

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**  
**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**им. И. РАЗЗАКОВА**

**Филиал им. академика Х.А. Рахматулина в г. Токмок**

**Кафедра «Электроэнергетика»**

**Теоретические основы электротехники ч.1**

**Раздел “Постоянный ток”**

**Методические указания к выполнению лабораторных работ с использованием технологии виртуальных приборов в графической среде программирования NI LabVIEW для студентов направления 640200 “Электроэнергетика и электротехника”**

**Бишкек 2019**

«Рассмотрено»  
на заседании кафедры  
«Электроэнергетика» ТФ  
протокол № 6 от 20.03.2019г.

«Одобрено»  
Учебно-методическим  
советом ТФ им. Рахматулина  
протокол № 6 от 27.03.2019г.

**УДК 621.311**

**Составители:** ст. преп.: Тиленбаев И.Н., Кадиева А. К.

Теоретические основы электротехники ч.1. Раздел “Постоянный ток”: Методические указания к выполнению лабораторных работ с использованием технологии виртуальных приборов в графической среде программирования NI LabVIEW для студентов направления 640200 (ч.1):/ ТФ им. Рахматулина КГТУ им. И. Раззакова; сост.: Тиленбаев И.Н., Кадиева А. К.– Б.: ИЦ «Текник», 2019. – 41 с.

Методические указания состоят из семи лабораторных работ по разделу “Постоянный ток”. Программа обладает простым и интуитивно понятным пользовательским интерфейсом. В инструкциях к лабораторным работам, шаг за шагом, описаны действия, которые необходимо выполнить при проведении лабораторной работы.

**Рецензент**  
**к.т.н., профессор КГТУ Сатаркулов К.**

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум по «Теоретическим основам электротехники» разработан с использованием технологии виртуальных приборов и включает практические занятия по основным разделам теоретических основ электротехники.

Система разработана в графической среде программирования NI LabVIEW и работает на аппаратной основе учебной станции «NI ELVIS II+» (или «NI ELVIS II»), работающей со специально разработанной макетной платой для проведения лабораторных работ. Студент имеет возможность собирать на плате электрические схемы, подключать необходимые источники питания и измерители, проводить эксперименты с изучаемыми схемами, собирать, отображать и сохранять необходимую информацию в виде таблиц, графиков, осциллограмм и векторных диаграмм.

При проведении каждой лабораторной работы на монитор выводится соответствующая электрическая схема, необходимые измерительные приборы и инструменты.

Параллельно с выполнением практического занятия студент имеет прямой доступ к теоретическим материалам и пошаговым инструкциям по проведению лабораторной работы.

Для облегчения контроля над выполнением работ и их оценки инструктор имеет доступ к расчетным результатам, которые должны быть получены студентом.

## 2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 2.1 Функциональные возможности

При проведении данного типа лабораторных работ студенты пользуются подробными инструкциями, в которых указаны: цель работы, пояснения (теория, основные характеристики), оборудование, аппаратура, материалы и их характеристики, порядок выполнения работы, таблицы, выводы, контрольные вопросы, учебная и специальная литература.

В руководстве пользователя приведено подробное описание экспериментов по всем лабораторным работам курса.

Перед началом работы студент должен зарегистрироваться, заполнив следующие поля: группа, имя и фамилия, имя пользователя, пароль, папка для хранения файлов. Зарегистрированные пользователи входят в систему, набирая имя пользователя и пароль.

Выбор конкретной лабораторной работы осуществляется из главного меню. На лицевой панели каждой лабораторной работы приведены соответствующие электрические схемы. Полученные в результате лабораторной работы данные в реальном масштабе времени могут отображаться на мониторе в виде численных значений, осциллограмм, графиков и векторных диаграмм. Результаты измерений сохраняются в файл в формате MS Excel, при этом сохраняются также регистрационные данные студента и дата проведения опыта.

### 2.2 Описание макетной платы INT-EE

Все лабораторные работы выполняются на специально разработанной плате INT-EE для рабочей станции NI ELVIS II

1. На плате установлены электронные компоненты и контактные площадки измерительных приборов, но нет заранее собранных электрических схем.
2. Сборка схем осуществляется студентом при помощи соединительных проводов из комплекта стенда.

На плате имеется индикатор включения питания (светодиод **Питание**), и

предусмотрена защита от перегрузок.

Выполнение всевозможных электрических соединений, в соответствии с требованиями лабораторных работ, производится при помощи соединительных проводов.

Назначение зон на плате (Рис. 2.2-2):

1. Зона измерительных приборов: 4 амперметра и 4 вольтметра
2. Зона источников:
3. Зоны:
  - с 4 последовательно соединенными резисторами по 100 Ом и галетным переключателем 0.. 900 Ом и с шагом 100 Ом;
  - с 4 последовательно соединенными резисторами по 100 Ом и галетным переключателем 0.. 90 Ом и с шагом 10 Ом.
4. Зона независимых резисторов (100 Ом, 200 Ом, 300 Ом, 390 Ом, 510 Ом, 1 кОм, 10 кОм) и переменный резистор, 2 кОм
5. Зона подключения к «нейтралю» («земля»)
6. Клеммы для подключения внешних компонентов
7. Зона независимых конденсаторов (10нф, 22нф, 100нф, 1мкф)
8. Зона независимых и последовательно соединенных индуктивностей (470мкГн, 1мГн, 10мГн)
9. Зона трансформатора

Описание	Обозначение на плате	Соответствие обозначениям NI ELVIS II	Параметры регулирования
Нерегулируемый источник напряжения	+5V	+5V	Нерегулируемые +5В
Источник переменного напряжения	~E	FGEN	Частота: 1 ... 20 кГц Напряжение: 0 ... 10 В Форма: синус, меандр, треугольник
Регулируемый источник напряжения	+E	VPS+	Диапазон: 0 ... +10 В
Регулируемый источник напряжения	-E	VPS-	Диапазон: -10 ... 0 В
Регулируемый источник тока	+J	CS	Диапазон: 0 ... 50 мА

Для проведения лабораторной работы необходимо:

1. Запустить программу.
2. Зарегистрироваться или ввести имя пользователя и пароль.
3. Открыть лицевую панель лабораторной работы двойным щелчком из главного меню,

после чего на лицевой панели будет выведена электрическая схема соответствующей лабораторной работы.

4. В рабочем поле инициализировать принципиальную электрическую схему (см. раздел **Инициализация принципиальной схемы**).

5. Собрать на плате цепь в соответствии с инициализированной электрической схемой. Монтаж электрической схемы производится с помощью входящих в комплект поставки соединительных проводов. Контактные штекеры на проводах позволяют подключать несколько проводов к одному гнезду, последовательно вставляя их друг в друга.

### **3 ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ**

При эксплуатации стенда необходимо соблюдать требования "Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей" (утверждены Минэнерго России № 6 от 13.01.03, зарегистрированы Минюстом России № 4145 от 22.01.03).

Соблюдайте технику безопасности при подключении оборудования во время проведения лабораторных работ и при техническом обслуживании.

Лабораторный стенд имеет низковольтное питание. Запрещается разбирать сетевой блок питания рабочей станции **NI ELVIS II+**, подключать к рабочей станции другие блоки питания, или производить какие-либо внешние подключения. Блок питания рабочей станции должен подключаться к сетевой розетке, имеющей шину заземления.

Лабораторный стенд может быть использован только в закрытом помещении. Запрещается включение лабораторного стенда в сеть в присутствии легковоспламеняющихся жидкостей или в атмосфере, содержащей горючие газы. Техническое обслуживание лабораторного стенда должно производиться только квалифицированным техническим персоналом.

При возникновении неисправностей, а также в случае появления запаха, свидетельствующего о возгорании электрических проводов или радиокомпонентов, следует незамедлительно прекратить работу с лабораторным стендом, выключив его из сети, и обратиться к обслуживающему персоналу.

Включение питания лабораторного стенда и выполнение лабораторных работ следует производить только с разрешения и в присутствии преподавателя.

Внешний вид макетной платы приведен на Рис. 2.2-1.



Рис. 2.2-1 Макетная плата

Макетная плата условно разделена на зоны:

- контактные зоны, на которые подается постоянное или переменное напряжения (с программной регулировкой)
- контактные зоны, на которых производится измерение напряжений и токов
- зоны с установленными электронными компонентами

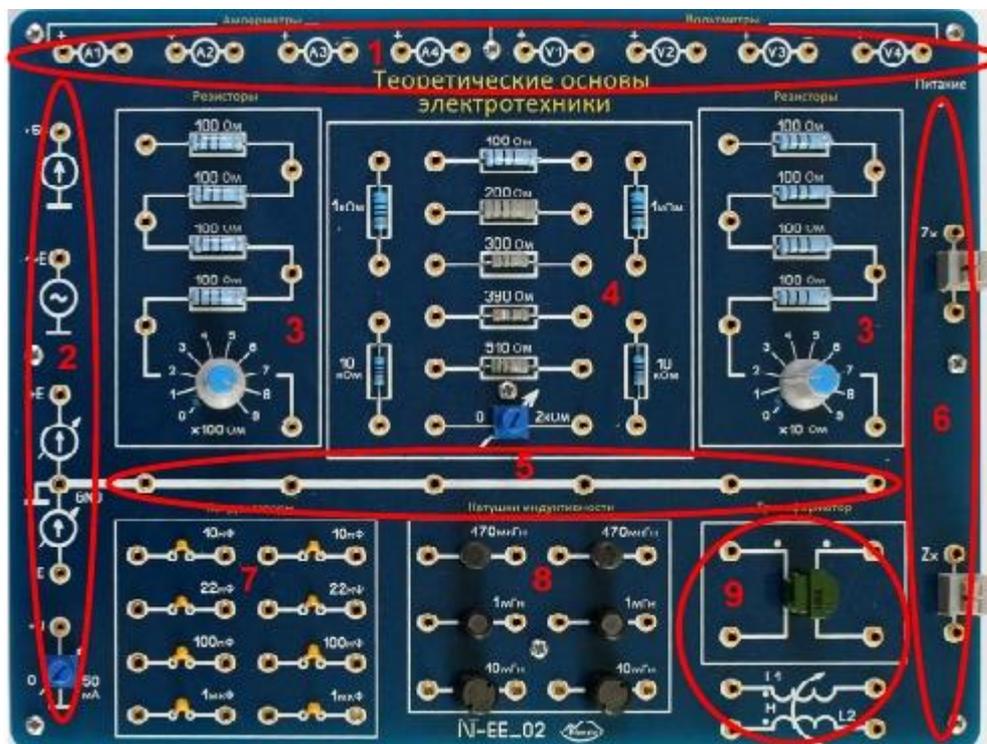


Рис. 2.2-2

## РАЗДЕЛ “ПОСТОЯННЫЙ ТОК”

### Лабораторная работа №1

#### Тема: «Экспериментальная проверка закона Ома»

**Цель лабораторной работы:** Измеряя токи и напряжения в цепи, экспериментально убедиться в верности закона Ома и построить графики зависимости тока от напряжения:

$$I = f(U) \text{ при } R = \text{const} \quad (1)$$

Изменяя сопротивление, при неизменном напряжении, постройте график зависимости тока от сопротивления:

$$I = f(R) \text{ при } U = \text{const} \quad (2)$$

#### Основные теоретические сведения

Закон Ома для участка цепи гласит: сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению данного участка цепи:

$$I = U/R \quad (3)$$

де  $U$  – напряжение на концах проводника

$I$  – ток, протекающий по проводнику

$R$  – сопротивление проводника

Сопротивление является физической характеристикой проводника, и измеряется в *Омах*.

Для большинства проводников сопротивление прямо пропорционально длине и обратно пропорционально сечению:

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad (4)$$

где  $l$  – длина проводника

$S$  – площадь сечения проводника

$\rho$  – удельное сопротивление материала

Иногда используется обратная сопротивлению величина, называемая проводимостью (обозначается буквой  $G$  и измеряется в Сименсах).

$$G = \frac{1}{R} \quad (5)$$

Соответственно, закон Ома может быть записан в следующем виде:

$$I = GU \quad (6)$$

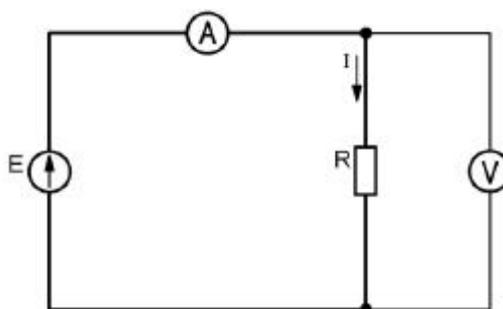
#### Методика выполнения лабораторной работы

В работе исследуется цепь, состоящая из источника напряжения  $E$ , резистора с сопротивлением  $R$ , амперметра  $A$  и вольтметра  $V$  (Рис 10.1.1-1).

Вначале равенство (3) проверяется при постоянном значении сопротивления  $R$  (задается преподавателем). После сборки цепи с заданным номиналом сопротивления пошагово изменяется значение  $E$  и измеряется ток цепи для каждого шага. После окончания производится расчёт сопротивления цепи и сравнивается с установленным номиналом. Проверка равенства (3) проводится для трех различных значений  $R$ , задаваемых преподавателем. По полученным данным строятся графики функции (3).

Затем соотношение (3) проверяется при постоянном значении ЭДС ( $E$ ), которое задается преподавателем. После сборки новой цепи устанавливается заданный номинал ЭДС, пошагово изменяется значение  $R$ , и измеряется ток цепи для каждого шага. После окончания производится расчет сопротивлений цепи на каждом шаге. Проверка равенства (3) проводится для трех различных вариантов ЭДС ( $E$ ), задаваемых преподавателем. По полученным данным строятся графики функции (1).

*Будьте внимательны при установке значений пассивных компонентов (в данном случае – сопротивлений). Величина, указанная в поле значения компонента должна соответствовать реальному значению сопротивления элемента, использованного в электрической цепи на плате.*



**Рис.1**

### **Приборы и компоненты, используемые в лабораторной работе**

1. Сопротивления (зона резисторов на плате)
2. Потенциометр (x100 Ом)
3. Источник напряжения (+E)
4. Вольтметр (V1)
5. Амперметр (A1)

### **Подготовка к проведению лабораторной работы**

1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**, см. Рис. 8.3-1 на стр. 15).
2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (Рис. 8.3-2 на стр. 15) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).
3. Из главного меню двойным щелчком выберите лабораторную работу **Закон Ома**. Нажмите кнопку **Следующий (>>)** на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное в соответствии с Рис. 1 изображение электрической схемы лабораторной работы с размещенными на ней полями компонентов и приборов (Рис. 2).
4. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на Рис. 2. Установите номинал сопротивления, соответствующий заданному преподавателем варианту в соответствии с Табл. 1.
5. Введите в поле значения **R (Ом)** на рабочем поле лицевой панели величину,

соответствующую номиналу установленного на плате резистора.

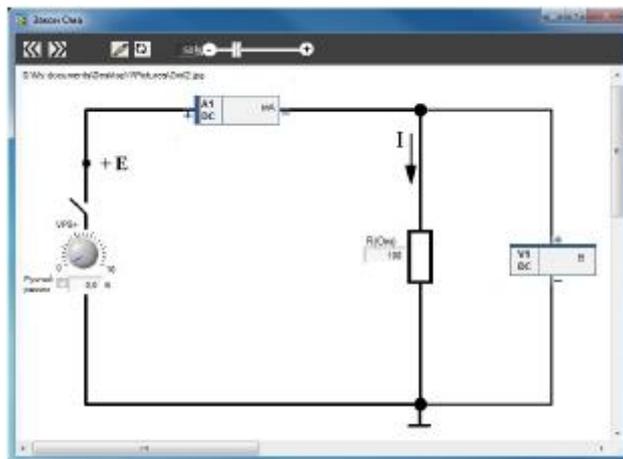


Рис. 2

Табл. 1

<i>N</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>R (Ом)</i>	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
<i>+E [В]</i>	$0 \div 10$									
<i>R (Ом)</i>	$100 \div 1000$									
<i>+E [В]</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

### Пошаговый порядок выполнения лабораторной работы

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (см Руководство пользователя)) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I** (включен). Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II**.
2. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле **Смещ. 0. Исследование зависимости  $I = f(U)$  при  $R = const$ .**
3. Установите начальное значение напряжения **VPS+** равным 1В и нажмите **Запись**.
4. Пошагово увеличивайте напряжение источника (от 1В до 10В, с шагом 1В) и, нажимая **Запись**, фиксируйте показания приборов.

*Избегайте измерений при малых напряжениях (вблизи 0В), это может привести к ошибке измерения.*

5. По окончании установите значение напряжения **VPS+** равным нулю.
6. Установите на плате номинал сопротивления, соответствующий заданному преподавателем варианту (см. Табл. 1)
7. Введите эту же величину сопротивления в поле значения **R** на рабочем поле лицевой панели и нажмите **Новый график**.
8. Повторите пункты 3 - 7 для всех значений сопротивлений, соответствующих заданным преподавателем вариантам (Табл. 1).
9. По окончании откройте файл данных, щелкнув по иконке **MS Excel**, и сохраните его.
10. Нажмите **Стоп**.
11. По данным эксперимента рассчитайте сопротивление на каждом шаге измерения, определите погрешность и среднее значение сопротивления для каждого заданного

преподавателем варианта. Заполните Табл. 2 для всех вариантов и сохраните.

12. Исходя из полученных значений постройте графики  $I = f(U)$  при  $R = const$  для 3-х заданных значений  $R$ .

$I=f(U)$  при  $R=Const.$   $R =$   [Ом]

Табл. 2

N	Измерить			Рассчитать	
	V1	A1	R	Погрешность $\sigma$	Среднее значение R
	[В]	[мА]	[Ом]	[%]	[Ом]
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**Исследование зависимости  $I = f(R)$  при  $U = const$ .**

13. Нажмите на рабочем поле кнопку **Следующий (>>)** и измените схему на плате в соответствии с Рис. 3.

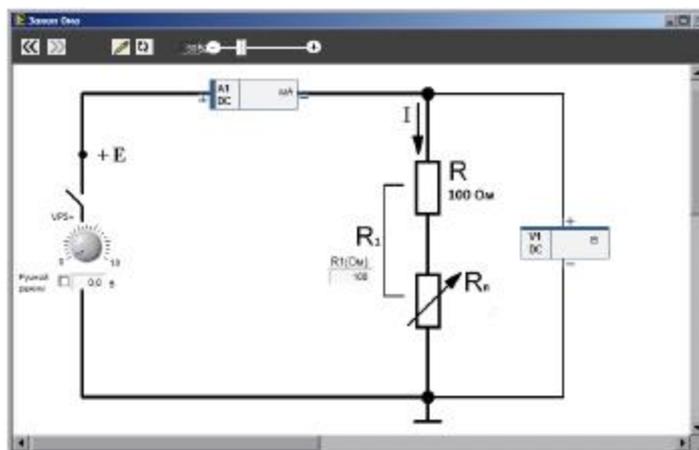


Рис. 3

14. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле **Смещ. 0**.

15. Вращая ручку потенциометра **x100 Ом** на плате, установите переменное сопротивление в положение «0». Введите в **поле значения R1** на рабочем поле величину полного сопротивления цепи - 100 Ом.

16. Вращая ручку **VPS+** на рабочем поле, установите соответствующее заданному преподавателем варианту напряжение, в соответствии с Табл. 3.

<b>N</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>U (В)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>

Табл. 3

17. Потенциометром **x100 Ом** пошагово увеличивайте сопротивление цепи (от 100 до 1000 Ом, с шагом 100 Ом). На каждом шаге вводите в **поле значения** величину получившегося сопротивления цепи и, нажимая **Запись**, фиксируйте показания приборов.

18. По окончании переведите потенциометр **x100 Ом** в положение «0» и нажмите **Новый график**.

19. Повторите пп.15 - 17 для разных значений напряжения, в соответствии с заданным преподавателем вариантом, (см. Табл. 3).

20. Щелчком по иконке **MS Excel** откройте файл данных и сохраните его.

21. По данным эксперимента рассчитайте сопротивление на каждом шаге измерения для каждого заданного преподавателем варианта. Заполните Табл.4 для всех вариантов и сохраните.

22. Исходя из полученных значений, постройте графики  $I = f(R)$  при  $U = const$  для трех различных значений  $U$ .

<b>N</b>	<b>I=f(R) при U=const. E=</b>	<b>Измерить</b>		<b>Рассчитать</b>
	<b>R1</b>	<b>V1</b>	<b>A1</b>	<b>R1</b>
	<b>[Ом]</b>	<b>[В]</b>	<b>[мА]</b>	<b>[Ом]</b>
1	100			
2	200			
3	300			
4	400			
5	500			
6	600			
7	700			
8	800			
9	900			
10	1000			

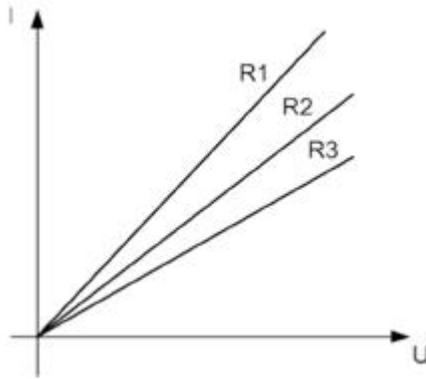
Табл.4

### Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя файл в формате Excel, содержащий графики и расчёты в соответствии с требованиями раздела **Пошаговый порядок выполнения лабораторной работы**.

### Контрольные вопросы:

1. Исходя из графика вольт-амперных характеристик, отметьте правильный вариант для указанных соотношений между значениями сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ , и  $R_3$

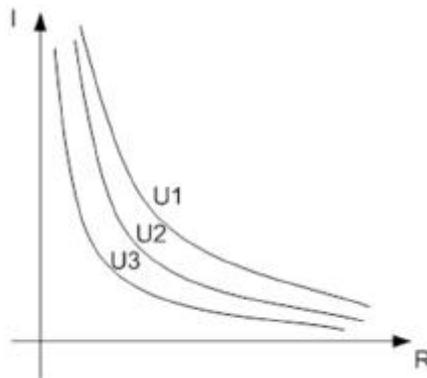


a)  $R_1 > R_2 > R_3$

б)  $R_1 < R_2 < R_3$

в)  $R_1 = R_2 = R_3$

2. Исходя из приведенного графика, отметьте правильный вариант для указанных соотношений между значениями напряжений



a)  $U_1 > U_2 > U_3$

б)  $U_1 < U_2 < U_3$

в)  $U_1 = U_2 = U_3$

## Лабораторная работа №2

### Тема “Экспериментальная проверка законов Кирхгофа”

**Цель лабораторной работы:** Экспериментально убедиться в верности первого и второго законов Кирхгофа. Измерить токи в ветвях и падение напряжения на сопротивлениях, построить потенциальную диаграмму для контуров.

#### Основные теоретические сведения

Соотношения между токами и напряжениями для участков любой электрической цепи были сформулированы немецким физиком Густавом Кирхгофом в 1845 году. Эти законы играют крайне важную роль в электротехнике благодаря своей универсальности.

Законы Кирхгофа позволяют составить систему уравнений для расчета электрической цепи постоянного тока любой сложности.

Для формулировки законов Кирхгофа, в электрической цепи выделяются узлы

(точки соединения трёх и более проводников) и контуры (замкнутые пути из проводников). При этом каждый проводник может входить в несколько контуров.

*Закон токов Кирхгофа (Первый закон Кирхгофа): для любого узла цепи алгебраическая сумма токов равна нулю.*

$$\sum I_k = 0 \quad (1)$$

*Закон напряжений Кирхгофа (Второй закон Кирхгофа): алгебраическая сумма падений напряжений на отдельных участках замкнутого контура, произвольно выделенного в сложной разветвленной цепи, равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре*

$$\sum_{i=1}^k E_i = \sum_{i=1}^m I_i R_i \quad (2)$$

где

$k$  – число источников ЭДС

$m$  – число ветвей в замкнутом контуре

$I_i$  – ток  $i$ -й ветви

$R_i$  – сопротивление  $i$ -й ветви

Перед составлением уравнений по второму закону Кирхгофа произвольно выбирается направление обхода каждого контура цепи (Рис. 1).

Знаки перед членами составленных уравнений определяются по следующим правилам:

1. ЭДС положительна, если ее направление совпадает с направлением произвольно выбранного обхода контура
2. Падение напряжения на резисторе положительно, если направление тока в нем совпадает с направлением обхода.

Сложную цепь можно разбить на совокупность замкнутых контуров. Контур называется независимым, если он содержит хотя бы одну ветвь, не входящую в другие контуры. На основании закона токов Кирхгофа для узла **a** схемы, изображенной на (Рис1), можно составить следующее уравнение:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad (3)$$

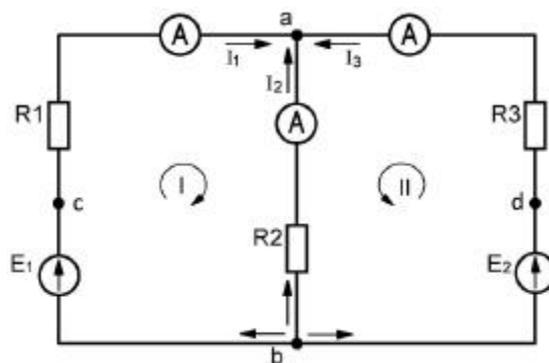
Соответственно, уравнение для узла **b** может быть записано в следующем виде:

$$-I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (4)$$

Согласно закону напряжений Кирхгофа, для первого и второго контуров цепи, соответственно, можно записать следующие уравнения:

$$E_1 = I_1 R_1 - I_2 R_2 \quad (5)$$

$$-E_2 = -I_2 R_2 + I_3 R_3 \quad (6)$$



**Рис.1**

В результате, из уравнений (5), (6) и, например, (3), можно составить систему линейных уравнений, которая полностью описывает цепь:

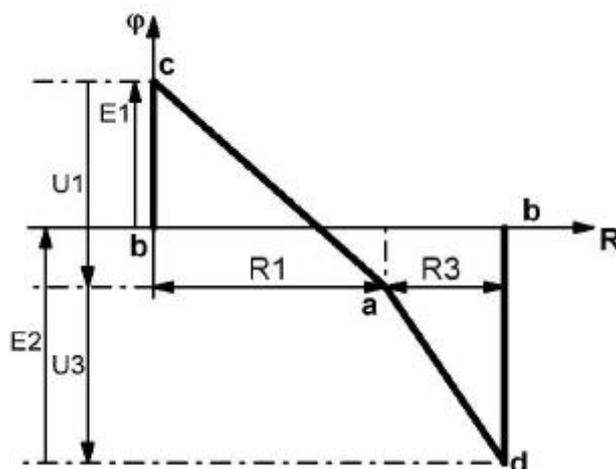
$$\begin{aligned}
 E_1 &= I_1 R_1 - I_2 R_2 \\
 -E_2 &= -I_2 R_2 + I_3 R_3 \\
 I_1 + I_2 + I_3 &= 0
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Хорошим примером применения второго закона Кирхгофа является построение потенциальной диаграммы. Под потенциальной диаграммой понимают график распределения потенциала в каком-либо участке цепи или замкнутом контуре. По оси абсцисс на нем откладывают сопротивления вдоль контура, начиная с какой-либо произвольной точки, а по оси ординат – потенциалы соответствующих точек. Каждой точке участка цепи или замкнутого контура соответствует своя точка на потенциальной диаграмме.

В качестве примера рассмотрим контур (**E1, R1, R3, E2**) (Рис 1). В качестве начальной точки для построения потенциальной диаграммы примем узел **b**.

Для построения потенциальной диаграммы, нужно определить падение напряжения на каждом сопротивлении, входящем в выбранный контур. На участке с сопротивлением потенциал увеличивается, если обход осуществляется против направления тока, и понижается, если направление обхода совпадает с направлением тока.

На участке с источником ЭДС потенциал изменяется на величину ЭДС - повышается в случае, когда переход от одной точки к другой осуществляется по направлению ЭДС и понижается, когда переход осуществляется против направления ЭДС (Рис 2).



**Рис.2**

### **Методика выполнения лабораторной работы**

В работе исследуется схема (Рис 10.1.2-1), включающая два источника постоянного напряжения ( $E_1$ ,  $E_2$ ), содержащая три ветви и два узла (**a**, **b**).

Для проверки закона токов Кирхгофа задаются разные комбинации значений ЭДС первого и второго источника в контуре и измеряют входящие и исходящие токи в узлах **a** и **b** (исходящие из узла токи имеют знак минус). Алгебраическая сумма измеренных входящих и исходящих токов узла должна быть равна нулю (в пределах ошибки измерений).

Для проверки закона напряжений Кирхгофа для разных комбинаций значений ЭДС первого и второго источника измеряются падения напряжения на всех сопротивлениях в контуре. Сумма ЭДС должна быть равна сумме падений напряжений в контуре (в пределах ошибки измерений).

По полученным данным строится потенциальная диаграмма для заданного контура.

*Будьте внимательны при установке значений пассивных компонентов (в данном случае – сопротивлений). Величина, указанная в **поле значения** компонента должна соответствовать реальному значению сопротивления элемента, использованного в электрической цепи на плате.*

### **Приборы и компоненты, используемые в лабораторной работе**

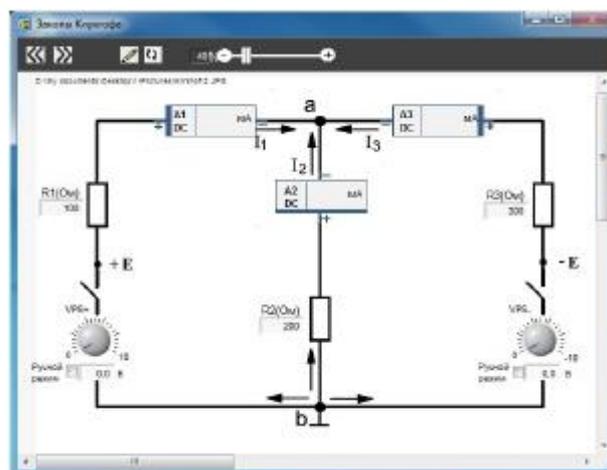
1. Сопротивления (зона резисторов на плате)
2. Источники напряжения ( $E_1$ ,  $E_2$ )
3. Амперметры ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ )
4. Вольтметры ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ )

### **Подготовка к проведению лабораторной работы**

1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**).

2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О** (выключен).

3. Из главного меню двойным щелчком выберите лабораторную работу **Законы Кирхгофа**. Нажмите кнопку **Следующий** (>>) на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное в соответствии с Рис 1 изображение электрической схемы лабораторной работы с установленными на ней полями компонентов и приборов (Рис 3).



**Рис. 3**

4. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой, показанной на Рис 3. Установите номиналы сопротивлений, соответствующие заданному преподавателем варианту (см. Табл. 1). К узлу **a** - следует присоединить концы амперметров с одинаковой полярностью.

*При сборке схемы внимательно соблюдайте полярность амперметров, вольтметров, источников ЭДС и тока.*

Табл. 1

<b>N</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>
	<b>[В]</b>	<b>[В]</b>	<b>[Ом]</b>	<b>[Ом]</b>	<b>[Ом]</b>
1	10	-1	100	200	300
2	9	-2	200	300	400
3	8	-3	300	400	500
4	7	-4	400	500	600
5	6	-5	500	600	700
6	5	-6	600	700	800
7	4	-7	700	800	900
8	3	-8	800	900	1000
9	2	-9	900	1000	1100
10	1	-10	1000	1100	1200

## Пошаговый порядок выполнения лабораторной работы

### Первый закон Кирхгофа.

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I** (включен). Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II**.
2. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле **Смещ. 0**.
3. Установите соответствующие заданному преподавателем варианту (см. Табл. 1) значения источников напряжения,  $E1: +E$  (**VPS+**) и  $E2: -E$  (**VPS-**), затем нажмите **Запись**.
4. Повторите п.3 для всех заданных преподавателем вариантов.
5. По данным эксперимента рассчитайте сумму токов в узлах **a** и **b** для каждого варианта. Заполните Табл. 2 и сохраните.
6. Нажмите **Стоп**, затем **Новый график**.

Табл. 2

N	Установить					Измерить			Рассчитать	
	E1	E2	R1	R2	R3	A1	A2	A3	ΣIa	ΣIb
	[В]		[Ом]			[мА]			[мА]	
1										
2										
3										

### Второй закон Кирхгофа.

1. Щелчком по кнопке **Следующий (>>)** на рабочем поле откройте новую схему (Рис 4).

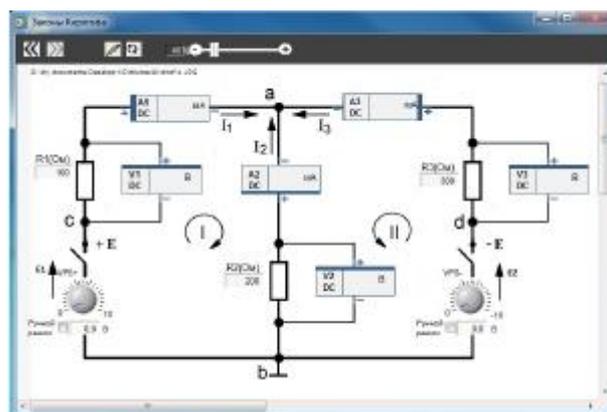


Рис. 4

2. Подключите к схеме вольтметры в соответствии со схемой на экране.

*При сборке схемы будьте внимательны по отношению к полярности амперметров, вольтметров и источников ЭДС и тока.*

3. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле **Смещ. 0**.

- Установите соответствующие заданному преподавателем варианту (см. Табл. 1) значения источников напряжения,  $E_1$ : +E (VPS+) и  $E_2$ : -E (VPS-) и нажмите **Запись**.
- Повторите п.4 для всех заданных преподавателем вариантов.
- По данным эксперимента рассчитайте сумму ЭДС и падений напряжений контуров I и II для каждого варианта. Заполните Табл. 3 и сохраните.

Табл.3

N	Установить					Измерить			Рассчитать	
	E1	E2	R1	R2	R3	V1	V2	V3	$\sum_{k=1}^m E_k - \sum_{i=1}^n V_i$ Контур I	$\sum_{k=1}^m E_k - \sum_{i=1}^n V_i$ Контур II
	[В]		[Ом]			[В]			[В]	[В]
1										
2										
3										

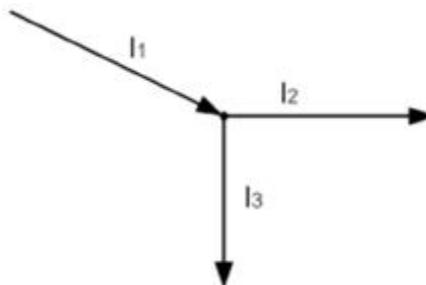
- На основании данных из Табл. 3 постройте потенциальную диаграмму контура (**E1, R1, R3, E2**) для одного из вариантов.
- Щелчком по иконке MS Excel откройте файл данных и сохраните его.
- Нажмите Стоп.

### Отчет по лабораторной работе

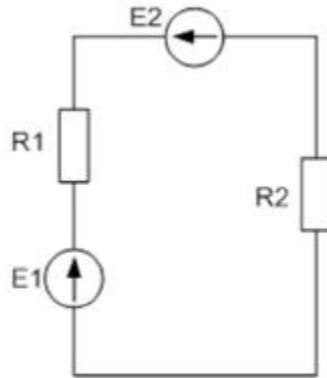
Отчет по лабораторной работе должен включать в себя файл в формате Excel, содержащий графики и расчёты в соответствии с требованиями раздела **Пошаговый порядок выполнения лабораторной работы**.

### Контрольные вопросы:

- Чему равен ток  $I_3$ , если  $I_1 = 10$  мА и  $I_2 = 3$  мА?



- а) -13 мА                      б) 7 мА                      в) -7 мА
- Чему равно падение напряжения на резисторе  $R_2$ , если  $E_1 = 6$  В,  $E_2 = -1$  В,  $R_1 = 4$  кОм и  $R_2 = 1$  кОм?



а) 3 В

б) 1В

в) 2 В

### Лабораторная работа №3

#### Тема: «Последовательное соединение резисторов»

**Цель лабораторной работы:** Экспериментально проверить расчет эквивалентного сопротивления при последовательном соединении резисторов.

#### Основные теоретические сведения

Последовательное и параллельное соединения в электротехнике — два основных способа

соединения элементов электрической цепи. При последовательном соединении все элементы связаны друг с другом так, что включающий их участок цепи не содержит ни одного узла (точки соединения трёх и более проводников). При последовательном соединении проводников сила тока во всех проводниках одинакова.

В лабораторной работе исследуется последовательное соединение трех резисторов (Рис 1).

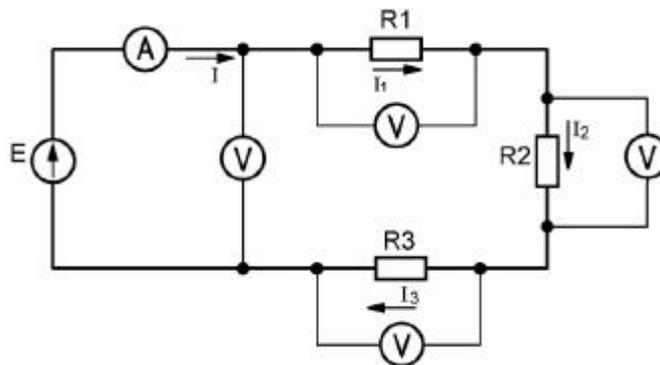


Рис. 1

При последовательном соединении по всем резисторам в цепи течет один и тот же ток:

$$I = I_1 = I_2 = I_3 \quad (1)$$

Согласно закону напряжений Кирхгофа можно написать:

$$E = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR_{\text{экв}} \quad (2)$$

соответственно,

$$R_{\text{эkv}} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (3)$$

Следовательно, эквивалентное сопротивление последовательной цепи равно сумме сопротивлений всех последовательно соединенных резисторов.

Поскольку, согласно закону Ома, напряжения на отдельных участках цепи  $U_1 = IR_1$ ,  $U_2 = IR_2$ , и  $U_3 = IR_3$ , и в нашем случае  $E = U$ , можем написать для рассматриваемой цепи:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (4)$$

Следовательно, напряжение  $U$  на зажимах источника равно сумме напряжений на каждом из последовательно включенных резисторов.

Из приведенных выше формул также следует, что напряжения между последовательно соединенными резисторами распределяются пропорционально их сопротивлениям:

$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3 \quad (5)$$

т. е., чем больше сопротивление резистора в последовательной цепи, тем больше будет падение напряжения на нем.

В случае последовательного соединения несколько ( $n$ ) резисторов с одинаковым сопротивлением  $R$  эквивалентное сопротивление цепи  $R_{\text{эkv}}$  будет в  $n$  раз больше, т. е.  $R_{\text{эkv}} = nR$ . Напряжение  $U_i$  на каждом резисторе при этом будет в  $n$  раз меньше общего напряжения  $U$ :

$$U_i = \frac{U}{n} \quad (6)$$

### Методика выполнения лабораторной работы

В работе исследуется цепь, состоящая из источника напряжения  $E$  (VPS+) и последовательно включенных сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ , и  $R_3$ . Сопротивления выбираются в соответствии с заданными преподавателем вариантами.

После сборки цепи с заданными номиналами сопротивлений задаются несколько значений напряжения  $E$  и измеряется ток в цепи и падение напряжения на каждом сопротивлении для каждого заданного значения напряжения.

На основании полученных экспериментальных данных рассчитываются значения сопротивлений для каждого резистора и суммарное эквивалентное сопротивление последовательной цепи, после чего определяются средние по всем замерам значения сопротивлений и погрешность измерения.

*Будьте внимательны при установке значений пассивных компонентов (в данном случае – сопротивлений). Величина, указанная в поле значения компонента должна соответствовать реальному значению сопротивления элемента, использованного в электрической цепи на плате.*

## Приборы и компоненты, используемые в лабораторной работе

1. Сопротивления (зона резисторов на плате)
2. Источник напряжения (+E)
3. Вольтметры (V1, V2, V3, V4)
4. Амперметр (A1)

### Подготовка к проведению лабораторной работы

1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**).
2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен)
3. Из главного меню двойным щелчком выберите лабораторную работу **Последовательное соединение резисторов**. Нажмите кнопку **Следующий (>>)** на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное в соответствии с Рис 1 изображение электрической схемы лабораторной работы с установленными на ней полями компонентов и приборов (Рис 2).

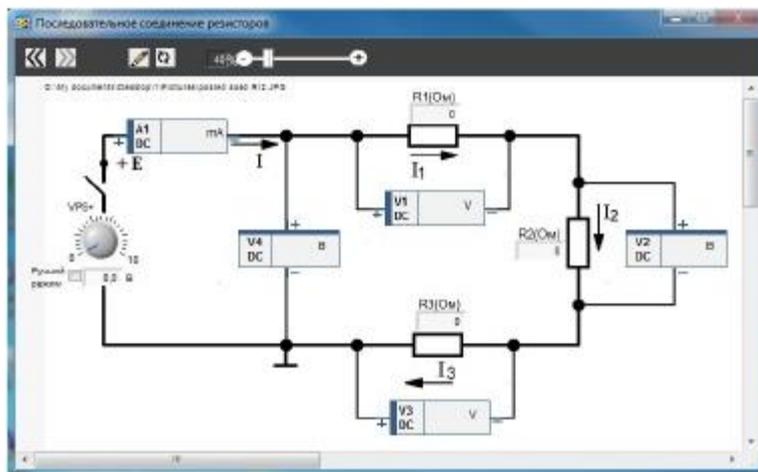


Рис. 2

4. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на Рис 10.1.3-2. Установите номиналы сопротивлений, в соответствии с заданным преподавателем вариантом из Табл. 10.1.3-1.
5. Введите в поля значений **R (Ом)** на рабочем поле лицевой панели величины, соответствующие номиналам установленных на плате резисторов.



## Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя файл в формате Excel, содержащий графики и расчёты в соответствии с требованиями раздела **Пошаговый порядок выполнения лабораторной работы**.

### Контрольные вопросы:

1. Чему равно эквивалентное сопротивление трех последовательно включенных резисторов, если  $R_1 = 1 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = 2 \text{ кОм}$  и  $R_3 = 3 \text{ кОм}$ ?

а)  $R_{\text{экв}} = 1 \text{ кОм}$

б)  $R_{\text{экв}} = 6 \text{ кОм}$

в)  $R_{\text{экв}} = 0.5 \text{ кОм}$

2. Чему равно эквивалентное сопротивление трех последовательно включенных резисторов, если падения напряжения на них равны: 2 В, 3 В и 5 В, а общий ток цепи равен 0.2 А?

а)  $R_{\text{экв}} = 10 \text{ Ом}$

б)  $R_{\text{экв}} = 20 \text{ Ом}$

в)  $R_{\text{экв}} = 50 \text{ Ом}$

## Лабораторная работа №4

### Тема: «Параллельное соединение резисторов»

**Цель лабораторной работы:** Экспериментально проверить расчет эквивалентного сопротивления при параллельном соединении резисторов.

### Основные теоретические сведения

Последовательное и параллельное соединения в электротехнике — два основных способа соединения элементов электрической цепи. При параллельном соединении все входящие в цепь элементы объединены двумя узлами и не имеют связей с другими узлами. При параллельном соединении падение напряжения между двумя узлами, объединяющими элементы цепи, одинаково для всех элементов.

В лабораторной работе исследуется параллельное соединение трех резисторов (Рис1).

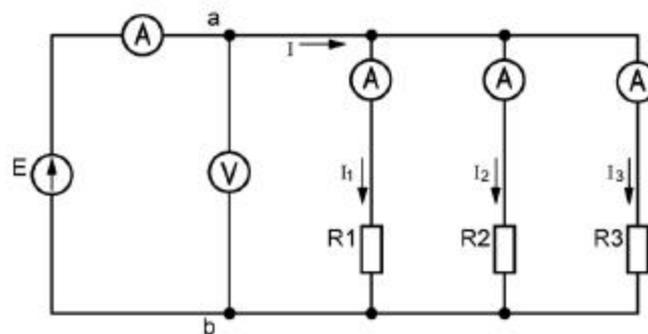


Рис. 1

При параллельном соединении ко всем резисторам цепи приложено одинаковое напряжение. Поэтому согласно закону Ома:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U}{R_3}; \quad (1)$$

Согласно закону токов Кирхгофа, общий ток цепи

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (2)$$

или

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{U}{R_{\text{ЭКВ}}} \quad (3)$$

Соответственно, эквивалентное сопротивление рассматриваемой цепи при параллельном соединении трех резисторов определяется формулой

$$\frac{1}{R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (4)$$

Если в формуле (4) вместо значений  $\frac{1}{R}$  использовать соответствующие значения проводимости  $G = \frac{1}{R}$ , получим альтернативное написание:

$$G_{\text{ЭКВ}} = G_1 + G_2 + G_3 \quad (5)$$

*Эквивалентная проводимость параллельной цепи равна сумме проводимостей параллельно соединенных резисторов.*

Следовательно, при увеличении числа параллельно включаемых резисторов эквивалентная проводимость электрической цепи увеличивается (а эквивалентное сопротивление – уменьшается).

Из приведенных выше формул также следует, что токи между параллельно соединенными резисторами распределяются обратно пропорционально их сопротивлениям, т.е. чем больше сопротивление ветви в параллельной цепи, тем меньше ток в этой ветви. В случае параллельного соединения нескольких ( $n$ ) резисторов с одинаковым сопротивлением  $R$  эквивалентное сопротивление цепи  $R_{\text{ЭКВ}}$  будет в  $n$  раз меньше сопротивления  $R$  :

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{R}{n} \quad (6)$$

### **Методика выполнения лабораторной работы**

В работе исследуется цепь, состоящая из источника напряжения  $E$  (VPS+) и параллельно включенных сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ . Сопротивления исходя из заданных преподавателем вариантов.

После сборки цепи с заданными номиналами сопротивлений задаются несколько значений напряжения  $E$  и измеряются токи в каждой ветви цепи и напряжение на сопротивлениях для каждого заданного значения напряжения.

На основании полученных экспериментальных данных рассчитываются значения сопротивлений для каждого резистора и суммарное эквивалентное сопротивление

параллельной цепи, после чего определяются средние по всем замерам значения сопротивлений и погрешность измерения.

*Будьте внимательны при установке значений пассивных компонентов (в данном случае – сопротивлений). Величина, указанная в поле значения компонента должна соответствовать реальному значению сопротивления элемента, использованного в электрической цепи на плате.*

### Приборы и компоненты, используемые в лабораторной работе

1. Сопротивления (зона резисторов на плате)
2. Источник напряжения (+E)
3. Вольтметр (V1)
4. Амперметры (A1, A2, A3, A4).

### Подготовка к проведению лабораторной работы

1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**).
2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).
3. Из главного меню двойным щелчком выберите лабораторную работу *Параллельное соединение резисторов*. Нажмите кнопку *Следующий (>>)* на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное в соответствии с Рис 1 изображение электрической схемы лабораторной работы с установленными на ней полями компонентов и приборов (Рис 2).

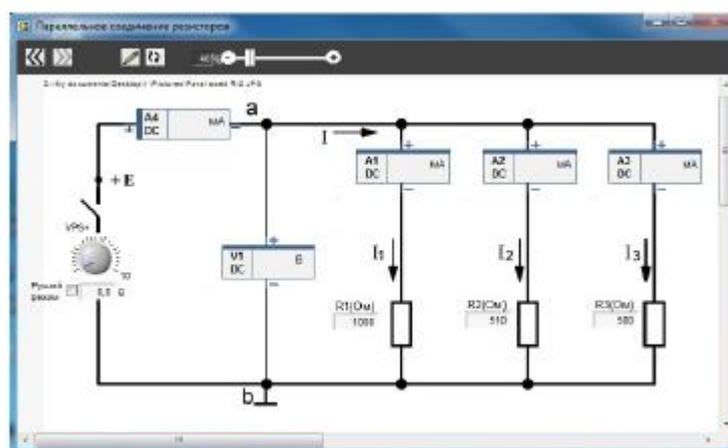


Рис. 2

4. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на Рис 2. Установите номиналы сопротивлений в соответствии с заданным преподавателем вариантом из Табл. 1.
5. Введите в поля значений  $R$  (Ом) на рабочем поле лицевой панели величины, соответствующие номиналам установленных на плате резисторов.



## Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя файл в формате Excel, содержащий графики и расчёты в соответствии с требованиями раздела **Пошаговый порядок выполнения лабораторной работы**.

### Контрольные вопросы:

1. Чему равно эквивалентное сопротивление трех параллельно включенных резисторов, если  $R_1=1 \text{ кОм}$ ,  $R_2=2 \text{ кОм}$ ,  $R_3=2 \text{ кОм}$ ?

- а)  $R_{\text{экв}} = 1 \text{ кОм}$                       б)  $R_{\text{экв}} = 2 \text{ кОм}$                       в)  $R_{\text{экв}} = 0,5 \text{ кОм}$

2. Чему равно эквивалентное сопротивление трех параллельно включенных резисторов, если напряжение на них равно  $5 \text{ В}$ , а токи в ветвях, соответственно:  $0,25 \text{ А}$ ,  $0,12 \text{ А}$  и  $0,13 \text{ А}$ ?

- а)  $R_{\text{экв}} = 10 \text{ Ом}$                       б)  $R_{\text{экв}} = 20 \text{ Ом}$                       в)  $R_{\text{экв}} = 50 \text{ Ом}$

## Лабораторная работа № 5

### Тема: «Смешанное соединение резисторов»

**Цель лабораторной работы:** Экспериментально проверить расчет эквивалентного сопротивления при смешанном соединении резисторов.

### Основные теоретические сведения

Последовательное и параллельное соединения в электротехнике — два основных способа соединения элементов электрической цепи. При смешанном соединении некоторые участки цепи включены последовательно, другие - параллельно.

В лабораторной работе исследуется смешанное соединение трех резисторов (Рис1).

При **смешанном соединении** в цепи присутствуют как параллельно, так и последовательно соединенные резисторы.

Эквивалентное сопротивление цепи при смешанном соединении обычно определяют методом преобразования, при котором сложную цепь поэтапно преобразуют в более простой эквивалент.

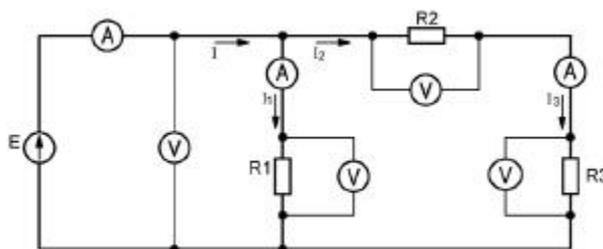


Рис. 1

Например, для схемы, изображенной на Рис 1, вначале последовательно включенные резисторы с сопротивлениями  $R_2$  и  $R_3$  заменяют эквивалентным сопротивлением  $R_{23}$ .

$$R_{23} = R_2 + R_3 \quad (1)$$

Затем определяют эквивалентное сопротивление  $R_{э\text{кв}}$  параллельно включенных сопротивлений  $R_{23}$  и  $R_1$  :

$$\frac{1}{R_{э\text{кв}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{23}} \quad (2)$$

$$R_{э\text{кв}} = \frac{R_{23}R_1}{R_{23} + R_1} \quad (3)$$

$$R_{э\text{кв}} = \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (4)$$

Общее напряжение и ток определяются следующим образом:

$$U = U_1 = U_2 + U_3 \quad (5)$$

$$I = I_1 + I_2 \quad (6)$$

$$R_{э\text{кв}} = \frac{U}{I} \quad (7)$$

### Методика выполнения лабораторной работы

В работе исследуется цепь, состоящая из источника напряжения  $E$  (VPS+) и последовательно-параллельно включенных сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ . Сопротивления резисторов выбираются в соответствии с заданными преподавателем вариантами.

После сборки цепи на плате задайте несколько значений напряжения и измерьте ток в цепи и падение напряжения на каждом сопротивлении для каждого заданного значения напряжения.

На основании полученных экспериментальных данных рассчитывается общее эквивалентное сопротивление собранной цепи. Определяются среднее для всех замеров значение эквивалентного сопротивления и погрешность измерения.

С помощью омметра измеряется общее эквивалентное сопротивление и сравнивается с рассчитанным значением.

*Будьте внимательны при установке значений пассивных компонентов (в данном случае – сопротивлений). Величина, указанная в **поле значения** компонента должна соответствовать реальному значению сопротивления элемента, использованного в электрической цепи на плате.*

### Приборы и компоненты, используемые в лабораторной работе

1. Сопротивления (зона резисторов на плате)
2. Источник напряжения (+E)

3. Вольтметры (**V1, V2, V3, V4**)

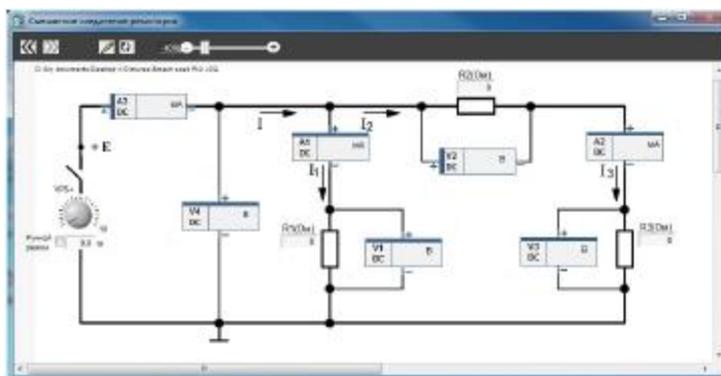
4. Амперметры (**A1, A2, A3**).

### Подготовка к проведению лабораторной работы

1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**).

2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).

3. Из главного меню двойным щелчком выберите лабораторную работу **Смешанное соединение резисторов**. Нажмите кнопку **Следующий (>>)** на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное в соответствии с Рис1 изображение электрической схемы лабораторной работы с установленными на ней полями компонентов и приборов (Рис 2).



**Рис.2**

4. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на Рис 10.1.5-2. Установите номиналы сопротивлений в соответствии с заданным преподавателем вариантом из Табл. 10.1.5-1.

5. Введите в поля значений **R (Ом)** на рабочем поле лицевой панели величины, соответствующие номиналам установленных на плате резисторов.

**Табл. 1**

N	R1	R2	R3
	[Ом]		
1	100	1000	700
2	200	900	800
3	300	800	900
4	400	700	1000
5	500	600	100
6	600	500	200
7	700	400	300
8	800	300	400
9	900	200	500
10	1000	100	600

### Пошаговый порядок выполнения лабораторной работы

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I** (включен). Загорятся светодиод *Питание* на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II**.
2. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку *Старт/Стоп*, затем поставьте галочку в поле *Смещ. 0*.
3. Вращая ручку **E (VPS+)** на рабочем поле, установите произвольное значение напряжения в диапазоне от 0 до 10 В и нажав **Запись**, зафиксируйте показания приборов.
4. Повторите п.3 дополнительно для двух разных значений напряжения.
5. Щелчком по иконке **MS Excel** откройте файл данных и сохраните его.
6. По данным эксперимента рассчитайте эквивалентное сопротивление цепи для каждого значения напряжения:

$$R_1 = \frac{U}{I_1}; \quad R_2 = \frac{U_2}{I_2}; \quad R_3 = \frac{U_3}{I_2}; \quad R_{\text{экв}} = \frac{U}{I}; \quad R_{\text{экв}} = \frac{R_{23}R_1}{R_{23} + R_1}.$$

7. Заполните Табл. 2 и сохраните.
8. Рассчитайте среднее для всех поданных напряжений значение эквивалентного сопротивления и погрешность измерения.
9. Сравните величины номиналов установленных на плате элементов со значениями, рассчитанными в п.6 на основании экспериментально полученных данных.
10. Нажмите Стоп.

Табл. 2

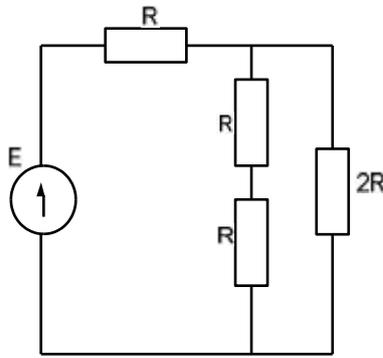
N	Установить				Измерить							Рассчитать					
	E	R1	R2	R3	V1	V2	V3	V4	A1	A2	A3	R1	R2	R3	Rэкв (эксп.1)	Rэкв (эксп.2)	Rэкв (уст.)
	[В]	[Ом]			[В]				[мА]			[Ом]					
1																	
2																	
3																	

### Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя файл в формате Excel, содержащий графики и расчёты в соответствии с требованиями раздела **Пошаговый порядок выполнения лабораторной работы**.

#### Контрольные вопросы:

1. Чему равно эквивалентное сопротивление приведенной на рисунке ниже цепи со смешанно включенными резисторами, если  $R = 2 \text{ Ом}$ ?



а)  $R_{\text{экв}} = 3 \text{ Ом}$

б)  $R_{\text{экв}} = 4 \text{ Ом}$

в)  $R_{\text{экв}} = 6 \text{ Ом}$

### Лабораторная работа № 6

#### Тема: «Источник постоянного напряжения»

**Цель лабораторной работы:** Экспериментальное определение внутреннего сопротивления источника постоянного напряжения и построение графика внешней характеристики.

#### Основные теоретические сведения

Идеальным источником постоянного напряжения является такой источник электрической энергии, у которого разность потенциалов между выводами не зависит от тока, проходящего через источник (внутреннее сопротивление такого источника равно нулю). Ввиду конструктивных особенностей реальные источники напряжения обладают ненулевым внутренним сопротивлением, в результате чего выходное напряжение зависит от тока нагрузки. Источниками постоянного напряжения являются химические источники электрической энергии, стабилизаторы постоянного напряжения, и так далее.

Поскольку у реального источника постоянного напряжения внутреннее сопротивление не равно нулю, разность потенциалов между его выводами зависит от протекающего через источник тока. Эта зависимость называется внешней характеристикой источника. В большинстве случаев внешняя характеристика источника питания имеет почти линейный вид (Рис 2).

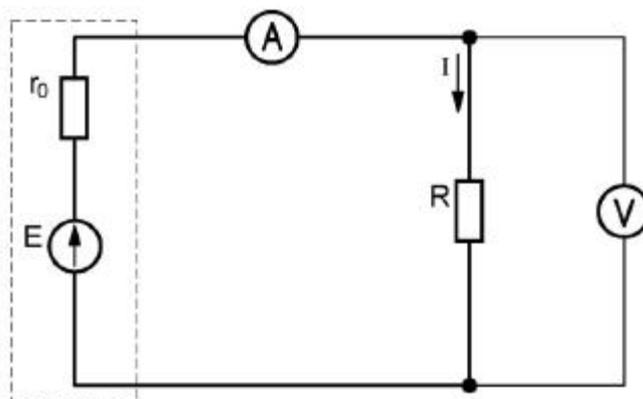


Рис.1

Приведенному описанию источника постоянного напряжения соответствует электрическая схема замещения, состоящая из источника ЭДС и соединенного

последовательно с ним сопротивления, представленная на Рис 1.

$$\Delta U = \Delta I r_0 \quad (1)$$

$$r_0 = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (2)$$

где

$\Delta U$  – абсолютное значение изменения разности потенциалов между выводами источника,  
 $\Delta I$  – изменение тока внешней цепи,  
 $r_0$  – внутреннее сопротивление источника.

$$\Delta U = E - U \quad (3)$$

где

$E$  – разность потенциалов между выводами источника при  $I = 0$ .

$U$  – напряжение приложенное к внешней цепи при  $I \neq 0$ .

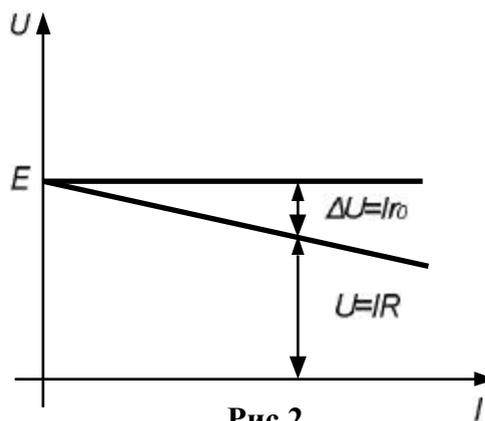
Величина  $E$  называется электродвижущей силой (ЭДС) источника и определяется как работа, затрачиваемая сторонними силами на перемещение единицы положительного заряда от отрицательного контакта к положительному.

Компоненты схемы замещения реального источника постоянного напряжения, ЭДС, и внутреннее сопротивление источника физически неразделимы.

Из соотношений (1) и (3), при  $\Delta I = I$  получаем выражение для внешней характеристики источника:

$$U = E - I r_0 \quad (4)$$

График внешней характеристики источника напряжения при подключенной нагрузке  $R$  показан на Рис 2.



### Методика выполнения лабораторной работы

В работе исследуется цепь, состоящая из источника напряжения и подключенного в качестве нагрузки резистора. Реальный источник напряжения собран на базе источника напряжения  $E$  (VPS+) рабочей станции **NI ELVIS II**. Поскольку реальное внутреннее сопротивление этого источника очень низкое, для облегчения измерений последовательно с ним подключается резистор  $r_0$ , эмулирующий внутреннее сопротивление источника.

Внутреннее сопротивление источника должно быть как минимум на порядок

меньше сопротивления нагрузки.

Значение внутреннего сопротивления  $r_0$  и ЭДС ( $E$ ) выбираются из таблицы в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

После сборки цепи устанавливается заданное значение внутреннего сопротивления и ЭДС, после чего пошагово изменяется сопротивление нагрузки и измеряются напряжение источника и ток нагрузки.

На основании полученных экспериментальных данных строится внешняя характеристика источника напряжения. Опыт повторяется для двух дополнительных вариантов, заданных преподавателем.

*Будьте внимательны при установке значений пассивных компонентов (в данном случае – сопротивлений). Величина, указанная в **поле значения** компонента должна соответствовать реальному значению сопротивления элемента, использованного в электрической цепи на плате.*

### Приборы и компоненты, используемые в лабораторной работе

1. Резистивные переключатели  $\times 10$  Ом и  $\times 100$  Ом
2. Источник напряжения (+E)
3. Вольтметр (V1)
4. Амперметр (A1).

### Подготовка к проведению лабораторной работы

1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**).
2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).
3. Из главного меню двойным щелчком выберите лабораторную работу **Изучение источника постоянного напряжения**. Нажмите кнопку **Следующий** (>>) на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное в соответствии с Рис 1 изображение электрической схемы лабораторной работы с установленными на ней полями компонентов и приборов (**Рис 3**).

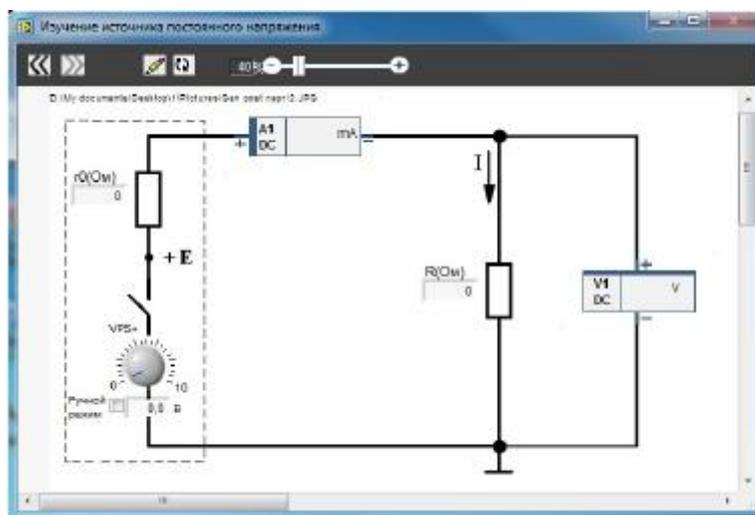


Рис. 3

4. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на **Рис 3**. Установите номинал внутреннего сопротивления  $r_0$ , соответствующий заданному преподавателем варианту в соответствии с Табл. 1.
5. Введите в поле значения  $r_0$  на рабочем поле лицевой панели величину, соответствующую номиналу установленного на плате резистора, эмулирующего внутреннее сопротивление источника.
6. Установите ручку потенциометра  $\times 100$  Ом в положение 500 Ом, это значение будет использоваться в качестве сопротивления нагрузки **R**.

**Табл. 1**

<b>N</b>	$r_0$	<b>E</b>
<b>N</b>	[Ом]	[В]
<b>1</b>	10	
<b>2</b>	20	
<b>3</b>	30	
<b>4</b>	40	
<b>5</b>	50	

#### **Пошаговый порядок выполнения лабораторной работы**

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (Рис. 8.3-2 на стр. 15) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I** (включен). Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II**.
2. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле **Смещ. 0**.
3. Установите напряжение холостого хода (в отсутствие тока нагрузки) равным 10В. Для этого отключите один из проводов от потенциометра **R**, затем, вращая ручку **E (VPS+)** на рабочем поле, установите значение напряжения 10В и нажмите **Запись**. Подключите нагрузку **R** обратно.
4. Для снятия внешней характеристики, вращая ручку потенциометра  $\times 100$  Ом, пошагово увеличивайте сопротивление цепи от 500 до 1000 Ом, с шагом 100 Ом. На каждом шаге, нажимая **Запись**, записывайте показания приборов.
5. Снимите внешние характеристики для двух дополнительных вариантов внутреннего сопротивления, заданных преподавателем.
6. Щелчком по иконке **MS Excel** откройте файл данных и сохраните его.
7. Нажмите **Стоп**.
8. Используя Excel, по данным опытов постройте внешние характеристики.

По данным опытов рассчитайте внутреннее сопротивление  $r_0$  и падение напряжения  $\Delta U$  для каждой внешней характеристики, заполните Табл. 10.1.6-2, и сохраните. Сравните величины номиналов установленных на плате элементов со значениями, рассчитанными на основании экспериментально полученных данных.

Табл. 2

N	Установить		Измерить			Рассчитать		
	Go	E	R	VI	A1	ли	AI	Go
	[Ом]	[В]	[Ом]	[В]	[мА]	[В]	[мА]	[Ом]
1			хх					
2			1000					
3			900					
4			800					
5			700					
6			600					
7			500					
Среднее значение								

### Отчет по лабораторной работе

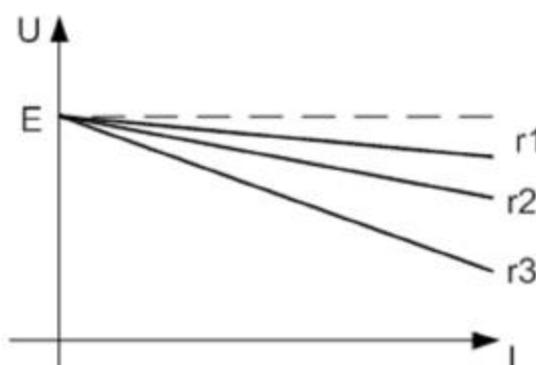
Отчет по лабораторной работе должен включать в себя файл в формате Excel, содержащий графики и расчёты в соответствии с требованиями раздела **Пошаговый порядок выполнения лабораторной работы**.

#### Контрольные вопросы:

1. Чему равно внутреннее сопротивление источника напряжения в схеме лабораторной работы, если при ЭДС = 5 В и токе нагрузки  $I = 10$  мА напряжение источника равно 4,9 В

- а)  $r_0 = 500$  Ом      б)  $r_0 = 49$  Ом      в)  $r_0 = 10$  Ом

2. Определите из приведенного графика, у какого источника напряжения меньше внутреннее сопротивление?



- а)  $r_1$       б)  $r_2$       в)  $r_3$

### Лабораторная работа №7

#### Тема “Источник постоянного тока”

**Цель лабораторной работы:** Экспериментальное определение внутреннего сопротивления источника тока, и построение графика внешней характеристики.

## Основные теоретические сведения

Идеальным источником постоянного тока является такой источник электрической энергии, у которого выходной ток постоянен и не зависит от нагрузки (внутреннее сопротивление такого источника равно бесконечности). Напряжение на выходе идеального источника тока также может изменяться до бесконечности, в зависимости от сопротивления нагрузки, обеспечивая постоянство выходного тока. Ввиду конструктивных особенностей в реальном источнике выходной ток находится в некоторой зависимости от сопротивления нагрузки. Источниками постоянного тока являются фотодиоды, стабилизаторы постоянного тока, и т.д.

Вольтамперная характеристика идеального источника тока представляет собой вертикальную линию. Реальный источник тока неидеален, и неспособен бесконечно изменять выходное напряжение в зависимости от нагрузки (Рис 1).

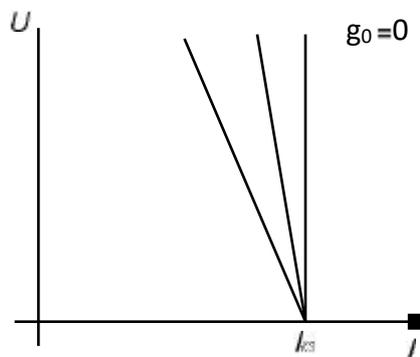


Рис. 1

В общем случае зависимость напряжения на выводах от тока источника нелинейна (кривая 1 на Рис 2). Зависимость между выходным напряжением и током называется внешней характеристикой источника тока и определяется двумя характерными точками соответствующими: режиму холостого хода ( $I = 0; U = U_{xx}$ ) режиму короткого замыкания ( $U = 0; I = I_{кз}$ )

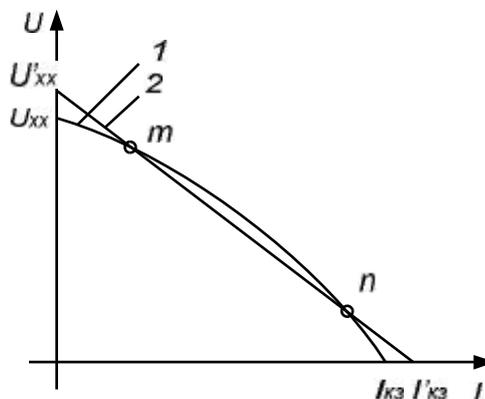


Рис. 2

Токи и напряжения реального источника обычно могут изменяться в определенных пределах, ограниченных сверху значениями, соответствующими номинальному режиму (режиму, при котором изготовитель гарантирует допустимые в пределах спецификации отклонения выходных параметров, наряду с оптимальной экономичностью и долговечностью устройства).

Для упрощения расчетов, в ряде случаев нелинейная вольтамперная характеристика на выбранном рабочем участке  $m-n$ , определяемом рабочими интервалами изменения напряжения и тока, может быть аппроксимирована прямой линией (Рис 2). Для большинства источников тока и напряжения подобная линеаризация правомерна. Также следует отметить, что, в отличие от источников напряжения, для большинства источников тока длительная работа в режиме короткого замыкания является допустимой.

Прямая 2 на Рис 2 описывается линейным уравнением

$$U = U_{xx} - I r_0 \quad (1)$$

где

$U_{xx}$  – напряжение на зажимах источника при отключенной нагрузке,

$r_0 = \frac{U_{xx}}{I_{кз}}$  – внутреннее сопротивление источника.

Если разделить левую и правую части соотношения (1) на  $r_0$ , получим:

$$I = \frac{U_{xx}}{r_0} - \frac{U}{r_0} = I_{кз} - \frac{U}{r_0} \quad (2)$$

или

$$I = I_{кз} - g_0 \cdot U \quad (3)$$

где

$g_0 = \frac{1}{r_0}$  – внутренняя проводимость источника.

Из формулы (2) следует, если внутреннее сопротивление  $r_0$  очень велико, то ток ( $I$ ) не зависит от нагрузки.

Реальный источник тока замещается эквивалентной схемой (Рис 3), состоящей из идеального источника тока ( $J$ ) и параллельно включенного резистора с очень высоким сопротивлением ( $r_0$ ).

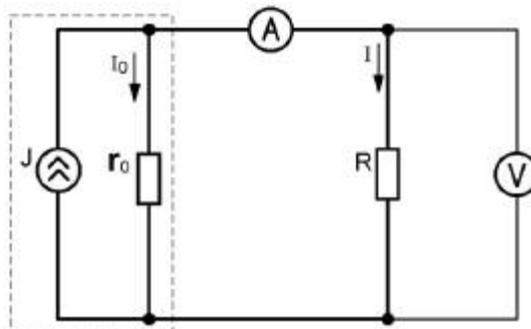


Рис. 3

Компоненты схемы замещения реального источника – идеальный источник постоянного тока и внутренняя проводимость (или сопротивление) – физически не разделимы.

## Методика выполнения лабораторной работы

В работе исследуется цепь, состоящая из источника тока и резистора, включенного в качестве нагрузки. Реальный источник тока собран на базе источника  $I (+J)$ , представляющего внутренний источник тока рабочей станции NI Elvis II, и соединенного параллельно с ним резистора, определяющего внутреннюю проводимость источника. Внутренняя проводимость источника должна быть как минимум на порядок меньше проводимости нагрузки.

Значение внутреннего сопротивления  $r_0$  и ток источника ( $J$ ) выбираются из таблицы в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

После сборки цепи устанавливаются заданные значения внутреннего сопротивления и тока, пошагово изменяется сопротивление нагрузки и измеряются значения тока источника и напряжения на нагрузке.

На основании экспериментальных данных строится внешняя характеристика источника тока. Опыт повторяется для двух дополнительных вариантов, заданных преподавателем.

*Будьте внимательны при установке значений пассивных компонентов (в данном случае – сопротивлений). Величина, указанная в поле значения компонента должна соответствовать реальному значению сопротивления элемента, использованного в*

### Приборы и компоненты, используемые в лабораторной работе

1. Потенциометры  $\times 10$  Ом и  $\times 100$  Ом
2. Источник тока (+J)
3. Вольтметр (V1)
4. Амперметр (A1).

### Подготовка к проведению лабораторной работы

1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**).
2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).
3. Из главного меню двойным щелчком выберите лабораторную работу **Изучение источника постоянного тока**. Нажмите кнопку **Следующий (>>)** на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное в соответствии с Рис 3 изображение электрической схемы лабораторной работы с установленными на ней полями компонентов и приборов (Рис 4).
4. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на Рис 3. Установите номинал внутреннего сопротивления  $r_0$ , соответствующей заданному преподавателем варианту из Табл. 1.

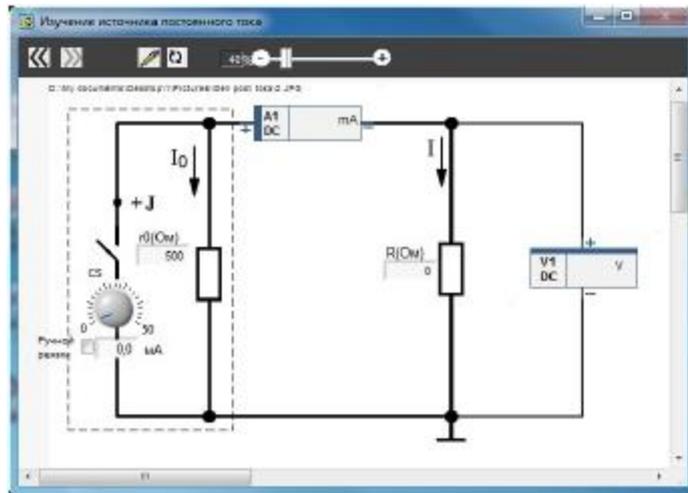


Рис 4

4. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на Рис 3. Установите номинал внутреннего сопротивления  $r_0$ , соответствующей заданному преподавателем варианту из Табл. 1.
5. Введите в поле значения  $r_0$  на рабочем поле лицевой панели величину, соответствующую номиналу установленного на плате резистора.
6. В качестве сопротивления нагрузки  $R$  будет использоваться потенциометр  $\times 10$  Ом. Установите ручку потенциометра в нулевое положение.

Табл. 1

N	$+J$	$r_0$
	[mA]	[Ом]
1	10	500
2		600
3		700
4		800
5		900
6		1000

#### Пошаговый порядок выполнения лабораторной работы

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I** (включен). Загорится светодиод *Питание* на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II**.
2. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку *Старт/Стоп*, затем поставьте галочку в поле *Смещ. 0*.
3. Установите ток короткого замыкания (сопротивление нагрузки равно нулю) равным 10мА.
4. Для снятия внешней характеристики, вращая ручку потенциометра  $\times 10$  Ом, пошагово увеличивайте сопротивление цепи (от 0 до 50 Ом с шагом 10 Ом). На каждом шаге, нажимая *Запись*, записывайте показания приборов.

5. Снимите внешние характеристики для двух дополнительных вариантов внутреннего сопротивления, заданных преподавателем.
6. Щелчком по иконке **MS Excel** откройте файл данных и сохраните его.
7. Нажмите **Стоп**.
8. По данным опытов рассчитайте внутреннее сопротивление  $r_0$  для каждой характеристики и заполните Табл. 2, и сохраните. Сравните величины номиналов установленных на плате элементов со значениями, рассчитанными на основании экспериментально полученных данных.

**Табл. 2**

№	Установить			Измерить		Рассчитать		
	$r_0$	$+J$	$R$	$V1$	$A1$	$\Delta U$	$\Delta I$	$r_0$
	[Ом]	[мА]	[Ом]	[В]	[мА]	[В]	[мА]	[Ом]
1			0					
2			10					
3			20					
4			30					
5			40					
6			50					
Среднее значение								

### Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя файл в формате Excel, содержащий графики и расчёты в соответствии с требованиями раздела **Пошаговый порядок выполнения лабораторной работы**.

#### Контрольные вопросы:

1. При каком внутреннем сопротивлении источника тока изменение выходного тока больше при изменении сопротивления нагрузки?

а)  $r_0 = 1 \text{ кОм}$

б)  $r_0 = 10 \text{ кОм}$

в)  $r_0 = 0,1 \text{ кОм}$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тревис Дж. LabVIEW для всех. М.:ДМК Пресс, ПриборКомплект, 2005 – 544 с.
2. Суранов А.Я. Справочник по функциям. М.:ДМК Пресс, 2005. – 512 с.
3. Климентьев Е.К. Основы графического программирования в среде LabVIEW. Учебное пособие. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2002 г. - 65 с.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учебник для ВУЗов. - 2-е изд. СПб.: Питер, 2006 - 751 с.
5. Учебный курс LabVIEW. Основы I. National Instruments corp., 2002.
6. LabVIEW user manual. National Instruments corp., 2007.