



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ
И СВЯЗИ**

**Кафедра теоретических
основ электротехники**

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Методические указания и задания к лабораторным работам
(для специальности 5В070200 – Автоматизация и управление)

Алматы 2014

СОСТАВИТЕЛИ: С.Ю. Креслина, А.Т Аршабекова. Теоретические основы электротехники. Методические указания и задания к лабораторным работам (для специальности 5В070200 – Автоматизация и управление) – Алматы: АУЭС, 2014. – 34 с.

Методические указания к лабораторным работам содержат 6 лабораторных работ по пяти разделам: цепи постоянного тока, цепи однофазного синусоидального тока, резонанс напряжений, переходные процессы, трехфазные цепи, нелинейные цепи постоянного тока. Каждая лабораторная работа включает: цель работы, подготовку к работе, порядок выполнения работы, оформление, анализ результатов работы и выводы о проделанной работе.

Методические указания к лабораторным работам предназначены для студентов всех форм обучения.

Ил. 25, табл. 19, библиогр.- 10 назв.

Печатается по плану издания НАО «Алматинский университет энергетики и связи» на 2014 г.

Введение

Методические указания к лабораторным работам являются составной частью комплекса методической литературы по дисциплине «Теоретические основы электротехники».

Для повышения качества подготовки специалистов, формирования у студентов творческого мышления и инженерных навыков большое значение имеют лабораторные занятия.

Лабораторные задания представляют собой комплекс работ экспериментального и расчетного характера по исследованию линейных электрических цепей постоянного и синусоидального токов. Все лабораторные работы выполняются фронтальным методом после того, как материал данной темы изложен на лекции.

Практическая реализация лабораторных занятий на кафедре ТОЭ обеспечивается универсальными учебно-исследовательскими лабораторными стендами УИЛС - 2

Стенд УИЛС-2 представляет собой стол, на котором закреплен пульт, состоящий из корпусов активных и пассивных блоков, собираемых в схемы на наборном поле. В состав стенда входят 29 наборных элементов и соединительные провода со штекерами.

Источники питания представлены корпусом активных блоков, содержащим блок постоянного напряжения БПН, блок переменного напряжения БПрН, блок трехфазного напряжения БТН. Корпус пассивных блоков, содержит блок переменного сопротивления БПС, блок переменной индуктивности БПИ, блок переменной емкости БПЕ.

БПН содержит:

- регулируемый источник постоянного стабилизированного напряжения с напряжением на выходе от 0 до 25 В;
- нерегулируемый источник постоянного напряжения с напряжением на выходе около 20 В;
- «электронный ключ», применяемый для исследования переходных процессов.

Оба источника напряжения снабжены схемой защиты от короткого замыкания и перегрузок. Ток срабатывания защиты $I_{CP} = I_A$.

БПрН представляет собой источник однофазного переменного напряжения регулируемой частоты синусоидальной, прямоугольной и треугольной формы.

Схема снабжена электронной защитой от короткого замыкания и перегрузок. Ток срабатывания защиты $I_{CP} = I_A$.

БТН является источником трехфазного напряжения промышленной частоты. Все фазы электрически не зависят друг от друга.

Каждая фаза снабжена электронной защитой от короткого замыкания и перегрузок. Ток срабатывания защиты $I_{CP} = I_A$.

БПС состоит из трех нерегулируемых резисторов R_1, R_2, R_3 и трех регулируемых схем резисторов R_4 . Регулирование сопротивления R_4 осуществляется ступенчато с помощью соответствующих переключателей.

БПИ состоит из трех нерегулируемых катушек индуктивности L_1, L_2, L_3 и трех регулируемых схем индуктивности L_4 . Регулирование индуктивности осуществляется ступенчато с помощью соответствующих переключателей.

БПЕ состоит из трех нерегулируемых конденсаторов C_1, C_2, C_3 и трех регулируемых емкостей C_4 . Регулирование емкости осуществляется ступенчато с помощью соответствующих переключателей.

На лицевых панелях блоков расположены органы сигнализации (индикаторы, лампы), органы управления (ручки переключателей, тумблеры, кнопки) и измерительные приборы.

НП представляет собой панель с 67 парами определенным образом соединенных гнезд, предназначенных для подключения и установки наборных элементов НЭ, представляющих собой элементы исследуемых цепей. НЭ выполнены в виде прозрачных пластмассовых коробочек, в торце которых имеется вилка, а внутри впаяны элементы электрических цепей.

Для включения активного блока тумблер СЕТЬ установить в положение ВКЛ, при этом загорится индикатор СЕТЬ.

Измерительные приборы БПН и БПрН предназначены для контроля величины тока и напряжения регулируемых источников напряжения. Регулирование осуществляется с помощью потенциометра.

Частота в БПрН регулируется переключателем ступенчато через 1 кГц и потенциометром плавно. Когда потенциометр ЧАСТОТА ПЛАВНО находится в крайнем правом положении, то частота выходного напряжения соответствует величине, указанной на переключателе ступенчатой регулировки с точностью $\pm 2\%$.

Величину напряжения на выходе каждой фазы БТН можно регулировать ступенчато с помощью переключателей от 1 до 9 В и от 0 до 30 В.

При возникновении короткого замыкания либо перегрузки (неправильно собрана схема) в блоках срабатывает электронная защита, при этом загораются индикаторы ЗАЩИТА. После устранения причин возникновения короткого замыкания либо исправления ошибки в набранной схеме необходимо, нажав кнопку ЗАЩИТА, вернуть схему блока в рабочее положение, при этом индикатор гаснет.

Методические указания к выполнению лабораторных работ предназначены для студентов специальности бакалавриата 5В070200 и соответствуют государственным образовательным стандартам высшего профессионального образования по вышеназванной специальности.

1 Порядок выполнения и оформления лабораторных работ по дисциплине «Теоретические основы электротехники»

1.1 Предварительная подготовка и допуск к работе

1.1.1 Прежде, чем приступить к очередным занятиям, студент должен ознакомиться с содержанием лабораторной работы, изучить теоретический материал по соответствующей теме.

1.1.2 Результаты подготовки должны быть отражены в отчёте выполняемой работы, который должен содержать:

- а) письменные ответы на вопросы по части Подготовка к работе;
- б) предварительные расчеты;
- в) исследуемые схемы;
- г) таблицы для записи результатов измерений;

1.1.3 В начале занятия студент должен:

- а) защитить полностью оформленную предыдущую работу;
- б) получить допуск к следующей работе, имея индивидуальный отчёт.

Во время занятия студент должен выполнить работу (собрать схемы, проделать необходимые измерения и записать результаты в заранее подготовленные таблицы).

1.1.4 Готовность студентов к выполнению работы проверяет преподаватель, задавая контрольные вопросы по теории, порядку выполнения данной работы, действию схем, применяемым формулам и ожидаемым результатам. Вопросы могут быть заданы в устной и письменной форме.

1.1.5 Студенты, не выполнившие требования третьего пункта, а также те студенты, теоретическая подготовка которых признана неудовлетворительной, к работе не допускаются.

1.1.6 Студенты, не допущенные к работе, должны использовать оставшееся время для изучения теории, а также для оформления и защиты сделанных ранее работ.

1.1.7 Работы, не выполненные в срок, студенты проделывают в отведенное для отработки время. Допуск к работе студент получает на общих основаниях.

1.2 Работа в лаборатории

1.2.1 Для работы в лаборатории преподаватель разбивает группу на подгруппы (3-4 студента) или поручает студенту работать индивидуально. Члены подгруппы проделывают экспериментальную часть работы вместе, но каждый оформляет свой отчёт и отчитывается о проделанной работе самостоятельно.

1.2.2 Каждая подгруппы работает на отдельном рабочем месте, где размещено все необходимое для работы оборудование.

10.2.3 До начала работы студенты производят наружный осмотр используемой аппаратуры и оборудования. О замеченных дефектах следует немедленно сообщить преподавателю.

10.2.4 За ущерб, причинённый лаборатории вследствие несоблюдения правил проведения работ или техники безопасности, а также неправильного обращения с аппаратурой, члены подгруппы несут ответственность.

10.2.5 Схему для проведения работ студенты собирают самостоятельно. Измерительные приборы, вспомогательные и регулирующие устройства следует располагать так, чтобы схема получилась простой, наглядной, легко доступной в каждой точке.

10.2.6 В начале эксперимента реостаты и другие регулируемые устройства должны быть отрегулированы так, чтобы в цепи были минимальные значения токов и напряжений, измерительные приборы должны быть переключены на максимальный диапазон. После приблизительного определения измеряемой величины следует переключить прибор на удобный для измерения диапазон.

10.2.7 Схема обязательно проверяется преподавателем, и только с его разрешения цепь может быть включена под напряжение. Схема должна находиться под напряжением только во время наблюдений за её работой и при снятии экспериментальных данных. По окончании эксперимента напряжение должно быть немедленно отключено.

10.2.8 Необходимые показания измерительных приборов заносятся в таблицы, подготовленного дома отчёта. По окончании измерений, результаты следует показать преподавателю, который даёт разрешение на разбор схемы. До получения разрешения, схему разбирать запрещено, чтобы в случае необходимости была возможность проделать дополнительные или повторные измерения.

10.3 Оформление протокола и защита лабораторных работ

10.3.1 Студент должен представить полностью оформленный к защите отчёт каждой проделанной работы.

10.3.2 Оформленный отчёт предыдущей работы должен быть представлен в начале следующего занятия и защищён во время занятия.

10.3.3 Отчёт должен содержать титульный лист (см. приложение А) и следующие разделы:

- цель работы;
- основные теоретические положения и ответы на вопросы подготовки;
- схемы исследуемых цепей;
- расчётные формулы, вычисления, предполагаемые графики исследуемых электрических величин и режимов цепи;
- результаты исследования (таблицы, графики, числовые значения параметров и электрических величин);
- выводы по работе.

Отчёты оформляются на листах белой или линованной бумаги формата А4, которые заполняются с одной стороны. В тексте, написанном чётко и аккуратно пастой одного цвета, допускается применение только общепринятых обозначений или сокращений, расшифрованных при первом упоминании.

2 Лабораторная работа № 1. Исследование цепей постоянного тока

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования цепей постоянного тока.

2.1 Подготовка к работе

Ответить письменно на вопросы и выполнить следующее:

- 1) Привести формулировки законов Ома и Кирхгофа.
- 2) Согласно варианту задания (рисунок 2.1-2.6), изобразить исследуемую схему, задаться положительными направлениями токов в ветвях.
- 3) Записать уравнения по законам Кирхгофа для исследуемой цепи.
- 4) Составить систему уравнений методом контурных токов, записать уравнения для определения токов в ветвях.
- 5) Составить систему уравнений методом узловых потенциалов, записать уравнения для определения токов в ветвях.
- 6) Что такое потенциальная диаграмма цепи, как ее получить экспериментально?
- 7) Записать уравнения для определения потенциалов внешнего контура цепи.
- 8) Привести формулы расчета эквивалентного сопротивления при последовательном, параллельном, смешанном соединении сопротивлений, а также формулы преобразования треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду сопротивлений и наоборот.

2.2 Задание к выполнению работы

2.2.1 Измерить сопротивления всех резисторов, заполнить таблицу 2.1

Таблица 2.1

Резистор	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
Ом						

2.2.2 Согласно варианту задания (рисунок 2.1-2.6), изобразить исследуемую схему, задаться положительными направлениями токов в ветвях. Собрать цепь из резисторов, использованных в п.2.2.1, и источников напряжения. При сборке предусмотреть клеммы для подключения измерительных приборов. Ампервольтметры подключить в соответствии с выбранными направлениями токов.

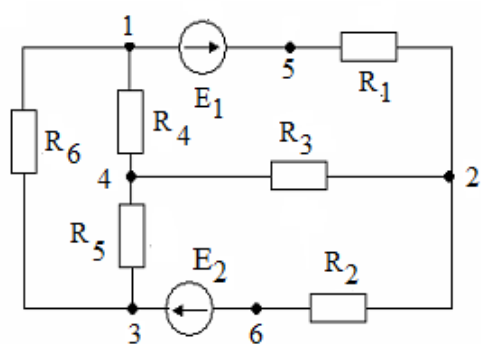


Рисунок 2.1

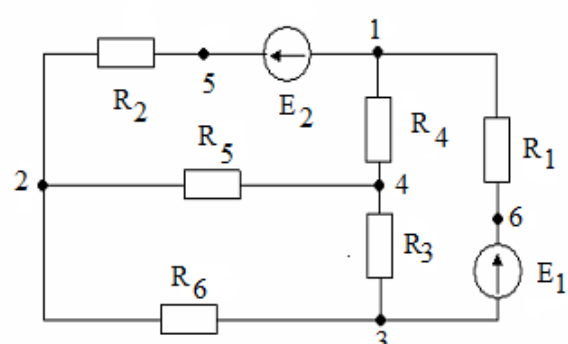


Рисунок 2.2

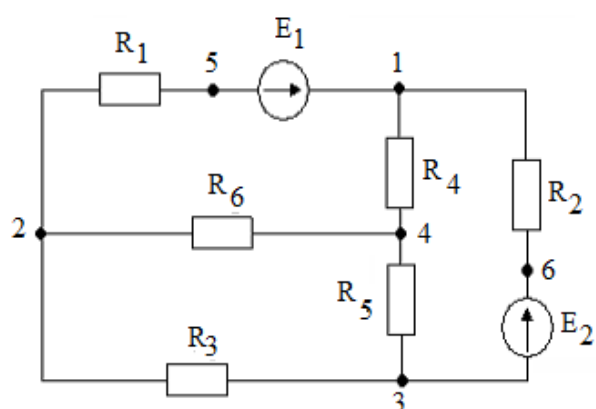


Рисунок 2.3

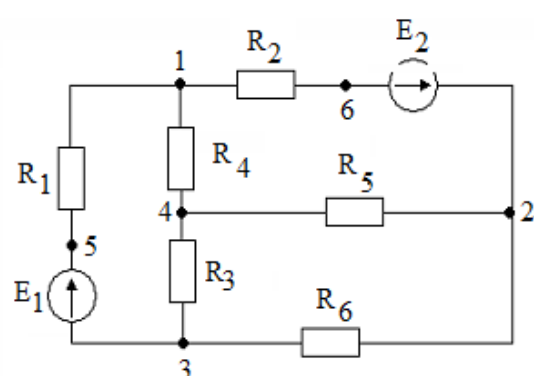


Рисунок 2.4

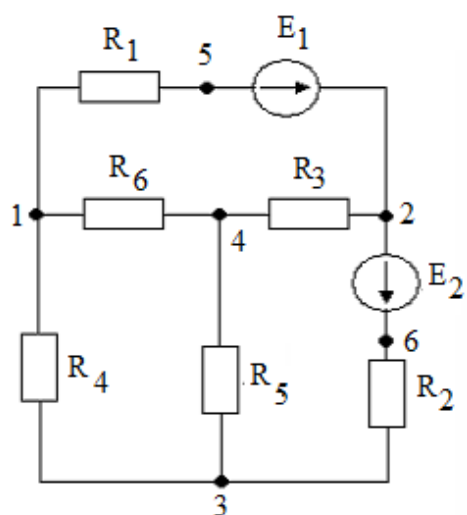


Рисунок 2.5

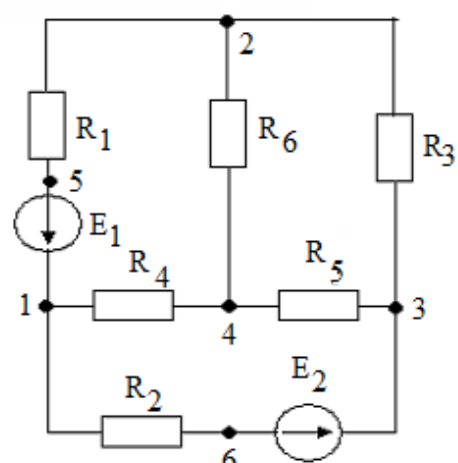


Рисунок 2.6

2.2.3 Измерить токи в ветвях, значение ЭДС, заполнить таблицу 2.2.

Таблица 2.2

I_1, mA	I_2, mA	I_3, mA	I_4, mA	I_5, mA	I_6, mA	E_1, B	E_2, B

2.2.4 Принять условно потенциал одного из узлов за ноль. Измерить потенциалы всех точек, указанных на схеме. Результаты занести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

φ_1, B	φ_2, B	φ_3, B	φ_4, B	φ_5, B	φ_6, B

2.3 Обработка результатов экспериментов

2.3.1 Проверить выполнение 1 закона Кирхгофа для цепи (рисунок 2.1-2.6). Рассчитать для каждого узла погрешность измерения токов.

$$\delta_I = \frac{\sum I}{|I_{MAX}|} \cdot 100\%,$$

где I_{MAX} - наибольший из токов данного узла. Результаты занести в таблицу 2.4

2.3.2 Проверить выполнение второго закона Кирхгофа для цепи (рисунок 2.1-2.6). Рассчитать для каждого контура погрешность измерения напряжений.

$$\delta_U = \frac{\sum U_R - \sum E}{|U_{MAX}|} \cdot 100\%,$$

где U_{MAX} - наибольшее из напряжений данного контура. Результаты занести в таблицу 2.5.

Таблица 2.5

Узлы		1	2	3
Сумма токов	мА			
Максимальный ток в узле	мА			
Погрешность δ_I	%			

Таблица 2.6

Контур		1	2	3
Сумма напряжений	В			
Максимальное напряжение в контуре	В			
Погрешность δ_U	%			

2.4 Методические указания

Для построения потенциальной диаграммы выбирают замкнутый контур. Этот контур разбивают на участки таким образом, чтобы на участке находился один потребитель или источник энергии. Пограничные точки между участками необходимо обозначить буквами или цифрами. Произвольно заземляют одну точку контура, её потенциал условно считается нулевым. Обходя контур по часовой стрелке от точки с нулевым потенциалом, определяют потенциал каждой последующей пограничной точки как алгебраической суммы потенциала предыдущей точки и изменения потенциала между этими соседними точками. Изменение потенциала на участке зависит от состава цепи между точками. Если на участке включен потребитель энергии (резистор), то изменение потенциала численно равно падению напряжения на этом резисторе. Знак этого изменения определяют направлением тока. При совпадении направлений тока и обхода контура знак отрицательный, в противном случае он положительный. Если на участке находится источник ЭДС, то изменение потенциала здесь численно равно величине ЭДС данного источника. При совпадении направления обхода контура и направления ЭДС изменение потенциала положительно, в противном случае оно отрицательно. После расчета потенциалов всех точек строят в прямоугольной системе координат потенциальную диаграмму. На оси абсцисс откладывают в масштабе сопротивление участков в той последовательности, в которой они встречались при обходе контура, а по оси ординат – потенциалы соответствующих точек. Потенциальная диаграмма начинается с нулевого потенциала и заканчивается после обхода контура таковым.

3 Лабораторная работа № 2. Исследование цепей однофазного синусоидального тока

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования цепей однофазного синусоидального тока.

3.1 Подготовка к работе

Ответить письменно на вопросы и выполнить следующее:

- 1) Записать закон Ома в комплексной форме и для действующих значений неразветвленной цепи R, L, C (рисунок 3.1).
- 2) Записать уравнение по второму закону Кирхгофа в комплексной форме и для действующих значений неразветвленной цепи R, L, C (рисунок 3.1).

3) Записать уравнение по первому закону Кирхгофа в комплексной форме и для действующих значений параллельного соединения R, L, C элементов (рисунок 3.2)

4) Составить уравнения по законам Кирхгофа в комплексной форме для одной из цепей на рисунках 3.3÷3.8 (в соответствии с вариантом задания).

5) Построить векторные диаграммы токов и напряжений для цепей, представленных на рисунках 3.1, 3.2 и для одной из цепей рисунков 3.3÷3.8 (в соответствии с вариантом).

6) Нарисовать таблицу для снятия результатов для одной из цепей рисунков 3.3÷3.8 (в соответствии с вариантом).

7) Написать формулы для расчета активной, реактивной и полной мощностей, а также уравнение энергетического баланса в цепях синусоидального тока.

3.2 Задание к выполнению работы

3.2.1 Собрать цепь по схеме (рисунок 3.1.). Установить напряжение на входе в пределах от 5 до 15 В, частоту источника $f = 1 \text{ кГц}$. Активное сопротивление $R_1 = 50 \div 200 \text{ Ом}$; индуктивность катушки $L = 10 \div 30 \text{ мГн}$, емкость $C = 1 \div 3 \text{ мкФ}$. Измерить ток и напряжения на всех элементах, а также активное сопротивление катушки индуктивности R_K . Результаты измерений занести в таблицу 3.1.

$$\left(U_K = \sqrt{U_L^2 + (IR_K)^2} - \text{напряжение на зажимах катушки индуктивности} \right)$$

Таблица 3.1

$U, \text{В}$	$f, \text{Гц}$	$R, \text{Ом}$	$L, \text{мГн}$	$C, \text{мкФ}$	$I, \text{мА}$	$U_R, \text{В}$	$U_K, \text{В}$	$U_C, \text{В}$	$R_K, \text{Ом}$

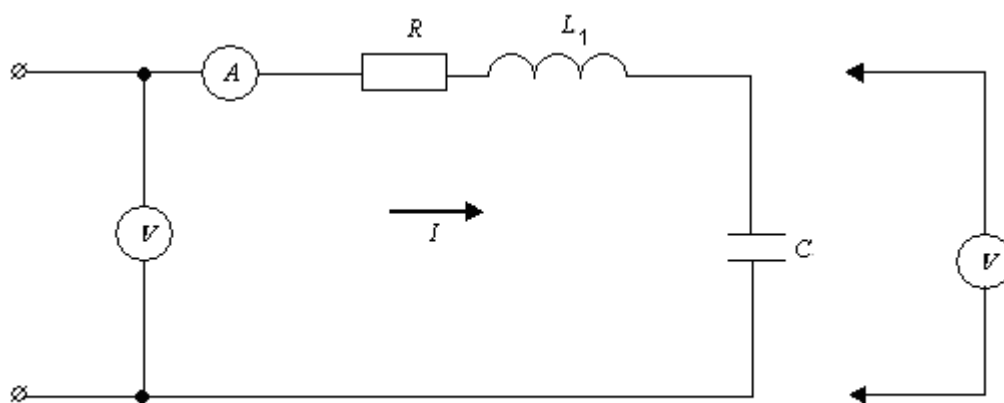


Рисунок 3.1

3.2.2 Собрать цепь по схеме (рисунок 3.2). Напряжение на входе установить в пределах от 5 до 15 В, частоту источника $f = 1 \text{ кГц}$. Активное сопротивление $R_1 = 50 \div 200 \text{ Ом}$; индуктивность катушки $L = 10 \div 30 \text{ мГн}$, емкость $C = 1 \div 3 \text{ мкФ}$. Измерить ток и напряжения на всех элементах, а также активное

сопротивление катушки индуктивности R_K . Результаты измерений занести в таблицу 3.2. I_K – ток в ветви с катушкой индуктивности.

Таблица 3.2

$U, В$	$f, Гц$	$R, Ом$	$L, мГн$	$C, мкФ$	$I, мА$	$I_R, мА$	$I_K, мА$	$I_C, мА$	$R_K, Ом$

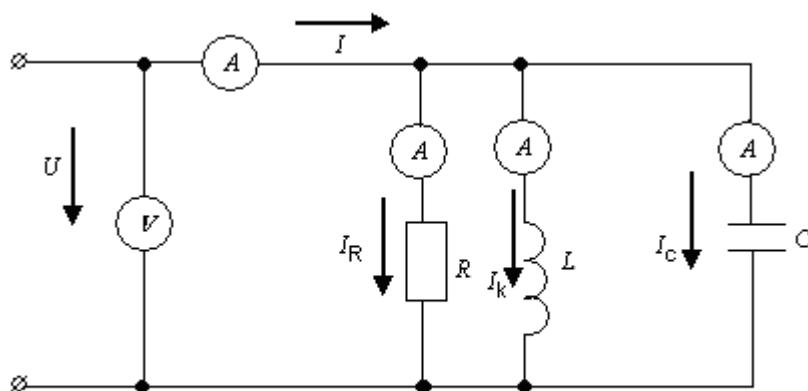


Рисунок 3.2

3.2.3 Собрать цепь по схеме, представленной на рисунках 3.3÷3.8. Установить напряжение на входе в пределах от 5 до 15 В, частоту источника $f = 1 кГц$. Активное сопротивление $R_1 = 50 ÷ 200 Ом$; индуктивность катушки $L = 10 ÷ 30 мГн$, емкость $C = 1 ÷ 3 мкФ$. Измерить токи во всех ветвях, напряжения на всех элементах цепи и на параллельном участке U_{ab} . Результаты измерений представить в виде таблицы, в которой указать величину напряжения, частоту источника, параметры всех элементов (сопротивлений, индуктивностей и емкостей), величину токов во всех ветвях и напряжений на всех участках цепи, активное сопротивление катушки индуктивности.

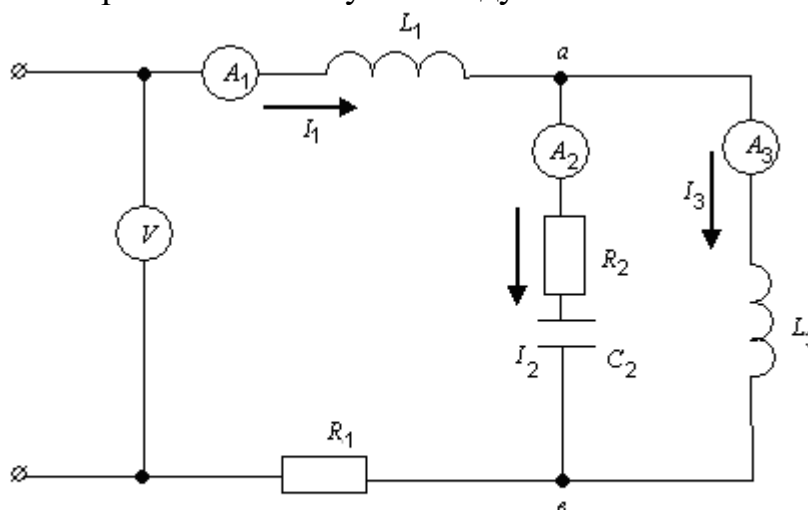


Рисунок 3.3

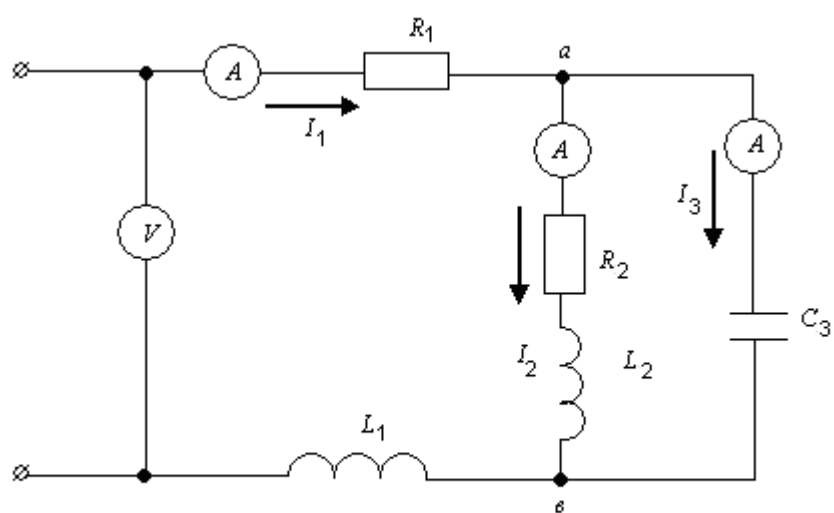


Рисунок 3.4

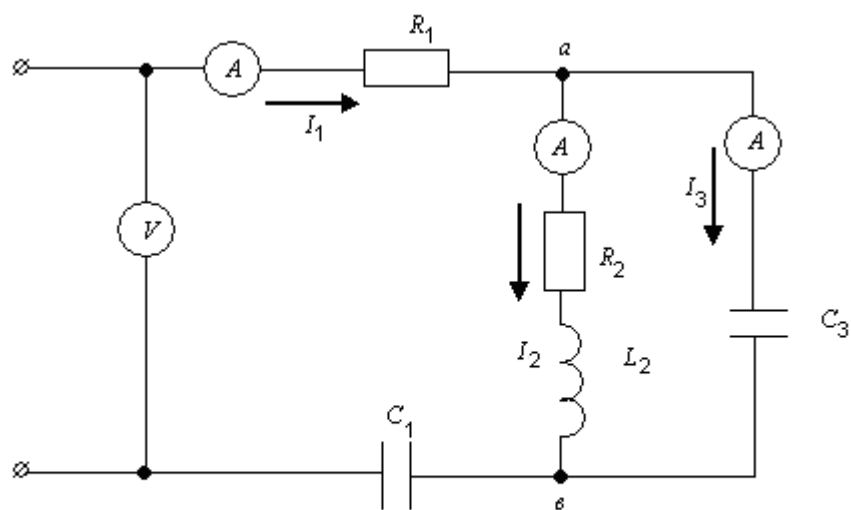


Рисунок 3.5

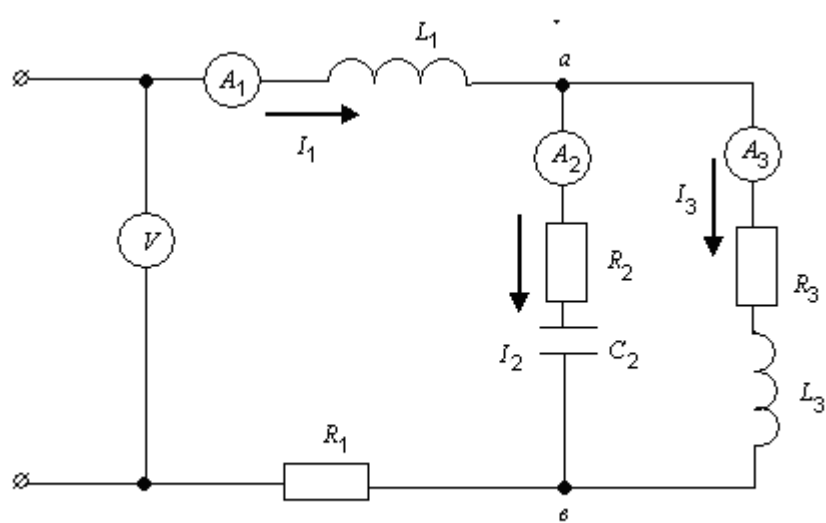


Рисунок 3.6

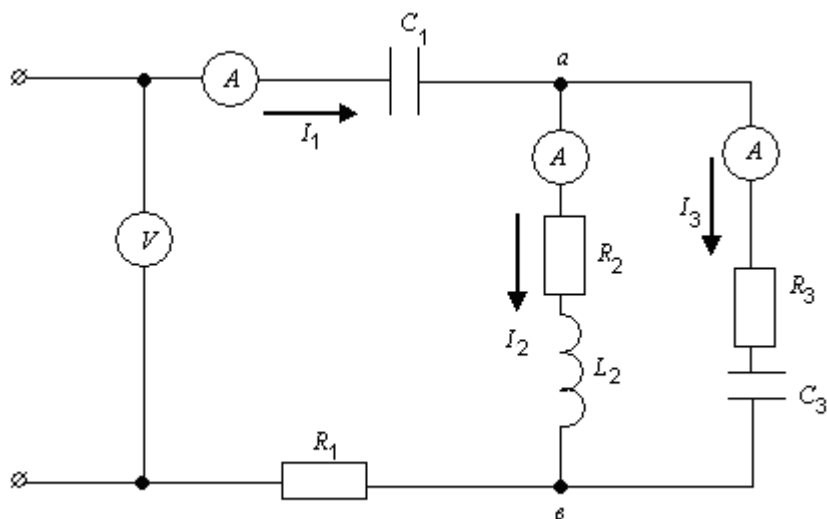


Рисунок 3.7

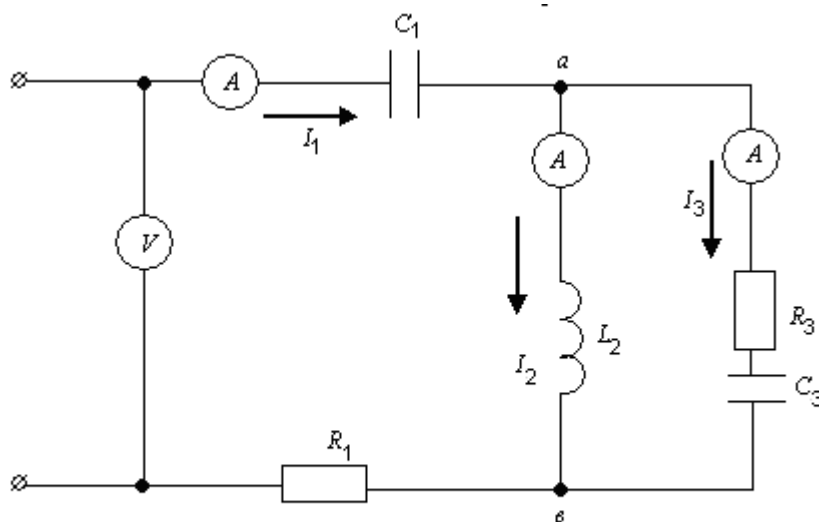


Рисунок 3.8

3.3 Обработка результатов экспериментов

3.3.1 По данным таблицы 3.1 построить векторную диаграмму тока и напряжений для схемы (рисунок 3.1). Проверить выполнение второго закона Кирхгофа.

3.3.2 Используя данные таблицы 3.2, построить векторную диаграмму напряжений и токов для схемы (рисунок 3.2). По векторной диаграмме проверить выполнение первого закона Кирхгофа.

3.3.3 По данным пункта 3.3.3:

построить векторную диаграмму токов и напряжений для исследуемой цепи.

рассчитать активную, реактивную и полную мощности источника. Проверить соотношение, связывающее эти мощности.

составить уравнение баланса активной мощности для исследуемой цепи и проверить его выполнение.

3.3.4 Сделать выводы о проделанной работе

2.4 Методические указания

Активная мощность - количество электрической энергии, преобразованной в тепло. Для цепей переменного тока, когда ток и напряжение изменяются по синусоидальному закону с одинаковой частотой, она равна:

$$P = UI \cos \varphi$$

Единица активной мощности - ватт (W, Вт).

Реактивная мощность цепи переменного тока характеризует скорость накопления энергии в конденсаторах и катушках индуктивности, а также обмен энергией между отдельными участками цепи, и в частности, генератором и приемником.

Единица реактивной мощности - вольт-ампер реактивный (var, вар).

$$P = UI \sin \varphi$$

Полная мощность (кажущаяся) - мощность цепи переменного тока, равная корню квадратному из суммы квадратов активной и реактивной мощностей.

Единица полной мощности - вольт-ампер (V·A, В·А).

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

4 Лабораторная работа № 3. Исследование резонанса напряжений

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования резонансных явлений в электрических цепях.

4.1 Подготовка к работе

Ответить письменно на вопросы и выполнить следующее:

1) Какой режим работы электрической цепи называется резонансом? Записать условие резонанса.

2) В каких электрических цепях возникает резонанс напряжений, резонанс токов? Нарисовать электрические схемы этих цепей.

3) При каком условии в электрической цепи возникает резонанс напряжений?

4) Как рассчитать резонансную угловую частоту ω_0 и резонансную частоту f_0 ?

5) Какая величина называется характеристическим сопротивлением контура?

6) Записать формулы для расчета полного сопротивления цепи и тока в режиме резонанса напряжений.

7) Как рассчитать напряжение на индуктивности и емкости при резонансе напряжений?

8) Как определяется добротность последовательного колебательного контура? Во сколько раз напряжение на индуктивности и емкости в режиме резонанса превышает входное напряжение при добротностях $Q = 2,5 \div 5$?

9) Построить векторные диаграммы для электрической цепи с последовательно соединенными участками R, L, C :

а) при резонансе;

б) до и после резонанса.

10) Как рассчитать угол сдвига фаз $\varphi_{\text{вх}}$ между током и напряжением на входе последовательного колебательного контура?

11) Построить график зависимости $\varphi_{\text{вх}}(\omega)$. Какому значению равен угол сдвига фаз $\varphi_{\text{вх}}$ при резонансе?

12) Построить частотные характеристики цепи $X_L(\omega), -X_C(\omega), X(\omega) = X_L(\omega) - X_C(\omega)$.

13) Построить резонансные кривые $I(f), U_L(f), U_C(f)$.

14) Построить резонансные кривые $I/I_0 = F(\eta)$, ($\eta = \omega/\omega_0 = f/f_0$) для последовательных колебательных контуров с разной добротностью.

15) Как определить полосу пропускания последовательного колебательного контура?

Рассчитать согласно заданному варианту (таблица 4.1) резонансные частоты ω_0 и f_0 ; характеристическое сопротивление контура; активное сопротивление контура для двух значений добротности $Q = 2.5$ и $Q = 5..$

Таблица 4.1

Вариант	$L, \text{Гн}$	$C \cdot 10^{-6}, \text{ф}$
1	0,02	1
2	0,01	3
3	0,01	4
4	0,02	2
5	0,01	2
6	0,02	3

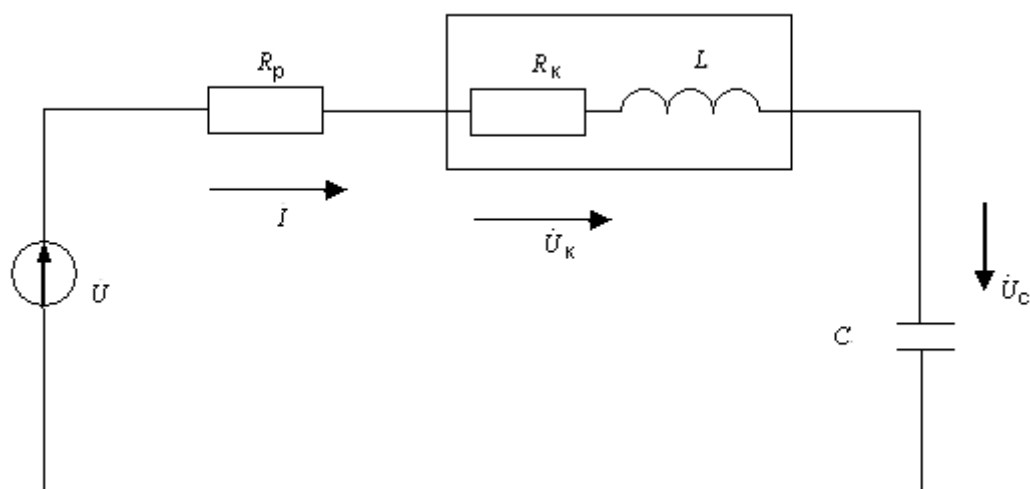


Рисунок 4.1

4.2 Задание к выполнению работы

4.2.1 Собрать последовательный колебательный контур (рисунок 4.1). Установить напряжение на входе $3 \div 5$ В. В качестве резистора, катушки и конденсатора использовать блоки переменных сопротивления, индуктивности и емкости или элементы наборного поля. Установить номинальные значения параметров согласно варианту задания (таблица 4.1). Сопротивление резистора определяется по формуле $R_p = R - R_k$, где R - активное сопротивление контура, рассчитанное для добротности $Q = 2,5$; R_k - активное сопротивление катушки индуктивности.

4.2.2 Изменяя частоту входного напряжения, снять зависимости $I(f), U_c(f), U_k(f)$ для контура с добротностью $Q = 2,5$. Измеренные значения занести в таблицу 4.2. Во время работы действующее значение входного напряжения поддерживается неизменным.

4.2.3 Установить сопротивление резистора в контуре для добротности $Q = 5$. Изменяя частоту входного напряжения, снять зависимость $I(f)$. Измеренные значения занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2

$f, \text{Гц}$	Добротность					
	$Q = 2,5$					$Q = 5$
	$I, \text{мА}$	$U_c, \text{В}$	$U_k, \text{В}$	$U_L, \text{В}$	φ_{BX}	$I, \text{мА}$

4.3 Оформление результатов работы

4.3.1 По экспериментальным данным таблицы 4.2 построить резонансные кривые $I(f), U_L(f), U_C(f)$. Напряжение U_L рассчитать по формуле $U_L = \sqrt{U_K^2 - (R_K I)^2}$, сравнить с теоретическими кривыми, сделать выводы.

4.3.2 Рассчитать зависимости $I/I_0 = F(f/f_0)$ для добротностей $Q = 2,5$ и $Q = 5$ по данным таблицы 4.2. Построить графики зависимости $I/I_0 = F(f/f_0)$. По резонансным кривым $I/I_0 = F(f/f_0)$ определить граничные частоты f_1 и f_2 для двух значений добротности 2,5 и 5, сделать выводы.

4.3.3 Определить по экспериментальным данным (таблица 4.2) резонансную частоту по максимальному значению тока в цепи при неизменном входном напряжении.

4.3.4 Рассчитать и построить график зависимости угла $\varphi_{\text{вх}}$ от частоты; $\varphi_{\text{вх}} = \arctg[(U_L - U_C)/RI]$, где $R = R_p + R_k$. Сравнить с теоретической кривой, сделать выводы.

4.3.5 Рассчитать полную и активную мощности при резонансе по экспериментальным данным (таблица 4.2), сделать выводы.

4.3.6 По экспериментальным данным (таблица 4.2) определить добротность контура ($Q = U_{L0}/U = U_{C0}/U$). Сравнить с заданными значениями.

4.3.7 Сделать выводы по работе.

4.4 Методические указания

При резонансе максимальный ток в цепи $I_0 = \frac{\dot{U}}{R}$.

Сопротивление контура – минимальное $Z_0 = R$.

В режиме резонанса $U_{L0} = U_{C0}$

Добротность резонансного контура

$$Q = \frac{U_{L0}}{U} = \frac{U_{C0}}{U} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1/\omega_0 C}{R} = \frac{\rho}{R},$$

где $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ - характеристическое сопротивление контура.

Величина, обратная добротности контура, называется затуханием $d = \frac{1}{Q}$.

Резонансная частота $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ или $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

Сдвиг по фазе между током и напряжением на входе контура вычисляется по экспериментальным данным по формуле

$$\varphi_{\text{вх}} = \arctg \frac{U_L - U_C}{RI}.$$

где R - активное сопротивление контура.

5 Лабораторная работа № 4. Переходные процессы в цепях первого и второго порядка

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования переходных процессов в цепи с одним накопителем энергии (конденсатором) и с двумя накопителями энергии.

5.1 Подготовка к работе

Ответить письменно на вопросы и выполнить следующее:

- 1) Что такое переходные процессы и в результате чего они возникают? В каких цепях имеют место переходные процессы?
- 2) Записать законы коммутации.
- 3) Что такое переходный, принуждённый и свободный токи?
- 4) Каков физический смысл постоянной времени цепи? Чему равна постоянная времени цепи R-C?
- 5) Что называют коэффициентом затухания цепи?
- 6) Привести уравнения, по которым изменяются $u_C(t)$, $i_C(t)$ при коротком замыкании цепи R-C, начертить графики $u_C(t)$, $i_C(t)$.
- 7) Записать уравнение по второму закону Кирхгофа для свободных составляющих напряжений цепи R-L-C и соответствующее ему характеристическое уравнение.
- 8) При каких корнях характеристического уравнения в цепи R-L-C возникает апериодический разряд конденсатора? Написать уравнения для $u_C(t)$, $i(t)$, $u_L(t)$ при апериодическом разряде конденсатора. Привести графики этих величин.
- 9) При каких корнях характеристического уравнения в цепи R-L-C возникает колебательный разряд конденсатора? Написать уравнения для $u_C(t)$, $i(t)$, $u_L(t)$ при колебательном разряде конденсатора. Привести графики этих величин.
- 10) Что такое логарифмический декремент колебания?
- 11) Что такое критическое сопротивление цепи R-L-C? Что такое критический режим цепи R-L-C?

5.2 Задание к выполнению работы

- 5.2.1 Собрать цепь (рисунк 5.1).
- 5.2.2 Установить значения $U_{вх}$, R и C согласно варианту (таблица 5.1), $R_1=100-300 \text{ Ом}$.
- 5.2.3 На вход осциллографа подать напряжение с конденсатора.
- 5.2.4 Срисовать в масштабе полученную кривую $u_C(t)$.

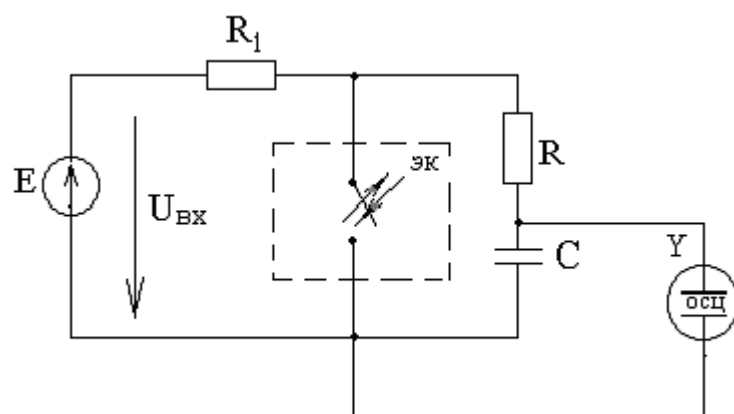


Рисунок 5.1

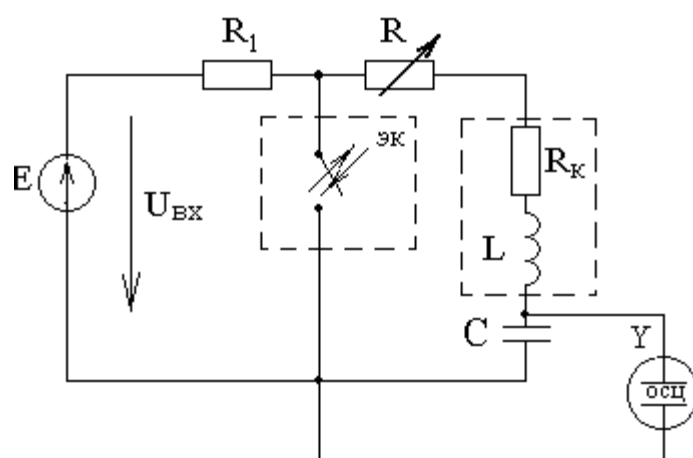


Рисунок 5.2

Таблица 5.1

№ варианта	$U_{ВХ}, В$	$R, Ом$	$C, мкФ$
1	10	300	4
2	15	400	2
3	20	200	5
4	10	600	5
5	15	500	3

Таблица 5.2

№ варианта	$U_{ВХ}, В$	$R, Ом$	$C, мкФ$
1	10	600	4
2	15	400	4
3	20	400	5
4	10	300	5
5	15	500	6

Таблица 5.3

№ варианта	R, Ом	L, мГн	C, мкФ
1	1	10	4
2	1	20	3
3	1	20	2
4	1	15	2
5	1	10	3

5.2.5 Изменить согласно варианту один из параметров цепи (таблица 5.2), срисовать в масштабе новую кривую $u_C(t)$, совместив ее с первой. Сравнить полученные кривые.

5.2.6 Собрать цепь (рисунок 5.2)

5.2.7 Установить значения R, L и C согласно варианту (таблица 5.3). Измерить сопротивление катушки R_k . Напряжение на входе $U_{вх}$ установить порядка 20-30В, $R_1=50-300$ Ом.

5.2.8 На вход осциллографа подать напряжение с конденсатора.

5.2.9 Исследовать колебательный разряд конденсатора, срисовать в масштабе осциллограмму напряжения $u_C(t)$.

5.2.10 Добиться критического режима в цепи, меняя сопротивление R. Записать величину полученного сопротивления $R_{кр(эксп)}$. Учесть сопротивление катушки R_k . Зарисовать полученную осциллограмму напряжения $u_C(t)$.

5.2.11 Увеличить сопротивление цепи R в 2 раза по сравнению с критическим. Зарисовать осциллограмму напряжения $u_C(t)$ при апериодическом разряде конденсатора.

5.3 Обработка результатов экспериментов

5.3.1 Рассчитать постоянную времени τ_{C1} и коэффициент затухания цепи α_{C1} для параметров цепи согласно заданному варианту (таблица 5.1) и τ_{C2} , α_{C2} согласно варианту (таблица 5.2).

5.3.2 По изображению кривой напряжения $u_C(t)$ определить постоянную времени τ_{C1} и коэффициент затухания цепи α_{C1} и τ_{C2} , α_{C2} .

5.3.3 Рассчитать напряжение $u_C(t)$ на основе известных параметров цепи согласно заданному варианту (таблица 5.1).

5.3.4 Расчётную и экспериментальную зависимости $u_C(t)$ привести на одном графике.

5.3.5 Сделать выводы по проделанной работе: проанализировать влияние величины сопротивления R или ёмкости C на постоянную времени цепи τ и соответственно на скорость протекания переходного процесса; определить время разрядки конденсатора.

5.3.6 Рассчитать коэффициент затухания $\alpha_{(расч)}$ и частоту собственных колебаний $\omega_{св(расч)}$ по заданным значениям $R_{конт} = R + R_k$, L , C .

5.3.7 По полученному изображению кривой напряжения $u_c(t)$ (пункт 5.2.9) рассчитать экспериментальные значения $\alpha_{(эксп)}$ и $\omega_{св(эксп)}$.

5.3.8 Рассчитать критическое сопротивление $R_{кр(расч)}$ согласно варианту.

5.3.9 Сделать выводы по проделанной работе: сравнить расчётные значения α , $\omega_{св}$, $R_{кр}$ с экспериментальными, проанализировать влияние величины сопротивления $R_{конт}$ на характер разряда конденсатора.

5.4 Методические указания

Масштаб по оси времени определяется из условия, что электронный ключ (ЭК) замыкается и размыкается с частотой $f=50$ Гц и с периодом $T = \frac{1}{f} = 0,02$ с.

Постоянная времени τ_c определяется по экспериментальной кривой $u_c(t)$ для цепи RC (рисунок 5.3), где t_3 - время, в течение которого ЭК замкнут ($t_3 \approx 0,01$ с).

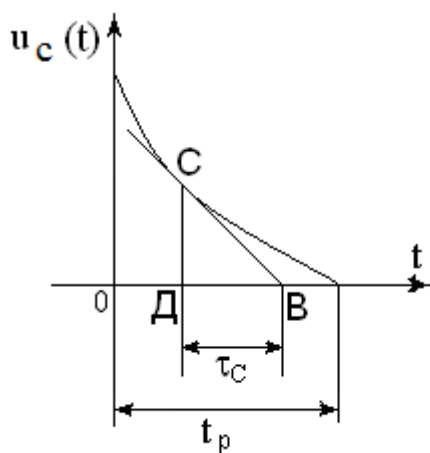


Рисунок 5.3

Коэффициент затухания $\alpha(расч)$, частота собственных (свободных) колебаний $\omega_{св(расч)}$ и критическое сопротивление $R_{кр(расч)}$ определяется по формулам

$$\alpha(расч) = \frac{R_{конт}}{2L}, \quad \omega_{св(расч)} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R_{конт}}{2L}\right)^2}, \quad R_{кр(расч)} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Экспериментальные значения $\alpha(\text{эксп.})$ и $\omega_{\text{св}}(\text{эксп.})$ определяются по полученной кривой напряжения $u_c(t)$.

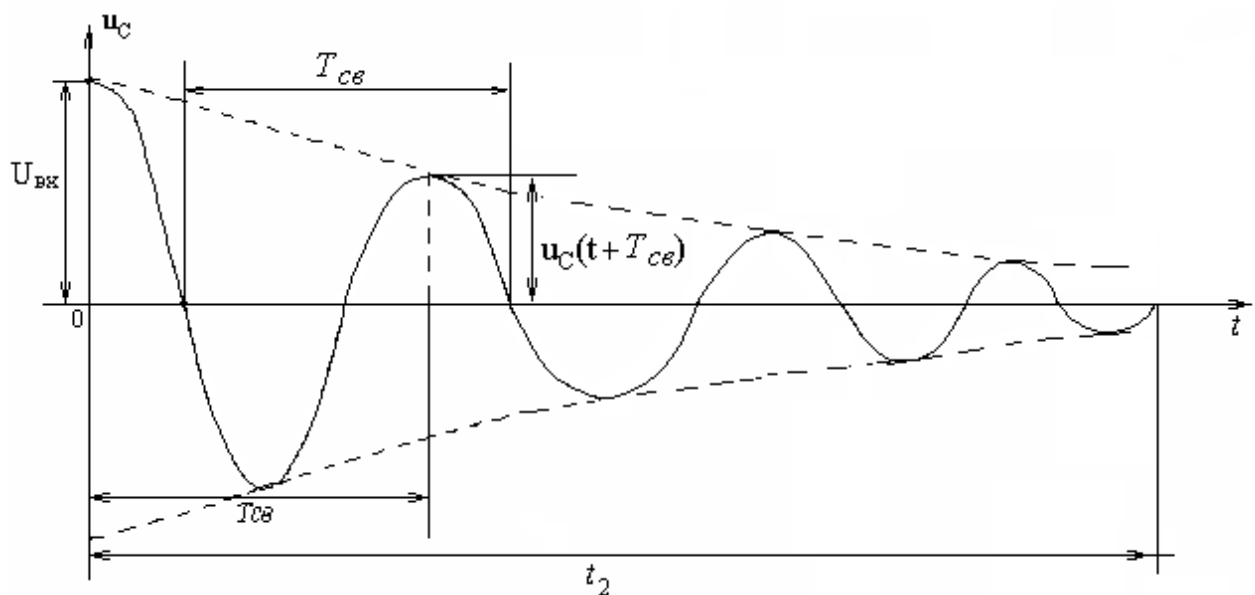


Рисунок 5.4

Частоту свободных колебаний $\omega_{\text{св}}(\text{эксп.})$ можно рассчитать по формуле $\omega_{\text{св}} = 2\pi f_{\text{св}} = \frac{2\pi}{T_{\text{св}}}$, где $T_{\text{св}}$ определяется по осциллограмме, масштаб по оси времени находится так же, как и в лабораторной работе № 9; t_2 - время, в течение которого ЭК замкнут.

Экспериментальное значение $\alpha(\text{эксп.})$ рассчитывается по логарифмическому декременту колебания

$$\alpha_{(\text{эксп.})} = \frac{1}{T_{\text{св}}} \ln \frac{u_c(t)}{u_c(t + T_{\text{св}})}; \quad u_c(t) \text{ удобно взять для момента времени } t = 0, \text{ где } u_c(0) = U_{\text{BX}}.$$

6 Лабораторная работа № 5. Исследование трехфазной цепи при соединении фаз источника и приемника звездой

Цель работы: Получение навыков экспериментального исследования трехфазных цепей при соединении источника и приемника звездой. Экспериментально изучить основные соотношения фазных и линейных величин в симметричных и несимметричных режимах, роль нейтрального провода.

6.1 Подготовка к работе

Ответить письменно на вопросы и выполнить следующее:

1) Какое соединение фаз источника и приемника называется «соединение звездой»?

2) Какие точки на схеме трехфазной цепи называют нейтральными, какой провод называют нейтральным (нулевым) проводом?

3) Какие провода называются линейными, какие величины токов и напряжений называют фазными, какие линейными?

4) Какой режим трехфазной цепи называется симметричным?

5) Какие соотношения между фазными и линейными величинами токов и напряжений при симметричном режиме, какому значению равны I_n, U_{nN} ?

6) Записать формулу для расчета напряжений U_{nN} по методу двух узлов.

7) Построить векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений для трехфазной цепи без нейтрального провода при следующих режимах:

- симметричный режим (во всех фазах активные сопротивления);
- аварийные режимы – обрыв и короткое замыкание одной из фаз приемника согласно варианту, сопротивления двух других фаз активные и равные.

Определить по топографическим и векторным диаграммам, как изменяются токи и напряжения в аварийных режимах по сравнению с симметричным режимом.

8) Построить годограф потенциала точки n для режима:

- сопротивление R в одной из фаз согласно варианту изменяется от 0 до ∞ , сопротивления двух других фаз активные и равные.

9) Построить векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений для трехфазной цепи с нейтральным проводом при следующих режимах:

- симметричный режим (во всех фазах приемника активные сопротивления);
- аварийный режим – обрыв одной из фаз нагрузки согласно варианту, сопротивления двух других фаз активные и равные;

Пользуясь топографическими и векторными диаграммами, определить, как изменяются по сравнению с симметричным режимом токи и напряжения в несимметричных режимах.

6.2 Задание к выполнению работы

6.2.1 Измерить параметры используемых в работе сопротивлений резисторов R_1, R_2, R_3 . Подобрать равные сопротивления резисторов $R_1 = R_2 = R_3$.

6.2.2 Включить блок трехфазных напряжений и установить значение фазных ЭДС в соответствии с заданием преподавателя. Собрать фазы источника звездой.

6.2.3 Собрать трехфазную цепь при соединении фаз источника и приемника звездой с нейтральным проводом. Нейтральные точки источника и приемника соединить накоротко через амперметр. Сопротивления всех фаз приемника активные и равные: $R_A = R_1, R_B = R_2, R_C = R_3$ (симметричный режим).

Измерить токи в фазах приемника, ток в нейтральном проводе I_N , фазные и линейные напряжения приемника. Результаты измерений занести в таблицу 6.1.

6.2.4 Экспериментально исследовать аварийный режим, возникающий в цепи с нейтральным проводом при обрыве одной из фаз приемника (согласно варианту). Сопротивление двух других фаз приемника такие же, как в п. 6.2.3. Измерить токи в фазах приемника, I_N , фазные и линейные напряжения приемника. Результаты измерений занести в таблицу 6.1.

6.2.5 Экспериментально исследовать несимметричный режим в трехфазной цепи с нейтральным проводом при изменении активного сопротивления в одной из фаз приемника (согласно варианту). Сопротивление двух других фаз приемника такие же, как в п. 6.2.3. Измерить токи в фазах приемника, ток I_N , фазные и линейные напряжения приемника. Результаты измерений занести в таблицу 6.1.

6.2.6 Собрать симметричную трехфазную цепь при соединении фаз источника и приемника звездой. Оборотать нейтральный провод. Между нейтральными точками источника и приемника подключить вольтметр. Сопротивление всех фаз приемника такие же, как в п.6.2.3. Измерить токи в фазах приемника, фазные и линейные напряжения приемника, напряжение смещения нейтрали U_{nN} . Результаты измерений занести в таблицу 6.2.

6.2.7 Экспериментально исследовать аварийный режим, возникающий в трехфазной цепи без нейтрального провода при обрыве одной из фаз приемника, фаза та же, что и в п. 6.2.4 (режим «холостого хода»). Сопротивления двух других фаз нагрузки такие же, как в п. 6.2.3. Измерить токи, фазные и линейные напряжения приемника, напряжение смещения нейтрали U_{nN} . Результаты измерений занести в таблицу 6.2.

6.2.8 Экспериментально исследовать аварийный режим, возникающий в трехфазной электрической цепи без нейтрального провода при коротком замыкании одной из фаз нагрузки (фаза та же, что и в п. 6.2.4). Сопротивление двух других фаз приемника, такие же, как в п. 6.2.3. Измерить токи, фазные и линейные напряжения приемника, напряжение смещения нейтрали U_{nN} . Результаты измерений занести в таблицу 6.2.

6.2.9 Экспериментально исследовать несимметричный режим в трехфазной электрической цепи без нейтрального провода. Включить в одну из фаз (фаза та же, что и в п. 6.2.4) активное сопротивление тоже, что и в п. 6.2.4, сопротивления других фаз приемника одинаковые и такие же, как в п. 6.2.3. Измерить токи, фазные и линейные напряжения, напряжение смещения нейтрали U_{nN} . Результаты измерений занести в таблицу 6.2.

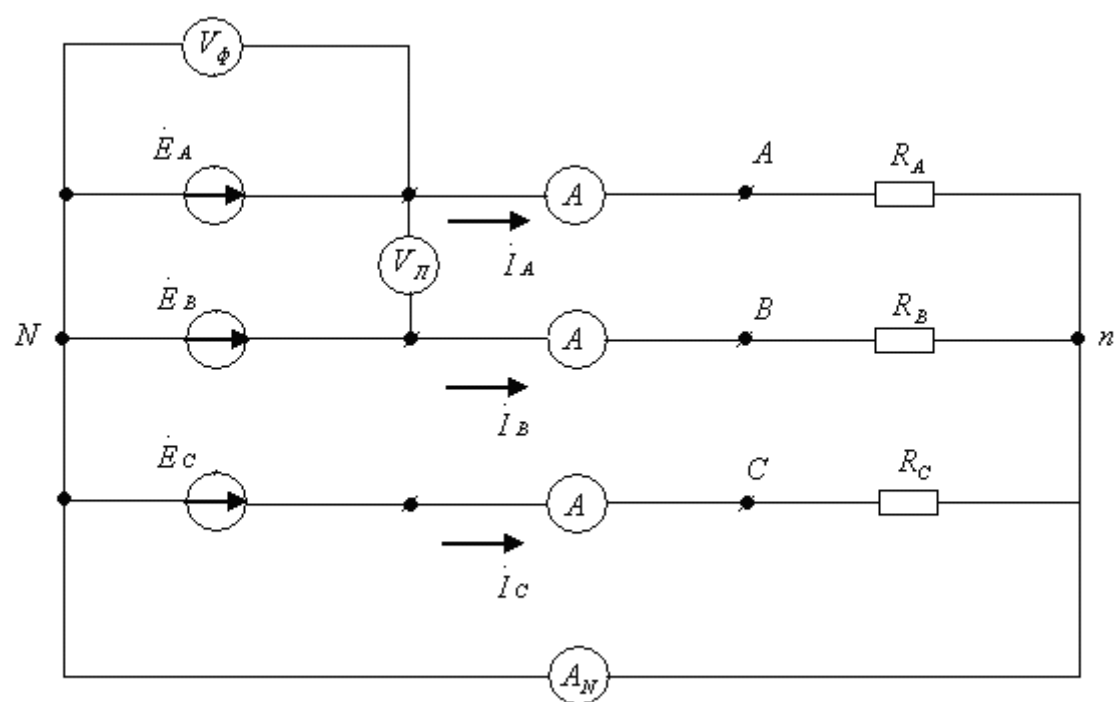


Рисунок 6.1

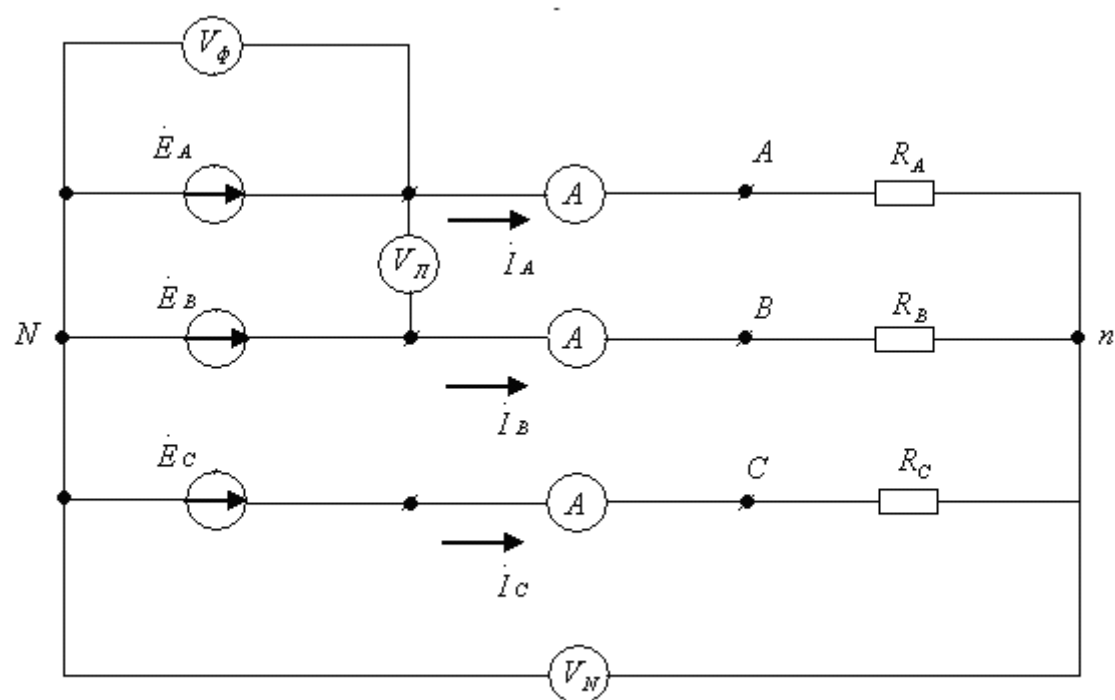


Рисунок 6.2

Таблица 6.1

Вариант	Фазное напряжение	Обрыв и короткое замыкание, переменное сопротивление R в фазе
1	4	В
2	5	А
3	6	С
4	7	В
5	8	А
6	9	С

Таблица 6.2

Режим работы	Значения сопротивлений	Значение напряжения, В									Значения токов, мА			
		U_{AN}	U_{BN}	U_{CN}	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_{An}	U_{Bn}	U_{Cn}	I_A	I_B	I_C	I_N
	$R_A=$ $R_B=$ $R_C=$													

Таблица 6.3

Режим работы	Значения сопротивлений	Значение напряжения, В										Значения токов, мА		
		U_{AN}	U_{BN}	U_{CN}	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_{An}	U_{Bn}	U_{Cn}	U_{nN}	I_A	I_B	I_C
	$R_A=$ $R_B=$ $R_C=$													

6.4 Оформление результатов работы

6.4.1 По экспериментальным данным п. 6.2.3 построить топографическую диаграмму напряжений (на топографической диаграмме указать положение нейтральной точки N источника и приемника n), векторную диаграмму токов.

Проверить соотношение между линейными и фазными напряжениями в симметричном режиме.

По известным значениям фазных напряжений и сопротивлений фаз нагрузки рассчитать действующее значение токов в фазах нагрузки. Ток в нейтральном проводе I_N определить из векторной диаграммы, убедиться, что в симметричном режиме ток $I_N = 0$. Результаты расчета занести в таблицу 6.1.

6.4.2 По экспериментальным данным п. 6.2.4 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов в фазах нагрузки. Определить по векторной диаграмме ток I_N .

6.4.3 По экспериментальным данным п. 6.2.5 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. По векторной диаграмме токов определить ток в нейтральном проводе I_N . Сравнить с током I_N , определенным экспериментально. Результаты занести в таблицу 6.1.

6.4.4 По экспериментальным данным п.п 6.2.6, 6.2.7, 6.2.8, 6.2.9 построить топографические диаграммы напряжений и векторные диаграммы токов.

6.4.5 Для всех исследуемых режимов работы трехфазной цепи: сравнить значения токов и напряжений в трехфазной цепи с нейтральным проводом и при его обрыве, сделать выводы и оценить роль нейтрального провода.

2.4 Методические указания

Из векторной диаграммы (рисунок 6.3 а) видно, что при симметричной системе фазных напряжений система линейных напряжений тоже симметрична: U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} равны по величине и сдвинуты по фазе относительно друг друга на 120° (общее обозначение U_L), и опережают, соответственно, векторы фазных напряжений U_A , U_B , U_C , (U_Φ) на угол 30° .

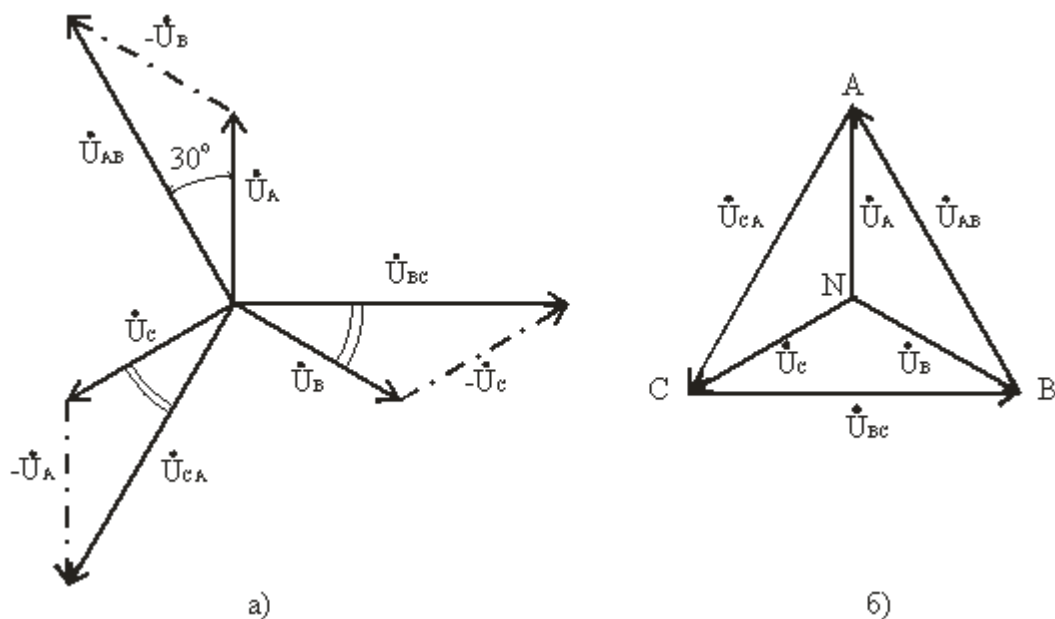


Рисунок 6.3

Векторную диаграмму удобно выполнить топографической (рис. 6.3 б), тогда каждой точке цепи соответствует определенная точка на диаграмме. Вектор, проведенный между двумя точками топографической диаграммы, выражает по величине и фазе напряжения между одноименными точками цепи.

7 Лабораторная работа № 6. Исследование электрической цепи постоянного тока с нелинейными элементами

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования цепей постоянного тока с нелинейными элементами.

3.1 Подготовка к работе

Ответить письменно на вопросы и выполнить следующее:

- 1) Какие нелинейные элементы называются симметричными и какие несимметричными? Изобразить их вольт-амперные характеристики.
- 2) В чем различие между статическим и дифференциальным сопротивлениями нелинейных элементов?
- 3) Нарисовать схему для снятия вольт-амперной характеристики нелинейного элемента при питании цепи от источника постоянного напряжения, которое может плавно регулироваться. Предусмотреть в схеме необходимые приборы.
- 4) Показать графический расчёт цепи с одним источником ЭДС и нелинейными сопротивлениями, соединенными последовательно.
- 5) Показать графический расчёт цепи с нелинейными сопротивлениями, соединенными параллельно.
- 6) Показать графический расчёт цепи со смешанным соединением нелинейных сопротивлений.
- 7) Показать графический расчёт цепей с нелинейными элементами методом двух узлов.

7.2 Задание к выполнению работы

7.2.1 Снять вольт-амперные характеристики трех нелинейных элементов (по указанию преподавателя) по схеме 7.1, изменяя напряжение от $0 \div 20$ В. Для каждого нелинейного элемента заполнить таблицу 7.1.

7.2.2 Собрать цепь со смешанным соединением трех нелинейных элементов согласно рисунку 7.2., Изменяя входное напряжение от $0 \div 20$ В, записать показание приборов (таблица 7.2).

7.2.3 Собрать схему с двумя источниками э.д.с. Измерить э.д.с. источников, напряжение на каждом элементе, напряжение между узлами и токи в ветвях (таблица 7.3).

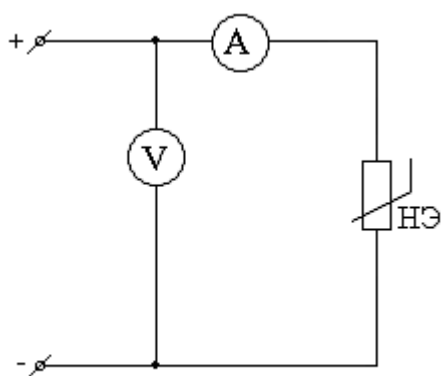


Рисунок 7.1

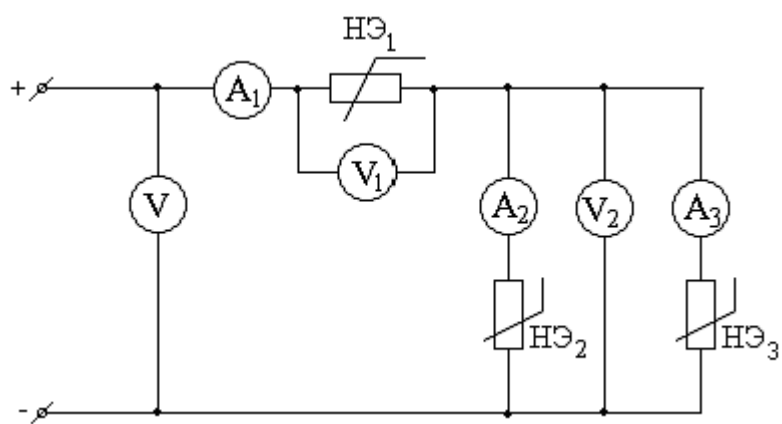


Рисунок 7.2

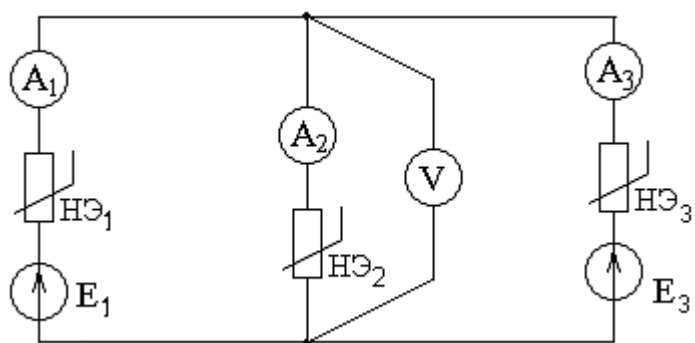


Рисунок 7.3

Таблица 7.1

U, В	0	5	10	15	20
I, мА					

Таблица 7.2

U, В	0	5	10	15	20
U ₁ , В					
U ₂ , В					
I ₁ , мА					
I ₂ , мА					
I ₃ , мА					

Таблица 7.3

E ₁ , В	E ₃ , В	U, В	I ₁ , мА	I ₂ , мА	I ₃ , мА

7.4 Оформление результатов работы

7.4.1 Построить вольт-амперные характеристики трех нелинейных элементов.

7.4.2 Произвести графический расчет схемы 7.2 и сравнить расчётные значения с экспериментальными данными.

7.4.3 Произвести графический расчет схемы 7.3 и сравнить расчётные значения с экспериментальными данными.

7.4.4 Сделать выводы о проделанной работе.

5.4 Методические указания

В случае смешанного (рисунок 7.2) соединения расчет цепи производят в следующем порядке: сначала заменяют два параллельно соединенных нелинейных элемента одним эквивалентным; далее полученное эквивалентное сопротивление и оставшееся третье нелинейное сопротивление рассматривают как схему последовательного соединения двух нелинейных элементов.

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

КАФЕДРА ТОЭ

(наименование дисциплины)

ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №

(наименование лабораторной работы)

Работа выполнена _____
(дата выполнения)

Студентом _____
(фамилия и инициалы)

Группа _____
(шифр группы)

Совместно со студентами _____

Отчёт принят _____
(дата принятия отчёта)

Алматы 20...

Список литературы

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. – том 1. – СПб.: Питер, 2009.-463 с.
2. Атабеков Г.И. ТОЭ линейные и электрические цепи (7-е изд.).-М.:Лань, 2009.-592 с.
3. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. – том 3. – СПб.: Питер, 2003.-377 с.
4. Бессонов Л.А.. Теоретические основы электротехники. – М.: Гардарики, 2007.-638 с.
5. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей.- М.: Энергоатомиздат, 1989.-528 с.
6. Бакалов Г.В., Дмитриков В.Ф., Крук Б.Е.. Основы теории цепей.- М.: Радио и связь, 2000.-592 с.
- 7.Сборник задач по теоретическим основам электротехники/ Бессонов Л.Д., Демидова И.Г., Заруди М.Е. и др.-М.: Высшая школа, 1988.-543 с.
- 8.Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и её применение.-М.:Солон-Р, 1999.-506 с.
9. Денисенко В.И., Креслина С.Ю. ТОЭ2. Конспект лекций. –Алматы: АИЭС,2007.-63 с.
10. Денисенко В.И., Светашев Г.М. ТОЭ3. Конспект лекций. –Алматы: АИЭС, 2007.-90 с.

Содержание

Введение

1. Порядок выполнения и оформления лабораторных работ по дисциплине «Теоретические основы электротехники»	3
2. Лабораторная работа № 1. Исследование цепей постоянного тока	7
3. Лабораторная работа № 2. Исследование цепей однофазного синусоидального тока	10
4. Лабораторная работа № 3. Исследование резонанса напряжений	15
5. Лабораторная работа № 4. Переходные процессы в цепях первого и второго порядка	19
6. Лабораторная работа № 5. Исследование трехфазной цепи при соединении фаз источника и приемника звездой	25
7. Лабораторная работа № 6. Исследование электрической цепи постоянного тока с нелинейными элементами	29
Список литературы	32

Светлана Юрьевна Креслина
Алма Т____ Аршабекова

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Методические указания и задания к лабораторным работам
(для специальности 5В070200 - Автоматизация и управление)

Редактор Н.М. Голева
Специалист по стандартизации Н.К. Молдыбекова

Подписано в печать « ____ » _____
Тираж 100 экз.
Объем ____уч.изд.л.

Формат 60х84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ____Цена _____тенге.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013 Алматы, Байтурсынова, 126.