

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»

Направление подготовки	Нефтегазовое дело	
Направленность (профиль)	Бурение нефтяных и газовых скважин	
Год начала обучения	2026	
Форма обучения	очная	очно-заочная
Реализуется в семестре	5	5

Ставрополь, 2026

В настоящем учебном пособии приведены методика и порядок выполнения лабораторных работ, указания по технике безопасности и перечень вопросов для защиты работ по дисциплине «Электротехника». Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с ФГОС ВО и программой дисциплины « Электротехника» и предназначено для студентов направления подготовки 21.03.01«Нефтегазовое дело» профиля «Бурение нефтяных и газовых скважин».

Оглавление

Введение	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1.....	5
Исследование линейных цепей постоянного тока	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2	38
Последовательное соединение потребителей однофазного переменного тока. Резонанс напряжений и токов в цепях синусоидального тока	38
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3	73
Трехфазные цепи. Исследование цепи трехфазного тока при различных схемах соединения нагрузки	73
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4	96
Исследование характеристик и параметров однофазного трансформатора	96
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5	111
Исследование характеристик диодов, стабилитронов, тиристорov	111

Введение

Целью дисциплины «Электротехника» является формирование компетенции ОПК-4. Лабораторный практикум способствует получению навыков согласно указанных компетенций на базе теоретического материала, изучаемого на лекционных занятиях. В результате изучения дисциплины у студента формируются указанные выше компетенции, приобретаются навыки расчета однофазных и трехфазных электрических цепей, навыки работы с электрическими машинами и электрооборудованием строительных объектов, с измерительными приборами, а также навыки соблюдения мер безопасности при работе с электроустановками.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

Исследование линейных цепей постоянного тока

Цель работы:

1. Измерить ток и напряжение в цепи, экспериментально убедиться в верности закона Ома.
2. Экспериментально убедиться в верности первого и второго законов Кирхгофа.
3. Построить потенциальную диаграмму для контура.
4. Экспериментально определить внутренние сопротивления: источника постоянного напряжения и источника тока. Построить графики их внешних характеристик.

В результате выполнения лабораторной работы у студента формируются компетенции ОПК-4.

Теоретическое обоснование

Закон Ома для участка цепи между зажимами a и b (рисунок 1.1) позволяет найти ток I участка по разности потенциалов $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$ и сопротивлению R этого участка:

$$I = \frac{U_{ab}}{R} = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R}. \quad (1.1)$$

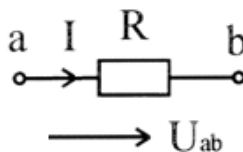


Рисунок 1.1 – Участок цепи

Законы Кирхгофа.

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

Для формулировки законов Кирхгофа, в электрической цепи выделяются *узлы и ветви*. *Ветвь* можно определить как участок цепи, образованный последовательно соединенными элементами (через которые течет одинаковый

ток) и заключенный между двумя узлами. В свою очередь, *узел* – это точка цепи, в которой сходятся не менее трех ветвей.

Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю.

$$\sum I_i = 0. \quad (1.2)$$

Второй закон Кирхгофа: алгебраическая сумма падений напряжений на элементах контура (под контуром здесь понимается замкнутая последовательность ветвей, не содержащих источников тока) равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом же контуре:

$$\sum_{i=1}^n U_i = \sum_{i=1}^n E_i \text{ или } \sum_{i=1}^n I_i \cdot r_i = \sum_{i=1}^n E_i. \quad (1.3)$$

Рассмотрим применение законов Кирхгофа для электрической цепи изображенной на рисунке 1.1.

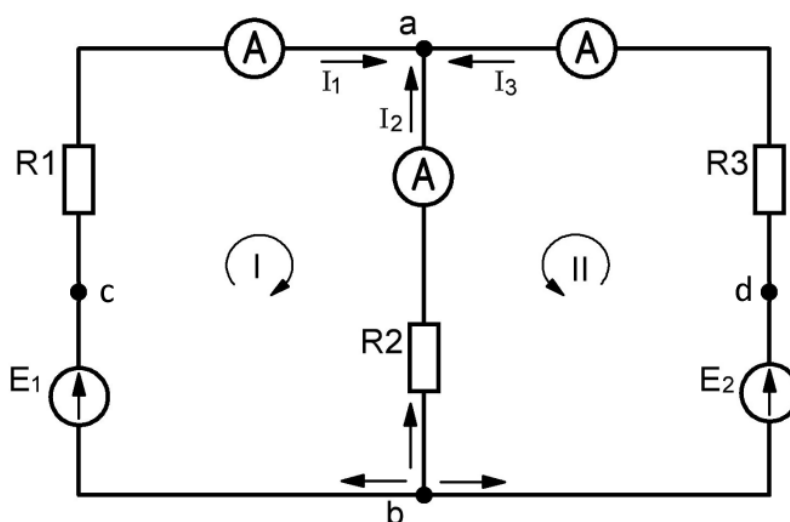


Рисунок 1.1 – Схема линейной электрической цепи постоянного тока

Определим количество уравнений для расчета электрической цепи постоянного тока. В качестве неизвестных определим токи в ветвях, а известными будем считать параметры элементов электрической цепи. Так по первому закону Кирхгофа записывают уравнений на одно меньше, чем узлов в электрической цепи. На основании первого закона Кирхгофа для узла *a* схемы, изображенной на (Рисунке 1.1), можно составить следующее уравнение:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad (1.4)$$

По второму закону Кирхгофа записывается столько уравнений, сколько неизвестных токов в ветвях и минус количество уравнений по первому закону

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

$$I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2 = E_1 \quad (1.5)$$

$$-I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 = -E_2 \quad (1.6)$$

Таким образом, всего уравнений по обоим законам Кирхгофа должно быть столько, сколько неизвестных токов в ветвях цепи. Уравнения (1.4)-(1.6) представляют собой систему линейных уравнений, которая полностью описывает рассматриваемую цепь.

Примером применения второго закона Кирхгофа является построение *потенциальной диаграммы*. Под потенциальной диаграммой понимают график распределения потенциала на каком-либо участке цепи или в 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) (Рисунок 1.2).

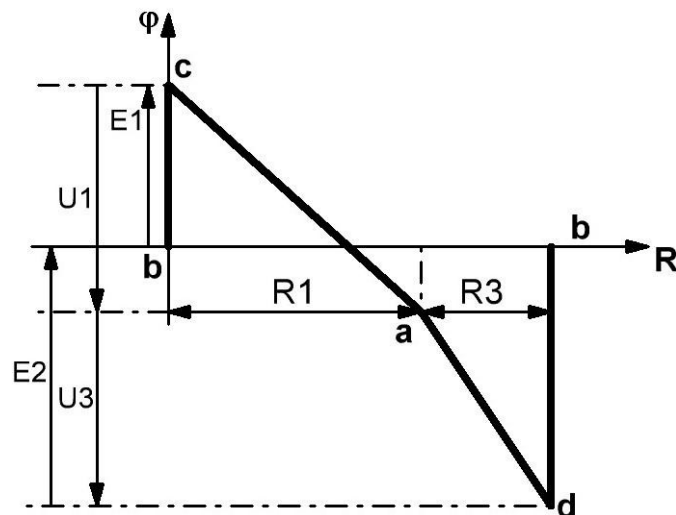


Рисунок 1.2 – Потенциальная диаграмма

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 (Рисунок 1.2).

Рассмотрим виды источников электрической энергии.

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.

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.

Приведенному описанию источника постоянного напряжения соответствует электрическая схема замещения, состоящая из источника ЭДС и соединенного последовательно с ним сопротивления, представленная на рисунке 1.3.

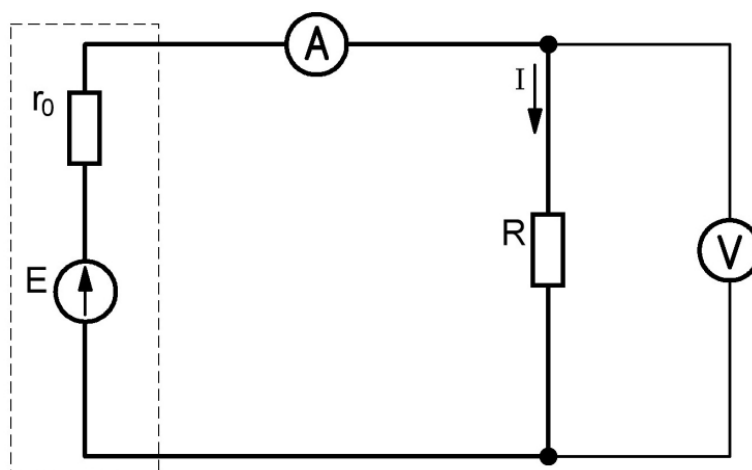


Рисунок 1.3 – Схема замещения неидеального источника напряжения

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.

График внешней характеристики источника напряжения при подключенной нагрузке R показан на рисунке 1.4.

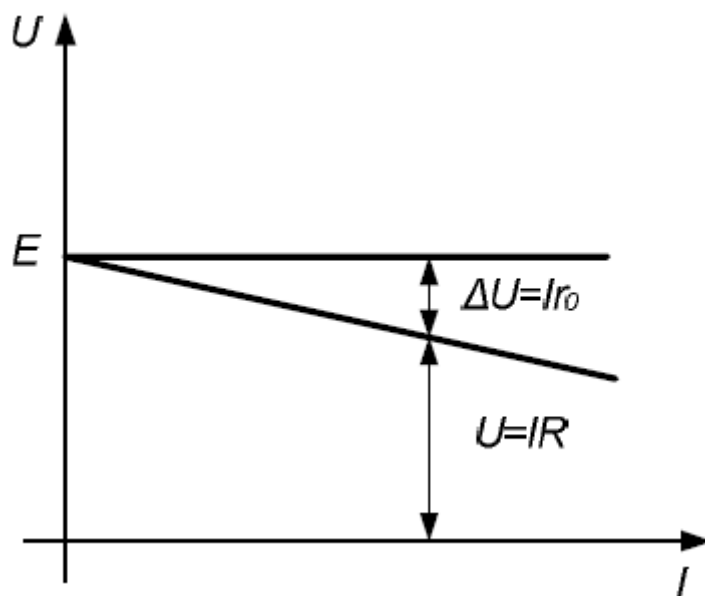


Рисунок 1.4 – Внешняя характеристика источника напряжения

В большинстве случаев внешняя характеристика источника питания имеет почти линейный вид.

Выражение для внешней характеристики источника:

$$U = E - I \cdot r_0 \quad (1.7)$$

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.

Вольтамперная характеристика идеального источника тока представляет собой вертикальную линию (рисунок 1.5).

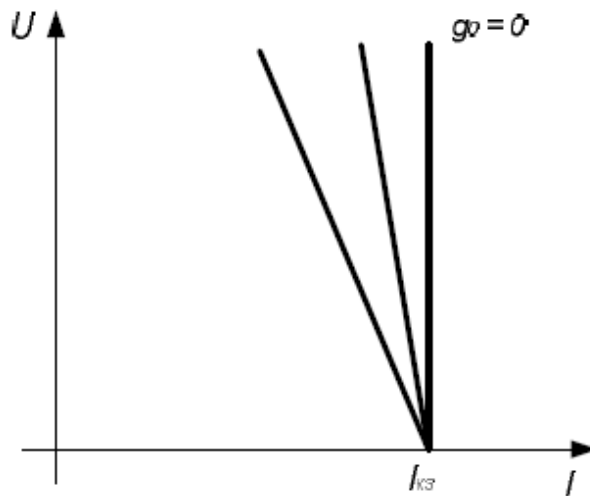


Рисунок 1.5 – Внешняя характеристика источника тока

В общем случае зависимость напряжения на выводах от тока источника нелинейна (кривая 1 на рисунке 1.6). 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 $U = 0; I = I_{кз}$.

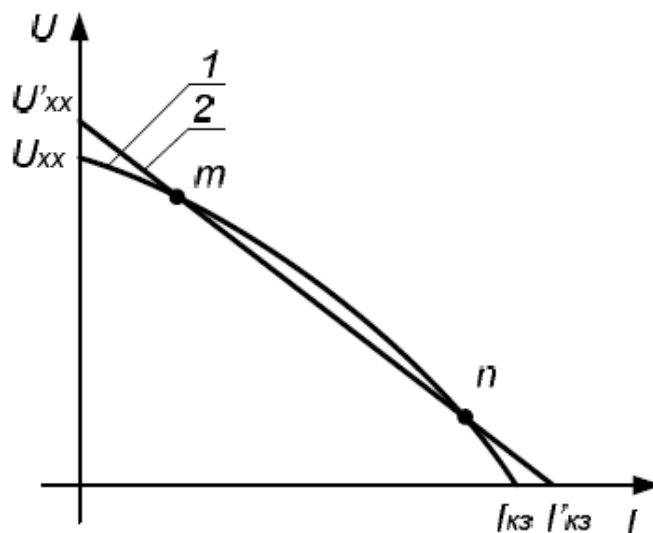


Рисунок 1.6 – Аппроксимация внешней характеристики источника тока

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.

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 рисунке 1.6 описывается линейным уравнением

$$U = U_{xx} - I \cdot r_0 \quad (1.8)$$

где U_{xx} – напряжение на зажимах источника при отключенной нагрузке, $r_0 = \frac{U_{xx}}{I_{кз}}$.

Реальный источник тока замещается эквивалентной схемой (рисунок 1.7), состоящей из идеального источника (J) и параллельно включенного резистора с очень высоким сопротивлением r_0 .

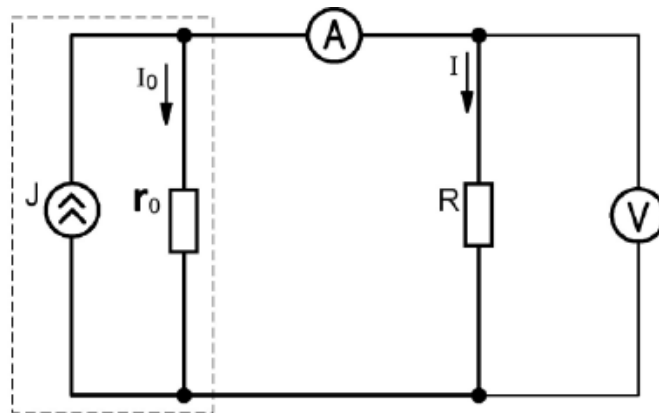


Рисунок 1.7 – Схема замещения неидеального источника тока

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

Оборудование и материалы

1. Лабораторная работа выполняется на специально разработанной макетной плате «Теоретические основы электротехники» для рабочей станции **NI ELVIS II** сопряженной с ПЭВМ. В дальнейшем будем эту систему называть лабораторный стенд (рисунок 1.8).

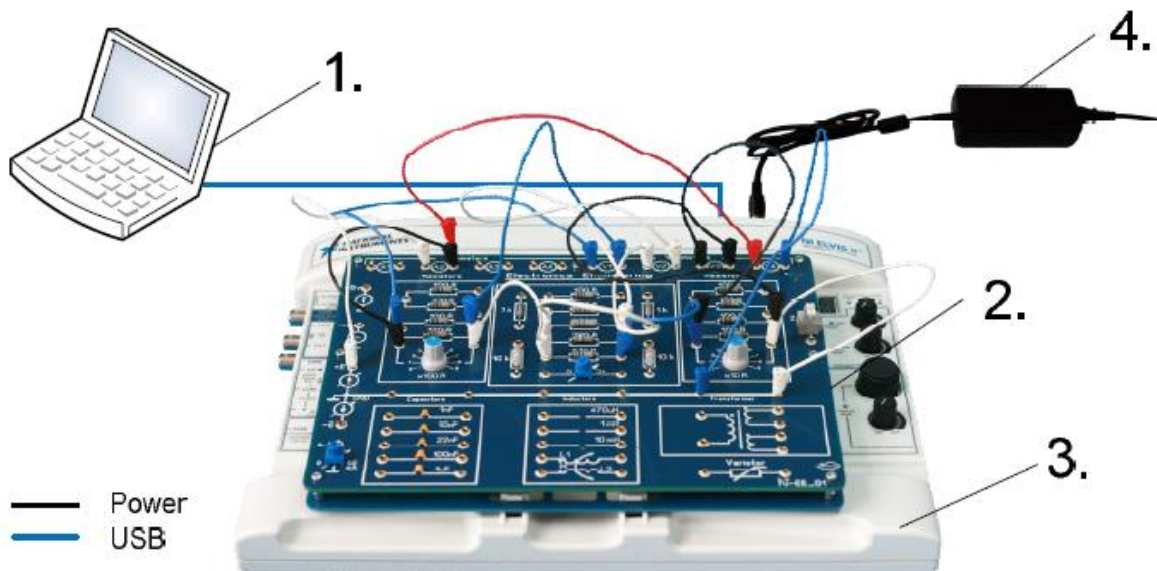


Рисунок 1.8 –Лабораторный стенд подключаемый к ПЭВМ: 1 – персональный компьютер (ПЭВМ); 2 – макетная плата; 3 – контрольно-измерительное оборудование NI ELVIS II, подключаемое к (1) по USB; 4 – Блок питания обеспечивающий электропитание NI ELVIS II и макетной платы

2. В стандартной комплектации лабораторного стенда имеются соединительные провода 17 шт.

3. Для работы лабораторного стенда необходимо также иметь следующее оборудование и программное обеспечение. **Системные требования к персональному компьютеру:** Pentium-4 и выше, ОЗУ минимум 256МБ, свободное пространство на жестком диске не менее 200МБ. Видеокарта и монитор Поддерживающее разрешение экрана не менее 1024x768 точек. **Необходимое программное обеспечение.** Операционная система: MS Windows 7. Microsoft Office 2010. Для чтения документации: Adobe Reader 9.0 или выше. Программное обеспечение NI ELVIS II+ (или «NI ELVIS II»). Программное обеспечение **Electronics Engineering Board 2** для проведения лабораторных работ.

Указания по технике безопасности

1. К работе на стендах допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры физики, электротехники и электроники и ознакомившиеся с настоящими методическими указаниями. Прохождение инструктажа по технике безопасности фиксируется преподавателем в специальном журнале.

2. Лабораторная работа должна выполняться не менее чем двумя студентами.

3. Сборку схемы осуществлять исправными соединительными проводами, используя при этом приведенные в лабораторной работе принципиальные схемы экспериментов.

4. Собранная цепь проверяется преподавателем и может включаться только по его разрешению. О включении напряжения предупреждают всех членов бригады, выполняющих работу.

5. Изменения схемы производят только при выключенном напряжении на стенде, а вновь собранная схема перед подачей на нее напряжения проверяется преподавателем.

6. По окончании испытания или при перерыве в работе схему отключают от напряжения питания. Разборку схему осуществляют по разрешению преподавателя.

7. Запрещается включение лабораторного стенда в сеть в присутствии легковоспламеняющихся жидкостей или в атмосфере, содержащей горючие газы.

8. 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.

Задания

Описание макетной платы лабораторного стенда.

На плате установлены электронные компоненты и контактные площадки измерительных приборов, но нет заранее собранных электрических схем. Сборка схем осуществляется студентом при помощи соединительных проводов из комплекта стенда. На плате имеется индикатор включения питания (светодиод **Питание**), и предусмотрена защита от перегрузок.

Макетная плата условно разделена на зоны (рисунок 1.9):



Рисунок 1.9 – Макетная плата и зоны элементов на ней

1. Зона измерительных приборов: 4 амперметра и 4 вольтметра.
2. Зона источников, параметры которых представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Параметры источников электрической энергии

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+ (VPSpos)*	Диапазон: 0 ... +10 В
Регулируемый источник напряжения	-E	VPS- (VPSneg)*	Диапазон: -10 ... 0 В
Регулируемый источник тока	+J	CS	Диапазон: 0 ... 50 мА

3. Зоны:

- с 4 последовательно соединенными резисторами по 100 Ом и галетным переключателем 0..900 Ом с шагом 100 Ом;
- с 4 последовательно соединенными резисторами по 100 Ом и галетным переключателем 0..90 Ом 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 «нейтрали» («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.

Работа с макетной платой лабораторного стенда.

На макетной плате имеются контактные площадки, при помощи которых можно производить электрические соединения для подачи напряжений и токов, а также для передачи полученных сигналов устройству **NI ELVIS II** для измерений. Электрические подключения производятся при помощи соединительных проводов (рисунок 1.10), вставляемых в контактные гнезда на плате согласно схеме, приведенной на лицевой панели каждой лабораторной работы. К одному гнезду, при необходимости, можно одновременно подключать несколько соединительных проводов, вставляя штекеры на концах проводов друг в друга.

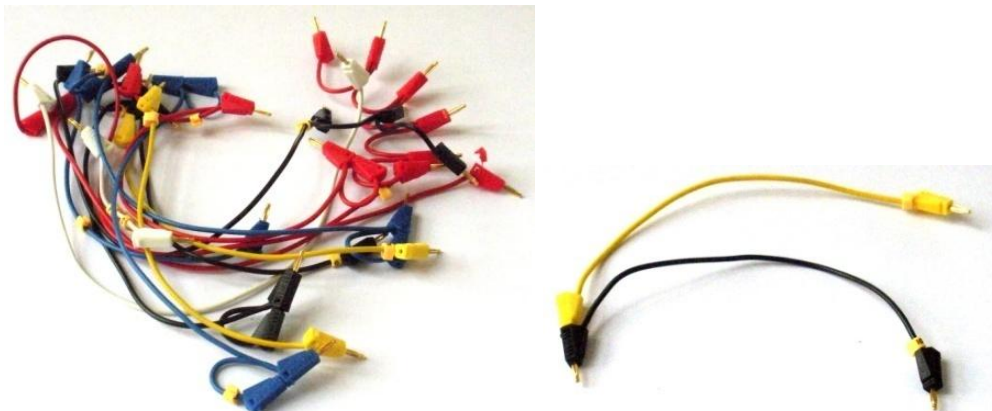


Рисунок 1.10 – Соединительные провода

Включение и подготовка к работе. Если платформа **NI ELVIS II** выключена, включите ее при помощи выключателя, расположенного на торце устройства в задней части, рядом с разъемом для подключения кабеля питания (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Выключатель питания NI ELVIS II

При включении сперва должен зажегаться желтый светодиод «USB Active» (4), затем через несколько секунд, после того, как компьютер распознает устройство, светодиод гаснет и загорается желтый светодиод «USB Ready» (3) (рисунок 1.12)

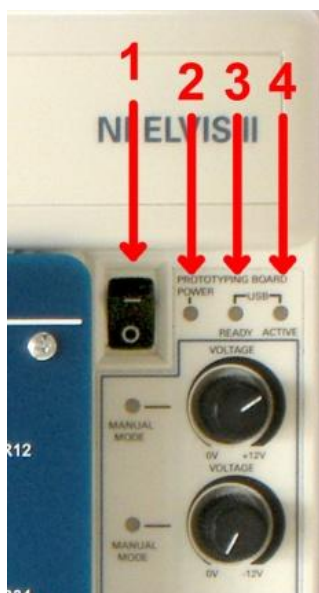


Рисунок 1.12 – Выключатель питания платы и индикаторы

Если после включения питания платформы **NI ELVIS II** на экране компьютера откроется мастер выбора устройства сбора данных (рисунок 1.13), щелкните **Cancel** для выхода из этого окна.

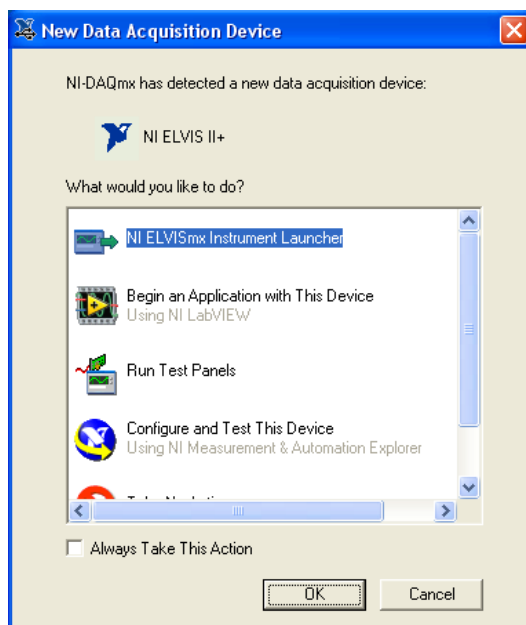
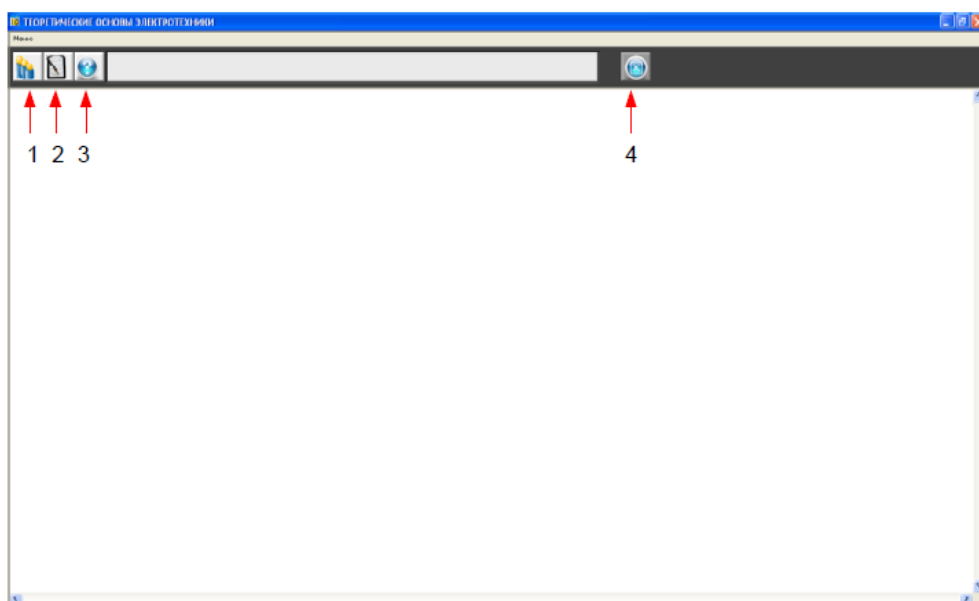


Рисунок 1.13 – Мастер выбора устройства сбора данных

Затем включите выключатель питания платы (1) (рисунок 1.11), при этом должны загореться зеленый светодиод **PROTOTYPING BOARD POWER** (2) и красный светодиод **Питание** на плате.

Запуск программы и проведение лабораторных работ. Запуск программы осуществляется двойным щелчком по ярлыку Electronics Engineering Board 2 на рабочем столе или через стартовое меню Windows: Пуск -> Electronics Engineering Board 2.

При запуске программы на экран монитора выводится лицевая панель с элементами меню (рисунок 1.14).



1. Вход в систему
2. Регистрация
3. Помощь
4. Выход

Рисунок 1.14 – Начальное окно программы

При выключенном питании платформы **NI ELVIS II**, либо если вместо макетной платы Electronics Engineering Board 2 была установлена другая плата, программа выведет сообщение ошибки: **«Устройство не подключено. Продолжить?»** (рисунок 1.15)

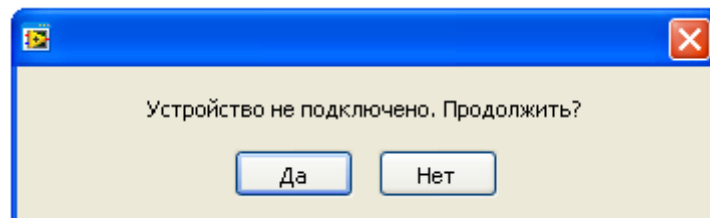


Рисунок 1.15 – Сообщение ошибки о невозможности обнаружения платы

При выборе варианта **Нет** будет осуществлен выход из программы. В случае выбора варианта **Да** можно продолжить работу, но в индикаторных полях приборов вместо действительных сигналов и измеренных значений будут выводиться случайные величины.

Регистрация и вход. Для получения доступа к лабораторным работам пользователь должен зарегистрироваться (выбрать в меню элемент **Регистрация**) или **Войти**.

Нажимаем **Войти**. Для всех персональных компьютеров в появившемся диалоговом окне рисунок 1.16 в строке **Имя пользователя** необходимо написать ПКХ, где Х это № компьютера указанный на мониторе в правом верхнем углу. В строке **Пароль** нужно указать 1111.

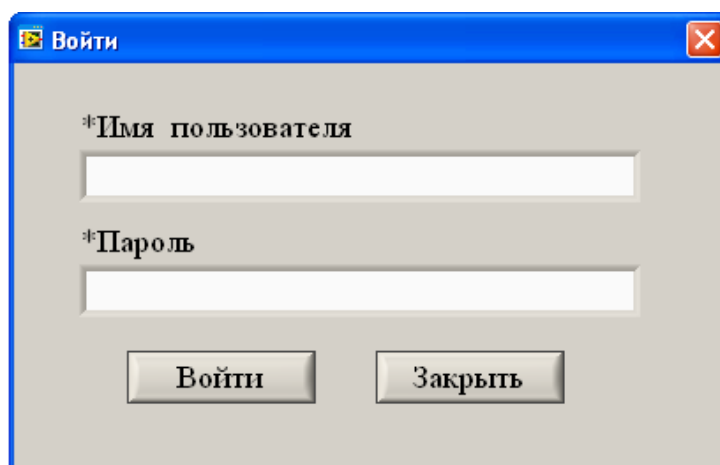


Рисунок 1.16

При выборе пункта меню **Регистрация** откроется окно регистрации (рисунок 1.17).

Рисунок 1.17 – Окно регистрации

Необходимо заполнить следующие поля: группа, имя и фамилия, имя пользователя, пароль.

Затем укажите путь к рабочей папке, в которой будут храниться стандартные файлы задания и отчеты по проведенным лабораторным работам, и нажмите кнопку **Регистрация**.

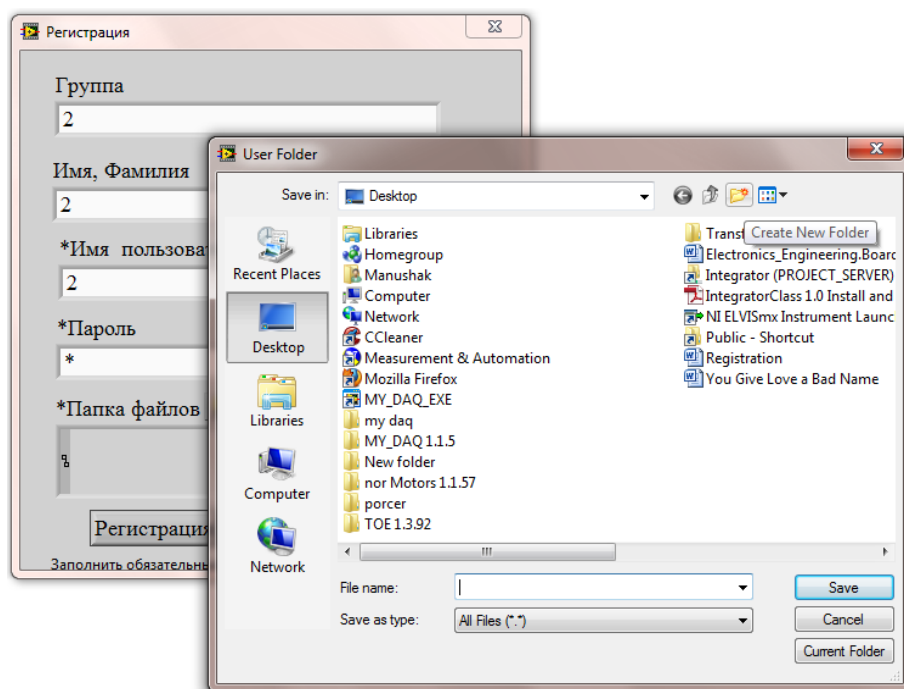


Рисунок 1.18

Если для пользователя уже создана рабочая папка, то необходимо войти в нее, и сделать ее текущей (нажав **Current Folder** -> **ОК**, рисунок 1.19).

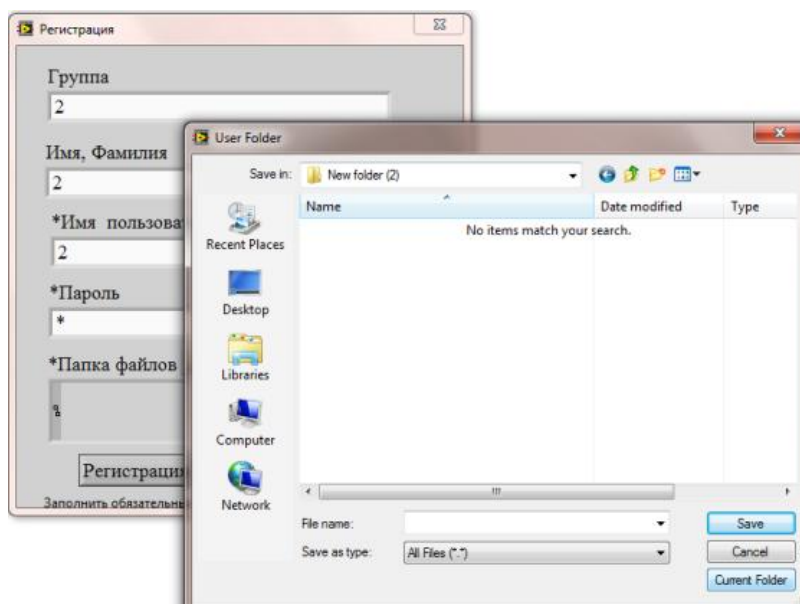


Рисунок 1.19

При заполнении полей регистрации недопустимо использовать текст в юникоде, а также символы '?', '/', '\', '|', '*', '&', '<', '>', '+', '=', ':', ','.

После проведения лабораторной работы результаты, сохраненные в формате MS Excel, будут также включать регистрационные данные студента.

После входа в программу откроется **главное** меню (рисунок 1.20). Переход к выбранной лабораторной работе производится двойным щелчком по соответствующей строке меню.

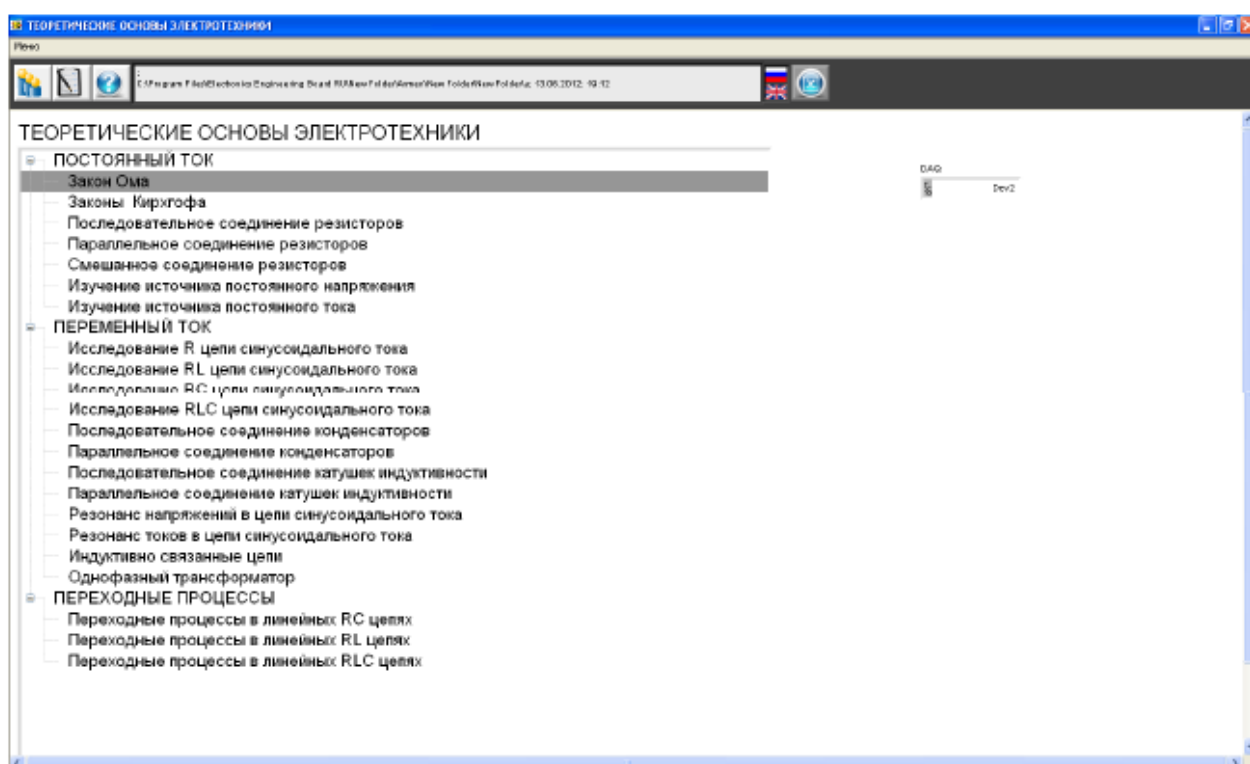


Рисунок 1.20 – Окно главного меню

Перед тем, как приступить к выполнению лабораторной работы, студент должен:

1. Внимательно ознакомиться с требованиями по технике безопасности.
2. Ознакомиться с теоретическими материалами по теме.
4. Изучить методику проведения лабораторных работ.
5. Понимать принципы работы электрических схем.

Лабораторная работа №1 «Исследование линейных цепей постоянного тока» будет содержать четыре эксперимента из главного меню рисунок 1.20: «Закон Ома», «Законы Кирхгофа»; «Изучения источника постоянного напряжения», «Изучения источника постоянного тока».

1 эксперимент: «Закон Ома». Приборы и компоненты:

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

Подготовка к проведению эксперимента «Закон Ома».

1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**, см. Рисунок 1.11).
2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).
3. Из главного меню (рисунок 1.20) двойным щелчком выберите эксперимент «Закон Ома». На рисунке 1.21 показано окно данного эксперимента. Окно состоит из главного меню, панели управления и рабочего поля (рисунок 1.21).

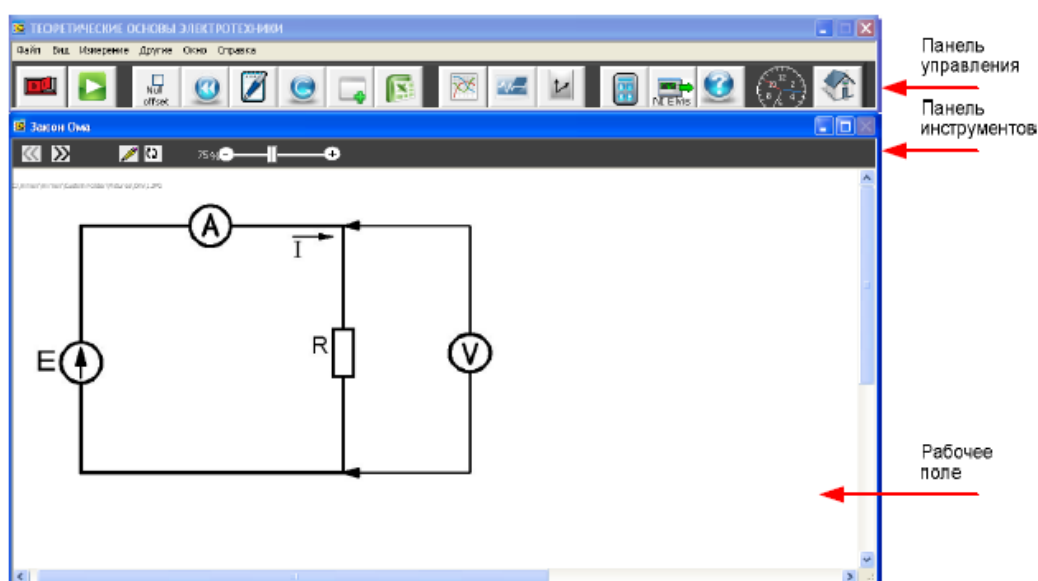


Рисунок 1.21 – Лицевая панель эксперимента «Закон Ома»

Нажмите кнопку **Следующий** (>>) на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное в соответствии с рисунком 1.21 изображение электрической схемы лабораторной работы с размещенными на ней полями компонентов и приборов (рисунок 1.22).

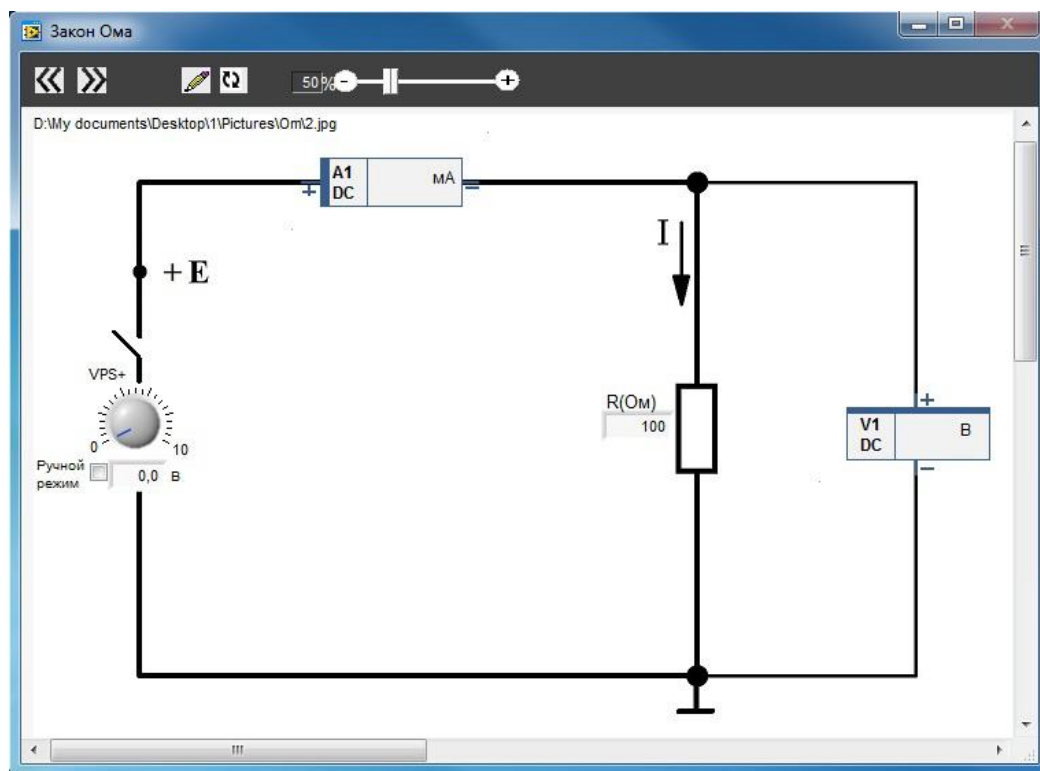


Рисунок 1.22 – Схема электрической цепи эксперимента «Закон Ома»

4. Соберите на макетной плате электрическую цепь в соответствии со схемой на рисунке 1.22. Установите номинал сопротивления, соответствующий заданному преподавателем варианту (N) в соответствии с таблицей 1.2.

Таблица 1.2 – Варианты (N) параметров элементов для эксперимента «Закон Ома»

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

5. Введите в поле изображенное на рисунке 1.22 значение $R \text{ (Ом)}$ равное величине, соответствующее номиналу установленного на плате резистора согласно заданному варианту.

6. Представьте собранную схему для проверки преподавателю. После проверки приступить к выполнению эксперимента «Закон Ома».

Пошаговый порядок выполнения эксперимента «Закон Ома».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) 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 (рисунок 1.23) кнопку (1) **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле (3) **Смещ. 0**.



Рисунок 1.23 – Панель управления. Кнопка 1 Старт/Стоп. Индикатор подключения платы: – красного цвета, если макетная плата не подключена к станции NI ELVIS II+, – зеленого, если есть подключение. Запускает источники напряжения, тока и измерители. Кнопка 2 Сброс. Выключает все источники напряжения, тока и измерители. Кнопка 3 Смещение нуля. Галочка в этом поле приводит к смещению показаний всех инициализированных измерителей на величину показаний соответствующих измерителей в момент выставления галочки. Установку Смещения нуля рекомендуется производить перед началом каждой лабораторной работы. Кнопка 4 Сброс измерений – стирает результаты всех измерений в данной эксперименте в файле MS Excel и окне Графопостроителя. Кнопка 5 Запись – производит запись в файл MS Excel индицируемых в момент нажатия показаний всех измерителей, установленных на рабочем поле и отмечает точку с этими показаниями в окне Графопостроителя. Кнопка 6 Отменить запись – стирает все данные, записанные в MS Excel и зафиксированные на Графопостроителе в результате последней операции Запись. Кнопка 7 Новый график – создает новую таблицу в файле MS Excel и начинает вычерчивать новый график в окне Графопостроителя. Кнопка 8 Excel таблица – вызывает файл MS Excel. Кнопка 9 Графопостроитель – вызывает окно инструмента Графопостроитель. Кнопка 10 Осциллограммы – вызывает окно инструмента Осциллограммы. Кнопка 11 Векторная диаграмма – вызывает окно инструмента Векторная диаграмма. Кнопка 12 Калькулятор – вызывает инструмент Калькулятор. Кнопка 13 NI инструменты – вызывает меню инструментов станции NI ELVIS II. Кнопка 14 Помощь – вызывает меню с Руководством пользователя и информацией о программе. Кнопка 15 Вернуться в главное меню – возвращает в окно с меню экспериментов.

Исследование зависимости $I = f(U)$ при $R = \text{const}$.

3. Установите начальное значение напряжения **VPS+** (рисунок 1.22) равным 1 В. Показание приборов A1, V1 покажут ток и напряжения в исследуемой цепи. Нажмите **Запись**. Затем нажмите кнопку (8) панели управления (рисунок 1.23), откроется файл **MS Excel**. Необходимо убедиться в том, что в указанный файл были записаны данные измерительных приборов. При необходимости пункты 1-3 порядка выполнения эксперимента повторить.

4. Пошагово увеличивайте напряжение источника (от 1 В до 10 В, с шагом 1 В) и, нажимая **Запись**, фиксируйте показания приборов. При этом проверяйте запись данных измерительных приборов в файл **MS Excel**.

5. По окончании установите значение напряжения **VPS+** равным нулю.

6. Установите на плате номинал сопротивления, отличный от заданного преподавателем согласно варианта (см. таблица 1.2).

7. Введите эту же величину сопротивления в **поле значения R** на рабочем поле лицевой панели и нажмите кнопку (7) на панели управления **Новый график**.

8. Повторите пункты 3–7. При этом проверяйте запись данных измерительных приборов в файл **MS Excel**. По окончании сохраните файл **MS Excel**. Данные этого файла будут необходимы при подготовки отчета о лабораторной работе.

9. Нажмите **Стоп**.

Исследование зависимости $I = f(R)$ при $U = \text{const}$.

10. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О** (выключен).

11. Нажмите на рабочем поле кнопку **Следующий (>>)** и измените схему на плате в соответствии с рисунком 1.24.

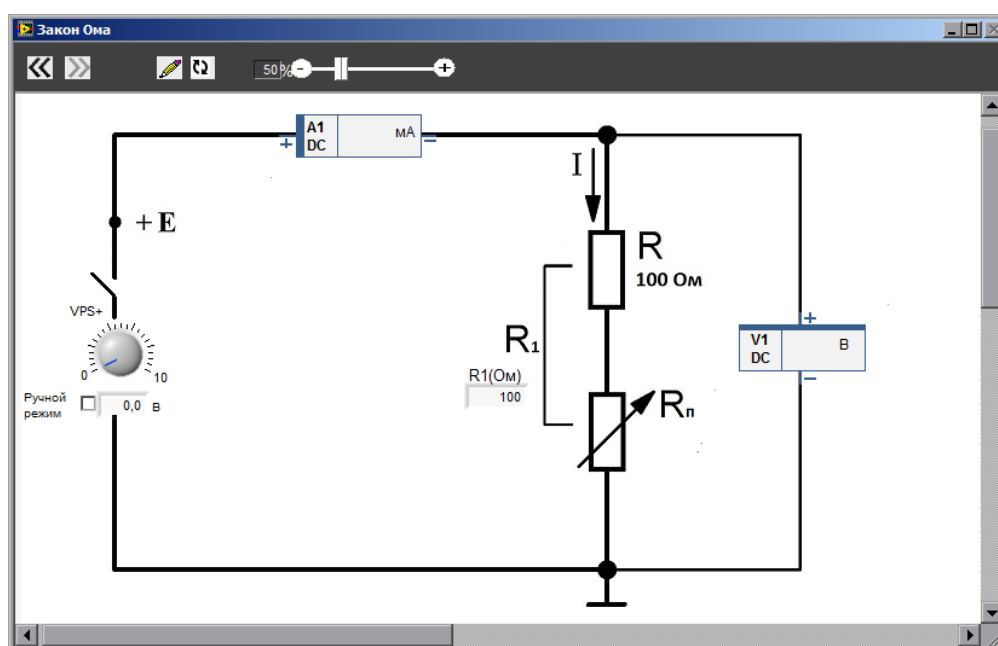


Рисунок 1.24

12. Представьте собранную схему для проверки преподавателю. После проверки установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I** (включен).

13. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления (рисунок 1.23) кнопку (1) **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле (3) **Смещ. 0**.

14. 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.

15. Вращая ручку **VPS+** на рабочем поле, установите соответствующее заданному преподавателем варианту (*N*) напряжение, в соответствии с таблицей 1.3.

Таблица 1.3 – Варианты (*N*) для эксперимента

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

16. Потенциометром **x100 Ом** пошагово увеличивайте сопротивление цепи (от 100 до 1000Ом, с шагом 100 Ом). На каждом шаге вводите в поле значения величину получившегося сопротивления цепи и, нажимая **Запись**, фиксируйте показания приборов. При этом проверяйте запись данных измерительных приборов в файл **MS Excel**.

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

18. Повторите пп.14 - 16 для разных значений напряжения, отличных от заданного преподавателем согласно варианта (см. таблица 1.3).

19. При этом проверяйте запись данных измерительных приборов в файл **MS Excel**. По окончании сохраните файл **MS Excel**. Данные этого файла будут необходимы при подготовки отчета о лабораторной работе.

20. Нажмите **Стоп**.

21. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).

2 эксперимент: «Законы Кирхгофа». Приборы и компоненты:

1. Сопротивления (зона резисторов на плате);
2. Источники напряжения (E1, E2);
3. Амперметры (A1, A2, A3);
4. Вольтметры (V1, V2, V3).

Подготовка к проведению эксперимента

1. Закройте **Панель управления**, нажав на крестик в правом верхнем углу. В результате будет доступно **Главное меню** (рисунок 1.20).

2. Из главного меню двойным щелчком выберите эксперимент «**Законы Кирхгофа**». Нажмите кнопку **Следующий** (>>) на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное в соответствии с рисунком 1.25 изображение электрической схемы лабораторной работы с установленными на ней полями компонентов и приборов.

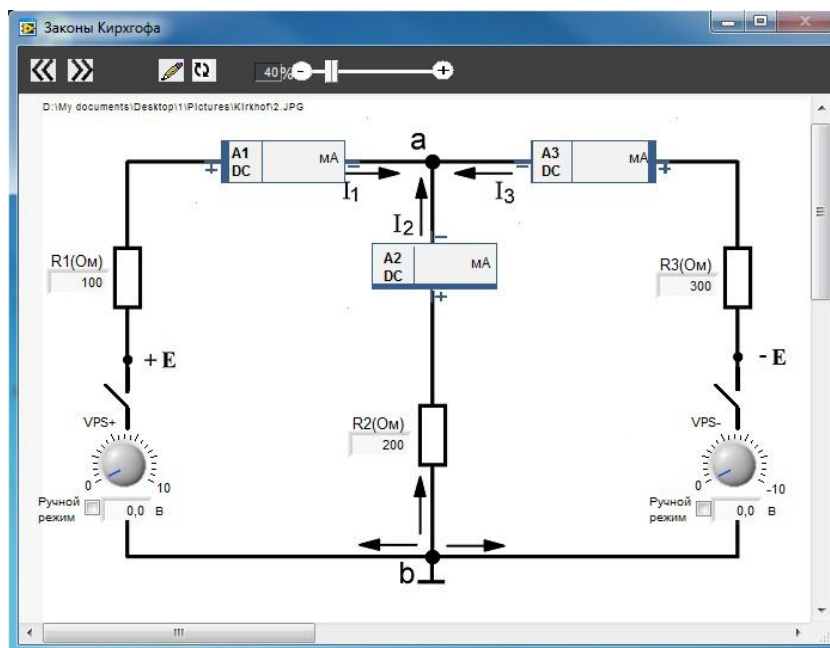


Рисунок 1.25

3. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой, показанной на рисунке 1.25. Установите номиналы сопротивлений, соответствующие заданному преподавателем варианту (N) (см. таблицу 1.4). К узлу **a** – следует присоединить концы амперметров с одинаковой полярностью.

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

Таблица 1.4 – Варианты (N) для эксперимента «Законы Кирхгофа»

N	$E1$	$E2$	$R1$	$R2$	$R3$
	$[B]$	$[B]$	$[Om]$	$[Om]$	$[Om]$
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

4. Введите в поле изображенное на рисунке 1.25 значение R (Ом) согласно заданному варианту таблицы 1.4.

5. Представьте собранную схему для проверки преподавателю. После проверки приступить к выполнению эксперимента «Закон Кирхгофа».

Пошаговый порядок выполнения эксперимента «Законы Кирхгофа».

Первый закон Кирхгофа.

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) 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 (рисунок 1.23) кнопку (1) **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле (3) **Смещ. 0**.

3. Установите соответствующие заданному преподавателем варианту (см. таблицу 1.4) значения источников напряжения, $E1$: + E (VPS+) и $E2$: - E (VPS-). Приборы $A1$, $A2$, $A3$ покажут токи в исследуемой цепи. Нажмите **Запись**. Затем нажмите кнопку (8) панели управления (рисунок 1.23), откроется файл **MS Excel**. Необходимо убедиться в том, что в указанный файл были записаны данные измерительных приборов. Данные этого файла будут необходимы при подготовки отчета о лабораторной работе.

4. Нажмите **Стоп**, затем **Новый график**.

Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).

Второй закон Кирхгофа.

5. Щелчком по кнопке **Следующий** (>>) на рабочем поле откройте новую схему (рисунок 1.26).

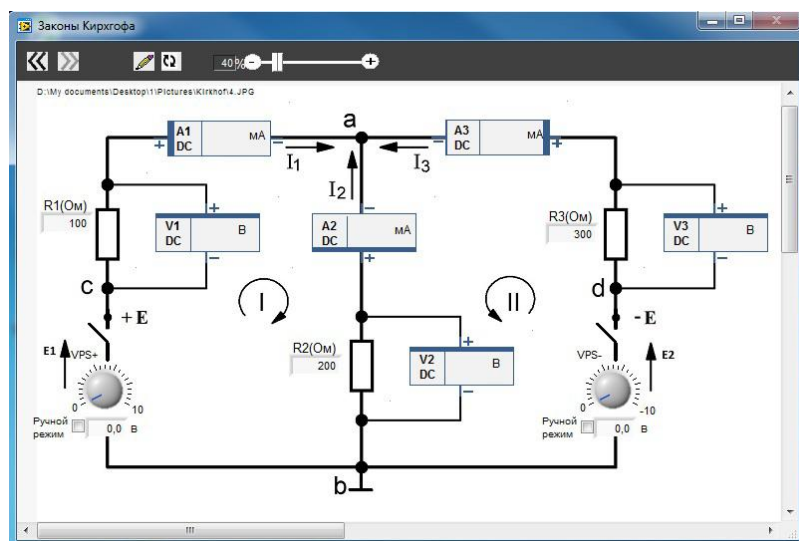


Рисунок 1.26

6. Подключите к схеме вольтметры в соответствии со схемой рисунок 1.26.

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

7. Представьте собранную схему для проверки преподавателю.

8. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I** (включен). Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II**.

9. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления (рисунок 1.23) кнопку (1) **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле (3) **Смещ. 0**.

10. Установите соответствующие заданному преподавателем варианту (см. таблицу 1.4) значения источников напряжения, $E1: +E$ (VPS+) и $E2: -E$ (VPS-). Приборы A1, A2, A3 и V1, V2, V3 покажут токи и напряжения в исследуемой цепи. Нажмите **Запись**. Затем нажмите кнопку (8) панели управления (рисунок 1.23), откроется файл **MS Excel**. Необходимо убедиться в том, что в указанный файл были записаны данные измерительных приборов. Данные этого файла будут необходимы при подготовки отчета о лабораторной работе.

11. Нажмите **Стоп**.

12. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О** (выключен).

3 эксперимент: «Изучения источника постоянного напряжения».

Приборы и компоненты:

1. Резистивные переключатели x10 Ом и x100 Ом;
2. Источник напряжения (+E);
3. Вольтметр (V1);
4. Амперметр (A1).

Подготовка к проведению эксперимента

1. Закройте **Панель управления**, нажав на крестик в правом верхнем углу. В результате будет доступно **Главное меню** (рисунок 1.20).

2. Из главного меню двойным щелчком выберите эксперимент «**Изучения источника постоянного напряжения**». Нажмите кнопку **Следующий** (>>) на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное в соответствии с рисунком 1.27 изображение электрической схемы лабораторной работы с установленными на ней полями компонентов и приборов.

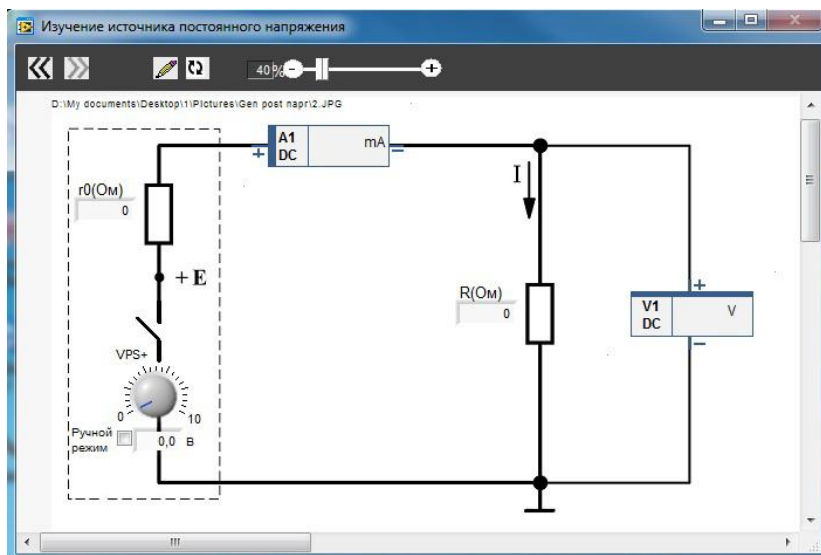


Рисунок 1.27

4. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на рисунке 1.27. Установите номинал внутреннего сопротивления r_0 , соответствующий заданному преподавателем варианту (N) в соответствии с таблицей 1.5.

Таблица 1.5 – Варианты (N) для эксперимента

N	r_0	E
	[Ом]	[В]
1	10	10
2	20	
3	30	
4	40	
5	50	

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 **x100 Ом** в положение 500 Ом, это значение будет использоваться в качестве сопротивления нагрузки **R**.

7. Представьте собранную схему для проверки преподавателю.

Пошаговый порядок выполнения эксперимента «Изучения источника постоянного напряжения».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) 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 (рисунок 1.23) кнопку (1) **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле (3) **Смещ. 0**.

3. Установите напряжение холостого хода (в отсутствие тока нагрузки) равным 10В. Для этого отключите один из проводов от потенциометра **R** от схемы, вращая ручку **E (VPS+)** на рабочем поле, установите значение напряжения 10 В, нажмите **Запись**, подключите нагрузку **R** обратно.

4. Для снятия внешней характеристики, вращая ручку потенциометра **x100 Ом**, пошагово увеличивайте сопротивление цепи от 500 до 1000 Ом, с шагом 100 Ом. На каждом шаге, нажимая **Запись**, записывайте показания приборов A1 и V1 в файл **MS Excel**. Данные этого файла будут необходимы при подготовки отчета о лабораторной работе.

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

6. Нажмите **Стоп**.

7. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О** (выключен).

4 эксперимент: «Изучения источника постоянного тока». Приборы и компоненты:

1. Потенциометры **x10 Ом** и **x100 Ом**;
2. Источник тока (**+J**);
3. Вольтметр (**V1**);
4. Амперметр (**A1**).

Подготовка к проведению эксперимента

1. Закройте **Панель управления**, нажав на крестик в правом верхнем углу. В результате будет доступно **Главное меню** (рисунок 1.20).

2. Из главного меню двойным щелчком выберите эксперимент **«Изучения источника постоянного тока»**. Нажмите кнопку **Следующий (>>)** на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное в соответствии с рисунком 1.28 изображение электрической схемы лабораторной работы с установленными на ней полями компонентов и приборов.

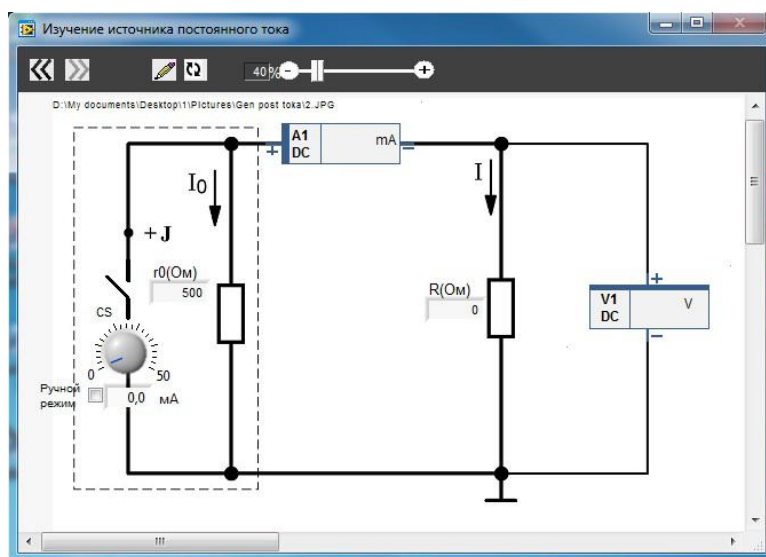


Рисунок 1.28

3. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на рисунок 1.28. Установите номинал внутреннего сопротивления r_0 , соответствующей заданному преподавателем варианту из таблицы 1.6.

4. Введите в поле значения r_0 на рабочем поле лицевой панели величину, соответствующую номиналу установленного на плате резистора.

Таблица 1.6

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

5. В качестве сопротивления нагрузки **R** будет использоваться потенциометр **x10 Ом**. Установите ручку потенциометра в нулевое положение.

6. Представьте собранную схему для проверки преподавателю.

Пошаговый порядок выполнения эксперимента «Изучения источника постоянного тока».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) 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 (рисунок 1.23) кнопку (1) **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле (3) **Смещ. 0**.

3. Установите ток короткого замыкания (сопротивление нагрузки равно нулю) равным 10мА.

4. Для снятия внешней характеристики, вращая ручку потенциометра x10 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. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).

Обработка экспериментальных данных

Необходимо провести расчёты в соответствии с требованиями раздела пошаговый порядок выполнения экспериментов лабораторной работы.

Для 1 эксперимента необходимо:

1. По данным 1 эксперимента рассчитайте сопротивление $R_i = \frac{V_i}{A_i}$ на

каждом шаге измерения, определите относительную погрешность

$$\sigma_i = \frac{R_i - \bar{R}}{\bar{R}} \cdot 100\% \text{ и среднее значение сопротивления } \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \text{ для заданного}$$

преподавателем варианта. Результаты расчетов занести в таблицу 1.7.

Таблица 1.7

I=f(U) при R=Const. R=			[Ом]		
N	Измерить		Рассчитать		
	V1	A1	R	Погрешность σ	Среднее значение R
	[В]	[мА]	[Ом]	[%]	[Ом]
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

2. Исходя из полученных значений постройте график $I = f(U)$ при $R = \text{const.}$

3. По данным 1 эксперимента рассчитайте сопротивление на каждом шаге измерения для заданного преподавателем варианта значения напряжения источника $E = VPS +$. Результаты расчетов занести в таблицу 1.8.

4. Исходя из полученных значений, постройте график $I = f(R)$ при $U = \text{const.}$

Таблица 1.8

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

Для 2 эксперимента необходимо:

5. По данным эксперимента рассчитайте сумму токов в узлах **a** и **b** для заданного преподавателем варианта. Результаты расчетов занести в таблицу 1.9.

Таблица 1.9

N	Установить					Измерить			Рассчитать	
	$E1$	$E2$	$R1$	$R2$	$R3$	$A1$	$A2$	$A3$	ΣIa	ΣIb
	$[B]$		$[Om]$			$[mA]$			$[mA]$	

6. По данным эксперимента рассчитайте сумму ЭДС и падений напряжений контуров I и II для заданного преподавателем варианта. Результаты расчетов занести в таблицу 1.10.

Таблица 1.10

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

7. На основании данных из таблицы 1.10 постройте потенциальную диаграмму контура (**E1, R1, R3, E2**) для заданного преподавателем варианта.

Потенциалы обозначенных в схеме (рисунок 1.26) точек при известных токах определяются следующим образом: $\varphi_b = 0$; $\varphi_c = \varphi_b + E_1$; $\varphi_a = \varphi_c - I_1 \cdot R_1$; $\varphi_d = \varphi_a + I_3 \cdot R_3$; $\varphi_b = \varphi_d - E_2 \approx 0$.

Для 3 эксперимента необходимо:

8. По данным эксперимента рассчитайте внутреннее сопротивление $r_0 = \frac{\Delta U}{I} = \frac{E - U}{I}$ и падение напряжения $\Delta U = E - U$ для внешней характеристики, заполните таблицу 1.11. Сравните величины номиналов установленных на плате элементов со значениями, рассчитанными на основании экспериментально полученных данных.

Таблица 1.11

N	Установить			Измерить		Рассчитать		
	r_0	E	R	$V1$	$A1$	ΔU	ΔI	r_0
	[Ом]	[В]	[Ом]	[В]	[мА]	[В]	[мА]	[Ом]
1			xx					
2			1000					
3			900					
4			800					
5			700					
6			600					
7			500					

9. По данным эксперимента постройте внешнюю характеристику.

Для 4 эксперимента необходимо:

10. По данным эксперимента рассчитайте внутреннее сопротивление

$r_0 = \frac{U}{J - I}$ для каждой характеристики и заполните таблицу 1.12.

Таблица 1.12

N	Установить			Измерить		Рассчитать		
	r_0	$+J$	R	$V1$	$A1$	ΔU	ΔI	r_0
	[Ом]	[мА]	[Ом]	[В]	[мА]	[В]	[мА]	[Ом]
1			0					
2			10					
3			20					
4			30					
5			40					
6			50					

11. Сравните величины номиналов установленных на плате элементов со значениями, рассчитанными на основании экспериментально полученных данных.

Содержание отчета

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Принципиальные схемы исследуемых цепей.
3. Таблицы экспериментальных и расчетных данных.
4. Графики зависимостей, полученных в результате эксперимента и расчета.
5. Выводы по результатам работы, в которых должна быть дана оценка исследуемых явлений, подтверждение в выполнении законов, объяснение характера кривых.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Понятие электрическая цепи, ее элементы, схема замещения и топология электрической цепи: ветвь, контур, узел.
2. Сформулируйте законы Кирхгофа для цепей постоянного тока.
3. Сколько независимых уравнений необходимо составить по первому и второму законам Кирхгофа для определения токов в ветвях?
4. Величины, каких ЭДС и падений напряжений в контурах схемы следует считать положительными, а какие – отрицательными при составлении уравнений по второму закону Кирхгофа?
5. Как производится расчет сложной электрической цепи постоянного тока методом непосредственного применения законов Кирхгофа?
6. Записать уравнения по первому и второму законам Кирхгофа для электрических схем по заданию преподавателя.

7. Каковы основные соотношения при последовательном и параллельном соединении потребителей постоянного тока?
8. Запишите уравнения энергетического баланса для цепей постоянного тока.
9. Что отражает потенциальная диаграмма и как по ней определяются токи в ветвях электрической цепи?
10. В какой последовательности необходимо откладывать сопротивления резистивных элементов при построении потенциальной диаграммы?
11. Можно ли определить направление тока через резистивный элемент, зная величины потенциалов на его зажимах?
12. Может ли оказаться, что несколько точек электрической цепи имеют нулевой потенциал, если заземлена только одна точка?
13. Изменится ли токораспределение в электрической цепи, если заземлить одну из ее точек?
14. Построить потенциальную диаграмму для контуров электрической цепи по заданию преподавателя.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная учебная литература

1. Немцов М.В. Электротехника и электроника (6-е изд., стер.) учебник. – М: Академия, 2013. – 480 с. – ISBN: 9785446804320.
2. Электротехника и электроника: Учебное пособие для вузов / В.В. Кононенко [и др.]; под ред. В.В. Кононенко. – Изд. 6-е – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 784 с. (Серия «Высшее образование». – ISBN 978-5-222-17568-2.

Дополнительная литература

1. Григораш, О. В. Электротехника и электроника : учебник для вузов / О. В. Григораш, Г. А. Султанов , Д. А. Нормов . – Ростов-на-Дону : Феникс ; Краснодар : Неоглори, 2008. – 462 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-222-13949-3.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Углубленный курс. Учебник для бакалавров. Изд.12, испр., доп., 2014. – 701 с. – ISBN 978-5-9916-3210-2.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

Последовательное соединение потребителей однофазного переменного тока. Резонанс напряжений и токов в цепях синусоидального тока

Цель работы:

1. Изучение основных свойств, законов и режимов работы электрической цепи синусоидального тока, содержащей последовательно соединенные резистор и индуктивность. Экспериментальное определение значений параметров элементов, входящих в исследуемую цепь, изучение их влияния на режим ее работы.
2. Изучение основных свойств, законов и режимов работы электрической цепи синусоидального тока, содержащей последовательно соединенные резистор и емкость. Экспериментальное определение значений параметров элементов, входящих в исследуемую цепь, изучение их влияния на режим ее работы.
3. Исследование резонанса в цепи синусоидального тока с последовательно соединенными индуктивностью и емкостью.
4. Исследование резонанса в цепи синусоидального тока с параллельно соединенными индуктивностью и емкостью.

В результате выполнения практического занятия у студента формируются компетенции ОПК-4.

Теоретическое обоснование

Синусоидальным током называют ток, изменяющийся во времени по синусоидальному закону (рисунок 2.1)

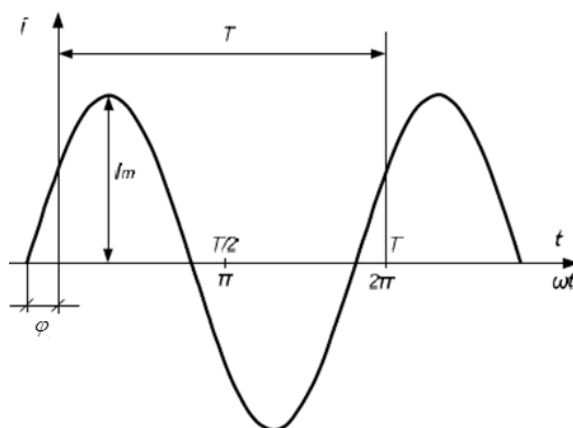


Рисунок 2.1 – График функции синусоидального тока

Выражения для тока, напряжения и ЭДС в цепи синусоидального тока могут быть представлены в следующем виде:

$$i(t) = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_i) \quad (2.1)$$

$$u(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_u) \quad (2.2)$$

$$e(t) = E_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_e) \quad (2.3)$$

где $i(t)$, $u(t)$, $e(t)$ – мгновенные значения тока, напряжения и ЭДС; I_m , U_m , E_m – амплитуды (максимальные значения) тока, напряжения и ЭДС; T – период; $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T}$ – угловая частота, $f = \frac{1}{T}$ – частота; φ – начальная фаза.

Для удобства принято производить отсчет с нулевой начальной фазы напряжения, $\varphi_u = 0$ и соответственно $u(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$

В электротехнике широко применяется понятие *действующего значения* синусоидально изменяющейся величины (его называют также эффективным или среднеквадратичным). Действующее значение синусоидального тока определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T (I_m \cdot \sin(t))^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot (I_m)^2 \cdot \left(\left(\frac{t}{2} - \frac{\sin(2 \cdot t)}{4} \right) \Big|_0^T \right)} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{T} \cdot (I_m)^2 \cdot \left(\frac{T}{2} - \frac{\sin(2 \cdot T/2)}{4} - \left(\frac{0}{2} - \frac{\sin(2 \cdot 0)}{4} \right) \right)} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot (I_m)^2 \cdot \left(\frac{T}{2} \right)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$

Действующее значение синусоидального тока численно равно значению такого постоянного тока I , который за время, равное периоду синусоидального тока, выделяет на активном сопротивлении такое же количество теплоты, что и при прохождении синусоидального тока с амплитудой I_m .

Все электроизмерительные приборы, предназначенные для измерения синусоидальных токов и напряжений, показывают действующие значения.

Изображение синусоидально изменяющихся величин на комплексной плоскости. На рисунке 2.2 показан синусоидальный ток $i(t) = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_i)$, представляющий собой на комплексной плоскости вектор $\dot{I}_m$.

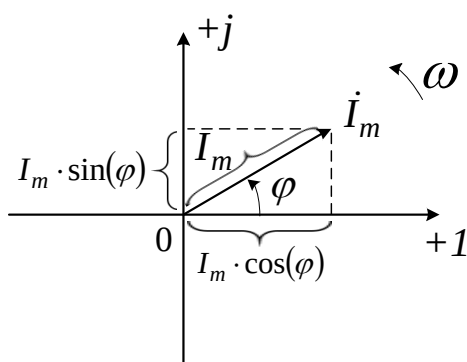


Рисунок 2.2 – Изображение синусоидальных величин на комплексной плоскости

Синусоидальный ток $i(t)$ может быть записан в комплексном виде $\dot{I}_m$ (точка, поставленная над током $\dot{I}_m$, означает, что эта величина изменяется во времени синусоидально) следующим образом:

$$\dot{I}_m = I_m \cdot e^{j\varphi} = I_m \cdot \cos(\varphi) + j \cdot I_m \cdot \sin(\varphi).$$

где $\dot{I}_m$ – комплексная величина, модуль (длина вектора) которой равен I_m ;

$j = \sqrt{-1}$ – единица измерения по мнимой оси комплексной плоскости;

φ – угол, под которым вектор $\dot{I}_m$ проведен к вещественной оси $+1$ комплексной плоскости, равный начальной фазе. Выражение $I_m \cdot e^{j\varphi}$ называют *показательной* формой записи комплексного числа $\dot{I}_m$.

$I_m \cdot \cos(\varphi) + j \cdot I_m \cdot \sin(\varphi)$ называют алгебраической формой записи комплексного числа $\dot{I}_m$.

$I_m \cdot \cos(\varphi)$ – *вещественная* часть комплекса $\dot{I}_m$ или *активная* составляющая тока $\dot{I}_m$.

$j \cdot I_m \cdot \sin(\varphi)$ – *мнимая* часть комплекса $\dot{I}_m$ или *реактивная* составляющая тока $\dot{I}_m$.

Резистивный, индуктивный и емкостной элементы в цепи синусоидального тока. Элементами реальных электрических цепей синусоидального тока являются резисторы, катушки индуктивности и конденсаторы. Резистивный элемент – это идеализированный схемный элемент, учитывающий выделение теплоты в том или ином элементе реальной электрической цепи. Индуктивный элемент – это идеализированный, элемент представляющий катушку индуктивности без активного сопротивления $R = 0$.

Емкостной элемент – это идеализированный элемент, представляющий собой конденсатор без потерь $R = \infty$.

Напряжение совпадает с формой вызванного этим напряжением тока только в резистивных цепях, т.е. ток и напряжение в этом случае совпадают по фазе. В цепях с индуктивными и емкостными элементами формы напряжения и тока отличаются друг от друга.

В цепях с индуктивным элементом ток и напряжение связаны следующим выражением: $i_L = \frac{1}{L} \int u_L dt$. Если напряжение, приложенное к индуктивному элементу, имеет синусоидальную форму $u(t) = u_L(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$, то ток определится из выражения

$$i_L = \frac{1}{L} \cdot \int U_m \cdot \sin(\omega \cdot t) dt = \frac{U_m}{\omega \cdot L} \cdot \cos(\omega \cdot t) = \frac{U_m}{\omega \cdot L} \cdot \sin(\omega \cdot t - 90^\circ),$$

$$i_L = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t - 90^\circ),$$

где $I_m = \frac{U_m}{\omega \cdot L}$.

Произведение $\omega \cdot L$ обозначается X_L и называется *индуктивным сопротивлением* $X_L = \omega \cdot L$.

Таким образом, если к индуктивному элементу приложить напряжение гармонической формы, то ток будет отставать от напряжения на 90° (рисунок 2.3, 2.4).

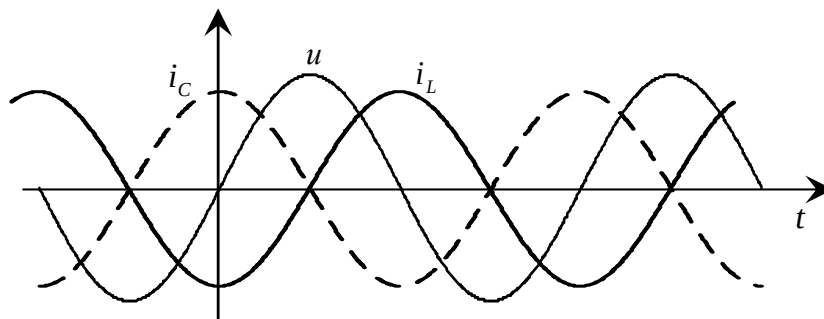


Рисунок 2.3 – Мгновенные токи и напряжение на индуктивном и емкостном элементах. При начальной фазе напряжения равной нулю

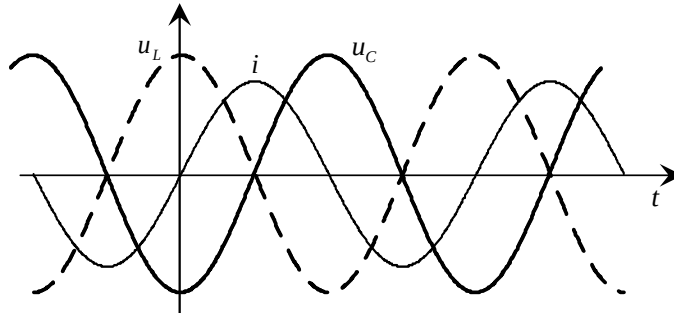


Рисунок 2.4 – Мгновенные токи и напряжение на индуктивном и емкостном элементах. При начальной фазе тока равной нулю

В цепях с емкостным элементом ток и напряжение связаны следующим выражением $i_C = C \cdot \frac{du_C}{dt}$. Если ко входу цепи приложено напряжение синусоидальной формы $u(t) = u_C(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$, то ток через емкостной элемент определится из выражения:

$$i_C = C \cdot \frac{du_C}{dt} = C \cdot \frac{d}{dt}(U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)) = \omega \cdot C \cdot U_m \cdot \cos(\omega \cdot t).$$

Так как множитель $\omega \cdot C \cdot U_m$ имеет размерность тока, обозначим его $I_m = \omega \cdot C \cdot U_m$. Известно, что $\cos(\omega \cdot t) = \sin(\omega \cdot t + 90^\circ)$. Таким образом, ток через емкостной элемент $i_C = I_m \sin(\omega \cdot t + 90^\circ)$ опережает напряжение на 90° (рисунок 3.5, 3.6). Величина $\frac{1}{\omega \cdot C}$ обозначается X_C и называется *емкостным сопротивлением* $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$.

Протекание синусоидальных токов по участкам электрической цепи сопровождается потреблением энергии от источников. Скорость поступления энергии характеризуется мощностью. Под *мгновенной мощностью*, понимают произведение мгновенного значения напряжения $u(t)$ на участке цепи на мгновенное значение тока $i(t)$, протекающего по этому участку:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t).$$

Напряжение и ток на входе нагрузки в общем случае сдвинуты по фазе на угол φ . Примем начальную фазу напряжения $\psi_u = 0$, а начальную фазу тока $\psi_i = -\varphi$. При таком условии мгновенные значения напряжения и тока: $u = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$, $i = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi)$.

Таким образом, мгновенная мощность определится следующим образом:

$$p = u \cdot i = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot I_m \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi) = \frac{U_m \cdot I_m}{2} \cdot [\cos(\varphi) - \cos(2 \cdot \omega \cdot t - \varphi)] = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) - U \cdot I \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t - \varphi).$$

Мгновенная мощность имеет постоянную составляющую и гармоническую составляющую, частота которой в 2 раза больше частоты напряжения и тока (рисунок 2.5). Мгновенная мощность положительна, когда у напряжения и тока одинаковые знаки, и она отрицательна, когда у напряжения и тока разные знаки.

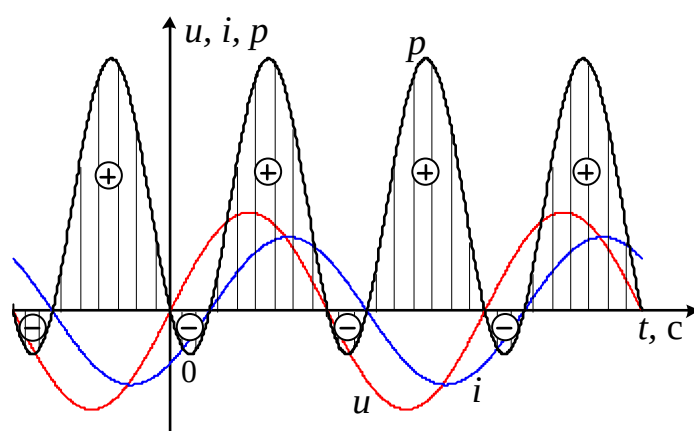


Рисунок 2.5 – График изменения мгновенных значений величин: синусоидального напряжения, тока и мощности

Когда мгновенная мощность отрицательна, энергия поступает не в нагрузку, а возвращается из нагрузки к источнику ЭДС. Такой возврат энергии источнику питания возможен, так как энергия периодически запасается в магнитном и электрическом полях элементов цепи, входящих в состав нагрузки. Если нагрузка состоит из резистивных элементов, энергия накапливаться в нем не может. В этом случае нет сдвига фаз между напряжением и током. Среднее значение мгновенной мощности за период называется *активной мощностью* или иногда просто мощностью:

$$P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p dt = U \cdot I \cdot \cos(\varphi). \quad (2.4)$$

Активная мощность, получаемая нагрузкой, не может быть отрицательной (рисунок 2.6). Активная мощность измеряется в ватах [Вт].

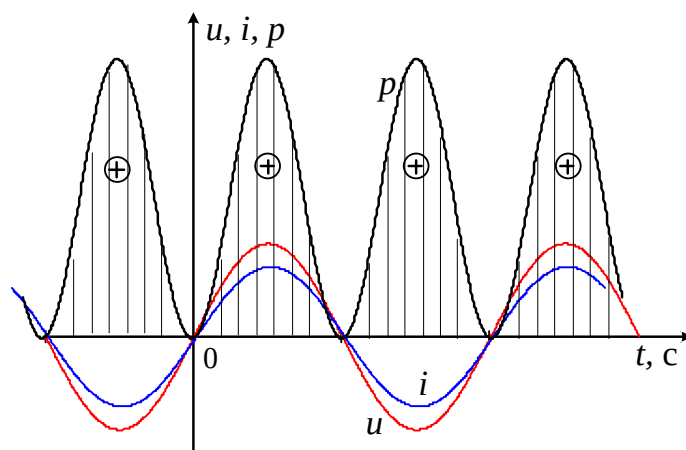


Рисунок 2.6 – Графики изменения мгновенных значений активной мощности и синусоидальных напряжения и тока, совпадающих по фазе

При $\varphi = 0^\circ$ будет наблюдаться наибольшее значение активной мощности равное произведению $U \cdot I$. Эту величину принято назвать *полной мощностью* и обозначать буквой $S = U \cdot I$. Единицей измерения полной мощности является вольтметр [В·А].

Отношение активной мощности P к полной S равно косинусу угла сдвига фаз между напряжением и током и называется коэффициентом мощности:

$$\frac{P}{S} = \frac{U \cdot I \cdot \cos(\varphi)}{U \cdot I} = \cos(\varphi). \quad (2.5)$$

На практике желательно обеспечивать работу электрооборудования при высоком $\cos(\varphi)$, в идеале $\cos(\varphi) = 1$. Высокий $\cos(\varphi)$ приводит к уменьшению потерь при передаче энергии по линиям.

При расчетах электрических цепей находит применение так называемая *реактивная мощность*: $Q = U \cdot I \cdot \sin(\varphi)$, которая положительна при $\varphi > 0$ и отрицательна при $\varphi < 0$. Единицей измерения реактивной мощности является вар [Var]. За один период переменного тока Q дважды отдается генератором в цепь и дважды он получает ее обратно, т.е. реактивная мощность является энергией, которой обмениваются генератор и приемник.

Мощности P, S, Q можно представить прямоугольным треугольником с катетами P, Q и гипотенузой S , тогда справедлива следующая зависимость:

$$P^2 + Q^2 = S^2 \Rightarrow S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Резонансный режим работы цепей переменного тока.

В цепи переменного тока, содержащей один или несколько индуктивных или емкостных элементов, подключенных к источнику энергии возможен режим резонанса, при котором ток и напряжение на входе цепи будут совпадать по фазе. В резонансном режиме электрическая цепь ведет себя как активное сопротивление, поэтому ток и напряжение на его входе совпадают по фазе. Реактивная мощность электрической цепи в режиме резонанса равна нулю. Различают два основных вида резонансных режимов: *резонанс напряжений* и *резонанс токов*. Резонансный режим на практике используют для уменьшения сдвига фаз между напряжением на приемнике и током, потребляемым от генератора. Такая операция называется *компенсацией сдвига фаз*.

Резонанс напряжений возможен на неразветвленном участке электрической цепи, который содержит индуктивный L , емкостной C и резистивный R элементы, т.е. в последовательном колебательном контуре рисунок 2.7.

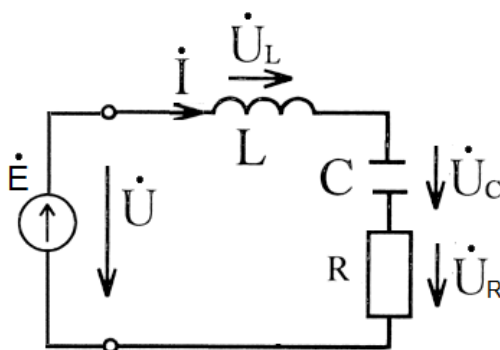


Рисунок 2.7 – Последовательный колебательный контур

По закону Ома комплексная величина тока в контуре определяется

$$\dot{I} = I \cdot e^{j\psi_i} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}} = \frac{U \cdot e^{j\psi_U}}{Z \cdot e^{j\varphi}},$$

где $\underline{Z} = R + j \cdot \omega \cdot L - j \cdot \left(\frac{1}{\omega \cdot C} \right)$ – комплексное входное сопротивление,

$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} \right)^2}$ – его модуль (полное сопротивление),

$\varphi = \psi_U - \psi_i = \arctg \left(\frac{\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}}{R} \right)$ – его аргумент.

Действующее значение тока:
$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

Режим работы неразветвленного участка цепи, при котором ее ток и напряжение совпадают по фазе $\psi_u = \psi_i$, $\varphi = 0$, называется резонансом напряжений. В режиме резонанса напряжение на емкостном и напряжение на индуктивном элементах равны и находятся в противофазе рисунок 2.8.

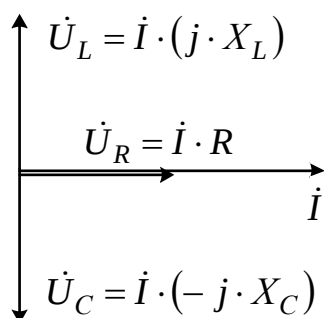


Рисунок 2.8 – Векторная диаграмма напряжений при последовательном резонансе

Резонансного режима можно достичь, изменяя частоту приложенного к цепи напряжения или параметры цепи: индуктивность катушки и емкость конденсатора. Величины угловой частоты ω_0 , индуктивности L_0 и емкости C_0 , в резонансном режиме: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$; $L_0 = \frac{1}{\omega^2 C}$; $C_0 = \frac{1}{\omega^2 L}$.

Если напряжение U на зажимах цепи и активное сопротивление R цепи не изменяются, то ток при резонансе имеет наибольшее значение, равное $I_0 = \frac{U}{R}$ и не зависящее от величин реактивных сопротивлений. Напряжения на емкостном и индуктивном элементах могут во много раз превысить напряжение питания, если $\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C} = \sqrt{\frac{L}{C}} > R$, где $\sqrt{\frac{L}{C}} = \rho$ – характеристическое (волновое) сопротивление колебательного контура. Отношение $\frac{U_{C_p}}{U} = \frac{U_{L_p}}{U} = \frac{\rho}{R} = Q$ определяет кратность превышения напряжения на зажимах индуктивного и емкостного элементов над напряжением питания и называется добротностью контура.

Практическое значение имеют зависимости действующих или амплитудных значений токов и напряжений от частоты для цепей, в которых возможен резонанс. Эти зависимости называются резонансными кривыми (рисунок 2.9).

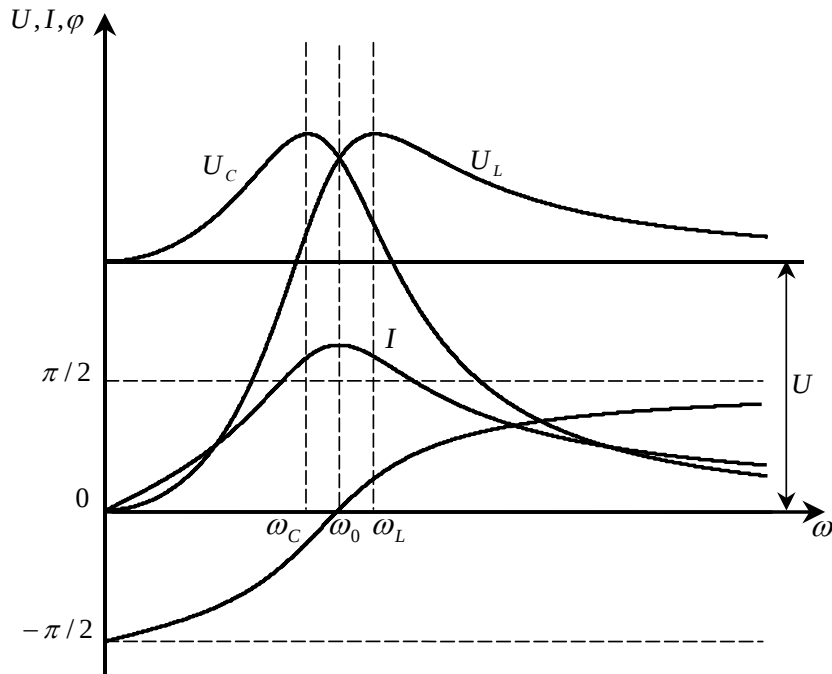


Рисунок 2.9 – Резонансные кривые

Для оценки избирательных свойств электрической цепи введено понятие ширины резонансной кривой или полосы пропускания контура, которую определяют как разность верхней ω_B и нижней ω_H частот, между которыми $\frac{I}{I_0} > \frac{1}{\sqrt{2}}$. Чем выше добротность Q , тем уже полоса пропускания контура (рисунок 2.10).

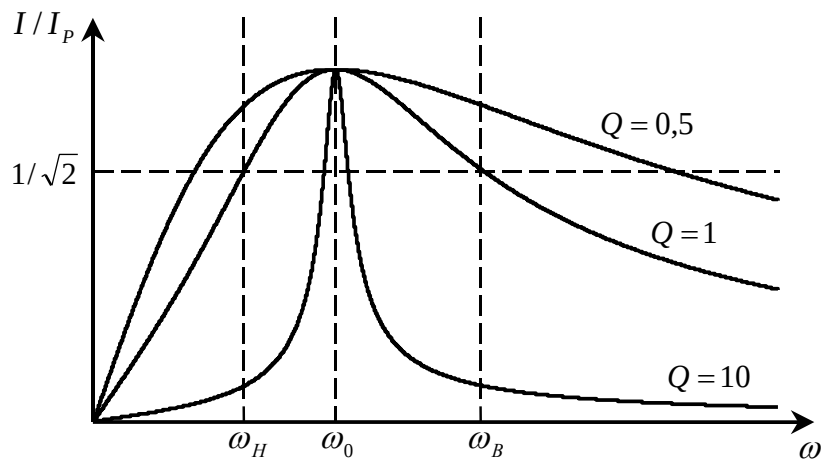


Рисунок 2.10 – Зависимость полосы пропускания контура от его добротности

На рисунке 2.11 представлены векторные диаграммы напряжений на элементах цепи до режима резонанса напряжений (а), в режиме резонанса напряжений (б) и после режима резонанса напряжений (в), соответственно. В режиме резонанса напряжений векторы напряжений на индуктивном и емкостном элементах $\dot{U}_L$ и $\dot{U}_C$ больше вектора входного напряжения $\dot{U}$

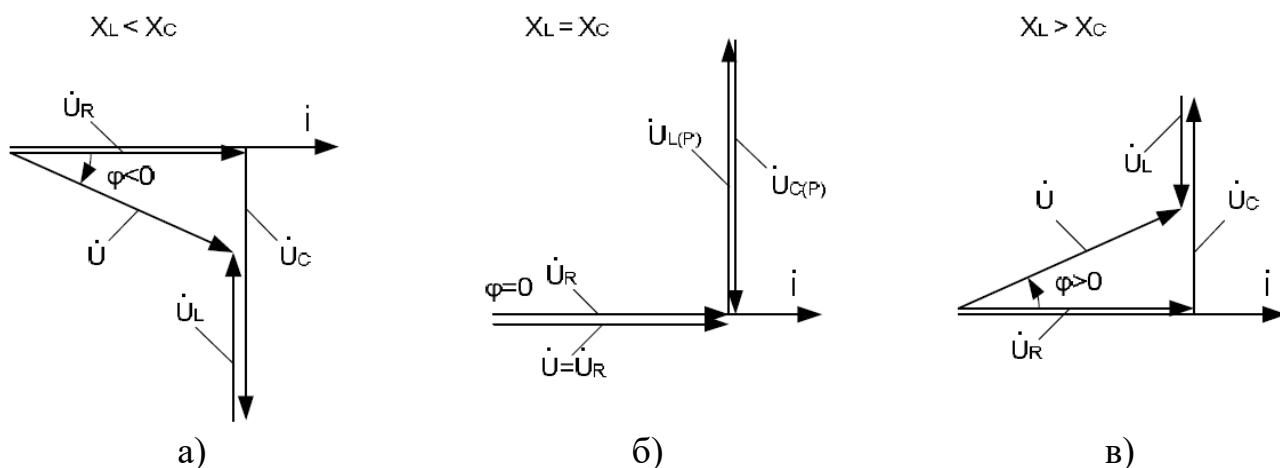


Рисунок 2.11

Резонанс токов возникает в параллельном колебательном контуре (рисунок 2.12).

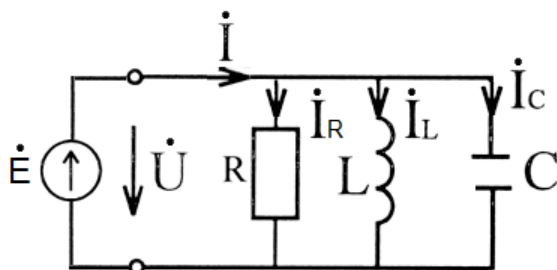


Рисунок 2.12 – Параллельный колебательный контур

При напряжении питания $\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_U}$ комплексное значение общего тока будет равно:

$$\dot{I} = \dot{U} \cdot \underline{Y},$$

$$\text{где } \underline{Y} = \frac{1}{R} + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot L} + \frac{1}{\left(-j \cdot \frac{1}{\omega \cdot C}\right)} = \frac{1}{R} - j \cdot \left(\frac{1}{\omega \cdot L}\right) + j \cdot (\omega \cdot C) =$$

$$= \frac{1}{R} - j \cdot \left(\frac{1}{\omega \cdot L} - \omega \cdot C\right) = g - j \cdot (b_L - b_C) - \text{комплексная проводимость цепи;}$$

$$Y = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot L} - \omega \cdot C\right)^2} - \text{ее модуль (полная проводимость);}$$

$$\varphi = \psi_U - \psi_I - \text{аргумент.}$$

Действующее значение тока I

$$I = U \cdot Y = U \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot L} - \omega \cdot C\right)^2}.$$

При угловой частоте $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$ индуктивная $b_L = \frac{1}{\omega \cdot L}$ и емкостная $b_C = \omega \cdot C$ проводимости ветвей одинаковы $b_L = b_C$, угол сдвига фаз тока и напряжения $\varphi = \psi_U - \psi_I = 0$. Полная проводимость цепи $Y = g = \frac{1}{R}$, и общий ток $I_0 = U \cdot g = \frac{U}{R}$. Если напряжение U на зажимах цепи и активная проводимость g цепи не изменяются, то общий ток при резонансе имеет наименьшее значение. Токи в индуктивном и емкостном элементах равны по величине и находятся в противофазе. Векторная диаграмма при резонансе токов представлена на рисунке 2.13.

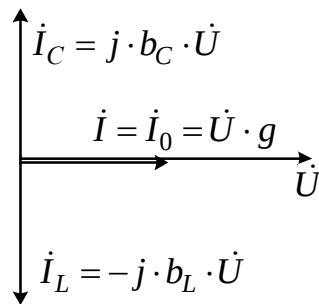


Рисунок 2.13 – Векторная диаграмма токов при параллельном резонансе

Если в ветвях с индуктивным и емкостным элементами включены резисторы R_L и R_C , то условием резонанса токов в цепи будет равенство индуктивной и емкостной проводимостей ветвей (рисунок 2.14):

$$\frac{\omega \cdot L}{R_L^2 + (\omega \cdot L)^2} = \frac{\frac{1}{\omega \cdot C}}{R_C^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}, \text{ резонансная частота } \omega = \omega_0 \cdot \sqrt{\frac{\frac{L}{C} - R_1^2}{\frac{L}{C} - R_2^2}}.$$

Добротность для параллельного контура $Q = \frac{I_L}{I_0} = \frac{I_C}{I_0}$ определяет

кратность превышения тока в индуктивном и емкостном элементах над общим током в режиме резонанса. Резонансные свойства контура характеризуют также величиной, носящей название затухание контура $d = 1/Q$.

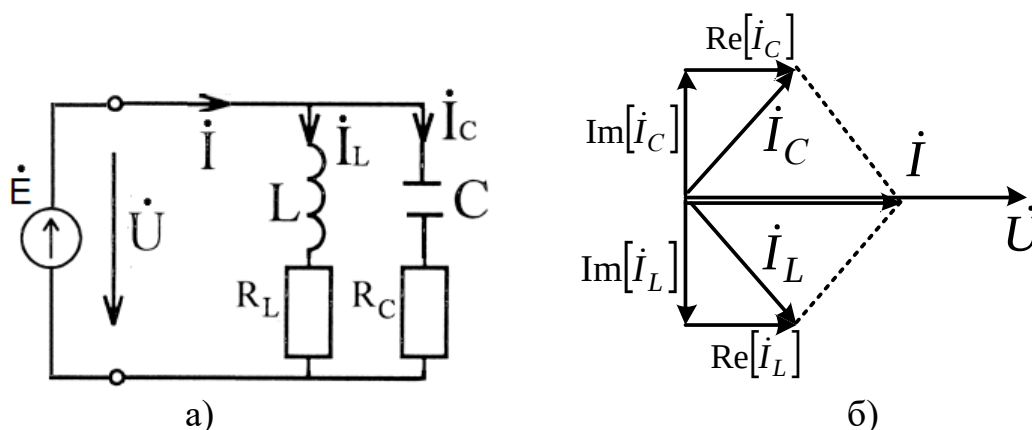


Рисунок 2.14 – Электрическая схема (а) и векторная диаграмма (б) параллельного колебательного контура в режиме резонанса

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) тока $I = f(\omega)$ и фазо-частотная характеристика (ФЧХ) $\varphi = f(\omega)$ параллельного контура приведены на рисунке 2.15.

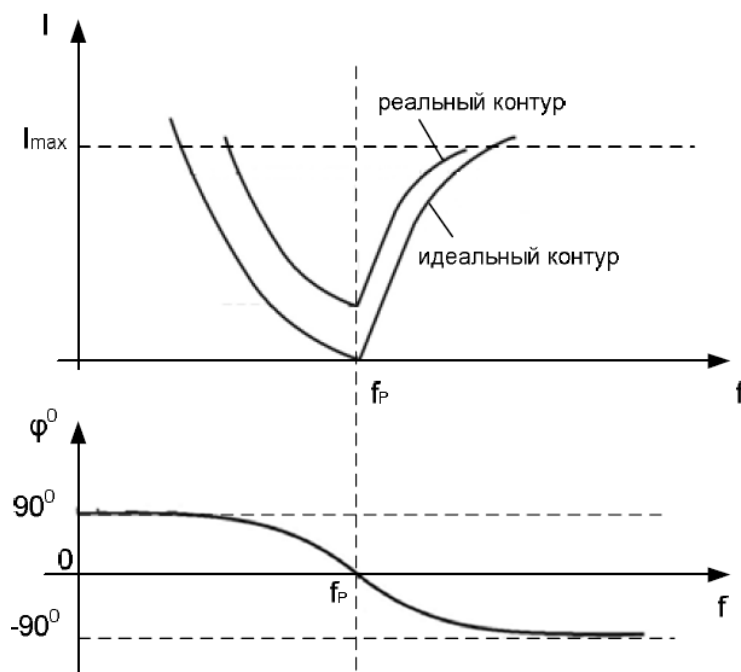


Рисунок 2.15

Оборудование и материалы

Аналогично лабораторной работы 1.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы 1.

Задания

Включение и подготовка к работе. Включите платформу **NI ELVIS II** при помощи выключателя, расположенного на торце устройства в задней части, рядом с разъемом для подключения кабеля питания (рисунок 1.11).

Затем включите выключатель питания платы (1) (рисунок 1.11), при этом должны загореться зеленый светодиод **PROTOTYPING BOARD POWER** (2) и красный светодиод **Питание** на плате.

Запуск программы и проведение лабораторных работ. Запуск программы осуществляется двойным щелчком по ярлыку Electronics Engineering Board 2 на рабочем столе или через стартовое меню Windows: Пуск -> Electronics Engineering Board 2.

При запуске программы на экран монитора выводится лицевая панель с элементами меню (рисунок 1.14).

Регистрация и вход. Для получения доступа к лабораторным работам пользователь должен зарегистрироваться (выбрать в меню элемент **Регистрация**) или **Войти**.

Нажимаем **Войти**. Для всех персональных компьютеров в появившемся диалоговом окне рисунок 2.16 в строке **Имя пользователя** необходимо написать ПКХ, где Х это № компьютера указанный на мониторе в правом верхнем углу. В строке **Пароль** нужно указать 1111.

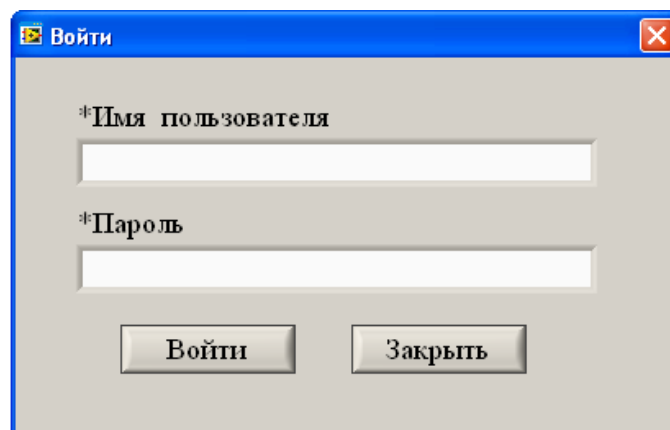


Рисунок 2.16

После входа в программу откроется **главное** меню (рисунок 2.17). Переход к выбранной лабораторной работе производится двойным щелчком по соответствующей строке меню.

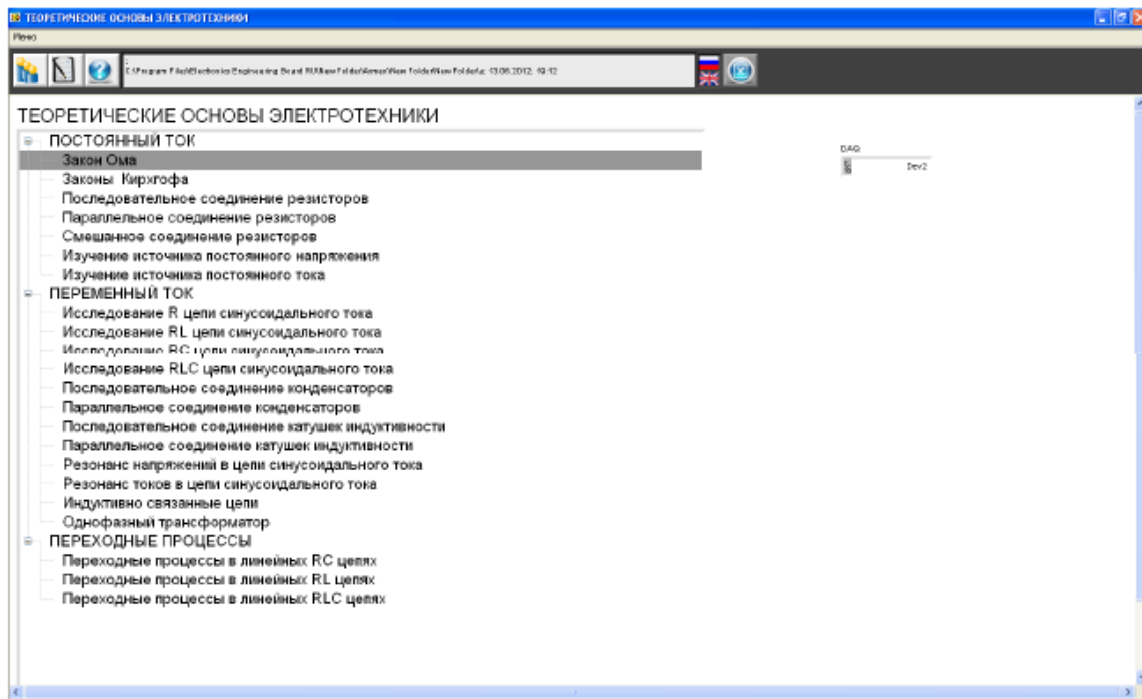


Рисунок 2.17 – Окно главного меню

Перед тем, как приступить к выполнению лабораторной работы, студент должен:

1. Внимательно ознакомиться с требованиями по технике безопасности.
2. Ознакомиться с теоретическими материалами по теме.
4. Изучить методику проведения лабораторных работ.
5. Понимать принципы работы электрических схем.

Лабораторная работа 2 «**Последовательное соединение потребителей однофазного переменного тока. Резонанс напряжений и токов в цепях синусоидального тока**» будет содержать четыре эксперимента из главного меню рисунок 2.17: «Исследование RL цепи синусоидального тока», «Исследование RC цепи синусоидального тока»; «Резонанс напряжений в цепи синусоидального тока», «Резонанс токов в цепи синусоидального тока».

1 эксперимент: «Исследование RL цепи синусоидального тока».

Приборы и компоненты:

1. Сопротивление (зона резисторов на плате);
2. Индуктивность (зона индуктивностей на плате);
3. Источник синусоидального напряжения (функциональный генератор $\sim E$);
4. Вольтметры ($V1$, $V2$);
5. Амперметр ($A1$).

Подготовка к проведению эксперимента «Исследование RL цепи синусоидального тока».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О** (выключен).

3. Из главного меню (рисунок 2.17) двойным щелчком выберите эксперимент «Исследование RL цепи синусоидального тока». Нажмите кнопку **Следующий** (>>) на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное изображение электрической схемы лабораторной работы с размещенными на ней полями компонентов и приборов (рисунок 2.18).

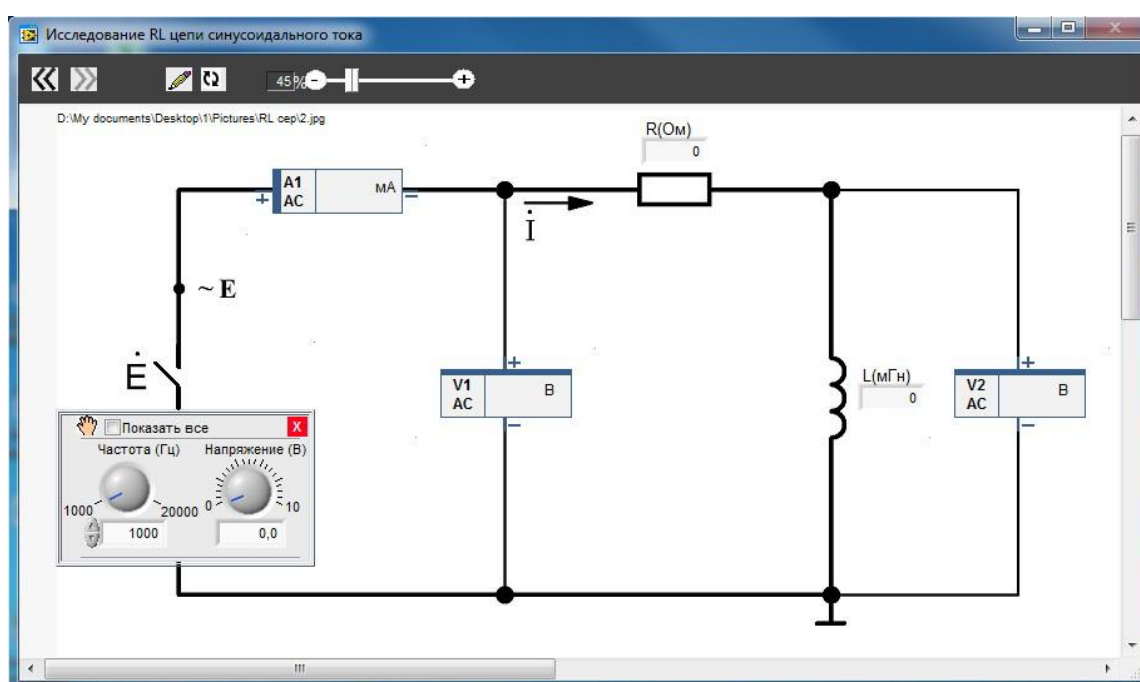


Рисунок 2.18 – Схема электрической цепи эксперимента

4. Соберите на макетной плате электрическую цепь в соответствии со схемой на рисунке 2.18. Установите номиналы сопротивления и индуктивности в соответствии с заданным преподавателем вариантом (N) из таблицей 2.1.

Таблица 2.1 – Варианты (N) параметров элементов для эксперимента

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f [кГц]	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$\sim E_{pp}$ [В]	$1 \div 10$									
L [мГн]	0.47					1				
R [Ом]	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

5. Введите в поле значения **R** и поле значения **L** на рабочем поле лицевой панели величины, соответствующие номиналам установленных на плате сопротивления и индуктивности согласно заданному варианту.

6. Представьте собранную схему для проверки преподавателю.

Пошаговый порядок выполнения эксперимента «Исследование RL цепи синусоидального тока».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) 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 (1) **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле (3) **Смещ. 0**.

3. Установите напряжение (поле **Напряжение**) и частоту (поле **Частота**) источника, соответствующее заданному преподавателем варианту из таблицы 2.1 и нажмите **Запись**. Следует отметить, что амплитуда выходного напряжения источника синусоидального сигнала ($\sim E$) равна половине значения, введенного в поле **Напряжение**. Затем нажмите кнопку (8) панели управления (рисунок 1.23), откроется файл **MS Excel**. Необходимо убедиться в том, что в указанный файл были записаны данные измерительных приборов. При необходимости пункты 1-3 порядка выполнения эксперимента повторить.

4. Вызовите и настройте инструмент **Осциллограмма** для наблюдения напряжения **V1**, **V2** и тока **A1** и сохраните изображение. Для этого нажмите кнопку (10) панели управления (рисунок 1.23), откроется окно инструмента **Осциллограммы** и согласно описанию ниже настройте вид осциллограмм.

Окно состоит из двух вкладок: **Осциллограммы** и **Временные диаграммы**.

Вкладка **Осциллограммы** (рисунок 2.19) состоит из следующих зон:

– зона отображения осциллограмм (1); – зона выбора сигнала (2); – зона управления осями, масштабирования, и синхронизации (3).

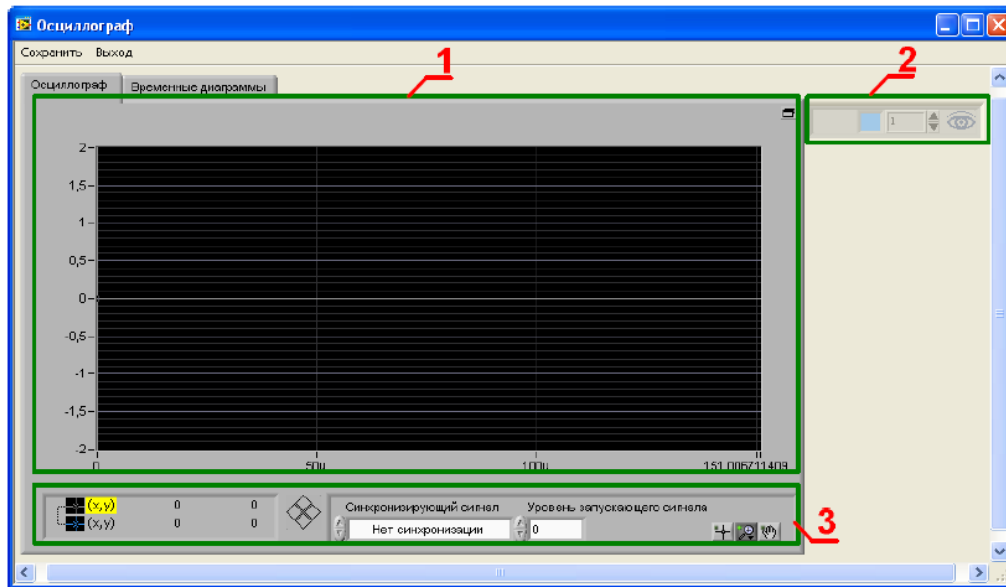


Рисунок 2.19 – Вкладка Осциллограммы

В зоне отображения осциллограмм (1) расположено окно, в котором в реальном масштабе времени отображаются осциллограммы выбранных измеряемых величин.

В правом верхнем углу окна расположена кнопка , щелчок по которой закрывает или открывает правую часть окна **Осциллограммы** (зона 2).

Зона выбора сигнала (2) содержит строку выбора и управления отображаемого сигнала (рисунок 2.20).

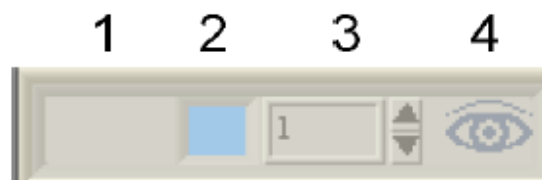


Рисунок 2.20 – Зона выбора сигнала: в поле 1 появятся названия всех инициированных в данной лабораторной работе приборов; в поле 2 доступно меню выбора цвета отображения; в поле 3 можно изменять цену деления шкалы для данного сигнала, при этом в поле индикации будет отображаться соответствующая цена деления; поле 4 позволяет скрывать или восстанавливать в окне отображения осциллограмму выбранного сигнала

В зоне управления осями, масштабирования и синхронизации (3) расположены кнопки и поля для работы с курсорами и масштабирования, а также настройки синхронизации осциллограмм и смены координатных осей.

Зона управления осями и масштабирования (рисунок 2.21):

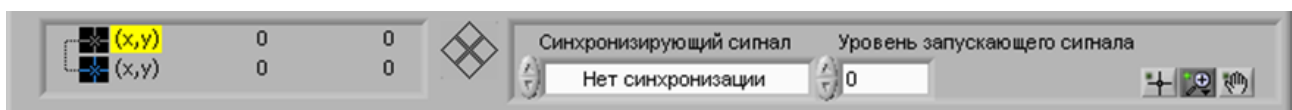


Рисунок 2.21 – Зона управления осями и масштабирования

В зоне расположены кнопки и поля для работы с курсорами, масштабирования графиков и смены координатных осей.

Поле выбора/отображения координат курсора (рисунок 2.22). Имеются два курсора. Курсор выбирается/отменяется щелчком по зонам рядом с изображением крестика (текущий курсор отмечается желтым цветом).

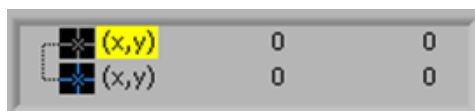


Рисунок 2.22 – Поле выбора/отображения координат курсора

Выбранный курсор можно переместить в любую точку окна вводом координаты в соответствующие поля. В эти поля отображаются координаты курсора, если изменить его положение другими способами.

Щелчки по квадратикам  приводят к смещению выбранного курсора в соответствующем направлении на 0,1 цены деления.

Меню масштабирования: .

Нажатие первой пиктограммы (с изображением крестика)  позволяет перетаскивать выбранный курсор. Это свойство можно также вызвать правым щелчком мыши по окну графиков. При нажатии на среднюю пиктограмму (с изображением увеличительного стекла)  открывается меню выбора масштаба (рисунок 2.23).

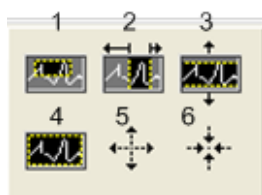


Рисунок 2.23 – Меню выбора масштаба: 1 – позволяет выбрать мышью произвольную прямоугольную область на графике и растянуть ее по диагонали на желаемый масштаб; 2 – позволяет выбрать мышью произвольную горизонтальную область на графике и растянуть ее по горизонтали на желаемый масштаб; 3 – позволяет выбрать мышью произвольную вертикальную область на графике и растянуть ее по вертикали на желаемый масштаб; 4 – позволяет автоматически выбрать оптимальный масштаб для отображения всех данных; 5 – позволяет увеличивать масштаб одновременно по горизонтали и вертикали последовательными щелчками мыши; 6 – позволяет уменьшать масштаб одновременно по горизонтали и вертикали последовательными щелчками мыши

Нажатие третьей пиктограммы (с изображением ладони)  позволяет перетаскивать всю картинку относительно осей координат при помощи курсора мыши в любом направлении.

Выбор синхронизирующего сигнала и настройка порога:

Щелчком по кнопкам слева от поля синхронизации выбирается источник сигнала синхронизации. В качестве синхронизирующего может быть применяться сигнал с любого из инициированных в данной лабораторной работе измерителей. В качестве синхронизирующего зачастую используется сам исследуемый сигнал.

Щелчком по кнопкам или вводом непосредственно в поле данных определяется пороговый уровень сигнала, при котором запускается механизм синхронизации. Для стабильной синхронизации необходимо установить такое значение уровня запускающего сигнала, чтобы выбранный в качестве синхронизирующего сигнал имел пересечение с заданным уровнем. Если в синхронизирующем сигнале отсутствует постоянная составляющая, уровень запускающего сигнала может быть установлен в «0».

Правый щелчок мышью в зонах отображения графиков (рисунок 2.24), осциллограмм, и векторных диаграмм открывает меню управления с элементами *Автомасштабирование*, *Фиксация*, *Курсор*, и *Лог файл*:

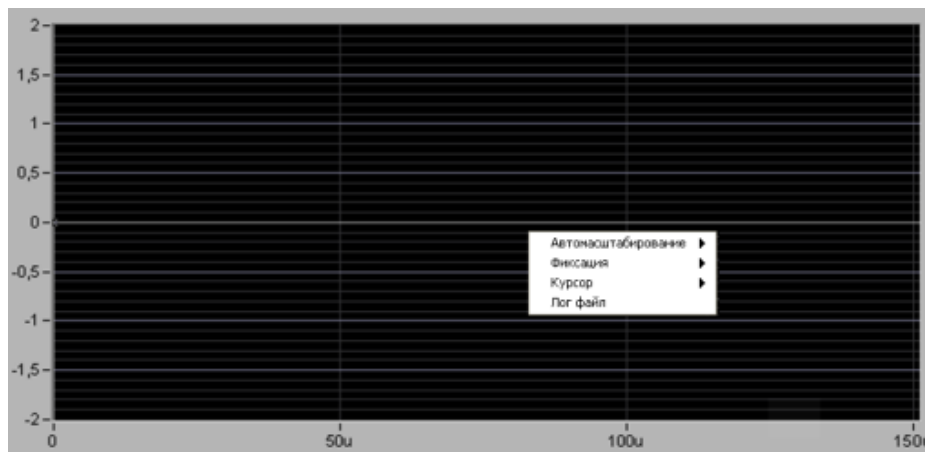


Рисунок 2.24 – меню управления с элементами *Автомасштабирование*, *Фиксация*, *Курсор*, и *Лог файл*: элемент **Автомасштабирование** > **Y** (или **X**) > **Вкл.** (или **Выкл.**) включает или выключает автоматическое масштабирование по осям **Y** или **X**, соответственно; элемент **Фиксация** > **Вкл.** (или **Выкл.**) включает или выключает фиксацию картинки на экране; элемент **Курсор** > **Показать** (или **Скрыть**) включает или выключает появление курсора на экране; элемент **Лог файл** позволяет сохранить все точки зафиксированных осциллограмм в виде таблицы, для последующего анализа

В результате настройки осциллограмм для наблюдения напряжения **V1**, **V2** и тока **A1** на экране должны появиться графики зависимости измеряемых величин (пример на рисунке 2.25).

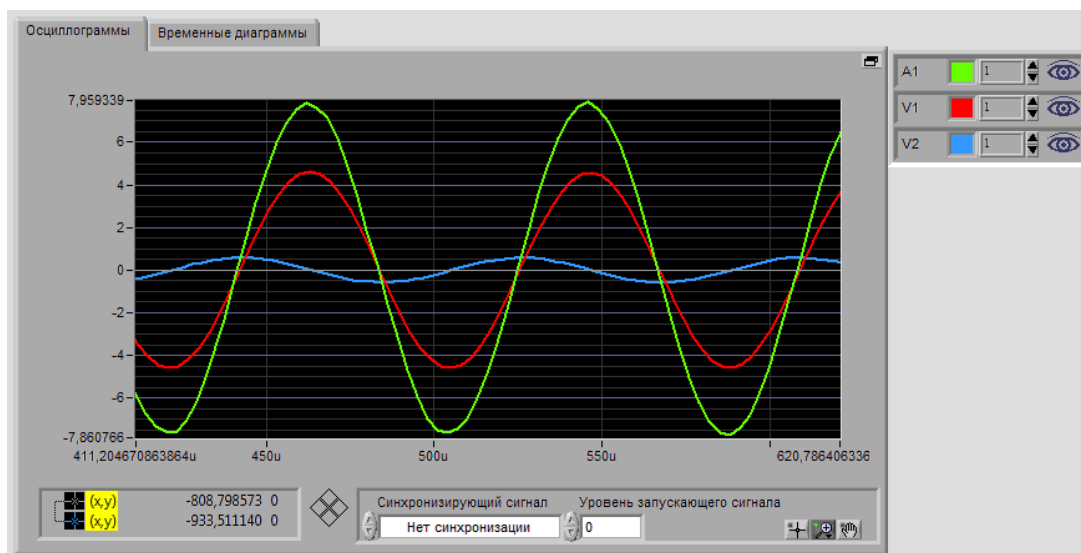


Рисунок 2.25 – Пример осциллограмм для наблюдения напряжения **V1**, **V2** и тока **A1**

После настройки осциллограмм напряжения **V1**, **V2** и тока **A1** и сохраните изображение.

5. Вызовите и настройте инструмент **Векторная диаграмма** для наблюдения напряжения **V1**, **V2** и тока **A1** и сохраните изображение. Для этого нажмите кнопку (11) панели управления (рисунок 1.23), откроется окно инструмента **Векторные диаграммы** и согласно описанию ниже настройте их вид.

Окно **Векторные диаграммы** предназначено для отображения векторов измеряемых синусоидальных величин, получаемых в процессе эксперимента (рисунок 2.26).

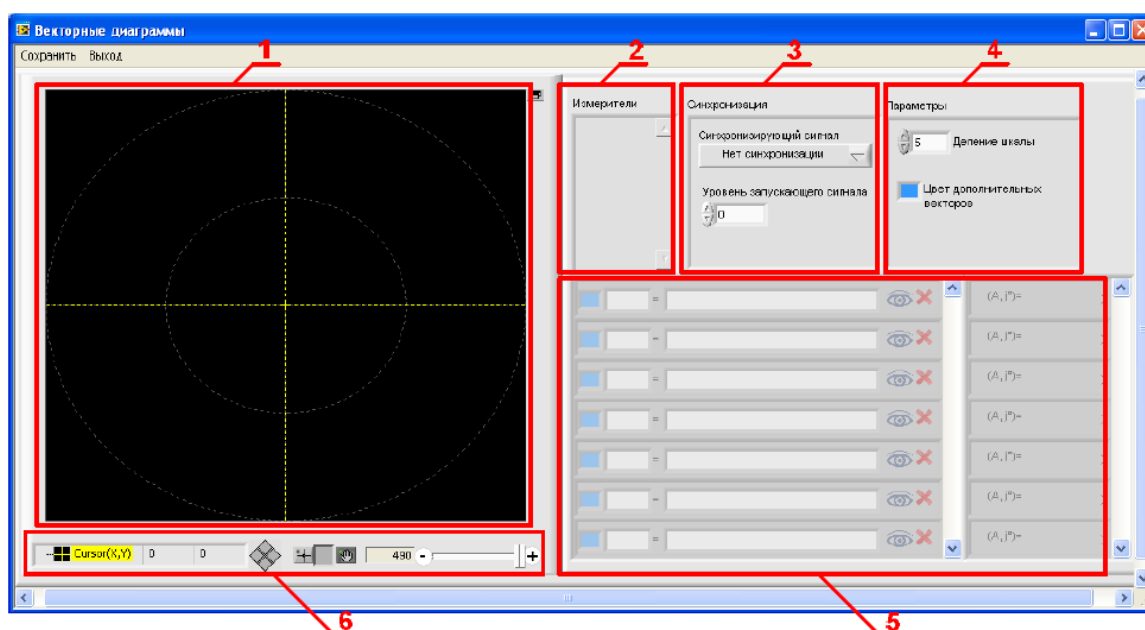


Рисунок 2.26 – Окно Векторные диаграммы

Окно состоит из следующих зон:

– зона отображения векторов (1); – зона выбора измерителей (2); – зона синхронизации (3); – зона параметров шкалы (4); – зона определения векторов (5); – зона управления осями и масштабирования (6).

В зоне отображения векторов (1) расположено окно, в котором в угловых координатных осях, в реальном масштабе времени отображаются векторы выбранных измеряемых величин.

Все вектора отображаются в виде стрелок, размер и угловая координата которых определяются из строк в зоне (6).

В правом верхнем углу окна расположена кнопка , щелчок по которой закрывает или открывает правую часть окна **Векторные диаграммы** (зоны 2, 3, 4, 5).

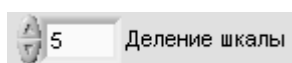


– вводом значения в поле или перемещением ползунка устанавливается максимальный радиус шкалы векторов.

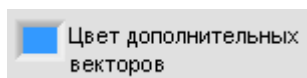
Зона выбора измерителей (2) содержит список **Измерители** всех инициализированных измерителей данной лабораторной работы.

Зона синхронизации (3) содержит элементы настройки синхронизации изображения.

Зона параметров (4) позволяет:



– установить шаг деления шкалы;



– выбрать цвет для дополнительно отображаемых векторов, если в строку определения вектора (5) введена сумма векторов.

Зона определения векторов (5) содержит строки для ввода и редактирования векторов (рисунок 2.27).



Рисунок 2.27 – Строка ввода и редактирования вектора

Расшифровка полей строки ввода и редактирования вектора. Поле (1) меню выбора цвета отображения вектора; поле (2) имя вектора (например, если вектор представляет из себя сумму векторов); поле 3 величина, определенная в данном поле, будет отображена в виде вектора в окне отображения векторов.

Если из списка **Измерители** перетащить мышью имя измерителя, то в окне отображения появится вектор, величина которого равна амплитуде или действующему значению (в зависимости от настройки измерителя) измеряемой величины. В данном поле можно также производить математические действия над векторами, используя имена измерителей или имена, назначенные в поле (2).

Примечание. В поле определения векторов возможны следующие математические действия:

1. Поворот вектора: справа от имени вектора, в скобках, указывается угол поворота в градусах (например, **A1(45)**, или **A1(-45)**).

2. Изменение величины вектора в k-раз: перед именем вектора указывается значение k, после чего ставится "*" (например, **10*A1**, или **0.1*A1**).

3. Операции с векторами: оператор вводится между именами векторов (например, **A1+V1** или **10*A1+A1(45)+0.5*V1(-90)**).

Поле (4) позволяет скрывать или восстанавливать вектор, определенный в поле (3). Поле 5 удаляет вектор, определенный в поле (3). Поле 6 отображает угловые координаты вектора, определенного в поле (3): величину (в единицах, определенных в измерителе), фазу в градусах. Следует отметить, что в возрастании частоты точность вычисления фазы вектора измеряемого сигнала падает, и при частотах выше 10кГц может составить примерно $\pm 2.5^\circ$.

В результате настройки векторных диаграмм для наблюдения напряжения **V1**, **V2** и тока **A1** на экране должны появиться вектора измеряемых величин (пример на рисунке 2.28). После настройки векторных диаграмм напряжения **V1**, **V2** и тока **A1** сохраните изображение.

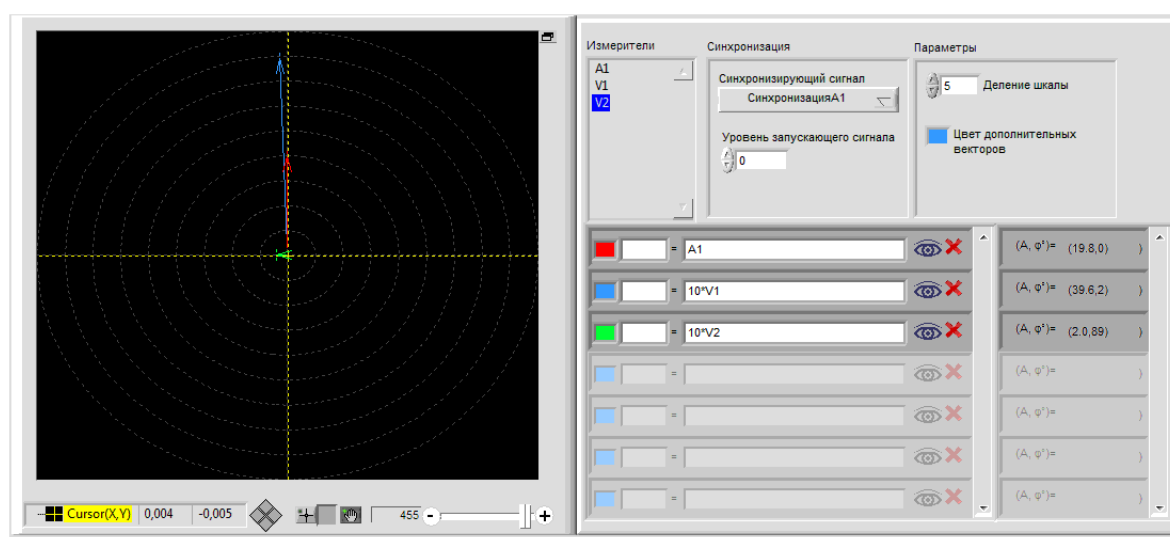


Рисунок 2.28 – Пример векторных диаграмм для наблюдения напряжения **V1**, **V2** и тока **A1**

По данным о фазах напряжения и тока рассчитайте угол между векторами напряжения и тока цепи. Амплитуды и фазы векторов (A, φ) выводятся рядом с полями векторов в окне **Векторная диаграмма**. Убедитесь в том, что угол между вектором напряжения на индуктивности (**V2**) и током (**A1**) составляет примерно 90° .

6. По окончании сохраните файл **MS Excel**. Данные этого файла будут необходимы при подготовки отчета о лабораторной работе.

7. Повторите сделанные измерения и вычисления (п.п.3-6) для всех вариантов, заданных преподавателем. При этом проверяйте запись данных измерительных приборов в файл **MS Excel**.

8. Нажмите **Стоп**.

9. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О** (выключен).

2 эксперимент: «Исследование *RC* цепи синусоидального тока».

Приборы и компоненты:

1. Сопротивление (зона резисторов на плате);
2. Конденсатор (зона конденсаторов на плате);
3. Источник синусоидального напряжения (функциональный генератор $\sim E$);
4. Вольтметры (**V1**, **V2**);
5. Амперметр (**A1**).

Подготовка к проведению эксперимента «Исследование RC цепи синусоидального тока».

1. Закройте **Панель управления**, нажав на крестик в правом верхнем углу. В результате будет доступно **Главное меню** (рисунок 1.20).

2. Из главного меню (рисунок 2.17) двойным щелчком выберите эксперимент «Исследование RC цепи синусоидального тока». Нажмите кнопку **Следующий** ($>>$) на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное изображение электрической схемы лабораторной работы с размещенными на ней полями компонентов и приборов (рисунок 2.29).

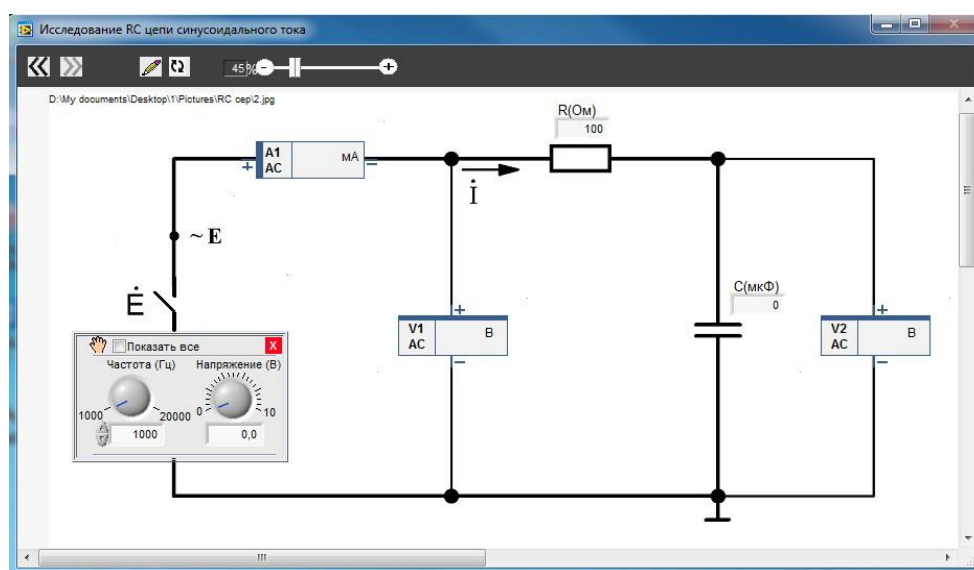


Рисунок 2.29 – Схема электрической цепи эксперимента

4. Соберите на макетной плате электрическую цепь в соответствии со схемой на рисунке 2.29. Установите номиналы сопротивления и емкости в соответствии с заданным преподавателем вариантом (N) из таблицы 2.2.

Таблица 2.2 – Варианты (N) параметров элементов для эксперимента

N	1	2	3	4	5	6	7
$f[\text{кГц}]$	14	12	10	8	6	4	2
$\sim E_{pp} [\text{В}]$	$3 \div 10$						
$C[\text{мкФ}]$	0.022		0.1		1		
$R[\text{Ом}]$	100	200	300	400	500	600	700

5. Введите в поле значения R и поле значения C на рабочем поле лицевой панели величины, соответствующие номиналам установленных на плате сопротивления и емкости согласно заданному варианту.

6. Представьте собранную схему для проверки преподавателю.

Пошаговый порядок выполнения эксперимента «Исследование RC цепи синусоидального тока».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) 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 (1) **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле (3) **Смещ. 0**.

3. Установите напряжение (поле **Напряжение**) и частоту (поле **Частота**) источника, соответствующее заданному преподавателем варианту из таблицы 2.2 и нажмите **Запись**. Следует отметить, что амплитуда выходного напряжения источника синусоидального сигнала ($\sim E$) равна половине значения, введенного в поле **Напряжение**. Затем нажмите кнопку (8) панели управления (рисунок 1.23), откроется файл **MS Excel**. Необходимо убедиться в том, что в указанный файл были записаны данные измерительных приборов. При необходимости пункты 1-3 порядка выполнения эксперимента повторить.

4. Вызовите и настройте инструмент **Осциллограмма** для наблюдения напряжения **V1**, **V2** и тока **A1** и сохраните изображение (вызов и настройка проводится аналогично 1 эксперимента лабораторной работы 2).

5. Вызовите и настройте инструмент **Векторная диаграмма** для наблюдения напряжения **V1**, **V2** и тока **A1** и сохраните изображение (вызов и настройка проводится аналогично 1 эксперимента лабораторной работы 2). По данным о фазах напряжения и тока рассчитайте угол между векторами напряжения и тока цепи. Амплитуды и фазы векторов (A , φ) выведены рядом с полями определения векторов в окне **Векторная диаграмма**. Убедитесь в том, что угол между вектором напряжения на емкости (**V2**) и током (**A1**) составляет примерно -90° .

6. По окончании сохраните файл **MS Excel**. Данные этого файла будут необходимы при подготовки отчета о лабораторной работе.

7. Повторите проделанные измерения и вычисления (п.п.3-6) для всех вариантов, заданных преподавателем. При этом проверяйте запись данных измерительных приборов в файл **MS Excel**.

8. Нажмите **Стоп**.

9. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О** (выключен).

3 эксперимент: «Резонанс напряжений в цепи синусоидального тока».

Приборы и компоненты:

1. Сопротивление (зона резисторов на плате);
2. Конденсатор (зона конденсаторов на плате);
3. Индуктивность (зона индуктивностей на плате);
4. Источник синусоидального напряжения (функциональный генератор $\sim E$);
5. Вольтметры (**V1**, **V2**, **V3**);
6. Амперметр (**A1**).

Подготовка к проведению эксперимента «Резонанс напряжений в цепи синусоидального тока».

1. Закройте **Панель управления**, нажав на крестик в правом верхнем углу. В результате будет доступно **Главное меню** (рисунок 1.20).

2. Из главного меню (рисунок 2.17) двойным щелчком выберите эксперимент «Резонанс напряжений в цепи синусоидального тока». Нажмите кнопку **Следующий** (>>) на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное изображение электрической схемы лабораторной работы с размещенными на ней полями компонентов и приборов (рисунок 2.30).

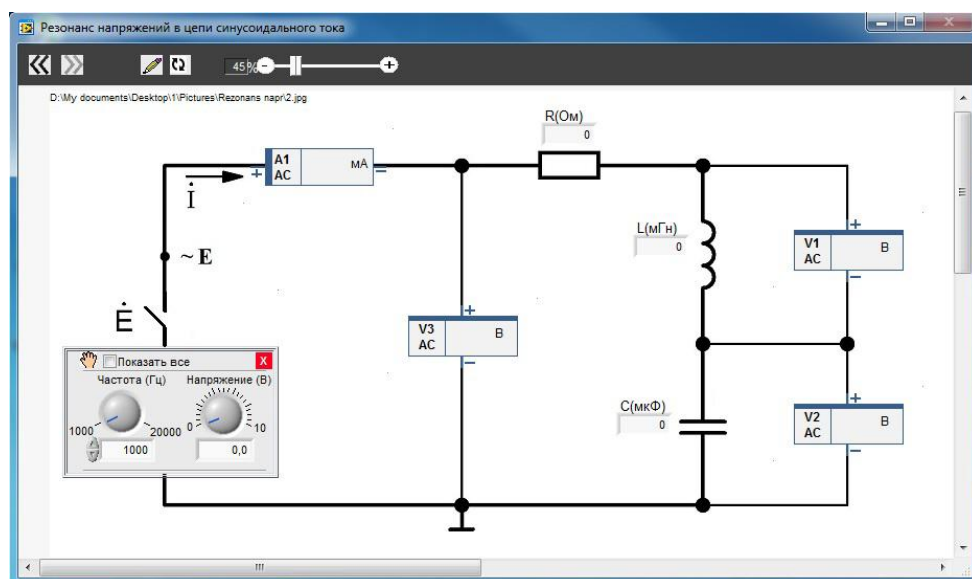


Рисунок 2.30 – Схема электрической цепи эксперимента

4. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на рисунок 2.30. Установите номиналы сопротивления, индуктивности и емкости, в соответствии с заданным преподавателем вариантом (N) из таблицы 2.3.

Таблица 2.3 – Варианты (N) параметров элементов для эксперимента

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sim E_{pp}$ [В]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R [Ом]	100 ÷ 500						100 ÷ 200	100	100	
L [мГн]	10						1		0.47	
C [мкФ]	0.1		0.022		0.01		1	0.1	1	

5. Введите в поле значения **R**, поле значения **L** и поле значения **C** на рабочем поле лицевой панели величины, соответствующие номиналам установленных на плате сопротивления, индуктивности и емкости цепи согласно заданному варианту.

6. Представьте собранную схему для проверки преподавателю.

Пошаговый порядок выполнения эксперимента «Резонанс напряжений в цепи синусоидального тока».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) 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 (1) **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле (3) **Смещ. 0**.

3. Установите напряжение (поле **Напряжение**) источника, соответствующее заданному преподавателем варианту, начальную частоту (2кГц, поле **Частота**) и нажмите **Запись**. Следует отметить, что амплитуда выходного напряжения источника синусоидального сигнала ($\sim E$) равна половине значения, введенного в поле **Напряжение**. Затем нажмите кнопку (8) панели управления (рисунок 1.23), откроется файл **MS Excel**. Необходимо убедиться в том, что в указанный файл были записаны данные измерительных приборов. При необходимости пункты 1-3 порядка выполнения эксперимента повторить.

4. Пошагово (с шагом – 2 кГц) поднимайте частоту от 2 кГц до 18 кГц. Нажимая **Запись**, записывайте показания приборов на каждом шаге. Необходимо убедиться в том, что в файл **MS Excel** записаны данные измерительных приборов на каждом шаге. При подходе к резонансной частоте, уменьшите шаг так, чтобы зафиксировать эту точку. В режиме резонанса напряжений в исследуемой цепи, показания **A1** будут иметь максимальное значение. Таким образом, нужно найти значения частоты при шаге 2 кГц при которой показания **A1** начнут уменьшаться. Затем вернуться на предыдущую частоту и постепенно увеличивая частоту на 100 Гц найти максимальное значение тока **A1** и записать эту точку в файл **MS Excel**.

5. Вызовите и настройте инструмент **Осциллограмма** (вызов и настройка проводится аналогично 1 эксперимента лабораторной работы 2) для наблюдения напряжений **V1**, **V2**, **V3** и тока **A1** и сохраните 3 картинки для частот: ниже резонансной, на резонансной, выше резонансной.

6. Вызовите и настройте инструмент **Векторная диаграмма** (вызов и настройка проводится аналогично 1 эксперимента лабораторной работы 2) для наблюдения напряжений **V1**, **V2**, **V3** и тока **A1** и сохраните 3 картинки для частот: ниже резонансной, на резонансной, выше резонансной. По данным о фазах напряжения и тока рассчитайте угол между векторами напряжения и тока цепи в точке резонанса. Амплитуды и фазы векторов (A , φ) выведены рядом с полями определения векторов в окне **Векторная диаграмма**. Убедитесь в том, что угол между вектором общего напряжения (**V3**) и током (**A1**) в точке резонанса близок к нулю.

7. Повторите сделанные измерения и вычисления (п.п.3-6) для всех вариантов, заданных преподавателем. При этом проверяйте запись данных измерительных приборов в файл **MS Excel**. Данные этого файла будут необходимы при подготовке отчета о лабораторной работе.

8. Нажмите **Стоп**.

9. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О** (выключен).

4 эксперимент: «Резонанс токов в цепи синусоидального тока».

Приборы и компоненты:

1. Сопротивление (зона резисторов на плате);
2. Конденсатор (зона конденсаторов на плате);
3. Индуктивность (зона индуктивностей на плате);
4. Источник синусоидального напряжения (функциональный генератор $\sim E$);
5. Вольтметр (**V1**);
6. Амперметры (**A1**, **A2**, **A3**).

Подготовка к проведению эксперимента «Резонанс токов в цепи синусоидального тока».

1. Закройте **Панель управления**, нажав на крестик в правом верхнем углу. В результате будет доступно **Главное меню** (рисунок 1.20).

2. Из главного меню (рисунок 2.17) двойным щелчком выберите эксперимент «Резонанс токов в цепи синусоидального тока». Нажмите кнопку **Следующий** (>>) на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное изображение электрической схемы лабораторной работы с размещенными на ней полями компонентов и приборов (рисунок 2.30).

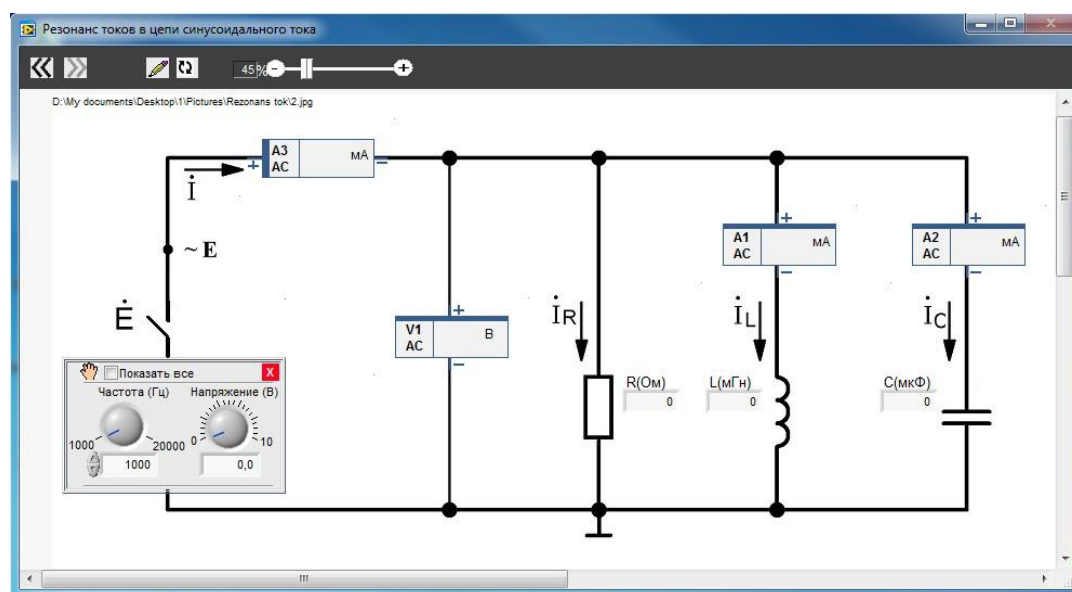


Рисунок 2.31 – Схема электрической цепи эксперимента

4. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на рисунок 2.31. Установите номиналы сопротивления, индуктивности и емкости, в соответствии с заданным преподавателем вариантом (N) из таблицы 2.4.

Таблица 2.4 – Варианты (*N*) параметров элементов для эксперимента

<i>N</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sim E_{pp}$ [В]	10	9	8	7	6	5	4	3	10	9
<i>R</i> [Ом]	1000 ÷ 2000									
<i>L</i> [мГн]	10						1		0.47	
<i>C</i> [мкФ]	0.1		0.022		0.01		1	0.1	1	

5. Введите в поле значения **R**, поле значения **L** и поле значения **C** на рабочем поле лицевой панели величины, соответствующие номиналам установленных на плате сопротивления, индуктивности и емкости цепи согласно заданному варианту.

6. Представьте собранную схему для проверки преподавателю.

Пошаговый порядок выполнения эксперимента «Резонанс токов в цепи синусоидального тока».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) 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 (1) **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле (3) **Смещ. 0**.

3. Установите напряжение (поле **Напряжение**) источника, соответствующее заданному преподавателем варианту, начальную частоту (2кГц, поле **Частота**) и нажмите **Запись**. Следует отметить, что амплитуда выходного напряжения источника синусоидального сигнала ($\sim E$) равна половине значения, введенного в поле **Напряжение**. Затем нажмите кнопку (8) панели управления (рисунок 1.23), откроется файл **MS Excel**. Необходимо убедиться в том, что в указанный файл были записаны данные измерительных приборов. При необходимости пункты 1-3 порядка выполнения эксперимента повторить.

4. Пошагово (с шагом – 2 кГц) поднимайте частоту от 2 кГц до 18 кГц. Нажимая **Запись**, записывайте показания приборов на каждом шаге. Необходимо убедиться в том, что в файл **MS Excel** записаны данные

измерительных приборов на каждом шаге. При подходе к резонансной частоте, уменьшите шаг так, чтобы зафиксировать эту точку. В режиме резонанса токов в исследуемой цепи, показание A_3 будут иметь минимальное значение. Таким образом, нужно найти значения частоты при шаге 2 кГц при которой показания A_3 начнут увеличиваться. Затем вернуться на предыдущую частоту и постепенно увеличивая частоту на 100 Гц найти минимальное значение тока A_3 и записать эту точку в файл **MS Excel**.

5. Вызовите и настройте инструмент **Осциллограмма** (вызов и настройка проводится аналогично 1 эксперимента лабораторной работы 2) для наблюдения напряжения **V1** и токов **A1, A2, A3** и сохраните 3 картинки для частот: ниже резонансной, на резонансной, выше резонансной.

6. Вызовите и настройте инструмент **Векторная диаграмма** (вызов и настройка проводится аналогично 1 эксперимента лабораторной работы 2) для наблюдения напряжения **V1** и токов **A1, A2, A3** и сохраните 3 картинки для частот: ниже резонансной, на резонансной, выше резонансной. По данным о фазах напряжения и тока рассчитайте угол между векторами напряжения и тока цепи в точке резонанса. Амплитуды и фазы векторов (A, φ) выведены рядом с полями определения векторов в окне **Векторная диаграмма**. Убедитесь в том, что угол между векторами тока (**A1**) и тока (**A2**) в точке резонанса близок к 180° .

7. Повторите сделанные измерения и вычисления (п.п.3-6) для всех вариантов, заданных преподавателем. При этом проверяйте запись данных измерительных приборов в файл **MS Excel**. Данные этого файла будут необходимы при подготовки отчета о лабораторной работе.

8. Нажмите **Стоп**.

9. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О** (выключен).

Обработка экспериментальных данных

Необходимо провести расчёты в соответствии с требованиями раздела пошаговый порядок выполнения экспериментов лабораторной работы.

Для 1 эксперимента необходимо:

1. По полученным в эксперименте данным рассчитайте следующие величины: $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$, $\cos \varphi$, $Z_{\text{эксп}} = \frac{U}{I}$, $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$, $Z_{\text{уст}} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$, $\sigma = \frac{Z_{\text{уст}} - Z_{\text{эксп}}}{Z_{\text{уст}}} \cdot 100\%$, $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$. Результаты расчетов занести в таблицу 2.5.

Таблица 2.5

N	Установить				Измерить				Рассчитать					
	f	R	L	~Err	V1	V2	A1	$\varphi_u - \varphi_i$	Z(эксп.)	X _L (уст.)	Z(уст.)	Погрешность	cosφ	P
	[кГц]	[Ом]	[мкФ]	[В]	[В]	[В]	[мА]	градус	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[%]	-	[Вт]
1														
2														
3														

Для 2 эксперимента необходимо:

2. По полученным в эксперименте данным рассчитайте следующие величины: $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$, $\cos \varphi$, $Z_{\text{эксп}} = \frac{U}{I}$, $X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$, $Z_{\text{уст}} = \sqrt{R^2 + X_C^2}$, $\sigma = \frac{Z_{\text{уст}} - Z_{\text{эксп}}}{Z_{\text{уст}}} \cdot 100\%$, $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$. Результаты расчетов занести в таблицу 2.6.

Таблица 2.6

N	Установить				Измерить				Рассчитать					
	f	R	C	~Err	V1	V2	A1	$\varphi_u - \varphi_i$	Z(эксп.)	X _C (уст.)	Z(уст.)	Погрешность	cosφ	P
	[кГц]	[Ом]	[мкФ]	[В]	[В]	[В]	[мА]	градус	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[%]	-	[Вт]
1														
2														
3														

Для 3 эксперимента необходимо:

3. По полученным в эксперименте данным рассчитайте следующие величины: $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$, $\cos \varphi$, $Z_{\text{эксп}} = \frac{U}{I}$, $X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$, $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$, $Z_{\text{уст}} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$, $\sigma = \frac{Z_{\text{уст}} - Z_{\text{эксп}}}{Z_{\text{уст}}} \cdot 100\%$, $Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R}$, а также резонансный

ток $I_p = \frac{U}{R}$ и частоту $f_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$. Результаты расчетов занести в таблицу 2.7.

4. По полученным данным (таблица 2.7) постройте амплитудно-частотную характеристику для тока в цепи. Сравните расчетные значения резонансной частоты с полученной в ходе эксперимента.

Таблица 2.7

N	Установить					Измерить					Рассчитать								
	f	R	L	C	~Err	V1	V2	V3	A1	$\varphi_u - \varphi_i$	Z (эксп.)	X _c (уст.)	X _l (уст.)	Z (уст.)	Погрешность Z	cosφ	f (PH)	I (PH)	Q
	[кГц]	[Ом]	[мГн]	[мкФ]	[В]	[В]	[В]	[В]	[мА]	градус	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[%]	-	Гц	[мА]	-
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			

Для 4 эксперимента необходимо:

5. По полученным в эксперименте данным рассчитайте следующие величины: $\varphi = \varphi_{A1} - \varphi_{A2}$, $\cos \varphi$, $Z_{\text{эксп}} = \frac{U}{I}$, $X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$, $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$,

$$Z_{\text{уст}} = \frac{1}{Y} = 1 / \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L} - 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C\right)^2}, \quad \sigma = \frac{Z_{\text{уст}} - Z_{\text{эксп}}}{Z_{\text{уст}}} \cdot 100\%, \quad Q = R \cdot \sqrt{C/L}, \text{ а}$$

также резонансный ток $I_p = \frac{U}{R}$ и частоту $f_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$. Результаты расчетов занести в таблицу 2.8.

Таблица 2.8

N	Установить					Измерить					Рассчитать											
	f	R	L	C	~Err	V1	A1	A2	A3	$\varphi_{A1} - \varphi_{A2}$	Z (эксп.)	X _c (уст.)	X _L (уст.)	Z (уст.)	Погрешность Z	cosφ	f (PT)	I (PT)	Q			
	[кГц]	[Ом]	[мГн]	[мкФ]	[В]	[В]	[мА]	[мА]	[мА]	градус	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[%]	-	Гц	[мА]	-			
1																						
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
10																						
11																						
12																						
13																						
14																						

6. По полученным данным (таблица 2.8) постройте амплитудно-частотную характеристику для общего тока в цепи. Сравните расчетные значения резонансной частоты с полученной в ходе эксперимента.

Содержание отчета

Аналогично лабораторной работы 1.

Контрольные вопросы

1. Что такое сдвиг фаз между током и напряжением? Чему он равен на R , L и C элементах? Нарисуйте векторные диаграммы.
2. Запишите закон Ома для цепи переменного тока с последовательным соединением R , L и C ?
3. Дайте определение цепи синусоидального тока. Какими величинами определяется синусоидально изменяющаяся функция?
4. Что понимается под действующими значениями синусоидального тока?
5. Что понимают под «резонансом токов»? Условие возникновения данного режима. Нарисуйте векторные диаграммы режима резонанса токов.
6. Какой режим работы синусоидального тока носит название «резонанса напряжения»? Условие возникновения резонанса.
7. Напишите формулы для определения резонансной угловой частоты параллельного и последовательного контуров?
8. Что означает понятие добротности контура? частотные характеристики? резонансные кривые?
9. Какова величина действующего значения тока при резонансе напряжений и резонансе токов по отношению к режиму до резонанса?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная учебная литература

1. Немцов М.В. Электротехника и электроника (6-е изд., стер.) учебник. – М: Академия, 2013. – 480 с. – ISBN: 9785446804320.
2. Электротехника и электроника: Учебное пособие для вузов / В.В. Кононенко [и др.]; под ред. В.В. Кононенко. – Изд. 6-е – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 784 с. (Серия «Высшее образование». – ISBN 978-5-222-17568-2.

Дополнительная литература

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Углубленный курс. Учебник для бакалавров. Изд.12, испр., доп., 2014. – 701 с. – ISBN 978-5-9916-3210-2.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

Трёхфазные цепи. Исследование цепи трёхфазного тока при различных схемах соединения нагрузки

Цель работы:

1. Измерение напряжений и токов в цепях трёхфазной сети при подключении потребителя по схеме «звезда». Рассматриваются различные варианты: симметричные и несимметричные подключения, обрыв нейтральной линии, неравномерные нагрузки в плечах «звезды».

2. измерение напряжений и токов в цепях трёхфазной сети при подключении потребителя по схеме «треугольник». Рассматриваются различные варианты для симметричных и несимметричных подключений при обрыве в цепи одного из линейных токов.

В результате выполнения практического занятия у студента формируются компетенции ОПК-4.

Теоретическое обоснование

Электрическая цепь, состоящая из системы трех синусоидальных ЭДС, имеющих одну и ту же частоту и сдвинутых по фазе одна относительно другой на угол $2\pi/3$ (120°), к которым с помощью соединительных проводов подключена нагрузка, называется трёхфазной. Графики мгновенных значений *трёхфазной симметричной системы ЭДС* с действующим значением каждой фазы $E_A = E_B = E_C = 220\text{ В}$ изображены на рисунке 3.1, соответствующая векторная диаграмма – на рисунке 3.2.

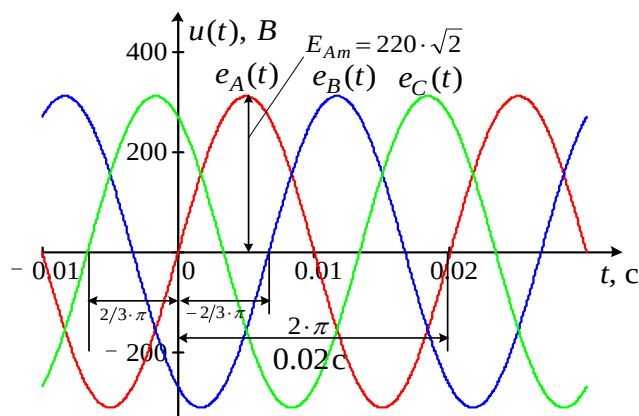


Рисунок 3.1 – Графики мгновенных значений трёхфазной симметричной системы ЭДС

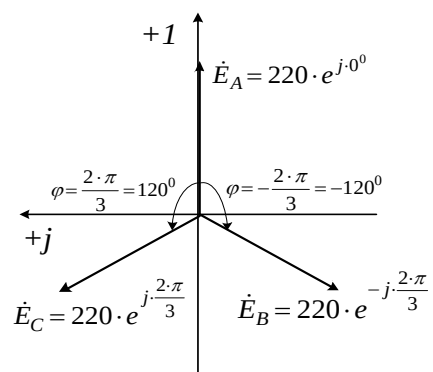


Рисунок 3.2 – Векторная диаграмма трёхфазной симметричной системы ЭДС

На электрической схеме трехфазный генератор принято изображать в виде трех обмоток, расположенных под углом 120° . При соединении звездой одноименные зажимы трех обмоток объединяют в одну точку (рисунок 3.3), которую называют *нулевой точкой* генератора N .

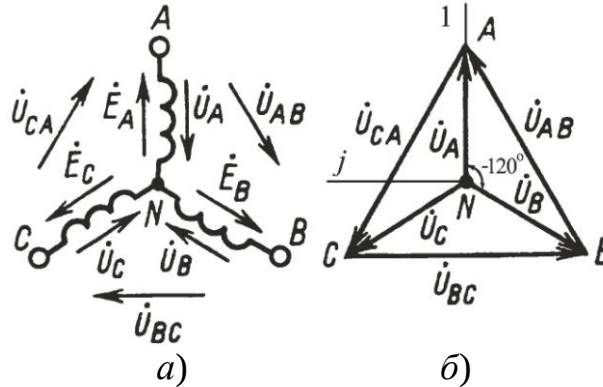


Рисунок 3.3 – Схема соединения трехфазных обмоток генератора звездой (а) и соответствующая векторная диаграмма напряжений (б)

Обмотки генератора обозначают буквами A , B , C ; буквы ставят: A – у начала первой, B – у начала второй и C – у начала третьей фазы.

Таким образом, при соединении обмоток трехфазного генератора звездой (рисунок 3.3 а) линейные напряжения определяются через разности фазных напряжений:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B; \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C; \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A. \quad (3.1)$$

Для симметричного генератора (источника) фазные напряжения

$$\dot{U}_A = U_\phi; \dot{U}_B = U_\phi \cdot e^{-j \cdot \frac{2\pi}{3}}; \dot{U}_C = U_\phi \cdot e^{j \cdot \frac{2\pi}{3}}, \quad (3.2)$$

линейные напряжения (рисунок 3.3 б)

$$\dot{U}_{AB} = U_\pi \cdot e^{j \cdot \frac{\pi}{6}}; \dot{U}_{BC} = U_\pi \cdot e^{-j \cdot \frac{\pi}{2}}; \dot{U}_{CA} = U_\pi \cdot e^{j \cdot \frac{5\pi}{6}}. \quad (3.3)$$

Между линейными и фазными напряжениями для симметричного источника существует зависимость:

$$U_\pi = \sqrt{3} \cdot U_\phi. \quad (3.4)$$

При соединении обмоток генератора треугольником (рисунок 3.4) конец первой обмотки генератора соединяют с началом второй, конец второй – с началом третьей, конец третьей – с началом первой. Геометрическая сумма ЭДС в замкнутом треугольнике равна нулю. Поэтому если к зажимам A , B , C не присоединена нагрузка, то по обмоткам генератора не будет протекать ток.

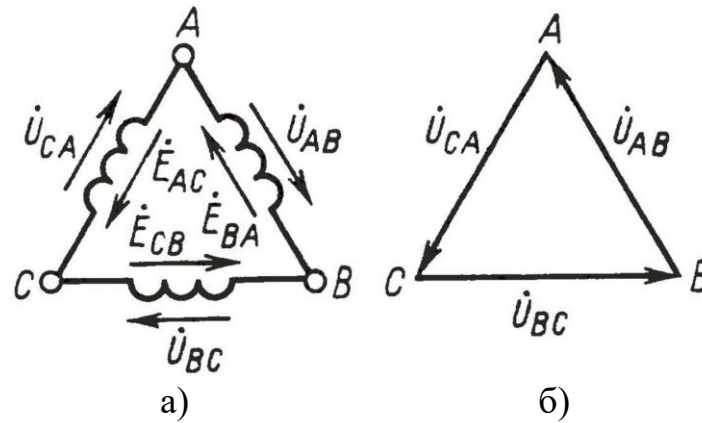


Рисунок 3.4 – Схема соединения трехфазных обмоток генератора треугольником (а) и соответствующая векторная диаграмма напряжений (б)

При соединении обмоток трехфазного источника треугольником (рисунок 3.4 а) линейные напряжения равны фазным (рисунок 3.4 б)

$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}. \quad (3.5)$$

Выделяют следующие *схемы соединения трехфазного генератора с нагрузкой*. В случаи *соединения обмоток генератора звездой*: звезда – звезда с нулевым проводом, звезда – звезда без нулевого провода, звезда – треугольник.

В случаи *соединения обмоток генератора треугольником*, выделяют следующие *схемы соединения трехфазного генератора с нагрузкой*: треугольник – звезда, треугольник – треугольник.

Расчет трехфазных цепей синусоидального тока с симметричной несимметричной нагрузкой.

Трехфазные цепи являются разновидностью цепей синусоидального тока, и потому расчет и исследование процессов в них производят теми же методами и приемами. Для цепей трехфазного тока применим также символический метод расчета, построение векторных и топографических диаграмм. Векторные диаграммы облегчают нахождение углов между токами и напряжениями, делают все соотношения более наглядными и помогают находить возникающие ошибки при аналитическом расчете.

Симметричный режим. Для симметричного приемника, соединенного звездой (рисунок 3.5 а), справедливо соотношение $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = \underline{Z}$, напряжение смещения нейтрали $\dot{U}_{nN}$ равно нулю, а токи в фазах

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{(\underline{Z} + \underline{Z}_L)}; \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{(\underline{Z} + \underline{Z}_L)}; \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{(\underline{Z} + \underline{Z}_L)}, \quad (3.6)$$

где $\underline{Z}_L$ – сопротивление симметричной линии на фазу. По модулю токи равны и имеют сдвиг по фазе относительно друг друга, равный 120° (рисунок 3.5 б):

$$I_A = I_B = I_C = \frac{U_\Phi}{|\underline{Z} + \underline{Z}_L|}. \quad (3.7)$$

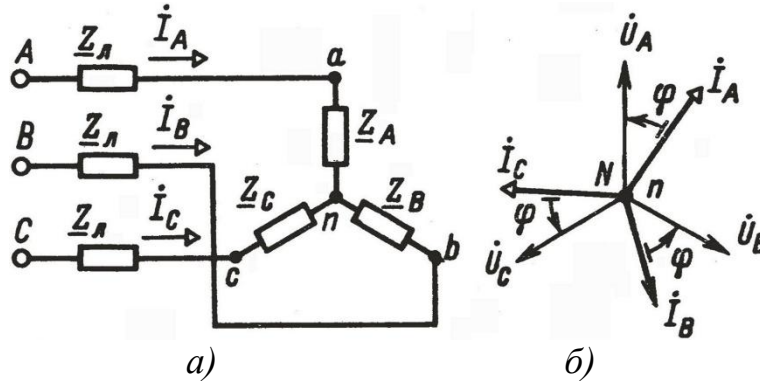


Рисунок 3.5 – Схема (а) и векторная диаграмма (б) трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой

Для симметричного приемника, соединенного треугольником (рисунок 3.6 а), справедливо соотношение $\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca} = \underline{Z}$. Если $\underline{Z}_L = 0$, то фазные токи приемника равны:

$$\dot{I}_{ab} = \dot{U}_{AB}/(\underline{Z}); \quad \dot{I}_{bc} = \dot{U}_{BC}/(\underline{Z}); \quad \dot{I}_{ca} = \dot{U}_{CA}/(\underline{Z}). \quad (3.8)$$

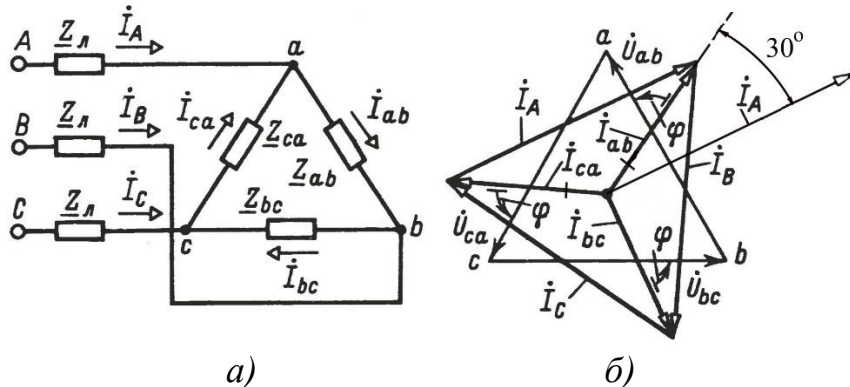


Рисунок 3.6 – Схема (а) и векторная диаграмма (б) трехфазной цепи при соединении нагрузки треугольником

По модулю токи равны и имеют сдвиг по фазе относительно друг друга, равный 120° (рисунок 3.6 б):

$$I_{ab} = I_{bc} = I_{ca} = I_\Phi = U_\Phi / |\underline{Z}|. \quad (3.9)$$

Линейные токи приемника определяются разностью фазных токов:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}. \quad (3.10)$$

Как видно из векторной диаграммы (рисунок 3.6 б),

$$\dot{I}_A = \sqrt{3} \cdot \dot{I}_{ab} \cdot e^{-j \cdot \frac{\pi}{6}}; \dot{I}_B = \dot{I}_A \cdot e^{-j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3}}; \dot{I}_C = \dot{I}_A \cdot e^{j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3}}. \quad (3.11)$$

Если $\underline{Z}_l \neq 0$, то (после преобразования треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду) линейные токи

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}/3 + \underline{Z}_l}; \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}/3 + \underline{Z}_l}; \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}/3 + \underline{Z}_l}. \quad (3.12)$$

Фазные токи определяются через линейные:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{I}_A}{\sqrt{3}} e^{j \cdot \frac{\pi}{6}}; \dot{I}_{bc} = \dot{I}_{ab} \cdot e^{-j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3}}; \dot{I}_{ca} = \dot{I}_{ab} \cdot e^{j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3}}. \quad (3.13)$$

Несимметричный режим. При соединении приемника звездой с нейтральным проводом (рисунок 3.7)

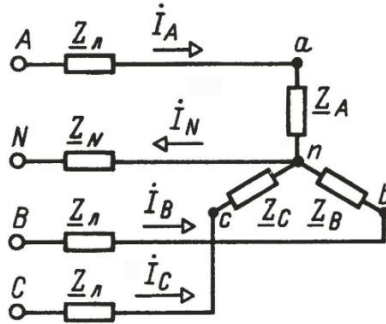


Рисунок 3.7 – Схема трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой с нейтральным проводом

Напряжение смещения нейтрали на основании метода двух узлов

$$\dot{U}_{nN} = \frac{\dot{U}_A \cdot \underline{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \underline{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N}, \quad (3.14)$$

где $\underline{Y}_A = 1/(\underline{Z}_A + \underline{Z}_l)$; $\underline{Y}_B = 1/(\underline{Z}_B + \underline{Z}_l)$; $\underline{Y}_C = 1/(\underline{Z}_C + \underline{Z}_l)$; $\underline{Y}_N = 1/\underline{Z}_N$.

Линейные токи и ток в нейтральном проводе

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_A + \underline{Z}_l}; \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_B + \underline{Z}_l}; \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_C + \underline{Z}_l}; \dot{I}_N = \frac{\dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_N}. \quad (3.15)$$

По первому закону Кирхгофа

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C. \quad (3.16)$$

Для приемника, соединенного звездой без нейтрального провода и заданных линейных напряжений источника, токи можно определить без предварительного расчета напряжения смещения нейтрали:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{An} &= \frac{\dot{U}_{AB} \cdot \underline{Y}_B - \dot{U}_{CA} \cdot \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}; & \dot{U}_{Bn} &= \frac{\dot{U}_{BC} \cdot \underline{Y}_C - \dot{U}_{AB} \cdot \underline{Y}_A}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}; \\ \dot{U}_{Cn} &= \frac{\dot{U}_{CA} \cdot \underline{Y}_A - \dot{U}_{BC} \cdot \underline{Y}_B}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}.\end{aligned}\quad (3.17)$$

$$\dot{I}_A = \dot{U}_{An} / (\underline{Z}_A + \underline{Z}_{\text{Л}}); \quad \dot{I}_B = \dot{U}_{Bn} / (\underline{Z}_B + \underline{Z}_{\text{Л}}); \quad \dot{I}_C = \dot{U}_{Cn} / (\underline{Z}_C + \underline{Z}_{\text{Л}}). \quad (3.18)$$

При соединении приемника треугольником (рисунок 3.6 а) и $\underline{Z}_{\text{Л}} = 0$ фазные токи определяются согласно (3.8), линейные – (3.10).

Если $\underline{Z}_{\text{Л}} \neq 0$, то треугольник сопротивлений можно преобразовать в эквивалентную звезду и для этого соединения рассчитать линейные токи, как показано выше.

Фазные токи определяются по предварительно найденным фазным напряжениям приемника:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{ab} &= \underline{Z}'_A \cdot \dot{I}_A - \underline{Z}'_B \cdot \dot{I}_B; & \dot{U}_{bc} &= \underline{Z}'_B \cdot \dot{I}_B - \underline{Z}'_C \cdot \dot{I}_C; \\ \dot{U}_{ca} &= \underline{Z}'_C \cdot \dot{I}_C - \underline{Z}'_A \cdot \dot{I}_A;\end{aligned}\quad (3.19)$$

$$\dot{I}_{ab} = \dot{U}_{ab} / (\underline{Z}_{ab}); \quad \dot{I}_{bc} = \dot{U}_{bc} / (\underline{Z}_{bc}); \quad \dot{I}_{ca} = \dot{U}_{ca} / (\underline{Z}_{ca}), \quad (3.20)$$

где $\underline{Z}'_A, \underline{Z}'_B, \underline{Z}'_C$ – сопротивления лучей звезды, эквивалентной треугольнику.

Мощность трехфазной цепи и способы ее измерения.

Симметричный режим. Активная, реактивная и полная мощности симметричного приемника независимо от вида соединения:

$$P = 3 \cdot U_{\text{ф}} \cdot I_{\text{ф}} \cdot \cos \phi = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos \phi, \quad (3.21)$$

$$Q = 3 \cdot U_{\text{ф}} \cdot I_{\text{ф}} \cdot \sin \phi = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \sin \phi, \quad (3.22)$$

$$S = 3 \cdot U_{\text{ф}} \cdot I_{\text{ф}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}}, \quad (3.23)$$

где ϕ – сдвиг по фазе между фазными напряжением и током.

Несимметричный режим. Активная, реактивная и полная мощности несимметричного приемника независимо от вида соединения равны сумме соответствующих мощностей трех фаз.

Измерение мощности. Для измерения активной мощности, передаваемой от источника к приемнику, в трехфазной цепи с нейтральным проводом при несимметричном режиме включают ваттметры в каждую фазу (рисунок 3.8).

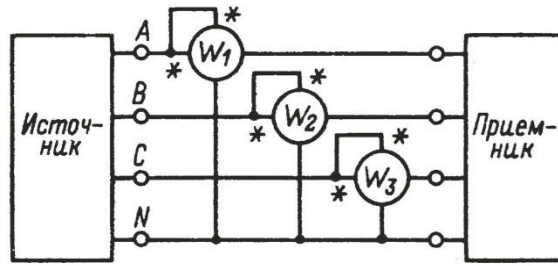


Рисунок 3.8 – Схема для измерения мощности трехфазной цепи с нейтральным проводом

Активная мощность равна сумме показаний ваттметров:

$$P = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3}. \quad (3.24)$$

В случае симметричного режима достаточно одного ваттметра, при этом мощность

$$P = 3 \cdot P_W. \quad (3.25)$$

При отсутствии нейтрального провода активную мощность измеряют двумя ваттметрами, включенными по схеме, показанной на рисунке 3.9 а (и при симметричном, и при несимметричном режимах). Активная мощность равна алгебраической сумме показаний ваттметров:

$$P = P_{W1} + P_{W2}. \quad (3.26)$$

Для измерения реактивной мощности той же трехфазной системы применяют схему включения ваттметров, показанную на рисунке 6.9 б. Реактивная мощность

$$Q = \sqrt{3} \cdot (P_{W1} + P_{W2}). \quad (3.27)$$

При симметричном режиме реактивную мощность можно измерить одним ваттметром, включенным по схеме рисунок 3.9 в. В этом случае

$$Q = \sqrt{3} \cdot P_W. \quad (3.28)$$

Полная мощность для каждой фазы определяется из треугольника мощностей, также как и для цепей однофазного тока.

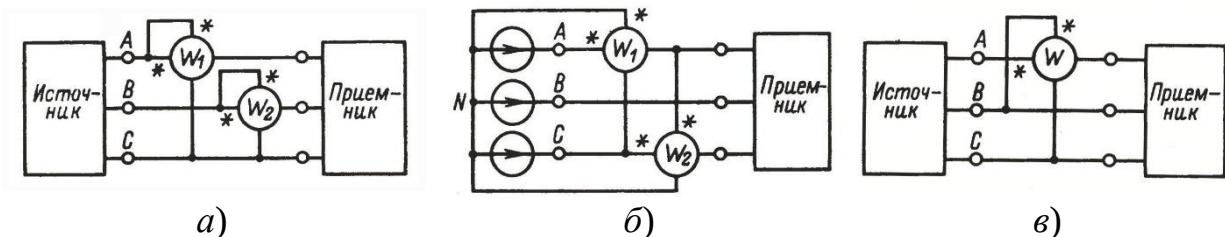


Рисунок 3.9 – Схемы для измерения трехфазной активной мощности в цепи без нейтрального провода (а) и реактивной мощности при несимметричной (б) и симметричной нагрузке (в)

Оборудование и материалы

1. Лабораторная работа выполняется на специально разработанной макетной плате «**Силовая электроника**» для рабочей станции **NI ELVIS II** сопряженной с ПЭВМ. В дальнейшем будем эту систему называть лабораторный стенд (рисунок 3.10).

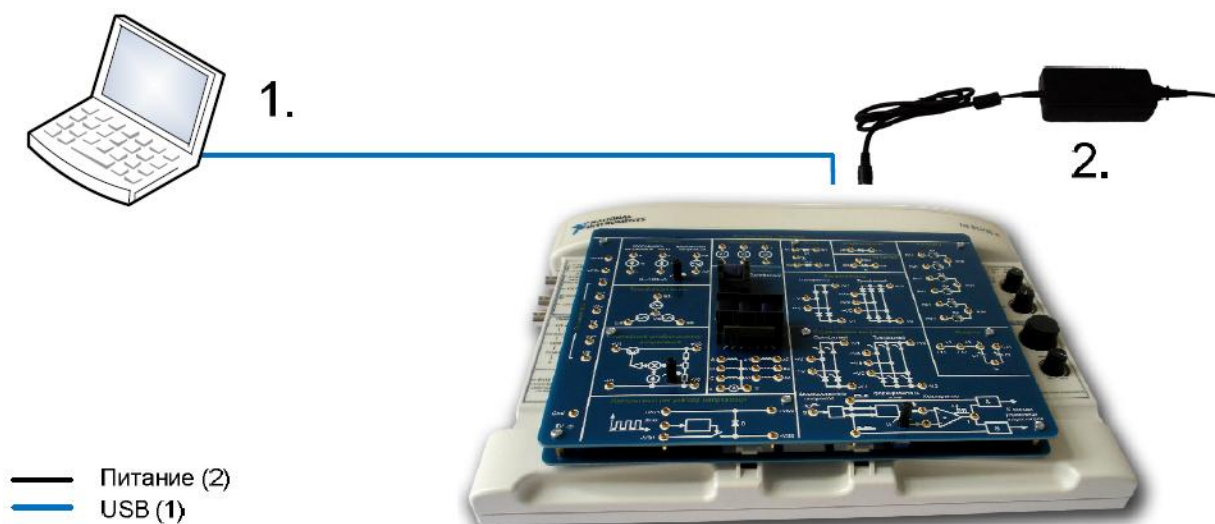


Рисунок 3.10 –Лабораторный стенд с макетной платой «Силовая электроника» подключаемый к ПЭВМ: 1 – персональный компьютер (ПЭВМ); 2 – Блок питания обеспечивающий электропитание NI ELVIS II и макетной платы

2. В стандартной комплектации лабораторного стенда имеются соединительные провода 19 шт.

3. Для работы лабораторного стенда необходимо также иметь следующее оборудование и программное обеспечение. **Системные требования к персональному компьютеру:** Pentium-4 и выше, ОЗУ минимум 256МБ, свободное пространство на жестком диске не менее 200МБ. Видеокарта и монитор Поддерживающее разрешение экрана не менее 1024x768 точек. **Необходимое программное обеспечение.** Операционная система: MS Windows 7. Microsoft Office 2010. Для чтения документации: Adobe Reader 9.0 или выше. Программное обеспечение **NI ELVIS II+** (или «**NI ELVIS II**»). Программное обеспечение **Power Electronics** для проведения лабораторных работ.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы 1.

Задания

Описание макетной платы лабораторного стенда.

На плате установлены электронные компоненты и контактные площадки измерительных приборов, но нет заранее собранных электрических схем (рисунок 3.11).

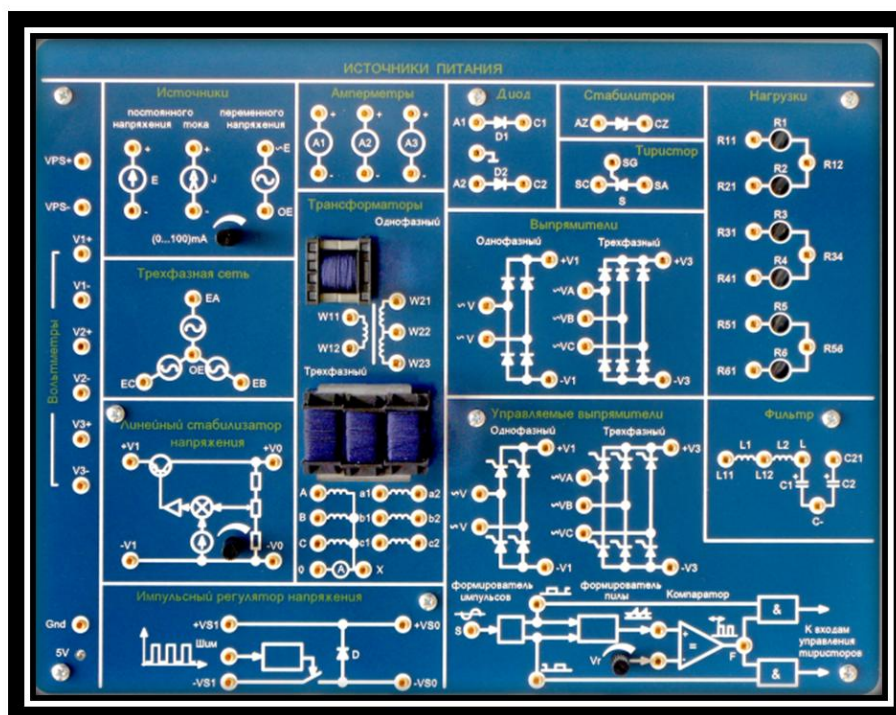


Рисунок 3.11 – Макетная плата «Силовая электроника»

В лабораторной работе будут использоваться только отдельные зоны (рисунок 3.12).

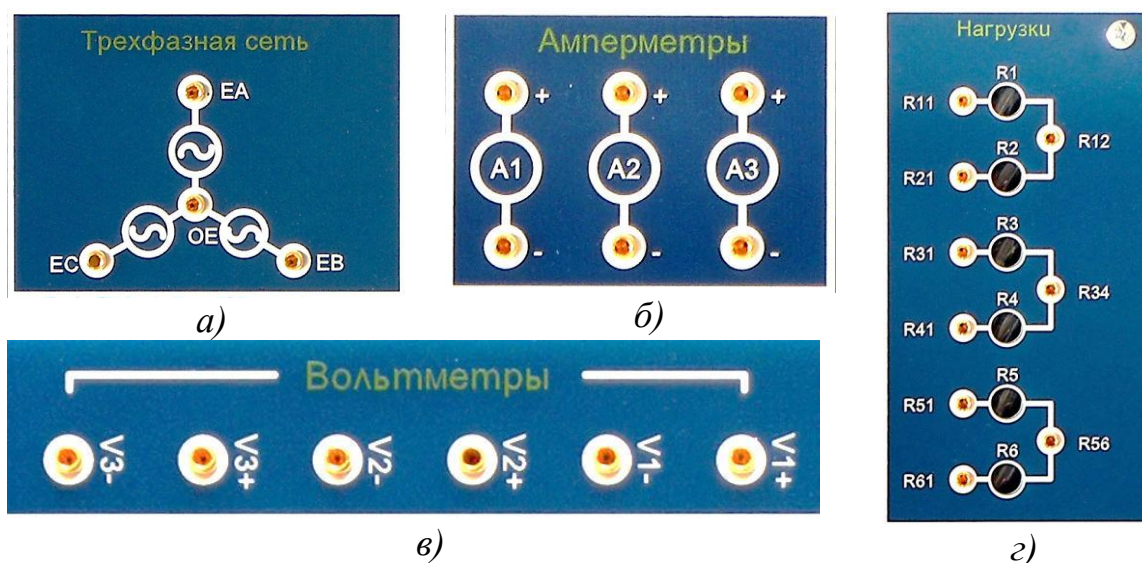


Рисунок 3.12 – Зоны на макетной плате: а) зона трехфазной сети; б) зона амперметров; в) зона вольтметров; г) зона нагрузочных резисторов

Работа с макетной платой лабораторного стенда.

Электрические подключения производятся при помощи соединительных проводов, вставляемых в контактные гнезда на плате согласно схеме, приведенной на лицевой панели каждой лабораторной работы.

Включение и подготовка к работе. Аналогично лабораторной работе 1.

Запуск программы и проведение лабораторных работ. Запуск программы осуществляется двойным щелчком по ярлыку Power Electronics на рабочем столе или через стартовое меню Windows: Пуск -> Power Electronics -> Power Electronics.

При запуске программы на экран монитора выводится лицевая панель с элементами меню **Регистрация** и **Выход** (рисунок 3.13).



Рисунок 3.13 – Начальное окно программы

Перед тем, как начать выполнение лабораторных работ студент может зарегистрироваться (выбрать в меню элемент **Регистрация**). В этом случае после проведения лабораторной работы результаты могут быть сохранены вместе с регистрационными данными студента.

При выборе этого пункта меню откроется окно регистрации (рисунок 3.14). Введите в соответствующие поля курс, группу, кафедру, имя и фамилию, а затем нажмите кнопку **РЕГИСТРАЦИЯ**. Недопустимо использовать в полях тексты в юникоде, а также символы '?', '/', '\', '|', '*', '&', '<', '>', '+', '=', ':', ' '.

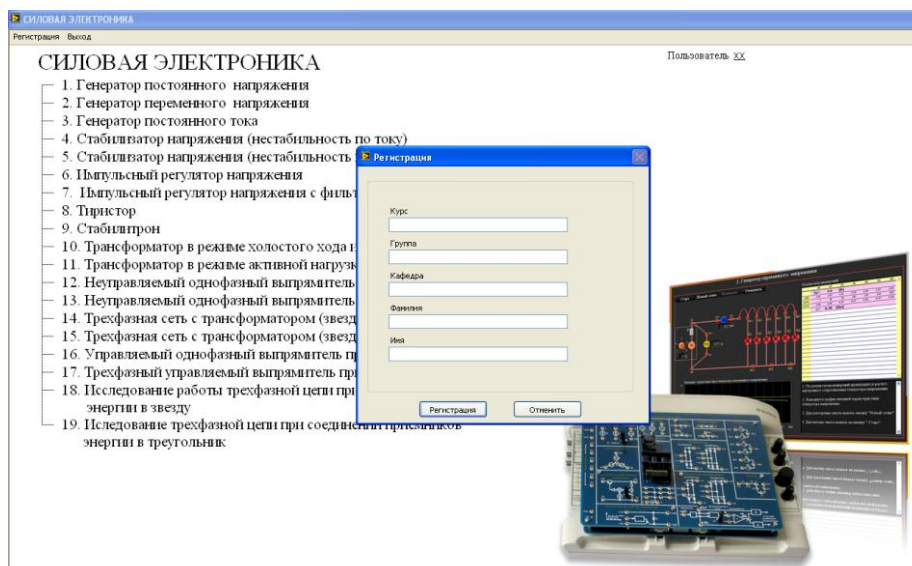


Рисунок 3.14 – Окно регистрации

В случае, если питание платформы NI ELVIS II не было включено, программа выведет сообщение ошибки. Проверьте состояние выключателя, расположенного на торце устройства в задней части платформы NI ELVIS II.

Перед тем, как приступить к выполнению лабораторной работы, студент должен:

1. Внимательно ознакомиться с требованиями по технике безопасности.
2. Ознакомиться с теоретическими материалами по теме.
4. Изучить методику проведения лабораторных работ.
5. Понимать принципы работы электрических схем.

Лабораторная работа 3 **«Трехфазные цепи. Исследование цепи трехфазного тока при различных схемах соединения нагрузки»** будет содержать два эксперимента из главного меню рисунок 3.13: «Исследование работы трехфазной цепи при соединении потребителей энергии в звезду», «Исследование работы трехфазной цепи при соединении приемников энергии в треугольник». Объем измерений для различных схем задается преподавателем.

1 эксперимент: «Исследование работы трехфазной цепи при соединении потребителей энергии в звезду». Приборы и компоненты:

1. Трехфазная сеть;
2. Нагрузки;
- 3 Амперметры (**A1, A2, A3**);
4. Вольтметр (**V1, V2, V3**).

Подготовка к проведению эксперимента «Исследование работы трехфазной цепи при соединении потребителей энергии в звезду».

1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**, см. Рисунок 1.11).

2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).

3. Из главного меню (рисунок 3.14) двойным щелчком выберите эксперимент «Исследование работы трехфазной цепи при соединении потребителей энергии в звезду». На рисунке 3.15 показан пример окно данного эксперимента, в правом нижнем углу открывшейся лицевой панели представлены подробные инструкции по выполнению.

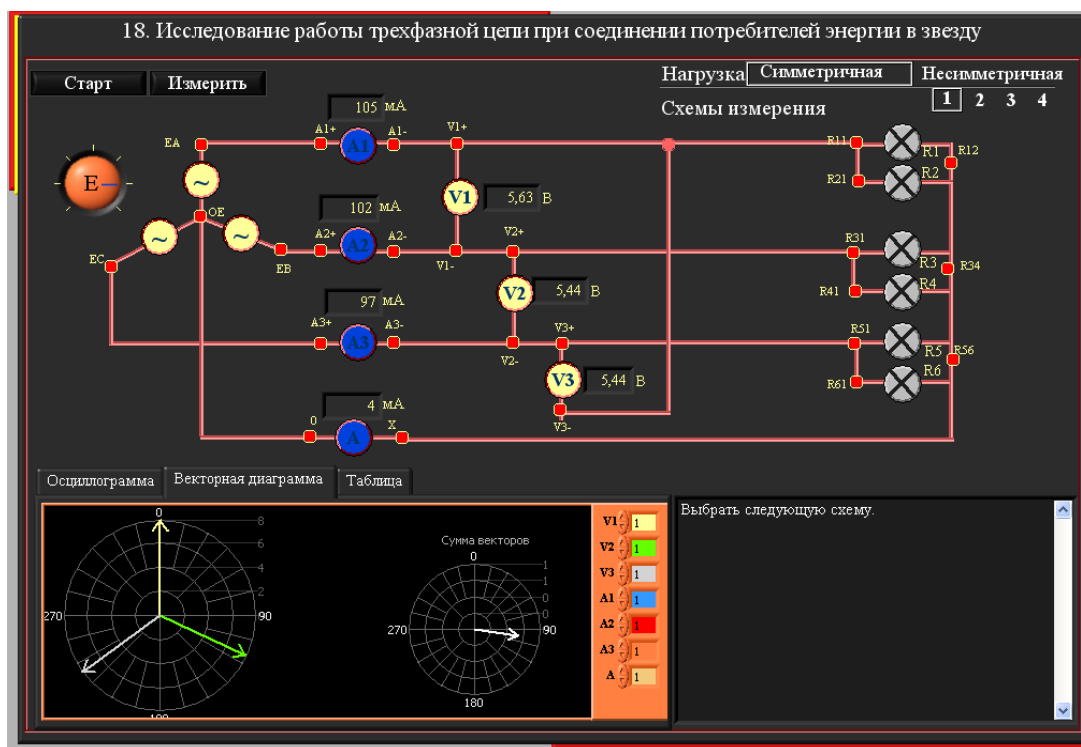


Рисунок 3.15 – Окно эксперимента измерения №1 симметричного режима

Кнопка **Старт** приводит систему в состояние готовности, на лицевую панель выводится электрическая схема выбранной лабораторной работы.

Кнопка **Измерить** начинает выполнение опыта. При этом формируются необходимые входные сигналы для подачи на входы электрической схемы, после чего проводятся соответствующие измерения в определенных точках схемы. Результаты измерений записываются в соответствующие поля таблицы на лицевой панели; на основании полученных значений строятся графики.

Кнопка **Отменить** отменяет последнее выполненное действие.

На лицевой панели имеются измерительные приборы – амперметры (обозначаются символом A) и вольтметры (обозначаются символом V). При наведении курсора мыши на соответствующий индикатор на экране появляется изображение соответствующей стрелочной панели с показаниями прибора. Кроме показаний стрелочных приборов, также существует возможность вывода на экран осциллограмм соответствующих величин. Это возможно, на измерительных приборах у которых изначально более темный цвет. При щелчке мышью по измерительному прибору темного цвета в процессе выполнения лабораторной работы (после нажатия кнопки старт), его цвет изменяется на светлый, а на лицевой панели появляется осциллограмма с соответствующими показаниями. При последующем щелчке мышью по измерительному прибору светлого цвета состояние лицевой панели возвращается в исходное положение.

В лабораторной работе имеется круговой регулятор, при помощи которого можно выставить напряжение исследуемой трехфазной сети.

Окна осциллограмм и векторных диаграмм имеют поля для выбора масштаба.

4. При помощи соединительных проводов произведите подключения на плате в соответствии с рисунком 3.15, приведенным на экране для схемы измерения №1 симметричного режима.

5. Представьте собранную схему для проверки преподавателю.

Пошаговый порядок выполнения эксперимента «Исследование работы трехфазной цепи при соединении потребителей энергии в звезду».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) 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. Выставьте круговой регулятор напряжения трехфазной сети на величине заданной преподавателем.

3. Нажмите кнопку **Измерить**, при этом формируются необходимые входные сигналы для подачи на входы электрической схемы, после чего проводятся соответствующие измерения в определенных точках схемы.

4. Для отображения значений измерительных приборов, необходимо нажать на их изображение на лицевой панели эксперимента. Для схемы измерения №1 симметричного режима окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.15.

5. Выбрать из **Меню** на лицевой панели, элемент **Сохранить**, предназначенный для сохранения результатов эксперимента (включая образ лицевой панели и регистрационные данные студента, дату и время). В этом случае на основании регистрационных данных и наименования проведенной лабораторной работы формируется название файла, который сохраняется в папке *My Documents\Power Electronics*.

6. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О** (выключен).

7. Выберите схему измерения №1 несимметричного режима окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.16

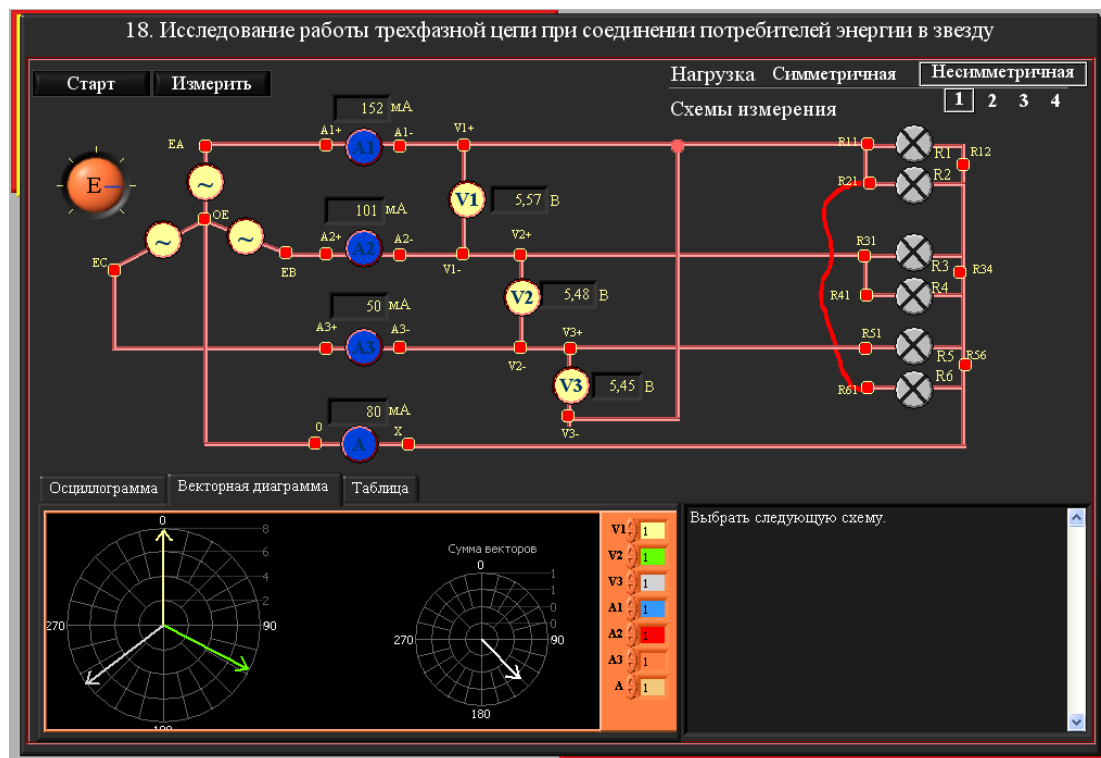


Рисунок 3.16 – Окно эксперимента схемы измерения №1 несимметричного режима

8. Измените схему на плате в соответствии с рисунком 3.16.

Внимание! Любые электрические соединения должны производиться при отключенном питании платы (выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы).

9. Представьте собранную схему для проверки преподавателю.

10. Установите круговой регулятор напряжения трехфазной сети на величине, заданной преподавателем.

11. После завершения монтажа включите питание платы и следуйте инструкциям на экране, в правом нижнем углу лицевой панели.

12. Повторите действия, указанные в пунктах 3-6.

13. Выберите схему измерения №2 симметричного режима, окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.17. Измените на плате схему, проверив, что питание платы отключено (**выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы**). Повторите действия, указанные в пунктах 3-6.

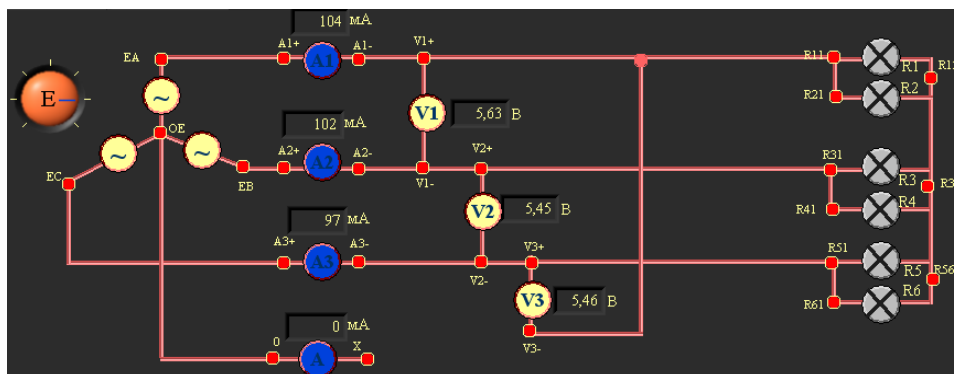


Рисунок 3.17

14. Выберите схему измерения №2 несимметричного режима окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.18. Измените на плате схему, проверив, что питание платы отключено (**выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы**). Повторите действия, указанные в пунктах 3-6.

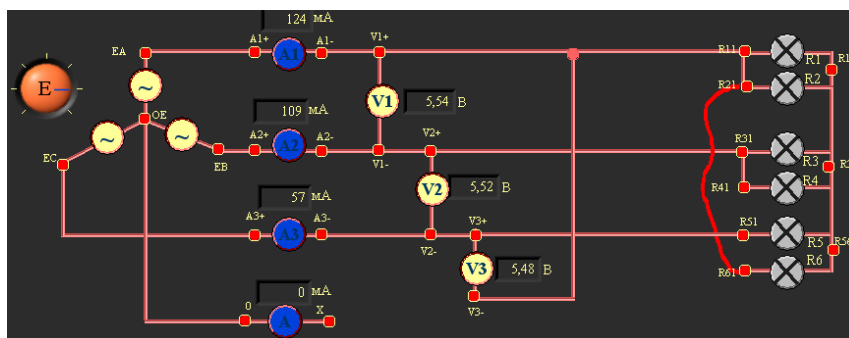


Рисунок 3.18

15. Выберите схему измерения №3 симметричного режима окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.19. Измените на плате схему, проверив, что питание платы отключено (**выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы**). Повторите действия, указанные в пунктах 3-6.

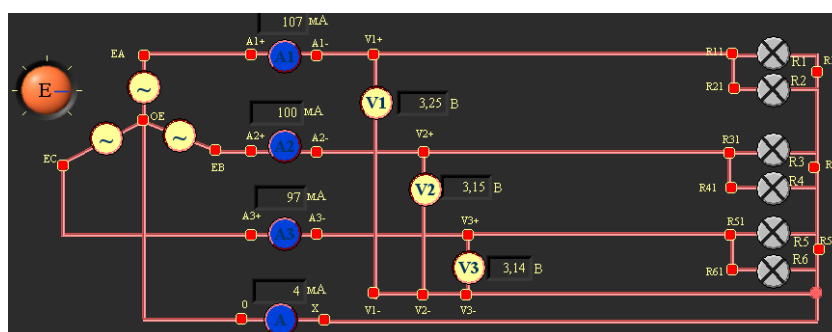


Рисунок 3.19

16. Выберите схему измерения №3 несимметричного режима окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.20. Измените на плате схему, проверив, что питание платы отключено (**выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы**). Повторите действия, указанные в пунктах 3-6.

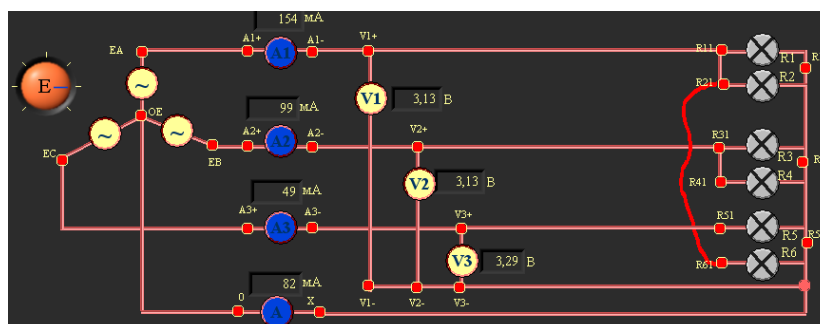


Рисунок 3.20

17. Выберите схему измерения №4 симметричного режима окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.21. Измените на плате схему, проверив, что питание платы отключено (**выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы**). Повторите действия, указанные в пунктах 3-6.

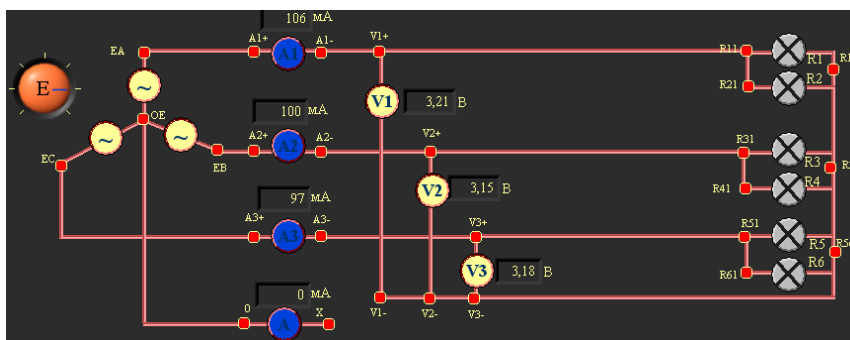


Рисунок 3.21

18. Выберите схему измерения №4 несимметричного режима окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.22. Измените на плате схему, проверив, что питание платы отключено (**выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы**). Повторите действия, указанные в пунктах 3-6.

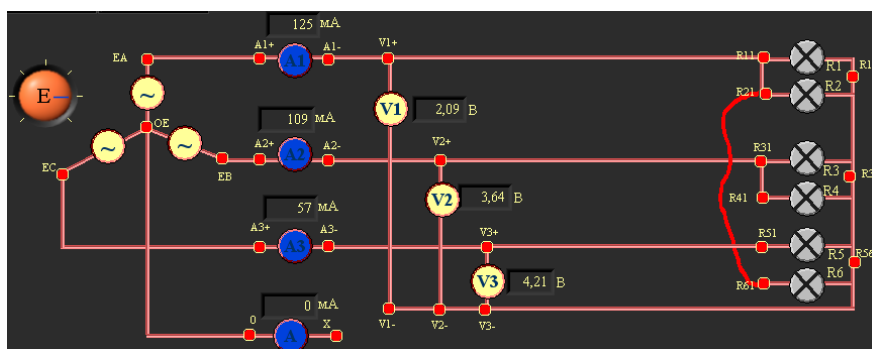


Рисунок 3.22

2 эксперимент: «Исследование работы трехфазной цепи при соединении приемников энергии в треугольник». Приборы и компоненты:

1. Трехфазная сеть;
2. Нагрузки;
- 3 Амперметры (A1, A2, A3);
4. Вольтметр (V1, V2, V3).

Подготовка к проведению эксперимента «Исследование работы трехфазной цепи при соединении приемников энергии в треугольник».

1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**, см. Рисунок 1.11).

2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).

3. Из главного меню (рисунок 3.14) двойным щелчком выберите эксперимент «Исследование работы трехфазной цепи при соединении приемников энергии в треугольник». На рисунке 3.23 показан пример окно данного эксперимента.

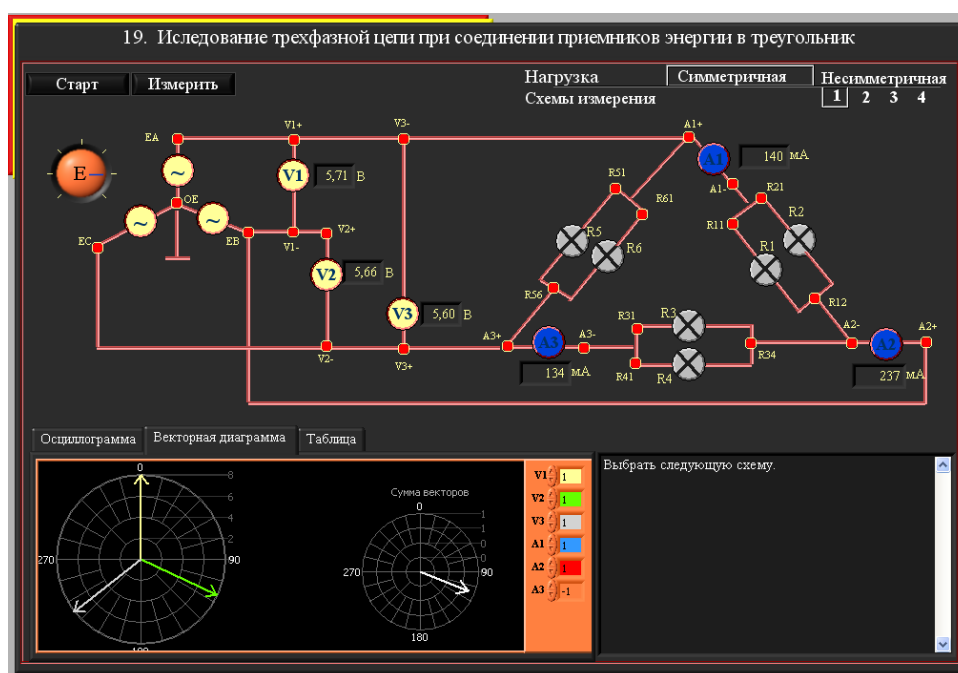


Рисунок 3.23 – Окно эксперимента измерения №1 симметричного режима

4. При помощи соединительных проводов произведите подключения на плате в соответствии с рисунком 3.23, приведенным на экране для схемы измерения №1 симметричного режима.

5. Представьте собранную схему для проверки преподавателю.

Пошаговый порядок выполнения эксперимента «Исследование работы трехфазной цепи при соединении приемников энергии в треугольник».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) 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. Выставьте круговой регулятор напряжения трехфазной сети на величине заданной преподавателем.

3. Нажмите кнопку **Измерить**. Для отображения значений измерительных приборов, необходимо нажать на их изображение на лицевой панели эксперимента. Для схемы измерения №1 симметричного режима окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.23.

4. Сохранить результаты эксперимента в папке *My Documents\Power Electronics*.

5. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О** (выключен).

6. Выберите схему измерения №1 несимметричного режима окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.24.

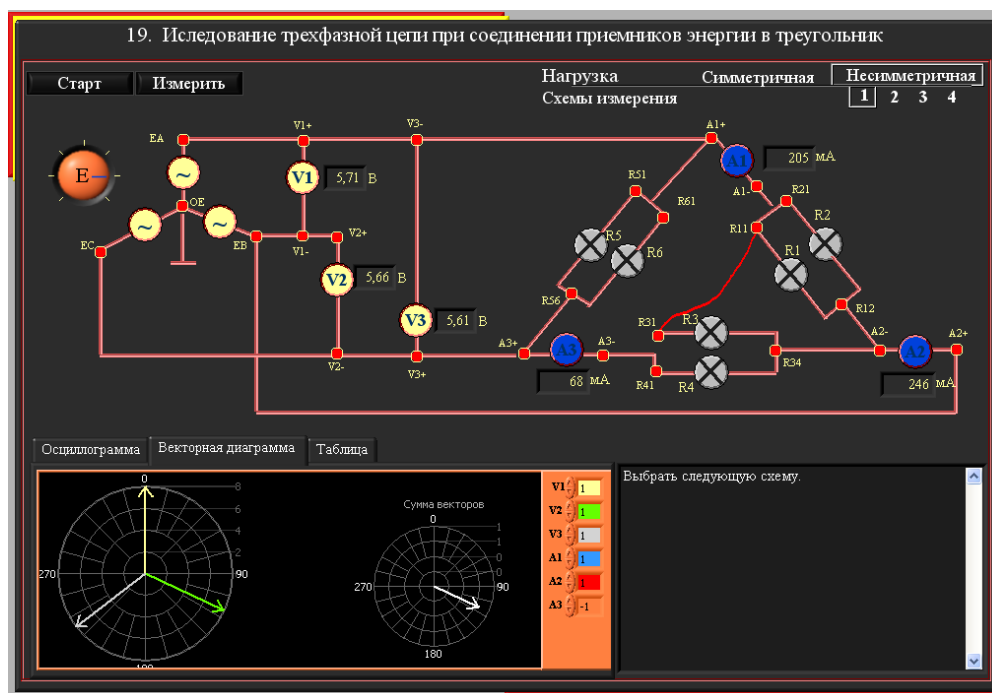


Рисунок 3.24 – Окно эксперимента схемы измерения №1 несимметричного режима

7. Измените схему на плате в соответствии с рисунком 3.24.

Внимание! Любые электрические соединения должны производиться при отключенном питании платы (выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы).

8. Представьте собранную схему для проверки преподавателю.

9. Установите круговой регулятор напряжения трехфазной сети на величине, заданной преподавателем.

10. После завершения монтажа включите питание платы и следуйте инструкциям на экране, в правом нижнем углу лицевой панели.

12. Повторите действия, указанные в пунктах 3-5.

13. Выберите схему измерения №2 симметричного режима, окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.25. Измените на плате схему, проверив, что питание платы отключено (**выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы**). Повторите действия, указанные в пунктах 3-5.

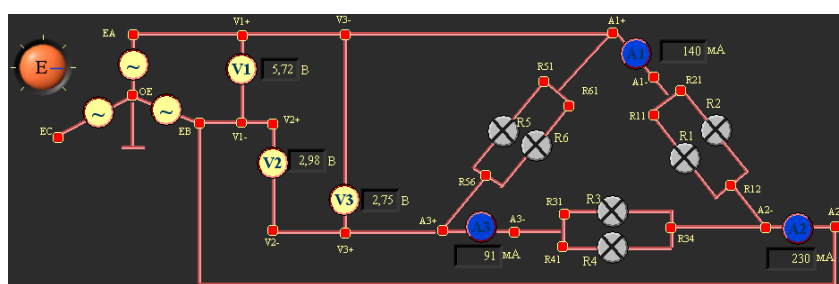


Рисунок 3.25

14. Выберите схему измерения №2 несимметричного режима окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.26. Измените на плате схему, проверив, что питание платы отключено (**выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы**). Повторите действия, указанные в пунктах 3-5.

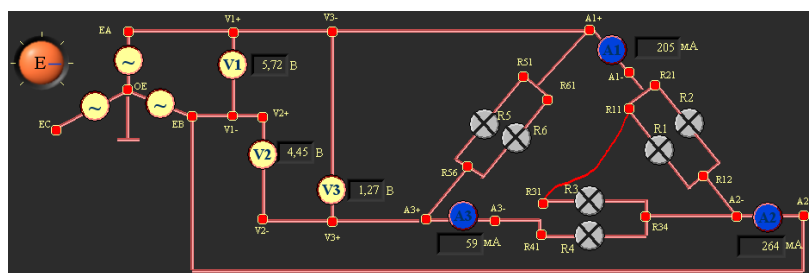


Рисунок 3.26

15. Выберите схему измерения №3 симметричного режима окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.27. Измените на плате схему, проверив, что питание платы отключено (**выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы**). Повторите действия, указанные в пунктах 3-5.

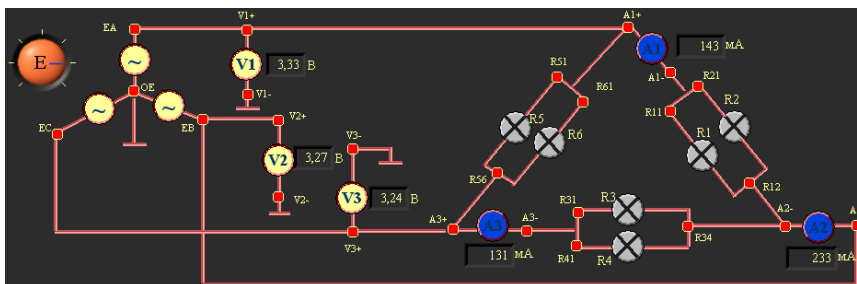


Рисунок 3.27

16. Выберите схему измерения №3 несимметричного режима окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.28. Измените на плате схему, проверив, что питание платы отключено (**выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы**). Повторите действия, указанные в пунктах 3-5.

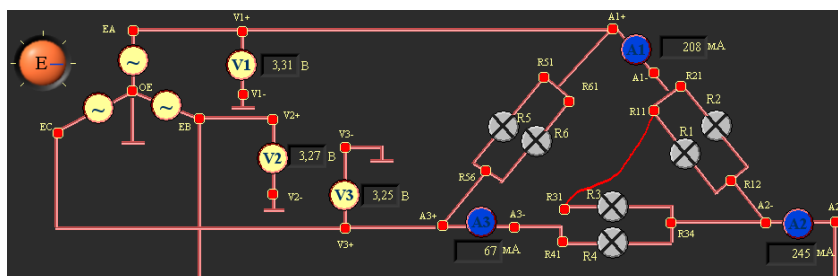


Рисунок 3.28

17. Выберите схему измерения №4 симметричного режима, окно эксперимента как на рисунке 3.29. Измените на плате схему, проверив, что питание платы отключено (**выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы**). Повторите пункты 3-5.

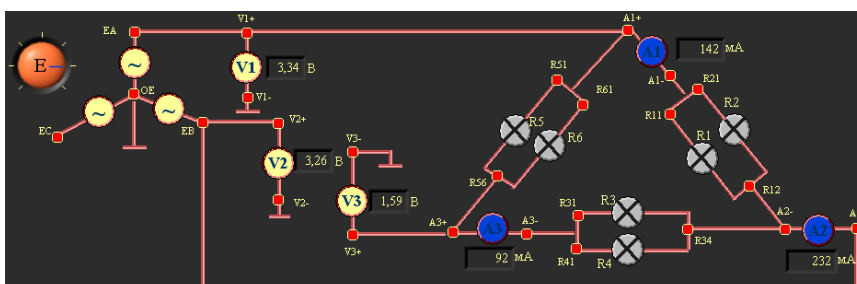


Рисунок 3.29

18. Выберите схему измерения №4 несимметричного режима окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 3.30. Измените на плате схему, проверив, что питание платы отключено. Повторите действия, указанные в пунктах 3-5.

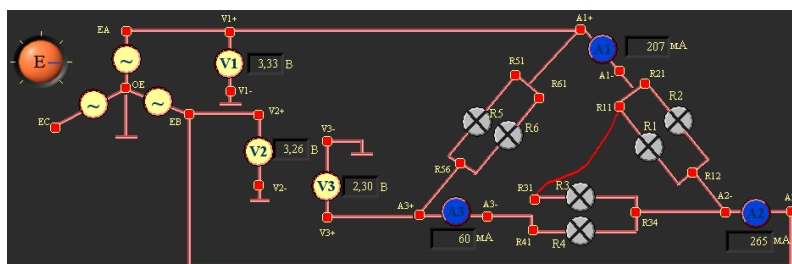


Рисунок 3.30

Обработка экспериментальных данных

Для 1 эксперимента необходимо:

1. По данным 1 эксперимента рассчитайте нагрузочные сопротивления.

Результаты расчетов занести в таблицу 3.1.

2. Определите общую активную мощность всей цепи во всех заданных режимах, активную мощность каждой фазы. Результаты занести в таблицу 3.1

Таблица 3.1 – Результаты исследования режимов трехфазной цепи

№ режима	Сопротивление фаз, Ом			Мощность фаз, Вт			Мощность всей цепи, Вт
	R_A	R_B	R_C	P_A	P_B	P_C	P
1 симметричный							
1 не симметричный							
2 симметричный							
2 не симметричный							
3 симметричный							
3 не симметричный							
4 симметричный							
4 не симметричный							

Для 2 эксперимента необходимо:

1. По данным 2 эксперимента рассчитайте нагрузочные сопротивления.

Результаты расчетов занести в таблицу 3.2.

2. Определите общую активную мощность всей цепи во всех заданных режимах, а также активную мощность каждой фазы. Результаты расчетов занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты исследования режимов трехфазной цепи

№ режима	Сопротивление фаз, Ом			Мощность фаз, Вт			Мощность всей цепи, Вт
	R_{AB}	R_{BC}	R_{CA}	P_{AB}	P_{BC}	P_{CA}	P
1 симметричный							
1 не симметричный							
2 симметричный							
2 не симметричный							
3 симметричный							
3 не симметричный							
4 симметричный							
4 не симметричный							

Содержание отчета

Аналогично лабораторной работы 1.

Контрольные вопросы

1. Какие соотношения между фазными и линейными токами и напряжениями при соединении фаз нагрузки по схемам «звезда» и «треугольник»?
2. Изобразите схему соединения потребителей в «треугольник» с указанием положительных направлений фазных и линейных токов. Включить в схему вольтметры для изменения напряжений.
3. Чему равен угол сдвига фаз между фазными и линейными токами при симметричной нагрузке?
4. От каких факторов зависит угол сдвига фаз между фазными напряжениями и токами?
5. Запишите в комплексной форме симметричную трехфазную систему ЭДС?
6. Что такое напряжение смещения нейтрали и как его рассчитывать?
7. Как производится расчет трехфазных электрических цепей в общем случае?
8. Как строятся векторные диаграммы трехфазных электрических цепей?
9. Как влияет «обрыв» линейного провода на работу трехфазного потребителя, включенного по схеме «треугольник».

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная учебная литература

1. Немцов М.В. Электротехника и электроника (6-е изд., стер.) учебник. – М: Академия, 2013. – 480 с. – ISBN: 9785446804320.
2. Электротехника и электроника: Учебное пособие для вузов / В.В. Кононенко [и др.]; под ред. В.В. Кононенко. – Изд. 6-е – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 784 с. (Серия «Высшее образование». – ISBN 978-5-222-17568-2.

Дополнительная литература

2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Углубленный курс. Учебник для бакалавров. Изд.12, испр., доп., 2014. – 701 с. – ISBN 978-5-9916-3210-2.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

Исследование характеристик и параметров однофазного трансформатора

Цель работы:

1. Исследование однофазного трансформатора методом холостого хода (опыт ХХ) и короткого замыкания (опыт КЗ).
2. Снятие внешней характеристики трансформатора при различных типах нагрузок.

В результате выполнения практического занятия у студента формируются компетенции ОПК-4.

Теоретическое обоснование

Трансформатор представляет собой статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.

Трансформаторы находят широкое применение для передачи и распределения электрической энергии, в различных технологических целях, для питания различных цепей в радиоэлектронной, вычислительной и телевизионной аппаратуре, устройств связи, автоматики, телемеханики и т.д.

Функционально трансформаторы бывают разных типов: *понижающие напряжение, повышающие напряжение, изолирующие, согласующие, выходные*, и т.д.

Конструктивно трансформатор может состоять из одной (автотрансформатор) или нескольких изолированных обмоток (катушек), охваченных общим магнитным потоком, намотанных, как правило, на магнитопровод из ферромагнитного материала. Различают одно- и трёхфазные трансформаторы.

При подключении первичной обмотки $A - X$ силового трансформатора к сети (рисунок 4.1) первичный ток i_1 , проходя по её виткам w_1 , возбуждает в сердечнике синусоидальный магнитный поток Φ .

$$\Phi = \Phi_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (4.1)$$

где Φ_m – амплитуда потока, ω – угловая частота питающего напряжения u_1 .

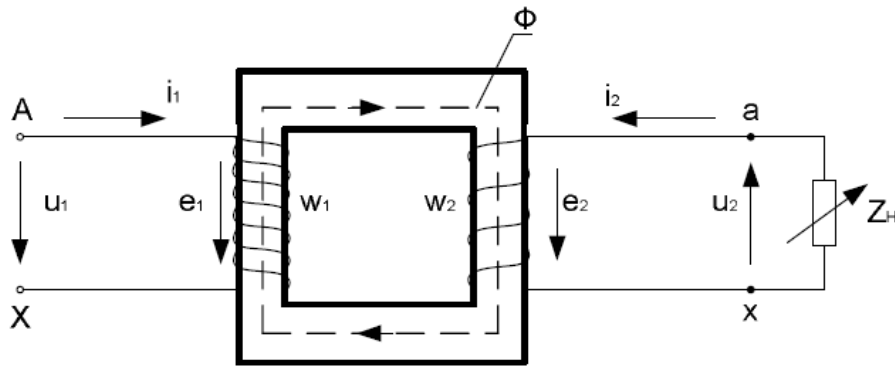


Рисунок 4.1 – Схема двухобмоточного трансформатора

Пронизывая витки w_1 первичной и витки w_2 вторичной обмоток, этот поток наводит в них ЭДС:

$$e_1 = -\frac{d\Psi_1}{dt} = -w_1 \cdot \frac{d}{dt}(\Phi \cdot \sin(\omega \cdot t)) = -\omega \cdot w_1 \cdot \Phi \cdot \cos(\omega \cdot t), \quad (4.2)$$

$$e_2 = -\frac{d\Psi_2}{dt} = -w_2 \cdot \frac{d}{dt}(\Phi \cdot \sin(\omega \cdot t)) = -\omega \cdot w_2 \cdot \Phi \cdot \cos(\omega \cdot t), \quad (4.3)$$

где Ψ_1 , Ψ_2 – потокосцепление первичной и вторичной обмотки, соответственно.

Действующие значения этих ЭДС:

$$E_1 = \frac{\omega \cdot w_1 \cdot \Phi}{\sqrt{2}} = \pi \sqrt{2} f \cdot w_1 \cdot \Phi = 4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi, \quad (4.4)$$

$$E_2 = \frac{\omega \cdot w_2 \cdot \Phi}{\sqrt{2}} = \pi \sqrt{2} f \cdot w_2 \cdot \Phi = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi. \quad (4.5)$$

Со вторичной обмотки снимается напряжение u_2 , которое подаётся потребителю электрической энергии Z_H .

Ток первичной обмотки трансформатора при отключенной нагрузке ($Z_H = \infty$) является его током холостого хода I_0 . Его выражают в процентах по отношению к номинальному току первичной обмотки I_{1H} . Ток холостого хода I_0 (%) в силовых трансформаторах составляет (2...5) %, а в маломощных трансформаторах может составить (10...20) % от номинального тока I_{1H} .

$$I_0(\%) = \frac{I_0}{I_{1H}} \cdot 100\%.$$

Отношение ЭДС первичной обмотки трансформатора к ЭДС вторичной обмотки, равное отношению соответствующих чисел витков обмоток, называют коэффициентом трансформации трансформатора

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (4.6)$$

Для определения коэффициента трансформации k , параметров схемы замещения (рисунок 4.2) и потерь мощности в трансформаторе проводят опыты холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ).

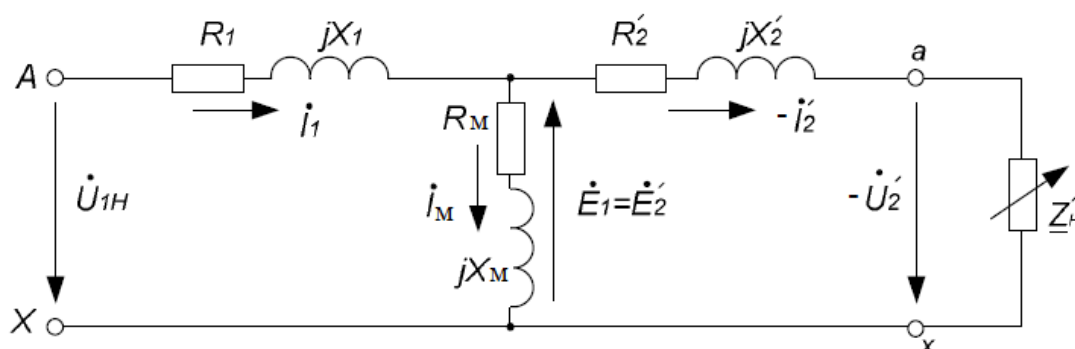


Рисунок 4.2 – Схема замещения двухобмоточного трансформатора с учетом магнитных потерь

На рисунке 5.2 приняты следующие обозначения: R_1 , X_1 – активное и индуктивное сопротивление первичной обмотки; $R_2' = k^2 \cdot R_2$, $X_2' = k^2 \cdot X_2$, – приведенные к числу витков первичной обмотки активное и индуктивное сопротивления вторичной обмотки; R_M , X_M – активное и индуктивное сопротивление ветви намагничивания; U_1 – первичное напряжение; $U_2' = k \cdot U_2$, $I_2' = I_2 / k$ – приведенные к числу витков первичной обмотки напряжение и ток вторичной обмотки.

Опыт холостого хода. К первичной обмотке с помощью регулятора напряжения (РН) подводят номинальное напряжение $U_0 = U_{1H}$, а ко вторичной – вольтметр (рисунок 4.3).

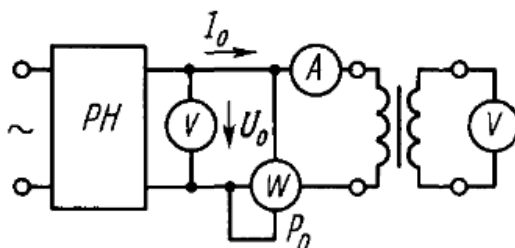


Рисунок 4.3 – Схема исследования трансформатора в режиме холостого хода

Измерив ток холостого хода I_0 и мощность P_0 можно рассчитать сопротивления:

$$Z_0 = U_{1H} / I_0, R_0 = P_0 / I_0^2, X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}, \quad (4.7)$$

а также коэффициент трансформации

$$k = \frac{U_{1H}}{U_{20}} \quad (4.8)$$

и коэффициент мощности холостого хода

$$\cos \varphi_0 = P_0 / I_0 U_{1H}. \quad (4.9)$$

Схема замещения трансформатора (рисунок 4.4) в режиме холостого хода приводится к виду, представленному на рисунке 4.4.

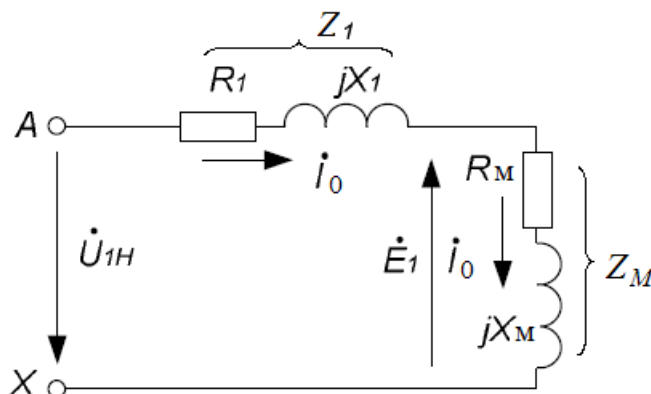


Рисунок 4.4 – Схема замещения трансформатора в режиме холостого хода

При холостом ходе справедливы следующие соотношения:

$$Z_0 = Z_1 + Z_M; R_0 = R_1 + R_M; X_0 = X_1 + X_M. \quad (4.10)$$

Учитывая, что в силовых трансформаторах R_1 и X_1 во много раз меньше R_M и X_M , можно сказать, что

$$Z_0 \approx Z_M; R_0 \approx R_M; X_0 \approx X_M. \quad (4.11)$$

По этой же причине мощность холостого хода трансформатора P_0 равна магнитным потерям в магнитопроводе. Эти потери также называют потерями в стали трансформатора.

Уравнение, описывающее схему замещения трансформатора в режиме холостого хода, имеет вид:

$$\dot{U}_{1H} = R_1 \dot{I}_0 + jX_1 \dot{I}_0 + Z_M \dot{I}_0 = R_1 \dot{I}_0 + jX_1 \dot{I}_0 + (-\dot{E}_1) = R_0 \dot{I}_0 + jX_0 \dot{I}_0. \quad (4.12)$$

Построим соответствующую векторную диаграмму (рисунок 4.5).

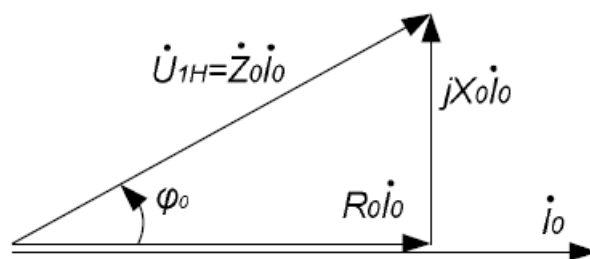


Рисунок 4.5 – Векторная диаграмма трансформатора в режиме холостого хода

Опыт короткого замыкания. Вторичные обмотки замыкаются накоротко, а к первичным обмоткам во избежание перегрева и повреждения трансформатора подводится пониженное напряжение $U_1 = U_K$ с таким расчетом, чтобы по обмоткам проходил номинальный ток (рисунок 4.6). В отличие от аварийного короткого замыкания трансформатора, возникающего случайно при работе при напряжении $U_1 = U_{1H}$, такой режим работы совершенно безопасен.

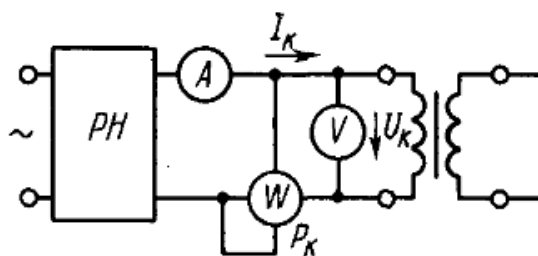


Рисунок 4.6 – Схема исследования трансформатора в режиме короткого замыкания

Номинальные токи в первичной и вторичной обмотках можно определить по формулам:

$$I_{1H} = \frac{S_H}{U_{1H}}, \quad I_{2H} = \frac{S_H}{U_{2H}},$$

где S_H – номинальная мощность трансформатора.

Измерив напряжение U_K , ток I_K и активную мощность P_K , определяют параметры схемы замещения трансформатора при коротком замыкании.

$$Z_K = U_K / I_K, \quad R_K = P_K / I_K^2, \quad X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}. \quad (4.13)$$

В паспорте трансформатора часто указывается величина напряжения короткого замыкания, выраженная в процентах:

$$\Delta U_K(\%) = \frac{U_K}{U_{1H}} 100\%.$$

Согласно схеме замещения (рисунок 4.2):

$$Z_K = Z_1 + \frac{Z_M \cdot Z'_2}{Z_M + Z'_2}. \quad (4.14)$$

Так как Z_M во много раз больше Z'_2 , то в знаменателе Z'_2 можно пренебречь, тогда

$$Z_K = Z_1 + Z'_2; R_K = R_1 + R'_2; X_K = X_1 + X'_2. \quad (4.15)$$

Обычно принимают

$$Z_1 = Z'_2 = 0,5Z_K; R_1 = R'_2 = 0,5R_K; X_1 = X'_2 = 0,5X_K. \quad (4.16)$$

Таким образом, в режиме короткого замыкания мощность расходуется на электрические потери в обмотках трансформатора, т.е. на нагрев обмоток. Эти потери также называют потерями в меди трансформатора.

Учитывая (4.15) схему замещения трансформатора (рисунок 4.2) в режиме короткого замыкания можно привести к виду, представленному на рисунке 4.7.

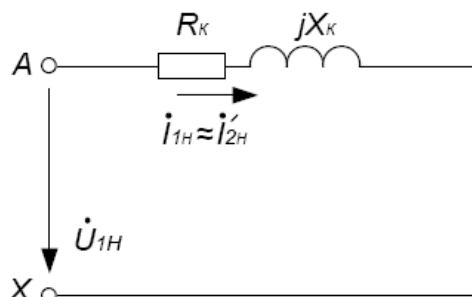


Рисунок 4.7 – Схема замещения трансформатора в режиме короткого замыкания

Согласно схемы замещения (рисунок 4.7) уравнение напряжения в режиме короткого замыкания имеет вид:

$$\dot{U}_K = R_K \dot{I}_K + jX_K \dot{I}_K. \quad (4.17)$$

Соответствующая векторная диаграмма представлена на рисунке 4.8.

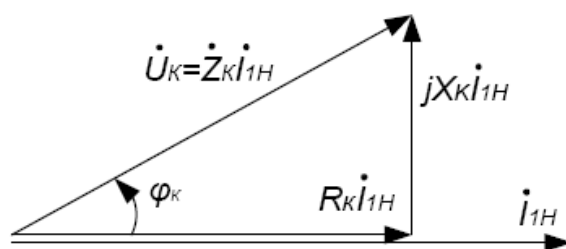


Рисунок 4.8 – Векторная диаграмма трансформатора в режиме короткого замыкания

Полные потери мощности в трансформаторе при номинальной нагрузке:

$$\Delta P = P_0 + P_K. \quad (4.18)$$

Мощность, передаваемая потребителям P_2 , равна мощности, потребляемой трансформатором из сети P_1 за вычетом потерь ΔP :

$$P_2 = P_1 - \Delta P = P_1 - P_0 - P_K. \quad (4.19)$$

Тогда в номинальном режиме коэффициент полезного действия трансформатора равен:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + P_K} 100\%. \quad (4.20)$$

Опыт определения внешней характеристики. К первичной обмотке подводят номинальное напряжение, а ко вторичной – изменяемую нагрузку. Изменяя сопротивление нагрузки, измеряют напряжение и ток вторичной обмотки.

Зависимость напряжения на зажимах вторичной обмотки от тока нагрузки, т.е. $U_2 = f(I_2)$, носит название внешней характеристики трансформатора (рисунок 4.9).

Вторичное напряжение равно:

$$\dot{U}_2 = \dot{E}'_2 - Z_2 \dot{I}_2 = \dot{E}'_2 - (R_2 + jX_2) \dot{I}_2 \approx \dot{U}_{20} - Z_2 \dot{I}_2. \quad (4.21)$$

При увеличении тока нагрузки вторичное напряжение уменьшается как за счет увеличения падения напряжения $Z_2 \dot{I}_2$ на его вторичной обмотке, так и за счет уменьшения ЭДС $\dot{E}'_2$ (вследствие некоторого уменьшения магнитного потока Φ при соответствующем увеличении тока I_1). Однако при активно-емкостной нагрузке при увеличении тока напряжение U_2 увеличивается.

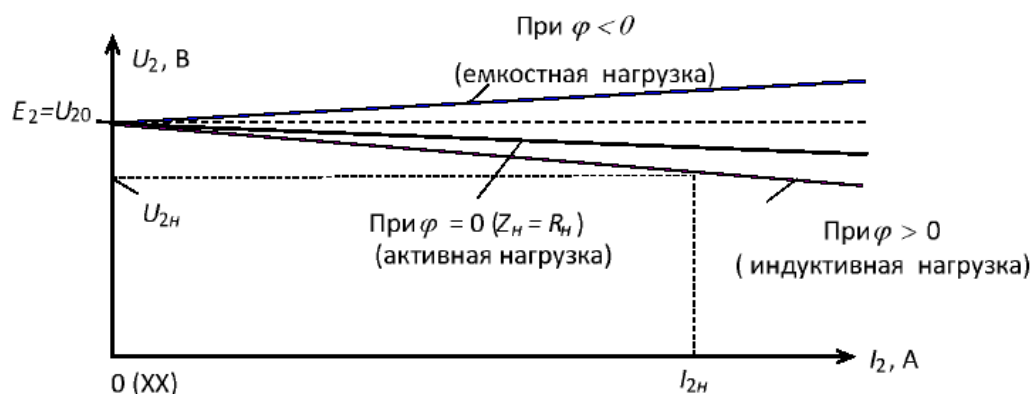


Рисунок 4.9 – Внешние характеристики трансформатора

Оборудование и материалы

Аналогично лабораторной работы 1.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы 1.

Задания

Включение и подготовка к работе. Включите платформу **NI ELVIS II** при помощи выключателя, расположенного на торце устройства в задней части, рядом с разъемом для подключения кабеля питания (рисунок 1.11).

Затем включите выключатель питания платы (1) (рисунок 1.11), при этом должны загореться зеленый светодиод **PROTOTYPING BOARD POWER** (2) и красный светодиод **Питание** на плате.

Запуск программы и проведение лабораторных работ. Запуск программы осуществляется двойным щелчком по ярлыку Electronics Engineering Board 2 на рабочем столе или через стартовое меню Windows: Пуск -> Electronics Engineering Board 2.

При запуске программы на экран монитора выводится лицевая панель с элементами меню (рисунок 1.14).

Регистрация и вход. Для получения доступа к лабораторным работам пользователь должен зарегистрироваться (выбрать в меню элемент **Регистрация**) или **Войти**.

Нажимаем **Войти**. Для всех персональных компьютеров в появившемся диалоговом окне рисунок 4.10 в строке **Имя пользователя** необходимо написать ПКХ, где Х это № компьютера указанный на мониторе в правом верхнем углу. В строке **Пароль** нужно указать 1111.

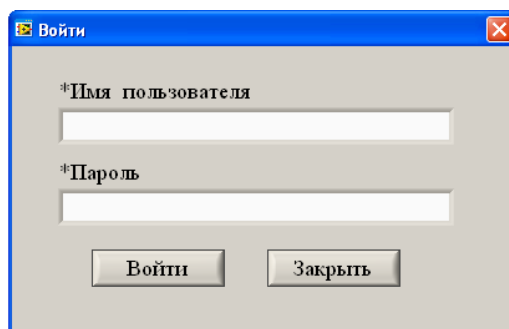


Рисунок 4.10

После входа в программу откроется **главное** меню (рисунок 4.11).
Переход к выбранной лабораторной работе производится двойным щелчком по соответствующей строке меню.

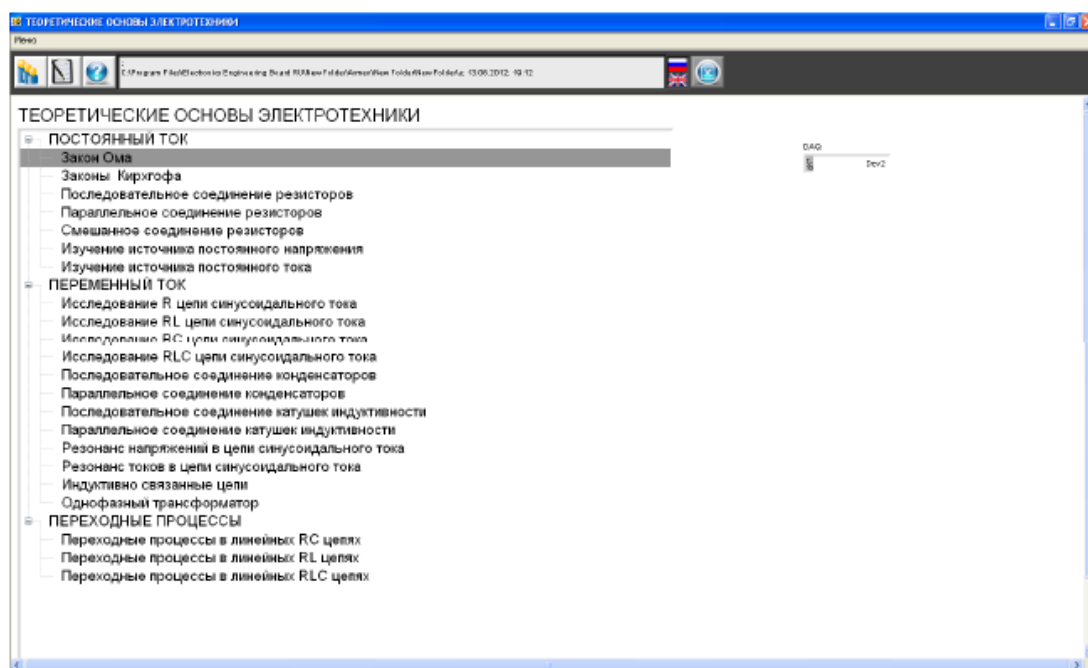


Рисунок 4.11 – Окно главного меню

Перед тем, как приступить к выполнению лабораторной работы, студент должен:

1. Внимательно ознакомиться с требованиями по технике безопасности.
2. Ознакомиться с теоретическими материалами по теме.
4. Изучить методику проведения лабораторных работ.
5. Понимать принципы работы электрических схем.

Лабораторная работа 3 «**Исследование характеристик и параметров однофазного трансформатора**» будет содержать эксперимент «Однофазный трансформатор» из главного меню рисунок 4.11.

1 Эксперимент: «Однофазный трансформатор».

Приборы и компоненты:

1. Индуктивности **L1** и **L2** из набора **Inductors**;
2. Конденсаторы (зона конденсаторов на плате);
3. Сопротивления из набора **Resistors**;
4. Источник синусоидального напряжения (функциональный генератор $\sim E$);
5. Вольтметры (**V1**, **V2**);
6. Амперметры (**A1**, **A2**).

Подготовка к проведению эксперимента «Однофазный трансформатор».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О** (выключен).

3. Из главного меню (рисунок 4.11) двойным щелчком выберите эксперимент «Однофазный трансформатор». Нажмите кнопку *Следующий* (>>) на панели инструментов. Откроется заранее подготовленное изображение электрической схемы лабораторной работы с размещенными на ней полями компонентов и приборов (рисунок 4.12).

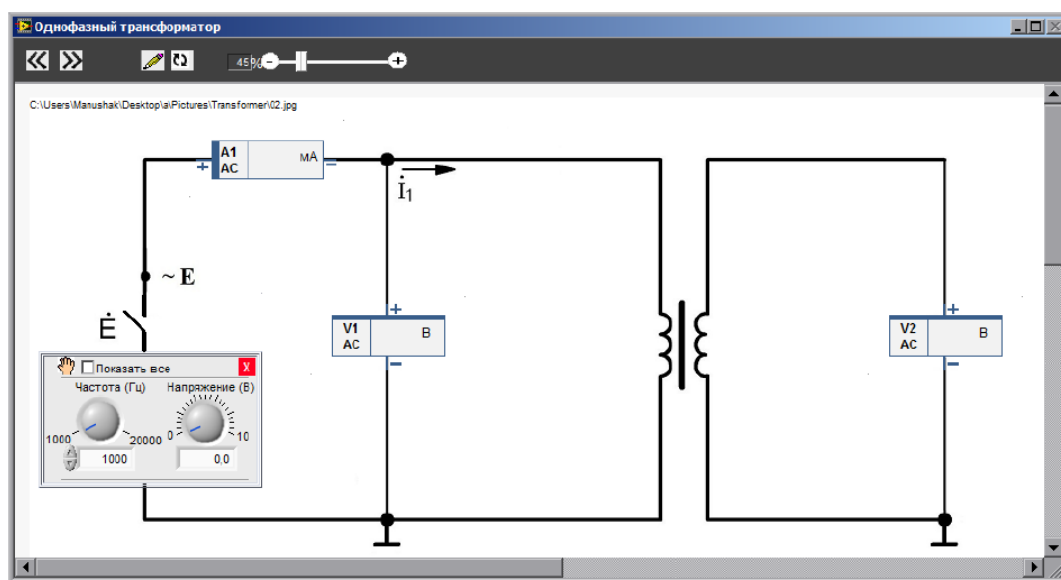


Рисунок 4.12 – Схема электрической цепи опыта холостого хода

4. Соберите на макетной плате электрическую цепь в соответствии со схемой на рисунке 4.12.

5. Представьте собранную схему для проверки преподавателю.

Пошаговый порядок выполнения эксперимента «Однофазный трансформатор».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **И** (включен). Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II**.

2. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку (1) **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле (3) **Смещ. 0**.

3. Установите номиналы напряжения (поле **Напряжение**) и частоту (поле **Частота**) источника из таблицы 4.1. *Примечание.* При включенном свойстве измерителя **РР** (размах синусоиды) амплитуда измеряемого сигнала равна половине отображаемого на индикаторе значения.

Таблица 4.1 – Варианты (N) параметров элементов для эксперимента

$U_{1ном.}$	[В]	3,00
$U_{2ном.}$	[В]	0.7
$I_{1ном.}$	[мА]	4.2
$I_{2ном.}$	[мА]	16.8
$f_{ном.}$	[кГц]	10
R (нагр.)	[Ом]	20 ÷ 100
L (нагр.)	[мГн]	0.47
C (нагр.)	[мкФ]	1

4. Вызовите и настройте инструмент **Осциллограмма** для наблюдения напряжения **V1**, **V2** и тока **A1** и сохраните изображение.

5. Вызовите и настройте инструмент **Векторная диаграмма** для наблюдения напряжения **V1**, **V2** и тока **A1** и сохраните изображение.

6. Вращая ручку **Напряжение**, опустите напряжение источника до нуля.

7. Нажмите кнопку **Следующий** на рабочем поле и видоизмените цепь на плате в соответствии с новой схемой (рисунок 4.13). Теперь, вторичная обмотка трансформатора – замкнута накоротко.

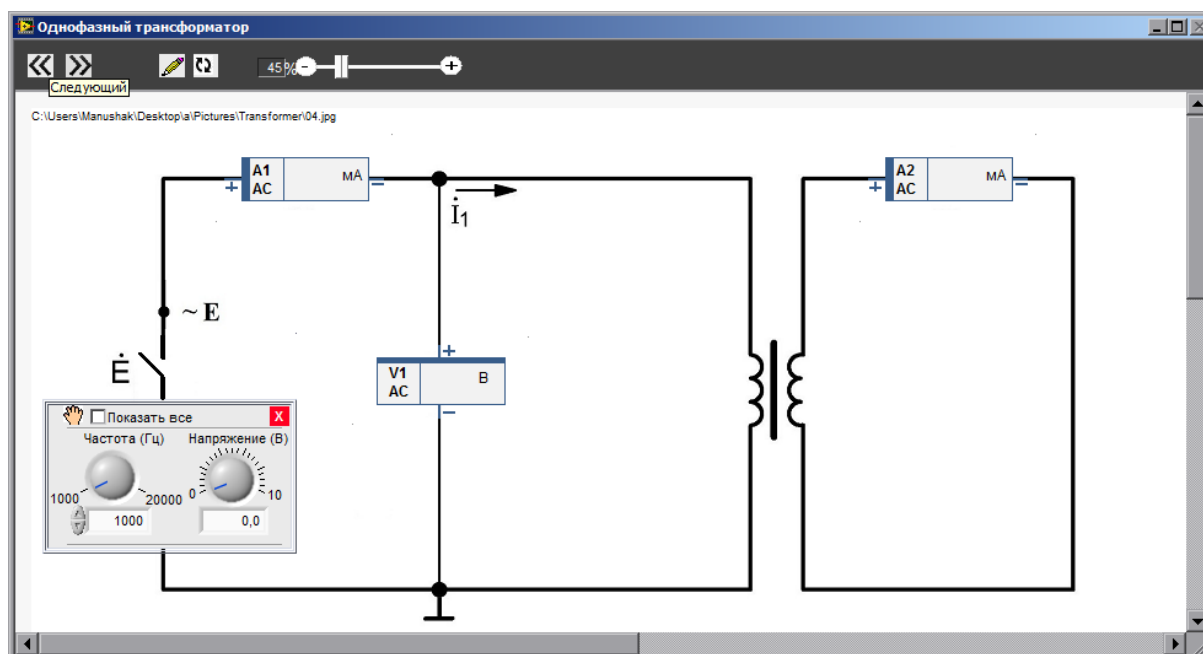


Рисунок 4.13 – Опыт короткого замыкания

8. Вращая ручку **Напряжение**, медленно поднимайте напряжение источника до тех пор, пока ток вторичной обмотки не достигнет номинального значения (таблица 4.1) и нажмите **Запись**.

9. Вращая ручку **Напряжение**, спустите напряжение источника до нуля.

10. Нажмите кнопку **Следующий** на рабочем поле и видоизмените цепь на плате в соответствии с новой схемой (рисунок 4.14). Теперь в цепь вторичной обмотки трансформатора включено переменное активное сопротивление (**x10 Ом**).

11. Представьте собранную схему для проверки преподавателю.

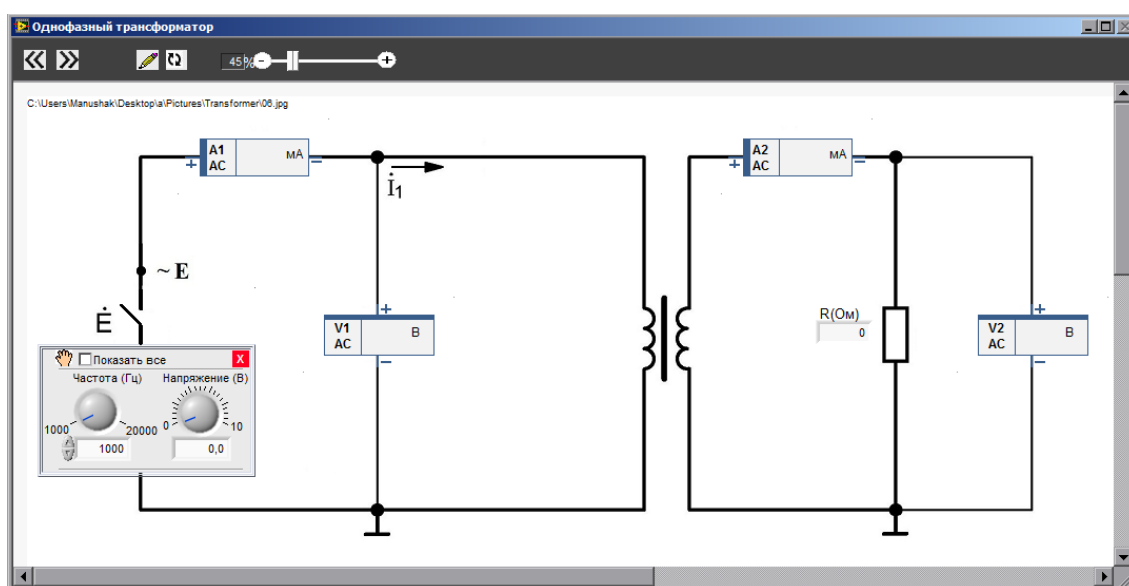


Рисунок 4.14 – Работа трансформатора на активную нагрузку

12. Установите номинальные напряжение (поле **Напряжение**) и частоту (поле **Частота**) источника из таблицы 4.1.

13. Разомкните один из контактов сопротивления и, нажав **Запись**, снимите точку холостого хода.

14. Верните контакт сопротивления на место и, вращая ручку **x10 Ом** на плате, пошагово устанавливайте ток вторичной обмотки от нуля до, примерно $1.25 \times I_{2\text{ном}}$ (4-5 точек). Нажимайте **Запись** на каждом шаге.

Внимание! В данной лабораторной работе, здесь и далее, при каждом изменении сопротивления нагрузки, перед тем как нажать **Запись**, вращая ручку $\sim E$ и сверяясь с вольтметром **V1**, восстанавливайте номинальное напряжение на первичной обмотке.

15. По окончании, нажмите кнопку *Следующий* (>>), изображение на экране должно соответствовать рисунку 4.15.

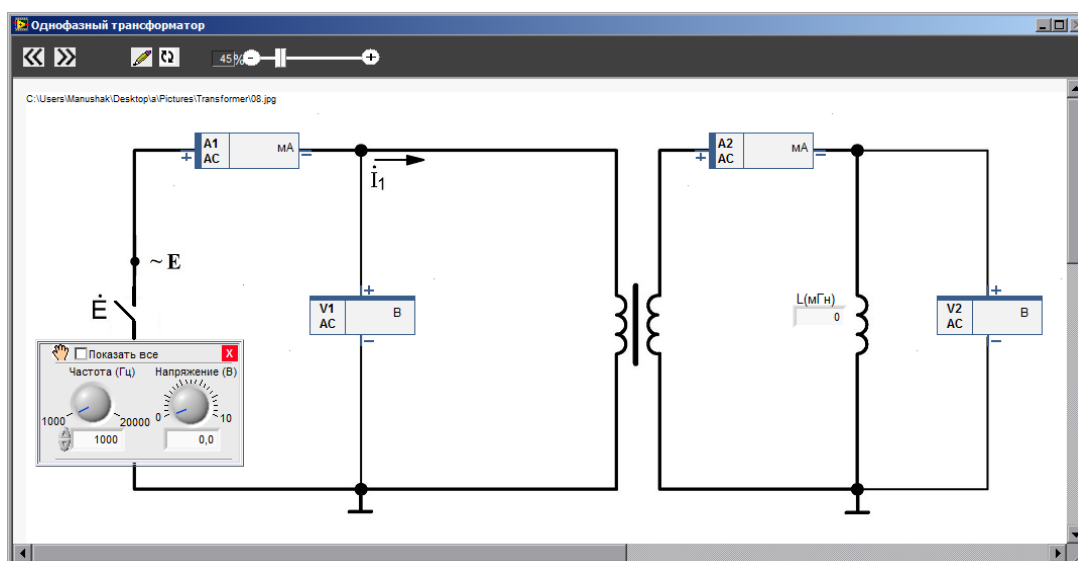


Рисунок 4.15 – Работа трансформатора на индуктивную нагрузку

16. Замените сопротивление в цепи вторичной обмотки трансформатора на индуктивность (зона индуктивностей на плате), в соответствии с таблицей 4.1, нажмите **Новый график**, затем – **Запись**.

17. По окончании, нажмите кнопку *Следующий* (>>), изображение на экране должно соответствовать рисунку 4.16.

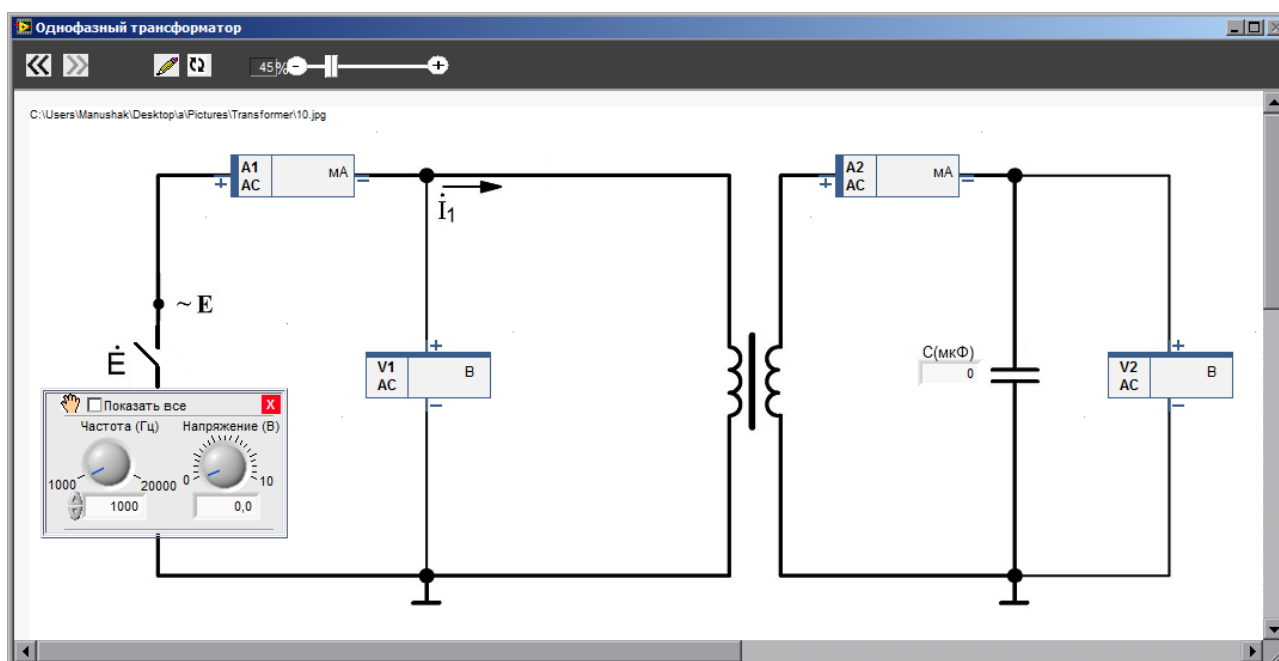


Рисунок 4.16 – Работа трансформатора на емкостную нагрузку

18. Замените индуктивность в цепи вторичной обмотки трансформатора на емкость (из набора *Capacitors*), в соответствии с таблице 4.1, нажмите

Новый график, затем – Запись.

19. По окончании, вызовите файл MS Excel, сохраните и нажмите Стоп.

Обработка экспериментальных данных

Для эксперимента «Однофазный трансформатор» необходимо:

1. На основе полученных в результате опытов ХХ и КЗ данных, рассчитайте параметры трансформатора и заполните оставшиеся поля таблицы 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты

N. Описание	Установить				Измерить					Рассчитать				
	R(нагр.)	V1	A1	f	V1	V2	A1	A2	$\varphi_u - \varphi_i$	n	cosφ	P	R	X
	[Ом]	[В]	[мА]	[кГц]	[В]	[В]	[мА]	[мА]	градус	-	-	[Вт]	[Ом]	[Ом]
1. Холостой ход														
2. Короткое замыкание														
3. Активная нагрузка 1.														
2.														
3.														
4.														
5.														
4. Индуктивная нагрузка														
5. Емкостная нагрузка														

Формулы для расчета. Коэффициент трансформации: $k = \frac{U_{10}}{U_{20}}$. Полная,

активная и реактивная мощности холостого хода: $S_0 = U_{10} \cdot I_0$, $P_0 = S_0 \cdot \cos \varphi_0$,

$Q_0 = S_0 \cdot \sin \varphi_0$. Активное и индуктивное сопротивления первичной обмотки:

$R_0 = \frac{P_0}{I_0^2}$, $X_0 = \frac{Q_0}{I_0^2}$. Полная, активная и реактивная мощности короткого

замыкания: $S_K = U_K \cdot I_{1K}$, $P_K = S_K \cdot \cos \varphi_K$, $Q_K = S_K \cdot \sin \varphi_K$. Суммарное

активное сопротивление первичной и вторичной обмоток: $R_K = R_1 + R_2 = \frac{P_K}{I_K^2}$,

$X_K = X_1 + X_2 = \frac{Q_K}{I_K^2}$.

2. Построить внешние характеристики трансформатора при различном характере нагрузки.

Содержание отчета

Аналогично лабораторной работы 1.

Контрольные вопросы

1. Назначение и принцип действия трансформатора?
2. Изобразите схему замещения однофазного трансформатора.

3. Почему магнитный поток трансформатора практически не зависит от нагрузки?
4. Каково выражение действующих ЭДС, наводимых в первичной и вторичной обмотках трансформатора?
5. Какие величины определяются в опытах холостого хода и короткого замыкания?
6. Как опытным путем определить коэффициент трансформации?
7. Изобразите векторную диаграмму трансформатора в режиме холостого хода?
8. Изобразите векторную диаграмму трансформатора в нагрузочном режиме?
9. Назовите области применения трансформаторов напряжения и тока?
10. Что произойдет с обмоткой и магнитопроводом трансформатора, если при разомкнутой вторичной обмотке его первичную обмотку включить на напряжение 220 В, вместо номинального 127 В?
11. При какой нагрузке внешняя характеристика трансформатора возрастает? Объясните почему?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная учебная литература

1. Немцов М.В. Электротехника и электроника (6-е изд., стер.) учебник. – М: Академия, 2013. – 480 с. – ISBN: 9785446804320.
2. Электротехника и электроника: Учебное пособие для вузов / В.В. Кононенко [и др.]; под ред. В.В. Кононенко. – Изд. 6-е – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 784 с. (Серия «Высшее образование». – ISBN 978-5-222-17568-2.

Дополнительная литература

1. Вольдек, А. И. Электрические машины: машины переменного тока: учебник / А. И. Вольдек, В. В. Попов. - СПб. [и др.]: Питер, 2008. – 349 с. – (Учебник для вузов) – ISBN 978-5-469-01381-5.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

Исследование характеристик диодов, стабилитронов, тиристоров

Цель работы:

1. Эмпирическое определение к.п.д. и построение внешней характеристики выпрямителей на основе измерения входных и выходных токов и напряжений выпрямителя при разных значениях нагрузки.
2. Определение напряжения и минимального значения тока стабилизации стабилитрона на основе измерения вольт-амперной характеристика стабилитрона.
3. Измерение построение вольт-амперной характеристики тиристора.

В результате выполнения практического занятия у студента формируется компетенция ОПК-4.

Теоретическое обоснование

Характеристики диода и их использование для однофазных выпрямителей. Электропитание потребителей электрической энергии, коими являются электронные цепи радиотехнических, вычислительных устройств, устройств автоматики, датчики физических величин и т.д., осуществляется от источников постоянного напряжения. Поскольку промышленная выработка электроэнергии осуществляется в виде переменного тока, возникает необходимость преобразования переменного напряжения в постоянное. Для этой цели используются нелинейные элементы – диоды, характеризующиеся тем, что их динамическое сопротивление зависит от полярности приложенного напряжения. На рисунке 5.1 а приведено символическое изображение однополупериодного выпрямителя, на рисунке 5.1 б – вольт-амперная характеристика диода.

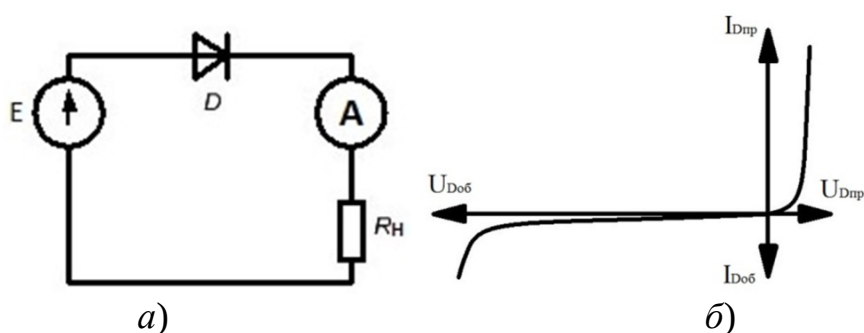


Рисунок 5.1 – Однополупериодный выпрямитель и вольт-амперная характеристика диода

Временная диаграмма выпрямленного напряжения представлен на рисунке 5.2.

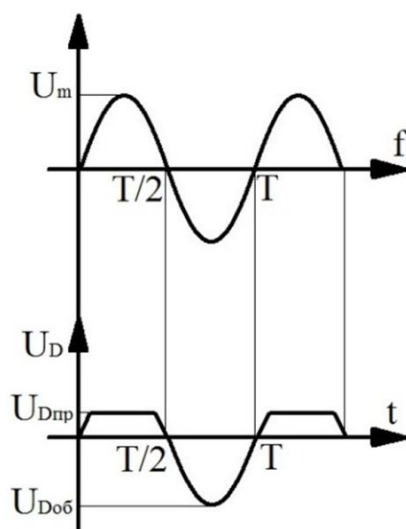


Рисунок 5.2 – Временная диаграмма выпрямленного напряжения

Средние значения выходных напряжений указанных выпрямителей V_0 , в зависимости от среднеквадратичного значения фазного входного переменного напряжения V_{RMS} , для однополупериодного выпрямителя определяются следующим образом: $V_0 = \frac{\sqrt{2} \cdot V_{RMS}}{\pi}$.

$$K.П.Д. = \frac{P_0}{P_i} = \frac{U_0 \cdot I_0}{U_i \cdot I_i} \text{ – коэффициент полезного действия;}$$

$$K_M = \frac{P_a}{U_i \cdot I_i} \text{ – коэффициент мощности;}$$

$$r = \frac{U_0}{I_0} \text{ – внутреннее сопротивление;}$$

$$U_{PP} = U_m - U_{cp} \text{ – размах пульсаций, или}$$

$$K_p = \frac{U_{PP} P_a}{2 \cdot U_{cp}} \text{ – коэффициент пульсаций.}$$

Характеристики стабилитрона. Характеристика полупроводникового стабилитрона, символическое изображение которого приведено на рисунке 5.3 а, отличается от характеристики диода формой ветви вольт-амперной характеристики в области отрицательных напряжений, как показано на рисунке 5.3 б.

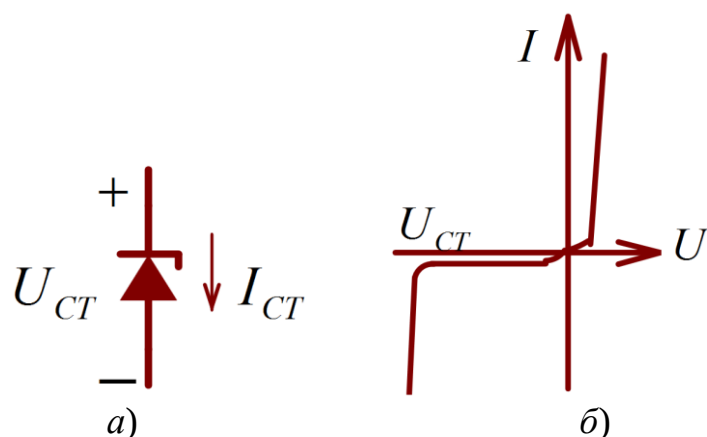


Рисунок 5.3 – Условно графическое обозначение стабилитрона и его вольт-амперная характеристика

При некотором значении обратного напряжения на стабилитроне происходит пробой p - n -перехода в обратном направлении, носящий обратимый характер. При напряжении, равном значению пробоя, динамическое сопротивление стабилитрона резко уменьшается, в результате чего ток через стабилитрон определяется параметрами внешней цепи. Указанное напряжение пробоя называется напряжением стабилизации стабилитрона и является основной его характеристикой. Стабилитрон характеризуется также допустимой мощностью и обратным током. Диапазон напряжений стабилизации стабилитронов составляет от единиц до сотен вольт.

Характеристики тиристоров. Тиристор представляет собой управляемый полупроводниковый прибор с дискретной (релейной) характеристикой управления. Символическое изображение однонаправленного тиристора представлено на рисунке 5.4, его типичная вольт-амперная характеристика на рисунке 5.4 б приведена.

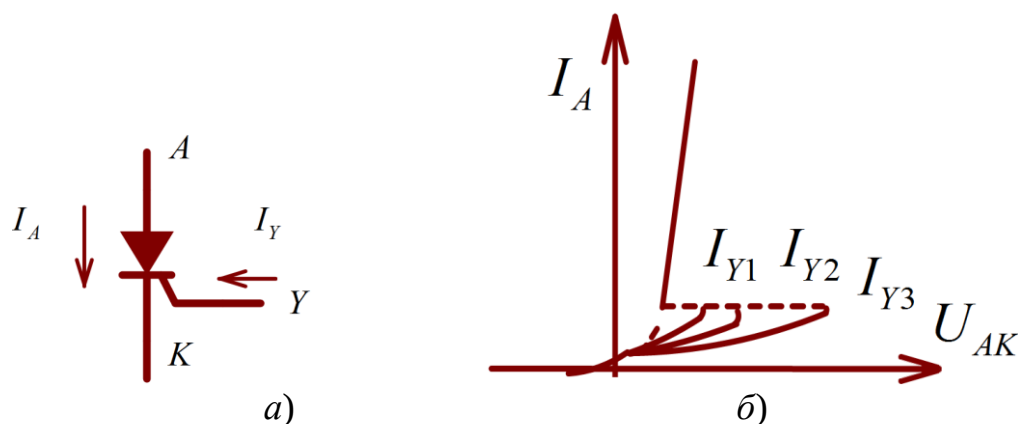


Рисунок 5.4 – Условно графическое обозначение стабилитрона и его вольт-амперная характеристика

Функциональное назначение тиристора – замыкание участка электрической цепи по сигналу управления. Сигнал управления подается к управляющему электроду (У) по отношению к катоду (К). При отсутствии управляющего сигнала (тока управления) тиристор можно представить в виде разомкнутого участка электрической цепи. Это состояние тиристора называется запертым или непроводящим состоянием и характеризуется небольшим значением тока утечки, от единиц микроампер до единиц миллиампер, в зависимости от типа тиристора. При протекании определенного значения тока по цепи У-К и при наличии замкнутой цепи между источником напряжения, анодом (А) и катодом (К) тиристор переходит в проводящее состояние, т.е. отпирается, пропуская ток внешней цепи в направлении от А к К. Отпирание тиристора носит регенеративный характер, поэтому тиристор остается в проводящем состоянии после прекращения тока в цепи управления при условии, что ток в цепи А-К больше нуля. Переход тиристора из проводящего состояния в непроводящее, при отсутствии тока управления, происходит при некотором минимальном значении тока в цепи А-К, называемым током удержания $I_{уд}$. Значение $I_{уд}$ является одним из характеристик тиристора. Ток управления тиристора, при котором последний переходит в проводящее состояние, зависит от напряжения между А и К. Чем меньше напряжение между А и К, тем больше необходимый ток управления для перехода тиристора в проводящее состояние, т.е. в состояние отпирания.

Диапазон рабочих напряжений и токов тиристорov, в зависимости от типа тиристора, составляет от десятков вольт до нескольких тысяч вольт, и от единиц ампер до нескольких тысяч ампер, соответственно. Область применения тиристорov – регулирование действующего значения переменного напряжения, управляемые выпрямители, преобразование постоянного напряжения в переменное, исполнительные узлы устройств автоматики и т.д.

Оборудование и материалы

Аналогично лабораторной работы 3.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы 1.

Задания

Описание макетной платы лабораторного стенда. Работа с макетной платой лабораторного стенда. Включение и подготовка к работе. Запуск программы и проведение лабораторных работ.

Аналогично лабораторной работы 3.

Запуск программы осуществляется двойным щелчком по ярлыку Power Electronics на рабочем столе или через стартовое меню Windows: Пуск -> Power Electronics -> Power Electronics.

При запуске программы на экран монитора выводится лицевая панель с элементами меню **Регистрация** и **Выход** (рисунок 5.5).



Рисунок 5.5 – Начальное окно программы

Перед тем, как приступить к выполнению лабораторной работы, студент должен:

1. Внимательно ознакомиться с требованиями по технике безопасности.
2. Ознакомиться с теоретическими материалами по теме.
4. Изучить методику проведения лабораторных работ.
5. Понимать принципы работы электрических схем.

Лабораторная работа 5 «Исследование характеристик диодов, стабилитронов, тиристоров» будет содержать три эксперимента из главного меню рисунок 5.5: «Неуправляемый однофазный выпрямитель», «Стабилитрон», «Тиристор». Объем измерений для различных схем задается преподавателем.

1 эксперимент: «Неуправляемый однофазный выпрямитель».

Приборы и компоненты:

1. Источник переменного напряжения;
2. Выпрямитель однофазный;
3. Нагрузки;
4. Амперметры (A1, A2);
5. Вольтметр (V1, V2).

Подготовка к проведению эксперимента «Исследование работы трехфазной цепи при соединении потребителей энергии в звезду».

1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**, см. Рисунок 1.11).

2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).

3. Из главного меню (рисунок 3.14) двойным щелчком выберите эксперимент «Неуправляемый однофазный выпрямитель». На рисунке 5.6 показан пример окно данного эксперимента, в правом нижнем углу открывшейся лицевой панели представлены подробные инструкции по выполнению.

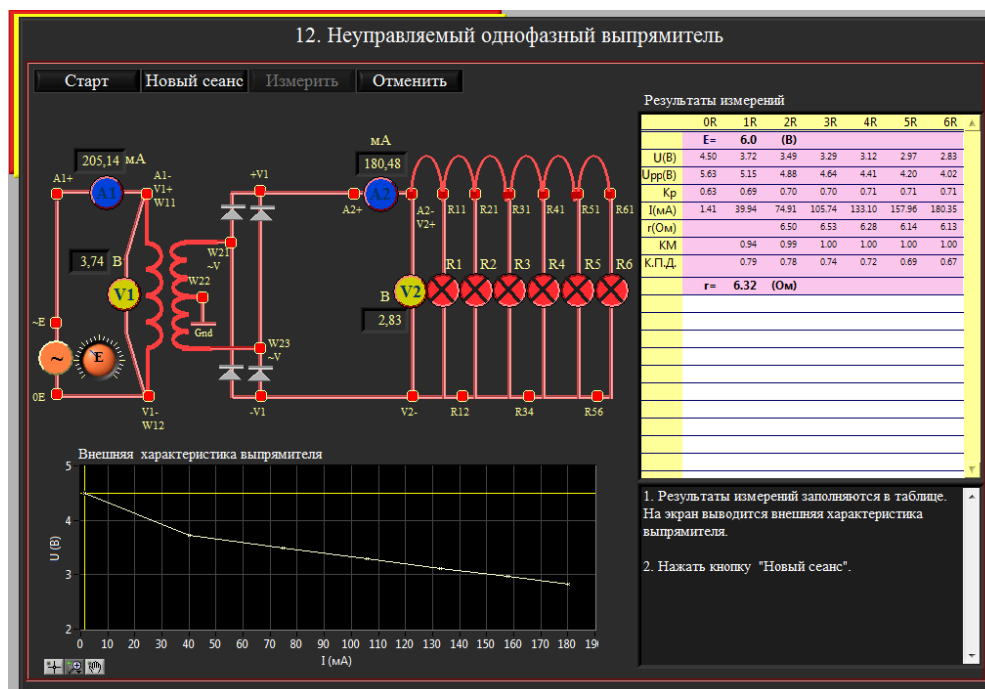


Рисунок 5.6 – Окно эксперимента неуправляемого однофазного выпрямителя

Кнопка **Старт** приводит систему в состояние готовности, на лицевую панель выводится электрическая схема выбранной лабораторной работы.

Кнопка **Новый сеанс** позволяет провести опыт с другими номиналами электронных компонентов.

Кнопка **Измерить** начинает выполнение опыта. При этом формируются необходимые входные сигналы для подачи на входы электрической схемы, после чего проводятся соответствующие измерения в определенных точках схемы. Результаты измерений записываются в соответствующие поля таблицы на лицевой панели; на основании полученных значений строятся графики.

Кнопка **Отменить** отменяет последнее выполненное действие.

4. При помощи соединительных проводов произведите подключения на плате в соответствии с рисунком 5.6, приведенном на экране.

Внимание! Любые электрические соединения должны производиться при отключенном питании платы (выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы).

5. Представьте собранную схему для проверки преподавателю.

Пошаговый порядок выполнения эксперимента «Неуправляемый однофазный выпрямитель».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I** (включен). Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II** и следуйте инструкциям на экране.

2. Выставьте круговой регулятор напряжения источника на величине заданной преподавателем.

3. Нажмите кнопку **Измерить**, при этом формируются необходимые входные сигналы для подачи на входы электрической схемы, после чего проводятся соответствующие измерения в определенных точках схемы.

4. Для отображения значений измерительных приборов, необходимо нажать на их изображение на лицевой панели эксперимента. Для схемы эксперимента неуправляемого однофазного выпрямителя окно эксперимента должно принять вид как на рисунке 5.6.

5. Выбрать из **Меню** на лицевой панели, элемент **Сохранить**, предназначенный для сохранения результатов эксперимента (включая образ лицевой панели и регистрационные данные студента, дату и время). В этом случае на основании регистрационных данных и наименования проведенной лабораторной работы формируется название файла, который сохраняется в папке *My Documents\Power Electronics*.

6. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О** (выключен).

7. После завершения эксперимента в **Меню** на лицевой панели выберите элемент **Выход** для возврата в главное меню (рисунок 5.5).

2 эксперимент: «Стабилитрон». Приборы и компоненты:

1. Источник постоянного тока; 2. Амперметр (**A1**); 3. Вольтметр (**V1**).

Подготовка к проведению эксперимента «Стабилитрон».

1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**, см. Рисунок 1.11).

2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О** (выключен).

3. Из главного меню (рисунок 5.5) двойным щелчком выберите эксперимент «Стабилитрон». На рисунке 5.7 показан пример окна данного эксперимента.

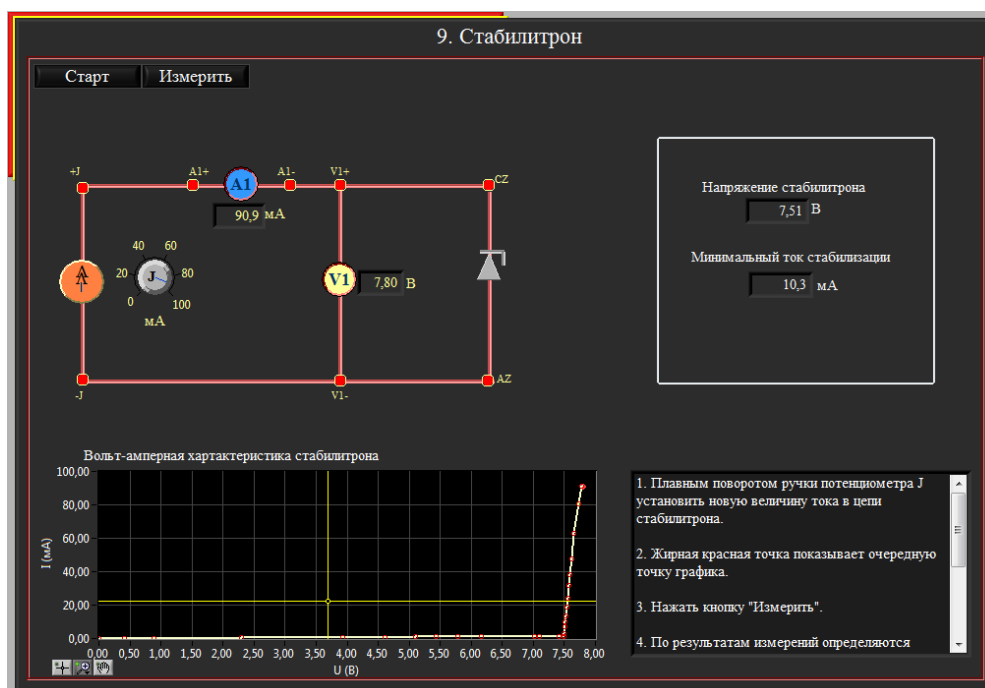


Рисунок 5.7 – Окно эксперимента «Стабилитрон»

4. При помощи соединительных проводов произведите подключения на плате в соответствии с рисунком 5.7, приведенном на экране для схемы эксперимента «Стабилитрон».

Внимание! Любые электрические соединения должны производиться при отключенном питании платы (выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы).

5. Представьте собранную схему для проверки преподавателю

Пошаговый порядок выполнения эксперимента «Стабилитрон».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I** (включен). Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II** и следуйте инструкциям на экране.

2. Сохранить результаты эксперимента в папке *My Documents\Power Electronics*.

3. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).

4. После завершения эксперимента в **Меню** на лицевой панели выберите элемент **Выход** для возврата в главное меню (рисунок 5.5).

3 эксперимент: «Тиристор». Приборы и компоненты:

1. Источник постоянного напряжения;
2. Источник постоянного напряжения;
3. Нагрузки;
4. Амперметры (**A1, A2**); 5. Вольтметры (**V1, V2**).

Подготовка к проведению эксперимента «Тиристор».

1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**, см. Рисунок 1.11).

2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).

3. Из главного меню (рисунок 5.5) двойным щелчком выберите эксперимент **«Тиристор»**. На рисунке 5.8 показан пример окно данного эксперимента.

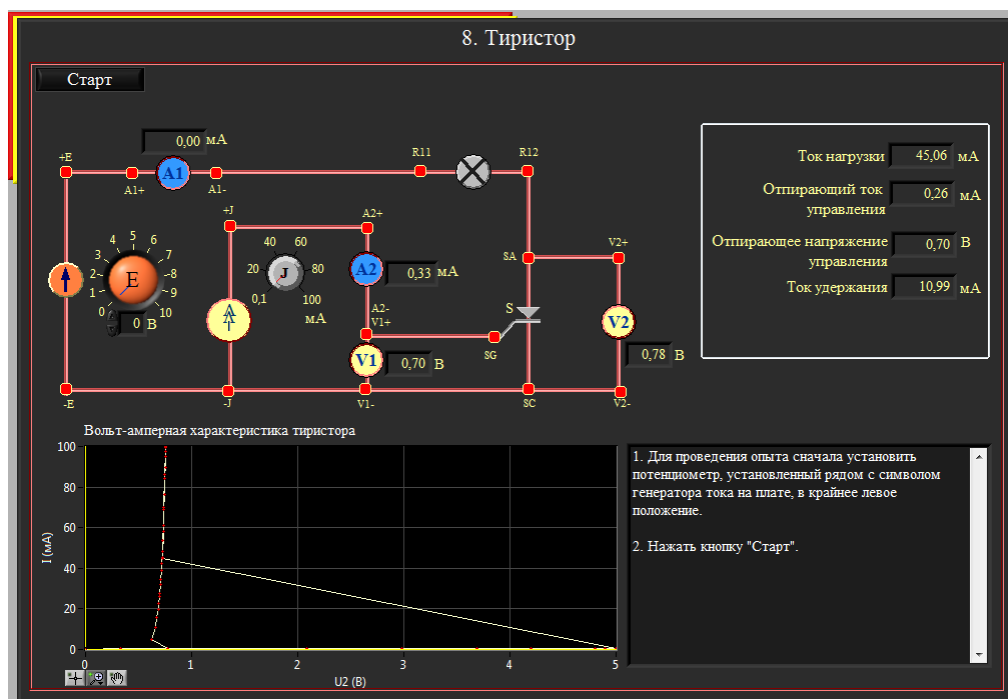


Рисунок 5.8 – Окно эксперимента «Тиристор»

4. При помощи соединительных проводов произведите подключения на плате в соответствии с рисунком 5.8, приведенном на экране для схемы эксперимента «Тиристор».

Внимание! Любые электрические соединения должны производиться при отключенном питании платы (выключатель питания платы (1) на рисунке 1.12 должен находиться в положении «выключено», не горит красный светодиод в левом нижнем углу платы).

5. Представьте собранную схему для проверки преподавателю

Пошаговый порядок выполнения эксперимента «Стабилитрон».

1. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I** (включен). Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II** и следуйте инструкциям на экране.

2. Сохранить результаты эксперимента в папке *My Documents\Power Electronics*.

3. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** (рисунок 1.12) на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O** (выключен).

4. После завершения эксперимента в **Меню** на лицевой панели выберите элемент **Выход** для возврата в главное меню (рисунок 5.5).

Обработка экспериментальных данных для данной лабораторной не требуется. Так как все необходимые вычисления и характеристики автоматически строятся в течение экспериментов, а потом сохраняются в полученный в результате измерений файл.

Содержание отчета

Аналогично лабораторной работы 1.

Контрольные вопросы

1. Пояснить, как образуется p - n -переход. Свойства p - n -перехода, потенциальный барьер.
2. Виды полупроводниковых диодов, назначение, область применения, основные параметры и характеристики.
3. В чем отличие идеальной ВАХ полупроводникового диода от реальной?
4. Что называют прямым и обратным включениями диода? Каковы их свойства?
5. Что называют дифференциальным сопротивлением диода? Как экспериментально определить дифференциальное сопротивление стабилитрона?
6. Назначение стабилитронов, их отличие от выпрямительных диодов.
7. Сравнить ВАХ стабилитрона и выпрямительного диода.
8. Основные параметры и характеристики стабилитронов.
9. Как экспериментально снять ВАХ стабилитрона?
10. Каковы особенности вольт-амперных характеристик неуправляемого тиристора?
11. Какие составляющие токов протекают в управляемом тиристоре?
12. Какими способами можно включить и выключить тиристор?
13. Как меняется вольт-амперная характеристика управляемого тиристора при изменении напряжения на управляющем электроде?
14. Начертите схему включения тиристора для определения его параметров.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме**Основная учебная литература**

1. Немцов М.В. Электротехника и электроника (6-е изд., стер.) учебник. – М: Академия, 2013. – 480 с. – ISBN: 9785446804320.
2. Электротехника и электроника: Учебное пособие для вузов / В.В. Кононенко [и др.]; под ред. В.В. Кононенко. – Изд. 6-е – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 784 с. (Серия «Высшее образование». – ISBN 978-5-222-17568-2.

Дополнительная литература

1. Прянишников В.А. Электроника: Полный курс лекций / В.А. Прянишников. – Изд. 6-е. – СПб.: КОРОНА-Век, 2014. – 416 с. – ISBN 978-5-7931-0522-4.
2. Лачин, В. И. Электроника : учеб. пособие / В. И. Лачин, Н. С. Савёлов. – Изд. 8-е. – Ростов н/Д. : Феникс, 2010. – 703, [1] с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-222-17655-9
3. Опадчий, Ю. Ф. Аналоговая и цифровая электроника: полный курс : учебное пособие / Ю. Ф. Опадчий, О. П. Глудкий, А. И. Гуров ; под ред. О. П. Глудкина. – М.: Горячая Линия - Телеком, 2005. – 768 с. – ISBN 5-93517-002-7.
4. Горбачёв, Г. Н. Промышленная электроника: учебник для вузов / Г. Н. Горбачёв, Е. Е. Чаплыгин; под ред. В. А. Лабунцова. - М. : Энергоиздат, 1988. – 320 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «Электротехника»
для студентов направления подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело,
направленность (профиль) Бурение нефтяных и газовых скважин

Ставрополь, 2026

Методические рекомендации предназначены для студентов направления подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело, направленность (профиль) Бурение нефтяных и газовых скважин.

Цель методических рекомендаций:

1. Методическое сопровождение процесса введения и реализации требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (далее ФГОС ВО), помощь при разработке рабочих учебных программ дисциплин образовательной программы (далее ОП).

2. Создания в образовательном учреждении учебно-методического обеспечения образовательного процесса.

Методические рекомендации определяют сущность самостоятельной работы студентов в вузе, ее назначение, планирование, формы организации и виды контроля.

Содержание

1. Нормативное обеспечение самостоятельной работы в ФГОС ВО
2. Назначение и виды самостоятельной работы студентов
3. Контроль самостоятельной работы студентов преподавателями

1. Нормативное обеспечение самостоятельной работы в ФГОС ВО

1.1. Требования к условиям реализации ОП:

- требования к обязательному минимуму содержания образовательной программы подготовки бакалавра, к условиям ее реализации и срокам ее освоения определяются настоящим ФГОС ВО;

- в программу бакалавриата входит «Дисциплины (модули)», который включает дисциплины (модули), относящиеся к обязательной части программы и дисциплины (модули), относящиеся к части, формируемой участниками образовательных отношений. Дисциплины (модули), относящиеся к обязательной части программы бакалавриата, являются обязательными для освоения обучающимся вне зависимости от направленности (профиля) программы бакалавриата, которую он осваивает. Набор дисциплин (модулей), относящихся к обязательной части программы бакалавриата, вуз определяет самостоятельно в объеме, установленном настоящим ФГОС ВО. Дисциплины (модули), относящиеся к части, формируемой участниками образовательных отношений определяют направленность (профиль) программы бакалавриата. Набор дисциплин (модулей), относящихся к части, формируемой участниками образовательных отношений, определяет вуз самостоятельно в объеме, установленном настоящим ФГОС ВО. После выбора обучающимся направленности (профиля) программы, набор соответствующих дисциплин (модулей) становится обязательным для освоения обучающимся;

- максимальный объем учебной нагрузки студента устанавливается 54 часа в неделю, включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся должны быть оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации. Библиотека вуза должна иметь достаточное количество современных учебников и учебных пособий по всем дисциплинам и постоянно восполняться научной литературой и периодическими изданиями нефтегазового профиля.

Объем времени, отведенный на внеаудиторную самостоятельную работу, находит отражение:

- в рабочем учебном плане,
- в рабочих программах учебных дисциплин с распределением по разделам или конкретным темам.

2. Назначение и виды самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности, организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, совершенствованию и самоорганизации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитию исследовательских умений.

Внеаудиторная самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

В учебном процессе образовательного учреждения выделяются два вида самостоятельной работы:



3. Контроль самостоятельной работы студентов преподавателями

Контроль самостоятельной работы студентов предусматривает:

- соотнесение содержания контроля с целями обучения;
- объективность контроля;
- валидность контроля (соответствие предъявляемых заданий тому, что предполагается проверить);
- дифференциацию контрольно-измерительных материалов.

Формы контроля самостоятельной работы

1. Просмотр и проверка выполнения самостоятельной работы преподавателем.
2. Самопроверка, взаимопроверка выполненного задания в группе.
3. Обсуждение результатов выполненной работы на занятии.
4. Тестирование.
5. Письменный опрос.
6. Устный опрос.
7. Индивидуальное собеседование.
8. Коллоквиум.
9. Отчет о проделанной работе.
10. Защита рефератов или курсовой работы.
11. Творческий конкурс.
12. Интернет-конференции.
13. Контрольная работа.

Критерии оценки результатов самостоятельной работы

Критериями оценок результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентами учебного материала;
- умения студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- сформированность общеучебных умений;
- умения студента активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;

- умение четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;
- умение показать, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;
- умение сформировать свою позицию, оценку и аргументировать ее.

Содержание внеаудиторной самостоятельной деятельности студентов

Методические указания для студентов по выполнению самостоятельной работы:

1. Подготовка к лекциям.
2. Подготовка к лабораторным работам.
- 3 Самостоятельное изучение учебной литературы.

Перечень основной литературы:

1. Давыденко О. Б., Богданов В. В., Савин Н. П., Сапсалева А. В. Электротехника: учебное пособие :Новосибирский государственный технический университет, 2022–216 .
2. Галимова А. А. Общая электротехника. Электрические цепи однофазного синусоидального тока : учебно-методическое пособие / А. А. Галимова, А. П. Новикова, Е. В. Стрижакова. - Общая электротехника. Электрические цепи однофазного синусоидального тока, - Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. - 56 с. - электронный.
3. Скорняков, В. А. Общая электротехника и электроника Электронный ресурс /Скорняков В. А., Фролов В. Я. : учебник для вузов. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 176 с.
4. Теория линейных электрических цепей постоянного и переменных токов. Электронный ресурс / Громов В. Л., Крюков Ю. А., Крюкова О. В., Шевчук И. И. : учебное пособие. - Дубна : Государственный университет «Дубна», 2019. - 111 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Рекус Г.Г. Основы электротехники и электроники в задачах с решениями: учебное пособие: М: Директ-Медиа, 2014, 344 с.
2. Справочник по основам теоретической электротехники: Издательство "Лань", 2022 – 368 с.
3. Дудченко О. Л., Федоров Г. Б. Расчет однофазных и трехфазных электрических цепей: Методические указания по дисциплине «Электротехника и электроника» Издательство "МИСИС", 2020 – 69 с.
4. Кудряшова, Г. Г. Общая электротехника и электроника. Расчет линейных

электрических цепей Электронный ресурс : учебно-методическое пособие. - Иркутск : ИрГУПС, 2019. - 44 с.

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

1. электронный курс лекций;
2. учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ (электронная версия).

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины:

1. <http://eLibrary.ru/> - Научная электронная библиотека
2. wwwURL: <http://www.biblioclub.ru/> - Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн»
3. wwwURL: <http://e.lanbook.com/> - Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань».