

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

**Методические указания к лабораторным работам по дисциплине
«Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с
основами электротехники)»**

Направление подготовки 08.03.01 Строительство
Квалификация выпускника бакалавр

Ставрополь

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.

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:

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

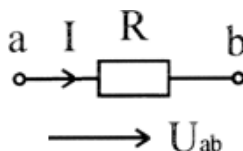


Рисунок 1.1 – Участок цепи

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.

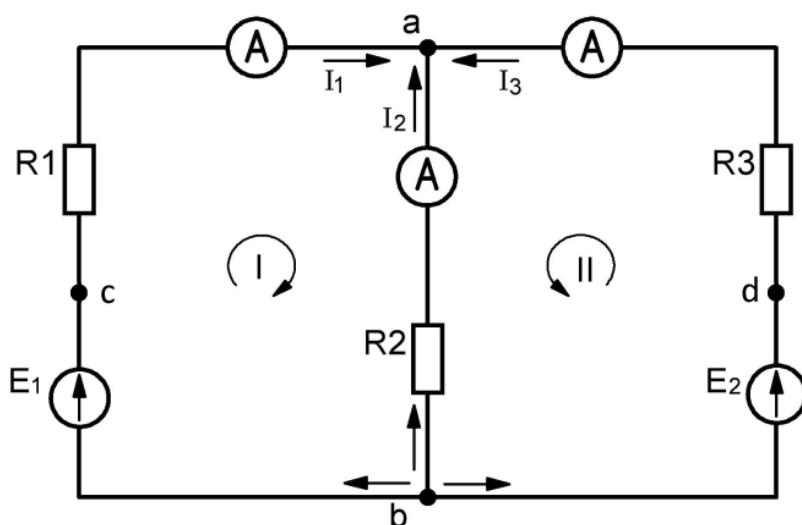


Рисунок 1.1 – Схема линейной электрической цепи постоянного тока

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).

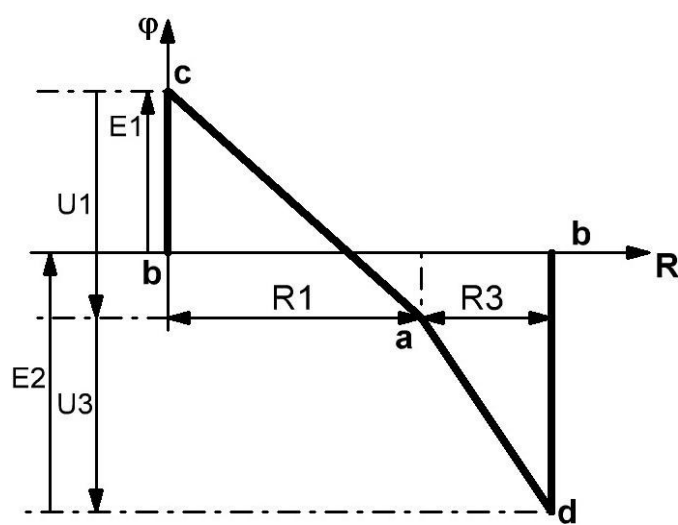


Рисунок 1.2 – Потенциальная диаграмма

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.

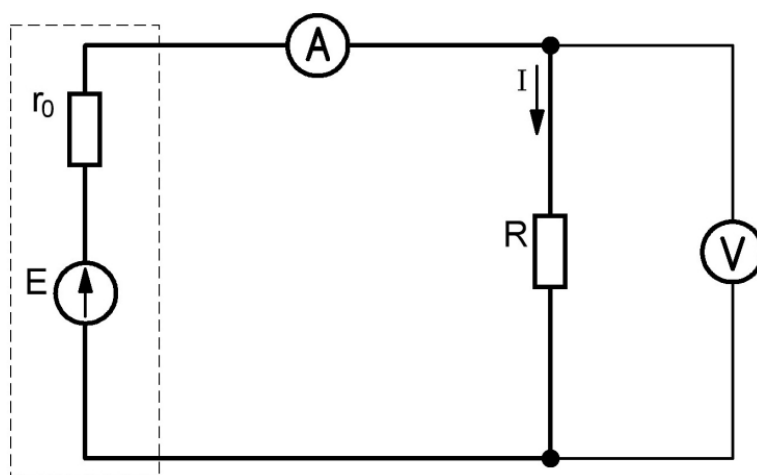


Рисунок 1.3 – Схема замещения неидеального источника напряжения

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.

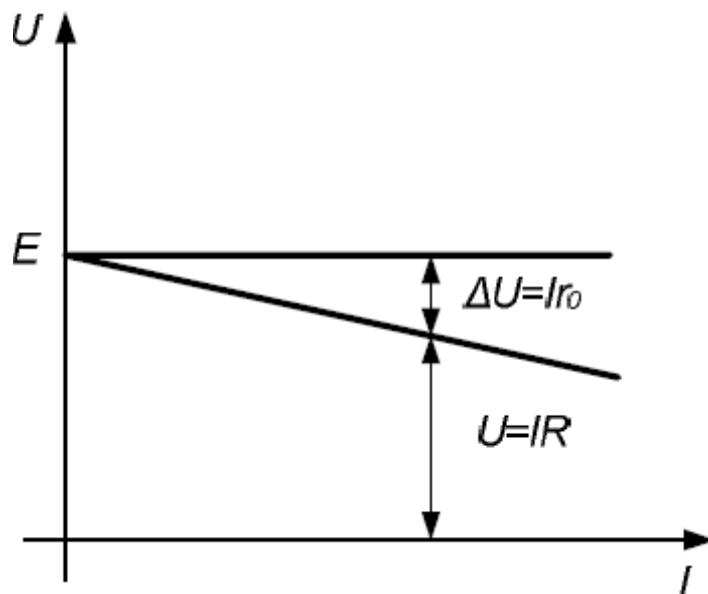


Рисунок 1.4 – Внешняя характеристика источника напряжения

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).

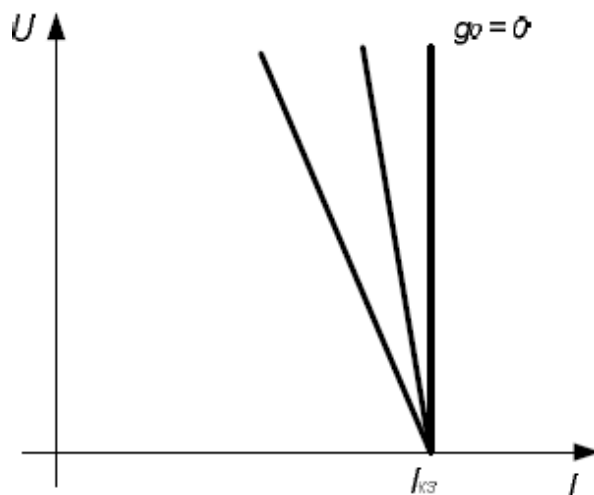


Рисунок 1.5 – Внешняя характеристика источника тока

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 $U = 0; I = I_{кз}$.

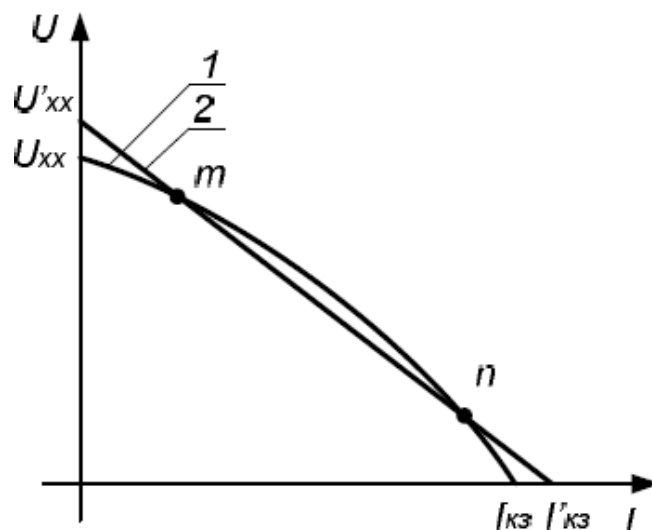


Рисунок 1.6 – Аппроксимация внешней характеристики источника тока

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 .

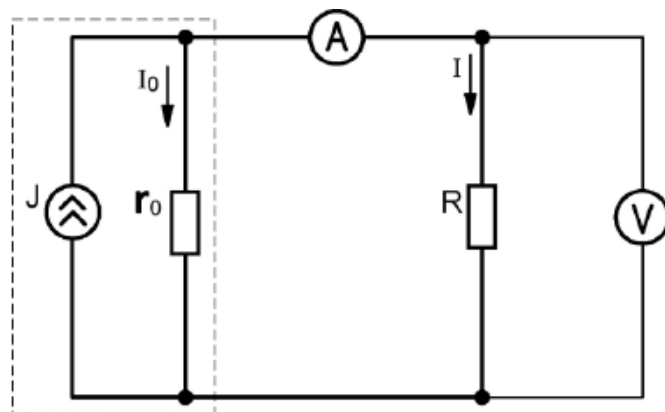


Рисунок 1.7 – Схема замещения неидеального источника тока

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).

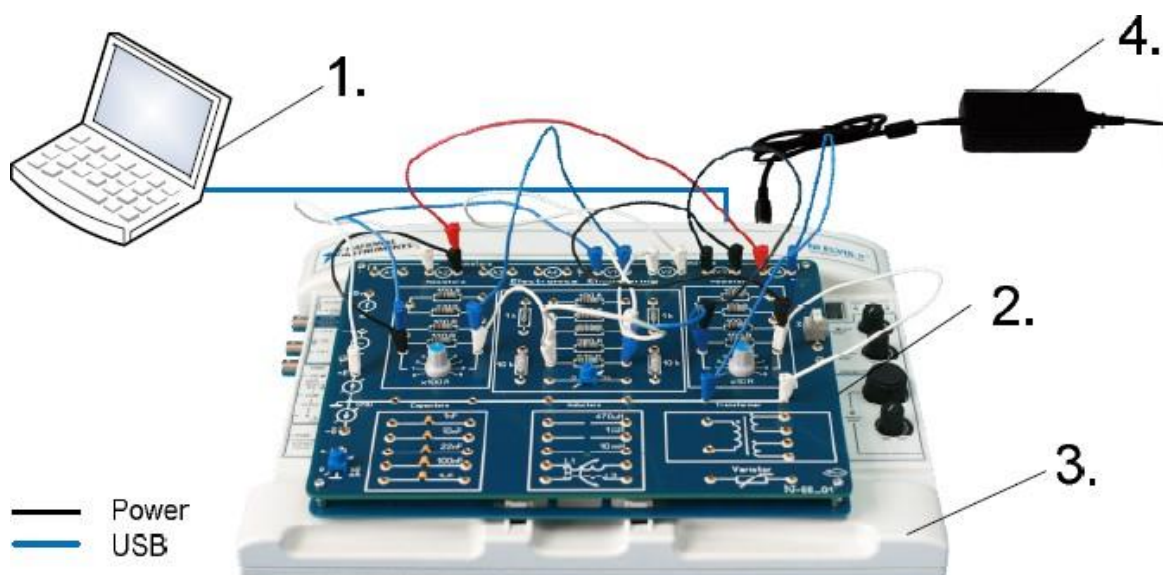


Рисунок 1.8 –Лабораторный стенд подключаемый к ПЭВМ: 1 – персональный компьютер (ПЭВМ); 2 – макетная плата; 3 – контрольно-измерительное оборудование NI ELVIS II, подключаемое к (1) по USB; 4 – Блок питания обеспечивающий электропитание NI ELVIS II и макетной платы

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):

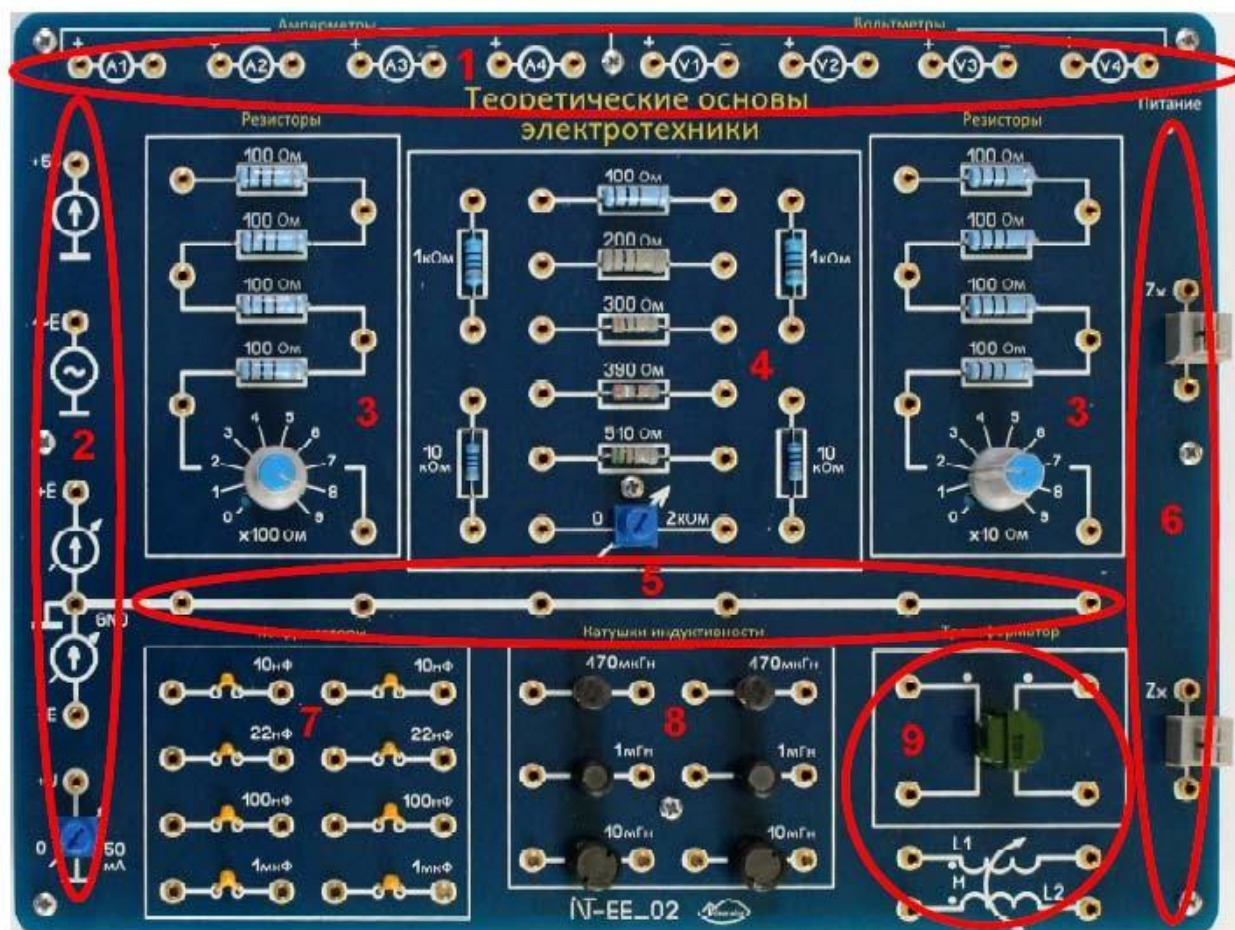


Рисунок 1.9 – Макетная плата и зоны элементов на ней

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 +5B
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.

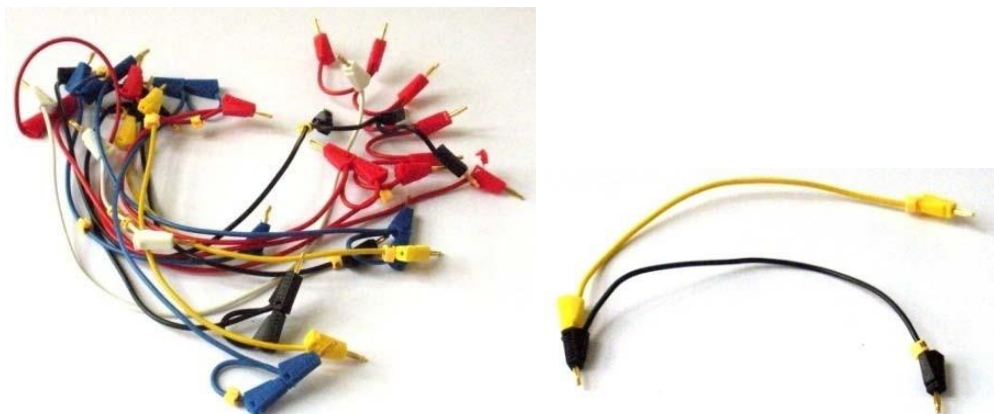


Рисунок 1.10 – Соединительные провода

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)

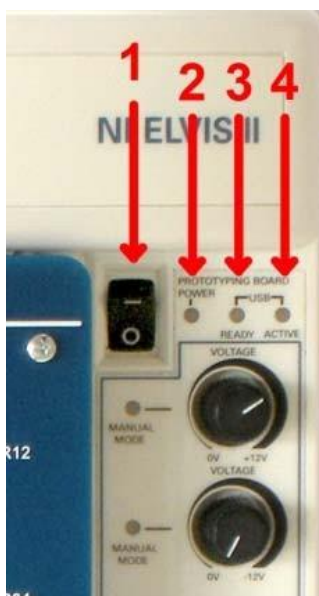


Рисунок 1.12 – Выключатель питания платы и индикаторы

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.

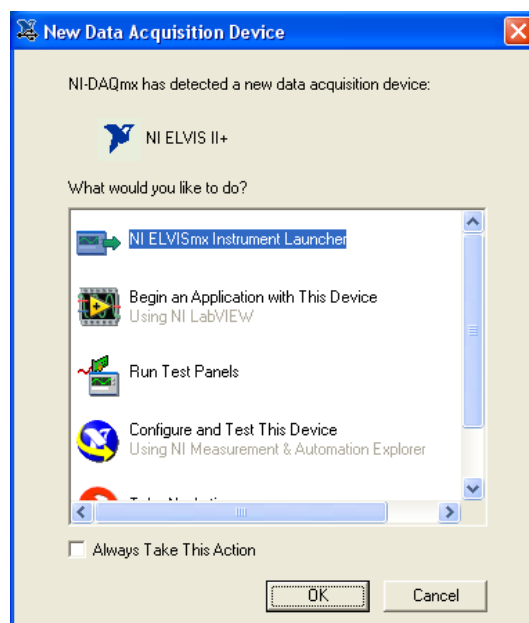
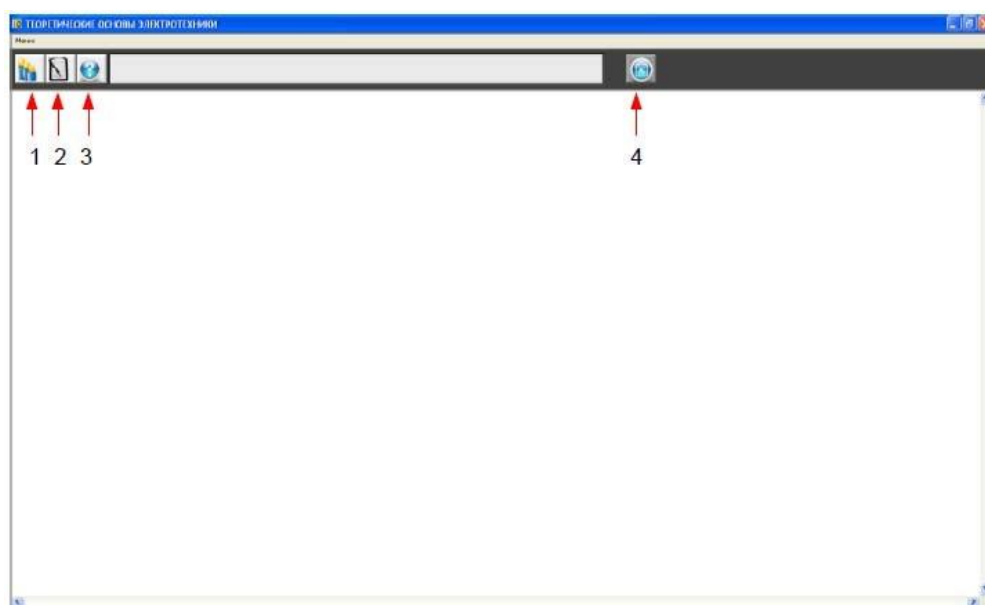


Рисунок 1.13 – Мастер выбора устройства сбора данных

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)

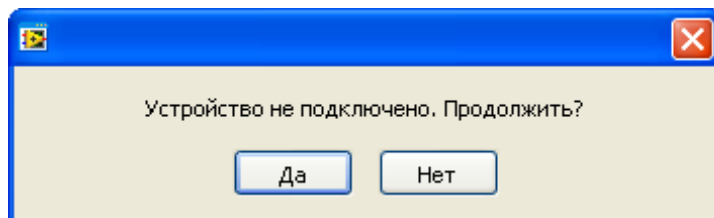


Рисунок 1.15 – Сообщение ошибки о невозможности обнаружения платы

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.

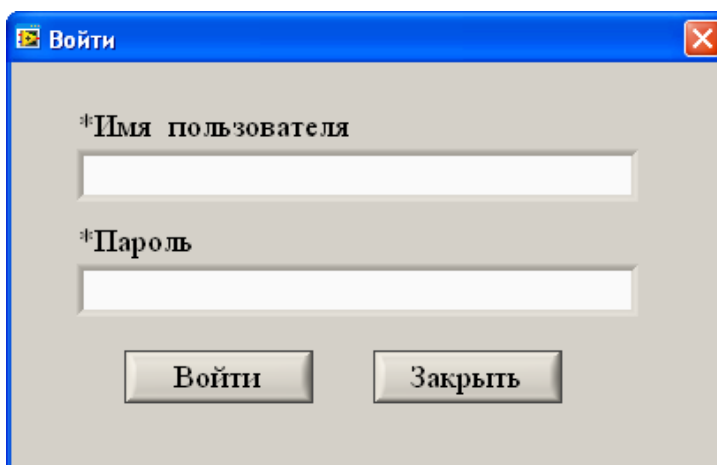


Рисунок 1.16

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

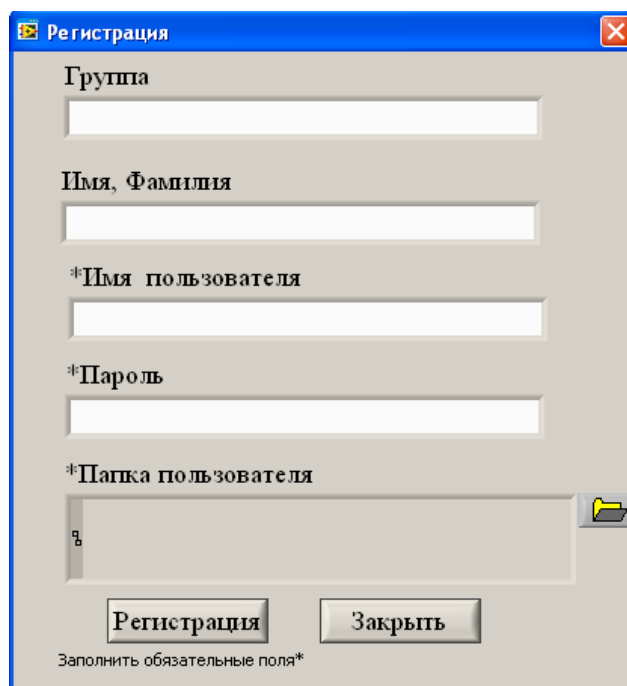


Рисунок 1.17 – Окно регистрации

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**.

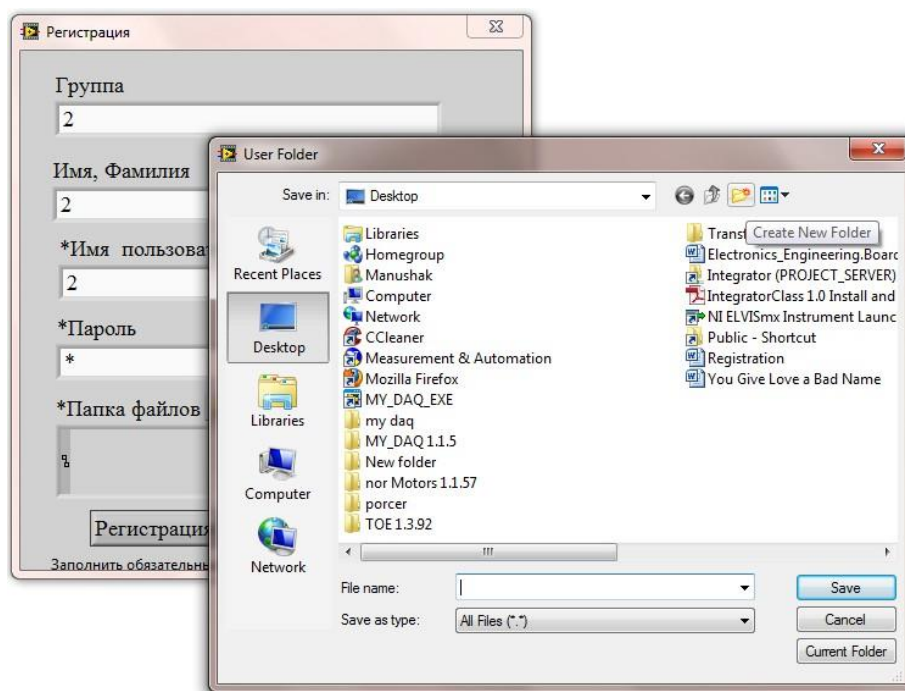


Рисунок 1.18

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

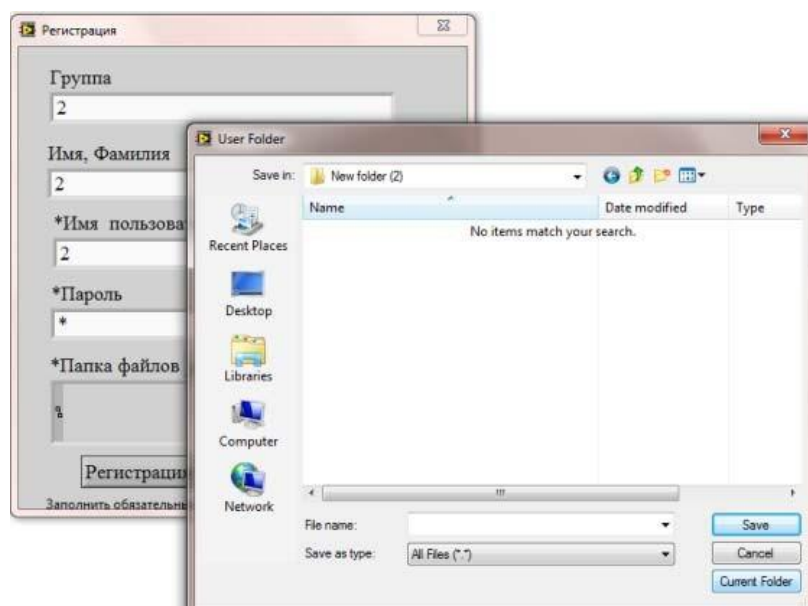


Рисунок 1.19

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.

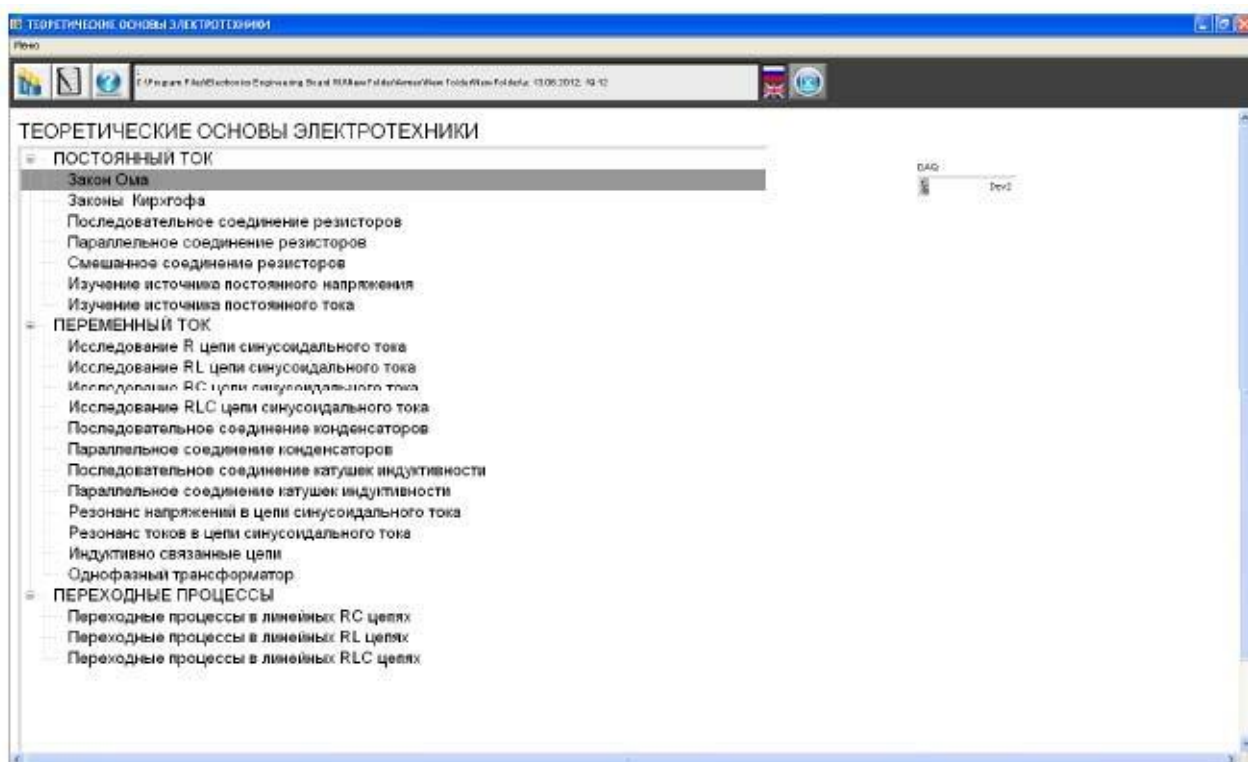


Рисунок 1.20 – Окно главного меню

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).

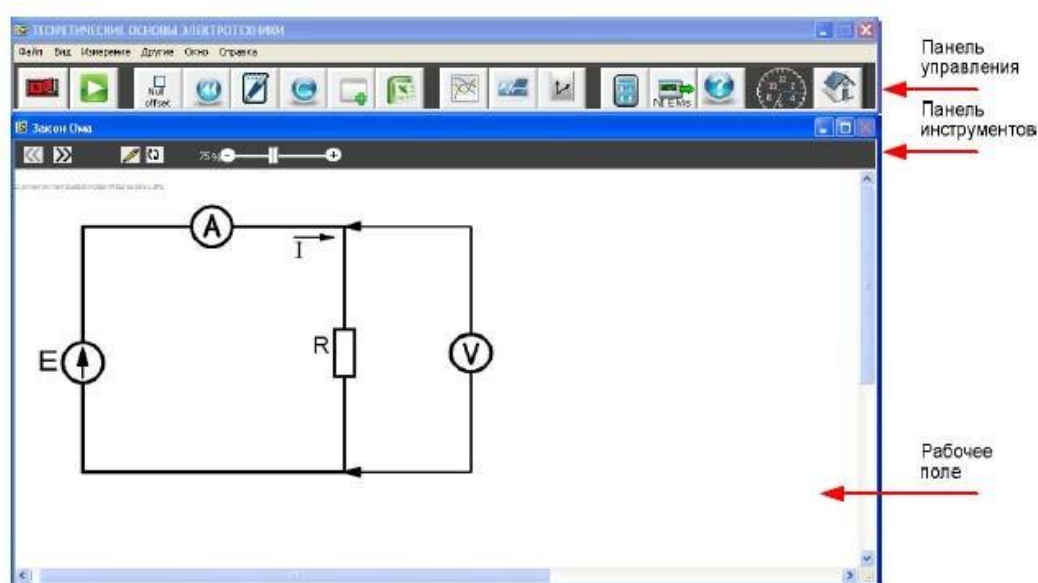


Рисунок 1.21 – Лицевая панель эксперимента «Закон Ома»

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).

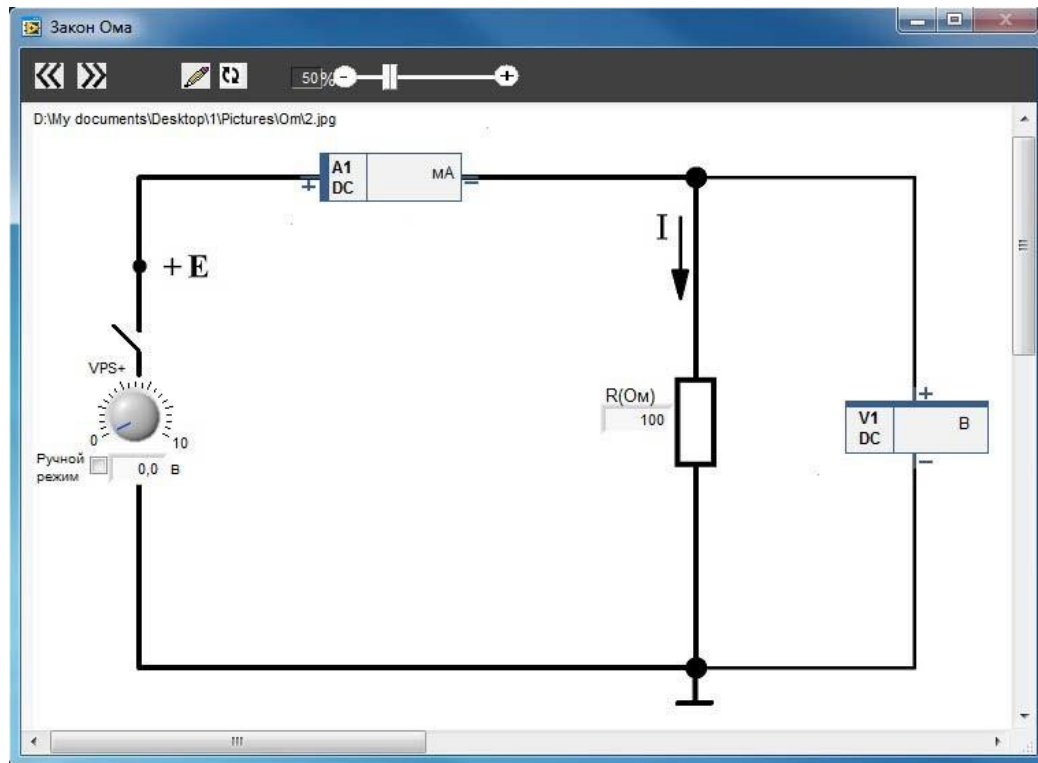


Рисунок 1.22 – Схема электрической цепи эксперимента «Закон Ома»

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

5. Введите в поле изображенное на рисунке 1.22 значение $R \text{ (Ohm)}$ 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.

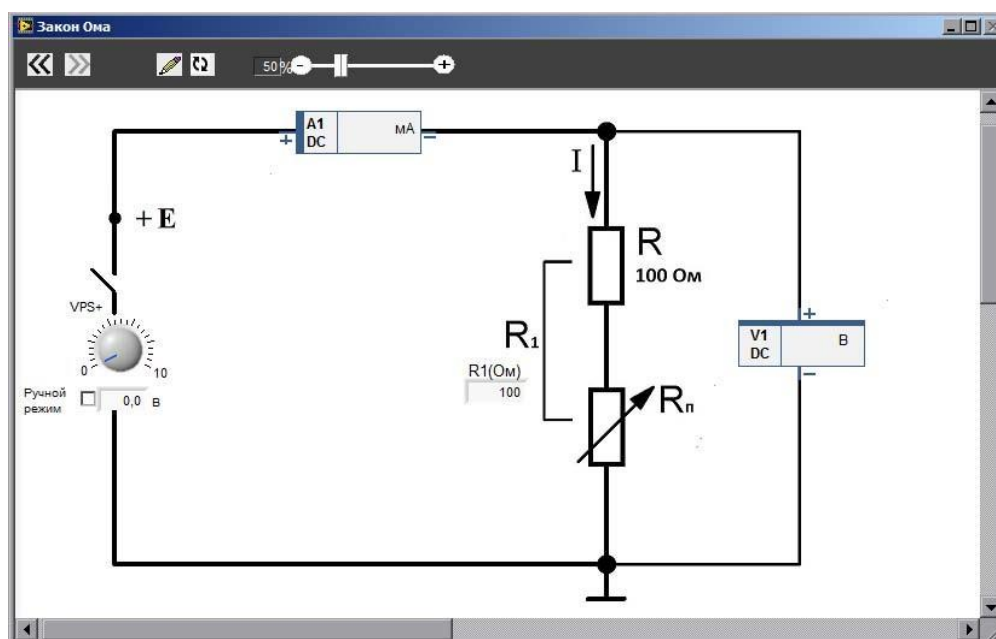


Рисунок 1.24

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</i> (В)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

16. Потенциометром **x100 Ом** пошагово увеличивайте сопротивление цепи (от 100 до 10000Ом, с шагом 100 Ом). На каждом шаге вводите в поле значения величину получившегося сопротивления цепи и, нажимая **Запись**, фиксируете 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.

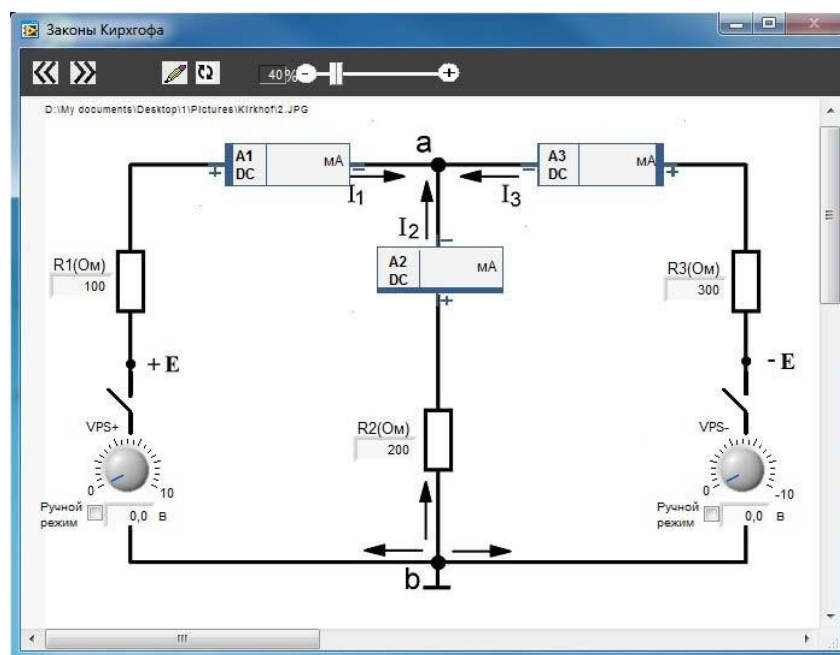


Рисунок 1.25

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).

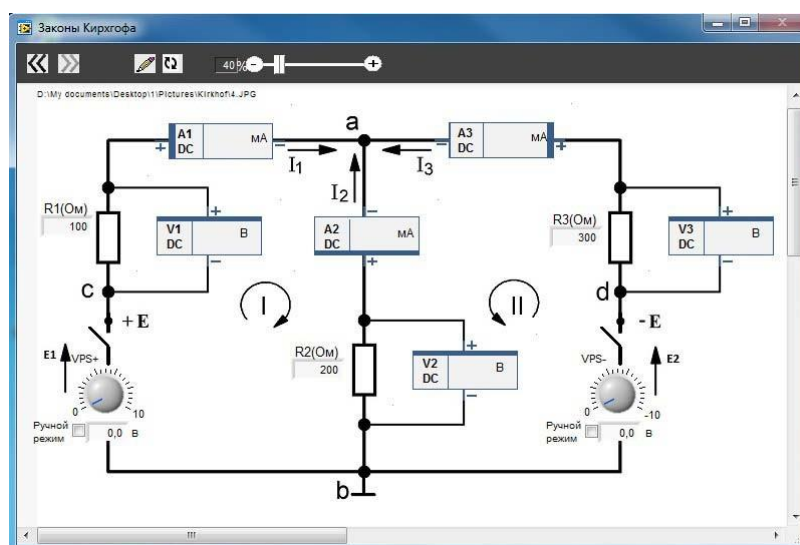


Рисунок 1.26

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 $\times 10$ Ом и $\times 100$ 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.

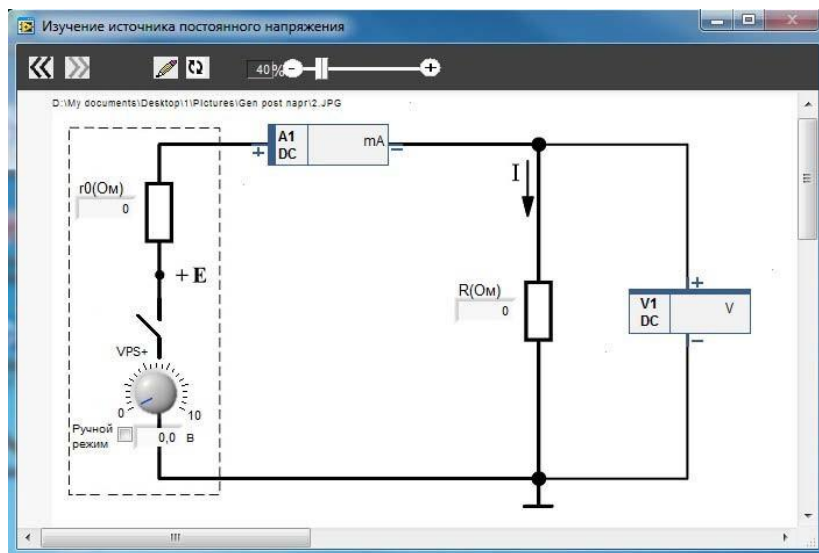


Рисунок 1.27

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. Закрыть **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.

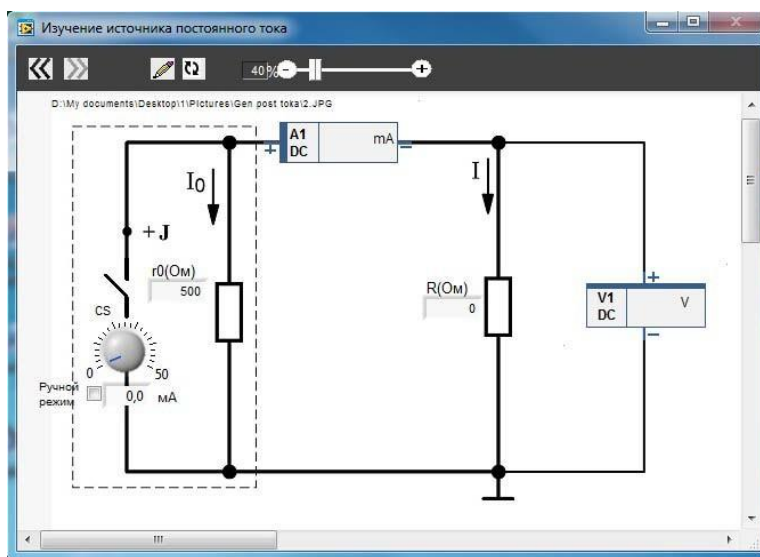


Рисунок 1.28

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	$\pm J$	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 $R = \frac{V_i}{A_i}$ 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.

Теоретическое обоснование

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

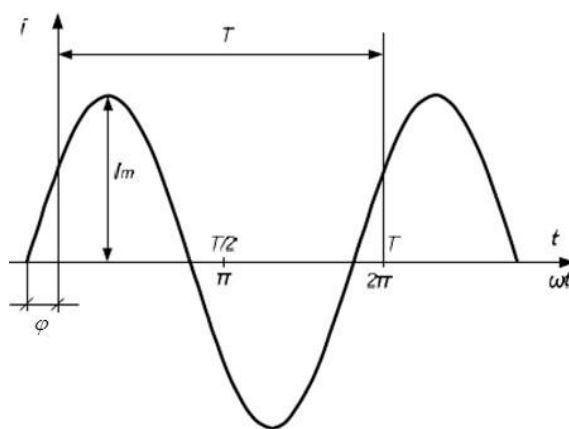


Рисунок 2.1 – График функции синусоидального тока

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; – 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 $i(t) = I_m \cdot \sin(\varphi \cdot t + \varphi_i)$, представляющий собой на комплексной плоскости вектор $\dot{I}_m$.

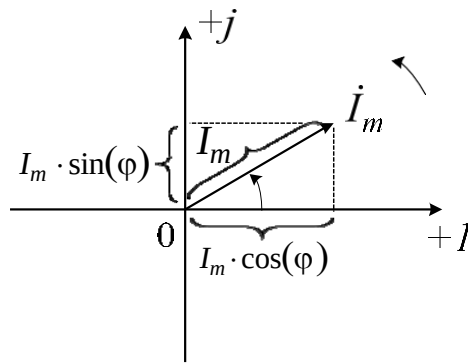


Рисунок 2.2 – Изображение синусоидальных величин на комплексной плоскости

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;

– 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).

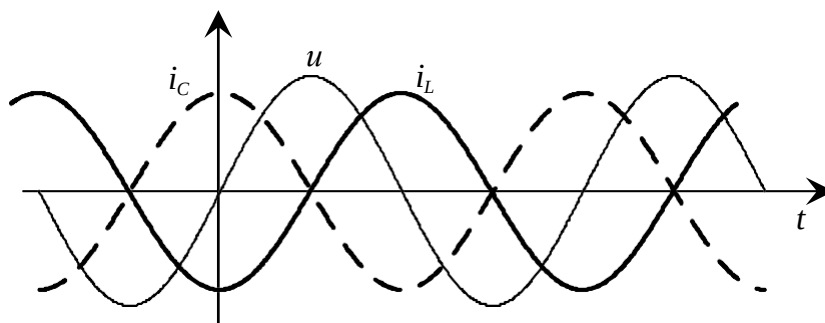


Рисунок 2.3 – Мгновенные токи и напряжение на индуктивном и емкостном элементах. При начальной фазе напряжения равной нулю

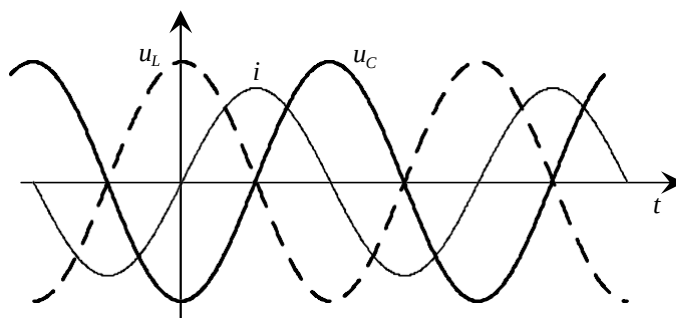


Рисунок 2.4 – Мгновенные токи и напряжение на индуктивном и емкостном элементах. При начальной фазе тока равной нулю

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:

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

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.

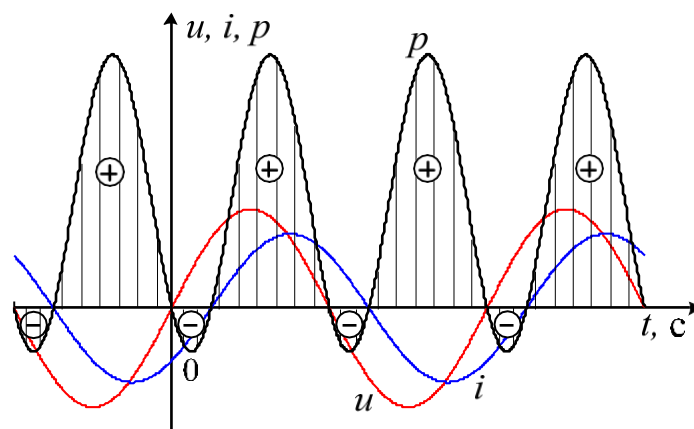


Рисунок 2.5 – График изменения мгновенных значений величин: синусоидального напряжения, тока и мощности

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].

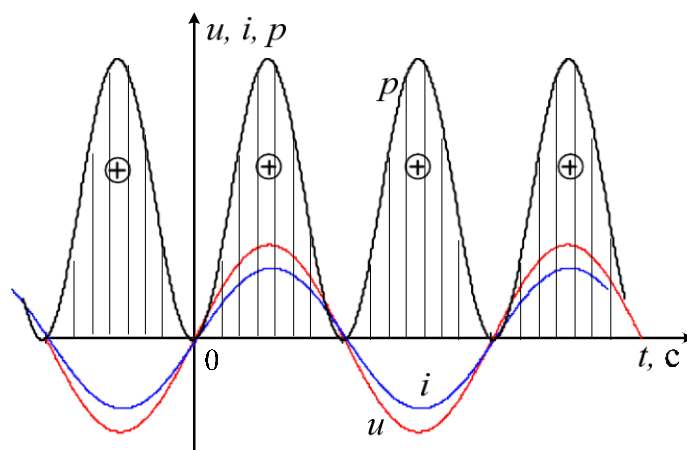


Рисунок 2.6 – Графики изменения мгновенных значений активной мощности и синусоидальных напряжения и тока, совпадающих по фазе

При $\varphi = 0^\circ$ будет наблюдаться наибольшее значение активной мощности равное произведению $U \cdot I$. Эту величину принято называть *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.

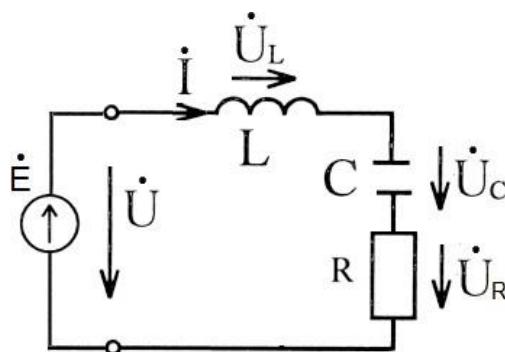


Рисунок 2.7 – Последовательный колебательный контур

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 $\psi_u = \psi_i$, $\phi = 0$, называется резонансом напряжений. В режиме резонанса напряжение на емкостном и напряжение на индуктивном элементах равны и находятся в противофазе рисунок 2.8.

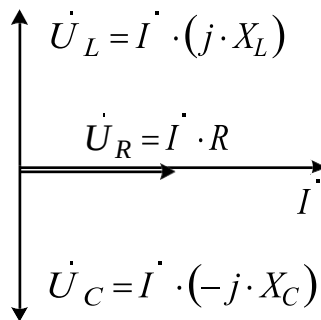


Рисунок 2.8 – Векторная диаграмма напряжений при последовательном резонансе

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 $\frac{U_{Cp}}{U} = \frac{U_{Lp}}{U} = \rho = Q$ 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).

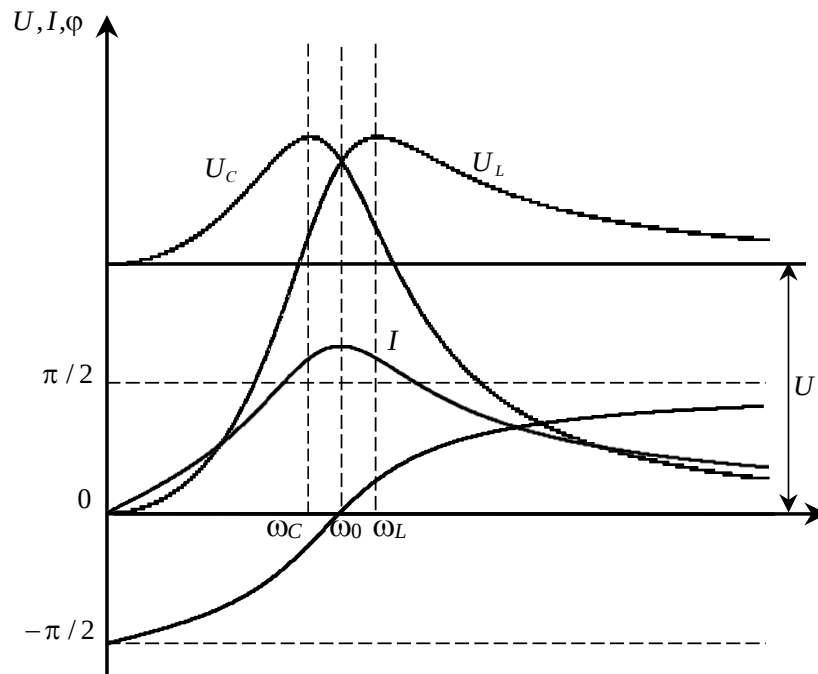


Рисунок 2.9 – Резонансные кривые

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).

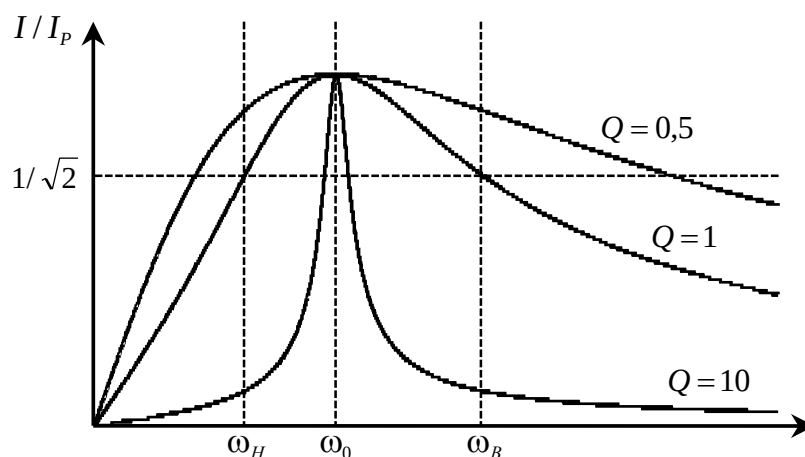


Рисунок 2.10 – Зависимость полосы пропускания контура от его добротности

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 $\dot{U}$.

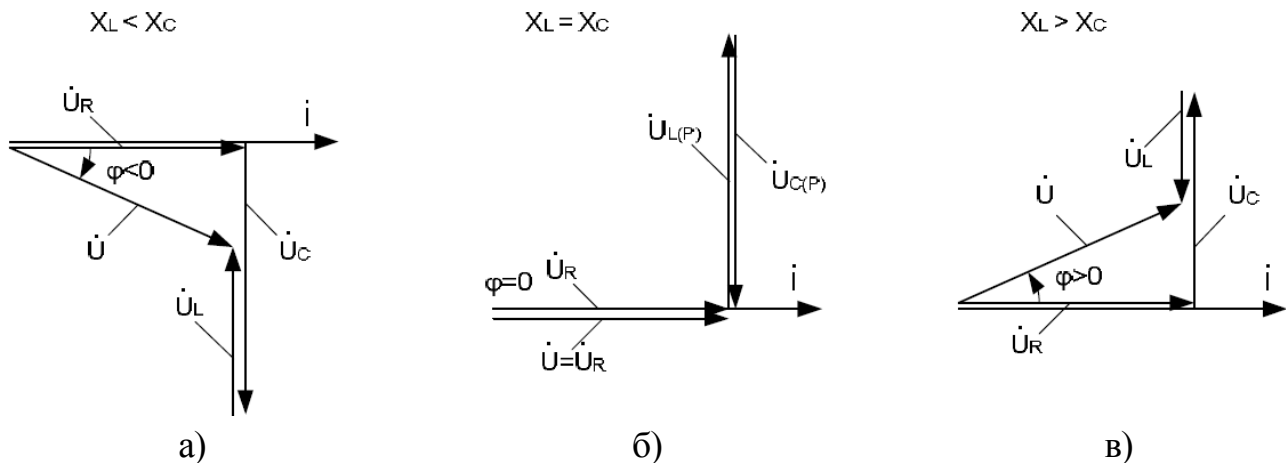


Рисунок 2.11

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

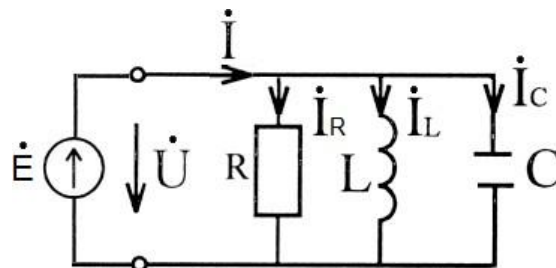


Рисунок 2.12 – Параллельный колебательный контур

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

$$\begin{aligned} \text{где } \underline{Y} &= \frac{1}{R} + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot L} + \left(\frac{1}{-j \cdot \omega \cdot C} \right) = \frac{1}{R} - j \cdot \left(\frac{1}{\omega \cdot L} - \omega \cdot C \right) \\ &= \frac{1}{R} - j \cdot \left(\frac{1}{\omega \cdot L} - \omega \cdot C \right) = g - j \cdot (b_L - b_C) - \text{комплексная проводимость цепи;} \\ Y &= \sqrt{\left(\frac{1}{R} \right)^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot L} - \omega \cdot C \right)^2} - \text{ее модуль (полная проводимость);} \end{aligned}$$

$\varphi = \psi_U - \psi_I$ – 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.

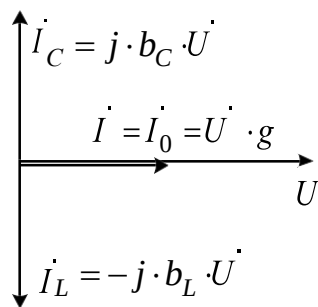


Рисунок 2.13 – Векторная диаграмма токов при параллельном резонансе

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):

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

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 $d = 1/Q$.

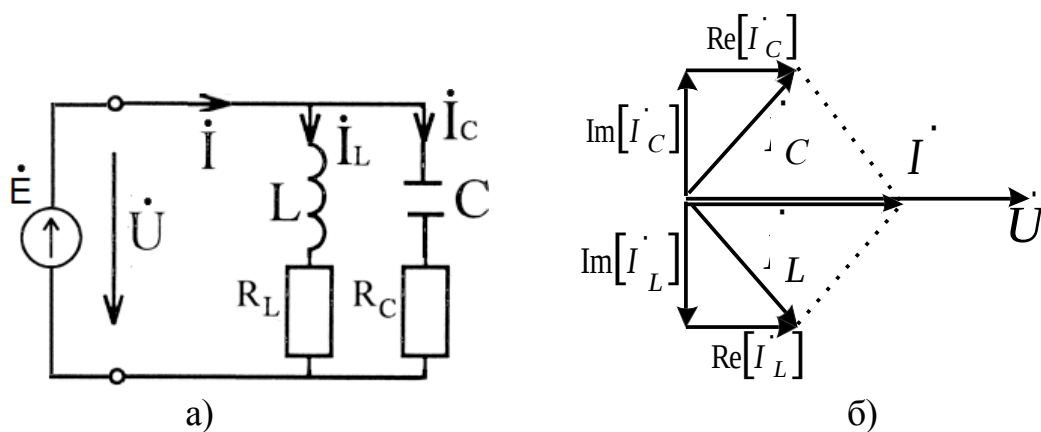


Рисунок 2.14 – Электрическая схема (а) и векторная диаграмма (б) параллельного колебательного контура в режиме резонанса

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

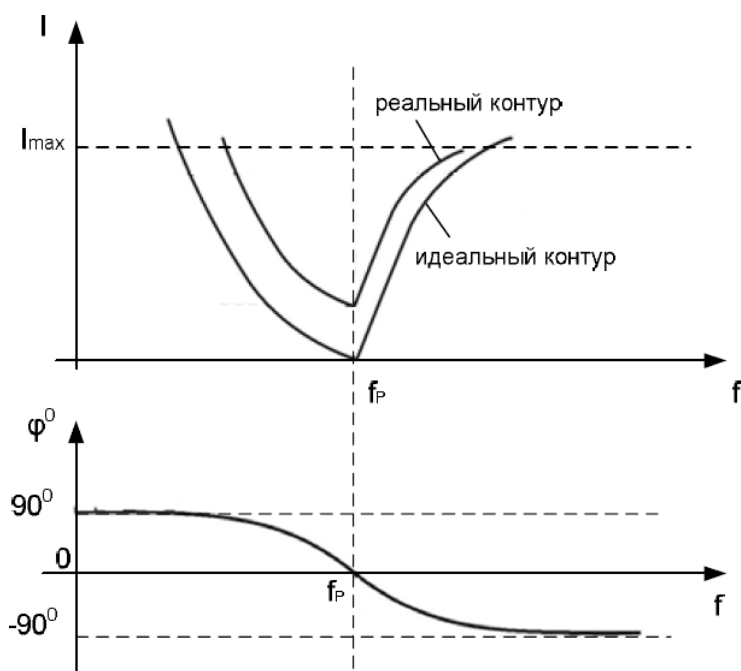


Рисунок 2.15

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.

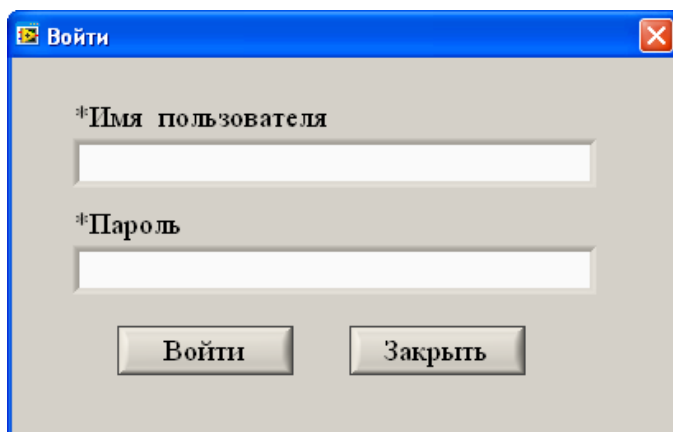


Рисунок 2.16

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

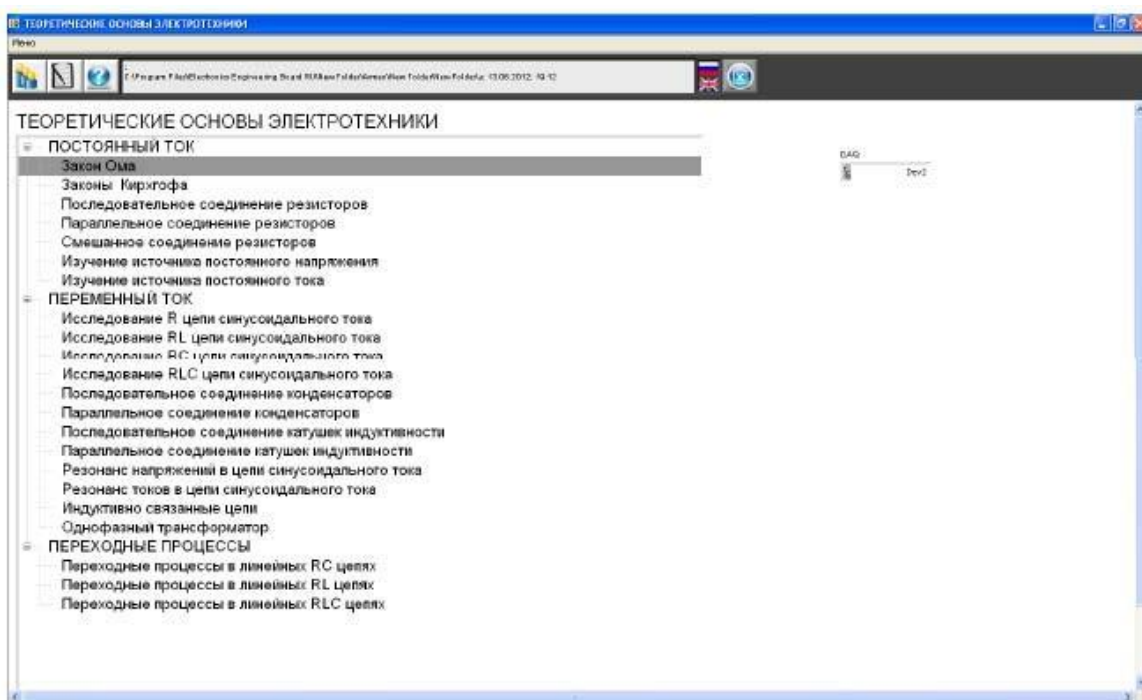


Рисунок 2.17 – Окно главного меню

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).

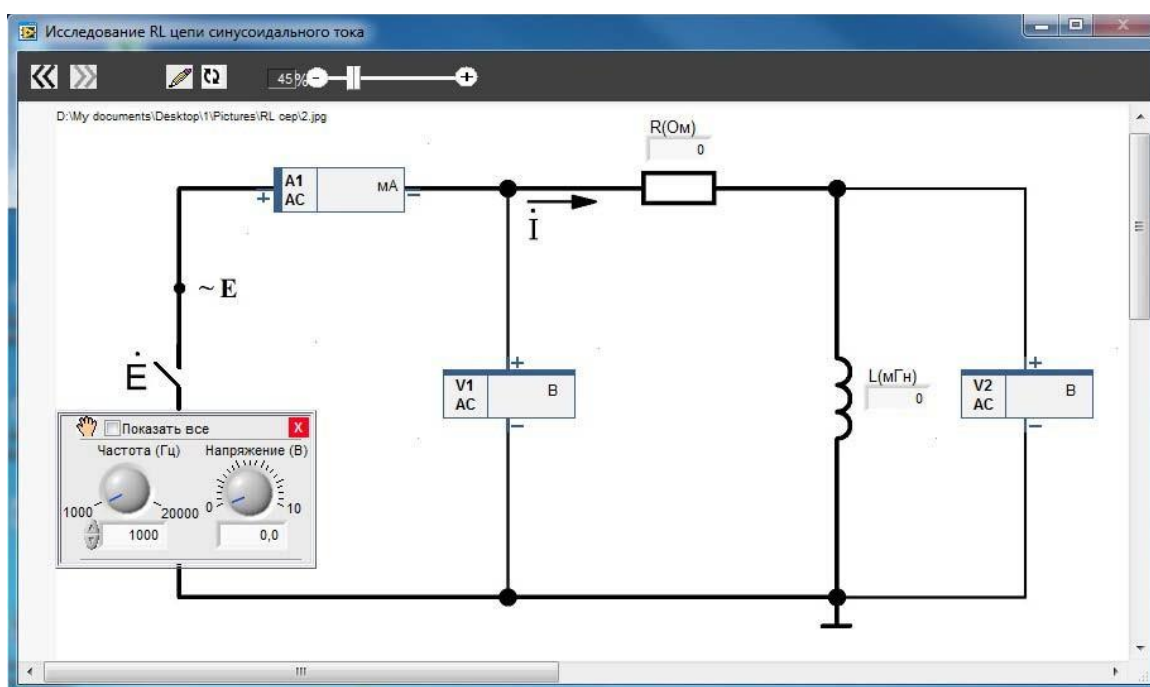


Рисунок 2.18 – Схема электрической цепи эксперимента

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).

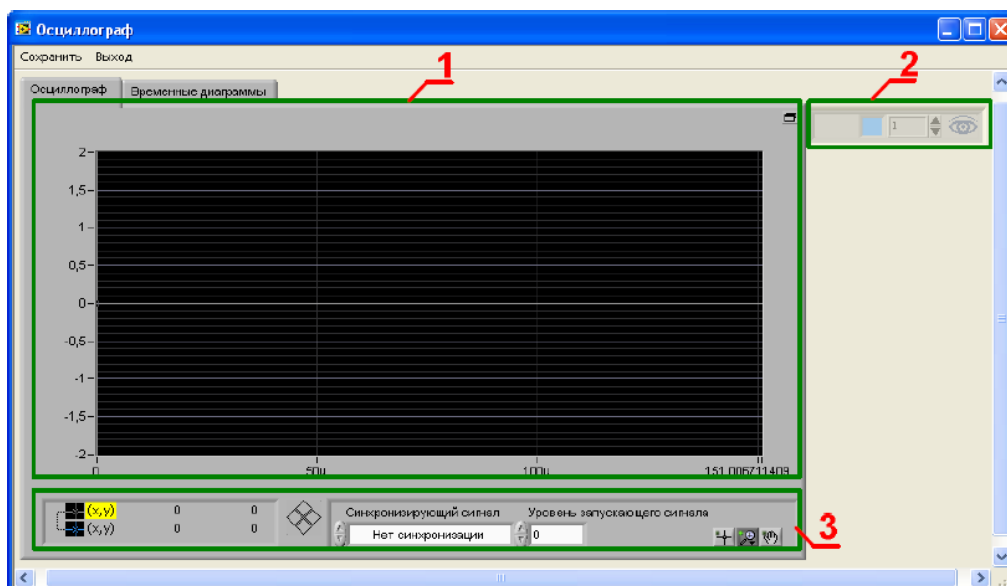


Рисунок 2.19 – Вкладка Осциллограммы

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).

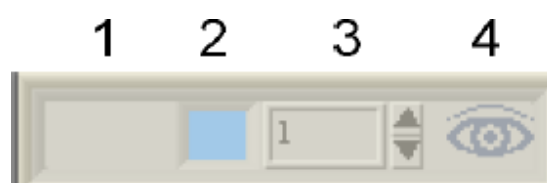


Рисунок 2.20 – Зона выбора сигнала: в поле 1 появятся названия всех инициированных в данной лабораторной работе приборов; в поле 2 доступно меню выбора цвета отображения; в поле 3 можно изменять цену деления шкалы для данного сигнала, при этом в поле индикации будет отображаться соответствующая цена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

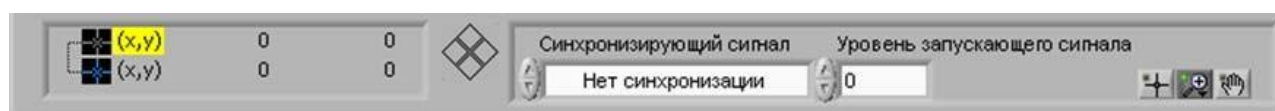


Рисунок 2.21 – Зона управления осями и масштабирования

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).

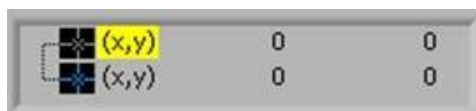


Рисунок 2.22 – Поле выбора/отображения координат курсора

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).

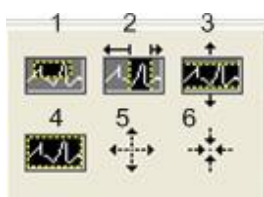


Рисунок 2.23 – Меню выбора масштаба: 1 – позволяет выбрать мышью произвольную прямоугольную область на графике и растянуть ее по диагонали на желаемый масштаб;

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*:

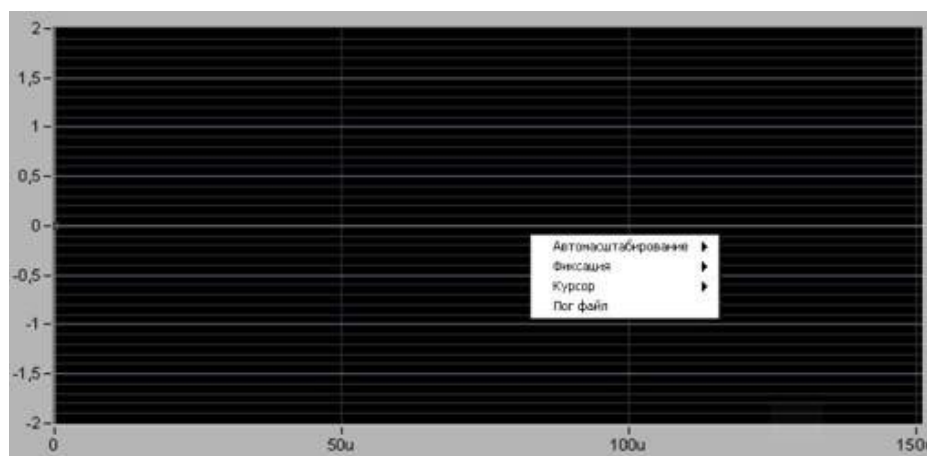


Рисунок 2.24 – меню управления с элементами *Автомасштабирование*, *Фиксация*, *Курсор*, и *Лог файл*: элемент **Автомасштабирование** > **Y** (или **X**) > **Вкл.** (или **Выкл.**) включает или выключает автоматическое масштабирование по осям **Y** или **X**, соответственно; элемент **Фиксация** > **Вкл.** (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).

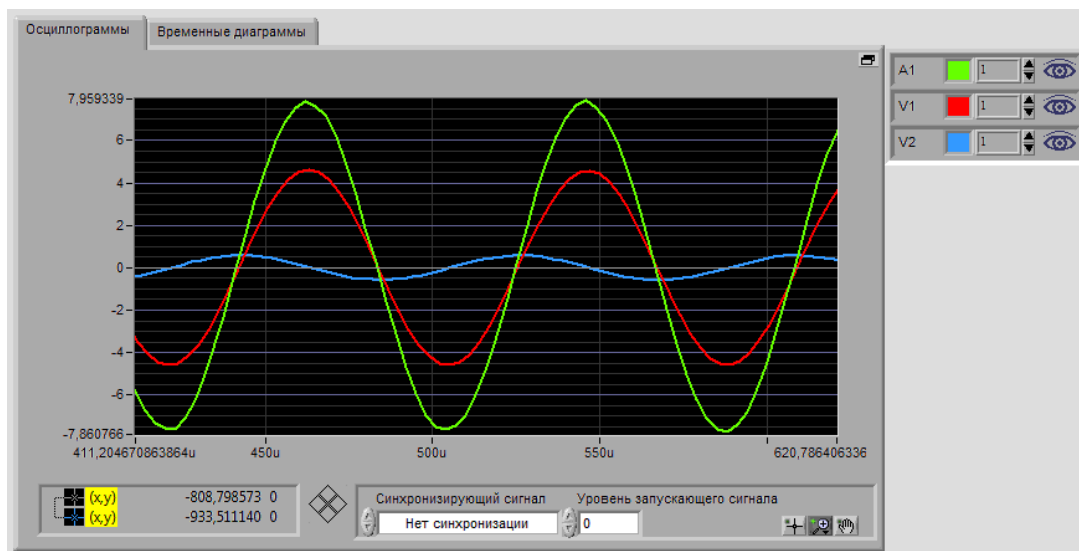


Рисунок 2.25 – Пример осциллограмм для наблюдения напряжения **V1**, **V2** и тока **A1**

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).

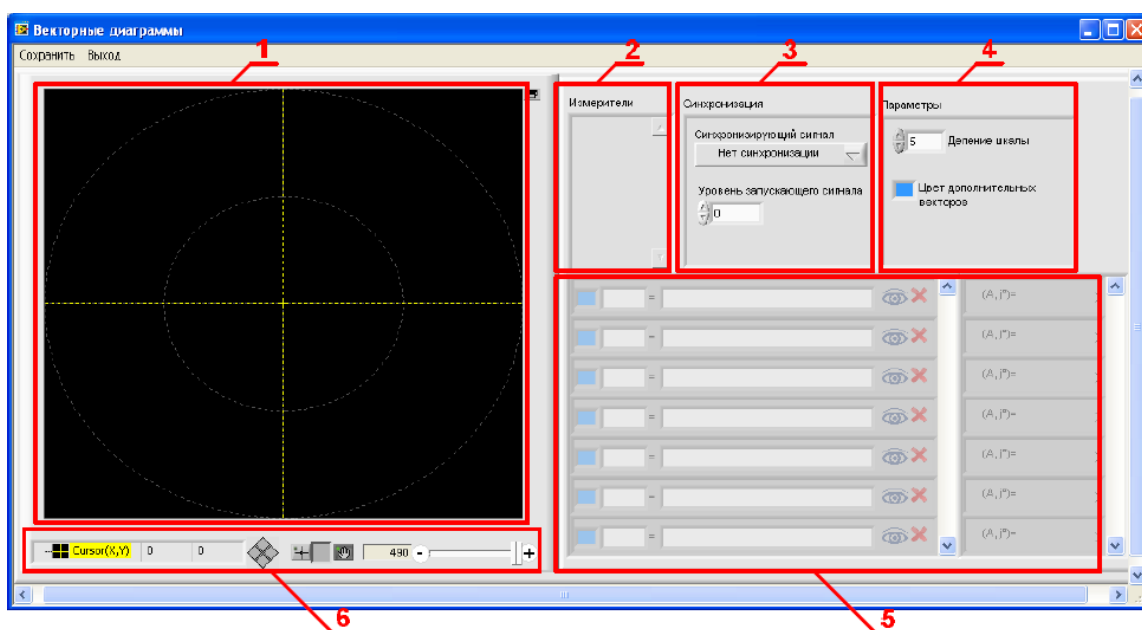


Рисунок 2.26 – Окно Векторные диаграммы

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).

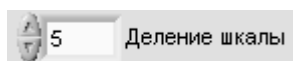


– вводом значения в поле или перемещением ползунка устанавливается максимальный радиус шкалы векторов.

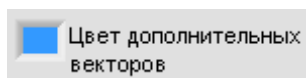
Зона выбора измерителей (2) содержит список **Измерители** всех инициализированных измерителей данной лабораторной работы.

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.

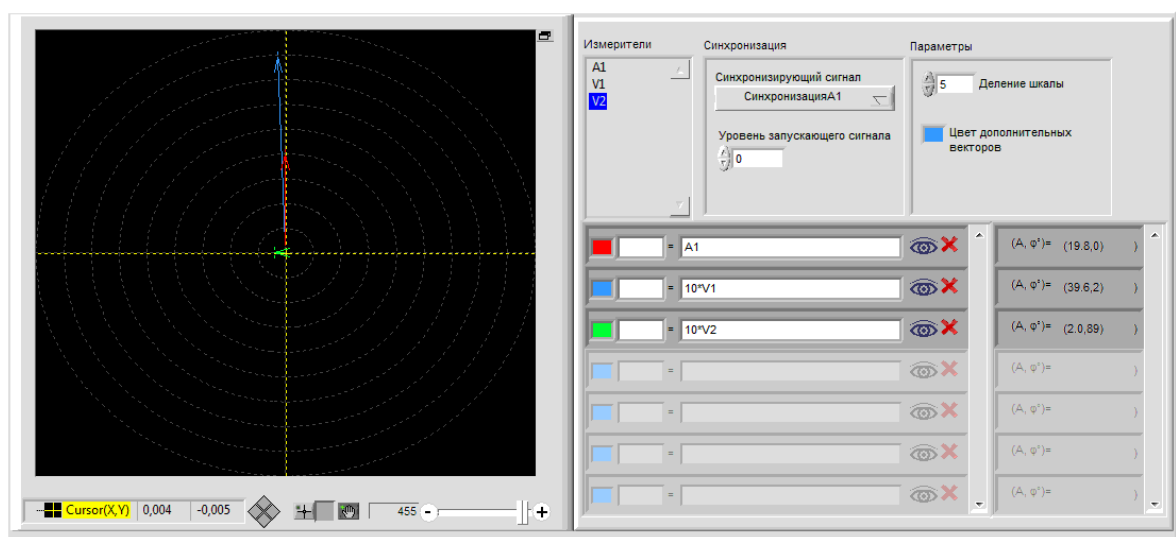


Рисунок 2.28 – Пример векторных диаграмм для наблюдения напряжения **V1**, **V2** и тока **A1**

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).

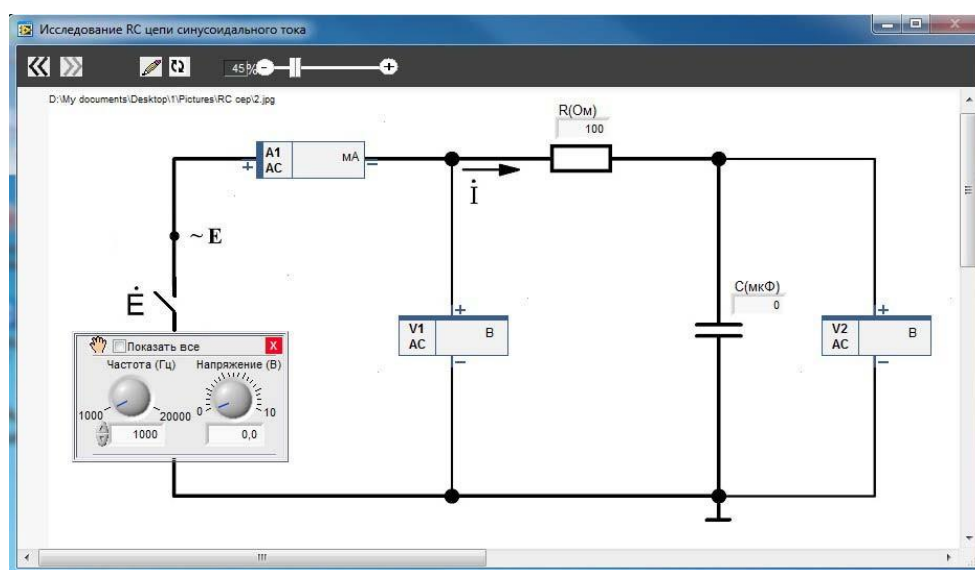


Рисунок 2.29 – Схема электрической цепи эксперимента

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
$\sim E_{\text{pp}} [\text{В}]$	$3 \div 10$						
$C[\text{мкФ}]$	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 ,) 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).

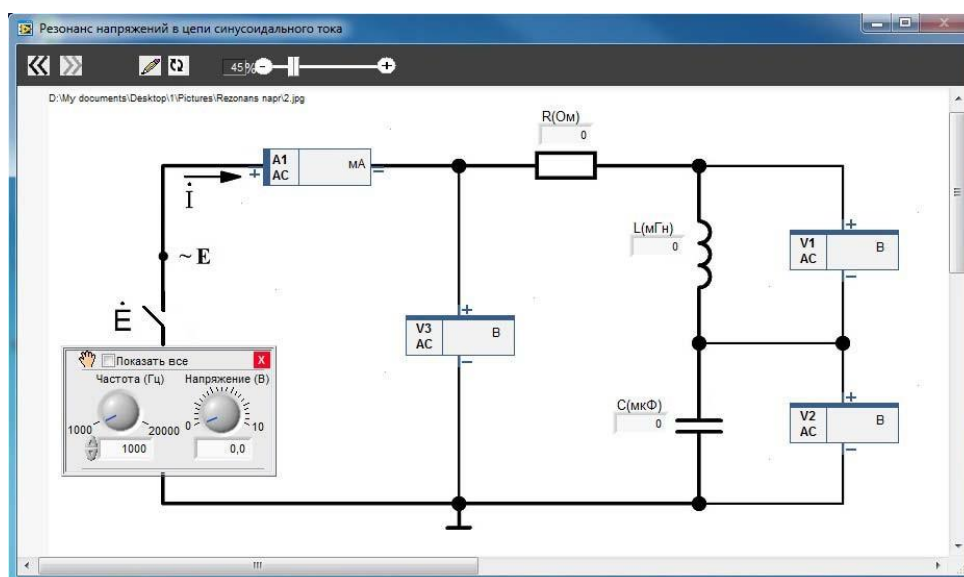


Рисунок 2.30 – Схема электрической цепи эксперимента

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

<i>N</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sim E_{pp}$ [В]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>R</i> [Ом]	100 ÷ 500						100 ÷ 200	100	100	
<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 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).

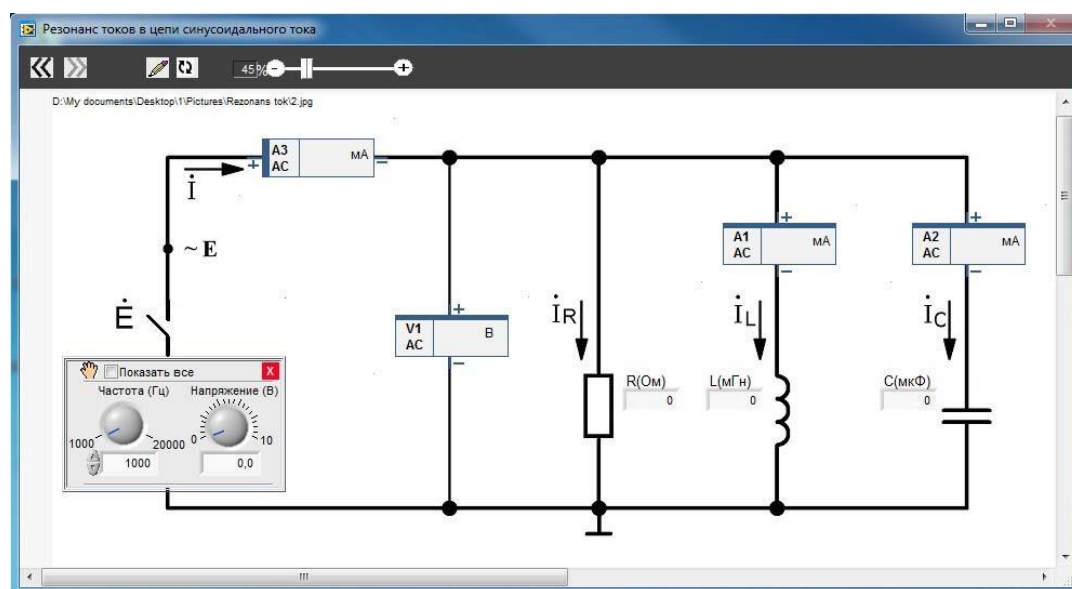


Рисунок 2.31 – Схема электрической цепи эксперимента

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, показания 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 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).

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: $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$, $\cos$, $Z_{\text{эксп}} = \frac{U}{I}$, $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$, $Z_{\text{уст}} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$,

$\sigma = \frac{Z_{\text{уст}} - Z_{\text{эксп}}}{Z_{\text{уст}}} \cdot 100\%$, $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$. 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: $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$, $\cos$, $Z_{\text{эксп}} = \frac{U}{I}$, $X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$, $Z_{\text{уст}} = \sqrt{R^2 + X_C^2}$,

$\sigma = \frac{Z_{\text{уст}} - Z_{\text{эксп}}}{Z_{\text{уст}}} \cdot 100\%$, $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$. 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: $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$, $\cos$, $Z_{\text{эксп}} = \frac{U}{I}$, $X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$, $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$,

$Z_{\text{уст}} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$, $\sigma = \frac{Z_{\text{уст}} - Z_{\text{эксп}}}{Z_{\text{уст}}} \cdot 100\%$, $Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R}$, 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	X _C	X _L	Z	Погрешность Z	cosφ	f	I	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: $\varphi = \varphi_{A1} - \varphi_{A2}$, $\cos$, $Z = \frac{U}{I_{\text{эксп}}}$, $X = \frac{U}{I_{\text{уст}}}$, $X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$, $Z_{\text{уст}} = \frac{1}{Y} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L} - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}\right)^2}}$, $\sigma = \frac{Z_{\text{уст}} - Z_{\text{эксп}}}{Z_{\text{уст}}} \cdot 100\%$, $Q = R \cdot \sqrt{C/L}$, 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	X _C	X _L	Z	Погрешность Z	cosφ	f	I	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

Трехфазные цепи. Исследование цепи трехфазного тока при различных схемах соединения нагрузки

Цель работы:

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

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 трехфазной. Графики мгновенных значений *трехфазной 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.

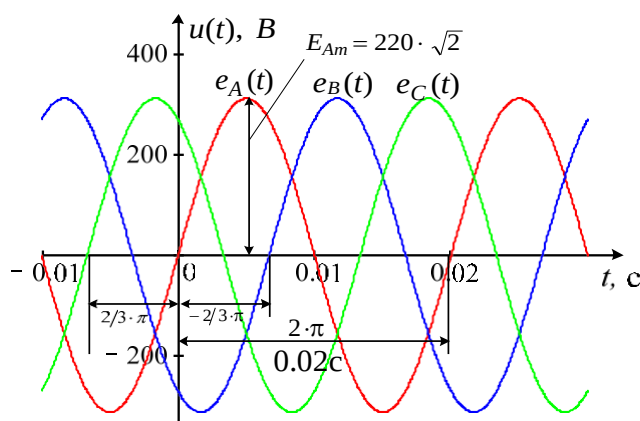


Рисунок 3.1 – Графики мгновенных значений трехфазной симметричной системы ЭДС

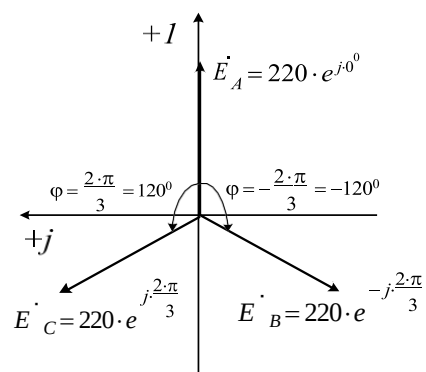


Рисунок 3.2 – Векторная диаграмма трехфазной симметричной системы ЭДС

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 .

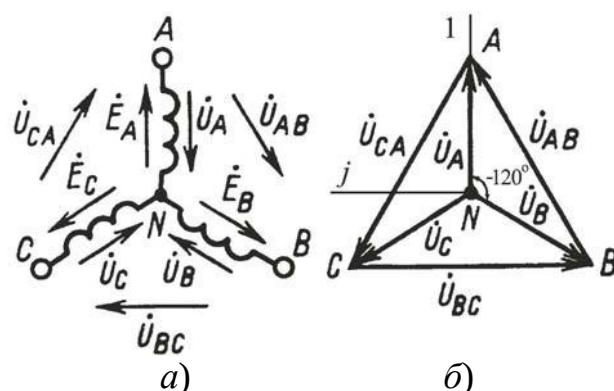


Рисунок 3.3 – Схема соединения трехфазных обмоток генератора звездой (а) и соответствующая векторная диаграмма напряжений (б)

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)

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

Между линейными и фазными напряжениями для симметричного источника существует зависимость:

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

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.

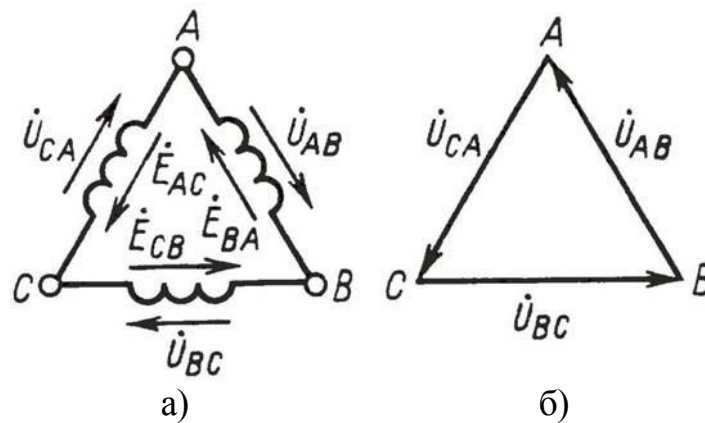


Рисунок 3.4 – Схема соединения трехфазных обмоток генератора треугольником (а) и соответствующая векторная диаграмма напряжений (б)

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 случае соединения обмоток генератора звездой: звезда – звезда с нулевым проводом, звезда – звезда без нулевого провода, звезда – треугольник.

В случае *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

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

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

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

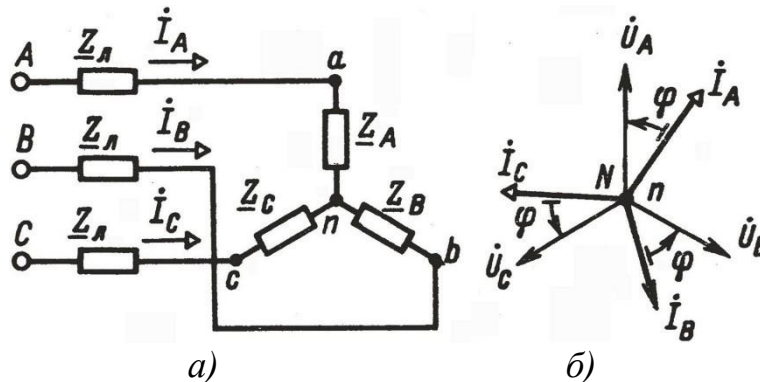


Рисунок 3.5 – Схема (а) и векторная диаграмма (б) трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой

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

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

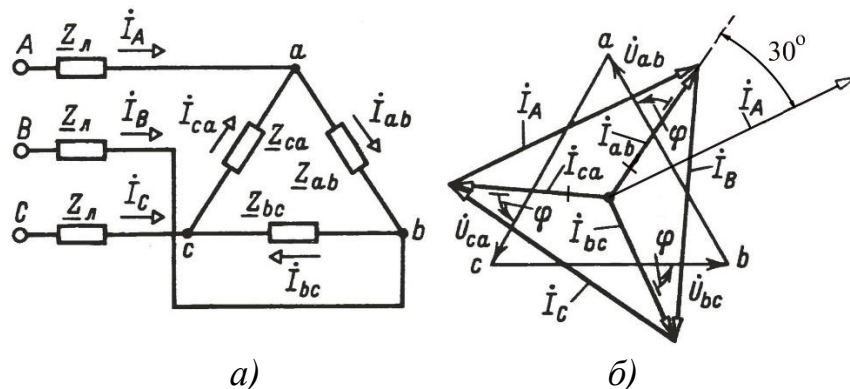


Рисунок 3.6 – Схема (а) и векторная диаграмма (б) трехфазной цепи при соединении нагрузки треугольником

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),

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

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

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

Фазные токи определяются через линейные:

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

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

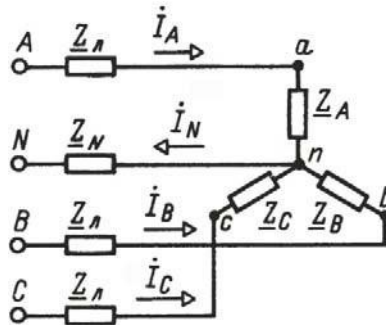


Рисунок 3.7 – Схема трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой с нейтральным проводом

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:

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

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

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

Если $\underline{Z}_L \neq 0$, 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:

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

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

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:

$$P = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \phi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \phi, \quad (3.21)$$

$$Q = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin \phi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \phi, \quad (3.22)$$

$$S = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L, \quad (3.23)$$

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).

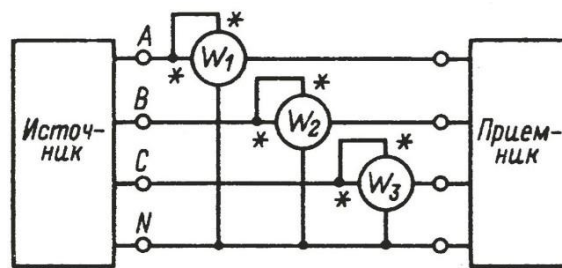


Рисунок 3.8 – Схема для измерения мощности трехфазной цепи с нейтральным проводом

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.

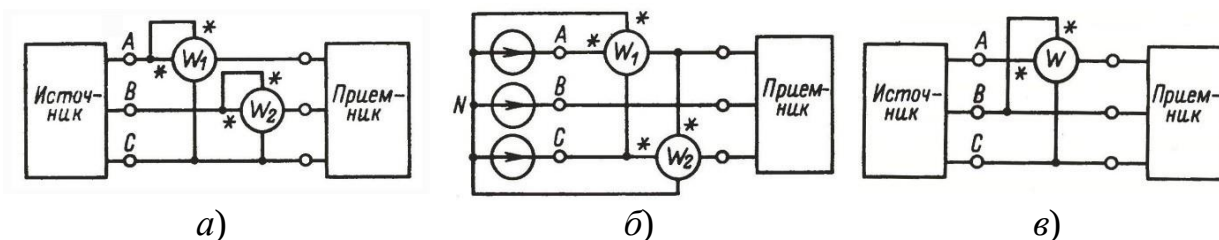


Рисунок 3.9 – Схемы для измерения трехфазной активной мощности в цепи без нейтрального провода (а) и реактивной мощности при несимметричной (б) и симметричной нагрузке (в)

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).

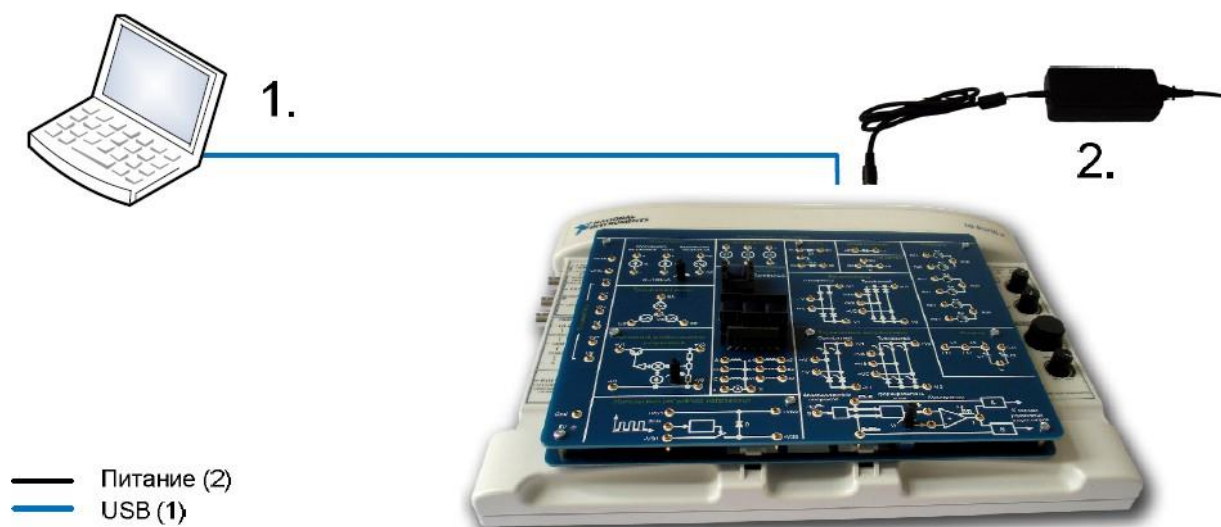


Рисунок 3.10 –Лабораторный стенд с макетной платой «Силовая электроника» подключаемый к ПЭВМ: 1 – персональный компьютер (ПЭВМ); 2 – Блок питания обеспечивающий электропитание NI ELVIS II и макетной платы

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).

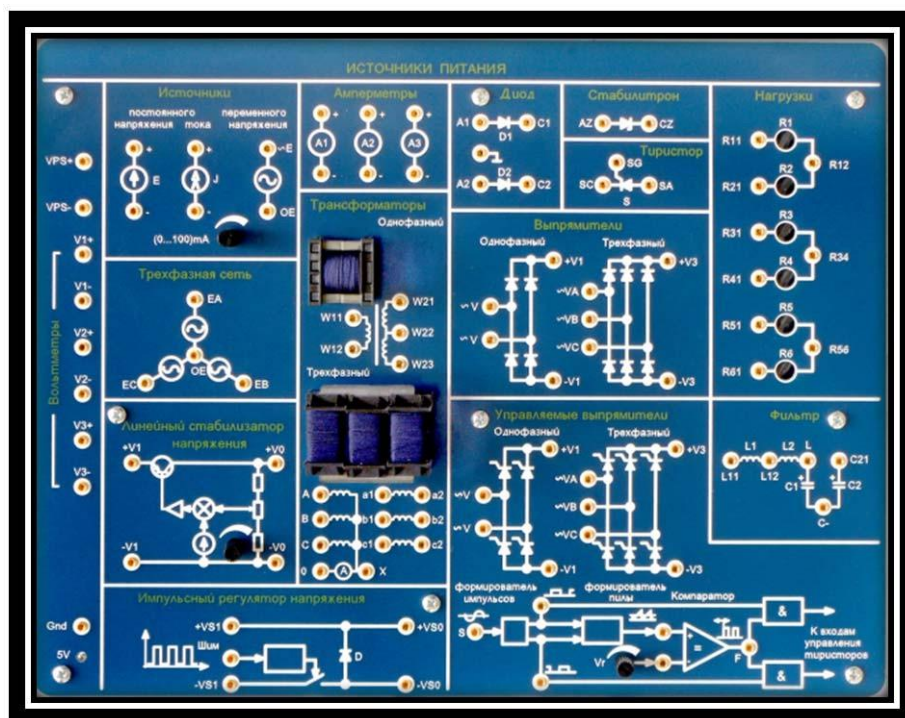


Рисунок 3.11 – Макетная плата «Силовая электроника»

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

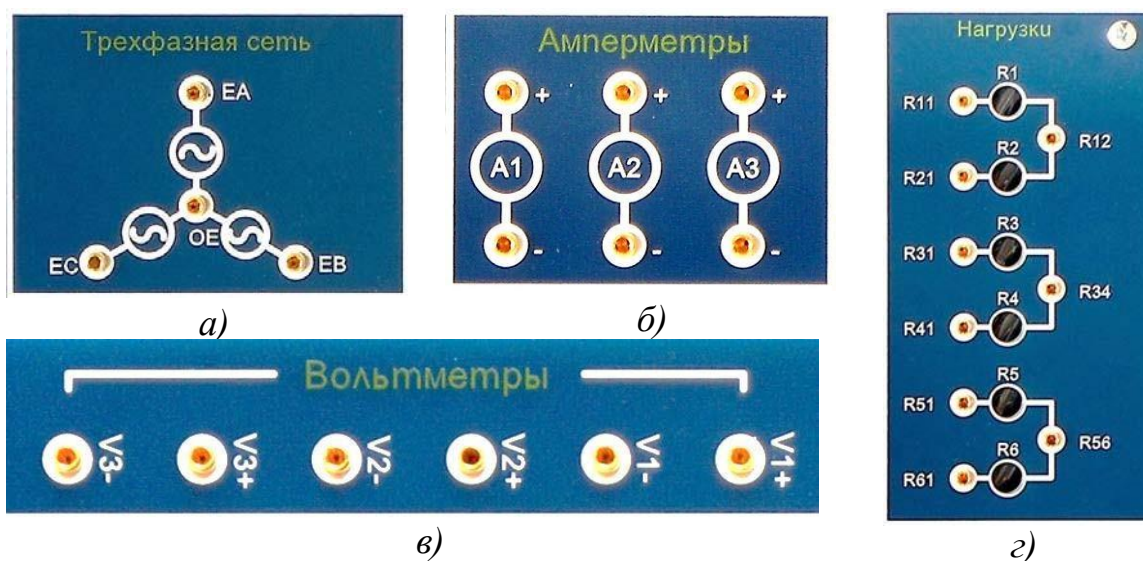


Рисунок 3.12 – Зоны на макетной плате: а) зона трехфазной сети; б) зона амперметров; в) зона вольтметров; г) зона нагрузочных резисторов

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 '?', '/', '\', '|', '*', '&', '<', '>', '+', '=', ':', ' '.

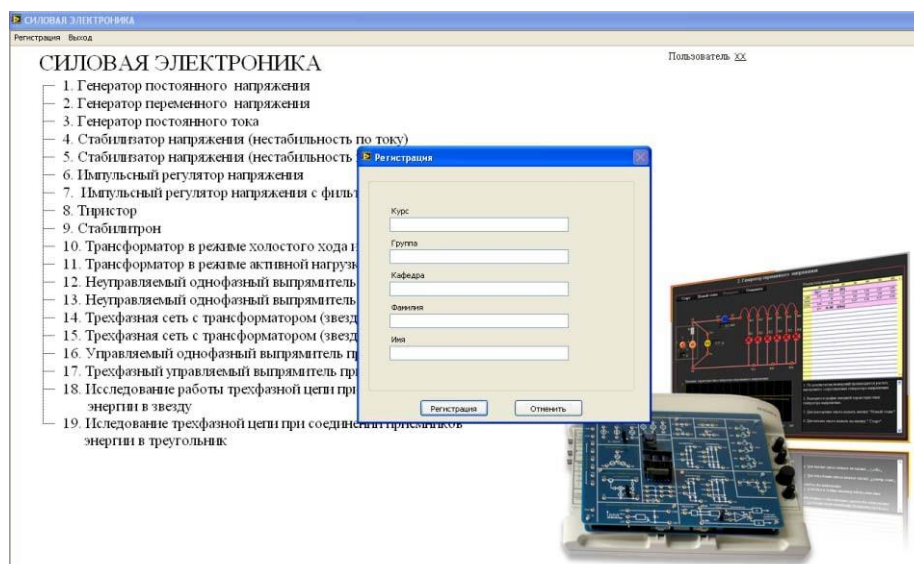


Рисунок 3.14 – Окно регистрации

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.

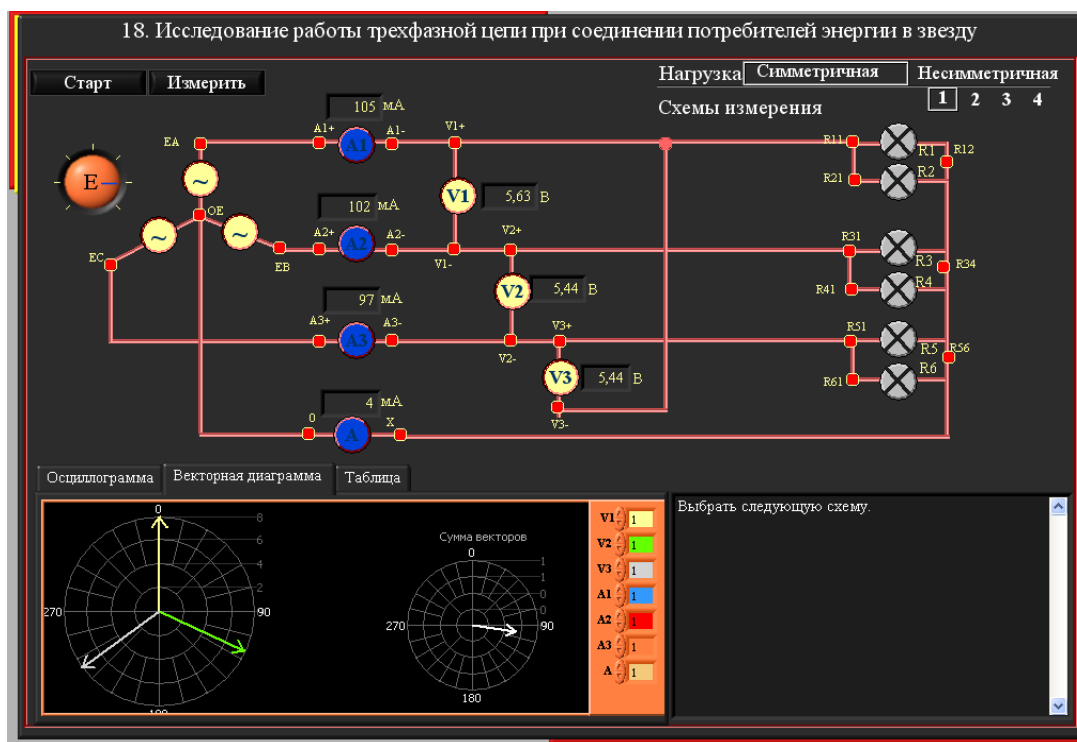


Рисунок 3.15 – Окно эксперимента измерения №1 симметричного режима

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 А) 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

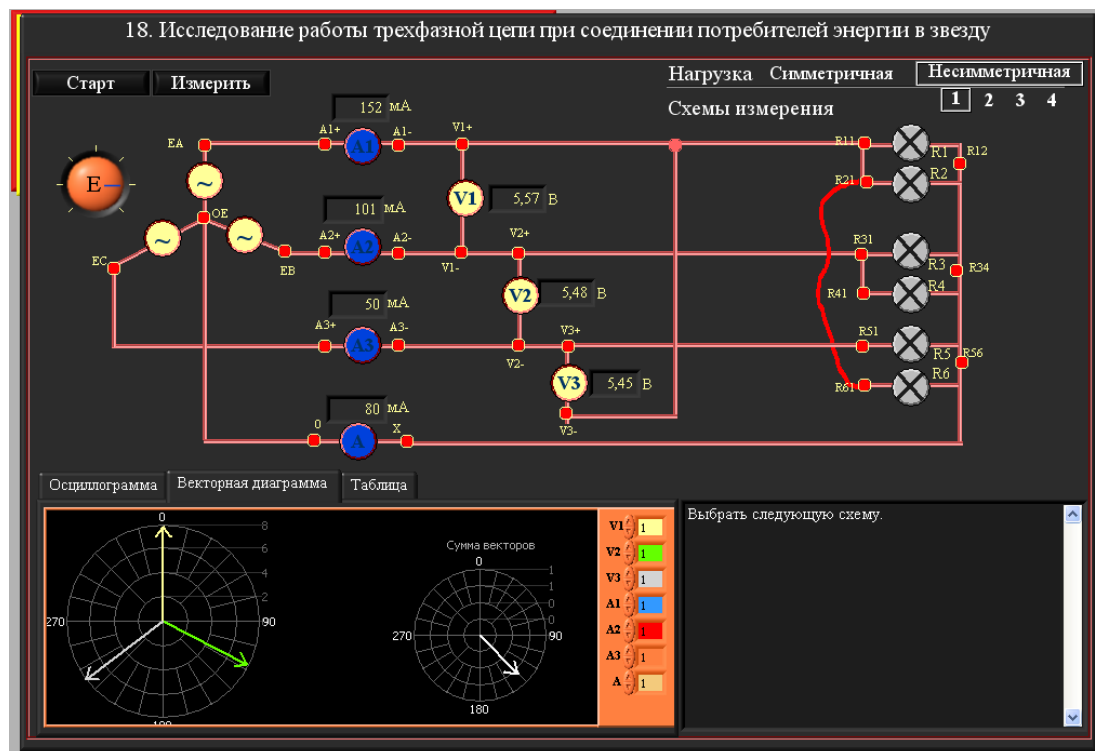


Рисунок 3.16 – Окно эксперимента схемы измерения №1 несимметричного режима

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.

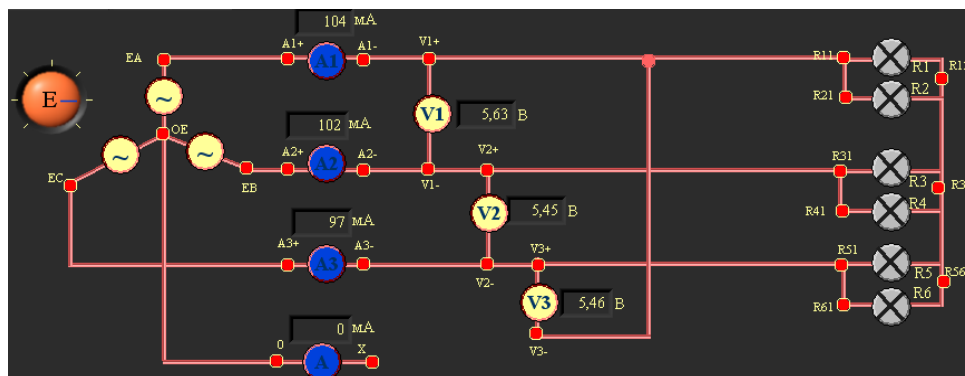


Рисунок 3.17

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.

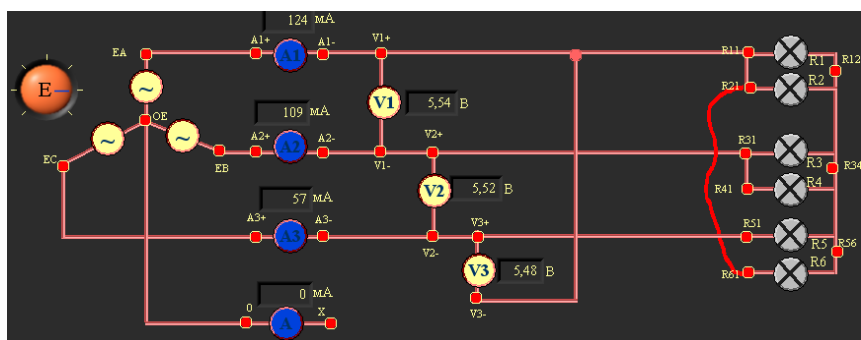


Рисунок 3.18

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.

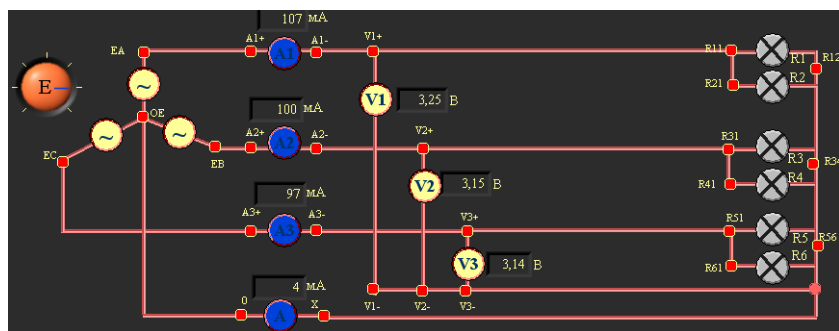


Рисунок 3.19

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.

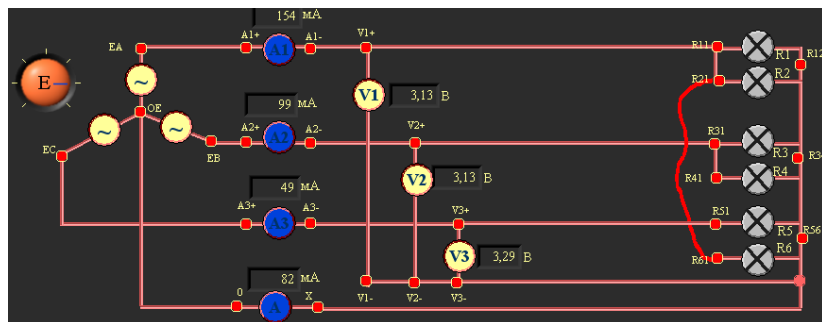


Рисунок 3.20

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.

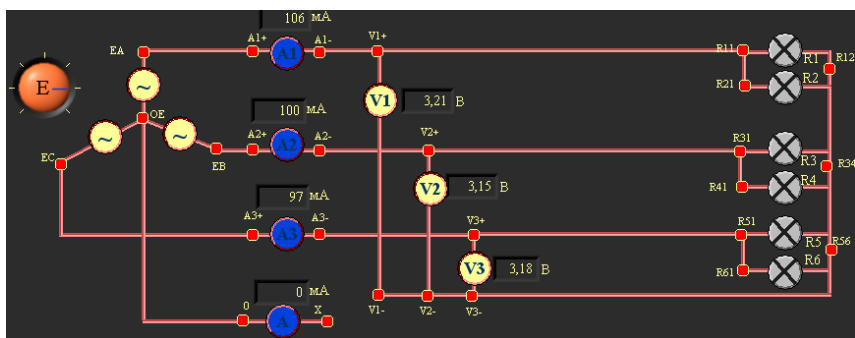


Рисунок 3.21

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.

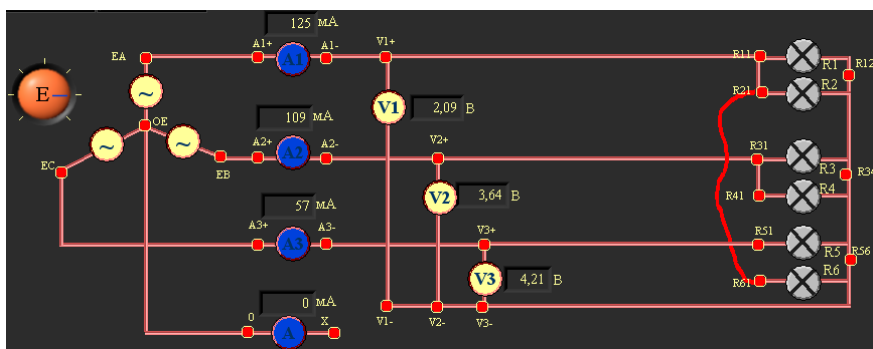


Рисунок 3.22

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 окна данного эксперимента.

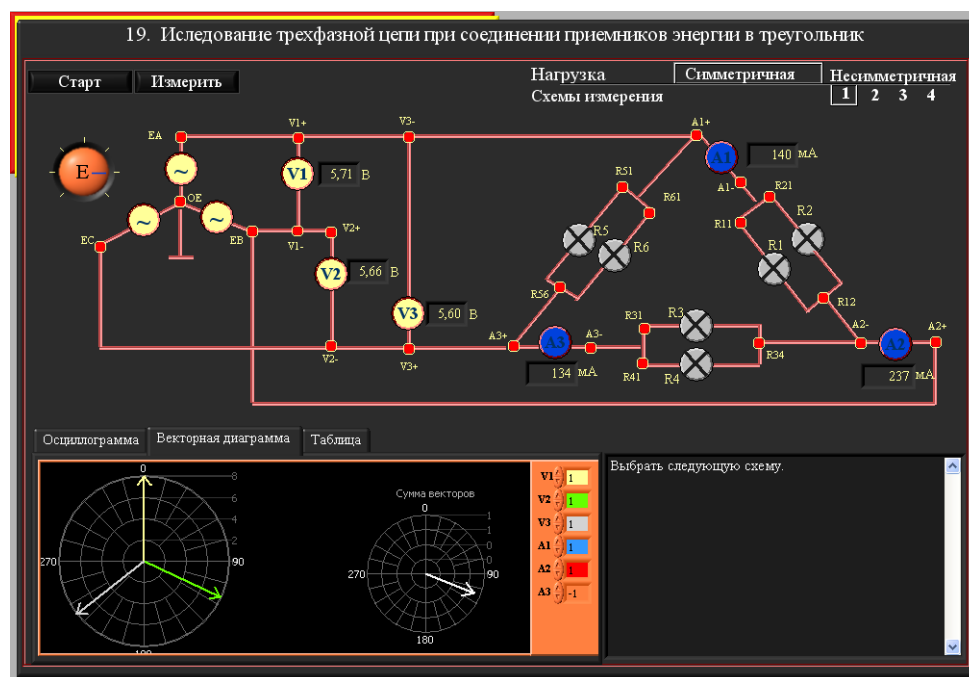


Рисунок 3.23 – Окно эксперимента измерения №1 симметричного режима

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.

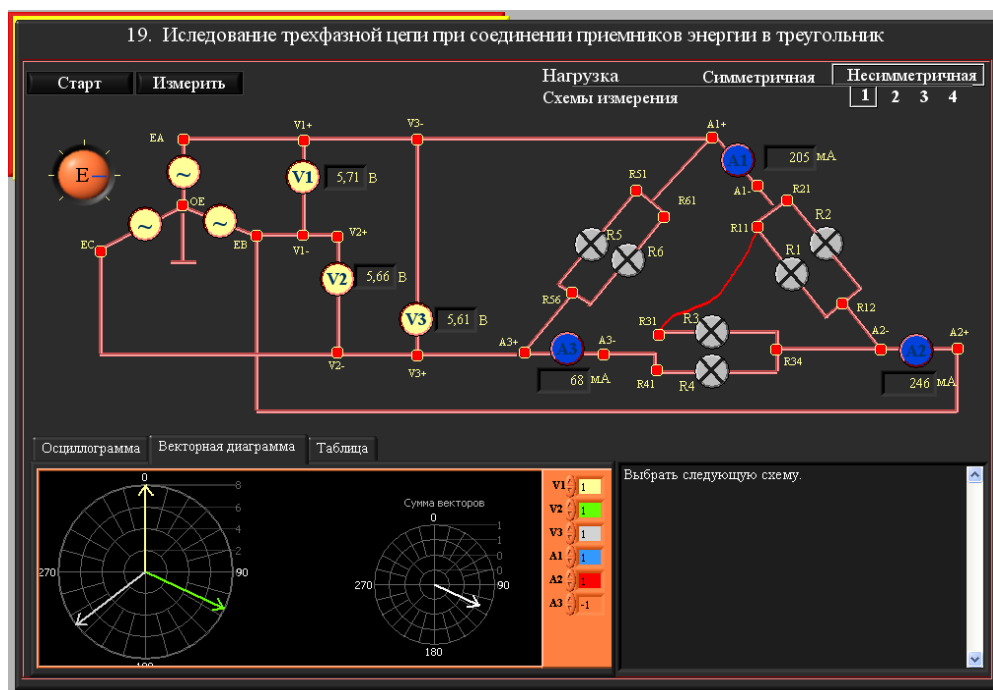


Рисунок 3.24 – Окно эксперимента схемы измерения №1 несимметричного режима

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.

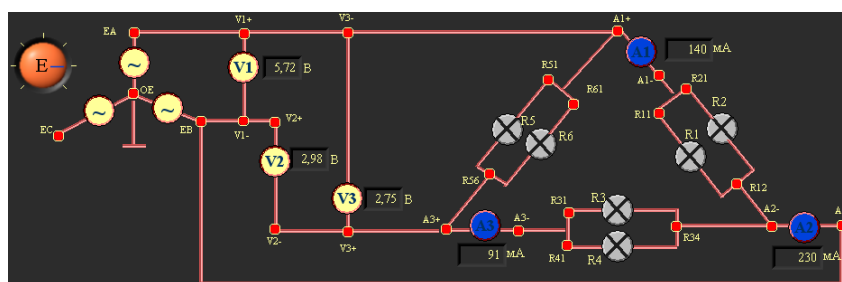


Рисунок 3.25

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.

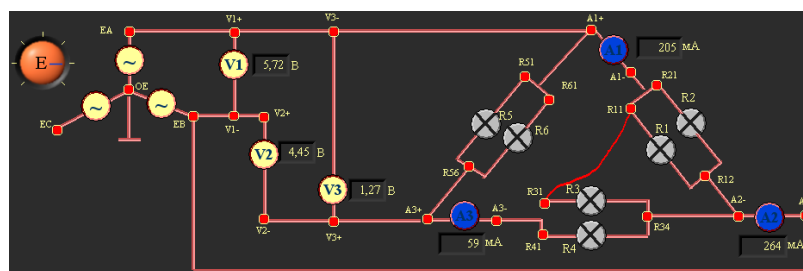


Рисунок 3.26

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.

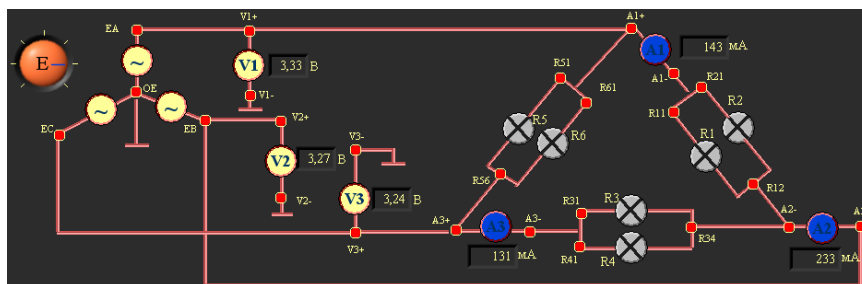


Рисунок 3.27

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.

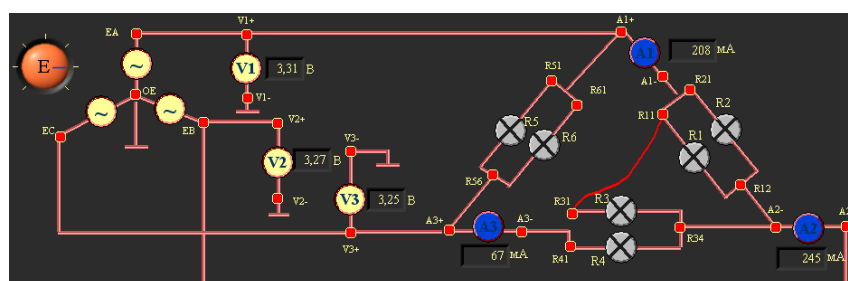


Рисунок 3.28

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.

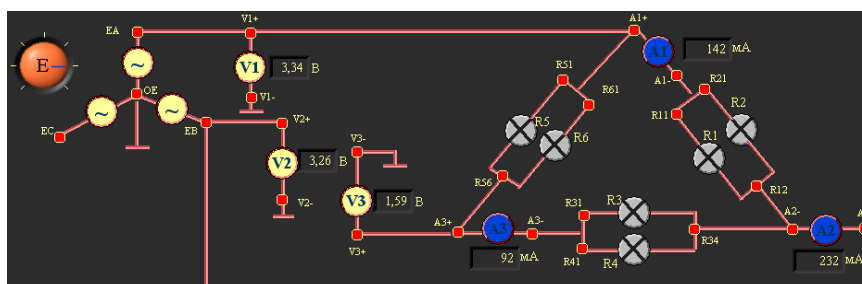


Рисунок 3.29

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.

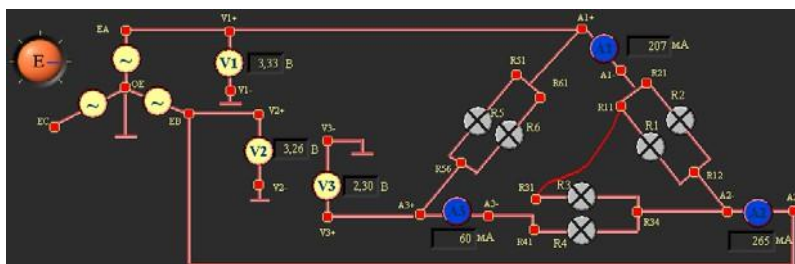


Рисунок 3.30

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 измерения 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.

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 .

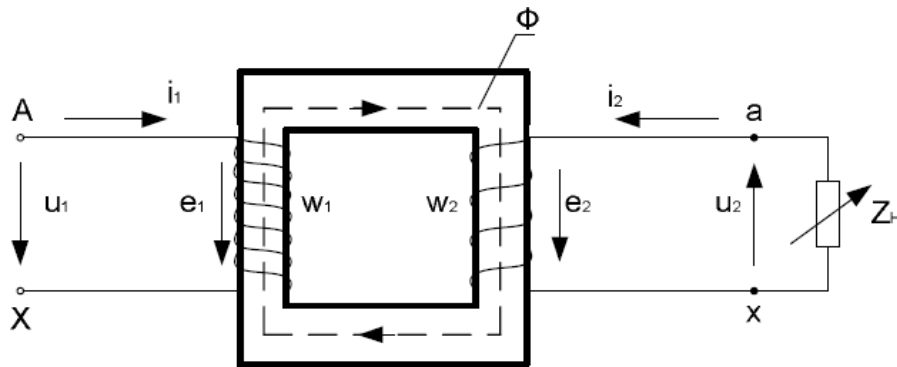


Рисунок 4.1 – Схема двухобмоточного трансформатора

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

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

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

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)**.

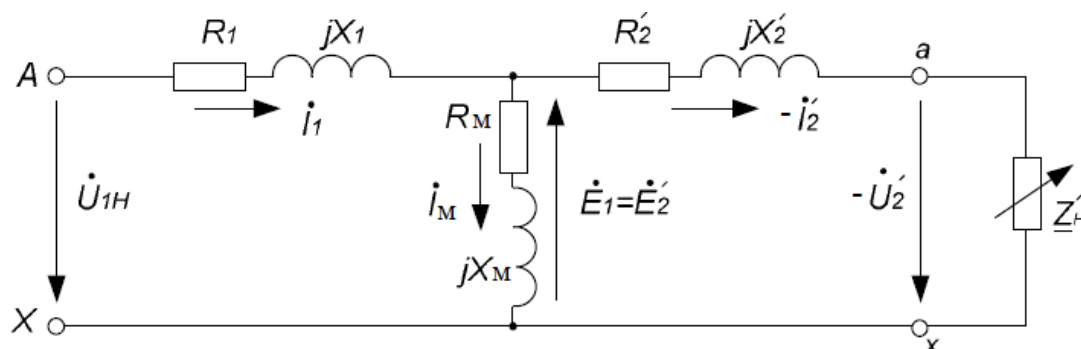


Рисунок 4.2 – Схема замещения двухобмоточного трансформатора с учетом магнитных потерь

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).

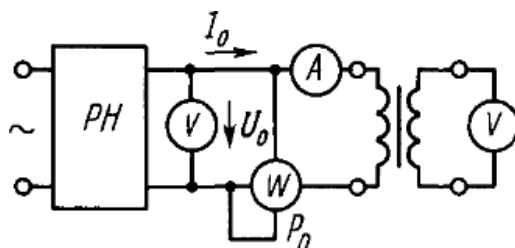


Рисунок 4.3 – Схема исследования трансформатора в режиме холостого хода

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.

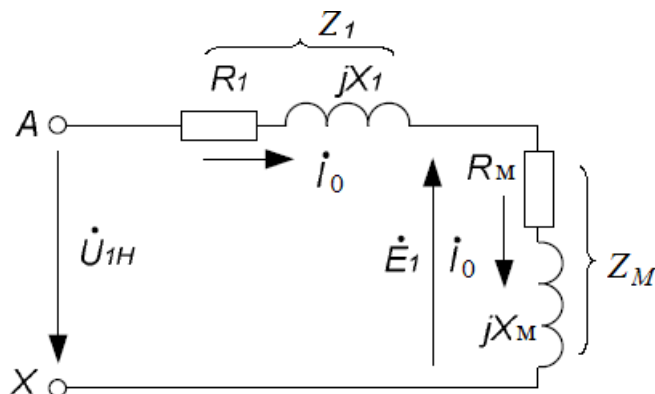


Рисунок 4.4 – Схема замещения трансформатора в режиме холостого хода

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).

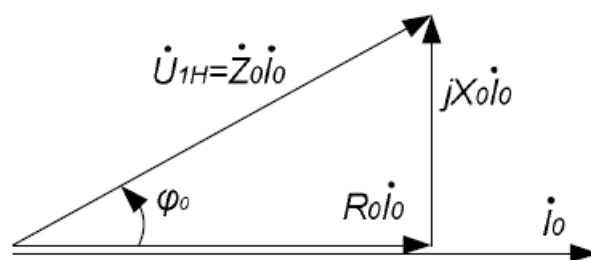


Рисунок 4.5 – Векторная диаграмма трансформатора в режиме холостого хода

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.

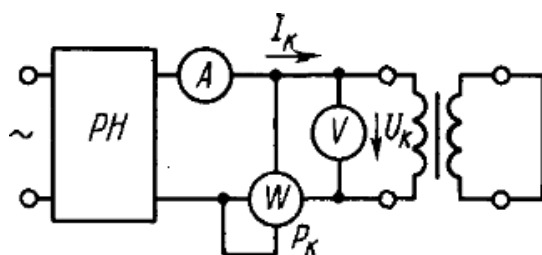


Рисунок 4.6 – Схема исследования трансформатора в режиме короткого замыкания

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.

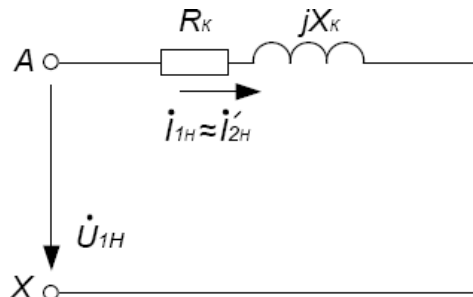


Рисунок 4.7 – Схема замещения трансформатора в режиме короткого замыкания

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.

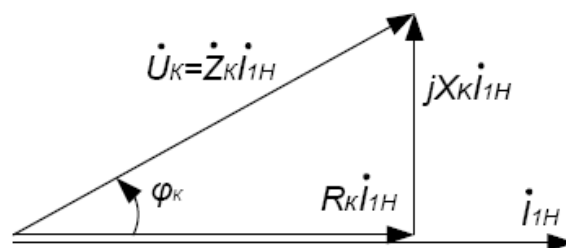


Рисунок 4.8 – Векторная диаграмма трансформатора в режиме короткого замыкания

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:

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2' - Z_{22} \dot{I}_2 = \dot{E}_2' - (R_2 + jX_2) \dot{I}_2 \approx \dot{U}_{20} - Z_2 \dot{I}_2 \quad (4.21)$$

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.

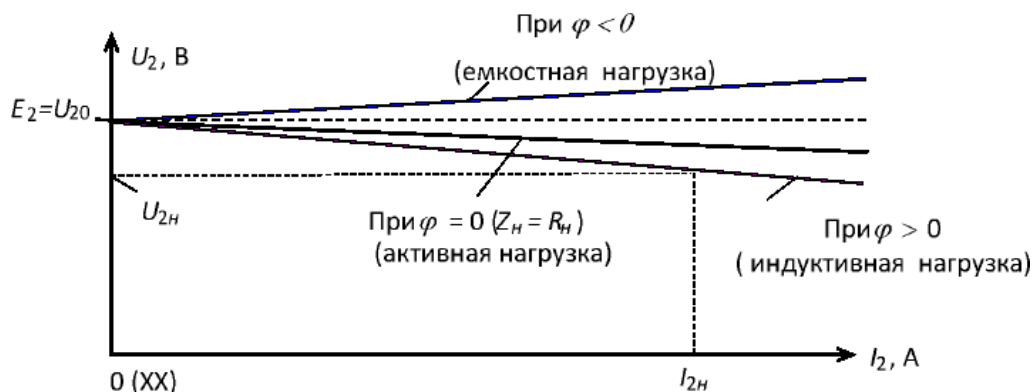


Рисунок 4.9 – Внешние характеристики трансформатора

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.

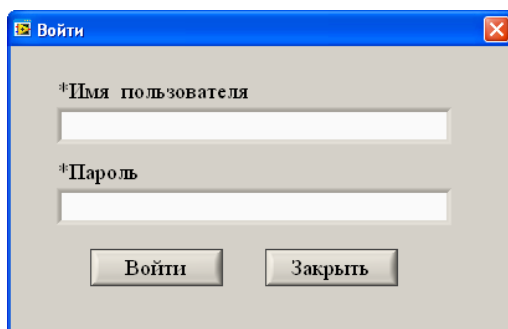


Рисунок 4.10

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

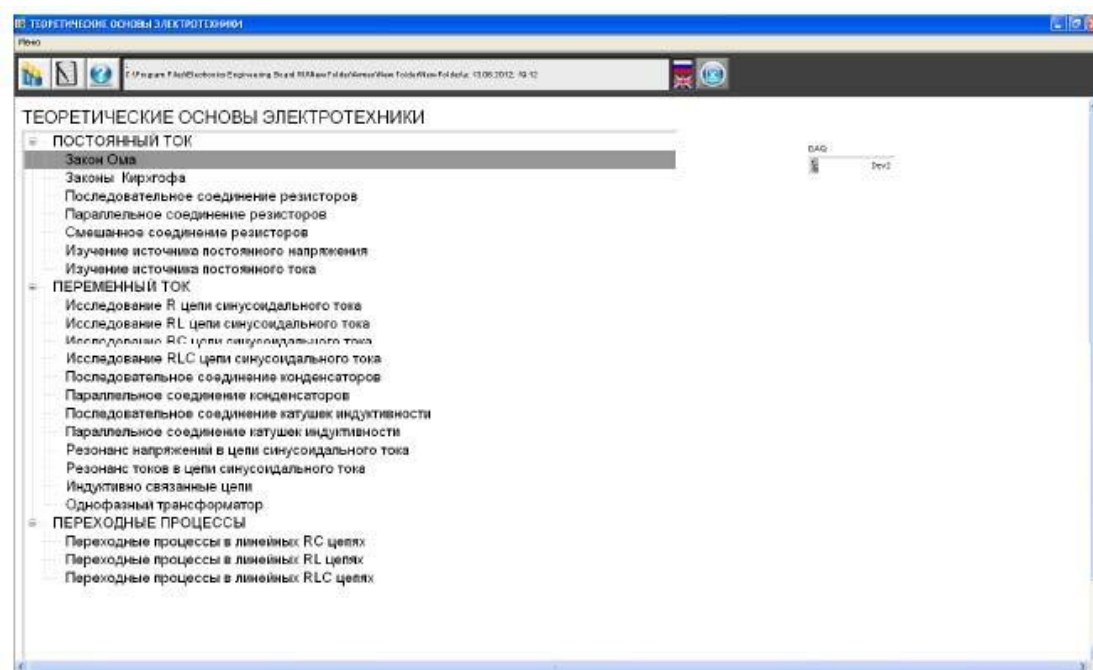


Рисунок 4.11 – Окно главного меню

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).

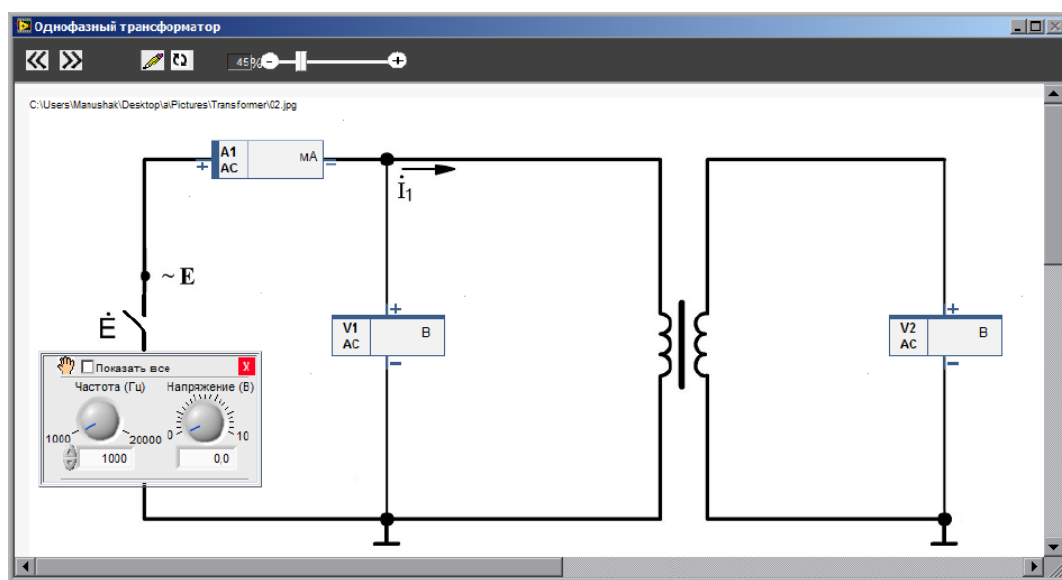


Рисунок 4.12 – Схема электрической цепи опыта холостого хода

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 **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 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.

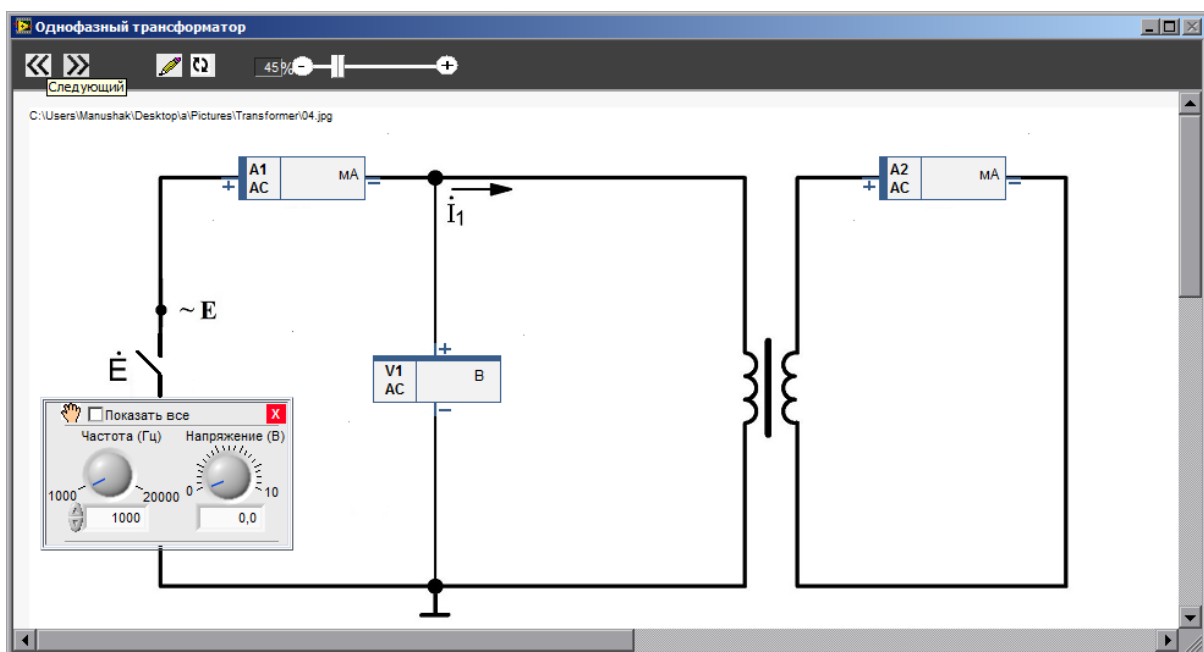


Рисунок 4.13 – Опыт короткого замыкания

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.

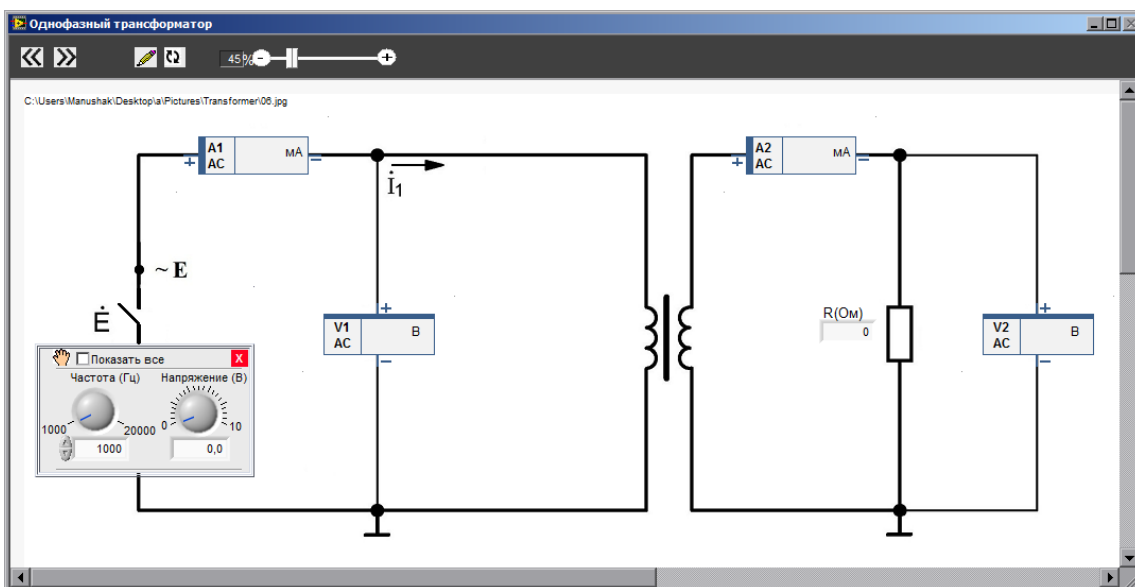


Рисунок 4.14 – Работа трансформатора на активную нагрузку

12. Установите номинальное 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.

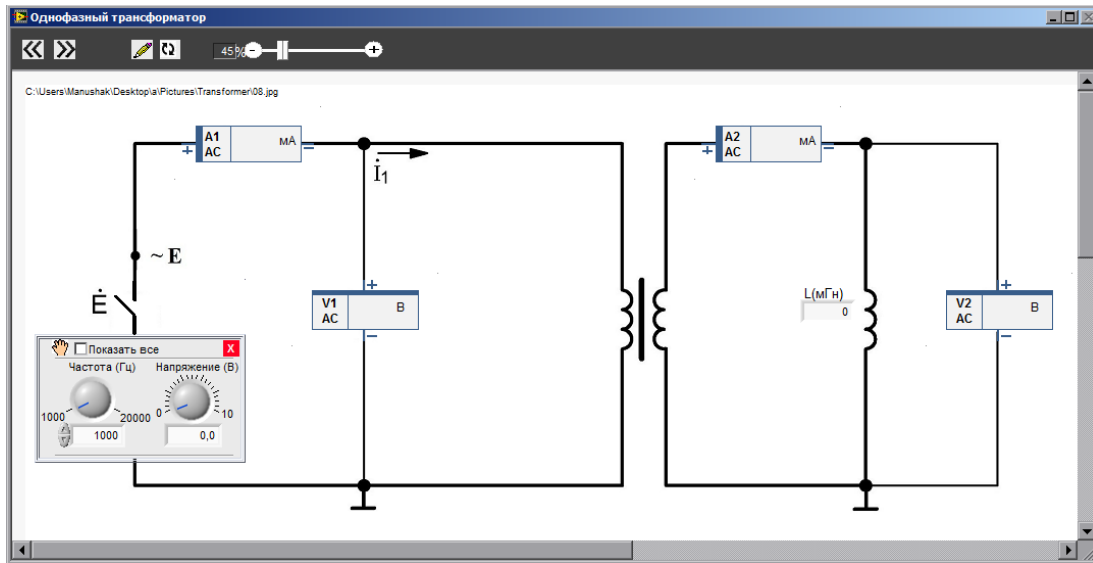


Рисунок 4.15 – Работа трансформатора на индуктивную нагрузку

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.

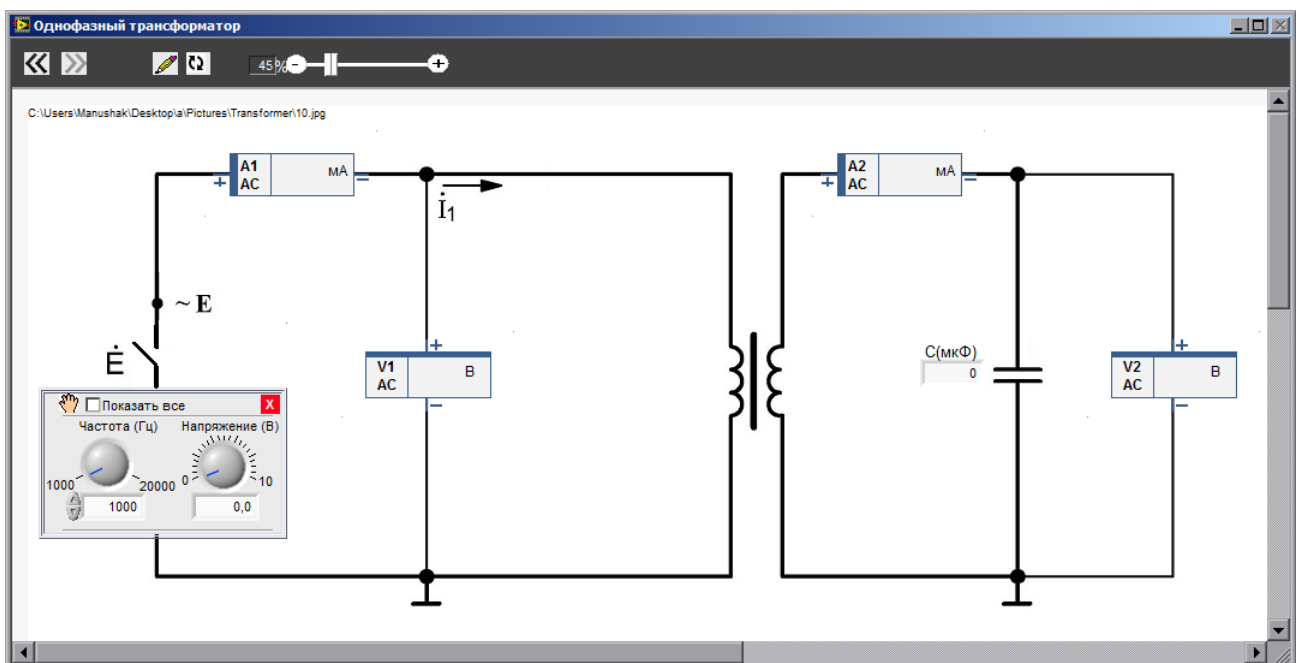


Рисунок 4.16 – Работа трансформатора на емкостную нагрузку

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: $R = \frac{P_0}{I_0^2}$, $X = \frac{Q_0}{I_0^2}$. 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.

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

**Методические указания к выполнению практических занятий по
дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений
(электроснабжение с основами электротехники)»**

Направление подготовки 08.03.01 Строительство
Квалификация выпускника бакалавр
Изучается в 5 семестре

Ставрополь
2025

Практическое занятие 1

Тема: Эквивалентные преобразования в электрических цепях

Цель: Научиться рассчитывать эквивалентное сопротивление при различных схемах соединения резисторов: последовательном, параллельном, треугольником и звездой.

Актуальность темы практического занятия заключается в необходимости проводить эквивалентные преобразования при расчетах электрических цепей.

Теоретическая часть

Эквивалентные преобразования в электрических цепях используют для упрощения схемы и проводимых расчетов. В разветвленных электрических цепях можно выделить *последовательное*, *параллельное* соединение сопротивлений, а также соединение *звездой* и *треугольником*.

При *последовательном* соединении сопротивлений рисунок 1.1

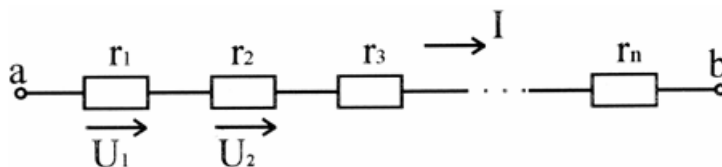


Рисунок 1.1 – Последовательное соединение сопротивлений

Сопротивление на участке цепи между точками a и b

$$r_{ab} = \sum_{i=1}^n r_i = r_1 + r_2 + \dots + r_n. \quad (1.1)$$

Напряжение на участке ab

$$U_{ab} = \sum_{i=1}^n U_i = U_1 + U_2 + \dots + U_n.$$

Ток I одинаков во всех элементах цепи.

Параллельное соединение сопротивлений показано на рисунке 1.2.

Проводимость $g_{ab} = \frac{1}{r_{ab}}$ на участке цепи между точками a и b

$$g_{ab} = \sum_{i=1}^n g_i = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}. \quad (1.2)$$

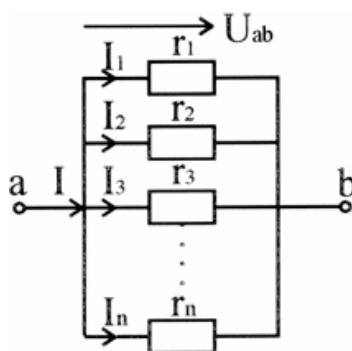


Рисунок 1.2 – Параллельное соединение сопротивлений

Напряжение U_{ab} одинаково во всех элементах цепи.

Ток I в неразветвленной части электрической цепи равен сумме токов ветвей

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Пример. При параллельном соединении двух сопротивлений r_1 и r_2 между точками а и б, общее сопротивление

$$R_{ab} = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \quad (1.3).$$

Ток I_1 через сопротивление r_1 при известном токе в неразветвленной части электрической цепи I

$$I_1 = I \frac{r_2}{r_1 + r_2}.$$

Ток I_2 через сопротивление r_2 при известном токе в неразветвленной части электрической цепи I

$$I_2 = I \frac{r_1}{r_1 + r_2}.$$

Не всегда можно упростить разветвленную электрическую цепь до требуемого уровня, используя преобразования для последовательного и параллельного соединения сопротивлений.

В таком случае необходимо использовать взаимные преобразования соединения сопротивлений *звезда* в соединение сопротивлений *треугольник* (рисунок 1.3).

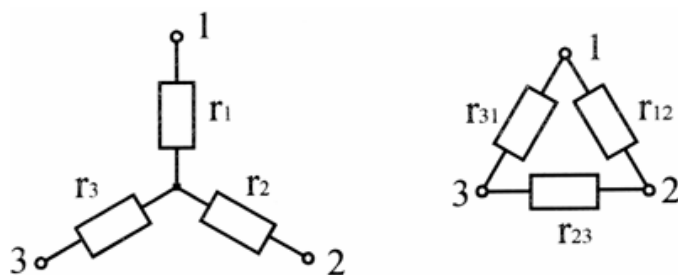


Рисунок 1.3 – Соединение сопротивлений r_1 , r_2 и r_3 звездой; соединение сопротивлений r_{12} , r_{23} и r_{31} треугольником

При взаимном преобразовании *треугольника* сопротивлений в *звезду* имеем:

$$r_1 = \frac{r_{12} \cdot r_{31}}{r_{12} + r_{23} + r_{31}}, \quad r_2 = \frac{r_{12} \cdot r_{23}}{r_{12} + r_{23} + r_{31}}, \quad r_3 = \frac{r_{23} \cdot r_{31}}{r_{12} + r_{23} + r_{31}}. \quad (1.4)$$

При взаимном преобразовании *звезды* сопротивлений в *треугольник* имеем:

$$r_{12} = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_3} + r_1 + r_2, \quad r_{23} = \frac{r_2 \cdot r_3}{r_1} + r_2 + r_3, \quad r_{31} = \frac{r_3 \cdot r_1}{r_2} + r_1 + r_3. \quad (1.5)$$

Примечание. При вычислении входного (эквивалентного) сопротивления необходимо помнить, что источники энергии заменяются внутренними сопротивлениями. Внутреннее сопротивление идеального источника ЭДС равно нулю. Внутреннее сопротивление идеального источника тока равно бесконечности.

Задания

1. Для цепи, изображенной на рисунке 1.4, найти эквивалентные сопротивления между зажимами a и b , c и d , d и f . Значения сопротивлений представлены на схеме в Омах. ($r_{ab} = 12$ Ом, $r_{cd} = 4$ Ом, $r_{df} = 4$ Ом)

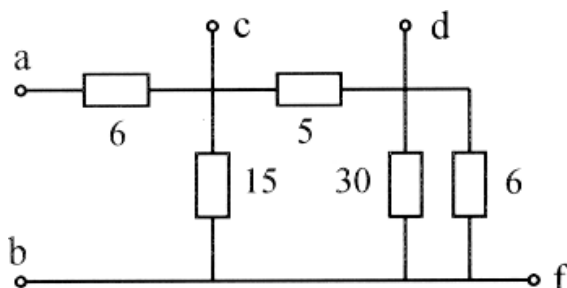


Рисунок 1.4

2. Для цепи, изображенной на рисунке 1.5, определить эквивалентное сопротивление цепи между точками a и b при разомкнутом и замкнутом ключе k . Если $r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = r_5 = r_6 = r_7 = 10 \text{ Ом}$. ($r_{ab} = 12 \text{ Ом}$, $r_{ab} = 8,33 \text{ Ом}$)

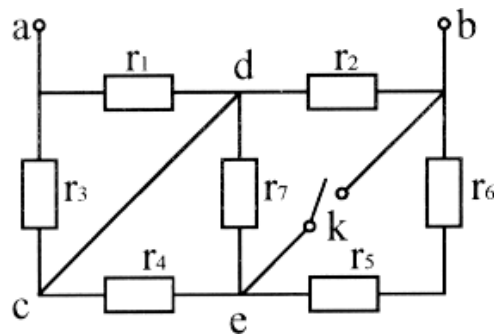


Рисунок 1.5

3. Для цепи, изображенной на рисунке 1.6, $J = 12 \text{ А}$, $E_1 = 30 \text{ В}$, $E_2 = 40 \text{ В}$, значения сопротивлений в Омах указаны на схеме. Найти входное сопротивление относительно выводов источника тока, применив преобразования: 1) треугольника сопротивлений в звезду; 2) звезды сопротивлений в треугольник. ($3,25 \text{ Ом}$)

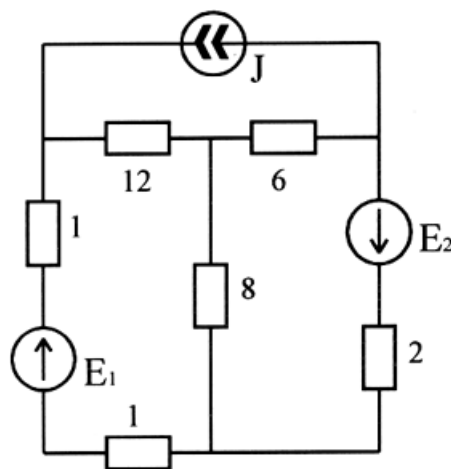


Рисунок 1.6

Контрольные вопросы

1. Как определяется общее сопротивление при последовательном соединении сопротивлений? при параллельном соединении?
2. Как определяется напряжение на участке электрической цепи с последовательными сопротивлениями, падения напряжения на которых известны?
5. Как определить токи в двух параллельных ветвях по известному току в неразветвленной части электрической цепи?
3. При каком соединении сопротивлений ток через все сопротивления равен?

4. При каком соединении сопротивлений напряжение на них одинаково?
6. В каком случае необходимо использовать взаимные преобразования соединения сопротивлений звезда в треугольник?
7. Формулы преобразования звезды в треугольник, треугольника в звезду.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная 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. (Высшее образование). – ISBN 978-5-222-17568-2.

Дополнительная литература

3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник. – 10-е изд. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с.
4. Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники: учеб. пособие для студентов / под ред. П. А. Ионкина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 768 с.

Практическое занятие 2

Тема: Анализ режимов цепей постоянного тока с использованием законов Ома и Кирхгофа

Цель: Научиться рассчитывать токи в ветвях с помощью законов Ома и Кирхгофа.

Актуальность темы практического занятия заключается в необходимости использовать законы Ома и Кирхгофа для расчета электрических цепей.

Теоретическая часть

Закон Ома для участка цепи между зажимами а и b (рисунок 2.1) позволяет найти ток I участка по разности потенциалов $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$ и сопротивлению R этого участка:

$$I = \frac{U_{ab}}{R} = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R}. \quad (2.1)$$

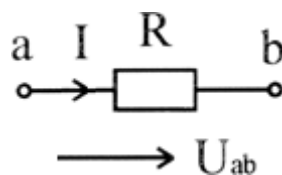


Рисунок 2.1 – Участок цепи

Закон Ома для участка цепи между зажимами b и a (рисунок 2.2) позволяет найти ток I участка по разности потенциалов $U_{ba} = \varphi_b - \varphi_a$ и сопротивлению R этого участка:

$$I = \frac{U_{ba}}{R} = \frac{\varphi_b - \varphi_a}{R}. \quad (2.2)$$

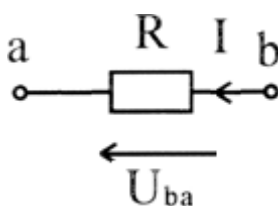


Рисунок 2.2

Закон Ома для участка цепи содержащего ЭДС между зажимами a и b (рисунок 2.3 и рисунок 2.4).

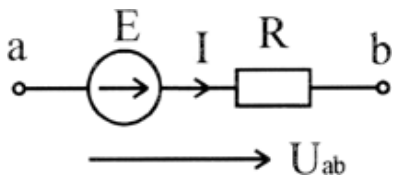


Рисунок 2.3 – Участок цепи, содержащий ЭДС

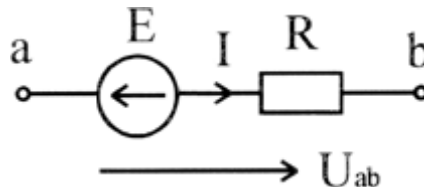


Рисунок 2.4 – Участок цепи содержащий ЭДС

Для схем на рисунках 2.3 и 2.4 закон Ома позволяет найти ток I участка по разности потенциалов $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$, а также находящимся на этом участке ЭДС E и сопротивлению R .

Закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС (рисунке 2.3)

$$I = \frac{U_{ab} + E}{R} \quad (2.3)$$

В случае если на участке цепи между зажимами a и b направление ЭДС будет противоположно току I (рисунок 2.4).

$$I = \frac{U_{ab} - E}{R} \quad (2.4)$$

Расчет режимов электрических цепей проводят используя первый и второй законы Кирхгофа.

Первый закон формулируется для узлов электрической цепи. Узлом называется место соединения трех и более ветвей электрической цепи. Ветвью электрической цепи называется участок электрической цепи между узлами, состоящий из одного или нескольких элементов по которым протекает один и тот же ток.

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

$$\sum I_i = 0. \quad (2.5)$$

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:

$$\sum_{i=1}^n U_i = \sum_{i=1}^n E_i \quad \text{или} \quad \sum_{i=1}^n I_i \cdot r_i = \sum_{i=1}^n E_i. \quad (2.6)$$

Алгоритм решения задач с использованием законов Кирхгофа.

1. Определить количество узлов y и ветвей b электрической цепи.
2. Выбрать произвольно положительные направления искомых токов ветвей и обозначить их на схеме.
3. Определить количество уравнений по первому закону Кирхгофа, которое равно количеству узлов без единицы ($y - 1$). Записать для произвольно выбранных узлов требуемое количество уравнения по законам Кирхгофа. В алгебраической сумме следует учесть и токи источников тока.
4. Определить количество уравнений по второму закону Кирхгофа. Их число равно количеству ветвей без источников тока ($b - b_{\text{ит}}$) за вычетом уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа, т.е. $(b - b_{\text{ит}}) - (y - 1)$, где $b_{\text{ит}}$ – число ветвей с источниками тока. Записать уравнения по 2-му закону Кирхгофа для независимых контуров. Независимые контуры образуются замкнутыми последовательностями ветвей, не содержащих источников тока, так, чтобы в новом контуре была хоть одна ветвь, не входящая в предыдущие.

(Иногда в некоторых цепях необходимо составлять уравнения, в которые входят уже содержащиеся ветви.)

5. Объединить уравнения, составленные по первому и второму законам Кирхгофа, в систему уравнений.

6. Решить систему уравнений.

Пример использования алгоритма решения задач с использованием законов Кирхгофа для электрической цепи, представленной на рисунке 2.5.

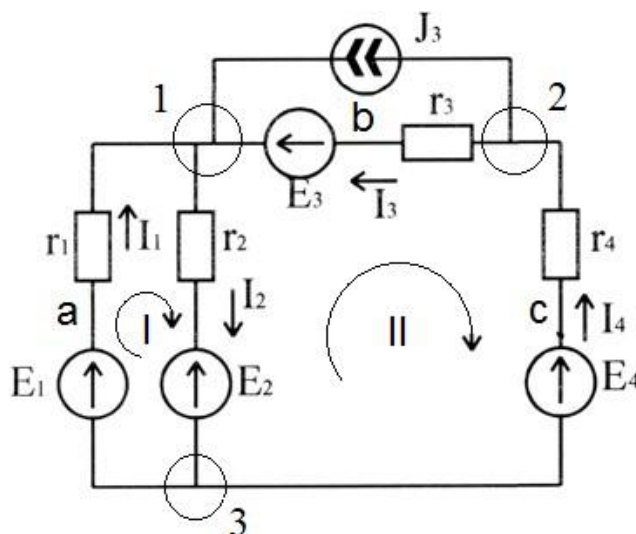


Рисунок 2.5 – Схема электрической цепи

При расчетах как правило необходимо определить токи в ветвях схемы. Все параметры элементов электрической цепи, и ее топология считаются известными.

Решение.

1. Определим количество узлов y и ветвей b электрической цепи. Так, в рассматриваемой цепи имеется три узла, обозначенных цифрами 1, 2 и 3 всего $y = 3$. Ветви находятся между узлами и в представленной цепи их пять $b = 5$.

2. Выберем произвольно положительные направления искомых токов I_1 , I_2 , I_3 , I_4 ветвей и обозначим их на схеме.

3. Определим количество уравнений по первому закону Кирхгофа, равное количеству узлов без единицы: $3 - 1 = 2$. Запишем для произвольно выбранных узлов требуемое количество уравнений по первому закону Кирхгофа. В алгебраической сумме следует учесть и токи источников тока.

$$1 \text{ узел: } I_1 - I_2 + I_3 + J_3 = 0$$

$$2 \text{ узел: } I_4 - I_3 - J_3 = 0$$

4. Определим количество уравнений по второму закону Кирхгофа, равное числу ветвей без источников тока $(5 - 1)$ минус два уравнения, составленные по первому закону Кирхгофа, т.е. $(5 - 1) - 2 = 2$. Запишем уравнения по 2-му закону Кирхгофа для независимых контуров. Независимые контуры образуются замкнутыми последовательностями ветвей не содержащих источников тока.

Уравнения по второму закону Кирхгофа для рассматриваемой электрической цепи.

$$\text{I контур: } I_1 \cdot r_1 + I_2 \cdot r_2 = E_1 - E_2,$$

$$\text{II контур: } -I_2 \cdot r_2 - I_3 \cdot r_3 - I_4 \cdot r_4 = E_2 - E_3 - E_4.$$

5. Объединить уравнения, составленные по первому и второму законам Кирхгофа в систему уравнений.

$$\begin{cases} I_1 - I_2 + I_3 + J_3 = 0 \\ I_4 - I_3 - J_3 = 0 \\ I_1 \cdot r_1 + I_2 \cdot r_2 = E_1 - E_2 \\ -I_2 \cdot r_2 - I_3 \cdot r_3 - I_4 \cdot r_4 = E_2 - E_3 - E_4 \end{cases} \quad (2.7)$$

6. Решить полученную систему уравнений можно, если в ней четыре неизвестные. Чаще всего в задачах требуется определить токи (т.е. для данной схемы I_1, I_2, I_3, I_4), тогда все остальные элементы должны быть известными. Возможны и другие варианты.

Таким образом, получена система уравнений 2.7 для заданной электрической цепи рисунок 2.5 по законам Кирхгофа.

После расчета токов, необходимо проверить баланс мощностей электрической цепи.

Баланс мощностей в электрической цепи.

Общая мощность источников электрической энергии для электрической цепи (рисунок 2.5) определяется следующим образом:

$$P_{\text{ист}} = E_1 \cdot I_1 - E_2 \cdot I_2 + E_3 \cdot I_3 + E_4 \cdot I_4 + U_{12} \cdot J_3. \quad (2.8)$$

Знак «минус» в выражении (2.8) у мощности источника ЭДС $P_{E_2} = -E_2 \cdot I_2$, ставится потому, что направление тока I_2 противоположно направлению ЭДС E_2 . Если направление источника ЭДС и тока через него не совпадает, то данный источник ЭДС потребляет электрическую энергию, а не производит ее. Мощность источника тока $P_{J_3} = U_{12} \cdot J_3 = (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot J_3$, т.к. у источника тока J_3 потенциал φ_1 больше, чем φ_2 . Как определять потенциалы электрической цепи (напряжение на участке цепи), будет рассмотрено ниже в примере построения потенциальной диаграммы.

Общая мощность потребителей электрической энергии для электрической цепи (рисунок 2.5) определяется следующим образом:

$$P_{\text{потр}} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4. \quad (2.9)$$

В результате расчетов общая мощность источников электрической энергии $P_{\text{ист}}$ должна оказаться равна общей мощности потребителей электрической энергии $P_{\text{потр}}$ для рассматриваемой электрической цепи $P_{\text{ист}} = P_{\text{потр}}$. Если равенство не получается, значит, имеются ошибки в расчетах, которые требуется устранить.

Пример. Построение потенциальной диаграммы для внешнего контура электрической цепи, представленной на рисунке 2.5. Внешний контур состоит из элементов E_1 , r_1 , E_3 , r_3 , r_4 , E_4 . Перечень элементов производился от наибольшего по названию узла, в данном случае это узел 3, по часовой стрелке. Из рисунка видно, что при выборе контура в его состав не включены ветви с источником тока, т.к. его сопротивление равно бесконечности, и определить падение напряжения на нем по закону Ома не удастся. Обозначим на электрической схеме точки при переходе от одного элемента к другому. Так, между элементами E_1 и r_1 получим точку a , между E_3 и r_3 – точку b , между r_4 и E_4 обозначим точку c . Используя закон Ома, определим потенциалы всех указанных во внешнем контуре точек. Для этого условно заземлим потенциал точки 3, тогда φ_3 станет равен нулю. При этом токораспределение в цепи не изменится, т.к. никаких новых ветвей, по которым могли бы протекать токи, не образуется.

Тогда потенциалы обозначенных в схеме точек при известных токах определяются следующим образом:

$$\varphi_3 = 0;$$

$$\varphi_a = \varphi_3 + E_1;$$

$$\varphi_1 = \varphi_a - I_1 \cdot r_1;$$

$$\varphi_b = \varphi_1 - E_3;$$

$$\varphi_2 = \varphi_b + I_3 \cdot r_3;$$

$$\varphi_c = \varphi_2 + I_4 \cdot r_4;$$

$$\varphi_3 = \varphi_c - E_4 = 0.$$

Знак «плюс» в формуле $\varphi_a = \varphi_3 + E_1$ ставится потому, что ЭДС E_1 повышает потенциал при переходе от потенциала φ_3 к φ_a . Знак «минус» в формуле $\varphi_1 = \varphi_a - I_1 \cdot r_1$ ставится потому, что ток течет от большего потенциала φ_a к меньшему φ_1 . Чтобы определить меньший потенциал φ_1 необходимо от большего φ_a вычесть падение напряжения $U_1 = I_1 \cdot r_1$ на резисторе r_1 . Знак «минус» в формуле $\varphi_b = \varphi_1 - E_3$ ставится потому, что ЭДС E_3 понижает потенциал при переходе от потенциала φ_1 к φ_b . Знак «плюс» в формуле $\varphi_2 = \varphi_b + I_3 \cdot r_3$ ставится потому, что ток течет от большего потенциала φ_2 к меньшему φ_b . Чтобы отыскать больший потенциал φ_2 необходимо к нему прибавить падение напряжения $U_3 = I_3 \cdot r_3$ на резисторе r_3 . Аналогичным образом ставятся знаки в других уравнениях потенциалов электрической цепи. Представленные формулы для определения потенциалов электрической цепи вытекают из закона Ома.

На основании полученных значений потенциалов точек строится потенциальная диаграмма 2.6.

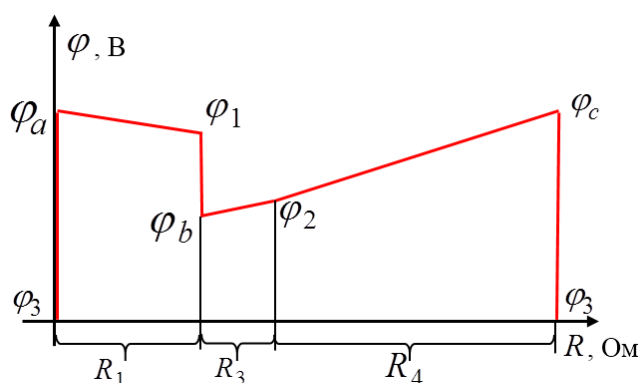


Рисунок 2.6 – Потенциальная диаграмма

Задания

1. Определить показание вольтметра для схемы, изображенной на рисунке 2.7. (15 В).

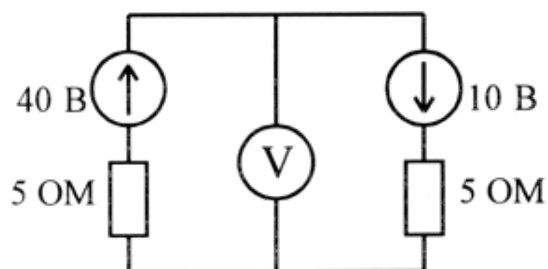


Рисунок 2.7

2. Определить токи в ветвях схемы рисунок 2.8, применяя законы Кирхгофа. Дано: $E_1 = 3$ В, $E_2 = 2$ В, $E_3 = 2$ В, $E_5 = 1$ В, $J_3 = 1$ А, $J_4 = 0,5$ А, $r_1 = 4$ Ом, $r_2 = 6$ Ом, $r_3 = 2$ Ом, $r_4 = 8$ Ом, $r_5 = 10$ Ом. ($I_1 = 0,2$ А, $I_2 = 0,7$ А, $I_3 = -0,5$ А, $I_4 = 0,1$ А, $I_5 = 0,1$ А)

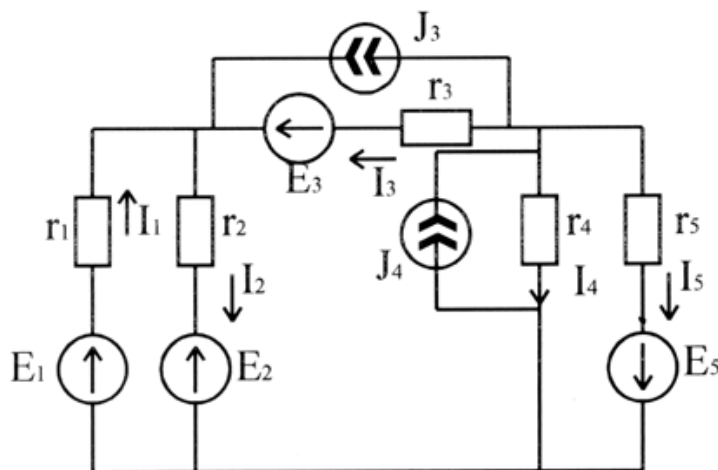


Рисунок 2.8

3. Для цепи рисунок 2.9 построить потенциальные диаграммы при разомкнутом и замкнутом ключе. Дано: $E_1 = 15$ В, $E_2 = 5$ В, $E_3 = 20$ В, $E_4 = 35$ В, $r_1 = 8$ Ом, $r_2 = 24$ Ом, $r_3 = 40$ Ом, $r_4 = 4$ Ом. Внутренние сопротивления источников энергии: $r_{10} = 2$ Ом, $r_{20} = 6$ Ом, $r_{30} = 2$ Ом, $r_{40} = 4$ Ом.

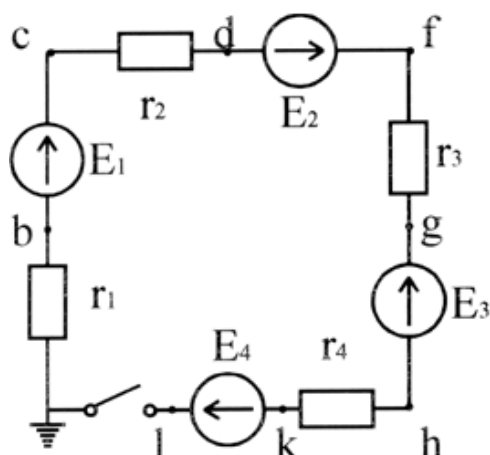


Рисунок 2.9

Контрольные вопросы

1. Записать закон Ома для участка эклектической цепи и для полной цепи.
2. Как определяется направление тока при известных потенциалах электрической цепи?
3. Дайте определение узлам и ветвям электрической цепи.
4. Сформулируйте и запишите первый закон Кирхгофа.
5. Сформулируйте и запишите второй закон Кирхгофа.
6. Как определить показания вольтметра по известным токам в ветвях?
7. Методика построения потенциальной диаграммы для замкнутого контура электрической цепи.
8. Поясните, как произвести учет внутреннего сопротивления источника энергии при построении потенциальной диаграммы.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная 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. (Высшее образование). – ISBN 978-5-222-17568-2.

Дополнительная литература

3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник. – 10-е изд. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с.

Практическое занятие 3

Тема: Анализ режимов цепей постоянного тока методами контурных токов и узловых потенциалов

Цель: Научиться рассчитывать токи в ветвях методами контурных токов и узловых потенциалов.

Актуальность темы практического занятия заключается в необходимости использовать методы узловых потенциалов и контурных токов для расчета электрических цепей.

Теоретическая часть

Метод контурных токов.

Метод контурных токов также позволяет уменьшить количество решаемых уравнений в сравнении с системой уравнений по законам Кирхгофа. Количество уравнений по методу контурных токов определяется числом уравнений по второму закону Кирхгофа для рассматриваемой электрической цепи. Метод основывается на том свойстве, что ток в любой ветви может быть представлен в виде алгебраической суммы независимых контурных токов, протекающих по этой ветви. В соответствии с данным методом необходимо выбрать контурные токи таким образом, чтобы каждый из них проходил через один источник тока, а оставшиеся контурные токи выбирать проходящими по ветвям, не содержащим источники тока.

Система уравнений по методу контурных токов в виде матрицы будет иметь столько строк и столбцов, сколько уравнений необходимо записать по второму закону Кирхгофа для рассматриваемой электрической цепи. Если в электрической цепи имеется источник тока, то добавится столбец в систему уравнений, если два, то два столбца и т.д.

Рассмотрим использование метода контурных токов на *примере*.

Метод контурных токов целесообразно применять, когда количество уравнений по второму закону Кирхгофа для электрической цепи получается меньше чем по первому. На рисунке 3.1 представлена электрическая цепь, отвечающая указанным требованиям.

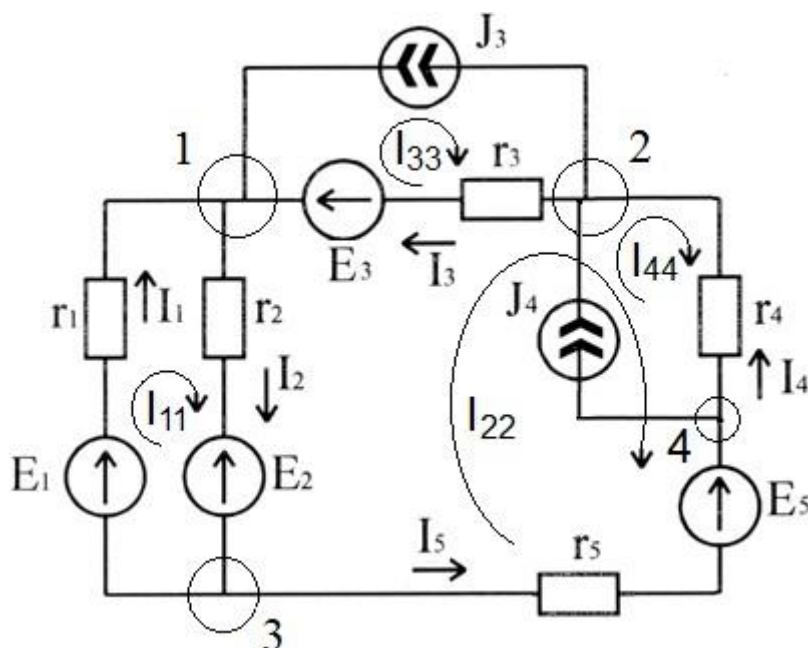


Рисунок 3.1 – Схема электрической цепи для расчета по методу контурных токов

Решение.

В этой цепи четыре узла, следовательно, по первому закону Кирхгофа необходимо записать $4 - 1 = 3$ уравнения. Рассматриваемая схема содержит семь ветвей, две из которых с источниками тока, следовательно, по второму закону Кирхгофа количество уравнений равно: $7 - 2 - 3 = 2$. Для заданной схемы направления обхода контурных токов I_{11} , I_{22} , I_{33} , I_{44} взяты по часовой стрелке, причем $I_{33} = -J_3$, т.к. обход контура не совпадает с направлением тока источника тока; $I_{44} = J_4$, т.к. обход контура совпадает с направлением тока источника тока. Таким образом, контурные токи $I_{33} = -J_3$ и $I_{44} = J_4$ считаются известными. Следовательно, остается два неизвестных контурных тока (I_{11} и I_{22}), для их нахождения используем систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} I_{11} \cdot R_{11} - I_{22} \cdot R_{12} - I_{33} \cdot R_{13} - I_{44} \cdot R_{14} = E_{11} \\ -I_{11} \cdot R_{21} + I_{22} \cdot R_{22} - I_{33} \cdot R_{23} + I_{44} \cdot R_{24} = E_{22} \end{cases} \quad (3.1)$$

где R_{mm} – собственное сопротивление контура m (сумма сопротивлений всех ветвей, входящих в контур m). Для рассматриваемой цепи $R_{11} = r_1 + r_2$; $R_{22} = r_2 + r_3 + r_4 + r_5$. В системе уравнений (3.1) у собственных сопротивлений контуров по главной диагонали матрицы будут всегда стоять знаки «плюс».

Если будет задана такая электрическая цепь, для которой по второму закону Кирхгофа необходимо будет записать другое количество уравнений, тогда и количество уравнений в системе (2.4) изменится. Количество строк в системе (2.4) определяется количеством уравнений по второму закону Кирхгофа, а количество столбцов равно сумме числа уравнений по второму закону Кирхгофа и числа источников тока.

R_{ml} – общее сопротивление контуров m и l , берется со знаком «плюс», если направления контурных токов в данной ветви совпадают, в обратном случае – берется знак «минус». В рассматриваемой схеме общим сопротивлением между контурами 1 и 2, а, следовательно, 2 и 1, является r_2 . Направление контурных токов в данной ветви не совпадают, следовательно, сопротивление $R_{12}=R_{21}=r_2$ войдет в уравнение со знаком «минус». Сопротивления между контурами 1 и 3, а также 1 и 4 равны нулю, следовательно, $R_{13}=0$ и $R_{14}=0$. Сопротивление между контурами 2 и 3 $R_{23}=r_3$. Направление контурных токов в данной ветви не совпадают, следовательно, сопротивление R_{23} войдет в уравнение со знаком «минус». Сопротивление между контурами 2 и 4 $R_{24}=r_4$. Направление контурных токов в данной ветви совпадают, следовательно, сопротивление R_{24} войдет в уравнение со знаком «плюс».

E_{mm} – алгебраическая сумма ЭДС, входящих в контур m . Для данной схемы $E_{11}=E_1-E_2$, $E_{22}=E_2-E_3-E_5$.

Таким образом, в новых обозначениях система уравнений 3.1 примет следующий вид

$$\begin{cases} I_{11} \cdot (r_1 + r_2) - I_{22} \cdot r_2 = E_1 - E_2 \\ -I_{11} \cdot r_2 + I_{22} \cdot (r_2 + r_3 + r_4 + r_5) - I_{33} \cdot r_3 + I_{44} \cdot r_4 = E_2 - E_3 - E_5 \end{cases} \quad (3.2)$$

Решив полученную систему (3.2) относительно I_{11} и I_{22} , считая $I_{33} = -J_3$ и $I_{44} = J_4$ известными, найдем токи в ветвях электрической цепи.

Токи в ветвях электрической цепи, через контурные токи определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_{11}; \quad I_2 = I_{11} - I_{22}; \quad I_3 = I_{33} - I_{22}; \\ I_4 &= -I_{44} - I_{22}; \quad I_5 = -I_{22}. \end{aligned}$$

Метод узловых потенциалов.

Данный метод также позволяет уменьшить количество решаемых уравнений в сравнении с системой уравнений по законам Кирхгофа. Количество уравнений по методу узловых потенциалов определяется количеством уравнений по первому закону Кирхгофа для рассматриваемой электрической цепи. В соответствии с данным методом, необходимо сначала определить потенциалы всех узлов электрической цепи, а затем с помощью закона Ома определить токи в ветвях. При этом один из узлов электрической схемы, который называют *опорным*, заземляется, его потенциал становится равен нулю. Узел для заземления выбирается произвольно. Удобно заземлять узел, номер которого имеет наибольшее значение в заданной электрической цепи.

Система уравнений по методу узловых потенциалов в виде матрицы будет иметь столько строк и столбцов, сколько уравнений необходимо записать по первому закону Кирхгофа для рассматриваемой электрической цепи. Если в электрической цепи имеется ветвь содержащая только идеальный источник ЭДС. Тогда удобно пронумеровать узлы электрической цепи так, чтобы номер узла с наибольшим значения в заданной электрической цепи, оказался в узле от которого отходит источник ЭДС. Этот узел принимают за опорный и заземляют. Тогда потенциал узла, в который входит источник ЭДС, будет известным и равным величине ЭДС источника.

Рассмотрим использование метода узловых потенциалов на примере.

Пример.

Метод узловых потенциалов целесообразно применять, когда количество уравнений по первому закону Кирхгофа для электрической цепи получается меньше чем по второму. На рисунке 3.2 представлена электрическая цепь, отвечающая указанным требованиям.

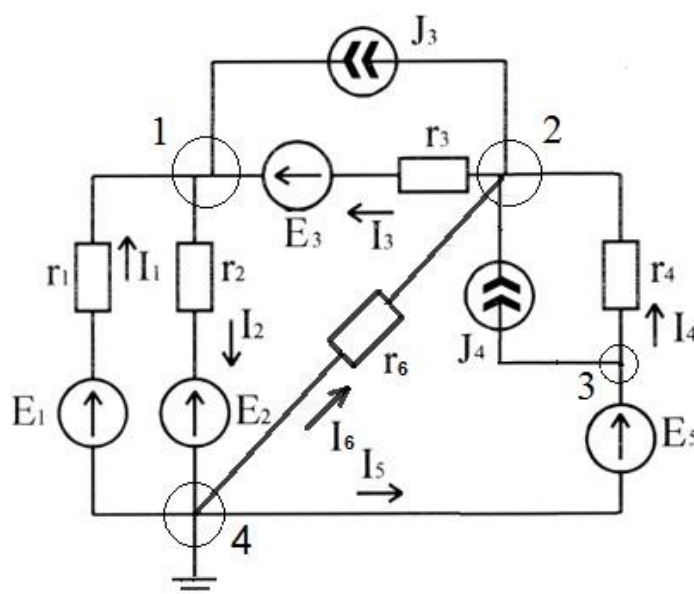


Рисунок 3.2 – Схема электрической цепи для расчета по методу узловых потенциалов

Представленная схема содержит 8 ветвей, 2 из которых содержат источники тока, следовательно, количество уравнений по второму закону Кирхгофа равно: $8 - 2 - 3 = 3$ уравнения.

В заданной цепи четыре узла, следовательно, по первому закону Кирхгофа необходимо записать $4 - 1 = 3$ уравнения, причем имеется ветвь, содержащая только идеальный источник ЭДС E_5 . В этом случае узел, от которого отходит источник ЭДС E_5 , пронумеруем цифрой 4 и примем его за опорный, потенциал которого равен нулю $\varphi_4 = 0$. Обозначим заземление $\perp$ у φ_4 на расчетной схеме. Потенциал узла, в который входит источник ЭДС E_5 , будет известным и равным величине ЭДС источника $\varphi_3 = E_5$.

Таким образом, остается два неизвестных потенциала φ_1 и φ_2 , для их нахождения используем систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} \varphi_1 \cdot g_{11} - \varphi_2 \cdot g_{12} - \varphi_3 \cdot g_{13} = J_{11} \\ -\varphi_1 \cdot g_{21} + \varphi_2 \cdot g_{22} - \varphi_3 \cdot g_{23} = J_{22} \end{cases}, \quad (3.3)$$

где $g_{11}, g_{22}, \dots, g_{SS}$ – собственные проводимости узлов $1, 2, \dots, S$, соответственно, которые определяются как сумма проводимостей ветвей, присоединенных к соответствующему узлу. Для рассматриваемой цепи

$$g_{11} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}; \quad g_{22} = \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} + \frac{1}{r_6}.$$

В системе уравнений (3.3) у собственных проводимостей узлов по главной диагонали матрицы будут всегда стоять знаки «плюс». Если будет задана такая электрическая цепь, для которой по первому закону Кирхгофа необходимо будет записать другое количество уравнений, то система уравнений (3.3) должна состоять из строк и столбцов, количество которых определяется количеством уравнений по первому закону Кирхгофа.

g_{SN} – сумма проводимостей ветвей, соединяющих узел S с узлом N , всегда в системе уравнений (3.3) берется со знаком «минус». Для рассматриваемой цепи сумма проводимостей ветвей между узлами 1 и 2, а, следовательно, 2 и 1, является $g_{12} = g_{21} = \frac{1}{r_3}$. Сумма проводимостей ветвей между узлами 1 и 3,

равна нулю, следовательно $g_{13} = 0$. Сумма проводимостей ветвей между узлами 2 и 3 $g_{23} = \frac{1}{r_4}$.

$J_{SS} = \sum_S E \cdot g + \sum_S J$, где $\sum_S E \cdot g$ – алгебраическая сумма произведений ЭДС ветвей, примыкающих к узлу S , на их проводимости; при этом со знаком «плюс» берутся те произведения, в ветвях которых ЭДС действуют в направлении узла S , и со знаком «минус», – в направлении от узла S ;

$\sum_S J$ – алгебраическая сумма источников тока, присоединенных к узлу S , знак

перед J определяется согласно правилу, указанному выше. В нашем случае

$$J_{11} = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3} + J_3, \quad J_{22} = -\frac{E_3}{r_3} - J_3 + J_4.$$

Таким образом, в новых обозначениях система уравнений 3.3 примет следующий вид

$$\begin{cases} \varphi_1 \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right) - \varphi_2 \cdot \frac{1}{r_3} = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3} + J_3 \\ -\varphi_1 \cdot \frac{1}{r_3} + \varphi_2 \cdot \left(\frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} + \frac{1}{r_6} \right) - \varphi_3 \cdot \frac{1}{r_4} = -\frac{E_3}{r_3} - J_3 + J_4 \end{cases}. \quad (3.4)$$

Решив полученную систему (3.4) относительно φ_1 и φ_2 , считая известным $\varphi_3 = E_5$, найдем токи в ветвях электрической цепи.

Токи в ветвях электрической цепи определяются по закону Ома через полученные при решении системы (3.4) потенциалы:

$$I_1 = \frac{\varphi_4 - \varphi_1 + E_1}{r_1};$$

$$I_2 = \frac{\varphi_1 - \varphi_4 - E_2}{r_2};$$

$$I_3 = \frac{\varphi_2 - \varphi_1 + E_3}{r_3};$$

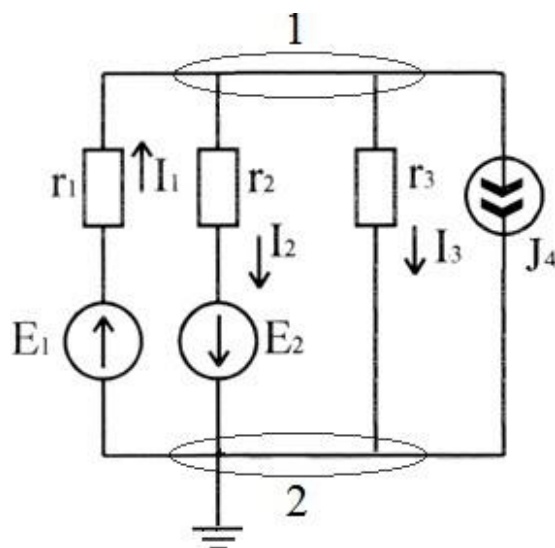
$$I_4 = \frac{\varphi_3 - \varphi_2}{r_4};$$

$$I_5 = I_4 + J_4 = \frac{\varphi_3 - \varphi_2}{r_4} + J_4;$$

$$I_6 = \frac{\varphi_4 - \varphi_2}{r_6}.$$

Метод двух узлов (частный случай метода узловых потенциалов).

Встречаются электрические цепи у которых всего два узла рисунок 3.3. Для расчета токов в такой цепи наиболее рациональным методом расчета является метод двух узлов.



Рисунке 3.3

Рассмотрим использование метода двух узлов на примере.

Пример.

Для электрической цепи (рисунок 3.3) по методу узловых потенциалов запишем следующее выражение:

$$\varphi_1 \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right) = \frac{E_1}{r_1} - \frac{E_2}{r_2} - J_4.$$

Запишем получившееся выражение для напряжения $U_{12} = -U_{21}$:

$$U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) = -U_{21} = -(\varphi_2 - \varphi_1) = \frac{E_1 \cdot \frac{1}{r_1} - E_2 \cdot \frac{1}{r_2} - J}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}}. \quad (3.4)$$

Выражение 3.4 принято называть *методом двух узлов*.

Токи в ветвях электрической цепи, определяются по закону Ома следующим образом:

$$I_1 = \frac{E_1 - (\varphi_1 - \varphi_2)}{r_1}; \quad I_2 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + E_2}{r_2}; \quad I_3 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{r_3}.$$

Задания

1. Определить токи ветвей в электрической цепи схема, которой представлена на рисунке 3.4 методом: а) контурных токов; б) узловых потенциалов. Дано: $E_1 = 36$ В, $E_2 = 12$ В, $J = 8$ А, $R_1 = R_2 = 4$ Ом, $R_3 = 1$ Ом, $R_4 = 2$ Ом, $R_5 = 1$ Ом. ($I_1 = 9$ А, $I_2 = 3$ А, $I_3 = 6$ А, $I_4 = 2$ А)

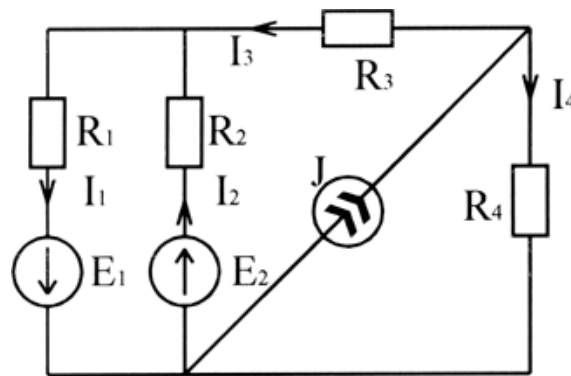


Рисунок 3.4

2. Вычислить все токи в электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 3.5 методом: а) контурных токов; б) методом узловых потенциалов. Дано: $J = 50$ мА, $E_1 = 60$ В, $R_1 = 5$ кОм, $R_2 = 4$ кОм, $R_3 = 16$ кОм, $R_4 = 2$ кОм, $R_5 = 8$ кОм. ($I_1 = 20$ мА, $I_2 = 30$ мА, $I_3 = 10$ мА, $I_4 = 40$ мА, $I_5 = 10$ мА)

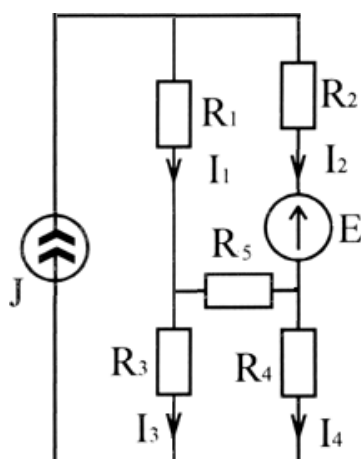


Рисунок 3.5

Контрольные вопросы

1. Сформулировать основные принципы метода узловых потенциалов.
2. Сколько уравнений необходимо составить по методу узловых потенциалов?
3. Сформулировать основные принципы метода контурных токов.
4. Сколько уравнений необходимо составить по методу контурных токов?
5. Каковы особенности применения метода контурных токов для схем, содержащих источник тока?
6. Каковы особенности применения метода узловых потенциалов для схем, содержащих идеальный источник ЭДС между узлами?
7. Как найти токи в ветвях по методу двух узлов?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная 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. (Высшее образование). – ISBN 978-5-222-17568-2.

Дополнительная литература

3. Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники: учеб. пособие для студентов / под ред. П. А. Ионкина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 768 с.

«Расчет электрических нагрузок промышленных потребителей методом коэффициента расчетной активной мощности»

Теоретическая часть

В соответствии с «Указаниями по расчету электрических нагрузок систем электроснабжения» (РТМ 36.18.32.-4-92) расчетную нагрузку трехфазных потребителей можно определить по коэффициенту расчетной активной мощности K_P ; этот метод применяется, когда известны данные о числе электроприемников, их мощности и режиме работы.

Расчетная силовая нагрузка напряжением до 1 кВ определяется следующим образом:

$$P_{P.HH} = K_P \cdot \sum_1^m P_{Cj}, \quad (2.1)$$

где j – подгруппа электроприемников группы, имеющих одинаковый тип работы, т.е. одинаковый коэффициент использования $K_{Иi}$;

m – число подгрупп электроприемников;

P_{Cj} – средняя мощность рабочих электроприемников j -ой группы.

Средняя активная мощность P_{Cj} силовых электроприемников одинакового режима работы определяется в соответствии с формулой:

$$P_{Cj} = \sum_1^n K_{Иi} \cdot P_{НОМi}, \quad (2.2)$$

где $P_{НОМi}$ – установленная (номинальная) мощность i -го электроприемника;

$K_{Иi}$ – коэффициент использования активной мощности i -го электроприемника;

n – количество электроприемников.

Значения коэффициентов $K_{Иi}$ определяют по материалам обследования действующих предприятий.

Средняя реактивная мощность Q_{Cj} равна

$$Q_{Cj} = \sum_1^n K_{Иi} \cdot P_{НОМi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (2.3)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_i$ – коэффициент реактивной мощности, соответствующий средневзвешенному коэффициенту мощности $\cos \varphi_i$, характерному для i -го электроприемника данного режима работы.

Величина коэффициента расчетной активной мощности K_p приведена в таблицах 2.1 и 2.2 в зависимости от величины группового коэффициента использования $K_{И}$, эффективного числа электроприемников в группе $n_{\mathcal{E}}$, и постоянной времени нагрева T_0 выбираемого элемента сети.

Групповой коэффициент использования $K_{И}$ активной мощности рассчитывается по формуле:

$$K_{И} = \frac{\sum_1^m P_{Cj}}{\sum_1^m P_{НОМj}}, \quad (2.4)$$

Эффективное число электроприемников в группе из n электроприемников равно:

$$n_{\mathcal{E}} = \frac{\sqrt[n]{\sum_1^n P_{НОМi}^2}}{\sum_1^n P_{НОМi}}, \quad (2.5)$$

Для многодвигательных приводов при определении $n_{\mathcal{E}}$, учитывают все одновременно работающие электродвигатели данного привода. Если в числе этих двигателей имеются одновременно включаемые (с одинаковым режимом работы), то их учитывают в расчете как один электроприемник с номинальной мощностью, равной сумме номинальных мощностей этих двигателей.

Таблица 2.2 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p на шинах низшего напряжения цеховых трансформаторов и магистральных шинопроводов (для постоянной времени нагрева $T_0 = 2,5 \dots 3$ ч)

n_{Σ}	Коэффициент использования $K_{\text{и}}$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1 14
2	5,01	3,44	2,69	1,90	1,52	1,24	1,11	1,00
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,00	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94	0,93
6-8	1,20	1,00	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9-10	1,10	0,97	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
10-25	0,80	0,80	0,80	0,85	0,85	0,85	0,90	0,90
25-50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,80	0,85	0,85
Более 50	0,65	0,65	0,65	0,70	0,70	0,75	0,80	0,80

Существует упрощенная формула определения n_{Σ} , а именно:

$$n_{\Sigma} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ}i}}{P_{\text{НОМ.МАКС}}}, \quad (2.6)$$

где $P_{\text{НОМ.МАКС}}$ – номинальная мощность наиболее мощного электроприемника цеха.

В случае, когда $P_{\text{НОМ.МАКС}}/P_{\text{НОМ.МИН}} \geq 3$, n_{Σ} принимают равным n – действительному числу электроприемников; здесь $P_{\text{НОМ.МИН}}$ – номинальная мощность наименьшего по мощности приемника.

В цехе кроме трехфазных электроприемников, могут быть и однофазные электроприемники, включаемые на фазное или линейное напряжение. Как правило, стремятся однофазные приемники равномерно распределить по фазам. Если суммарная номинальная мощность, остающейся нераспределенной равномерно по фазам, превышает 15 % от общей мощности трехфазных и однофазных приемников, равномерно распределенных по фазам, то определяют условную трехфазную номинальную мощность $P_{\text{НОМ.У}}$, неравномерно распределенных

приемников.

Величину $P_{\text{НОМ.У}}$ можно определить приближенно, если число неравномерно распределенных по фазам однофазных приемников менее четырех:

– при включении однофазных приемников на фазные напряжения

$$P_{\text{НОМ.У}} = 3 \cdot P_{\text{НОМ.М.Ф}}, \quad (2.7)$$

где $P_{\text{НОМ.М.Ф}}$ – номинальная мощность максимально загруженной фазы;

– при включении однофазных приемников на линейные напряжения

$$P_{\text{НОМ.У}} = \sqrt{3} \cdot P_{\text{НОМ}} \quad (\text{при одном приемнике}),$$

$$P_{\text{НОМ.У}} = 3 \cdot P_{\text{НОМ}}, \quad (\text{при двух-трех приемниках}),$$

где $P_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность одного приемника.

Если число неравномерно распределенных по фазам однофазных приемников более четырех, то

$$P_{\text{НОМ.У}} = 3 \cdot P_{\text{НОМ.3.Ф}}, \quad (2.8)$$

где $P_{\text{НОМ.3.Ф}}$ – номинальная мощность наиболее загруженной фазы.

Наиболее загруженной фазой считают фазу, имеющую наибольшую среднюю нагрузку от однофазных приемников.

В том случае, когда часть приемников включена на фазное напряжение, а часть – на линейное, среднюю нагрузку каждой фазы определяют суммированием этих нагрузок с помощью коэффициентов приведения

Задача 2

Рассчитать электрические нагрузки промышленных потребителей методом коэффициента расчетной активной мощности. Исходные данные приведены в таблицах 2.3 – 2.4.

Таблица 2.3 – Варианты заданий

Вариант	Площадь цеха F , м ²	Номера электроприемников
1	500	1, 2, 3, 4, 30, 31, 32, 42, 44, 49
2	675	5, 6, 7, 8, 21, 42, 43, 44, 54, 55
3	600	8, 9, 10, 11, 19, 20, 40, 41, 51, 54
4	550	12, 13, 14, 15, 30, 31, 34, 35, 49, 50
5	490	13, 14, 15, 16, 17, 32, 33, 39, 40, 41
6	520	21, 22, 23, 24, 38, 39, 41, 42, 43, 44
7	480	3, 5, 6, 9, 22, 30, 31, 34, 42, 45
8	470	25, 26, 28, 29, 30, 31, 36, 42, 44, 50
9	450	3, 18, 19, 20, 25, 31, 34, 42, 43, 44
10	550	4, 5, 7, 9, 34, 36, 38, 40, 44, 45
11	610	10, 11, 12, 13, 30, 31, 32, 39, 41, 55
12	525	23, 24, 25, 27, 36, 38, 39, 52, 53, 54
13	490	1, 3, 9, 21, 30, 34, 36, 40, 42, 44
14	620	14, 15, 16, 17, 18, 32, 33, 34, 44, 45
15	510	16, 17, 18, 20, 33, 36, 47, 48, 50, 55
16	475	10, 11, 12, 13, 41, 42, 43, 44, 45, 53
17	540	9, 17, 18, 20, 30, 31, 34, 42, 43, 44
18	530	10, 20, 22, 25, 27, 32, 33, 34, 41, 53
19	630	13, 14, 16, 19, 32, 36, 39, 42, 44, 53
20	530	1, 2, 6, 8, 10, 42, 44, 46, 50, 53
21	545	3, 6, 18, 20, 29, 30, 41, 43, 45, 53
22	585	11, 16, 21, 25, 32, 38, 39, 44, 51, 88
23	515	17, 19, 22, 23, 27, 30, 33, 39, 43, 53
24	615	5, 9, 10, 20, 29, 30, 41, 42, 44, 53
25	575	22, 23, 24, 27, 31, 39, 40, 43, 49, 53
26	495	9, 10, 21, 24, 29, 35, 37, 38, 40, 43
27	485	48, 20, 21, 24, 30, 33, 36, 40, 42, 53
28	655	5, 6, 9, 21, 29, 31, 38, 42, 44, 53
29	455	9, 12, 19, 20, 30, 32, 39, 40, 43, 44
30	555	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 55, 55
31	450	56, 59, 69, 72, 78, 80, 57, 60, 70, 73
32	500	57, 60, 70, 73, 79, 81, 56, 69, 72, 55
33	550	58, 61, 71, 76, 77, 81, 56, 62, 69, 72
34	600	56, 62, 69, 72, 78, 82, 58, 61, 71, 75
35	400	57, 63, 70, 73, 79, 80, 58, 64, 71, 74
36	450	58, 64, 71, 77, 80, 57, 63, 70, 73, 55
37	500	56, 65, 69, 72, 79, 82, 57, 63, 70, 73
38	550	57, 66, 70, 73, 77, 80, 56, 65, 69, 72
39	600	58, 67, 71, 74, 78, 80, 56, 68, 73, 77
40	600	56, 68, 73, 75, 77, 81, 58, 67, 71, 55
41	550	57, 69, 74, 76, 79, 82, 58, 70, 72, 75
42	500	58, 70, 72, 75, 78, 81, 57, 69, 74, 76
43	450	58, 71, 74, 75, 79, 82, 57, 62, 72, 76
44	400	57, 62, 72, 76, 77, 81, 58, 71, 74, 75
45	350	56, 65, 73, 77, 78, 82, 56, 62, 74, 76
46	390	1, 2, 3, 4, 30, 30, 41, 43, 45, 53

47	430	5, 6, 7, 8, 21, 38, 39, 44, 51, 56
48	470	8, 9, 10, 11, 19, 30, 33, 39, 43, 53
49	510	12, 13, 14, 15, 30, 30, 41, 42, 44, 53
50	550	13, 14, 15, 16, 17, 39, 40, 43, 49, 53
51	590	21, 22, 23, 24, 38, 35, 37, 38, 40, 43
52	630	3, 5, 6, 9, 22, 33, 36, 40, 42, 53
53	670	25, 26, 28, 29, 30, 31, 38, 42, 44, 53
54	655	3, 18, 19, 20, 25, 32, 39, 40, 43, 44
55	640	4, 5, 7, 9, 34, 35, 40, 45, 55, 55
56	625	10, 11, 12, 13, 30, 80, 57, 60, 70, 73
57	610	23, 24, 25, 27, 36, 81, 56, 69, 72, 55
58	595	1, 3, 9, 21, 30, 81, 56, 62, 69, 72
59	580	14, 15, 16, 17, 18, 82, 58, 61, 71, 75
60	565	16, 17, 18, 20, 33, 80, 58, 64, 71, 74
61	550	10, 11, 12, 13, 41, 57, 63, 70, 73, 55
62	535	9, 17, 18, 20, 30, 82, 57, 63, 70, 73
63	520	10, 20, 22, 25, 27, 80, 56, 65, 69, 72
64	505	13, 14, 16, 19, 32, 80, 56, 68, 73, 77
65	490	1, 2, 6, 8, 10, 81, 58, 67, 71, 55
66	475	57, 69, 74, 76, 79, 82, 56, 62, 74, 76
67	460	58, 70, 72, 75, 78, 81, 58, 71, 74, 75
68	445	58, 71, 74, 75, 79, 82, 57, 62, 72, 76
69	430	57, 62, 72, 76, 77, 81, 57, 69, 74, 76
70	415	56, 65, 73, 77, 78, 82, 58, 70, 72, 75
71	370	48, 20, 21, 24, 30, 33, 36, 40, 42, 53
72	355	5, 6, 9, 21, 29, 31, 38, 42, 44, 53
73	340	9, 12, 19, 20, 30, 32, 39, 40, 43, 44
74	325	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 55, 55
75	310	56, 59, 69, 72, 78, 80, 57, 60, 70, 73
76	295	57, 60, 70, 73, 79, 81, 56, 69, 72, 55
77	280	5, 6, 7, 8, 21, 42, 43, 44, 54, 55
78	265	8, 9, 10, 11, 19, 20, 40, 41, 51, 54
79	250	12, 13, 14, 15, 30, 31, 34, 35, 49, 50
80	235	13, 14, 15, 16, 17, 32, 33, 39, 40, 41
81	220	21, 22, 23, 24, 38, 39, 41, 42, 43, 44
82	205	3, 5, 6, 9, 22, 30, 31, 34, 42, 45
83	190	25, 26, 28, 29, 30, 31, 36, 42, 44, 50
84	175	3, 18, 19, 20, 25, 31, 34, 42, 43, 44
85	160	4, 5, 7, 9, 34, 36, 38, 40, 44, 45
86	145	57, 62, 72, 76, 77, 81, 58, 71, 74, 75
87	130	58, 64, 71, 77, 80, 57, 63, 70, 73, 55
88	115	56, 65, 69, 72, 79, 82, 57, 63, 70, 73

Таблица 2.4 – Характеристики электроприемников

№ электроприемника	Наименование электроприемника	Кол-во, шт.	Установленная мощность, кВт	K_D	$\cos \varphi$
1	Токарно-винторезный станок	5	11,25	0,14	0,5
2	Токарно-винторезный станок	4	4,625	0,14	0,5
3	Токарно-винторезный станок	1	4,6	0,14	0,5
4	Токарно-револьверный станок	3	5,475	0,14	0,5
5	Долбежный станок	3	3,8	0,14	0,5
6	Токарно-строгальный станок	3	11	0,14	0,5
7	Универсальный фрезерный станок	3	1,7	0,14	0,5
8	Горизонтально-фрезерный станок	1	3,525	0,14	0,5
9	Вертикально-фрезерный станок	2	12,925	0,14	0,5
10	Зубофрезерный станок	4	0,725	0,14	0,5
11	Круглошлифовальный станок	1	19,45	0,14	0,5
12	Плоскошлифовальный станок	2	12,65	0,14	0,5
13	Вертикально-сверлильный станок	4	2,925	0,14	0,5
14	Радиально-сверлильный станок	2	6,925	0,14	0,5
15	Настольно-сверлильный станок	7	0,6	0,14	0,5
16	Координатно-расточный станок	2	6,52	0,14	0,5
17	Карусельный станок	1	33,28	0,14	0,5
18	Универсально-заточный станок	4	1,25	0,14	0,5
19	Кран-балка 2 т ПВ=25 %	2	4,85	0,2	0,6
20	Вентилятор	5	147,0	0,65	0,8
21	Отрезной станок	1	1,95	0,14	0,5
22	Ножницы	2	7,0	0,14	0,5
23	Пресс правильный	2	14,0	0,14	0,5
24	Пресс кривошипный	1	10	0,14	0,5
25	Пресс листогибочный	1	15,7	0,14	0,5
26	Настольно-сверлильный станок	5	0,6	0,14	0,5
27	Обдирочно-шлифовальный станок	3	2,8	0,14	0,5
28	Радиально-сверлильный станок	2	6,925	0,14	0,5

Продолжение таблицы 2.4

№ электроприемника	Наименование электроприемника	Кол-во, шт.	Установленная мощность, кВт	K_{II}	$\cos \varphi$
57	Вентиляторная установка	4	15	0,7	0,8
58	Насосная установка	8	55	0,8	0,8
59	Станок фрезерный	14	11,5	0,14	0,5
60	Станок токарный	12	14	0,14	0,5
61	Станок строгальный	10	11	0,14	0,5
62	Станок карусельный	2	40	0,14	0,5
63	Станок наждачный	5	2,8	0,14	0,5
64	Станок винторезный	6	15	0,14	0,5
65	Станок расточный	2	42	0,14	0,5
66	Станок шлифовальный	15	3	0,14	0,5
67	Станок слиткообдирочный	4	45	0,14	0,5
68	Станок галтовочный	8	4	0,14	0,5
69	Молот ковочный	7	15	0,24	0,65
70	Пресс штамповочный	12	4,5	0,24	0,65
71	Автомат фрезерный	20	8	0,17	0,65
72	Печь индукционная	4	30	0,75	0,35
73	Печь дуговая	4	30	0,75	0,87
74	Печь сопротивления	6	35	0,8	0,85
75	Конвейер ленточный	2	35	0,55	0,75
76	Транспортер роликовый	3	10	0,55	0,75
77	Кран мостовой ПВ=25 %	2	30	0,005	0,5
78	Тележка подвесная ПВ=40 %	8	4	0,1	0,5
79	Тельфер транспортный ПВ=60 %	3	10	0,1	0,5
80	Трансформатор сварочный ПВ=40 %	5	28 кВт·А	0,2	0,4
81	Аппарат дуговой сварки ПВ=60 %	5	16 кВт·А	0,3	0,35
82	Аппарат стыковой сварки ПВ=25 %	5	14 кВт·А	0,35	0,55

Продолжение таблицы 2.4

№ электроприемника	Наименование электроприемника	Кол-во, шт.	Установленная мощность, кВт	K_{II}	$\cos \phi$
29	Труборазрезный станок	1	2,8	0,14	0,5
30	Преобразователь сварочный ПВ=60 %	2	22	0,1	0,6
31	Машина электросварочная ПВ=40 %	1	75 кВт·А	0,3	0,6
32	Машина электросварочная точечная ПВ=25 %	1	25 кВт·А	0,3	0,6
33	Трансформатор сварочный ПВ=40 %	4	25 кВт·А	0,3	0,6
34	Кран мостовой 5 т ПВ=25 %	1	24,2	0,2	0,6
35	Вентилятор	3	10	0,65	0,8
36	Молот пневматический	1	10	0,14	0,5
37	Обдирочно-точильный станок	2	2,8	0,14	0,5
38	Горно двухогневое коксовое	1	0,8	0,8	0,95
39	Электропечь сопротивления	1	45	0,8	0,95
40	Печь нагревательная	1	45	0,8	0,95
41	Кран-балка 2 т ПВ=25 %	1	4,85	0,2	0,6
42	Вентилятор дутьевой	1	1,2	0,65	0,8
43	Вентилятор	1	4,5	0,65	0,8
44	Электропечь сопротивления	2	24	0,8	0,95
45	Шкаф сушильный	1	1,1	0,8	0,95
46	Электропечь сопротивления	1	15	0,8	0,95
47	Электропечь сопротивления	2	19	0,8	0,95
48	Электропечь ванна	1	22	0,8	0,95
49	Муфельная печь	2	2,2	0,8	0,95
50	Вентилятор	2	2,28	0,65	0,8
51	Вентилятор	2	7,0	0,65	0,8
52	Сушильный шкаф	2	10	0,8	0,95
53	Селеновый выпрямитель	2	22	0,7	0,95
54	Полировочный станок	1	3,2	0,1	0,5
55	Вентилятор	3	4,5	0,65	0,8
56	Компрессорная установка	5	28	0,065	0,8

									Наименование характеристики групп электроприемников
									Установленная мощность, приведенная к ПВ = 100 %, кВт
									$K_{И}$
									$\cos\varphi$
									$\operatorname{tg}\varphi$
									$P_{\text{ср}}$, кВт
									$Q_{\text{ср}}$, квар
									$n_{\text{Э}}$
									$K_{И.СВ}$
									$K_{\text{Р}}$
									$P_{\text{Р}}$, кВт
									$Q_{\text{Р}}$, квар
									$K_{\text{С0}}$
									$P_{\text{уд}}$, кВт/м ²
									F , м ²
									$\operatorname{tg}\varphi_{\text{О}}$
									$P_{\text{О}}$, кВт
									$Q_{\text{О}}$, квар
									$P_{\text{Р}\Sigma}$, кВт
									$Q_{\text{Р}\Sigma}$, квар
									$S_{\text{Р}\Sigma}$, кВА

«Расчет осветительных нагрузок»

Теоретическая часть

Приближенным методом расчета осветительной нагрузки является расчет по удельным мощностям:

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{уд}} \cdot F_{\text{ц}}, \quad (4.1)$$

где $P_{\text{уд}}$ – удельная мощность осветительных установок (Вт/м²);

$F_{\text{ц}}$ – площадь освещаемого цеха, м².

Активная расчетная осветительная нагрузка определяется по формуле:

$$P_{\text{р.он}} = P_{\text{уст}} \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{пра}}, \quad (4.2)$$

где $K_{\text{с}}$ – коэффициент спроса;

$K_{\text{пра}}$ – коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующей аппаратуре.

Коэффициент спроса имеет следующие значения:

1 – для групповой сети и всех звеньев сети аварийного освещения, для мелких производственных зданий, торговых помещений, наружного освещения;

0,95 – для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;

0,9 – для библиотек, административных зданий и предприятий общественного питания;

0,8 – для производственных зданий, состоящих из большого числа отдельных помещений, лечебных, детских и учебных учреждений, конторско-бытовых и лабораторных зданий;

0,6 – для складских зданий непроизводственного назначения.

Коэффициент $K_{\text{пра}}$ принимает значения: 1,1 – для ламп типа ДРЛ и ДРИ; 1,2 – для люминесцентных ламп со стартерными схемами

включения; 1,3 – 1,35 – для люминесцентных ламп с бесстартерными схемами включения.

Расчетная реактивная осветительная нагрузка определяется по формуле:

$$Q_{P.OH} = P_{P.OH} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4.3)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ соответствует $\cos \varphi$ осветительной установки.

Светильники с люминесцентными лампами, обычно, поставляются с конденсаторами для индивидуальной компенсации реактивной мощности. Их $\cos \varphi$ составляет 0,92 – 0,95. Светильники с лампами типа ДРЛ и ДРИ, как правило, не имеют индивидуальной компенсации реактивной мощности, их $\cos \varphi$ составляет 0,5 – 0,65.

Задание

Рассчитать осветительную нагрузку для предыдущей задачи.

Практическое занятие
«Определение расчетных электрических нагрузок общественных
зданий»

Теоретическая часть

Теоретическая часть приведена в методических указаниях к выполнению контрольной работы.

Задача 6

Рассчитать электрические нагрузки общественных зданий.

Исходные данные приведены в таблицах 6.1 – 6.2.

Таблица – Характеристики зданий

Номера зданий	Наименование зданий
10	Магазин промтоварный, 250 кв. м
11	Магазин продовольственный, 250 кв. м
14	Детские ясли-сад, 280 мест
17	Магазин овощи, цветы, спорткульттовары, 1435 кв.м
22	Школа, 1568 учащихся
47	Детский ясли-сад, 180 мест
52	Телеателье, кассы, почта, телеграф, 18 раб. мест
62	Клуб на 400 мест
71	Кафе-столовая на 50 мест
73, 74, 75, 76, 77	Общежитие на 360 мест
100	Школа на 1280 учащихся
105	Школа на 1380 учащихся
114	Школа на 1480 учащихся
141	Магазин продовольственный, 860 кв. м
142	Столовая на 80 мест
121	Детские ясли-сад, 240 мест
123	Магазин промтоварный, 250 кв. м
147	Магазин продовольственный, 250 кв. м
148	Телеателье, кассы, почта, телеграф, 19 раб. мест

Продолжение таблицы 6.2

149	Телеателье, кассы, почта, телеграф, 16 раб. мест
150	Телеателье, кассы, почта, телеграф, 12 раб. мест
151	Телеателье, кассы, почта, телеграф, 14 раб. мест
160	Магазин промтоварный, 350 кв. м
161	Магазин продовольственный, 350 кв. м
162	Магазин промтоварный, 300 кв. м
163	Магазин продовольственный, 300 кв. м

Таблица – Варианты заданий

№ Варианта	Номера зданий				
1	10	11	14	17	22
2	47	52	62	71	73
3	100	105	114	141	74
4	142	121	123	147	75
5	148	149	150	151	76
6	160	161	162	163	77
7	10	11	114	147	76
8	47	52	123	151	77
9	100	105	150	163	22
10	142	121	162	17	73
11	148	149	14	71	74
12	160	161	62	141	75
13	10	14	100	17	148
14	11	47	105	141	149
15	160	121	114	123	150
16	161	14	100	147	151
17	162	47	105	62	114
18	163	121	114	22	142
19	22	17	11	14	10
20	73	71	52	62	47
21	74	141	105	114	100
22	75	147	121	123	142
23	76	151	149	150	148
24	77	163	161	162	160
25	76	147	11	114	10
26	77	151	52	123	47
27	22	163	105	150	100
28	73	17	121	162	142
29	74	71	149	14	148
30	75	141	161	62	160
31	148	17	14	100	10
32	149	141	47	105	11
33	150	123	121	114	160
34	151	147	14	100	161
35	114	62	47	105	162
36	10	52	114	147	76
37	47	105	123	151	77
38	100	121	150	163	76
39	142	149	162	147	77
40	148	161	114	151	22
41	160	11	123	163	73
42	10	52	150	17	74
43	47	105	162	71	75
44	100	121	14	141	148

№ Варианта	Номера зданий				
45	142	22	121	114	163
46	161	162	160	10	141
47	148	17	151	100	149
48	47	150	114	105	162
49	162	121	123	142	149
50	10	11	14	71	74
51	47	52	62	141	75
52	100	105	114	17	148
53	142	121	123	141	149
54	148	149	150	123	150
55	160	161	162	147	151
56	10	11	114	62	114
57	47	52	123	22	142
58	100	105	150	14	10
59	142	121	162	62	47
60	148	149	14	114	100
61	160	161	62	123	142
62	10	14	100	150	148
63	11	47	105	162	160
64	160	121	114	105	10
65	161	14	100	123	47
66	162	47	105	150	100
67	163	121	114	162	142
68	22	17	11	14	148
69	73	71	52	62	160
70	74	141	105	100	10
71	75	147	121	105	11
72	76	151	149	114	160
73	77	163	161	100	161
74	76	147	11	105	162
75	77	151	52	114	163
76	22	163	105	10	141
77	73	17	121	100	149
78	74	71	149	105	162
79	75	141	161	142	149
80	76	163	11	123	100
81	77	147	52	150	142
82	76	151	105	162	148
83	77	163	121	14	160
84	22	17	149	62	10
85	73	71	161	100	11
86	74	141	14	105	160
87	75	17	47	114	161
88	148	141	121	100	162

Индивидуальные задания

№ Варианта	Номера зданий				
1	1	6	53	63	101
2	2	7	54	64	102
3	3	8	55	65	103
4	4	9	56	66	104
5	5	21	55	67	144
6	6	20	58	68	106
7	7	12	59	69	107
8	8	13	43	70	108
9	9	18	44	94	109
10	41	15	45	72	110
11	42	16	63	95	111
12	12	19	64	96	112
13	13	18	65	75	113
14	1	21	41	97	143
15	2	20	42	98	115
16	3	18	43	99	116
17	4	19	44	94	117
18	5	15	45	95	120
19	6	16	46	96	119
20	7	12	48	97	145
21	8	13	49	98	146
22	9	19	50	99	147
23	1	18	51	63	148
24	2	49	53	64	103
25	3	48	54	65	104
26	4	50	55	66	144
27	15	1	56	67	106
28	16	2	56	68	107
29	21	3	58	69	108
30	20	4	59	70	109
31	18	5	41	72	110
32	19	6	42	75	111
33	51	7	43	63	112
34	50	8	44	64	113
35	20	9	45	65	115

№ Варианта	Номера зданий				
36	21	12	46	66	116
37	1	13	48	67	117
38	2	15	49	68	120
39	3	16	50	69	119
40	4	18	51	70	113
41	1	51	75	41	113
42	2	53	72	42	112
43	3	54	70	43	111
44	4	55	69	44	110
45	5	56	68	45	109
46	6	58	67	46	108
47	7	59	66	48	107
48	8	63	65	49	106
49	9	64	64	50	105
50	12	65	63	51	104
51	13	66	59	52	103
52	15	67	58	53	102
53	16	68	56	54	101
54	18	69	55	55	100
55	19	70	54	56	99
56	20	72	53	56	98
57	21	75	51	58	97
58	41	15	58	69	108
59	42	16	59	70	109
60	12	19	41	72	110
61	13	18	42	75	111
62	18	5	53	63	101
63	19	6	54	64	102
64	51	7	55	65	103
65	50	8	56	66	104
66	20	9	55	67	144
67	21	12	58	68	106
68	41	15	59	69	107
69	42	16	43	70	108
70	12	19	44	94	109

№ Варианта	Номера зданий				
71	1	7	55	66	144
72	2	8	56	67	106
73	3	9	55	68	107
74	4	21	58	69	108
75	5	20	59	70	109
76	6	12	43	94	110
77	7	13	44	72	111
78	8	18	45	95	112
79	9	15	63	96	113
80	41	16	64	75	143
81	42	19	65	97	115
82	12	18	41	98	116
83	13	21	42	99	117
84	1	20	43	94	120
85	2	18	44	95	119
86	3	19	45	96	145
87	4	15	46	97	146
88	5	16	48	98	147
89	6	12	49	99	148
90	7	13	50	63	103
91	8	19	51	64	104
92	9	18	53	65	144
93	1	49	54	66	106
94	2	48	55	67	107
95	3	50	56	68	108
96	4	1	56	69	109
97	15	2	58	70	110
98	16	3	59	72	111
99	21	4	41	75	112
100	20	5	42	63	113

Характеристики зданий

Номера зданий	Наименование зданий	Этажей	Квартир	Площадь на генплане
1,2,3,4	Угловая блок-секция	9	36	1200
5	2-х секционный жилой дом	5	30	200
6,7,12, 13	6-ти секционный жилой дом	5	90	600
8,9	Жилой дом	9	48	200
15	8-ми секционный жилой дом	9	220	1500
16	6-ти секционный жилой дом	9	192	1200
18,19	Жилой дом	13	48	225
20	4-х секционный жилой дом	5	45	400
21	8-ми секционный жилой дом	5	90	900
41–46	Жилой дом	12	48	225
48,49, 50	3-х секционный жилой дом	5	60	600
51	6-ти секционный жилой дом	9	192	1650
53	3-х секционный жилой дом	5	56	850
54	3-х секционный жилой дом	5	60	500
55	3-х секционный жилой дом	5	60	500
56	6-ти секционный жилой дом	5	90	1350
58	2-х секционный жилой дом	9	48	525
59	4-х секционный жилой дом	5	70	600
63	6-ти секционный жилой дом	5	60	500
64	3-х секционный жилой дом	5	60	500
65	4-ти секционный жилой дом	5	45	600
66	6-ти секционный жилой дом	5	90	1000
67	3-х секционный жилой дом	5	60	600
68	2-х секционный жилой дом	5	30	250
69	6-ти секционный жилой дом	5	90	900
70	2-х секционный жилой дом	5	30	300
72	3-х секционный жилой дом	5	70	600
75	4-х секционный жилой дом	5	80	600
94,95	6-ти секционный жилой дом	5	90	1000
96	4-х секционный жилой дом	5	45	500
97-99	Жилой дом	9	54	600
101	3-х секционный жилой дом	5	60	600
102,103	6-ти секционный жилой дом	5	90	900
104,106–108	3-х секционный жилой дом	5	60	600
109,110, 112,113	3-х секционный жилой дом	5	60	600
111	6-ти секционный жилой дом	5	90	900
143	6-ти секционный жилой дом	9	144	900
144	6-ти секционный жилой дом	5	60	900
145	4-х секционный жилой дом	5	60	700
146	6-ти секционный жилой дом	5	45	400
147,148	6-ти секционный жилой дом	5	90	950
115,116	3-х секционный жилой дом	5	60	600
117,119	6-ти секционный жилой дом	5	90	900
120	Жилой дом	9	54	600

1. В 6-9 этажных домах:

– лифты с электродвигателем мощностью 3 кВт;

2. В домах высотой 10 этажей и выше:

– лифты с электродвигателем мощностью 4,5 кВт;

– лифты с электродвигателем мощностью 7 кВт.

2.1. Расчетные электрические нагрузки жилых зданий

Расчетная электрическая нагрузка квартир $P_{\text{КВ}}$, кВт, приведенная к вводу жилого дома, определяется по формуле:

$$P_{\text{КВ}} = P_{\text{КВ.УД}} \cdot n, \quad (1)$$

где $P_{\text{КВ.УД}}$ – удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир (зданий) по таблице 2, кВт/квартира; n – количество квартир.

При определении расчетной электрической нагрузки линии или на шинах 0,4 кВ ТП должны учитываться суммарное количество квартир, лифтовых установок и другого силового электрооборудования, питающегося от ТП, и потери мощности в питающих линиях 0,38 кВ.

Расчетная нагрузка силовых электроприемников $P_{\text{С}}$, кВт, приведенная к вводу жилого дома, определяется по формуле

$$P_{\text{С}} = P_{\text{Р.Л.}} + P_{\text{СТ.У.}} \quad (2)$$

Мощность лифтовых установок $P_{\text{Р.Л.}}$, кВт, определяется по формуле

$$P_{\text{Р.Л.}} = k_{\text{С}}' \cdot \sum_1^{n_{\text{Л}}} P_{ni} \quad (3)$$

где $k_{\text{С}}'$ – коэффициент спроса по таблице 4; $n_{\text{Л}}$ – количество лифтовых установок; P_{ni} – установленная мощность электродвигателя лифта, кВт.

Мощность электродвигателей насосов водоснабжения, вентиляторов и других санитарно-технических устройств $P_{\text{СТ.У.}}$, кВт, определяется по их установленной мощности с учетом коэффициента спроса $k_{\text{С}}$ по таблице 5;

$$P_{\text{СТ.У.}} = k_{\text{С}}' \cdot \sum_1^n P_{\text{СТ.У}i} \quad (4)$$

Мощность резервных электродвигателей, а также электроприемников противопожарных устройств при расчете электрических нагрузок не учитывается.

Расчетная электрическая нагрузка жилого дома (квартир и силовых электроприемников) $P_{Р.Ж.Д}$, кВт, определяется по формуле

$$P_{Р.Ж.Д} = P_{КВ} + k_y \cdot P_C, \quad (5)$$

где $P_{КВ}$ – расчетная электрическая нагрузка квартир, приведенная к вводу жилого дома, кВт; P_C – расчетная нагрузка силовых электроприемников жилого дома, кВт; k_y – коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников (равен 0,9).

Расчетные коэффициенты реактивной мощности жилых домов следует принимать по таблице 6.

Расчетная электрическая нагрузка жилых зданий микрорайона (квартала), $P_{Р.МР}$, кВт, приведенная к шинам 0,4 кВ ТП, ориентировочно может определяться по формуле:

$$P_{Р.МР} = P_{Р.Ж.ЗД.УД} \cdot S \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

где $P_{Р.Ж.ЗД.УД}$ – удельная расчетная нагрузка жилых зданий, Вт/м² приведена в таблице 7; S - общая площадь жилых зданий микрорайона (квартала), м².

1. В 6-9 этажных домах:

– лифты с электродвигателем мощностью 3 кВт;

2. В домах высотой 10 этажей и выше:

– лифты с электродвигателем мощностью 4,5 кВт;

– лифты с электродвигателем мощностью 7 кВт.

Таблица 2 – Удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир жилых зданий, кВт/квартира

№№ пп	Потребители электроэнергии	Количество квартир													
		1-3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1000
1	Квартиры с плитами*: – на природном газе – на сжиженном газе (в том числе при групповых установках) и на твердом топливе – электрическими мощностью до 8,5 кВт	4,5	2,8	2,3	2	1,8	1,65	1,4	1,2	1,05	0,85	0,77	0,71	0,69	0,67
		6	3,4	2,9	2,5	2,2	2	1,8	1,4	1,3	1,08	1	0,92	0,84	0,76
		10	5,9	4,9	4,3	3,9	3,7	3,1	2,6	2,1	1,5	1,36	1,27	1,23	1,19
2	Квартиры повышенной комфортности с электрическими плитами мощностью до 10,5 кВт**	14	8,1	6,7	5,9	5,3	4,9	4,2	3,3	2,8	1,95	1,83	1,72	1,67	1,62
3	Домики на участках садоводческих товариществ	4	2,3	1,7	1,4	1,2	1,1	0,9	0,76	0,69	0,61	0,58	0,54	0,51	0,46

* в зданиях по типовым проектам

** рекомендуемые значения

Продолжение таблицы 2

Примечания:

1. Удельные расчетные нагрузки для промежуточного числа квартир определяются интерполяцией.
2. Удельные расчетные нагрузки квартир включают в себя нагрузку освещения общедомовых помещений (лестничных клеток, подполий, технических этажей, чердаков и т.д.).
3. Удельные расчетные нагрузки приведены для квартир средней общей площадью 70 м² (квартиры от 35 до 90 м²) в зданиях по типовым проектам и 150 м² (квартиры от 100 до 300 м²) в зданиях по индивидуальным проектам с квартирами повышенной комфортности.
4. Допускается определять расчетную электрическую нагрузку квартир повышенной комфортности по проекту внутреннего электрооборудования квартиры (здания) в зависимости от набора устанавливаемых приборов и режима их работы, характеризующегося средней вероятностью включения (коэффициентом спроса) и несовпадения хозяйственных работ в квартире.
5. Удельные расчетные нагрузки не учитывают покомнатное расселение семей в квартире.
6. Удельные расчетные нагрузки не учитывают общедомовую силовую нагрузку, осветительную и силовую нагрузку встроенных (пристроенных) помещений общественного назначения, нагрузку рекламы, а также применение в квартирах электрического отопления, электроводонагревателей и бытовых кондиционеров (для элитных квартир нагрузка кондиционеров учитывается).
7. Для определения при необходимости утреннего или дневного максимума нагрузок следует применять коэффициенты:
 - 0,7 – для жилых зданий с электрическими плитами;
 - 0,5 – для жилых зданий с плитами на сжиженном газе и твердом топливе.
8. Электрическую нагрузку жилых зданий в период летнего максимума нагрузок можно определить, умножив приведенные в таблице нагрузки зимнего максимума на коэффициенты:
 - 0,7 – для квартир с плитами на природном газе;
 - 0,6 – для квартир с плитами на сжиженном газе и твердом топливе;
 - 0,8 – для квартир с электрическими плитами

Таблица 4 – Коэффициенты спроса лифтовых установок жилых домов k'_c

Количество лифтовых установок	Этажность жилого дома	
	до 12	более 12
2 – 3	0,8	0,9
4 – 5	0,7	0,8
6	0,65	0,75
10	0,5	0,6
20	0,4	0,5
25 и выше	0,35	0,4

Таблица 5 – Коэффициенты спроса электродвигателей санитарно-технических устройств k_c

Количество электродвигателей	k_c
2	1 (0,8)*
3	0,9 (0,75)
5	0,8 (0,7)
8	0,75
10	0,7
15	0,65
20	0,65
30	0,6
50	0,55

* В скобках приведены значения для электродвигателей единичной мощности свыше 30 кВт.

Таблица 6 – Расчетные коэффициенты реактивной мощности жилых домов

Потребитель электроэнергии	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
Квартиры с электрическими плитами	0,98	0,2
Квартиры с плитами на природном, газообразном или твердом топливе	0,96	0,29
Хозяйственные насосы, вентиляционные и другие санитарно-технические устройства	0,8	0,75
Лифты	0,65	1,17

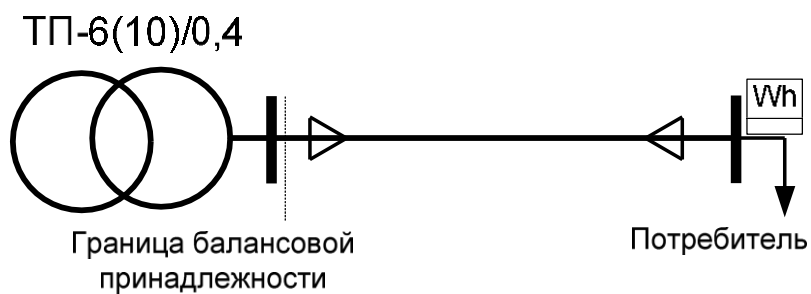
Таблица 7 – Удельные расчетные электрические нагрузки, Вт/м², жилых зданий на шинах 0,4 кВ ТП

№№ пп	Этажность застройки	Здание с плитами		
		на природном газе	на сжиженном газе или твердом топливе	электрическими
1	1 – 2 этажа	15,0/0,96	18,4/0,96	20,7/0,98
2	3 – 5 этажей	15,8/0,96	19,3/0,96	20,8/0,98
3	Более 5 этажей с долей квартир выше 6 этажей			
	20%	15,6/0,94	17,2/0,94	20,2/0,97
	50%	16,3/0,93	17,9/0,93	20,9/0,97
	100%	17,4/0,92	19,0/0,92	21,8/0,96
4	Более 5 этажей с квартирами повышенной комфортности (элитными)			17,8/0,96

Примечания:

1. В таблице учтены нагрузки насосов систем отопления, горячего снабжения и подкачки воды, установленных в ЦТП, или индивидуальных в каждом здании, лифтов и наружного освещения территории микрорайонов и не учтены нагрузки электроотопления, электроводонагрева и бытовых кондиционеров воздуха.
2. Удельные нагрузки определены исходя из средней общей площади квартир 70 м² в зданиях по типовым проектам и 150 м² – для квартир повышенной комфортности (элитных) в зданиях по индивидуальным проектам и относятся к расчетному сроку концепции (схемы) развития.
3. В знаменателе приведены значения коэффициента мощности.
4. При определении электрических нагрузок в существующих или проектируемых районах со средней площадью квартир 55 м² величины удельных нагрузок, приведенных в таблице 6, умножаются на коэффициент 1,3.

Задача. Определить годовые технические потери электроэнергии в кабельной линии электропередачи напряжением 0,38 кВ.



Исходные данные:

Марка кабеля – АПВБбШНГ(А)-LS

№ варианта	Годовое потребление электроэнергии, кВт·ч	Максимальная установленная (договорная) мощность, кВт	Коэффициент мощности $\cos\varphi$	Сечение КЛ, мм ²	Длина кабеля, м
1	45580	53,2	0,85	70	120
2	52140	58,6	0,84	95	130
3	82080	68,4	0,83	120	140
4	97760	75,2	0,82	150	150
5	64610	55,8	0,81	70	100
6	61400	62,3	0,91	95	110
7	90450	71,9	0,9	120	120
8	74820	78,1	0,89	150	130
9	65420	58,4	0,88	70	135
10	62210	66	0,87	95	145
11	91250	75,4	0,86	120	155
12	75620	81	0,96	150	165
13	66220	61	0,95	70	125
14	63000	69,7	0,94	95	135
15	92050	78,9	0,93	120	145
16	76420	83,9	0,92	150	150
17	67010	63,6	0,94	70	160
18	63800	73,4	0,95	95	170
19	92850	82,4	0,96	120	180
20	77220	86,8	0,97	150	140
21	99420	76,4	0,92	150	115
22	85410	79	0,91	150	125
23	78320	79,4	0,91	150	135
24	91460	78,5	0,89	120	125
25	65950	69,4	0,92	95	140
26	56420	59,7	0,87	95	135
27	51050	59,6	0,87	70	165
28	58397	65,6	0,86	95	125
29	91930	76,6	0,85	120	135
30	109491	84,2	0,84	150	145
31	72363	62,5	0,83	70	150
32	68768	69,8	0,93	95	160
33	101304	80,5	0,92	120	170
34	83798	87,5	0,91	150	180
35	73270	65,4	0,9	70	140
36	69675	73,9	0,89	95	115
37	102200	84,4	0,88	120	125
38	84694	90,7	0,98	150	135

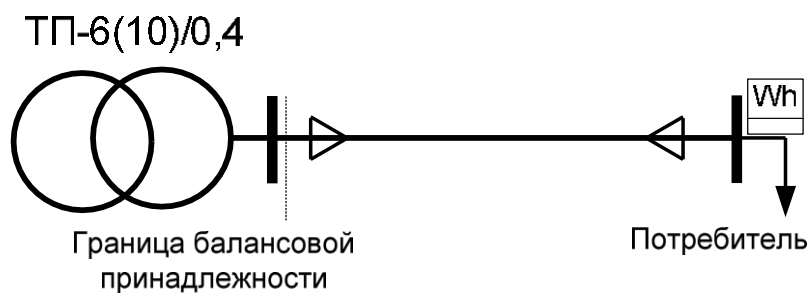
39	74166	68,3	0,97	70	125
40	70560	78,1	0,96	95	140
41	103096	88,4	0,95	120	135
42	45580	55,8	0,85	70	100
43	52140	62,3	0,84	95	110
44	82080	71,9	0,83	120	120
45	97760	78,1	0,82	150	130
46	64610	58,4	0,81	70	135
47	61400	66	0,91	95	145
48	90450	75,4	0,9	120	155
49	74820	81	0,89	150	165
50	65420	61	0,88	70	125
51	62210	69,7	0,87	95	135
52	91250	78,9	0,86	120	145
53	75620	83,9	0,96	150	150
54	66220	63,6	0,95	70	160
55	63000	73,4	0,94	95	170
56	92050	82,4	0,93	120	180
57	76420	86,8	0,92	150	140
58	67010	76,4	0,94	70	115
59	63800	79	0,95	95	125
60	92850	79,4	0,96	120	135
61	77220	78,5	0,97	150	125
62	99420	69,4	0,92	150	140
63	85410	59,7	0,91	150	135
64	78320	59,584	0,91	150	165
65	91460	65,632	0,89	120	125
66	65950	76,608	0,92	95	135
67	56420	84,224	0,87	95	145
68	51049,6	62,496	0,87	70	150
69	58396,8	69,776	0,86	95	160
70	91929,6	80,528	0,85	120	170
71	109491	87,472	0,84	150	180
72	72363,2	65,408	0,83	70	140
73	68768	73,92	0,93	95	115
74	101304	84,448	0,92	120	125
75	83798,4	90,72	0,91	150	135
76	73270,4	68,32	0,9	70	125
77	69675,2	78,064	0,89	95	140
78	102200	88,368	0,88	120	135
79	84694,4	55,8	0,98	150	100
80	74166,4	62,3	0,97	70	110
81	70560	71,9	0,96	95	120
82	103096	78,1	0,95	120	130
83	45580	58,4	0,85	70	135
84	52140	66	0,84	95	145
85	82080	75,4	0,83	120	155
86	97760	81	0,82	150	165
87	64610	61	0,81	70	125
88	61400	69,7	0,91	95	135

Список литературы

1. Шведов, Г.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение : учеб. пособие для вузов / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко; под ред. Ю.С. Железко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 424 с.
2. Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии : рук. для практ. расчетов / Ю.С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
3. Инструкция по организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям. [утв. Прик. Минэнерго РФ от 30.12.2008 г. № 326].
4. Григорьев, В.И. Электроснабжение и электрооборудование цехов / В.И. Григорьев, Э.А. Киреева, В.А. Миронов, А.Н. Чохонелидзе. - М. : Энергоатомиздат, 2003. – 245 с.

Пример расчета потерь электроэнергии в КЛ 0,38 кВ

Исходные данные:



Годовое потребление электроэнергии – 54622 кВт·ч.

Максимальная установленная (договорная) мощность – 63,4 кВт.

Напряжение КЛ – 0,38 кВ.

Расчетный период – 1 год (8760 ч).

Коэффициент мощности – $\cos\varphi$ 0,93.

Марка кабеля – АСБ-1-(4х95).

Длина кабеля – 110 м.

Решение:

Активное сопротивление КЛ определяется в соответствии с паспортными данными по формуле:

$$R_{\text{КЛ}} = \frac{r_0 \cdot L}{n_{\text{Ц}}}, \text{ Ом,}$$

где r_0 – удельное активное сопротивление на 1 км кабеля, Ом/км;

L – длина кабеля, км;

$n_{\text{Ц}}$ – количество параллельных цепей, шт.

Для заданного кабеля:

$$R_{\text{КЛ}} = \frac{0,396 \cdot 0,11}{1} = 0,044 \text{ Ом.}$$

Средняя нагрузка определяется по формуле:

$$I_{\text{ср}} = \frac{W_0}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср}} \cdot T \cdot \cos\varphi}, \text{ А,}$$

где W_0 – отпуск электроэнергии в сеть за время T , кВт·ч;

$U_{\text{ср}}$ – среднее напряжение элемента за расчетный период T , кВ;

$$I_{cp} = \frac{54622}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 8760 \cdot 0,93} = 10,2 \text{ А},$$

Число часов использования наибольшей нагрузки сети определяется по формуле:

$$T_{MAX} = \frac{W_O}{P_{MAX}}, \text{ ч},$$

где P_{MAX} – максимальная установленная (договорная) мощность, кВт.

$$T_{MAX} = \frac{54622}{63,4} = 861,55, \text{ ч},$$

Коэффициент заполнения графика определяется по формуле:

$$k_3 = \frac{W_o}{P_{max} T} = \frac{T_{max}}{T} = \frac{P_{cp}}{P_{max}} = \frac{861,55}{8760} = 0,1, \text{ о.е.}$$

Квадрат коэффициента формы графика определяется по формуле:

$$k_\phi^2 = \frac{1 + 2k_3}{3k_3} = \frac{1 + 2 \cdot 0,1}{3 \cdot 0,1} = 4,06, \text{ о.е.},$$

Нагрузочные потери мощности при средних за расчетный период нагрузках в КЛ определяются по формуле:

$$\Delta P_{cp} = 3 \cdot I_{cp}^2 \cdot R \cdot 10^{-3} = \frac{P_{cp}^2 + Q_{cp}^2}{U_{cp}^2} \cdot R = \frac{P_{cp}^2 \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}{U_{cp}^2} \cdot R \cdot 10^3, \text{ кВт},$$

где P_{cp} , Q_{cp} – средние значения активной и реактивной мощности за расчетный период T , МВт, Мвар;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности, о.е.;

$$\Delta P_{cp} = 3 \cdot 10,2^2 \cdot 0,044 \cdot 10^{-3} = 0,0137, \text{ кВт},$$

Нагрузочные потери электроэнергии в КЛ, за расчетный период определяются по формуле:

$$\Delta W_n = k_k \cdot \Delta P_{cp} \cdot T \cdot k_\phi^2, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

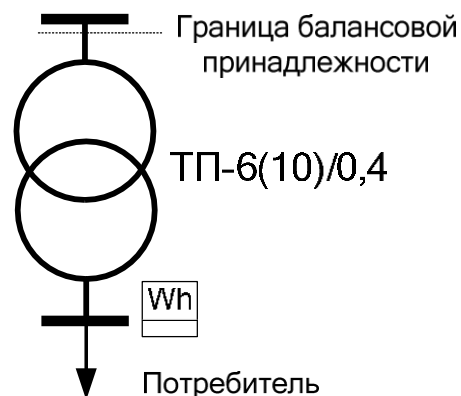
где k_k – коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузки (принимается равным 0,99), о.е.;

$$\Delta W_n = 0,99 \cdot 0,0137 \cdot 8760 \cdot 4,06 = 482,376, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\Delta W_{\%} = \frac{\Delta W_{\text{H}}}{W_{\text{O}}} \cdot 100\% = \frac{482,376}{54622} \cdot 100\% = 0,88\%.$$

Задача. Определить годовые технические потери электроэнергии в трансформаторе.

Исходные данные:



№ варианта	Годовое потребление электроэнергии, кВт·ч	Максимальная установленная (договорная) мощность, кВт	Коэффициент мощности $\cos\varphi$	Рабочее напряжение на высокой стороне трансформатора, кВ	Марка трансформатора
1	383400	85,2	0,85	10,2	ТМ-100
2	429520	153,4	0,84	10,25	ТМ-250
3	1273380	335,1	0,83	10,3	ТМ-400
4	1789200	426	0,82	10,35	ТМ-630
5	337051	78,4	0,81	10,4	ТМ-100
6	620963	141,1	0,91	10,45	ТМ-250
7	1387314	308,3	0,9	10,5	ТМ-400
8	1802832	391,9	0,89	10,55	ТМ-630
9	261905	90,3	0,88	10,6	ТМ-100
10	487812	162,6	0,87	10,65	ТМ-250
11	1101139	355,2	0,86	10,7	ТМ-400
12	1444992	451,6	0,96	10,75	ТМ-630
13	264290	80,1	0,95	10,8	ТМ-100
14	490266	144,2	0,94	10,85	ТМ-250
15	1102479	315	0,93	10,9	ТМ-400
16	1441584	400,4	0,92	10,95	ТМ-630
17	346764	93,7	0,94	11	ТМ-100
18	641212	168,7	0,95	10,1	ТМ-250
19	1437579	368,6	0,96	10,15	ТМ-400
20	1874400	468,6	0,97	10,05	ТМ-630
21	421740	93,7	0,83	10,6	ТМ-100
22	472472	168,7	0,82	10,7	ТМ-250
23	1400718	368	0,81	10,6	ТМ-400
24	1968120	469	0,8	10,2	ТМ-630
25	301191	94	0,9	10,2	ТМ-100
26	560984	170	0,89	10,3	ТМ-250
27	388001	89,5	0,86	10,25	ТМ-100
28	434674	161,1	0,85	10,3	ТМ-250
29	1288661	351,9	0,84	10,35	ТМ-400
30	1810670	447,3	0,83	10,4	ТМ-630
31	341096	82,3	0,82	10,45	ТМ-100
32	628415	148,2	0,92	10,5	ТМ-250
33	1403962	323,7	0,91	10,55	ТМ-400
34	1824466	411,5	0,9	10,6	ТМ-630
35	265048	94,8	0,89	10,65	ТМ-100
36	493666	170,7	0,88	10,7	ТМ-250
37	1114353	373,0	0,87	10,75	ТМ-400

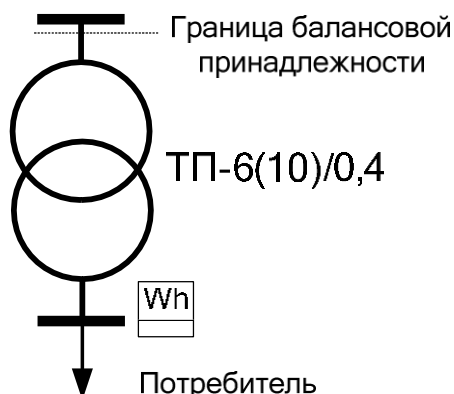
38	1462332	474,2	0,97	10,8	TM-630
39	267461	84,1	0,96	10,85	TM-100
40	496149	151,4	0,95	10,9	TM-250
41	1115709	330,8	0,94	10,95	TM-400
42	1789200	391,9	0,82	10,55	TM-630
43	337051	90,3	0,81	10,6	TM-100
44	620963	162,6	0,91	10,65	TM-250
45	1387314	355,2	0,9	10,7	TM-400
46	1802832	451,6	0,89	10,75	TM-630
47	261905	80,1	0,88	10,8	TM-100
48	487812	144,2	0,87	10,85	TM-250
49	1101139	315	0,86	10,9	TM-400
50	1444992	400,4	0,96	10,95	TM-630
51	264290	93,7	0,95	11	TM-100
52	490266	168,7	0,94	10,1	TM-250
53	1102479	368,6	0,93	10,15	TM-400
54	1441584	468,6	0,92	10,05	TM-630
55	346764	93,7	0,94	10,6	TM-100
56	641212	168,7	0,95	10,7	TM-250
57	1437579	368	0,96	10,6	TM-400
58	1874400	469	0,97	10,2	TM-630
59	421740	94	0,83	10,2	TM-100
60	472472	170	0,82	10,3	TM-250
61	1400718	89,46	0,81	10,25	TM-400
62	1968120	161,07	0,8	10,3	TM-630
63	301191	351,855	0,9	10,35	TM-100
64	560984	447,3	0,89	10,4	TM-250
65	388001	82,32	0,86	10,45	TM-400
66	434674	148,155	0,85	10,5	TM-630
67	1288661	323,715	0,84	10,55	TM-100
68	1810670	411,495	0,83	10,6	TM-250
69	341096	94,815	0,82	10,65	TM-400
70	628415	170,73	0,92	10,7	TM-630
71	1403962	372,96	0,91	10,75	TM-100
72	1824466	474,18	0,9	10,8	TM-250
73	265048	84,105	0,89	10,85	TM-400
74	493666	151,41	0,88	10,9	TM-630
75	1114353	330,75	0,87	10,95	TM-100
76	1462332	391,9	0,97	10,55	TM-250
77	267461	90,3	0,96	10,6	TM-400
78	496149	162,6	0,95	10,65	TM-630
79	1115709	355,2	0,94	10,7	TM-100
80	1789200	451,6	0,82	10,75	TM-250
81	337051	80,1	0,81	10,8	TM-400
82	620963	144,2	0,91	10,85	TM-630
83	1387314	315	0,9	10,9	TM-100
84	1802832	400,4	0,89	10,95	TM-250
85	261905	93,7	0,88	11	TM-400
86	487812	168,7	0,87	10,1	TM-630
87	1101139	368,6	0,86	10,15	TM-100
88	1444992	468,6	0,96	10,05	TM-250

Список литературы

1. Шведов, Г.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение : учеб. пособие для вузов / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко; под ред. Ю.С. Железко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 424 с.
2. Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии : рук. для практ. расчетов / Ю.С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
3. Инструкция по организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям. [утв. Прик. Минэнерго РФ от 30.12.2008 г. № 326].
4. Григорьев, В.И. Электроснабжение и электрооборудование цехов / В.И. Григорьев, Э.А. Киреева, В.А. Миронов, А.Н. Чохонелидзе. - М. : Энергоатомиздат, 2003. – 245 с.

Пример расчета потерь электроэнергии в двухобмоточном трансформаторе 6(10)/0,4 кВ

Исходные данные:



Годовое потребление электроэнергии – 258652 кВт·ч.

Максимальная установленная (договорная) мощность – 78,2 кВт.

Номинальное напряжение на высокой стороне трансформатора – 10 кВ.

Рабочее напряжение на высокой стороне трансформатора – 10,2 кВ.

Расчетный период – 1 год (8760 ч).

Коэффициент мощности – $\cos\varphi$ 0,92

Марка трансформатора – ТМ-100/10.

Решение:

Активное сопротивление двухобмоточного трехфазного трансформатора определяется в соответствии с паспортными данными оборудования по формуле:

$$R_T = \frac{\Delta P_{КЗ} \cdot U_{В\text{ ном}}^2}{S_{ном}^2} \cdot 10^{-3}, \quad \text{Ом/фазу,}$$

где $\Delta P_{КЗ}$ – потери мощности короткого замыкания, кВт;

$U_{В\text{ ном}}$ – номинальное напряжение высшей обмотки, кВ;

$S_{ном}$ – номинальная мощность трехфазного трансформатора, МВ·А.

Для заданного трансформатора:

$$R_T = \frac{1,97 \cdot 10^2}{0,1^2} \cdot 10^{-3} = 19,7 \text{ Ом.}$$

Средняя нагрузка определяется по формуле:

$$I_{cp} = \frac{W_o}{\sqrt{3} \cdot U_{cp} \cdot T \cdot \cos \varphi}, \text{ A},$$

где W_o – отпуск электроэнергии в сеть за время T , кВт·ч;

U_{cp} – среднее напряжение элемента за расчетный период T , кВ;

$$I_{cp} = \frac{258652}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 8760 \cdot 0,92} = 1,85 \text{ A},$$

Число часов использования наибольшей нагрузки сети определяется по формуле:

$$T_{\text{MAX}} = \frac{W_o}{P_{\text{MAX}}}, \text{ ч},$$

где P_{MAX} – максимальная установленная (договорная) мощность, кВт.

$$T_{\text{MAX}} = \frac{258652}{78,2} = 3307,57, \text{ ч},$$

Коэффициент заполнения графика определяется по формуле:

$$k_z = \frac{W_o}{P_{\text{max}} \cdot T} = \frac{T_{\text{max}}}{T} = \frac{P_{cp}}{P_{\text{max}}} = \frac{3307,57}{8760} = 0,38, \text{ о.е.}$$

Квадрат коэффициента формы графика определяется по формуле:

$$k_\phi^2 = \frac{1 + 2k_z}{3k_z} = \frac{1 + 2 \cdot 0,38}{3 \cdot 0,38} = 1,55, \text{ о.е.},$$

Нагрузочные потери мощности при средних за расчетный период нагрузках в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta P_{cp} = 3 \cdot I_{cp}^2 \cdot R \cdot 10^{-3} = \frac{P_{cp}^2 + Q_{cp}^2}{U_{cp}^2} \cdot R = \frac{P_{cp}^2 \cdot (1 + \text{tg}^2 \varphi)}{U_{cp}^2} \cdot R \cdot 10^3, \text{ кВт},$$

где P_{cp} , Q_{cp} – средние значения активной и реактивной мощности за расчетный период T , МВт, Мвар;

$\text{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности, о.е.;

$$\Delta P_{cp} = 3 \cdot 1,85^2 \cdot 1,97 \cdot 10^{-3} = 0,202, \text{ кВт},$$

Нагрузочные потери электроэнергии в трансформаторе, за расчетный период определяются по формуле:

$$\Delta W_n = k_\kappa \cdot \Delta P_{cp} \cdot T \cdot k_\phi^2, \text{ кВт·ч},$$

где k_k – коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузки (принимается равным 0,99), о.е.;

$$\Delta W_H = 0,99 \cdot 0,202 \cdot 8760 \cdot 1,55 = 2715,328 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Потери электроэнергии холостого хода в силовом трансформаторе определяются на основе приведенных в паспортных данных оборудования потерь мощности холостого хода ΔP_x , по формуле:

$$\Delta W_x = \Delta P_x \sum_{i=1}^m T_{pi} \left(\frac{U_i}{U_{ном}} \right)^2, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

где T_{pi} – число часов работы трансформатора в i-м режиме, ч;

U_i – напряжение на высшей стороне трансформатора в i-м режиме, кВ;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение высшей обмотки трансформатора, кВ.

$$\Delta W_x = 0,33 \cdot 8760 \cdot \frac{(10,2)^2}{10^2} = 3007,59 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Суммарные потери в трансформаторе:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_H + \Delta W_x = 2715,328 + 3007,59 = 5722,918 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

$$\Delta W_{\Sigma} (\%) = \frac{\Delta W_{\Sigma}}{W_o} \cdot 100\% = \frac{5722,918}{258652} \cdot 100\% = 2,21\%.$$

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

**Методические указания
по организации самостоятельной работы
по дисциплине
«Инженерные системы зданий и сооружений
(электроснабжение с основами электротехники)»
Направление подготовки 08.03.01 Строительство**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины	4
2 План-график выполнения самостоятельной работы	6
3 Методические рекомендации по изучению теоретического материала	7
4 Методические указания по подготовке к практическим и лабораторным занятиям.....	14
Список рекомендуемой литературы	15

Введение

Самостоятельная работа является внеаудиторной и предназначена для самостоятельного изучения определенных тем дисциплины по материалам, рекомендованным преподавателем, а также в порядке подготовки к практическим занятиям.

Цель дисциплины «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)» – формирование согласно ООП ВО набора компетенций будущего бакалавра по направлению 08.03.01 «Строительство».

Для достижения этой цели в процессе изучения дисциплины решаются следующие задачи: ознакомление с основными понятиями и терминами изучаемой дисциплины, которыми будущий специалист будет оперировать в своей практической деятельности.

1 Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности специалиста, способного к саморазвитию, самообразованию, инновационной деятельности. Решение этой задачи вряд ли возможно только путем передачи знаний в готовом виде от преподавателя к студенту. Для решения этой задачи в учебные планы всех специальностей включена самостоятельная работа, составляющая 50% учебного времени студента.

В широком смысле под самостоятельной работой студентов следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов, как в учебной аудитории, так и вне ее, в контакте с преподавателем и в его отсутствие.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Содержание внеаудиторной самостоятельной работы определяется в соответствии с рекомендуемыми видами заданий согласно примерной и рабочей программ учебной дисциплины. Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)» являются:

– для овладения знаниями: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы), составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными

документами, учебно-исследовательская работа, использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернета и др.;

– для закрепления и систематизации знаний: обработка текста, повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей, составление плана, составление таблиц для систематизации учебного материала, ответ на контрольные вопросы, заполнение рабочей тетради, аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, конспект-анализ и др);

– для закрепления навыков – подготовка к лабораторным работам, оформление отчетов по лабораторным работам, подготовка к практическим занятиям, выполнение дополнительных заданий, выданных преподавателем.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов. Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

Следует с первых дней обучения в вузе приучать себя к целесообразному распределению занятий по месяцам и неделям семестра. При этом очень важна равномерная работа как основное условие успешных занятий в вузе.

Высшей ступенью обучения является приобретение навыков самостоятельной творческой работы, а творческому применению знаний нужно учиться параллельно с их приобретением.

Задачами самостоятельной работы студентов по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)» являются:

– формирования готовности студентов к поиску, обработке и

применению информации для решения профессиональных задач;

– систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;

– развитие познавательных способностей и активности студентов, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;

– формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;

– выработка навыков эффективной самостоятельной профессиональной деятельности.

2 План-график выполнения самостоятельной работы

Общий объем самостоятельной работы в рамках изучения дисциплины «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)» составляет 108 академических часов.

В структуре самостоятельной работы предусмотрено самостоятельное изучение теоретического материала, подготовка к практическим занятиям, подготовка к лабораторным работам.

В таблице 2.1 приведен план график выполнения самостоятельной работы.

Таблица 2.1 – План график выполнения самостоятельной работы

Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	очная форма				очно-заочная форма			
		Объем часов, в том числе				Объем часов, в том числе			
		Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего	Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
Подготовка к лекции	Собеседование	ИД-11 _{ОПК-1} , ИД-4 _{ОПК-3} , ИД-2 _{ОПК-4}	10.00	1.00	11.00	ИД-11 _{ОПК-1}	8.00	1.00	9.00
Подготовка к лабораторным работам	Собеседование	ИД-11 _{ОПК-1}	10.00	1.00	11.00	ИД-11 _{ОПК-1}	8.00	1.00	9.00
Подготовка к практическим занятиям	Собеседование	ИД-11 _{ОПК-1} , ИД-4 _{ОПК-3} , ИД-2 _{ОПК-4}	10.00	1.00	11.00	ИД-4 _{ОПК-3} , ИД-2 _{ОПК-4}	8.00	1.00	9.00
Самостоятельное изучение литературы	Собеседование	ИД-11 _{ОПК-1} , ИД-4 _{ОПК-3} , ИД-2 _{ОПК-4}	19.00	2.00	21.00	ИД-11 _{ОПК-1} , ИД-4 _{ОПК-3} , ИД-2 _{ОПК-4}	70.00	2.00	72.00
Итого за 5 семестр			49.00	5.00	54.00		97.00	5.00	102.00
Итого			49.00	5.00	54.00		97.00	5.00	102.00

3 Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Большая часть самостоятельной работы студента состоит в изучении литературы. Одна из задач студента – научиться самостоятельно работать с книгой, а это требует определенных затрат энергии и времени. Самостоятельная работа с книгой может быть успешной, если текст не только прочитан, но и законспектирован. Существует несколько форм записей, но любая форма записи не даст нужного результата, если не будет пробуждать мысли того, кто ее ведет, если отсутствует активная работа ума и формирование своих выводов из прочитанного.

Выбор формы записи зависит от индивидуальных особенностей человека, его образованности и опыта. При этом не меньшую роль играет назначение записей, то есть то, какие задачи ставит перед собой человек (для самообразования, для выступления на семинаре, для использования в будущем).

Введение записей мобилизует наряду со зрительной памятью, также и моторную память. Кроме того, у человека, систематически ведущего записи изучаемой литературы, создается свой фонд материалов для быстрого повторения и мобилизации накопленных знаний.

Все записи должны быть убористыми и компактными. Интервалы между строками должны быть достаточными, чтобы вписывать дополнения. Рекомендуется вести записи ручкой, а карандашом или ручкой другого цвета пользоваться для отметок и выделений при последующей работе. Полезно также датировать записи.

Записи могут носить различный характер: план, выписки, тезисы, аннотирование, конспектирование.

1. План - наиболее краткая формой записи. Это перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. План обычно раскрывает структуру произведения, логику автора, способствует лучшей ориентации в содержании.

Так, составленным планом можно воспользоваться, чтобы вспомнить

прочитанное или быстро отыскать в книге нужное место. Представление об основных пунктах плана дает оглавление книги, поэтому во многих случаях наименования глав и разделов можно использовать в качестве пунктов. Составление плана приучает логически мыслить, вырабатывать умение сжато и последовательно излагать суть вопроса в письменной и устной форме.

Существует два способа составления плана: работа над ним по ходу чтения и составление плана после ознакомления с произведением. При этом план получается более последовательным и стройным.

Трудность составления плана состоит в том, что надо выяснить для себя, прежде всего, построение изучаемого текста, ход мыслей автора и лишь затем изложить содержание работы кратко и ясно. При всей своей краткости план дает представление о содержании прочитанного. Следует учесть, что форма плана не исключает цитирования отдельных мест и обобщений. Различают простой и развернутый план. В отличие от простого плана развернутый план не только содержит перечисление вопросов, но и раскрывает основные идеи произведения, может включать выдержки из него, схемы, таблицы. Планом, особенно развернутым, необходимо пользоваться при написании выступления или статьи.

В целом развернутый план дает гораздо большее представление о произведении, его основных идеях, задачах, которые в нем решаются. Он может включать положения, замечания, собственные мысли студента.

Важно знать, что составление планов помогает вырабатывать способность к отвлеченному, абстрактному мышлению, но наибольшую пользу составление плана даст подготовленным лицам, которые бывают достаточно лишь взглянуть на перечень основных вопросов, чтобы воспроизвести содержание прочитанного.

2. Тезисы – более сложная и совершенная форма записи, чем составление плана.

Это сжатое изложение основных мыслей прочитанного произведения или подготовляемого выступления. Особенностью тезисов является их утвердительный характер.

В них сосредотачивается самое главное, только выводы и обобщения, в них меньше доказательств, иллюстрации и пояснений. Тезисы не должны повторять дословно текст, но в ряде мест могут быть близки к нему, воспроизводя некоторые характерные выражения автора, важные для понимания хода его мыслей. Составление тезисов помогает глубже понять основные идеи произведения, выделить главное в нем; приучают сжато, точно и четко сформулировать свои мысли, повышает культуру речи и письма. При составлении тезисов учитывают следующее. Прежде всего, если произведение небольшое, необходимо внимательно изучать его в целом, если большое – изучать по главам и разделам. Затем, когда будут ясны основные идеи, кратко и последовательно излагать их в виде пунктов.

Различают простые и сложные, развернутые тезисы. Если записывают только утверждение чего – либо, такой тезис называют простым, а сложным тезисом будет выражение главной мысли, содержащее, кроме утверждения, еще и краткое ее доказательство.

Часто тезисы формулируются самим автором как выводы и обобщения в заключении книги или разделах книги. Нередко тезисы выделяются в тексте другим шрифтом.

Рекомендуется делать тезисные записи своими словами, причем можно записывать один абзац за другим, учитывая смысловую связь между ними. Но в большинстве случаев следует составлять сводный тезис, сложный по форме. При этом объединяется несколько утверждений, тесно связанных между собой.

Тезисы по содержанию очень близки к конспекту, но конспект носит более описательный характер, и его положения не столь категоричны, как в тезисах. Кроме того, конспект представляет собой более полную форму записи.

Следует отметить, что различие между формами записей условно, но в любой форме запись – важнейшая часть самостоятельной работы с книгой.

3. Выписки. Это записи текста из книги: теоретических положений, статистических данных, имеющих по мнению читателя важное значение.

Достоинство выписок состоит в точности воспроизведения текста книги, удобстве пользования записями при последующей работе, в накоплении обобщений и фактического материала. Выписки полезны для повторения, освежения в памяти прочитанного, для быстрой мобилизации своих знаний, когда необходимо в короткий срок вспомнить материал. Выписки выделяют из текста самое главное и тем самым помогают глубже понять его. Без них трудно обойтись при подготовке доклада, реферата, выступления. Выписки следует рассматривать как составную часть тезисов и конспектов.

Выписывать текст можно и по ходу чтения и после его завершения. В последнем случае надо замечать места, которые потом будут выписаны. Необходимо каждую выписку снабжать ссылкой на источник с указанием соответствующей страницы. Это нужно, чтобы в последствии можно было быстро найти в книге соответствующее место. Целесообразно выписывать из текста только такие места, в которых содержится самое главное, суть вопроса. Выписки должны быть ориентированы на изучение произведения в целом, а не отдельных мест, поскольку положения, вырванные из общего контакта, понимаются нередко совсем не так, как этого хотел автор. Иначе говоря, отдельно взятые, лишённые пояснений выдержки могут быть не поняты или поняты неправильно.

Выписки бывают дословные (цитаты) и «свободные», когда мысли автора излагаются своими словами. Следует учесть, что большие отрывки, которые трудно цитировать, целесообразнее в краткой форме переложить своими словами, но «яркие» и важные места лучше выписывать дословно. Каждую цитату следует заключать в кавычки. Если ее берут из середины предложения, то после вводных кавычек ставят три точки. Ставят их и в конце цитаты, если из предложения опущены последние слова.

Следует знать, что какого-либо единого метода выписок, годного для всех случаев, не существует, поскольку у каждого человека свои особенности мышления и восприятия, свой подход к теме. Все это влияет на содержание и характер выписок.

Выписки рекомендуется хранить в картотеке, конвертах или папках, на которых следует обозначить общую тему.

4. Аннотация – еще одна форма записи, являющаяся кратким обобщением содержания книги. Ею удобно пользоваться, если имеется намерение вернуться к изучаемому произведению. Аннотация может быть необходима и для того, чтобы не забыть о нем.

Для составления аннотации надо сначала полностью прочитать и глубоко продумать произведение. При всей своей краткости аннотация может содержать отдельные фрагменты авторского текста, а не только оценку книги или статьи.

5. Резюме очень близко к аннотации. Это запись, являющаяся краткой оценкой прочитанного материала. Различие между ними состоит в том, что аннотация сжато характеризует произведение в целом, а резюме концентрирует внимание на его выводах, главных итогах.

6. Конспект – наиболее совершенная и наиболее сложная форма записи. Слово «конспект» происходит от латинского «conspectus», что означает «обзор, изложение». В правильно составленном конспекте обычно выделено самое основное в изучаемом тексте, сосредоточено внимание на наиболее существенном, в кратких и четких формулировках обобщены важные теоретические положения.

Конспект представляет собой относительно подробное, последовательное изложение содержания прочитанного. На первых порах целесообразно в записях ближе держаться тексту, прибегая зачастую к прямому цитированию автора. В дальнейшем, по мере выработки навыков конспектирования, записи будут носить более свободный и сжатый характер.

Конспект книги обычно ведется в тетради. В самом начале конспекта указывается фамилия автора, полное название произведения, издательство, год и место издания. При цитировании обязательная ссылка на страницу книги. Если цитата взята из собрания сочинений, то необходимо указать соответствующий том. Следует помнить, что четкая ссылка на источник – непереносимое правило конспектирования. Если конспектируется статья, то

указывается, где и когда она была напечатана.

Конспект подразделяется на части в соответствии с заранее продуманным планом. Пункты плана записываются в тексте или на полях конспекта. Писать его рекомендуется четко и разборчиво, так как небрежная запись с течением времени становится малопонятной для ее автора. Существует правило: конспект, составленный для себя, должен быть по возможности написан так, чтобы его легко прочитал и кто-либо другой.

Формы конспекта могут быть разными и зависят от его целевого назначения (изучение материала в целом или под определенным углом зрения, подготовка к докладу, выступлению на занятии и т.д.), а также от характера произведения (монография, статья, документ и т.п.). Если речь идет просто об изложении содержания работы, текст конспекта может быть сплошным, с выделением особо важных положений подчеркиванием или различными значками.

В случае, когда не ограничиваются переложением содержания, а фиксируют в конспекте и свои собственные суждения по данному вопросу или дополняют конспект соответствующими материалами их других источников, следует отводить место для такого рода записей. Рекомендуется разделить страницы тетради пополам по вертикали и в левой части вести конспект произведения, а в правой свои дополнительные записи, совмещая их по содержанию.

Конспектирование в большей мере, чем другие виды записей, помогает вырабатывать навыки правильного изложения в письменной форме важные теоретических и практических вопросов, умение четко их формулировать и ясно излагать своими словами.

Таким образом, составление конспекта требует вдумчивой работы, затраты времени и труда. Зато во время конспектирования приобретаются знания, создается фонд записей.

Конспект может быть текстуальным или тематическим. В текстуальном конспекте сохраняется логика и структура изучаемого произведения, а запись ведется в соответствии с расположением материала в книге. За основу

тематического конспекта берется не план произведения, а содержание какой-либо темы или проблемы.

Текстуальный конспект желательно начинать после того, как вся книга прочитана и продумана, но это, к сожалению, не всегда возможно. В первую очередь необходимо составить план произведения письменно или мысленно, поскольку в соответствии с этим планом строится дальнейшая работа. Конспект включает в себя тезисы, которые составляют его основу. Но, в отличие от тезисов, конспект содержит краткую запись не только выводов, но и доказательств, вплоть до фактического материала. Иначе говоря, конспект – это расширенные тезисы, дополненные рассуждениями и доказательствами, мыслями и соображениями составителя записи.

Как правило, конспект включает в себя и выписки, но в него могут войти отдельные места, цитируемые дословно, а также факты, примеры, цифры, таблицы и схемы, взятые из книги. Следует помнить, что работа над конспектом только тогда будет творческой, когда она не ограничена текстом изучаемого произведения. Нужно дополнять конспект данными из другими источниками.

В конспекте необходимо выделять отдельные места текста в зависимости от их значимости. Можно пользоваться различными способами: подчеркиваниями, вопросительными и восклицательными знаками, репликами, краткими оценками, писать на полях своих конспектов слова: «важно», «очень важно», «верно», «характерно».

В конспект могут помещаться диаграммы, схемы, таблицы, которые придадут ему наглядность.

Составлению тематического конспекта предшествует тщательное изучение всей литературы, подобранной для раскрытия данной темы. Бывает, что какая-либо тема рассматривается в нескольких главах или в разных местах книги. А в конспекте весь материал, относящийся к теме, будет сосредоточен в одном месте. В плане конспекта рекомендуется делать пометки, к каким источникам (вплоть до страницы) придется обратиться для раскрытия вопросов. Тематический конспект составляется обычно для того,

чтобы глубже изучить определенный вопрос, подготовиться к докладу, лекции или выступлению на семинарском занятии. Такой конспект по содержанию приближается к реферату, докладу по избранной теме, особенно если включает и собственный вклад в изучение проблемы.

4 Методические указания по подготовке к практическим и лабораторным занятиям

В рамках самостоятельной работы предусмотрена подготовка студента к практическим и лабораторным занятиям. Практические и лабораторные занятия позволяют интегрировать теоретические знания и формировать практические умения и навыки студентов в процессе учебной деятельности.

Цели практических и лабораторных занятий по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений (электрообеспечение с основами электротехники)»:

- 1) закрепление теоретического материала путем систематического контроля за самостоятельной работой студентов;
- 2) формирование умений использования теоретических знаний в процессе выполнения практических и лабораторных работ;
- 3) развитие аналитического мышления путем обобщения результатов практических и лабораторных работ;
- 4) формирование навыков оформления результатов практических и лабораторных работ в виде таблиц, графиков, выводов.

На практических и лабораторных занятиях осуществляются следующие формы работ со студентами: индивидуальная (оценка знаний, выполненных тестовых заданий, проверка рабочих тетрадей); фронтальная (подведение итогов выполнения практических и лабораторных занятий).

Список рекомендуемой литературы

Основная литература:

1. Киба, Д. А. Правила выполнения электрических схем : учебное пособие / Д. А. Киба, Н. Н. Любушкина. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. – 74 с. – ISBN 978-5-4497-1020-8. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/105712.html>.

2. Иванов, В. Н. Применение компьютерных технологий при проектировании электрических схем / В. Н. Иванов. – Москва : СОЛОН-Пресс, 2019. – 226 с. – ISBN 978-5-91359-229-3. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/90348.html>.

3. Хейфец, А. Л. Инженерная 3D-компьютерная графика. Платформа nanoCAD : учебник для академического бакалавриата / А. Л. Хейфец. – 3-е изд., эл. – 1 файл pdf : 305 с. – Москва : ДМК Пресс, 2025. – Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". – Текст : электронный.

Дополнительная литература:

1. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7. – Текст : электронный // Электротехнический интернет-портал elec.ru. – URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html>.

2. ГОСТ 2.710-81. Единая система конструкторской документации. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. – Текст : электронный // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=148222>.

3. ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем. – Текст : электронный // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=178579>.

4. ГОСТ Р 56303-2014. Единая энергетическая система и изолированно

работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Нормальные схемы электрических соединений объектов электроэнергетики. Общие требования к графическому исполнению. – Текст : электронный // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=188890>.

Учебно-методическая литература:

1. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)». Ставрополь: СКФУ, 2025.

Интернет-ресурсы:

1. <http://catalog.ncfu.ru> – электронные каталоги Ассоциации электронных библиотек учебных заведений и организаций СКФО.
2. <http://www.biblioclub.ru> – электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн».
3. <http://www.iprbookshop.ru/> – ЭБС «IPRbooks».
4. <https://www.nanocad.ru/> – Официальный сайт компании ООО «Нанософт разработка»