пусть рабочий диапазон прибора – 10 В, а битность АЦП равна 12. Тогда мультиметр способен внутри этого диапазона различить  $2^{12}$ , то есть 4096 градаций сигнала (уровней квантования). Таким образом, минимальное изменение сигнала, которое зарегистрирует мультиметр, будет равно  $10 \text{ В}/4096 = 2,4 \text{ мВ}$ . Это – квант измерения или, другими словами, разрешение по напряжению<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> в некоторых технических описаниях на приборы, изготовленные в СССР, встречается синоним – дискретность измерения

Чтобы выразить разрешение в знаках  $N$ , нужно пользоваться следующей формулой:

$$N = \log_{10}(2^M)$$

где  $M$  - разрядность АЦП.

Таким образом, для мультиметра с 12-битным АЦП разрешение в цифрах составит  $N = \log_{10}(2^{12}) = 3,61$ .

Традиционно, количество знаков точности прибора  $3\frac{1}{2}$  означает, что дисплей мультиметра отображает 3 полноценных знака (от 0 до 9) и один урезанный (0 или 1), то есть прибор может показать от -1999 до 1999.

### ***Ошибки аналого-цифрового преобразования***

Перевод аналогового сигнала в цифровую форму неизбежно влечет за собой внесение неточности, тем большей, чем меньше битность АЦП.

Абсолютное значение такой ошибки лежит в пределах половины кванта измерения. Так как обычно сигнал гораздо больше этого значения, среднеквадратичную ошибку квантования ( $RMS_{QN}$ ) можно вычислить по формуле:

$$RMS_{QN} = \frac{Q}{\sqrt{12}}.$$

Так как идеального не зашумленного сигнала не существует, разрешение мультиметра зависит от уровня шума. Для определения разрешения мультиметра в конкретных условиях вводят понятие эффективного кванта измерения:

$$Q = RMS_{QN} \cdot \sqrt{12}.$$

Пусть для примера известно среднеквадратичное значение шума – 70 мкВ. Если диапазон работы мультиметра равен 10 В, то эффективное разрешение в знаках составит  $\log_{10}(10/0,00007) = 5,15$ .

Соотношение различных представлений разрешения представлено в сводной таблице 1. Обратите внимание, что количество знаков точности прибора – приближенная величина.

*Таблица 1. Соотношение разрешений и битности АЦП*

Количество знаков точности	$3\frac{1}{2}$		$4\frac{1}{2}$		$5\frac{1}{2}$		$6\frac{1}{2}$		$7\frac{1}{2}$
Разрешение, знаков	3,01	3,61	4,21	4,81	5,42	6,02	6,62	7,22	
Количество градаций сигнала	1024	4096	16384	65536	262144	1048576	4194304	16777216	
Битность АЦП	10	12	14	16	18	20	22	24	

## ***Причины возникновения инструментальных погрешностей***

Реальный сигнал, несущий измерительную информацию об измеряемой величине, всегда зашумлен. Кроме рассмотренных выше причин возникновения погрешностей и ошибок квантования для цифровых средств измерения, можно перечислить следующие причины возникновения инструментальных погрешностей:

- погрешности сопротивлений;
- погрешности согласования высокого сопротивления внешнего источника и входного сопротивления;
- паразитные термо-ЭДС, возникающие в металлах при наличии перепадов температур;
- падение напряжения на внутренней нагрузке;
- диэлектрическое поглощение, обусловленное неспособностью конденсаторов разряжаться полностью;
- самонагрев сопротивлений, проявляющийся тем больше, чем больше измеряемые токи.

### ***Методическая погрешность измерения напряжения вольтметром***

К систематическим погрешностям относятся как указанные выше инструментальные погрешности, так и методические.

***Методические погрешности*** – это составляющая систематической погрешности измерений из-за несовершенства принятого метода измерений.

Методическая погрешность результата измерения зависит от используемого метода измерения и не зависит от инструментальной погрешности. При этом она может быть на несколько порядков больше инструментальной, но чаще всего может быть оценена и скомпенсирована путем введения поправки.

Одной из причин возникновения методической погрешности является влияние средства измерения на объект исследования. Рассмотрим в качестве примера методическую погрешность, возникающую при использовании метода непосредственной оценки для измерения постоянного напряжения на некотором участке цепи с помощью мультиметра в режиме вольтметра.

Исследуемый участок цепи можно представить как последовательно включенные генератор с неизвестными напряжением  $U_{\text{ген}}$  и сопротивлением цепи  $R_{\text{ген}}$  (см. рисунок 2).

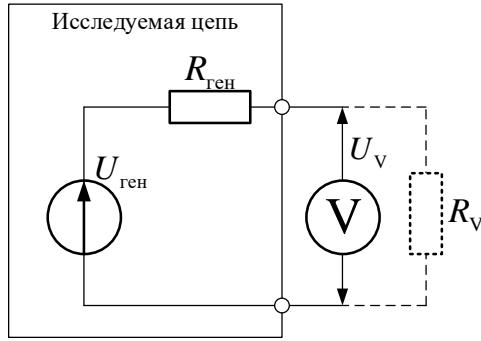


Рисунок 2 – Возникновение методической погрешности при использовании метода непосредственной оценки

При этом измеряемое мультиметром в режиме вольтметра напряжение можно записать в следующем виде:

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

где  $R_V$  — это внутреннее сопротивление вольтметра, которое в идеальном и недостижимом случае принимает значение бесконечности, а в современных средствах измерений от 1 МОм и более. Именно из-за внутреннего сопротивления вольтметра, отличного по значению от бесконечности, возникает методическая погрешность, так как наша цепь превращается в делитель напряжения, а сама методическая погрешность может быть выражена как:

$$\Theta_m = U_V - U_{\text{ген}} = U_{\text{ген}} \left( \frac{R_V}{R_V + R_{\text{ген}}} - 1 \right).$$

В данном случае, так как значения  $U_{\text{ген}}$  и  $R_{\text{ген}}$  неизвестны, то и значение поправки на методическую погрешность внести нельзя. При этом, чем больше соотношение  $\frac{R_{\text{ген}}}{R_V}$ , тем больше погрешность взаимодействия. При неправильно организованном эксперименте и ошибке в выборе средства измерения возможны значения этой погрешности на уровне десятков процентов относительной погрешности. Как и остальные систематические погрешности, методические погрешности в абсолютной форме обозначаются как  $\Theta$ .

### *Аналитическая оценка погрешности делителя напряжения*

Оценка погрешностей измерений не всегда носит экспериментальный характер и в некоторых случаях (например, в отсутствии информации о точностных характеристиках средств измерения) может быть получена аналитически. Рассмотрим пример оценки

метрологических характеристик простейшего измерительного преобразователя – делителя напряжения. Схема измерения выходного напряжения делителя представлена на рисунке 3.

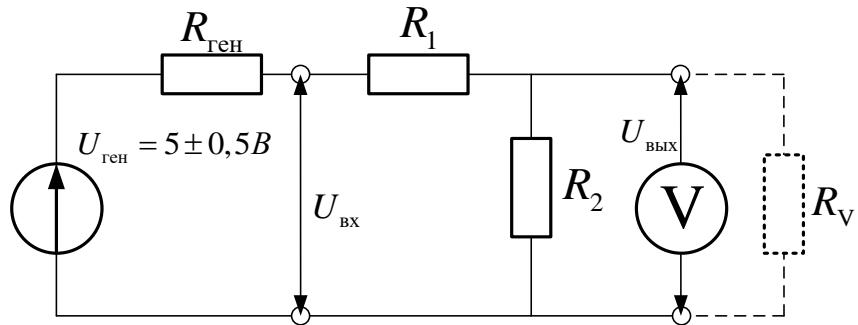


Рисунок 3 – Измерение выходного напряжения делителя

Выходное напряжение делителя записывается как:

$$U_{\text{вых}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{\text{вх}}, \quad (2)$$

где  $U_{\text{вх}}$  – входное напряжение делителя (совпадает с выходным напряжением генератора, с учетом погрешности), а  $R_1$  и  $R_2$  – значения сопротивлений, которые в свою очередь являются номинальными значениями с погрешностью, пронормированной заводом изготовителем:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_{1\text{H}} \pm \Delta R_1 \\ R_2 &= R_{2\text{H}} \pm \Delta R_2. \end{aligned}$$

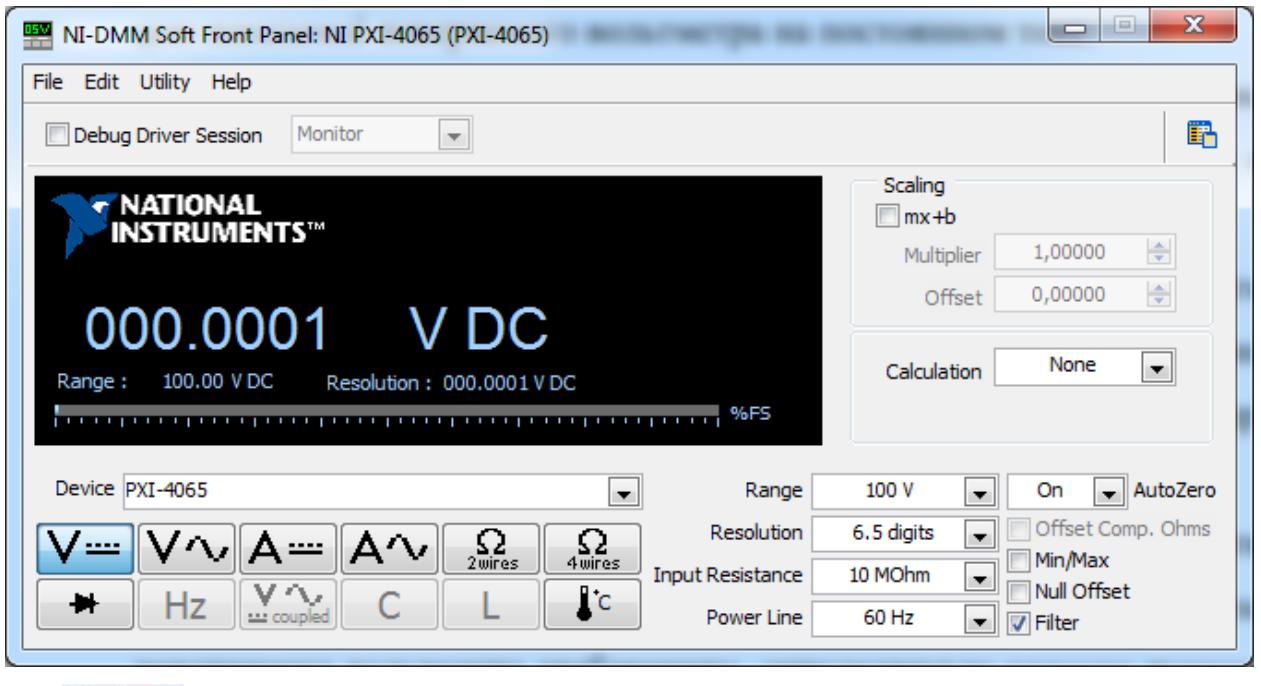
При известных  $U_{\text{вх}}$  и номинальных значениях сопротивлений и их погрешностей можно оценить выходное значение напряжения по формуле (2) и его аналитическую погрешность, рассматривая измерение как косвенное при нелинейной зависимости, по формуле:

$$\Delta U_{\text{вых}} = \pm \left( \frac{R_{2\text{H}}}{(R_{1\text{H}} + R_{2\text{H}})^2} \cdot \Delta R_1 + \frac{R_{1\text{H}}}{(R_{1\text{H}} + R_{2\text{H}})^2} \cdot \Delta R_2 \right) \cdot U_{\text{вх}}.$$

Однако, аналитическая оценка погрешности не учитывает погрешность  $\Delta U_{\text{вх}}$ , а также влияющих величин и поэтому при сравнении аналитической погрешности и экспериментально полученной (на основании класса точности используемого мультиметра), результаты могут сильно отличаться.

## Мультиметр NI PXI-4065

Для работы с мультиметром NI PXI-4065 необходимо в меню «Пуск» в разделе «Поиск» написать «**DMM**» и запустить графическую панель «**NI-DMM Soft Front Panel**» (рисунок 2). В открывшемся окне убедитесь, что в качестве устройства («**Device**») у вас указан «**PXI-4065**». В противном случае позвовите преподавателя.



- постоянное напряжение;
- переменное напряжение;
- постоянный ток;
- переменный ток;
- сопротивление по двухпроводной схеме;
- сопротивление по четырехпроводной схеме;
- тестирование диодов;
- измерение температуры.

Рисунок 4 – Внешний вид программной панели мультиметра NI PXI-4065

Справа от иконок выбора режима находятся элементы управления настройками мультиметра: измеряемый диапазон («**Range**»), разрешение («**Resolution**»), частота питания («**Power Line**»), авто-определение нуля («**AutoZero**»), фильтрация («**Filter**»)

Для измерений постоянного и переменного напряжения, сопротивления по 2-х проводной схеме, емкости, частоты и тестирования диодов (помните, что для каждого модульного мультиметра набор измеряемых величин разный) используйте контакты «**HI**» и «**LO**» на передней панели прибора.

Измерение силы постоянного или переменного тока требует дополнительного высокоточного шунтирующего сопротивления. У некоторых мультиметров есть встроенный шунт, поэтому при измерениях вместо контакта «**HI**» используется отдельный разъем.

Старайтесь переключать мультиметр в режим измерения тока до подключения его к контуру, а также выводить его из контура до выхода из режима измерения. Также следите, чтобы характеристики измеряемого тока и напряжения не превышали максимально допустимые для конкретной модели мультиметра.

При измерении сопротивлений, не превышающих 100 кОм, 4х-проводная схема оказывается более надежной, чем 2х-проводная. Для того, чтобы ее использовать, подключите сопротивление к мультиметру с помощью двух пар контактов.

Рассмотрим расчет инструментальной погрешности мультиметра (DMM) NI PXI-4065 на следующем примере: проводятся однократное измерение на диапазоне 10 В при температуре 30°C; мультиметр дает результат измерения равный 7,00000 В.

Основная абсолютная погрешность, согласно Приложению А:

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{осн}} &= \pm(9 \cdot 10^{-5} \cdot U + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot D_U) = \pm(9 \cdot 10^{-5} \cdot 7 \text{ В} + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 10 \text{ В}) = \\ &= \pm(0,00063 \text{ В} + 0,00012 \text{ В}) = \pm 750 \text{ мкВ.}\end{aligned}$$

Поскольку температура измерения отличается на 2°C от нормальных условий, то необходимо рассчитать дополнительную температурную погрешность:

$$\Delta_{\text{доп}} = \pm 2 \cdot (5 \cdot 10^{-6} \cdot 7 \text{ В} + 1 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \text{ В}) = \pm 90 \text{ мкВ.}$$

Тогда суммарная инструментальная погрешность по формуле (1) равна:

$$\Theta(0,95) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\Delta_{\text{осн}}^2 + \Delta_{\text{доп}}^2} = \pm 0,831 \text{ мкВ.}$$

## Лабораторное задание

1. Измерить напряжение с «черного ящика» и оценить точность проведенного измерения (инструментальную погрешность).

2. Провести 10 измерений изменяя опорное напряжение генератора с шагом 1 В. Рассчитать инструментальную погрешность для измеренных напряжений (основную и дополнительную погрешности), сделать поправку на методическую погрешность,

построить график зависимости опорного напряжения от измеренного, и убедится, лежит ли эталонное напряжение в границах рассчитанной точности.

3. Получить резисторы по варианту, измерить их параметры и оценить точность измерения как по 2-х выводной схеме, так и по 4-х выводной.

4. Рассчитать схему делителя напряжения (выходное напряжение, аналитическая оценка погрешности делителя).

5. Собрать схему делителя напряжения 5 В из резисторов по варианту и измерить выходное напряжение, оценить инструментальную погрешность измерения и сравнить ее с аналитически полученной в 4-ом пункте.

6. Сделать выводы по каждому пункту.

### Методика выполнения

1. Измерение постоянного напряжения и заполнение протокола измерений В.1.

1.1. С помощью кабелей BNC-BNC, Banana-Banana, перемычек и макетной платы NI ELVIS соберите схему:

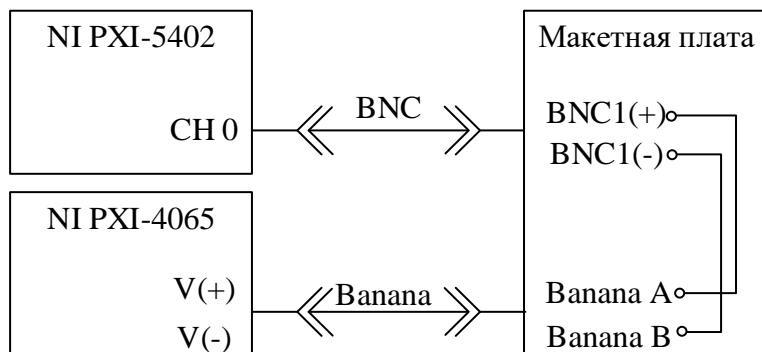


Рисунок 5 – Схема измерения постоянного напряжения

1.2. Запустить программу графической панели мультиметра «**NI-DMM Soft Front Panel**» (рис. 4).

1.3. Изменить предел измерения на «10 В» и частоту сети на «50 Гц».

1.4. Запустите пакетный файл *lab1\_blackbox.bat* и убедитесь, что в открывшемся командном окне присутствует строка «**Generating random DC Voltage...**»

1.5. Снять показания с мультиметра  $U_{\text{п}}$  и нажать «Ctrl+C» для остановки генератора сигналов. Рассчитать методическую погрешность, воспользовавшись формулой выше, выразив  $U_{\text{ген}}$  через  $U_{\text{п}}$

1.6. Внести поправку на методическую погрешность и получите исправленный результат измерения  $U_{\text{исп}}$ :

$$U_{\text{исп}} = U_{\text{н}} - \Theta_{\text{м}}.$$

1.7. Оценить основную инструментальную погрешность по формуле из Приложения А для измерения постоянного напряжения:

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

где  $U$  – измеренное значение,  $D_U$  – выбранный предел измерения, коэффициенты  $a$  и  $b$  определяются из приложения А в зависимости от выставленных настроек мультиметра.

1.8. Оцените дополнительную погрешность, для этого в меню Utility откройте Calibration Information запишите информацию о температуре устройства (Current on-board temperature), после чего воспользуйтесь формулой, если  $T_{\text{норм}} < T_{\text{ПХИ}}$ :

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

где  $T_{\text{норм}}$  – верхняя граница температуры в нормальных условиях,  $T_{\text{ПХИ}}$  – температура, при которой проводятся измерения.

1.9. Рассчитайте суммарную инструментальную погрешность  $\Theta(0,95)$  по формуле (1) и запишите результат измерения в следующей форме с учетом значимых цифр:

$$U_{\text{изм}} = U_{\text{исп}} \pm \Theta(0,95).$$

2. Оценка инструментальной погрешности на диапазоне измерений и заполнение протокола измерений В.2.

2.1. Запустите пакетный файл *lab1\_dc\_voltage.bat* и убедитесь, что в открывшемся командном окне присутствует строка «*Generating DC Voltage...*».

2.2. Задавая разные значения напряжений, проведите 10 измерений и заполните таблицу В.2, где  $U_{\text{оп}}$  – номинальное опорное напряжение, задаваемое в python-скрипте,  $\Theta_{\text{оп}}$  – погрешность генератора, равная 0,5% от опорного значения,  $U_{\text{н}}$  – показания вольтметра,  $\Theta(0,95)$  - суммарная инструментальная погрешность вольтметра.

2.3. Постройте график зависимости измеренных значений с границами погрешности измерения  $[U_{\text{н}} - \Theta(0,95); U_{\text{н}} + \Theta(0,95)]$  и границ погрешности генератора  $[U_{\text{оп}} - \Theta_{\text{оп}}; U_{\text{оп}} + \Theta_{\text{оп}}]$ .

2.4. Снимите питание с макетной платы и разберите схему.

3. Измерение сопротивлений резисторов.

3.1. Получите от преподавателя резисторы по варианту. Переведите мультиметр в режим омметра и измерьте сопротивления резисторов по 2-выводной и 4-выводной схеме. Заполните протокол измерений В.3.

3.2. Оцените инструментальную погрешность мультиметра в режиме омметра и вычислите границы результата измерения.

3.3. Из приложения Б найдите номинальные значения напряжений и рассчитайте границы максимального и минимального значения.

3.4. Убедитесь, что номинальные границы и границы результата измерения пересекаются.

4. Расчет схемы делителя напряжения.

4.1. Рассчитайте выходное значение схемы делителя напряжения для номинальных значений резисторов, если входное напряжение равно 5 В.

4.2. Вычислите расчетную погрешность делителя напряжения при заданных в приложении Б значениях погрешности резисторов по формулам, представленным выше.

5. Оценка инструментальной погрешности делителя напряжения и сравнение с расчетным значением.

5.1. Соберите схему делителя напряжением (рис. 6)

5.2. Переведите мультиметр в режим измерения постоянного напряжения, установите наилучший диапазон измерения и заполните протокол В.4.

5.3. Для измеренного значения оцените инструментальную погрешность.

5.4. Оцените, пересекаются ли границы результата измерения мультиметром и границы аналитически рассчитанной погрешности делителя напряжения.

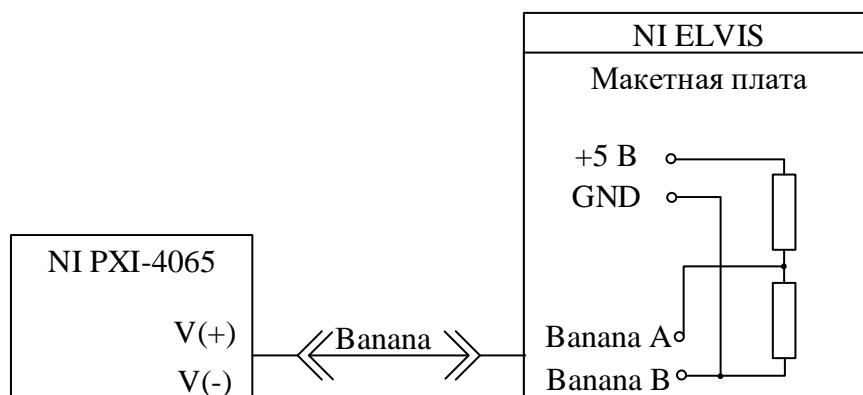


Рисунок 6 – Схема делителя напряжения

### Требования к отчету

Отчет должен соответствовать требованиям к оформлению отчетов и содержать:

1. схему измерения постоянного напряжения мультиметром;
2. результат одиночного измерения неизвестного напряжения, оценки методической и инструментальной погрешности;

3. таблицу результатов измерений опорных напряжений, оценка инструментальной погрешности;
4. график зависимости результатов измерений и абсолютной погрешности мультиметра от опорных показаний генератора на постоянном токе;
5. измеренные значения сопротивлений резисторов по вариантам, оценка погрешности измеренных значений мультиметра;
6. сравнение границ погрешности измеренных значений сопротивления и границ номинальных значений этих сопротивлений;
7. схему делителя напряжения 5 В по варианту;
8. аналитический расчет выходного напряжения делителя и его погрешности;
9. сравнение аналитической погрешности делителя и инструментальной погрешности измерения выходного напряжения мультиметром;
10. выводы.

### **Контрольные вопросы.**

1. Какие инструментальные погрешности существуют и в какой форме можно их представить?
2. Что такое разрешение цифрового средства измерения?
3. Что такое методическая погрешность? Приведите пример методической погрешности.
4. Каков принцип работы беспаечной макетной платы?
5. Что такое предел измерения СИ и как он влияет на точность измерений?
6. Опишите принцип работы цифрового мультиметра на примере NI PXI-4065.
7. В каких режимах может работать мультиметр NI PXI-4065?

**ПРИЛОЖЕНИЕ А. Метрологические характеристики утвержденного в Госреестре  
Росстандарта средства измерения - NI PXI-4065**

**Рабочие условия эксплуатации:**

- температура окружающей среды от + 0 до + 55 °C;
- относительная влажность воздуха при температуре до + 40 °C до 95 %.

ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ					
Пределы измерений $D_U$	100 мВ	1 В	10 В	100 В	300 В
Разрешение	100 нВ	1 мкВ	10 мкВ	100 мкВ	1 мВ
Входное сопротивление	>10 ГОм; 10 МОм	>10 ГОм; 10 МОм	>10 ГОм; 10 МОм	10 МОм	10 МОм
Пределы допускаемой основной погрешности измерения напряжения $U$ при температуре $23 \pm 5^\circ\text{C}$					
	$\pm(9 \cdot 10^{-5} \cdot U + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot D_U)^{(1)}$	$\pm(9 \cdot 10^{-5} \cdot U + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot D_U)$	$\pm(1,1 \cdot 10^{-4} \cdot U + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot D_U)$	$\pm(1,1 \cdot 10^{-4} \cdot U + 4 \cdot 10^{-5} \cdot D_U)$	
Пределы допускаемой дополнительной погрешности на $1^\circ\text{C}$ в рабочем интервале температур					
	$\pm(5 \cdot 10^{-6} \cdot U + 2 \cdot 10^{-6} \cdot D_U)$	$\pm(5 \cdot 10^{-6} \cdot U + 1 \cdot 10^{-6} \cdot D_U)$	$\pm(9 \cdot 10^{-6} \cdot U + 1 \cdot 10^{-6} \cdot D_U)$		
ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА					
Пределы измерений $D_I$	10 мА	100 мА	1 А	3 А	
Разрешение	10 нА	100 нА	1 мкА	3 мкА	
Напряжение на внутреннем сопротивлении, не более	60 мВ	0,6 В	0,35 В	1 В	
Пределы допускаемой основной погрешности измерения силы тока $I$ при температуре $23 \pm 5^\circ\text{C}$					
	$\pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot I + 2 \cdot 10^{-4} \cdot D_I)$	$\pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot I + 5 \cdot 10^{-5} \cdot D_I)$	$\pm(1 \cdot 10^{-3} \cdot I + 1 \cdot 10^{-4} \cdot D_I)$	$\pm(1,2 \cdot 10^{-3} \cdot I + 2 \cdot 10^{-4} \cdot D_I)^{(2)}$	
Пределы допускаемой дополнительной погрешности на $1^\circ\text{C}$ в рабочем интервале температур					
	$\pm(3 \cdot 10^{-5} \cdot I + 2 \cdot 10^{-5} \cdot D_I)$	$\pm(3 \cdot 10^{-5} \cdot I + 5 \cdot 10^{-6} \cdot D_I)$	$\pm(6,5 \cdot 10^{-5} \cdot I + 1 \cdot 10^{-5} \cdot D_I)$	$\pm(6,5 \cdot 10^{-5} \cdot I + 2 \cdot 10^{-5} \cdot D_I)$	
ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ по 2-х проводной и 4-х проводной схемам					
Пределы измерений $D_R$	100 Ом	1 кОм	10 кОм	100 кОм	
Разрешение	100 мкОм	1 мОм	10 мОм	100 мОм	
Сила испытательного тока	1 мА	1 мА	100 мкА	10 мкА	
Пределы допускаемой основной погрешности измерения сопротивления $R$ при температуре $23 \pm 5^\circ\text{C}$					
	$\pm(1,1 \cdot 10^{-4} \cdot R + 4 \cdot 10^{-5} \cdot D_R)$	$\pm(1,1 \cdot 10^{-4} \cdot R + 2 \cdot 10^{-5} \cdot D_R)$			
Пределы допускаемой дополнительной погрешности на $1^\circ\text{C}$ в рабочем интервале температур					
	$\pm(8 \cdot 10^{-6} \cdot R + 3 \cdot 10^{-6} \cdot D_R)$	$\pm(8 \cdot 10^{-6} \cdot R + 1 \cdot 10^{-6} \cdot D_R)$			
Пределы измерений $D_R$	1 МОм	10 МОм <sup>(3)</sup>	100 МОм <sup>(3)</sup>		
Разрешение	1 Ом	10 Ом	100 Ом		
Сила испытательного тока	5 мкА	500 нА	500 нА		
Пределы допускаемой основной погрешности измерения сопротивления $R$ при температуре $23 \pm 5^\circ\text{C}$					
	$\pm(1,25 \cdot 10^{-4} \cdot R + 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot D_R)$	$\pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot R + 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot D_R)$	$\pm(8 \cdot 10^{-3} \cdot R + 6 \cdot 10^{-5} \cdot D_R)$		
Пределы допускаемой дополнительной погрешности на $1^\circ\text{C}$ в рабочем интервале температур					
	$\pm(1 \cdot 10^{-5} \cdot R + 1 \cdot 10^{-6} \cdot D_R)$	$\pm(3 \cdot 10^{-5} \cdot R +$	$\pm(4 \cdot 10^{-4} \cdot R +$		

		$+2 \cdot 10^{-6} \cdot D_U$	$+4 \cdot 10^{-6} \cdot D_U$	
<b>ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ</b>				
Пределы измерений $D_U$	200 мВ	2 В	20 В	300 В
Входной импеданс: $\geq 1$ МОм, $\leq 150$ пФ				
Пределы допускаемой основной погрешности измерения напряжения $U$ при температуре $23 \pm 5^\circ\text{C}$ <sup>(4)</sup>				
От 10 до 40 Гц		$\pm(2 \cdot 10^{-2} \cdot U + 5 \cdot 10^{-4} \cdot D_U)$		
От 40 Гц до 20 кГц		$\pm(2 \cdot 10^{-3} \cdot U + 5 \cdot 10^{-4} \cdot D_U)$		
От 20 до 50 кГц		$\pm(3 \cdot 10^{-4} \cdot U + 5 \cdot 10^{-4} \cdot D_U)$		
От 50 до 100 кГц		$\pm(1,5 \cdot 10^{-2} \cdot U + 8 \cdot 10^{-4} \cdot D_U)$		
Пределы допускаемой дополнительной погрешности на $1^\circ\text{C}$ в рабочем интервале температур				
От 10 до 40 Гц		$\pm(1 \cdot 10^{-4} \cdot U + 3 \cdot 10^{-5} \cdot D_U)$		
От 40 Гц до 20 кГц		$\pm(1 \cdot 10^{-4} \cdot U + 3 \cdot 10^{-5} \cdot D_U)$		
От 20 до 50 кГц		$\pm(1 \cdot 10^{-4} \cdot U + 3 \cdot 10^{-5} \cdot D_U)$		
От 50 до 100 кГц		$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot U + 5 \cdot 10^{-5} \cdot D_U)$		
<b>ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА</b>				
Пределы измерений $D_I$	10 мА	100 мА	500 мА	3 А
Входной импеданс: $\geq 1$ МОм, $\leq 150$ пФ				
Пределы допускаемой основной погрешности измерения силы тока $I$ при температуре $23 \pm 5^\circ\text{C}$ <sup>(3)</sup>				
От 10 до 40 Гц		$\pm(2,1 \cdot 10^{-2} \cdot I + 5 \cdot 10^{-4} \cdot D_I)$		
От 40 Гц до 5 кГц		$\pm(3 \cdot 10^{-3} \cdot I + 6 \cdot 10^{-4} \cdot D_I)$		
Пределы допускаемой дополнительной погрешности на $1^\circ\text{C}$ в рабочем интервале температур				
От 10 до 40 Гц		$\pm(1,5 \cdot 10^{-4} \cdot I + 3 \cdot 10^{-4} \cdot D_I)$		
От 40 Гц до 20 кГц		$\pm(1,5 \cdot 10^{-4} \cdot I + 3 \cdot 10^{-4} \cdot D_I)$		

Примечания к характеристикам NI PXI-4065

<sup>(1)</sup> - с функцией компенсации смещения нуля

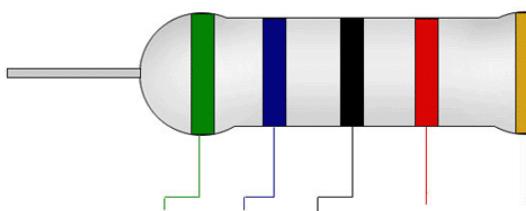
<sup>(2)</sup> - для значений, превышающих 1,2 А, следует прибавить  $6,5 \cdot 10^{-4} \cdot I$

<sup>(3)</sup> - только для 2-х проводной схемы

<sup>(4)</sup> - при значениях напряжения не менее 2% от предела диапазона

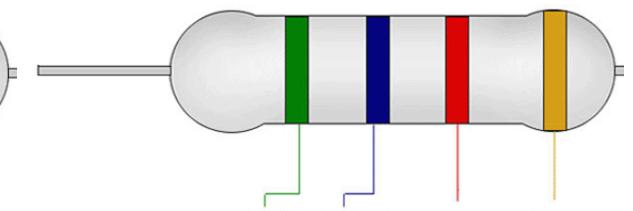
## Приложение Б. Номинальные значения резисторов и их погрешности

Резистор с 5 цветными полосками



	X	0	0	1	X
черный					
коричневый	1	1	1	10	$\pm 1\%$
красный	2	2	2	100	$\pm 2\%$
оранжевый	3	3	3	1000	$\pm 3\%$
желтый	4	4	4	10000	$\pm 4\%$
зеленый	5	5	5	100000	$\pm 0.5\%$
синий	6	6	6	1M	$\pm 0.25\%$
фиолетовый	7	7	7	10M	$\pm 0.10\%$
серый	8	8	8	100M	$\pm 0.05\%$
белый	9	9	9	1G	X
золотой	X	X	X	$\div 10$	$\pm 5\%$
серебряный	X	X	X	$\div 100$	$\pm 10\%$

Резистор с 4 цветными полосками



	X	0	1	X
черный				
коричневый	1	1	10	$\pm 1\%$
красный	2	2	100	$\pm 2\%$
оранжевый	3	3	1000	$\pm 3\%$
желтый	4	4	10000	$\pm 4\%$
зеленый	5	5	100000	$\pm 0.5\%$
синий	6	6	1M	$\pm 0.25\%$
фиолетовый	7	7	10M	$\pm 0.10\%$
серый	8	8	100M	$\pm 0.05\%$
белый	9	9	1G	X
золотой	X	X	$\div 10$	$\pm 5\%$
серебряный	X	X	$\div 100$	$\pm 10\%$

## Приложение В. Протоколы измерений

*Таблица В.1.* Протокол измерения напряжения постоянного тока

Предел измерений, В	Разрешение	Входное сопротивление, МОм	Частота питания сети, Гц	Показания вольтметра, В	Температура СИ, °C

*Таблица В.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, В	Температура СИ, °C
№	Опорное напряжение $U_{\text{оп}} \pm \Theta_{\text{оп}}$	Измеренное напряжение $U_n$	Инструментальная погрешность $\Theta(0,95)$	Границы результата измерения $[U_n - \Theta(0,95); U_n + \Theta(0,95)]$	
1					
2					
...					

*Таблица В.3.* Протокол измерения сопротивлений резисторов

Предел измерений, Ом	Разрешение	Частота питания сети, Гц
Показания омметра (2-х выводная схема) $R_1$		
Показания омметра (4-х выводная схема) $R_1$		
Показания омметра (2-х выводная схема) $R_2$		
Показания омметра (4-х выводная схема) $R_2$		

*Таблица В.4.* Протокол измерения выходного напряжения делителя

Предел измерений, В	Разрешение	Входное сопротивление, МОм	Частота питания сети, Гц	Показания вольтметра, В