

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»

Кафедра электроэнергетики и электротехнологий

Широбокова Ольга Евгеньевна

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Часть 1

Лабораторный практикум

для бакалавров направления подготовки:

13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

Брянская область, 2022

УДК 621.3 (076)
ББК 31.1
Ш 76

Широбокова, О. Е. Теоретические основы электротехники. Лабораторный практикум: учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теоретические основы электротехники», для бакалавров направления подготовки: 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника, 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств. Ч. 1 / О. Е. Широбокова. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022 – 58 с.

Лабораторный практикум составлен в соответствии с учебной программой по дисциплине «Теоретические основы электротехники». В лабораторном практикуме изложен перечень планируемых лабораторных работ, краткие сведения о работе и экспериментальная часть.

Рецензент: д.т.н. проф. Кисель Ю.Е.

Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета энергетики и природопользования БГАУ, протокол № 3 от 28.10 2022 г.

©Брянский ГАУ, 2022г.
©Широбокова О.Е. 2022г.

Содержание

Предисловие.....	5
Правила по технике безопасности, при проведении лабораторных работ	6
Правила выполнения, оформления и сдачи лабораторных работ.....	6
Краткие сведения.....	7
Лабораторная работа №1 Методы расчета электрических цепей постоянного тока	10
1.1 Электрическая цепь.....	10
1.2 Закон ома.....	12
Лабораторная работа №2 Методы расчета электрических цепей постоянного тока	14
2.1 Расчет неразветвленных цепей постоянного тока	14
2.2 Последовательное соединение резисторов.....	16
Лабораторная работа №3 Методы расчета электрических цепей постоянного тока	17
3.1 Параллельное соединение резисторов	17
3.2 Цепь со смешанным соединением резисторов.....	19
Лабораторная работа №4 Методы расчета электрических цепей постоянного тока	20
4.1 Последовательное соединение источников напряжения (ЭДС)	20
4.2 Параллельное соединение источников напряжения (ЭДС).....	22
Лабораторная работа №5 Методы расчета электрических цепей постоянного тока	25
5.1 Электрическая мощность и работа.....	25
РАЗДЕЛ №2 Линейные электрические цепи синусоидального тока	27
Лабораторная работа №6 Цепи синусоидального тока с конденсаторами	27
6.1 Напряжение и ток конденсатора.....	27
6.2 Реактивное сопротивление конденсатора.....	29
6.3 Последовательное соединение конденсаторов	31
6.4 Параллельное соединение конденсаторов	32
6.5 Реактивная мощность конденсатора	34
Лабораторная работа №7 Линейные электрические цепи синусоидального тока	36
Цепи синусоидального тока с катушками индуктивности	36
7.1 Напряжение и ток катушки индуктивности	36
7.2 Реактивное сопротивление катушки индуктивности	38
7.3 Последовательное соединение катушек индуктивности	40
7.4 Параллельное соединение катушек индуктивности	41
7.5 Реактивная мощность катушки индуктивности.....	43
Лабораторная работа №8 Линейные электрические цепи синусоидального тока Цепи синусоидального тока с резисторами, конденсаторами и катушками индуктивности	46
8.1 Последовательное соединение резистора и конденсатора	46

8.2 Последовательное соединение конденсатора и катушки индуктивности. Понятие о резонансе напряжений.....	49
8.3 Параллельное соединение конденсатора и катушки индуктивности. Понятие о резонансе токов.....	51
8.4 Мощности в цепи синусоидального тока	53
Список использованной литературы.....	57

Предисловие

Настоящее учебное пособие охватывает важную базовую часть курса «Теоретические основы электротехники – теорию электрических цепей».

Материал содержит восемь лабораторных работ по электрическим цепям постоянного и переменного тока. Методические задания по каждой работе включают задачу и продолжительность работы, краткие теоретические сведения, описание лабораторной установки, порядок выполнения работы, содержание отчета и контрольные вопросы. Успешное выполнение предлагаемых лабораторных работ является необходимым условием в получении студентами прочных теоретических знаний и определенных практических навыков в исследовании электрических цепей.

Правила по технике безопасности, при проведении лабораторных работ

1. До начала работ внешним осмотром проверить исправность элементов лабораторного стенда, наличие заземления и надежность механических креплений испытуемого агрегата. Об обнаруженных неисправностях немедленно сообщить преподавателю.

2. Включить лабораторный стенд после сборки схемы можно только после ее проверки преподавателем или лаборантом и в их присутствии.

3. При сборке схемы недопустимо использование проводов без наконечников и с поврежденной изоляцией. Собирать схему можно только соответствующих разъемов, находящихся на стенде или приборе.

4. По окончании сборки схемы необходимо удалить лишние провода и предметы с рабочего места. Проходы вокруг рабочего места должны быть свободны.

5. Запрещается переключать, что-либо на стенде, находящемся под напряжением.

6. При несчастном случае немедленно оказать первую помощь и вызвать врача.

7. Знание настоящих правил обязательно для всех, и ознакомление с ними оформляется росписью в журнале по технике безопасности.

Правила выполнения, оформления и сдачи лабораторных работ

1. Студент должен явиться в лабораторию подготовленным теоретически к выполнению предстоящей работы. Для чего необходимо:

а) Изучить материал, относящийся к содержанию лабораторной работы;

б) Подготовить ответы на контрольные вопросы, содержащиеся в данном руководстве по каждой работе;

2. Готовность студентов к выполнению лабораторных работ проверяется преподавателем.

3. При выполнении лабораторных работ необходимо строго соблюдать правила техники безопасности.

4. Сборка исследуемых цепей, проведение измерений и экспериментов выполняется бригадами в составе 2-3 человек. Обработка результатов экспериментов и необходимые расчеты выполняются каждым студентом самостоятельно.

5. Отчет по каждой лабораторной работе оформляется отдельно. На титульном листе отчета должны быть указаны наименование работы, фамилия и инициалы студентов, номер академической группы и дата выполнения лабораторной работы.

6. Электрические схемы, диаграммы и графики должны быть выполнены в отчете карандашом с помощью чертежных инструментов. Условные графические обозначения элементов электрических схем должны соответствовать ЕСКД.

7. В отчете приводятся расчетные формулы, а также выводы по результатам проведенных исследований.

8. Сдача работы состоит из проверки отчета преподавателем и собеседования, по результатам которых проводится аттестация выполненной работы.

Краткие сведения

Комплект типового лабораторного оборудования «Теория электрических цепей и основы электроники» предназначен для проведения лабораторного практикума по одноимённым разделам курсов «Теоретические основы электротехники», «Теория электрических цепей», «Электротехника и основы электроники», «Общая электротехника» и т.п. в профессиональных высших и средних учебных учреждениях.

Основными компонентами компьютеризованного варианта комплекта «Теория электрических цепей и основы электроники» являются:

- блок генераторов напряжений;
- наборная панель;
- набор миниблоков;
- набор трансформаторов;
- блок мультиметров;
- коннектор;
- соединительные провода и перемычки, питающие кабели.

В «ручной» (т.е. не компьютеризованный) вариант вместо коннектора входит

В зависимости от варианта исполнения в комплект может входить также либо лабораторный стол с выдвижными ящиками и рамой для установки оборудования (стендовый вариант), либо просто настольная рама, которая может быть установлена на любой стол (настольный вариант).

Эти же компоненты наряду с другими входят в комплект «Электротехника и основы электроники»

Комплект типового лабораторного оборудования «Теоретические основы электротехники», кроме перечисленных выше компонентов, содержит:

- дополнительный набор миниблоков для исследования электромагнитных полей;
- набор планшетов для моделирования электрических и магнитных полей;
- набор устройств для исследования поверхностного эффекта и эффекта близости.

В первой главе данного руководства описано устройство составных частей комплекта «Теоретические основы электротехники», даны рекомендации по их использованию и приведены некоторые технические характеристики. В последующих главах описаны базовые эксперименты по разделу «Электрические цепи постоянного тока».

Описание каждого эксперимента содержит

- Общие сведения,
- Экспериментальную часть.

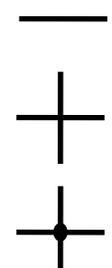
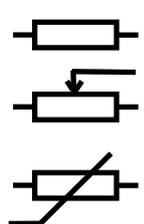
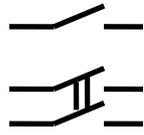
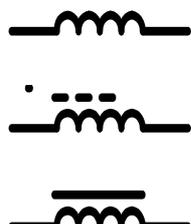
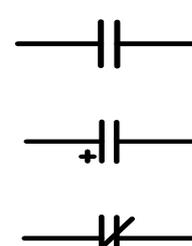
Раздел «Общие сведения» содержит краткое введение в теорию соответствующего эксперимента. Для более глубокого изучения теоретического материала учащемуся следует обратиться к учебникам и компьютерным программам тестирования для проверки усвоения теории и оценки готовности к лабораторно–практическим занятиям.

В разделе «Экспериментальная часть» сформулированы конкретные задачи эксперимента, представлены схемы электрических цепей, таблицы и графики для регистрации и представления экспериментальных данных. В ряде случаев поставлены вопросы для более полного осмысления результатов эксперимента.

Настоящее руководство предназначено для быстрого освоения комплекта преподавателями кафедр и разработки ими необходимых материалов для проведения лабораторного практикума в соответствии с рабочими планами и традициями кафедр. На первом этапе внедрения рассматриваемых комплектов типового лабораторного оборудования в учебный процесс данное руководство или его отдельные фрагменты могут непосредственно использоваться студентами при выполнении лабораторных работ.

Условные обозначения основных элементов электрических цепей приведены в таблице 1. В таблице 2 представлены базовые электрические величины и их единицы измерения.

Таблица 1 – Условные обозначения основных элементов электрических цепей

Наименование элемента	Условное обозначение	Наименование элемента	Условное обозначение
Источники электрической энергии: источник напряжения (ЭДС) постоянного тока (идеальный) источник постоянного тока (идеальный) гальванический элемент или аккумулятор источник напряжения (ЭДС) синусоидального тока		Проводники электрической цепи: одиночный пересекающиеся, несоединенные пересекающиеся, соединенные	
Резисторы: Постоянный линейный Переменный линейный Нелинейный		Выключатели: однополюсные двухполюсные	
Индуктивности: Линейная С разомкнутым магнитопроводом –С магнитопроводом		Конденсаторы Общее обозначение Полярный (электролитический) Нелинейный	

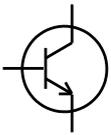
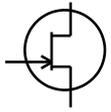
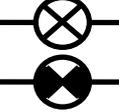
Трансформатор		Диоды и тиристоры: Выпрямительный диод – Стабилитрон Диодный тиристор Триодный тиристор	   
Транзисторы: Биполярный			
Униполярный (полевой)			
Лампы накаливания: осветительная сигнальная		Измерительные приборы: амперметр вольтметр ваттметр	  

Таблица 2 – Базовые электрические величины и их единицы измерения

Величина	Обозначение	Единица измерения	Другие используемые величины		
Заряд	Q	1 К = 1 Кулон	мК		
Ток	I	1 А = 1 Ампер	мА, мкА		
Напряжение/ЭДС	U/E	1 В = 1 Вольт	мВ, кВ		
Сопротивление	R	1 Ом	кОм, МОм		
Проводимость	G	1 См = 1 Сименс			
Индуктивность	L	1 Гн = 1 Генри	мГн, мкГн		
Ёмкость	C	1 Ф = 1 Фарада	мкФ, нФ, пФ		
ПРИСТАВКИ И МНОЖИТЕЛИ ДЕСЯТИЧНЫХ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ СИ					
экса	Э	10 ¹⁸	деци	д	10 ⁻¹
пета	П	10 ¹⁵	санти	с	10 ⁻²
тера	Т	10 ¹²	милли	м	10 ⁻³
гига	Г	10 ⁹	микро	мк	10 ⁻⁶
мега	М	10 ⁶	нано	н	10 ⁻⁹
кило	к	10 ³	пико	п	10 ⁻¹²
гекто	г	10 ²	фемто	ф	10 ⁻¹⁵
дека	да	10 ¹	атто	а	10 ⁻¹⁸
ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ, ИМЕЮЩИЕ СОБСТВЕННЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ					
Величина	Единица		Выражение производной единицы		
	Наименование	Обозначение	через другие единицы СИ	через основные и дополнительные единицы СИ	
Частота	герц	Гц	–	с ⁻¹	
Сила	ньютон	Н	–	мЧкгЧс ⁻²	
Давление	паскаль	Па	Н/м ²	м ⁻¹ ЧкгЧс ⁻²	
Энергия, работа, количество теплоты	джоуль	Дж	НЧм	м ² ЧкгЧс ⁻²	
Мощность, поток энергии	ватт	Вт	Дж/с	м ² ЧкгЧс ⁻³	

Продолжение таблицы 2

Количество электричества, электрический заряд	кулон	Кл	АЧс	сЧА
Электрическое напряжение, электрический потенциал	вольт	В	Вт/А	$\text{м}^2\text{ЧкгЧс}^{-3}\text{ЧА}^{-1}$
Электрическая емкость	фарада	Ф	Кл/В	$\text{м}^{-2}\text{Чкг}^{-1}\text{Чс}^4\text{ЧА}^2$
Электрическое сопротивление	ом	Ом	В/А	$\text{м}^2\text{ЧкгЧс}^{-3}\text{ЧА}^{-2}$
Электрическая проводимость	сименс	См	А/В	$\text{м}^{-2}\text{Чкг}^{-1}\text{Чс}^3\text{ЧА}^2$
Поток магнитной индукции	вебер	Вб	ВЧс	$\text{м}^2\text{ЧкгЧс}^{-2}\text{ЧА}^{-1}$
Магнитная индукция	тесла	Т, Тл	Вб/м ²	$\text{кгЧс}^{-2}\text{ЧА}^{-1}$
Индуктивность	генри	Г, Гн	Вб/А	$\text{м}^2\text{ЧкгЧс}^{-2}\text{ЧА}^{-2}$
Световой поток	люмен	лм		кдЧср
Освещенность	люкс	лк		$\text{м}^2\text{ЧкдЧср}$
Активность радиоактивного источника	беккерель	Бк	с^{-1}	с^{-1}
Поглощенная доза излучения	грэй	Гр	Дж/кг	$\text{м}^2\text{Чс}^{-2}$

Лабораторная работа №1

Методы расчета электрических цепей постоянного тока

1.1 Электрическая цепь

Цель работы: Изучение закономерностей в линейных электрических цепях постоянного тока и экспериментальное подтверждение закона Ома.

Общие сведения:

Электрической цепью называют совокупность соединенных друг с другом элементов, по которым может протекать *электрический ток*.

Для протекания тока необходимы *источники* электрической энергии – источники напряжения (ЭДС) или тока.

Электрическая цепь содержит также устройства, в которых энергия электрического тока преобразуется в другие виды энергии (механическую, тепловую, световую и т.д.). Эти устройства называются *нагрузками*.

Для замыкания и размыкания цепей используют *выключатели* того или иного вида.

Электрический ток есть направленное (упорядоченное) движение *носителей зарядов*. В проводниках носителями отрицательных зарядов являются электроны, в жидкостях (электролитах) носители положительных и отрицательных зарядов – ионы. В полупроводниках носителями отрицательных зарядов являются электроны, носителями положительных зарядов – дырки. Дырка представляет собой вакантное место в атоме полупроводника, незанятое электроном.

Для поддержания электрического тока требуется обеспечивать разделение носителей отрицательных и положительных зарядов, что и происходит в источниках. Когда источник подключен к цепи, возникает направленное движение зарядов под действием сил притяжения разноименных и отталкивания одноименных зарядов, т.е. электрический ток.

Ток, неизменный во времени, называют **постоянным**. Обозначаемый символом **I**, он выражается количеством заряда **Q**, который пересекает сечение проводника за единицу времени **t** (1 секунду):

$$I = Q / t.$$

Изображение электрической цепи с помощью условных обозначений называют электрической схемой соединений (рис. 1.1).

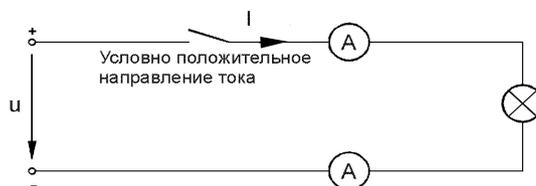


Рисунок 1.1 – Простейшая электрическая цепь

Вне источника положительные носители заряда движутся от его положительного зажима (полюса) к отрицательному зажиму (полюсу). Направление движения отрицательных зарядов противоположно движению положительных зарядов. В качестве **условного положительного направления тока** принимается направление движения положительных зарядов. Это направление показывают на схеме стрелкой.

Экспериментальная часть

Задание

Соберите простейшую электрическую цепь согласно схеме (рис 1.2), включив в нее два мультиметра в качестве амперметра или два виртуальных прибора. Путем измерений определите является ли ток одинаковым во всех точках цепи и убедитесь, что он равен нулю, когда цепь разомкнута или отключен источник.

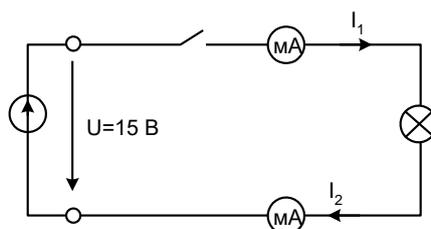


Рисунок 1.2 – Простейшая электрическая цепь для выполнения задания

Порядок выполнения работы

- Подайте постоянное напряжение 15 В к зажимам цепи (рис. 1.2 и определите, протекает ли ток и горит ли лампочка – при разомкнутой (с помощью выключателя) и замкнутой цепи.
- Занесите данные измерений вместе с данными о состоянии лампочки в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Данные измерений

Выключатель	I ₁ , мА	I ₂ , мА	Лампа вкл.	Лампа выкл.
Замкнут				
Разомкнут				

- Проверьте, будет ли протекать ток, когда источник напряжения отсоединен, а выключатель замкнут.

1.2 Закон Ома

Общие сведения:

Закон Ома выражает математическое соотношение между напряжением U , током I и сопротивлением R на участке цепи с сопротивлением.

$$I = U / R, \quad U = I \cdot R, \quad R = U / I,$$

где: I - ток, А;

U - напряжение, В;

R - сопротивление, Ом.

В замкнутой цепи с постоянным сопротивлением ток изменяется пропорционально напряжению.

Если при постоянном напряжении изменяется сопротивление, то ток изменяется обратно пропорционально сопротивлению.

Экспериментальная часть

Задание

Снимите экспериментально и постройте графики зависимостей $I = f(U)$ при $R = \text{Const}$ и $I = f(R)$ при $U = \text{Const}$.

Порядок выполнения работы

- Чтобы построить кривые $I = f(U)$, соберите цепь по схеме (рис. 2.1) и измерьте токи, имеющие место при напряжениях и сопротивлениях, которые указаны в таблице 1.2. В качестве измерительных приборов используйте мультиметры или виртуальные приборы с коннектором.

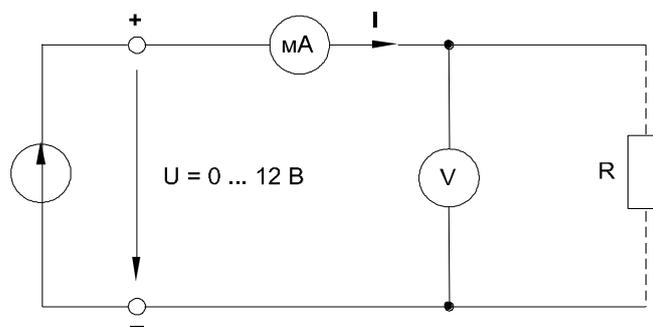


Рисунок 1.3 – Схема лабораторной работы

Таблица 1.2 – Результаты измерений

U, В	0	2	4	6	8	10	12
I, mA при R=100 Ом							
I, mA при R=150 Ом							
I, mA при R=330 Ом							

- Занесите результаты измерения токов в таблицу 1.2.
- Перенесите данные таблицы 1.2 на график (рис. 1.4) и зависимости $U(I)$ при трёх значениях сопротивления.

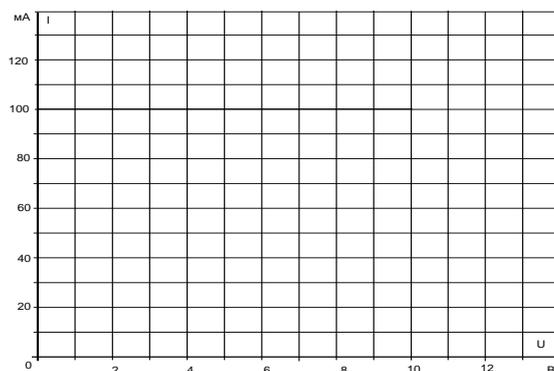


Рисунок 1.4 – Графики и зависимости $U(I)$

- Для построения кривых $I = f(R)$ измерьте токи, имеющие место при напряжениях соответственно 4 В, 8 В и 12 В, в зависимости от сопротивлений, указанных в таблице 1.3

Таблица 1.3 – Результаты измерений

R, Ом	100	150	220	330	470	680	1000
I, mA при U=12 В							
I, mA при U=8 В							
I, mA при U=4 В							

- Занесите данные измерения токов в табл. 1.3 и перенесите их на график (рис. 1.5) для построения семейства зависимостей $I = f(R)$.

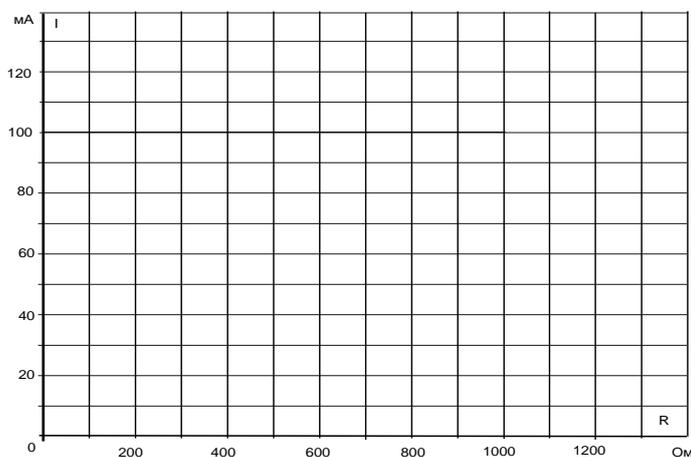


Рисунок 1.5 – График зависимостей $I = f(R)$

Контрольные вопросы:

1. Что называется электрической цепью?
2. Что такое электрический ток?
3. Что является носителями зарядов?
4. Понятие о источниках и приемниках электроэнергии?
5. Какой ток называется постоянным?
6. Дайте определение закону Ома?

Лабораторная работа №2

Методы расчета электрических цепей постоянного тока

2.1 Расчет неразветвленных цепей постоянного тока

Цель работы: Изучение закономерностей в линейных электрических цепях постоянного тока и экспериментальное подтверждение закона Ома.

Общие сведения:

Электрическое сопротивление означает противодействие протеканию тока. Это противодействие может быть вызвано проводниками ограниченного сечения или создается намеренно путем включения в цепь элемента, обладающего сопротивлением (резистивностью) и называемого **резистором**. Нижеследующие эксперименты имеют целью исследование резисторов.

Резистор – это наиболее часто применяемый в электрических цепях пассивный элемент.

Из-за их токоограничивающего действия резисторы обычно используются для задания токов и напряжения или для их разделения.

Единица электрического сопротивления - Ом.

Величина сопротивления, согласно закону Ома, определяется по соотношению

$$R = U / I,$$

где **U** - напряжение, В;

I - ток, А.

Другими характеристическими показателями резисторов являются мощность, температурная и частотная зависимости.

Мощность (потери мощности) резистора, измеряемая в Ваттах, может быть рассчитана по следующим формулам

$$P = U \cdot I = U^2 / R = I^2 \cdot R, \text{ Вт.}$$

Температурное поведение резистора зависит от материала, из которого он изготовлен. Изменение сопротивления резистора определяется по формуле

$$\Delta R = R \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta,$$

где **R** - величина сопротивления резистора при 20°C,

α - температурный коэффициент материала резистора,

$\Delta \vartheta$ - изменение температуры.

Кроме использованных материалов, резисторы различаются также своей конструкцией. В частности, они могут быть постоянными или переменными.

Все перечисленные выше характеристики и особенности резисторов имеют большое значение при их выборе для силовых и слаботочных электронных цепей.

Линейные резисторы

Резистор называют **линейным**, когда ток в нем изменяется пропорционально приложенному напряжению, т.е. если функция **$I = f(U)$** – прямолинейная.

Экспериментальная часть

Задание

Постройте зависимости **$I = f(U)$** для трех резисторов.

Порядок выполнения работы

- Соберите электрическую цепь с линейным резистором согласно схеме (рис. 2.1). В качестве измерительных приборов mA и V включите в цепь соответствующие клеммы коннектора (например, A1 и V0).

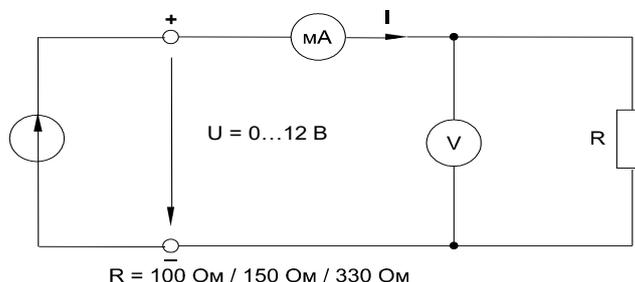


Рисунок 2.1 – Электрическая цепь с линейным резистором

Таблица 2.1 – Результаты измерений

U, В		2	4	6	8	10	12
R = 100 Ом	I, mA						
	P, мВт						
	R, Ом						
R = 150 Ом	I, mA						
	P, мВт						
	R, Ом						
R = 330 Ом	I, mA						
	P, мВт						
	R, Ом						

- Приведите компьютер в рабочее состояние и откройте основной блок виртуальных приборов, выбрав в меню род измеряемых величин «среднее».
- Откройте блок «Приборы II». На одном из них выберите из меню «Активное сопротивление R», на другом «Активная мощность P».
- Подайте на схему напряжения, указанные в таблице 2.1 и запишите результаты измерений. Убедитесь, что $P = U \cdot I$ и $R = U / I$.
- Постройте кривые на рисунке 2.2.

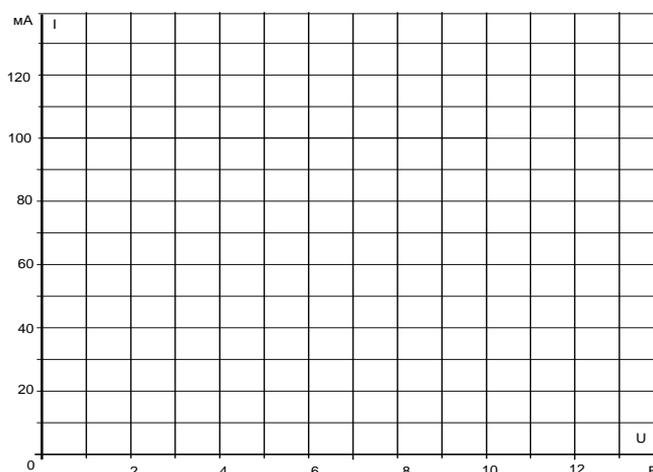


Рисунок 2.2 – Графики зависимости U(I)

- Вычислите напряжение, при котором имеет место потеря мощности ($P = 2$ Вт) в резисторе, по формуле $U = \sqrt{P \cdot R}$
 при $R = 100$ Ом, $U = \dots$
 при $R = 150$ Ом, $U = \dots$
 при $R = 330$ Ом. $U = \dots$

2.2 Последовательное соединение резисторов

Если резисторы или любые другие нагрузки соединены последовательно (рис.2.3), по ним проходит один и тот же ток. Величина тока определяется приложенным напряжением U и суммарным сопротивлением ΣR :

$$I = U / \Sigma R ,$$

где $\Sigma R = R_1 + R_2 + R_3$.

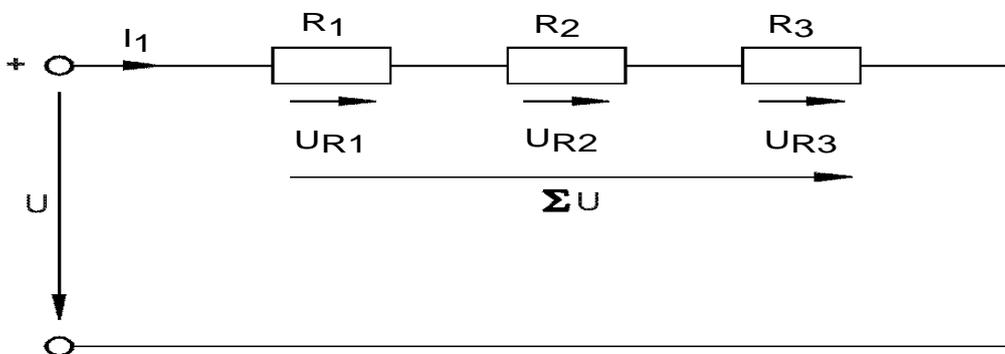


Рисунок 2.3 – Последовательное соединение резисторов

На каждый отдельный резистор при этом приходится некоторое частичное напряжение. Сумма частичных напряжений равна полному приложенному напряжению:

$$I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3 = U$$

Экспериментальная часть

Задание

Измеряя токи и напряжения, убедитесь, что ток одинаков в любой точке последовательной цепи и что сумма частичных напряжений равна напряжению, приложенному ко всей цепи.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 2.4) Поочередно включая амперметр (мультиметр или виртуальный прибор) между точками разрыва **A – B**, **C – D**, **E – F** и **G – H**, измерьте токи вдоль всей последовательной цепи.
- Затем измерьте частичные напряжения (падения напряжения) между точками **B - C**, **D - E**, **F - G**, а также полное напряжение цепи между точками **B – G**. Все измеренные величины занесите в табл. 2.2.

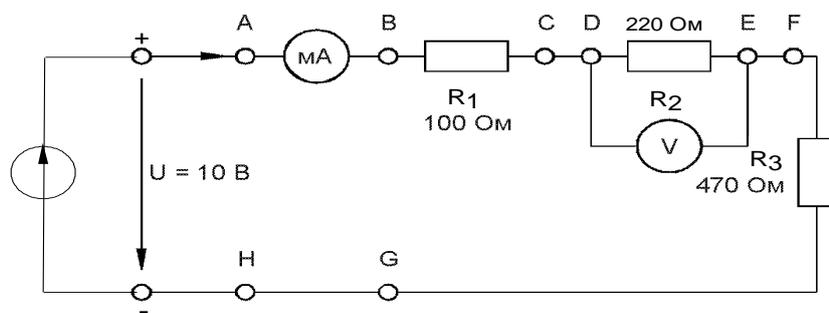


Рисунок 2.4. Схема Электрической цепи для выполнения лабораторной работы

Таблица 2.2 – Результаты измерений

Ток, мА				Падения напряжения, В			Полное напряжение, В
Точки цепи				Точки цепи			Точки цепи
A-B	C-D	E-F	H-G	B-C	D-E	F-G	B-G

Контрольные вопросы:

1. Что означает электрическое сопротивление?
2. Дайте определение мощности?
3. Какой резистор называют линейным?
4. От каких параметров зависит сопротивление резисторов?
5. Последовательное соединение резисторов, определении и расчетные зависимости?

Лабораторная работа №3

Методы расчета электрических цепей постоянного тока

3.1 Параллельное соединение резисторов

Цель работы: Изучение закономерностей в разветвленных электрических цепях постоянного тока и экспериментальное подтверждение законов Кирхгофа и принципа наложения.

Основные понятия:

Если резисторы или любые другие нагрузки соединены параллельно (рис. 3.1), все они находятся под одинаковым напряжением:

$$U = U_{R1} = U_{R2} = U_{R3}$$

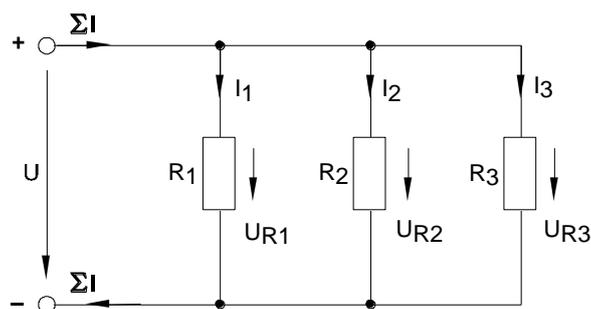


Рисунок 3.1 – Параллельное соединение резисторов

В каждой ветви цепи протекает свой ток. Сумма всех токов ветвей равна полному току:

$$\Sigma I = I_1 + I_2 + I_3.$$

Величина тока ветви зависит от приложенного напряжения и сопротивления данной ветви:

$$I_1 = U / R_1; \quad I_2 = U / R_2; \quad I_3 = U / R_3.$$

Ток в неразветвленной части цепи зависит от приложенного напряжения и эквивалентного сопротивления цепи:

$$\Sigma I = U / R_3.$$

Для вычисления эквивалентного сопротивления цепи служит формула:

$$R_3 = 1 / (1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3).$$

Для цепи с двумя параллельно соединенными резисторами:

$$R_3 = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2).$$

Экспериментальная часть

Задание

Измеряя напряжения и токи, убедитесь, что напряжение, прикладываемое к каждому резистору, одинаково и что сумма токов ветвей равна полному току цепи.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 3.2) и подайте постоянное напряжение 10 В на ее вход.

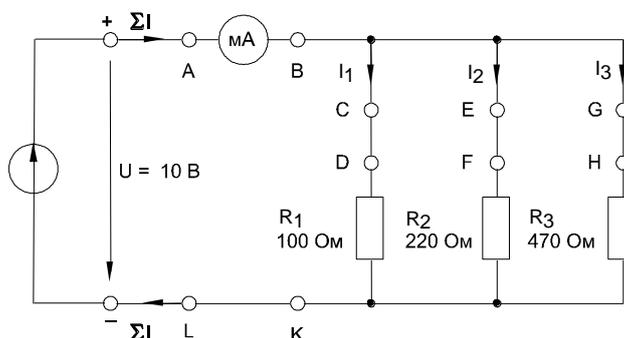


Рисунок 3.2. - Электрическая цепь для выполнения лабораторной работы

- Поочередно включая мультиметр в разрывы между точками **A - B**, **C - D**, **E - F**, **G - H** и **L - K**, измерьте токи в соответствующих ветвях.
- Затем измерьте напряжения на резисторах **R₁**, **R₂**, и **R₃** (между точками **D - K**, **F - K**, **H - K**).
- Занесите измеренные величины в таблицу 3.1

ПРИМЕЧАНИЕ: Этот опыт можно проделать, включив в цепь одновременно 4 виртуальных амперметра.

Таблица 3.1 – Измеренные величины

Напряжения, В			Токи ветвей, мА			Полный ток цепи, мА	
Точки измерения			Точки измерения			Точки измерения	
D - K (U _{R1})	F - K (U _{R2})	H - K (U _{R3})	C - D	E - F	G - H	A - B	L - K

3.2 Цепь со смешанным соединением резисторов

Основные положения:

Смешанные соединения часто встречаются в электрических слабо- и сильноточных цепях. На рисунке 3.3 показан пример такой цепи. Она состоит из последовательно (R_1 и R_2) и параллельно (R_3 и R_4) соединенных резисторов.

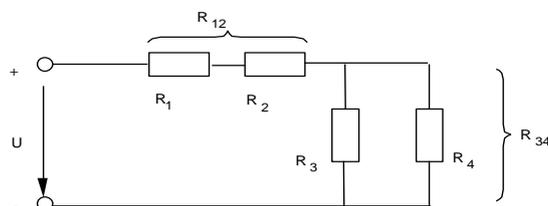


Рисунок 3.3 – Смешанное соединение резисторов

Участки цепи с последовательным и параллельным соединением резисторов относительно друг друга соединены последовательно. Чтобы вычислить полное сопротивление цепи, поочередно подсчитывают эквивалентные сопротивления участков цепи, получая в конце искомый результат. Так, для цепи (рис. 3.4) это делается следующим образом:

$$R_{12} = R_1 + R_2, R_{34} = R_3 \cdot R_4 / (R_3 + R_4), \Sigma R = R_{12} + R_{34}.$$

Экспериментальная часть

Задание

Измерьте токи, напряжения и сопротивления всех участков цепи при смешанном соединении. Проверьте результат вычислениями.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 3.4) и подайте на ее вход постоянное напряжение 15 В.

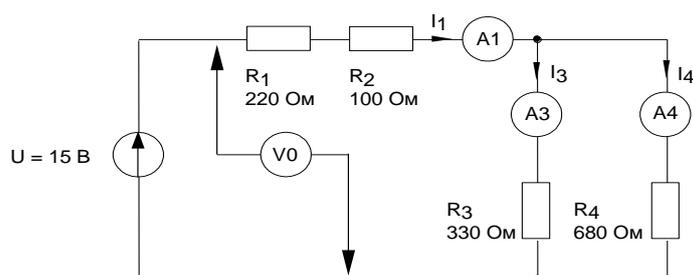


Рисунок 3.4 – Схема электрической цепи для выполнения лабораторной работы

- Измерьте токи во всех ветвях и напряжения на всех элементах. Если измерения производятся виртуальными приборами, то измерьте также сопротивления всех элементов $R_1 \dots R_4$ и сопротивление параллельного участка R_{34} (только не забывайте «подключать» виртуальный омметр к соответствующим напряжениям и токам!). Если измерения проводятся мультиметрами, то сопротивление любого участка цепи определяйте, как отношение напряжения к току.

- Результаты измерений занесите в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты измерений

Измеряемая или рас- считанная величина	Измеренное значение	Заданные или рас- считанные значения	Погрешность, %
R₁, Ом			
R₂, Ом			
R₃, Ом			
R₄, Ом			
R₃₄, Ом			
R_{ЭКВ}, Ом			
I₄, мА			
I₅, мА			
I₆, мА			
U, В			
U₁, В			
U₂, В			
U₃₄, В			

- Рассчитайте значения сопротивлений, токов и напряжений и занесите результаты расчета также в таблицу 3.2.
- Сравните результаты расчета и измерений, вычислив расхождение результатов (погрешность) в процентах по формуле:

$$\frac{\text{Измеренная величина} - \text{Расчетная величина}}{\text{Расчетная величина}} \times 100\%$$

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте определение узла, ветви и контура электрической цепи?
2. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа и порядок расчета цепи с их применением?
3. Что называется разветвленной цепью, примеры разветвленных цепей?
4. Параллельное соединение резисторов и их схемы?
5. Смешанное соединение резисторов и их схемы?

Лабораторная работа №4

Методы расчета электрических цепей постоянного тока

4.1 Последовательное соединение источников напряжения (ЭДС)

Цель работы: Изучение закономерностей в линейных электрических цепях постоянного тока и экспериментальное подтверждение законов Кирхгофа, принципов наложения и свойства взаимности.

Общие сведения:

Последовательное соединение (рис. 4.1) источников напряжения (ЭДС) дает большее по величине общее напряжение (ЭДС):

$$\Sigma E = E_1 + E_2.$$

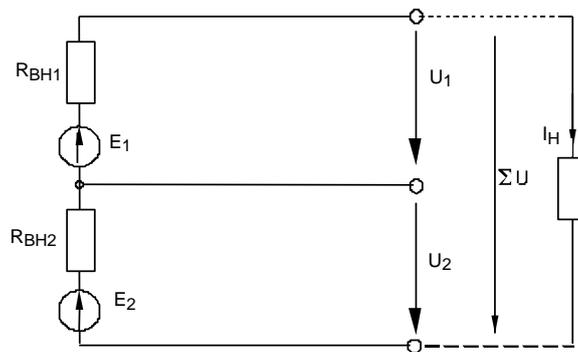


Рисунок 4.1 – Последовательное соединение ЭДС

Необходимым условием является, чтобы полюса источников были соединены корректно - положительный полюс одного источника с отрицательным полюсом следующего (*согласное включение*).

Если полюса источников соединены противоположным образом (*встречное включение*), общее напряжение цепи определяется как разность напряжений (ЭДС) источников:

$$\Sigma E = E_1 - E_2.$$

Внутренние сопротивления последовательно соединенных источников суммируются в общее внутреннее сопротивление

$$\Sigma R_{вн} = R_{вн1} + R_{вн2}.$$

Когда цепь с последовательно соединенными источниками напряжения нагружена на резистор R_n , возникает ток, зависящий от общего напряжения, сопротивления нагрузки и суммы внутренних сопротивлений отдельных источников:

$$I_n = \Sigma E / (R_n + R_{вн1} + R_{вн2}).$$

Экспериментальная часть

Задание

Соедините два источника напряжения последовательно сначала противоположными, а затем одинаковыми полюсами. Измерьте общее напряжение ΣE в обоих случаях.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь с последовательным соединением источников напряжения согласно схеме (рис. 4.2), используя в качестве одного из источников нерегулируемый источник 15 В, в качестве другого – регулируемый, установив на нем напряжение 5...10 В.

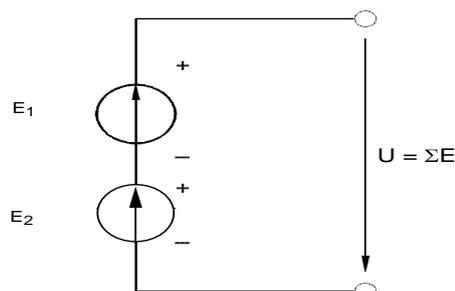


Рисунок 4.2 – Цепь с последовательным соединением источников напряжения

- Измерьте и запишите ЭДС каждого источника и общее напряжение $E_1 = \quad \text{В}; E_2 = \quad \text{В}; U_{\text{согл}} = \quad \text{В}.$
- Затем поменяйте полярность одного из источников (поменяв местами его полюса) и снова измерьте напряжение.
 $U_{\text{встр}} = \quad \text{В}.$
- Убедитесь, что
 $U_{\text{согл}} = E_1 + E_2; \quad U_{\text{встр}} = E_1 - E_2.$

4.2 Параллельное соединение источников напряжения (ЭДС)

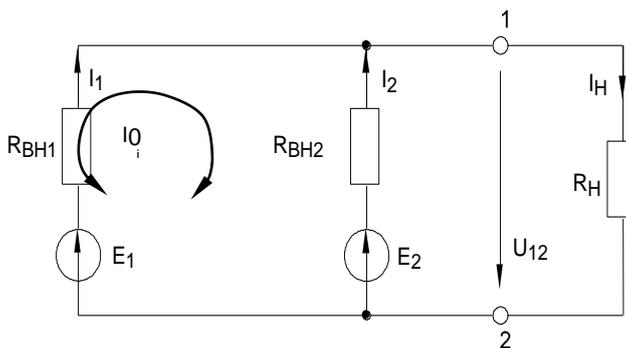


Рисунок 4.3 – Параллельное соединение ЭДС

Параллельным соединением (рис. 4.3) нескольких источников напряжения (ЭДС) одинаковой величины обеспечивается более высокий ток нагрузки I_n .

Соединять нужно одноименные полюса источников. Если ЭДС источников различны, то в них возникает уравнивающий ток I_0 . Он зависит от разности напряжений и соответствующих внутренних сопротивлений:

$$I_0 = \frac{E_1 - E_2}{R_{\text{вн1}} + R_{\text{вн2}}}$$

Ток общей нагрузки I_n зависит от сопротивления нагрузки R_n , эквивалентной ЭДС и эквивалентного внутреннего сопротивления, также как и в одиночном источнике:

$$I_n = \frac{E_{\text{Э}}}{R_{\text{Эвн}} + R_n}$$

При параллельном соединении двух источников эквивалентное внутреннее сопротивление и ЭДС равны:

$$R_{\text{Эвн}} = \frac{R_{\text{вн1}} \cdot R_{\text{вн2}}}{R_{\text{вн1}} + R_{\text{вн2}}};$$

$$E_{\text{Э}} = \frac{E_1 G_{\text{вн1}} + E_2 G_{\text{вн2}}}{G_{\text{вн1}} + G_{\text{вн2}}},$$

где $G_{\text{вн1}} = 1 / R_{\text{вн1}}$, $G_{\text{вн2}} = 1 / R_{\text{вн2}}$ – внутренние проводимости.

Экспериментальная часть

Задание

Соедините два источника напряжения параллельно и выполните следующие измерения при одинаковых и неодинаковых ЭДС источников, при работе холостом ходу и под нагрузкой.

- **Измеряемые величины при холостом ходе:** уравнивающий ток I_0 , и выходное напряжение U_{12} (ЭДС).

- **Измеряемые величины при работе под нагрузкой:** токи ветвей с источниками I_1 и I_2 , ток нагрузки I_H , и выходное напряжение U_{12} .

Проверьте величину всех измеренных параметров расчетом.

Порядок выполнения работы

- Измерьте точное значение ЭДС нерегулируемого источника напряжения 15 В и установите точно такое же значение напряжения на регулируемом источнике. Запишите значение $E_1 = E_2 = \dots$ в таблицу 4.1.

- Соберите цепь с параллельным соединением источников напряжения согласно схеме (рис. 4.4), используя в качестве E_1 нерегулируемый источник напряжения, а в качестве E_2 – регулируемый.

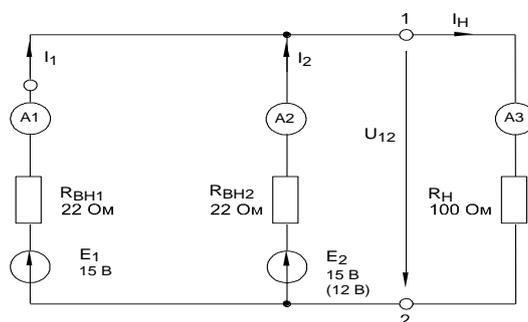


Рисунок 4.4 – Цепь с параллельным соединением источников напряжения

- Сделайте все измерения при одинаковых ЭДС и запишите результаты в таблицу 4.1.

- Установите ЭДС $E_2 = 12$ В, выполните измерения при неодинаковых ЭДС источников и запишите результаты в таблицу 4.1.

- По известным параметрам: E_1 , E_2 , $R_{вн1}$, $R_{вн2}$, R_H рассчитайте эквивалентную ЭДС, уравнивающий ток I_0 , ток I_H и напряжение U_{12} на нагрузке, токи источников I_1 и I_2 . Сравните результаты расчета и эксперимента.

Таблица 4.1 – Результаты измерений цепей с параллельным соединением источников напряжения

Опыт	Измеряемая или расчетная величина	Измерено	Рассчитано	Погрешность, %
Холостой ход $E_1 = E_2 = \dots$ В	E_{Σ} , В I_0 , мА			
Нагрузка $R_H = 100$ Ом $E_1 = E_2 = \dots$ В	U_{12} , В I_H , мА I_1 , мА I_2 , мА			
Холостой ход $E_1 = \dots$ В $E_2 = \dots$ В	E_{Σ} , В I_0 , мА			

Нагрузка	$U_{12}, \text{В}$			
$R_H = 100 \text{ Ом}$	$I_H, \text{мА}$			
$E_1 = \dots\dots\text{В}$	$I_1, \text{мА}$			
$E_2 = \dots\dots\text{В}$	$I_2, \text{мА}$			

ПРИМЕЧАНИЕ: Токи I_1 и I_2 , можно определить из уравнений 2-го закона Кирхгофа:

$$R_{BH1} I_1 + U_{12} = E_1,$$

$$R_{BH2} I_2 + U_{12} = E_2.$$

Контрольные вопросы:

1. Что понимают под идеальным и реальным источником ЭДС и их схемы?
2. Определение согласного и встречного включения источников ЭДС?
3. Что изменяется при смене полярности одного из источников?
4. Понятие регулируемого и не регулируемого источника напряжения?
5. Как определяются токи и сопротивления при параллельном соединении ЭДС?

Лабораторная работа №5 Методы расчета электрических цепей постоянного тока

5.1 Электрическая мощность и работа

Общие сведения:

Электрическая мощность P цепи выражается через напряжение и электрический ток и измеряется в ваттах (Вт)

$$P = U \cdot I.$$

На практике она обычно преобразуется в механическую (в электрических двигателях), световую (в лампах накаливания) и тепловую (в электрических нагревателях) энергию. В элементах электрических и электронных цепей, обладающих омическим сопротивлением R , электрическая энергия нежелательным образом преобразуется в тепло, что называют также **потерями мощности**:

$$P = I^2 \cdot R, \quad P = U^2 / R.$$

Каждый элемент электрической цепи имеет предельно допустимую мощность, превышение которой в процессе эксплуатации приводит к недопустимому перегреву. Зависимость $I(U)$ при $P = P_{\text{доп}} = \text{const}$ имеет вид гиперболы. По ней можно легко определить максимально допустимые величины напряжения и тока для данного элемента цепи.

Электрическую мощность можно измерить косвенно – через ток и напряжение или непосредственно – с помощью ваттметра.

Электрическая энергия (работа электрического тока) W выражается как произведение электрической мощности P на время t :

$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t.$$

Экспериментальная часть

Задание

Определите мощность, выделяющуюся в сопротивлениях измеряя напряжение и ток. Постройте гиперболические зависимости $I(U)$ для омических резисторов, в которых может быть рассеяна максимальная мощность 2 Вт.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 5.1) и измерьте токи в резисторах 33, 100 и 220 Ом при напряжениях, указанных в табл. 5.1.

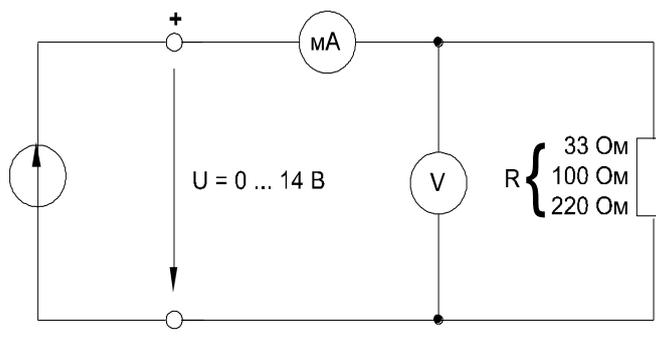


Рисунок 5.1 – Электрическая цепь

При сопротивлении резистора 33 Ома напряжение должно быть ограничено величиной 8В во избежание превышения максимально допустимых потерь мощности 2 Вт.

- Внесите в таблицу 5.1 измеренные величины токов вместе со значениями мощности, рассчитанными по формуле $P = U \cdot I$ или измеренными виртуальным ваттметром (в блоке дополнительных приборов). Перенесите значения мощности на график (рис. 5.2) для построения кривой $P = f(U)$.

Таблица 5.1 – Результаты измерений

U, В		0	2	3	4	6	8	10	12	14
R=33 Ом	I, мА									
	P, Вт									
R=100 Ом	I, мА									
	P, Вт									
R=220 Ом	I, мА									
	P, Вт									

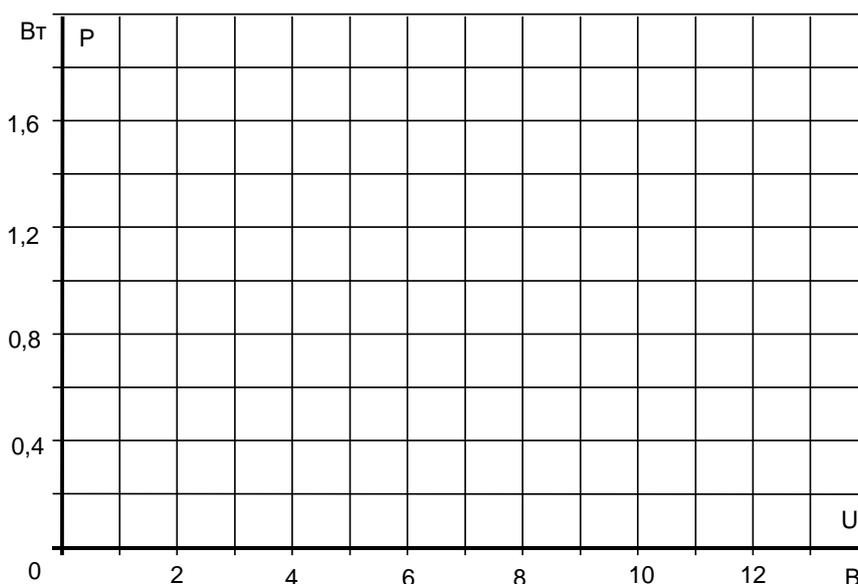


Рисунок 5.2 – График значения мощности

- Чтобы построить гиперболическую зависимость мощности для 2-ваттного резистора, величины токов, соответствующие напряжениям (табл. 5.2), следует рассчитать по формуле $I = P/U$, где $P = 2$ Вт.

Таблица 5.2 – Расчетные данные

U, В	2	2,5	3	4	6	8	10	12	14
I, мА									

- Постройте на рисунке 5.3. график $I = f(U)$ при $P=2$ Вт и ответьте на контрольные вопросы, определив из графика искомые величины.

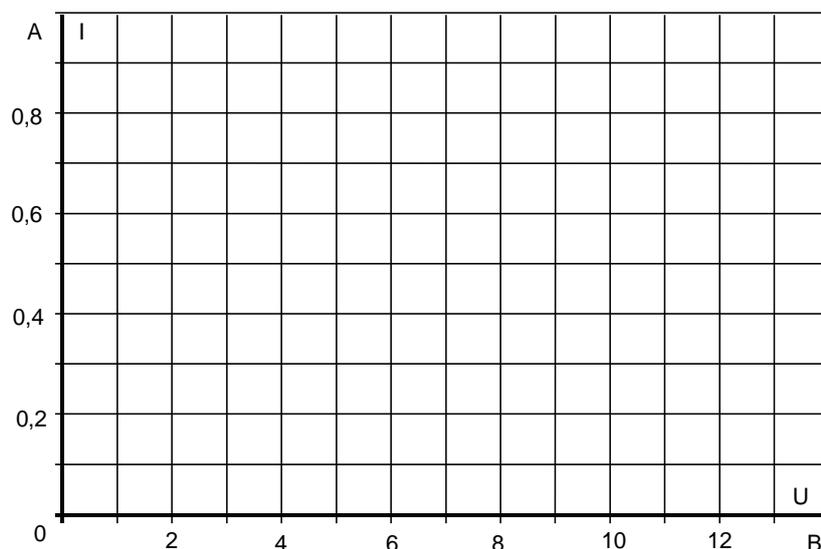


Рисунок 5.3 – График $I = f(U)$ при $P=2$ Вт

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение электрической мощности и работа, Предельно допустимая мощность электрической цепи?
2. Как сказывается повышение мощности на элементы электрической цепи?
3. Каких величин ток и напряжение создают потери мощности 2 Вт в резисторе 20 Ом? Определите эти величины по графику (рис. 5.3), построив кривую $I = f(U)$ данного резистора?
4. Какая электрическая энергия выделяется в резисторе 100 Ом, если к цепи прикладывается напряжение 12 В в течение 10 часов?

Раздел №2 Линейные электрические цепи синусоидального тока

Лабораторная работа №6

Цепи синусоидального тока с конденсаторами

6.1 Напряжение и ток конденсатора

Цель работы: Исследование линейных электрических цепей синусоидального тока содержащих конденсатор и полярности заряда конденсатора ввиду переменного характера напряжения. Изучение явления фазового сдвига между током и напряжением в электрической цепи, содержащей конденсатор.

Общие сведения:

Когда к конденсатору приложено синусоидальное напряжение, он периодически заряжается и разряжается. Ввиду переменного характера напряжения периодически меняется также полярность заряда конденсатора. Ток в конденсаторе i_C достигает своего амплитудного значения каждый раз, когда напряжение u_C на нем проходит через нуль (рис. 6.1.). Таким образом, синусоида тока i_C опережает синусоиду напряжения u_C на 90° .

Фазовый сдвиг:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = -90^\circ.$$

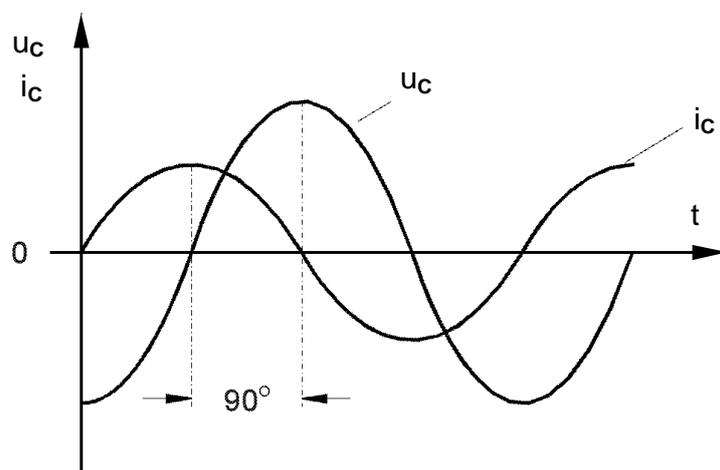


Рисунок 6.1 – Фазовый сдвиг в цепи с конденсатором

Экспериментальная часть

Задание

Выведите кривые тока и напряжения конденсатора на экран виртуального осциллографа и определите фазовый сдвиг между синусоидами $u_c(t)$ и $i_c(t)$.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 6.2) и подключите регулируемый источник синусоидального напряжения при $U = 5 \text{ В}$ и $f = 1 \text{ кГц}$. Напряжение источника установите с помощью мультиметра.
- Включите виртуальные приборы $V0$, $A1$ и осциллограф.
- «Подключите» два входа осциллографа к приборам $V0$ и $A1$, а остальные отключите.

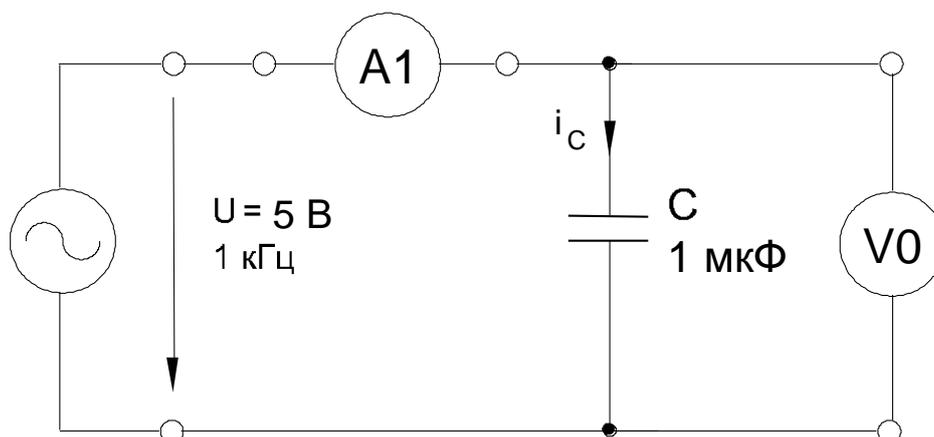


Рисунок 6.2. Схема электрической цепи

- Установите параметры развёртки осциллографа так, чтобы на экране было изображение примерно одного-двух периодов напряжения и тока.
- Перенесите кривые на график (рис. 6.3) и определите период и фазовый сдвиг между напряжением на конденсаторе $u_c(t)$ и током $i_c(t)$.

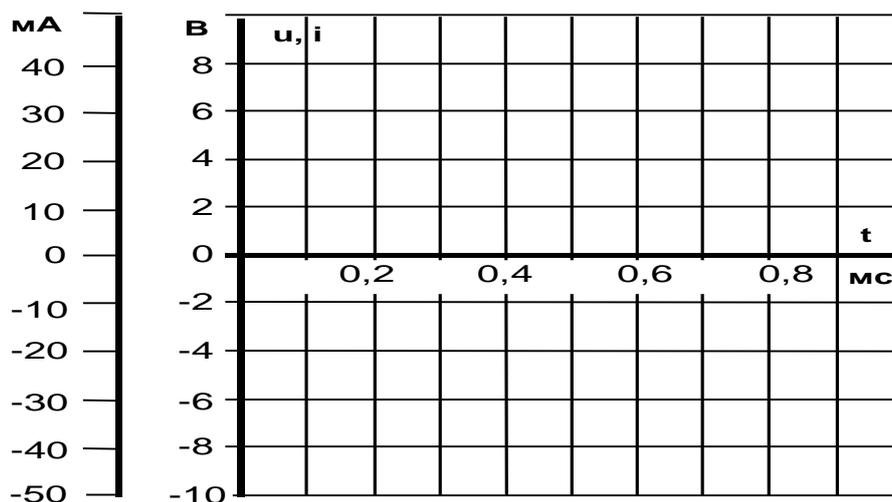


Рисунок 6.3 – Период и фазовый сдвиг между напряжением на конденсаторе $u_C(t)$ и током $i_C(t)$

Из осциллограммы: период $T =$ мС; фазовый сдвиг $\varphi =$.

Включите блок «Приборы II», выберите из меню прибор «Угол сдвига фаз» и «подключите» его к V0 и A1. Убедитесь, что вы правильно определили фазовый сдвиг по осциллографу.

6.2 Реактивное сопротивление конденсатора

Общие сведения:

Конденсатор в цепи синусоидального тока оказывает токоограничивающий эффект, который вызван встречным действием напряжения при изменении знака заряда. Этот токоограничивающий эффект принято выражать как *емкостное реактивное сопротивление (емкостной реактанс) X_C* .

Величина емкостного реактанса X_C зависит от величины емкости конденсатора, измеряемой в Фарадах, и частоты приложенного напряжения переменного тока. В случае синусоидального напряжения имеем

$$X_C = 1/(\omega C) = 1/(2\pi f C),$$

где X_C - реактивное емкостное сопротивление, Ом,

C - емкость конденсатора, Ф,

$\omega = 2\pi f$ - угловая частота синусоидального напряжения (тока).

Когда известны действующие значения тока в конденсаторе и падения напряжения на нем от этого тока, реактивное емкостное сопротивление можно вычислить по закону Ома:

$$X_C = U_{Cm}/I_{Cm} \text{ или } X_C = U_C/I_C.$$

Емкостному сопротивлению часто присваивают знак «-» в отличие от индуктивного сопротивления, которому приписывают знак «+».

Экспериментальная часть

Задание

Выведите на экран виртуального осциллографа кривые тока и напряжения различных конденсаторов емкостью 0,22, 0,47, 1 мкФ. Определите соответствующие реактивные сопротивления по формулам $X_C = 1/(2\pi f C)$ и $X_C = U_C/I_C$.

Порядок проведения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 6.4), установите синусоидальное напряжение $U = 5 \text{ В}$ и $f = 1 \text{ кГц}$ на выходе регулируемого источника, затем присоедините источник к входным зажимам цепи.
- Включите виртуальные приборы $V0$, $A1$ и осциллограф.
- «Подключите» два входа осциллографа к приборам $V0$ и $A1$, а остальные отключите.
- Установите параметры развёртки осциллографа так, чтобы на экране было изображение примерно одного-двух периодов напряжения и тока.

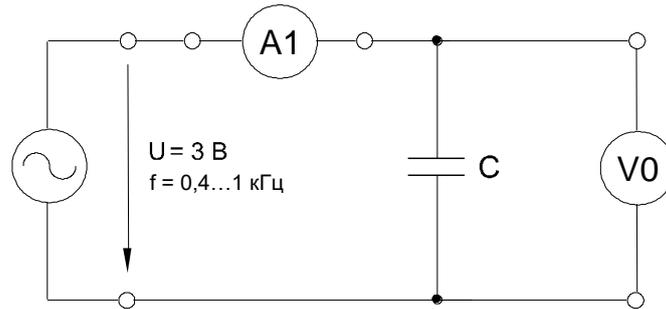


Рисунок 6.4 – Схема электрической цепи

- Снимите с осциллограмм или измерьте виртуальными приборами амплитудные значения напряжений U_m и тока I_m для емкостей и частот, указанных в табл. 6.1, и занесите их в соответствующие ячейки таблицы.

Таблица 6.1 – Данные измерений

f, кГц		1	0,8	0,6	0,4
U_m , В	1,0 мкФ				
U_m , В	0,47 мкФ				
U_m , В	0,22 мкФ				
I_m , мА	1,0 мкФ				
I_m , мА	0,47 мкФ				
I_m , мА	0,22 мкФ				
$X_C = U_m / I_m$, кОм	1,0 мкФ				
	0,47 мкФ				
	0,22 мкФ				
$X_C = 1 / (\omega C)$, кОм	1,0 мкФ				
	0,47 мкФ				
	0,22 мкФ				

- Вычислите величины X_C по формулам U_m / I_m и $1 / (\omega C)$ занесите их в табл. 6.1. Сравните результаты.
- Перенесите величины X_C на график (рис. 6.5) для построения кривой $X_C = f(f)$.

- Проверьте расчетным путем величину реактанса X_C конденсатора емкостью $C = 0,47$ мкФ при частоте $f = 600$ Гц непосредственным измерением виртуальным прибором «Реактивное сопротивление».

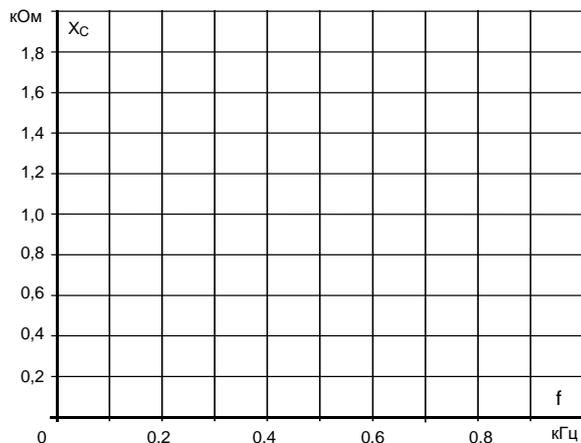


Рисунок 6.5 – График для построения кривой $X_C = f(f)$

6.3 Последовательное соединение конденсаторов

Общие сведения:

Когда несколько конденсаторов соединены последовательно, эквивалентная емкость цепи меньше емкости наименьшего конденсатора. Вычисляется она по формуле:

$$C_{\Sigma} = 1 / (1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots).$$

Если последовательно соединено только 2 конденсатора, общая емкость равна

$$C_{\Sigma} = C_1 \cdot C_2 / (C_1 + C_2).$$

Падения напряжения на отдельных конденсаторах обратно пропорциональны соответствующим емкостям и их сумма равна общему напряжению ΣU_C . Ток в любой точке последовательной цепи с конденсаторами один и тот же.

Экспериментальная часть

Задание

Убедитесь путем измерения тока и напряжения, что при последовательном соединении конденсаторов общая емкость цепи меньше емкости наименьшего конденсатора.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 6.6) и подсоедините регулируемый источник синусоидального напряжения с параметрами $U = 5$ В и $f = 2$ кГц.

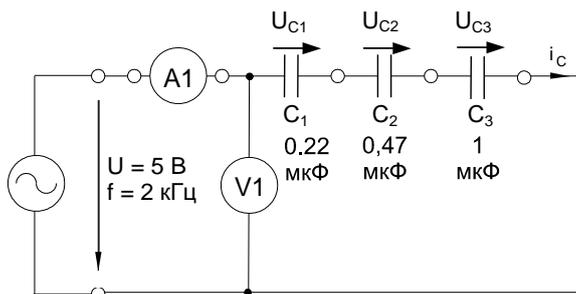


Рисунок 6.6 – Схема последовательного соединения конденсаторов

- Измерьте с помощью мультиметра или виртуальных приборов A1 и V1 действующие значения тока в цепи, приложенного напряжения и напряжения на каждом конденсаторе. Результаты измерений занесите в таблицу 6.2

Таблица 6.2 – Результаты измерений

I, mA	U, B	U _{C1} , B	U _{C2} , B	U _{C3} , B

- Рассчитайте емкостные сопротивления и емкости.
- Проверьте эквивалентную емкость цепи расчетом.

Вычисление емкостных сопротивлений:

$$X_{C1} = U_{C1} / I_C =$$

$$X_{C2} = U_{C2} / I_C =$$

$$X_{C3} = U_{C3} / I_C =$$

$$X_{\Sigma} = U / I =$$

Вычисление угловой частоты:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f =$$

Вычисление емкостей:

$$C_1 = 1 / (\omega \cdot X_{C1}) =$$

$$C_2 = 1 / (\omega \cdot X_{C2}) =$$

$$C_3 = 1 / (\omega \cdot X_{C3}) =$$

$$C_{\Sigma} = 1 / (\omega \cdot X_{\Sigma}) =$$

Проверка эквивалентной емкости цепи расчетом:

$$1/C_{\Sigma} = 1 / (1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3) =$$

- Проверьте эквивалентные сопротивления и емкость цепи непосредственными измерениями с помощью виртуальных приборов. Для этого включите блок «Приборы II». В первом приборе выберите функцию «реактивное сопротивление X» и «подключите» его к V1 и A1. Во втором приборе выберите функцию «Частотомер» и «подключите» его к V1. Третий прибор запрограммируйте на вычисление емкости. Для этого введите аргументы расчетной формулы x7 и x8 (т.е. X и f) и саму расчетную формулу:

$$y = -1 / (2 * 3,14 * x8 * x7)$$

Нажмите клавишу «Начать счет» и Вы получите результат вычисления – емкость в фарадах. Переведите ее в микрофарады и запишите результат:

$$C_{\Sigma} = \dots \quad \text{мкФ.}$$

6.4 Параллельное соединение конденсаторов

Общие сведения:

При параллельном соединении конденсаторов (рис. 6.7) эквивалентная емкость цепи равна сумме емкостей отдельных конденсаторов:

$$C_{\Sigma} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

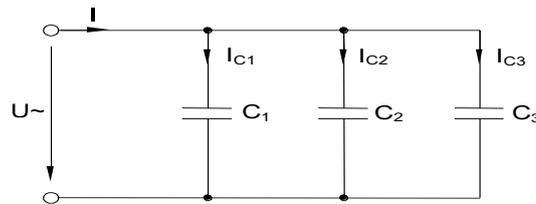


Рисунок 6.7 – Схема параллельного соединения конденсаторов

Токи в параллельных ветвях (конденсаторах) пропорциональны соответствующим емкостям, причем сумма токов ветвей равна общему току цепи I . Напряжения на всех конденсаторах одинаковы и равны U .

Экспериментальная часть

Задание

Убедитесь путем измерения токов и напряжений, что эквивалентная емкость цепи с параллельным соединением конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 6.8), подсоедините регулируемый источник синусоидального напряжения с параметрами $U = 5 \text{ В}$ и $f = 1 \text{ кГц}$. Напряжение и частоту источника установите с помощью мультиметра.

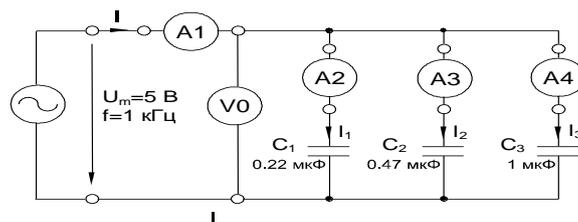


Рисунок 6.8. Схема электрической цепи

- Измерьте мультиметром или виртуальным прибором общий ток цепи I , токи параллельных ветвей I_1 , I_2 , I_3 и напряжения на конденсаторах U , занесите данные измерений в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Результаты измерений

$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$I_1, \text{ мА}$	$I_2, \text{ мА}$	$I_3, \text{ мА}$

- Вычислите емкостные реактансы X_{C3} , X_{C1} , X_{C2} , X_{C3} по формуле $X_C = U/I_C$.
- Определите емкости отдельных конденсаторов и эквивалентную емкость цепи по формуле $C = 1/(\omega \cdot X_C)$, где $\omega = 2\pi f = 1/C$.
- Проверьте вычислениями величину емкости C_{Σ} , найденную экспериментально.

Вычисление емкостных сопротивлений:

$$X_{C1} = U_{C1} / I_{C1} =$$

$$X_{C2} = U_{C2} / I_{C2} =$$

$$X_{C3} = U_{C3} / I_{C3} =$$

$$X_{\Sigma} = U / I =$$

Вычисление емкостей:

$$C_1 = 1/(\omega \cdot X_{C1}) =$$

$$C_2 = 1/(\omega \cdot X_{C2}) =$$

$$C_3 = 1/(\omega \cdot X_{C3}) =$$

$$C_3 = 1/(\omega \cdot \Sigma X_C) =$$

Проверка эквивалентной емкости расчетом:

$$C_3 = C_1 + C_2 + C_3 =$$

6.5 Реактивная мощность конденсатора

Общие сведения:

Когда конденсатор подключен к переменному синусоидальному напряжению, в нем возникает синусоидальный ток, опережающий напряжение на 90° (рис. 6.9).

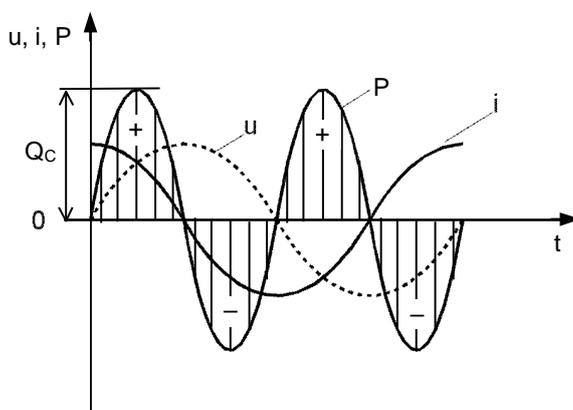


Рисунок 6.9. График синусоидального тока, напряжения и мощности в электрической цепи с конденсатором

Мгновенная мощность, потребляемая конденсатором (как и любой другой цепью) определяется как произведение напряжения и тока:

$$p = u \cdot i$$

График изменения этой мощности можно построить, перемножая попарно ординаты графиков $u(t)$ и $i(t)$, взятые в один и тот же момент времени. Полученная таким образом кривая (рис. 6.9) представляет собой синусоиду двойной частоты с амплитудой.

$$Q_C = U_{Cm} \cdot I_{Cm} / 2 = U_C \cdot I_C.$$

Когда $p > 0$, конденсатор заряжается, потребляя энергию и запасая ее в электрическом поле. Когда $p < 0$, он отдает ее другим элементам цепи, являясь источником энергии. Величина Q_C является максимальной мощностью, потребляемой или отдаваемой конденсатором, и называется **емкостной реактивной мощностью**.

Средняя (активная) мощность, потребляемая конденсатором, равна нулю.

Экспериментальная часть

Задание

Выведите кривые тока и напряжения конденсатора на экран виртуального осциллографа, перенесите их на график и постройте кривую изменения мгно-

венных значений мощности перемножением мгновенных значений напряжения и тока.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 6.10), подсоедините к ней регулируемый источник синусоидального напряжения с параметрами: $U = 5 \text{ В}$ и $f = 1 \text{ кГц}$.

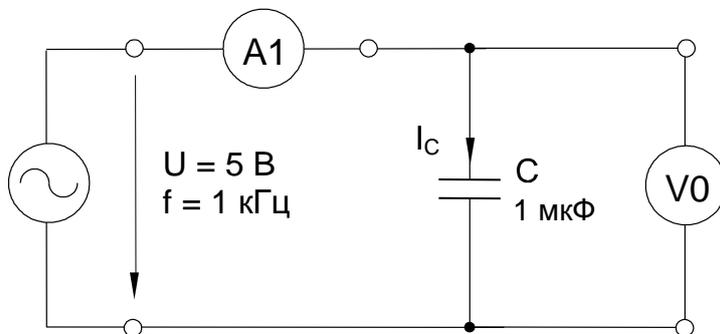


Рисунок 6.10 – Схема электрической цепи

- Включите виртуальные приборы V0, A1 и осциллограф.
- «Подключите» два входа осциллографа к приборам V0 и A1, а остальные отключите.
- Установите параметры развёртки осциллографа так, чтобы на экране было изображение примерно одного-двух периодов напряжения и тока.
- Включите блок «Приборы II», выберите из меню функции «Активная мощность» и «Реактивная мощность», подключите их к V1 и A1, запишите значения реактивной мощности Q_C и убедитесь, что активная мощность близка к нулю.
- Занесите данные осциллографирования напряжения и тока конденсатора в табл. 6.4 соответственно указанным моментам времени. Выполните вычисления мгновенных значений мощности.

Таблица 6.4 – Результаты измерений

Время t , мс	Ток i_C , мА	Напряжение u_C , В	$p = u_C \cdot i_C$, мВт
0			
0,1			
0,2			
0,3			
0,4			
0,5			
0,6			
0,7			
0,8			
0,9			
1,0			

- Перенесите данные таблицы 6.4 на график (рис.6.11).

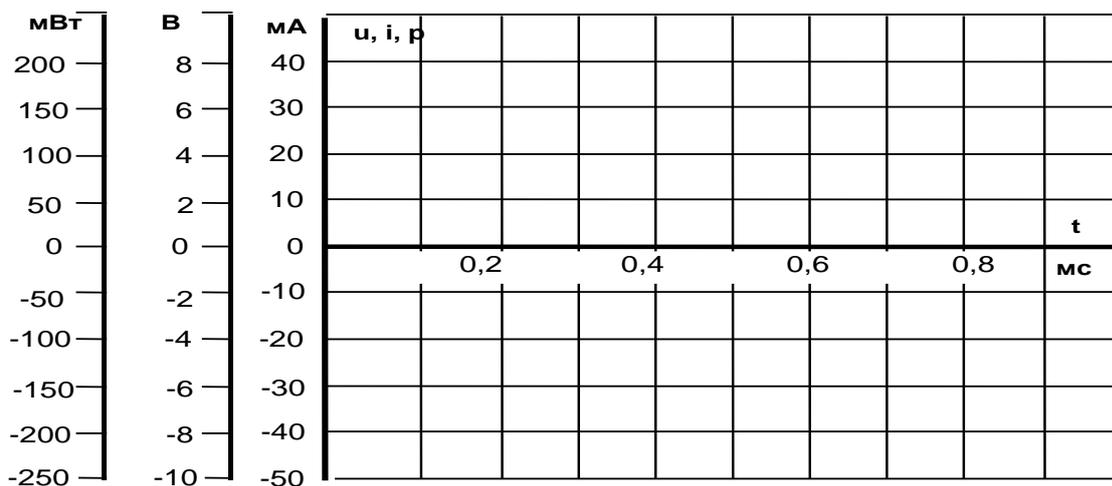


Рисунок 6.11 – График результатов измерений

• По графику $p(t)$ определите максимальное значение (реактивную мощность) и сравните ее с реактивной мощностью, измеренной варметром.

По осциллограмме: $Q_c = \dots\dots$ мВт;

По варметру: $Q_c = \dots\dots$ ВАр.

Контрольные вопросы:

1. Что понимают под цепью синусоидального тока
2. Что такое конденсатор
3. Что понимают под фазовым сдвигом
4. Как определить емкостное реактивное сопротивление
5. Как выражается емкостное реактивное сопротивление через закон Ома
6. Как зависит емкостное сопротивление от частоты
7. Последовательное и параллельное соединение конденсаторов
8. Как определяется реактивная мощность конденсатора

Лабораторная работа №7

Линейные электрические цепи синусоидального тока

Цепи синусоидального тока с катушками индуктивности

7.1 Напряжение и ток катушки индуктивности

Цель работы: Исследование линейных электрических цепей синусоидального тока содержащих катушку индуктивности. Изучение явления фазового сдвига между током и напряжением в электрической цепи, содержащей катушку индуктивности.

Общие сведения:

Когда к катушке индуктивности подведено синусоидальное напряжение, ток в ней отстает от синусоиды напряжения на ней на 90° . Соответственно, мгновенное значение тока достигает амплитудного значения на четверть периода позже, чем мгновенное значение напряжения (рис. 7.1). В этом рассуждении пренебрегается активным сопротивлением катушки.

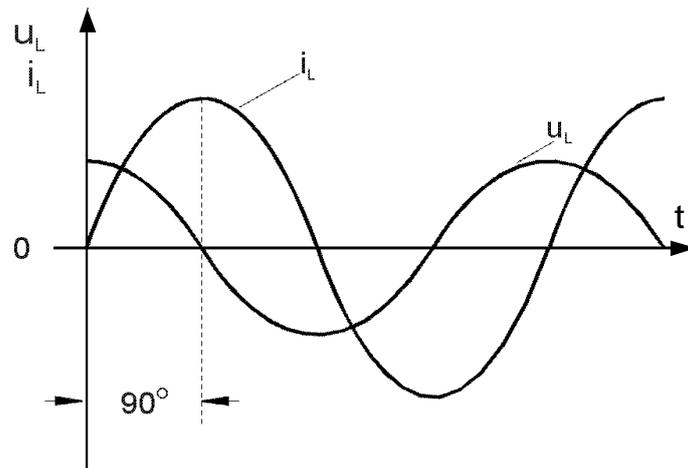


Рисунок 7.1 – График синусоидального тока и напряжения в электрической цепи с катушкой индуктивности

Экспериментальная часть

Задание

Выведите на дисплей виртуального осциллографа кривые изменения во времени мгновенных значений тока i_L и напряжения u_L катушки индуктивности и определите фазовый сдвиг между ними.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 7.2), подключите к ее входу регулируемый источник синусоидального напряжения с параметрами: $U=5\text{В}$, $f=1\text{кГц}$.

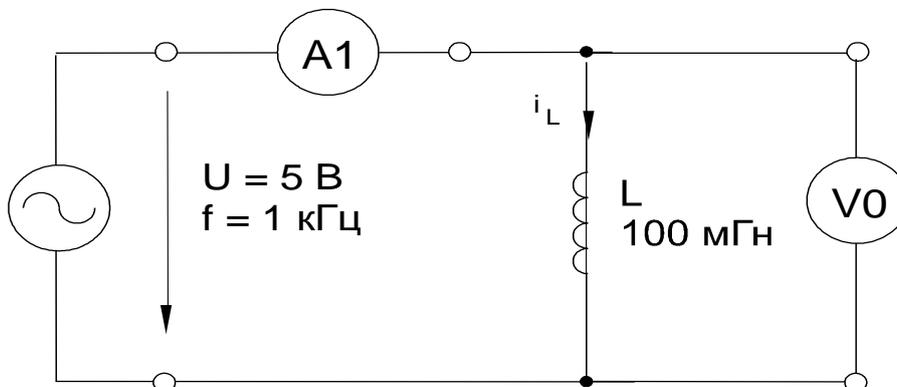


Рисунок 7.2 – Схема электрической цепи

- Включите виртуальные приборы V0, A1 и осциллограф.
- «Подключите» два входа осциллографа к приборам V0 и A1, а остальные отключите.
- Установите параметры развёртки осциллографа так, чтобы на экране было изображение примерно одного-двух периодов напряжения и тока.
- Перенесите данные осциллографирования напряжения и тока катушки на график (рис. 7.3), определите фазовый сдвиг между синусоидами напряжения и тока катушки индуктивности.

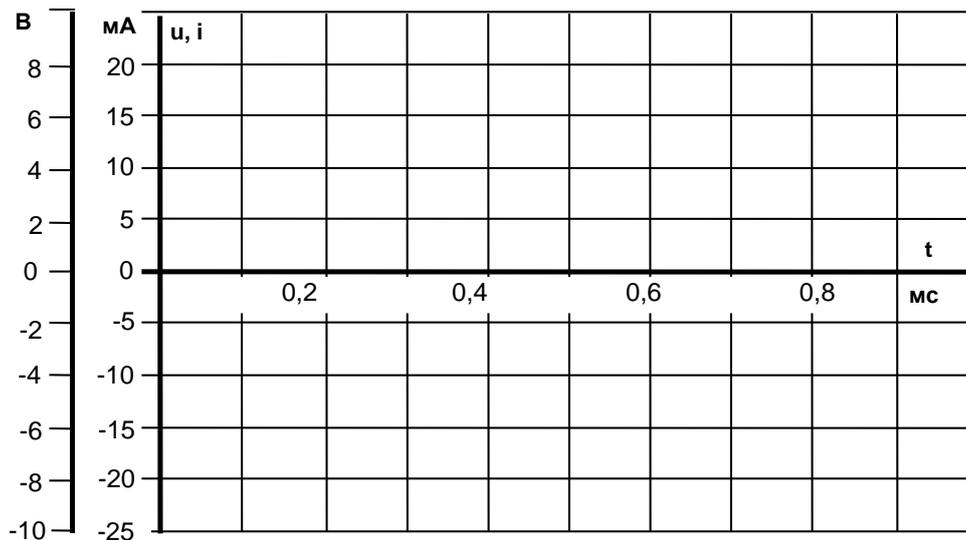


Рисунок 7.3 – График результатов измерений

Период $T =$

Фазовый сдвиг $\varphi =$

Примечание: фазовый сдвиг меньше 90° из-за влияния активного сопротивления катушки.

- Включите блок дополнительных приборов, выберите из меню прибор «Угол сдвига фаз» и «подключите» его к V1 и A1. Убедитесь, что вы правильно определили фазовый сдвиг по осциллографу.

7.2 Реактивное сопротивление катушки индуктивности

Общие сведения

Катушка индуктивности в цепи переменного тока оказывает токоограничивающий эффект благодаря индуцируемой в ней противо ЭДС. Этот токоограничивающий эффект принято выражать как *индуктивное реактивное сопротивление (индуктивный реактанс) X_L* .

Величина индуктивного реактанса X_L зависит от величины индуктивности катушки, измеряемой в Генри, и частоты приложенного напряжения переменного тока. В случае синусоидального напряжения имеем

$$X_L = \omega L = 2\pi fL ,$$

где X_L - реактивное индуктивное сопротивление, Ом,

L - индуктивность катушки, Гн.

Если активное сопротивление катушки мало и им можно пренебречь, то реактивное (индуктивное) сопротивление можно определить через действующие значения или амплитуды напряжения и тока:

$$X_L = U_L / I_L \text{ или } X_L = U_{Lm} / I_{Lm}.$$

Экспериментальная часть

Задание

Выведите на дисплей виртуального осциллографа кривые тока и напряжения различных катушек индуктивности при различных частотах и постройте зависимость $X_L = f(f)$. Соответствующий индуктивный реактанс находится по

амплитудным значениям тока и напряжения из осциллограмм и проверяется по формуле $X_L = \omega L$.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 7.4), подключите к ее входу регулируемый источник синусоидального напряжения с параметрами $U = 5 \text{ В}$, $f = 1 \text{ кГц}$.

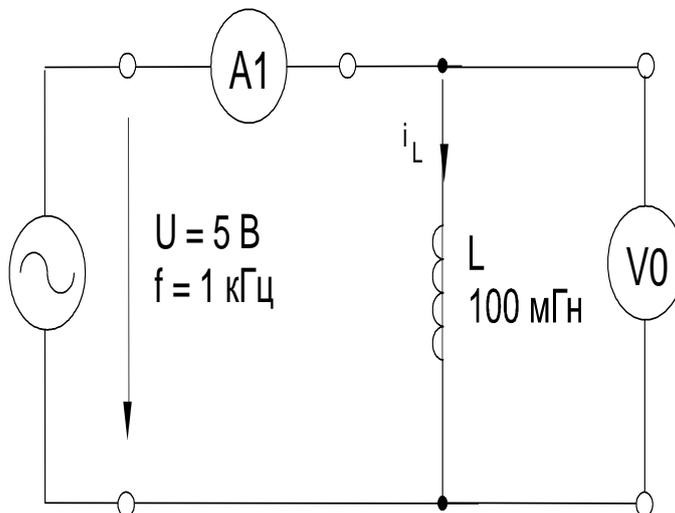


Рисунок 7.4 – Схема электрической цепи

- Включите виртуальные приборы V0, A1 и осциллограф.
- «Подключите» два входа осциллографа к приборам V0 и A1, а остальные отключите.
- Установите параметры развёртки осциллографа так, чтобы на экране было изображение примерно одного-двух периодов напряжения и тока.
- Снимите с осциллограммы амплитудные значения U_m и I_m для индуктивностей и частот, указанных в табл. 7.1, и занесите их в соответствующие ячейки таблицы.

Таблица 7.1 – Результаты измерений

f, кГц		0,5	1	1,5	2
$U_{mL}, \text{ В}$	100 мГн				
$U_{mL}, \text{ В}$	40 мГн				
$U_{mL}, \text{ В}$	10 мГн				
$I_{mL}, \text{ мА}$	100 мГн				
$I_{mL}, \text{ мА}$	40 мГн				
$I_{mL}, \text{ мА}$	10 мГн				
$X_L = U_m / I_m, \text{ кОм}$	100 мГн				
	40 мГн				
	10 мГн				
$X_L = \omega L, \text{ кОм}$	100 мГн				
	40 мГн				
	10 мГн				

- Вычислите величины X_L по формулам U_m/I_m и ωL и занесите их в таблицу 5.2.1.
- Перенесите величины X_L на график (рис. 7.5) для построения кривой $X_L = f(f)$.

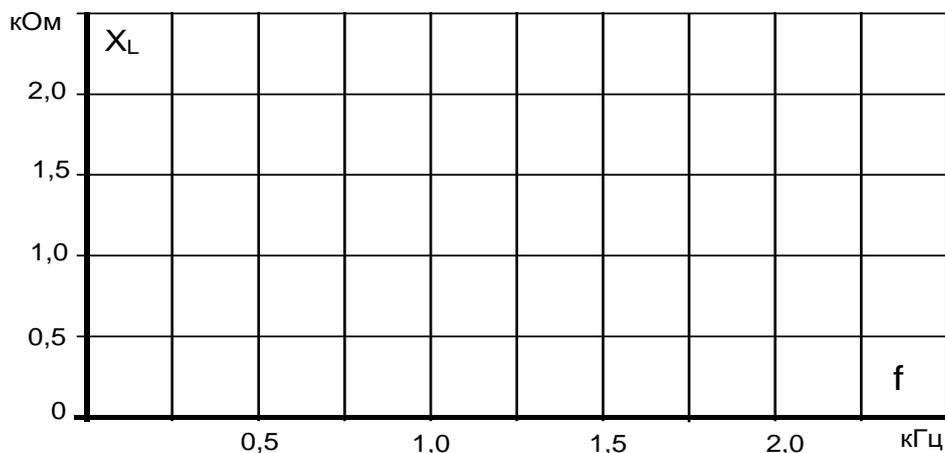


Рисунок 7.5 – График для построения кривой $X_L = f(f)$

7.3 Последовательное соединение катушек индуктивности

Общие сведения

Когда несколько (рис. 7.6), эквивалентная индуктивность цепи равна сумме индуктивностей отдельных катушек:

$$L_{\Sigma} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$$

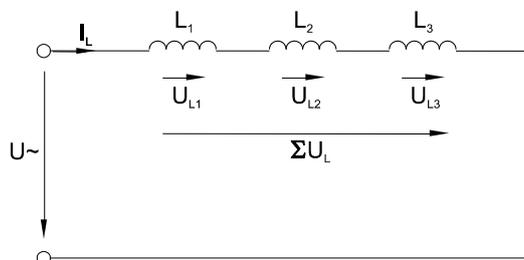


Рисунок 7.6 – Последовательное соединение катушек индуктивности

Падения напряжения на отдельных катушках пропорциональны соответствующим индуктивным сопротивлениям и их сумма равна приложенному напряжению U . Ток в любой точке последовательной цепи с катушками один и тот же.

Экспериментальная часть

Задание

Докажите путем измерения тока и напряжения в предположении $X_L = \omega L$, что при последовательном соединении катушек эквивалентная индуктивность цепи равна сумме индуктивностей отдельных катушек.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 7.7) и подсоедините регулируемый источник синусоидального напряжения с параметрами $U = 5 \text{ В}$ и $f = 1 \text{ кГц}$.

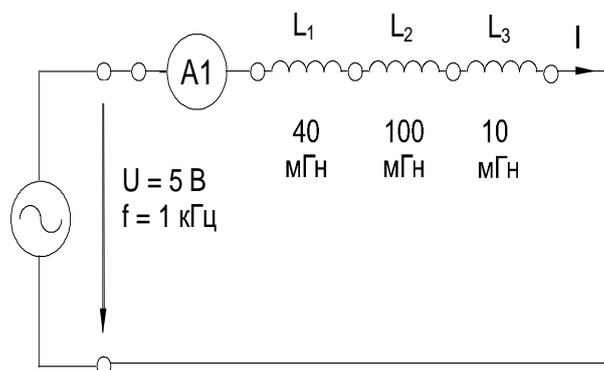


Рисунок 7.7 – Схема электрической цепи

- Измерьте с помощью мультиметров или виртуальных приборов A1 и V1 действующие значения тока в цепи, приложенного напряжения и напряжения на каждой катушке. Результаты измерений занесите в таблицу 7.2.

Таблица 7.2 – Результаты измерений

I, мА	U, В	U _{L1} , В	U _{L2} , В	U _{L3} , В

- Рассчитайте реактивные сопротивления и индуктивности катушек, эквивалентную индуктивность цепи по данным измерений.

Вычисление индуктивных реактансов:

$$X_{L1} = U_{L1} / I_L =$$

$$X_{L2} = U_{L2} / I_L =$$

$$X_{L3} = U_{L3} / I_L =$$

$$X_{\Sigma} = U / I =$$

Вычисление угловой частоты:

$$\omega = 2\pi f =$$

Вычисление индуктивностей:

$$L_1 = X_{L1} / \omega =$$

$$L_2 = X_{L2} / \omega =$$

$$L_3 = X_{L3} / \omega =$$

$$L_{\Sigma} = X_{L\Sigma} / \omega =$$

7.4 Параллельное соединение катушек индуктивности

Общие сведения:

При параллельном соединении катушек (рис. 7.8) эквивалентная индуктивность цепи меньше индуктивности наименьшей катушки. Вычисляется она по формуле:

$$1/L_{\Sigma} = 1/(1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + \dots).$$

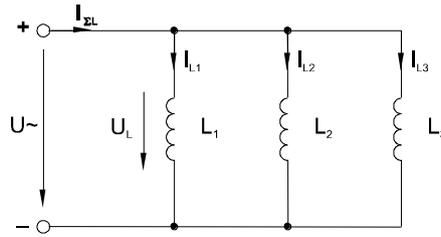


Рисунок 7.8 – Схема параллельных соединений катушек индуктивности

Если последовательно соединены только 2 катушки, общая индуктивность равна

$$L_{\Sigma} = L_1 \cdot L_2 / (L_1 + L_2).$$

Токи в отдельных катушках обратно пропорциональны соответствующим индуктивностям и их сумма равна общему току цепи. Напряжение, приложенное к каждой катушке, одинаково и равно U .

Экспериментальная часть

Задание

Докажите путем измерения токов и напряжений, что эквивалентная индуктивность цепи с параллельным соединением катушек меньше индуктивности наименьшей катушки и что измеренные индуктивные реактансы и индуктивности связаны соотношением:

$$X_L = \omega L$$

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 7.9) подсоедините регулируемый источник синусоидального напряжения с параметрами $U = 5 \text{ В}$ и $f = 1 \text{ кГц}$.

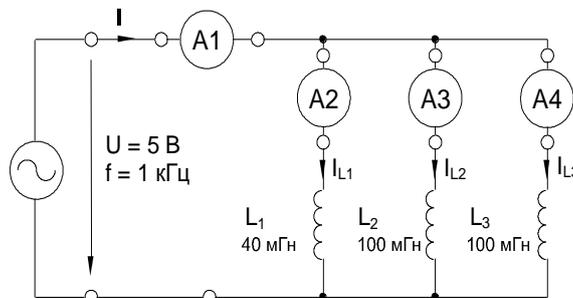


Рисунок 7.9 – Схема электрической цепи

- Измерьте с помощью мультиметра или виртуальных приборов общий ток цепи I , токи параллельных ветвей I_1 , I_2 , I_3 и падения напряжения U на катушках, занесите данные измерений в таблицу 7.3

Таблица 7.3 - Результаты измерений

$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$I_1, \text{ мА}$	$I_2, \text{ мА}$	$I_3, \text{ мА}$

- Вычислите индуктивные сопротивления $X_{L\Sigma}$, X_{L1} , X_{L2} , X_{L3} по формуле $X_L = U/I_L$.

- Определите индуктивности отдельных катушек и общую индуктивность цепи по формуле $L = X_L / \omega$.
- Проверьте вычислениями величину индуктивности L_{Σ} , найденную экспериментально.

Вычисление индуктивных сопротивлений:

$$X_{L1} = U_{L1} / I_{L1} =$$

$$X_{L2} = U_{L2} / I_{L2} =$$

$$X_{L3} = U_{L3} / I_{L3} =$$

$$X_{L\Sigma} = U / I =$$

Вычисление индуктивностей:

$$L_1 = X_{L1} / \omega =$$

$$L_2 = X_{L2} / \omega =$$

$$L_3 = X_{L3} / \omega =$$

$$L_{\Sigma} = X_{L\Sigma} / \omega =$$

Проверка общей индуктивности расчетом:

$$L_{\Sigma} = 1 / (1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3) =$$

7.5 Реактивная мощность катушки индуктивности

Общие сведения:

Когда катушка индуктивности подключена к переменному синусоидальному напряжению, в ней возникает синусоидальный ток, отстающий по фазе от напряжения на 90° (рис. 7.10).

Изменение во времени *мгновенной мощности*, потребляемой в катушке, может быть представлено на графике (рис. 7.10) путем перемножения мгновенных значений тока i и напряжения u . Положительная полуволна кривой мощности равнозначна подведению энергии к катушке. Во время отрицательной полуволны катушка отдает запасенную ранее энергию магнитного поля. В идеальной катушке потерь активной мощности нет. В действительности же возвращаемая энергия всегда меньше потребляемой из-за потерь энергии в активном сопротивлении катушки.

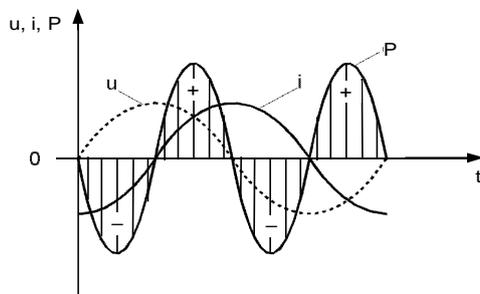


Рисунок 7.10 – График синусоидального тока, напряжения и мощности в цепи с катушкой индуктивности

В идеальной катушке (при $R=0$) график мощности $p(t)$ представляет собой синусоиду двойной частоты (см. рис. 7.10) с амплитудой

$$Q_L = U_{Lm} I_{Lm} / 2 = U_L I_L.$$

Это значение является максимальной мощностью, потребляемой или отдаваемой идеальной катушкой индуктивности. Она называется **индуктивной реактивной мощностью**.

Средняя (активная) мощность, потребляемая такой катушкой, равна нулю.

Экспериментальная часть

Задание

Выведите кривые тока и напряжения катушки на экран виртуального осциллографа, перенесите их на график и постройте кривую изменения мгновенных значений мощности перемножением мгновенных значений напряжения и тока.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 7.11), подсоедините к ней регулируемый источник синусоидального напряжения с параметрами: $U = 5 \dots 7 \text{ В}$ и $f = 200 \text{ Гц}$. В качестве индуктивности с малым активным сопротивлением используйте катушку трансформатора 300 витков, вставив между подковами разъемного сердечника полоски бумаги в один слой (немагнитный зазор).

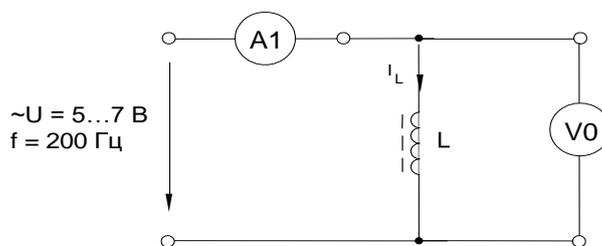


Рисунок 7.11 – Схема электрических соединений

- Включите виртуальные приборы V0, A1 и осциллограф.
- «Подключите» два входа осциллографа к приборам V0 и A1, а остальные отключите.
- Установите параметры развёртки осциллографа так, чтобы на экране было изображение примерно одного-двух периодов напряжения и тока.
- Включите блок дополнительных приборов, выберите из меню приборы «Активная мощность» и «Реактивная мощность» и подключите их к V1 и A1. Запишите значения реактивной мощности Q_L и активной P . Убедитесь, что $P \ll Q_L$.
- Занесите данные осциллографирования напряжения и тока в катушке в табл. 7.4 соответственно указанным в ней моментам времени, выполните вычисления мгновенных значений реактивной мощности.

Таблица 7.4 – Результаты измерений

Время t, мс	Ток i_L , мА	Напряжение u_L , В	$p = u_L i_L$, мВт
0			
0,1			
0,2			
0,3			
0,4			

0,5			
0,6			
0,7			
0,8			
0,9			
1,0			

- Перенесите данные табл. 7.4 на график (рис. 7.12).

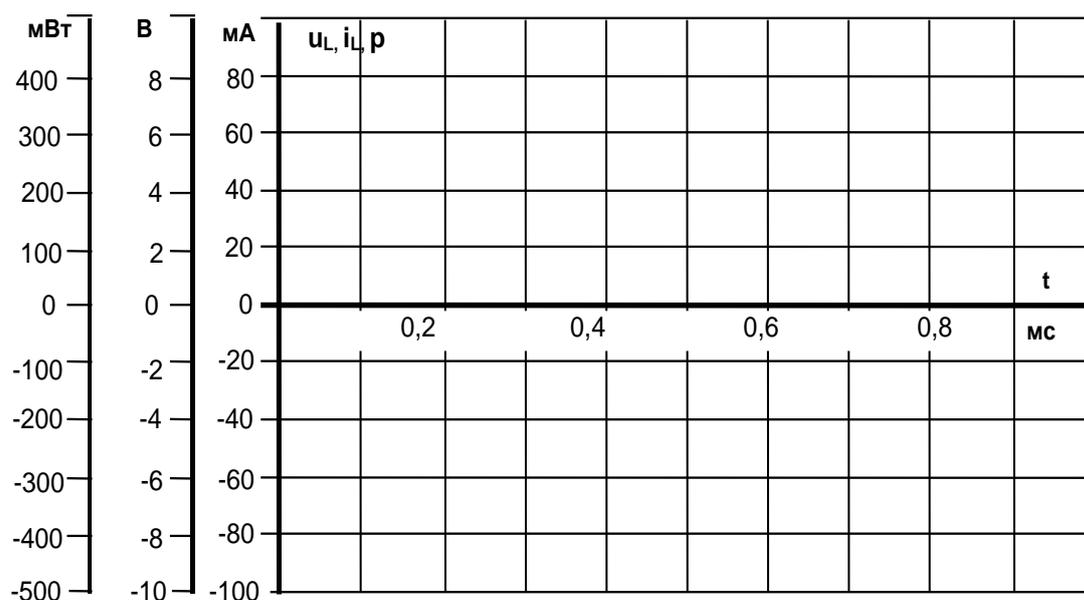


Рисунок 7.12 – График по результатам измерений

- По графику $p(t)$ определите максимальную возвращаемую мощность (реактивную мощность)

$$Q_L = (P_{\text{макс}} - P_{\text{мин}}) / 2 =$$

- Сравните эту мощность с мощностью, измеренной варметром:

$$Q_L = \dots$$

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение катушки индуктивности?
2. Как определяется фазовый сдвиг в цепи с катушкой индуктивности?
3. Как определить реактивное сопротивление катушки индуктивности?
4. Как зависит индуктивное сопротивление от частоты?
5. Последовательное соединение катушек индуктивности?
6. Параллельное соединение катушек индуктивности?
7. Как определить реактивную мощность катушки индуктивности?
8. Что понимают под идеальной катушкой индуктивности?

Лабораторная работа №8

Линейные электрические цепи синусоидального тока Цепи синусоидального тока с резисторами, конденсаторами и катушками индуктивности

Цель работы: Цель состоит в измерении и расчете токов, напряжений и их фазовых сдвигов, также как и эквивалентных параметров цепей при параллельном и последовательном соединении резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности.

Общие сведения:

Эксперименты данного раздела касаются взаимодействия резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности при переменном синусоидальном напряжении.

Действующие значения и фазы соответствующих величин могут быть показаны на векторных диаграммах или на осциллограммах.

На векторной диаграмме каждая синусоидальная функция времени (ток или напряжение) представляется вектором, длина которого соответствует в выбранном масштабе амплитуде или действующему значению, а направление определяется начальной фазой, отсчитываемой от выбранного начала отсчета углов. Например, напряжение $u = U_m \sin(\omega t + \psi)$ изображается вектором длиной U_m или $U_m/\sqrt{2}$, расположенным под углом ψ к горизонтали. Векторные изображения синусоидальных величин в дальнейшем будут подчеркиваться.

8.1 Последовательное соединение резистора и конденсатора

Общие сведения

Когда к цепи (рис. 8.1) с последовательным соединением резистора и конденсатора подается переменное синусоидальное напряжение, один и тот же синусоидальный ток имеет место в обоих компонентах цепи.

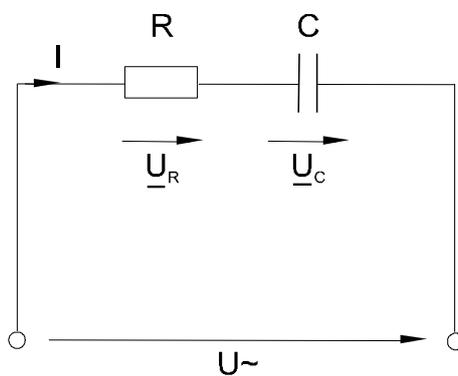


Рисунок 8.1 – Схема последовательного соединения резистора и конденсатора

Между напряжениями \underline{U}_R , \underline{U}_C и \underline{U} существуют фазовые сдвиги, обусловленные емкостным реактивным сопротивлением X_C конденсатора. Они могут быть представлены с помощью векторной диаграммы напряжений (рис. 8.2).

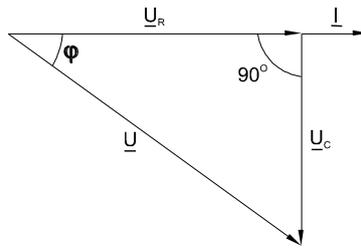


Рисунок 8.2 – Векторная диаграмма напряжений

Фазовый сдвиг между током \underline{I} и напряжением на резисторе \underline{U}_R отсутствует, тогда как сдвиг между этим током и падением напряжения на конденсаторе \underline{U}_C равен -90° (т.е. ток опережает напряжение на 90°). При этом сдвиг между полным напряжением цепи \underline{U} и током \underline{I} определяется соотношением между сопротивлениями X_C и R .

Если каждую сторону треугольника напряжений разделить на ток, то получим треугольник сопротивлений (рис. 8.3). В треугольнике сопротивлений Z представляет собой так называемое полное сопротивление цепи.

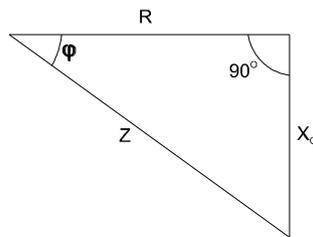


Рисунок 8.3 – Треугольник сопротивлений

Из-за фазового сдвига между током и напряжением в цепях, подобных данной, простое арифметическое сложение действующих или амплитудных значений напряжений на отдельных элементах цепи невозможно. Невозможно и сложение разнородных (активных и реактивных) сопротивлений. Однако, в векторной форме

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_C.$$

Действующее значение полного напряжения цепи, как следует из векторной диаграммы

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} = Z \cdot I$$

Полное сопротивление цепи

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = U/I$$

Активное сопротивление цепи

$$R = Z \cdot \cos \varphi$$

Емкостное реактивное сопротивление цепи

$$X_C = Z \cdot \sin \varphi$$

Угол сдвига фаз

$$\varphi = \arctg(-U_C / U_R) = \arctg(-X_C / R)$$

Экспериментальная часть

Задание

Для цепи с последовательным соединением резистора и конденсатора измерьте и вычислите действующие значения падений напряжения на резисторе U_R и конденсаторе U_C , ток I , угол сдвига фаз φ , полное сопротивление цепи Z и емкостное реактивное сопротивление X_C и активное сопротивление R .

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 8.4), подсоедините регулируемый источник синусоидального напряжения и установите его параметры: $U = 5$ В, $f = 1$ кГц.

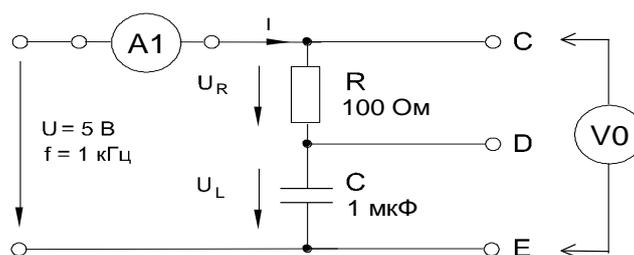


Рисунок 8.4 – Схема электрических соединений

- Выполните мультиметрами или виртуальными приборами измерения действующих значений тока и напряжений, указанных в таблице 8.1. При измерениях напряжений подключайте мультиметр или канал V0 коннектора к зажимам C-E, C-D, D-E:

Таблица 8.1 – Результаты измерений

U, В	U_R , В	U_C , В	I, мА	φ , град	R, Ом	X_C , Ом	Z, Ом	Примечание
								Расчет
								Вирт. Изм

- Вычислите:
Фазовый угол

$$\varphi = \arctg (U_C / U_R) =$$

Полное сопротивление цепи

$$Z = U / I =$$

Активное сопротивление цепи

$$R = Z \cdot \cos \varphi$$

Емкостное реактивное сопротивление цепи

$$X_C = Z \cdot \sin \varphi$$

- Если вы работаете с виртуальными приборами, то измерьте с помощью блока «Приборы II» R , φ , X_C , Z и запишите их значения также в таблицу 8.1 под рассчитанными величинами. Сравните результаты.

- Выберите масштабы и постройте векторную диаграмму напряжений (рис. 8.5) и треугольник сопротивлений (рис. 8.6).



Рисунок 8.5 – Векторная диаграмма напряжений

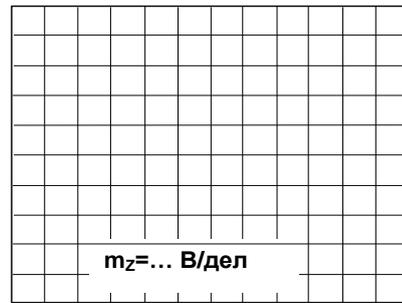


Рисунок 8.6 – Треугольник сопротивлений

8.2 Последовательное соединение конденсатора и катушки индуктивности. Понятие о резонансе напряжений

Общие сведения:

Когда по цепи (рис. 8.6) с последовательным соединением конденсатора и катушки индуктивности протекает один и тот же синусоидальный ток \underline{I} , напряжение на конденсаторе \underline{U}_C отстает от тока \underline{I} на 90° , а напряжение на катушке индуктивности \underline{U}_L опережает ток на 90° . Эти напряжения находятся в противофазе (повернуты относительно друг друга на 180°).

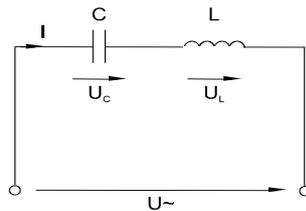


Рисунок 8.6 – Схема с последовательным соединением конденсатора и катушки индуктивности

Когда одно из напряжений больше другого, цепь оказывается либо преимущественно индуктивной (рис. 8.7), либо преимущественно емкостной (рис. 8.8). Если напряжения \underline{U}_L и \underline{U}_C имеют одинаковые значения и компенсируют друг друга, то суммарное напряжение на участке цепи L – C оказывается равным нулю. Остается только небольшая составляющая напряжения на активном сопротивлении катушки и проводов. Такое явление называется **резонансом напряжений** (рис. 8.9).

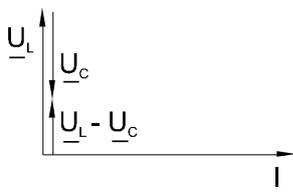


Рисунок 8.7

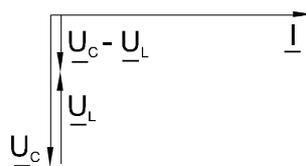


Рисунок 8.8

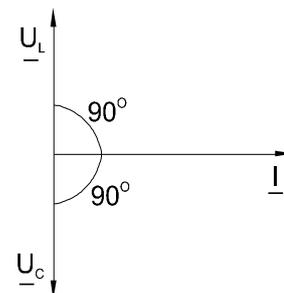


Рисунок 8.9

При резонансе напряжений реактивное сопротивление цепи $X = X_L - X_C$ оказывается равным нулю. При заданных значениях L и C резонанс может быть получен путем изменения частоты.

Поскольку $X_L = \omega L$, а $X_C = 1 / \omega C$, то резонансная частота ω_0 может быть определена из уравнения:

$$\omega_0 L - 1 / \omega_0 C = 0,$$

откуда

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ и } f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Полное сопротивление цепи при резонансе оказывается равным небольшому активному сопротивлению катушки, поэтому ток в цепи совпадает по фазе с напряжением и может оказаться довольно большим даже при маленьком приложенном напряжении. При этом напряжения U_L и U_C могут существенно (в десятки раз!) превышать приложенное напряжение.

Экспериментальная часть

Задание

Для цепи с последовательным соединением конденсатора и катушки индуктивности измерьте действующие значения тока I и напряжений U , U_C , U_L при $\omega = \omega_0$, $\omega < \omega_0$ и $\omega > \omega_0$. Постройте векторные диаграммы.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 8.10), подсоедините регулируемый источник синусоидального напряжения и установите напряжение на его входе 2 В и частоту 500 Гц. В качестве индуктивности с малым активным сопротивлением используйте катушку трансформатора 300 витков, вставив между подковами разъемного сердечника полоски бумаги в один слой (немагнитный зазор).

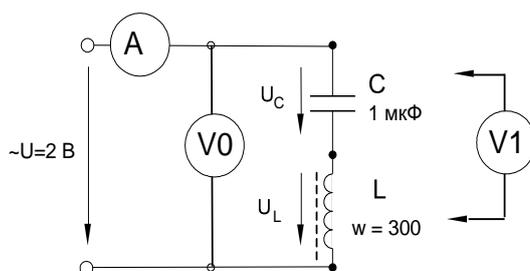


Рисунок 8.10 – Схема электрической цепи

- Изменяя частоту приложенного напряжения, добейтесь резонанса по максимальному току. Для точной настройки по максимуму тока необходимо поддерживать неизменным напряжение на входе цепи. При измерениях виртуальными приборами резонанс настраивается по переходу через ноль угла сдвига фаз между входным напряжением и током. Тогда нет необходимости поддерживать входное напряжение неизменным.

- Произведите измерения и запишите в табл. 6.5.1 результаты измерений при резонансе $f=f_0$ при $f_1 \approx 0,75f_0$ и $f_2 \approx 1,25f_0$.

Таблица 8.2 – Результаты измерений

f , Гц	I , мА	U , В	U_L , В	U_C , В
$f_0 =$				
$f_1 =$				
$f_2 =$				

- Постройте в одинаковом масштабе векторные диаграммы на рис. 8.11 для каждого из рассмотренных случаев.

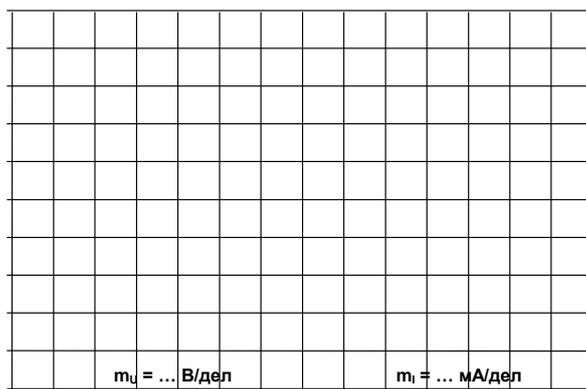


Рисунок 8.11 – Векторные диаграммы для каждого рассмотренного случая

8.3 Параллельное соединение конденсатора и катушки индуктивности. Понятие о резонансе токов

Общие сведения:

Когда к цепи (рис. 8.12) с параллельным соединением конденсатора и катушки индуктивности подается переменное синусоидальное напряжение U , одно и то же напряжение приложено к обоим элементам цепи.

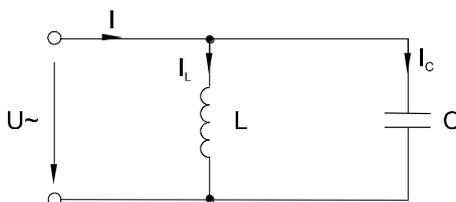


Рисунок 8.12 – Электрическая цепь с параллельным соединением конденсатора и катушки индуктивности

Общий ток цепи I разветвляется на ток в конденсаторе I_C (емкостная составляющая общего тока) и ток в катушке I_L (индуктивная составляющая общего тока), причем ток I_L отстает от напряжения U на 90° , а I_C опережает на 90° .

Токи I_C и I_L имеют противоположные фазы (180°) и в зависимости от их величин уравновешивают друг друга полностью или частично. Они могут быть представлены с помощью векторных диаграмм токов (рис. 8.13 – 8.15).

Когда $I_C = I_L$ и общий ток цепи равен нулю, имеет место *резонанс токов* (векторная диаграмма рис. 8.13)

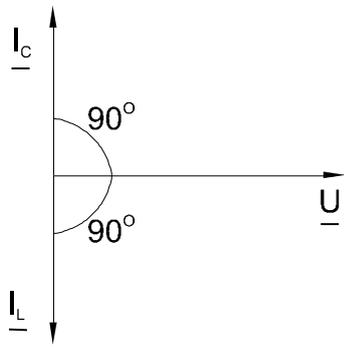


Рисунок 8.13

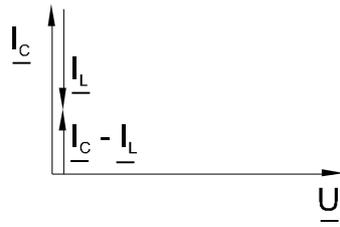


Рисунок 8.14

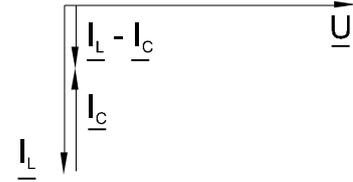


Рисунок 8.15

Когда $I_C > I_L$, т.е. преобладает ток конденсатора, общий ток цепи I является по характеру емкостным и опережает напряжение U на 90° (рис. 8.14).

Когда $I_C < I_L$, т.е. преобладает ток катушки, общий ток цепи I является индуктивным и отстает от напряжения U на 90° (рис. 8.15).

Эти рассуждения проведены в пренебрежении потерями активной мощности в конденсаторе и катушке.

При резонансе токов реактивная проводимость цепи $B = B_L - B_C$ равна нулю. Резонансная частота определяется из уравнения:

$$\frac{1}{\omega_0 L} - \omega_0 C = 0,$$

откуда, так же, как и при резонансе напряжений,

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ и } f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Полная проводимость при резонансе токов оказывается близкой к нулю. Остается некомпенсированной лишь небольшая активная проводимость, обусловленная активным сопротивлением катушки и несовершенной изоляцией конденсатора. Поэтому ток в неразветвленной части цепи имеет минимальное значение, тогда как токи I_L и I_C могут превышать его в десятки раз.

Экспериментальная часть

Задание

Для цепи с параллельным соединением конденсатора и катушки индуктивности измерьте действующие значения напряжения U и токов I , I_C и I_L при $\omega = \omega_0$, $\omega < \omega_0$ и $\omega > \omega_0$. Постройте векторные диаграммы.

Порядок выполнения работы

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 8.16), подсоедините регулируемый источник синусоидального напряжения и установите его параметры: $U = 7$ В, $f = 500$ Гц. В качестве индуктивности с малым активным сопротивлением используйте катушку трансформатора 300 витков, вставив между подковами разъемного сердечника полоски бумаги в один слой (немагнитный зазор).

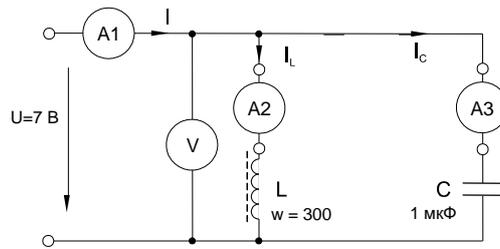


Рисунок 8.16 – Схема электрических соединений

- Изменяя частоту приложенного напряжения, добейтесь резонанса по минимальному току I . Для точной настройки поддерживайте неизменным напряжение на входе цепи. При измерениях виртуальными приборами резонанс настраивается по переходу через ноль угла сдвига фаз между входным током и напряжением. Тогда необязательно поддерживать неизменным напряжение на входе цепи.

- Произведите измерения и запишите результаты измерений в табл. 6.6.1 при $f = f_0$, $f_1 \approx 0,75f_0$ и $f_2 \approx 1,25f_0$.

Таблица 8.3 – Результаты измерений

f , Гц	U , В	I , мА	I_L , мА	I_C , мА
$f_0 =$				
$f_1 =$				
$f_2 =$				

- Постройте в одинаковом масштабе векторные диаграммы на рис. 8.17 для каждого из рассмотренных случаев.

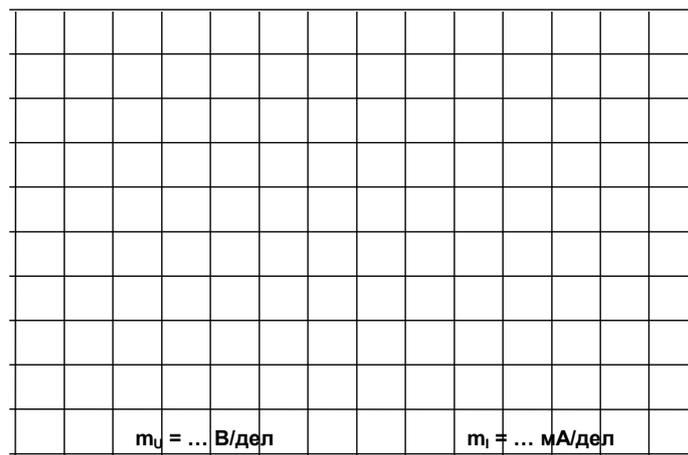


Рисунок 8.17 – Векторные диаграммы для каждого случая

8.4 Мощности в цепи синусоидального тока

Общие сведения:

На рис. 8.18а изображена произвольная пассивная цепь синусоидального тока с двумя зажимами для подключения источника питания (*пассивный двух-полюсник*).

В общем случае ток и напряжение на входе этой цепи сдвинуты по фазе на угол φ :

$$u=U_m \sin(\varphi t); \quad i=I_m \sin(\varphi t - \varphi).$$

Мгновенная мощность, потребляемая цепью от источника:

$$p=ui= U_m I_m \sin(\varphi t) \sin(\varphi t - \varphi) = UI \cos \varphi - UI \cos(2\varphi t - \varphi).$$

График изменения этой мощности представлен на рис. 8.18.б вместе с графиками изменения тока и напряжения. Мощность колеблется с двойной частотой. Большую часть периода она имеет положительное значение, а меньшую – отрицательное. Отрицательное значение мощности свидетельствует о возврате части накопленной в конденсаторах и катушках энергии в питающую цепь источник энергии.

Среднее значение потребляемой мощности:

$$P=UI \cos \varphi$$

называется **активной мощностью**. Она характеризует среднюю скорость преобразования электрической энергии в другие виды энергии. Потребляемая в пассивной цепи активная мощность имеет всегда положительное значение. Она измеряется в ваттах (Вт).

Амплитуда переменной составляющей мощности:

$$S=UI=I^2 Z$$

называется **полной мощностью**. Она характеризует максимальную мощность, на которую должен быть рассчитан источник для питания данной цепи. Её иногда называют **кажущейся, габаритной** или **аппаратной мощностью**. Единицей её измерения является вольт-ампер (ВА)

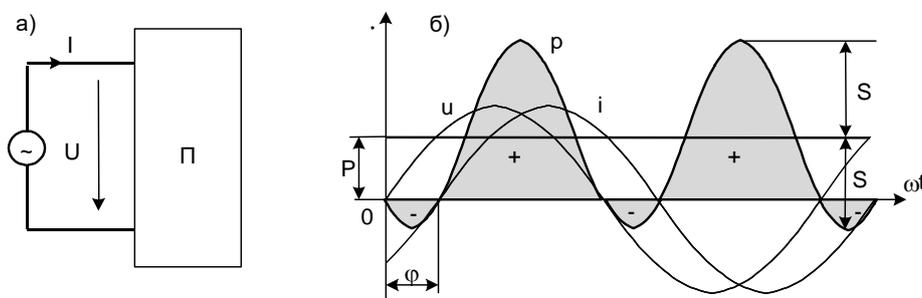


Рисунок 8.18 – а) Произвольная пассивная цепь синусоидального тока с двумя зажимами для подключения источника питания;
б) Мгновенная мощность, потребляемая цепью от источника

Величина $Q=UI \sin \varphi$ называется **реактивной мощностью**. Она характеризует максимальную скорость обмена энергии между источником и цепью. Она может быть, как положительной (при $\varphi > 0$, т.е. в индуктивной цепи), так и отрицательной (при $\varphi < 0$, т.е. в ёмкостной цепи). В связи с этим иногда говорят, что индуктивность потребляет «реактивную энергию», а ёмкость вырабатывает её. Реактивная мощность измеряется в вольт-амперах реактивных (ВАр).

В электрической цепи синусоидального тока выполняется баланс как активных, так и реактивных (**но не полных!**) мощностей, т. е. сумма мощностей всех источников равна сумме мощностей всех потребителей:

$$\sum P_{ист.} = \sum P_{потр.}; \quad \sum Q_{ист.} = \sum Q_{потр.}$$

Соотношения между различными мощностями в цепи синусоидального тока можно наглядно представить в виде треугольника мощностей (рис. 8.19).

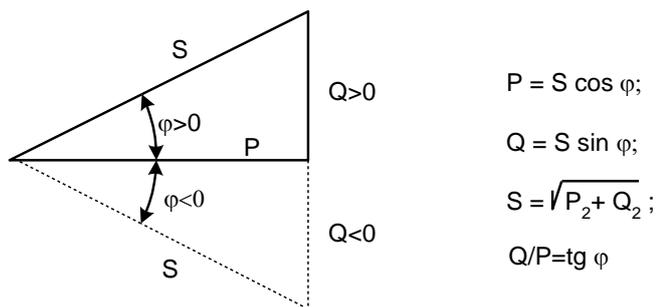


Рисунок 8.19 – Треугольника мощностей

Экспериментальная часть

Задание

Измерьте с помощью виртуальных приборов мощности в цепи синусоидального тока. Расчётом проверьте баланс активных и реактивных мощностей.

Порядок выполнения работы

- Измерьте омметром активное сопротивление катушки индуктивности 40мГн:

$$R_k = \quad \text{Ом.}$$

- Вычислите реактивные сопротивления катушки $L=40$ мГн и конденсатора $C=1$ мкФ:

$$X_L = 2\pi f L = \quad \text{Ом;}$$

$$X_C = 1/2\pi f C = \quad \text{Ом.}$$

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 8.20), включив в неё виртуальные приборы V1 и A1 и безразлично виртуальные или реальные A2 и A3.
- Подайте на схему синусоидальное напряжение 500 Гц и установите максимальную амплитуду, которую может дать генератор.
- Активизируйте виртуальные приборы: для измерения напряжения и тока на входе цепи, а также активной и реактивной мощности источника.

Примечание:

Избегайте включать одновременно большое количество виртуальных приборов в основном блоке. Это уменьшает количество отсчётов и снижает точность измерений!

- Запишите в табл. 8.4 значения токов I_{RL} , I_R , I_C и мощностей $P_{ист}$ и $Q_{ист}$.
-

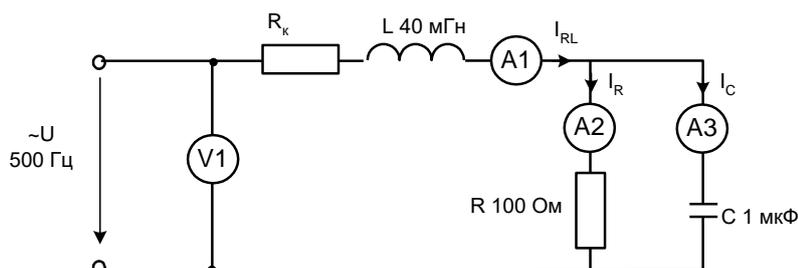


Рисунок 8.20 – Схема электрических соединений

Таблица 8.4 – Результаты измерений

Ветвь		R	C	Баланс мощностей, мВт, мВАр			
I, мА							
$P=I^2R$, мВт			0	$P_{ист}$		$\sum P_{потр}$	
$Q=I^2X$, мВАр		0		$Q_{ист}$		$\sum Q_{потр}$	

- Вычислите по приведённым в табл. формулам значения активной и реактивной мощностей каждого потребителя. Вычислите сумму активных и алгебраическую сумму реактивных мощностей их суммы и проверьте баланс мощностей.

Контрольные вопросы:

1. Основные расчетные зависимости цепей синусоидального тока при последовательном соединении R и C?
2. Основные расчетные зависимости цепей синусоидального тока при последовательном соединении L и C?
3. Дайте определение резонанса напряжений и постройте диаграмму?
4. Назовите электрические цепи в которых возникает резонанс напряжений?
5. Резонанс напряжений - желательный режим производственной цепи или нет, обоснуйте ответ?
6. Дайте определение резонанса токов и постройте диаграмму?
7. Какое значение принимает ток в неразветвленной ветви электрической цепи при резонансе токов?
8. Резонанс токов- желательный режим производственной цепи или нет, обоснуйте ответ?
9. Мощность цепи синусоидального тока, основные понятия?
10. Запишите соотношения между различными мощностями в цепи синусоидального тока?
11. Зачем нужно стремиться к увеличению коэффициента мощности в цепи синусоидального тока?
12. Почему при уменьшении фазового сдвига ток уменьшается?

Список использованной литературы

1. Теоретические основы электротехники: учебник для вузов / К.С. Демирчан, Л.Р.Нейман, Н.В. Коровин, В.Л.Чечурин. СПб.: Питер, 2004. Т. 1, 2.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов. М.: Гардарики, 2000.
3. Электротехника и электроника: в 3 кн. Электрические и магнитные цепи. Кн. 1. / В.Г. Герасимов, Э.В. Кузнецов, О.В. Николаева и др. М.: Энергоатомиздат, 1996.
4. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: в 2 кн. М.: Энергоатомиздат, 1995.
5. Теоретические основы электротехники / А.Н. Горбунов, И.Д. Кабанов, А.В. Кравцов, И.Я. Редько. М., 1998.
6. Потапов Л.А. Краткий курс теоретических основ электротехники: учебное пособие. Брянск: БГТУ, 2001. Ч. 1.
7. Евдокимов Ф.С. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа, 1999.
8. Белов Н.В., Волков Ю.С. Электротехника и основы электроники: учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2012. 432 с.
9. Иванов И.И., Соловьев Г.И., Фролов В.Я. Электротехника и основы электроники: учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2012. 736 с.
10. Данилов И.А. Общая электротехника: учебное пособие. М.: Издательство Юрайт, 2010. 673 с.

Учебное издание

Широбокова Ольга Евгеньевна

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Часть 1

Лабораторный практикум

для бакалавров направления подготовки:

13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

Редактор Аддылина Е.С.

Подписано к печати 02.11.2022 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 3,37 Тираж 25 экз. Изд. №.7399

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский