

Л. А. Вилесова, О.В. Зотова

Электрические цепи

Учебное пособие



Федеральное агентство по образованию
ГОУВПО
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Л. А. Вилесова, О.В. Зотова

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

*Учебное пособие
(2^{ое} переработанное)*

Благовещенск

2009

ББК 31.27 я 73
В 44

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета
энергетического факультета
Амурского государственного
университета*

Вилесова Л.А., Зотова О.В.

Электрические цепи : учебное пособие по дисциплине «Электротехника» /Л.А.Вилесова, О.В.Зотова ; Амурский государственный университет. - Благовещенск, Изд-во Амурского гос. ун-та, 2009. – 48 с.

Учебное пособие предназначено для руководства при выполнении лабораторных работ по разделу «Электрические цепи» по курсу «Электротехника и электроника» для специальностей 280101; 130301; 220301; 230102; 230201; 140101; 260901; 260902 дневного и заочного отделений.

Все лабораторные работы выполняются на универсальном лабораторном стенде «ЭВ 4», краткое описание которого приводится.

В связи с тем, что этим учебным пособием будут пользоваться студенты заочных отделений факультетов, в него включены краткие теоретические сведения, а также правила выполнения работ в лаборатории «Электрические цепи».

*Рецензенты: Ю.В. Мясоедов, доцент кафедры энергетики АмГУ, канд. техн. наук;
Н.В. Савина, зав. кафедрой энергетики АмГУ, канд. техн. наук,
доцент.*

© Вилесова Л.А., Зотова О.В., 2009
© Амурский государственный университет, 2009

СОДЕРЖАНИЕ

Правила выполнения работ в лаборатории «Электрические цепи».....	4
Указание мер безопасности при работе на лабораторном стенде «ЭВ 4».....	7
Краткое описание универсального лабораторного стенда «ЭВ 4»	8
1. Лабораторная работа №1. Изучение лабораторного стенда «ЭВ 4» и методики выполнения лабораторных работ	10
2. Лабораторная работа №2. Исследование электрической цепи со смешанным соединением элементов при постоянном напряжении.....	13
3. Лабораторная работа №3. Исследование простейших цепей переменного тока	16
4. Лабораторная работа №4. Резонанс напряжений	21
5. Лабораторная работа №5. Исследование трехфазной цепи при соединении приемников в звезду	25
6. Лабораторная работа №6. Исследование трехфазной цепи при соединении приемников в треугольник.....	31
7. Лабораторная работа №7. Исследование переходных процессов в линейных электрических цепях с одним накопителем энергии.....	35
8. Лабораторная работа №8. Исследование переходных процессов в цепи с r , L и C при подключении ее к источнику с постоянным напряжением	38
9. Лабораторная работа №9. Исследование нелинейных цепей постоянного тока.....	40
Литература	44
Приложения.....	45

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ В ЛАБОРАТОРИИ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ»

На вводном занятии группа делится преподавателем на бригады (в составе двух–трех человек). За каждой бригадой закрепляется постоянное место на весь период работы в лаборатории. Состав бригад на следующих занятиях в течение семестра остаётся неизменным.

I. Подготовка к выполнению лабораторной работы

Подготовка к лабораторной работе осуществляется студентом до аудиторных занятий в часы, отведенные на самостоятельную работу.

При подготовке к лабораторной работе студент должен:

- 1) внимательно ознакомиться с описанием соответствующей лабораторной работы и установить, в чём состоит цель и задача работы;
- 2) по лекционному курсу и рекомендованным литературным источникам изучить теоретическую часть, относящую к данной лабораторной работе;
- 3) ознакомиться с порядком выполнения работы;
- 4) выполнить предварительный теоретический расчет;
- 5) приготовить в рабочей тетради заготовку отчета лабораторной работы, которая должна содержать:
 - титульный лист, выполненный по образцу (см. Приложение1);
 - название работы и её цель;
 - план проведения опытов;
 - электрические схемы изучаемых цепей (монтажные и принципиальные);
 - таблицы для записи результатов наблюдений и расчетов;
 - расчётные формулы, необходимые для промежуточных вычислений в процессе работы;
 - выполненный предварительный теоретический расчет (если это предусмотрено данной лабораторной работой).

Студент обязан приходить на занятие подготовленным. Наличие заготовки к лабораторной работе является обязательным условием допуска студента к выполнению лабораторной работы. Студенты, не готовые к занятиям, к выполнению лабораторной работы не допускаются.

II. Выполнение лабораторной работы

Перед выполнением работы преподаватель проверяет степень подготовленности каждого студента. Критерием допуска к работе является: понимание студентом цели работы, знание метода и порядка выполнения экспериментов, а также представление об ожидаемых результатах.

За время, отведенное на выполнение лабораторной работы в лаборатории, студент должен:

- Ознакомиться со стендом, измерительными приборами и дополнительным оборудованием, используемым в процессе выполнения работы. Выбрать

приборы, необходимые для выполнения работы или подобрать пределы измерений на многопредельных приборах так, чтобы значения измеряемых величин находились в пределах 20-95% шкалы прибора.

- Собрать цепь в соответствии со схемой. Сборку цепи удобнее производить в следующем порядке: начав сборку главной последовательной цепи с одного зажима источника, закончить ее на другом зажиме. К этой цепи в соответствующих схеме местах присоединяются остальные параллельные ветви.
- Предъявить собранную цепь для проверки преподавателю. Только после его разрешения к цепи может быть подано напряжение.
- Выполнить все измерения, и провести необходимые по ходу работы расчеты (остальные расчеты делаются позже при подготовке отчета по лабораторной работе).
- При выполнении работы следует соблюдать правила техники безопасности.
- Обращаться с приборами и оборудованием следует бережно и аккуратно. Применять приборы только в соответствии с их назначением. Студенты несут материальную ответственность за повреждение приборов, произошедшее по их вине.
- В конце занятия (или по завершению измерений), **не разбирая электрической цепи**, предъявить преподавателю результаты измерений для проверки. Для этого строят черновик полученной экспериментальной кривой (или векторной диаграммы). Если результат опыта не верен, опыт повторяется вновь. Если результаты удовлетворительны, преподавателем делается отметка о выполнении студентом лабораторной работы (ставится подпись и дата в отчете студента). **Отчеты без подписи преподавателя в дальнейшем к зачёту не принимаются.**
- Разобрать электрическую цепь (с разрешения преподавателя) и привести в порядок рабочее место после окончания работы.

III. Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы

Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы осуществляется студентом в часы, отведенные на самостоятельную работу. К следующему (после выполнения очередной лабораторной работы) занятию каждый студент должен предоставить отчет о выполненной лабораторной работе. Он составляется на основе записей в рабочей тетради и должен содержать:

- титульный лист;
- номер, название, цель работы и дату её выполнения;
- результаты измерений и вычислений в виде таблиц (или ином виде, согласно методическим рекомендациям к данной лабораторной работе);
- расчетные формулы, по которым производились вычисления с примером вычисления по каждой формуле;

- схемы, графики, диаграммы и т.п., в соответствии с заданием на лабораторную работу;
- основные выводы по результатам работы на основании сравнения полученных результатов с данными теоретических расчетов.

Графический материал к лабораторным работам (графики, диаграммы и т.п.) выполняется на миллиметровой бумаге карандашом с помощью чертежных принадлежностей.

Электрические схемы вычерчиваются в соответствии с принятым ГОСТом (см. Приложение 2) и обозначениями, для этого можно воспользоваться линейкой-трафаретом.

Графики должны иметь размер не менее половины тетрадной страницы (не менее 10×10 см), выполняться в прямоугольной системе координат с соблюдением масштаба по координатным осям. Масштаб графиков должен быть удобным для построения и использования. Для этого следует брать в 1 см число измерительных единиц кратное 10 или одному из чисел ряда 1; 2; 2,5; 5. (Например: для напряжения масштаб $m_U=10$ В/см, для тока – $m_I=0,2$ А/см.) Произвольный перенос начала координат не допускается. Если через полученные опытные точки нельзя провести плавную кривую и при соединении получается зигзагообразная линия, то все-таки следует провести плавную линию, захватывающую наибольшее количество точек или занимающую среднее положение между ними.

После оформления отчета студент готовится к защите лабораторной работы, изучая теоретическую базу данной темы, ориентируясь на контрольные вопросы.

Защита выполненных лабораторных работ проводится преподавателем в устной (или в письменной) форме в виде ответов на вопросы по теме лабораторной работы, после чего выставляется оценка за выполнение лабораторной работы.

Студент должен регулярно отчитываться по выполненным лабораторным работам согласно установленному графику занятий. Лабораторная работа, пропущенная студентом, выполняется по согласованию с деканатом и преподавателем по дополнительному расписанию.

Выполнение лабораторных работ и отчет по ним в полном объеме является обязательным условием допуска к экзамену по данной дисциплине.

УКАЗАНИЕ МЕР БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ «ЭВ 4»

1) К работе на стенде допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности, ознакомленные с устройством, принципом действия стенда. Инструктаж проводит преподаватель, что фиксируется в кафедральном журнале.

2) Включение стенда в сеть допускается только после сборки схемы лабораторной работы и проверки ее преподавателем.

3) Не допускается опускание различных металлических предметов и карандашей в гнезда разъемов на пульте источников питания секции электрических цепей и мнемонических панелей секции электрических машин.

4) При сборке схем на любой из мнемонических панелей стенда электрических машин необходимо убедиться, что на остальных мнемонических панелях схемы разобраны.

5) В процессе лабораторных работ не допускается разборка отдельных цепей схем на мнемонических панелях без предварительного отключения секций от сети.

6) После окончания работы “Резонанс напряжений” необходимо на панели №4 секции электрических цепей произвести разрядку конденсаторов путем закорачивания клемм гибким соединителем.

В лаборатории категорически запрещается:

- 1) Пользоваться мобильным телефоном.
- 2) Класть на лабораторные столы любые посторонние предметы (кроме письменных принадлежностей).
- 3) Пользоваться приборами и оборудованием без разрешения преподавателя.
- 4) Переходить от одного лабораторного стенда к другому.
- 5) Покидать рабочее место и выходить из лаборатории без разрешения преподавателя.
- 6) Заниматься посторонними разговорами и другими делами, не касающимися выполнения лабораторной работы.
- 7) Приносить с собой еду, напитки, а также вещи и предметы, загромождающие рабочие места.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «ЭВ 4»

Универсальный лабораторный стенд по электротехнике «ЭВ 4» предназначен для проведения лабораторных работ по курсу «Общая электротехника и основы электроники». Он состоит из двух секций: электрических цепей и электрических машин. На лицевой настольной части установлены в два ряда по высоте панели с измерительными приборами, элементами коммутации, сигнализации и пр.

Лицевая вертикальная часть секции электрических цепей состоит из семи панелей:

№1 - для проведения лабораторной работы “Транзистор р-п-р и его применение в усилителе”;

№2 - для проведения лабораторных работ по трехфазным цепям;

№3 и №4 - для проведения лабораторных работ по электрическим цепям переменного синусоидального тока;

№5 - для проведения лабораторных работ “Однофазные выпрямительные устройства” и “Двухкаскадные усилители на транзисторе”;

№6 - для проведения лабораторных работ по линейным и нелинейным цепям постоянного тока;

№7 - для проведения лабораторных работ “Магнитный усилитель” и “Переходные процессы в линейных электрических цепях постоянного тока”.

В плоскости стола секции электрических цепей размещен пульт источников питания. На пульте имеются вольтметры переменного и постоянного тока, кнопки включения общего питания секции, кнопки включения регулируемого однофазного напряжения и регулируемого напряжения постоянного тока, кнопка включения низковольтного стабилизированного источника питания. В нижней части пульта расположены гнезда для питания цепей трехфазным напряжением, однофазным регулируемым напряжением постоянного тока. В центре пульта расположена ручка регулировки уровня напряжения питания.

Источники питания секции электрических цепей:

- источник трехфазного нерегулируемого напряжения переменного тока частотой 50 Гц с номинальным напряжением 3×220 В;

- источник однофазного регулируемого напряжения переменного тока частотой 50 Гц, 0-220 В;

- источник постоянного тока с регулированием напряжения в пределах 0-250 В;

- источник постоянного тока со стабилизированным напряжением 12 В.

Под откидным столом секции электрических цепей установлен автоматический выключатель, обеспечивающий коммутацию и защиту от перегрузок и коротких замыканий всех схем секций. Нижняя часть секции электрических цепей имеет шкаф для хранения блоков, приборов, гибких кабелей, входящих в комплект стенда. Для проведения лабораторных работ на секции электрических цепей кроме приборов, расположенных на панелях,

используются цифровые электронные вольтметры типа В7-38, осциллограф С1-118, измерительный комплект К-505.

Лицевая вертикальная часть секции электрических машин состоит из пяти панелей:

- №4 - панель измерительных приборов;
- №5 - панель управления синхронной машиной;
- №6 - панель включения секции электрических машин;
- №3 - панель управления машинами постоянного тока;
- №2 - панель для набора схем лабораторных работ:
 - для асинхронного двигателя;
 - для синхронной машины;
 - для двигателей постоянного тока;
 - для генератора постоянного тока.

Ниже стола, внутри секции, расположены электромашинные агрегаты №1 и №2 (просматриваются через прозрачное стекло).

АГРЕГАТ №1 состоит из двух электрических машин - асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и генератора постоянного тока параллельного возбуждения.

АГРЕГАТ №2 состоит из двигателя постоянного тока параллельного возбуждения и синхронной машины.

Включение секции в сеть осуществляется автоматическим выключателем, установленным под откидным столом. При включении напряжения питания секции включается освещение электромашинных агрегатов.

Источники питания секции электрических машин:

- источник трехфазного нерегулируемого напряжения переменного тока частотой 50 Гц с номинальным напряжением 3х220 В;
- источник постоянного тока с регулируемым напряжением в пределах 0-250 В.

Лабораторная работа №1

ИЗУЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «ЭВ 4» И МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1.1. Цель работы

1.1.1. Освоение методики сборки электрической цепи.

1.1.2. Измерение тока, напряжения и сопротивления в простейшей цепи постоянного тока с помощью приборов, установленных на стенде.

1.1.3. Экспериментальная проверка закона Ома.

1.2. Краткие теоретические сведения

В общем случае при последовательном соединении приемников электрической энергии с одним источником тока в цепи напряжения на приемниках и потребляемые ими мощности определяются следующими соотношениями:

$$I = \frac{E}{r_1 + r_2 + \dots + r_n} = \frac{E}{r_3} \quad (1.1)$$

$$U_1 = I \cdot r_1, \quad U_2 = I \cdot r_2, \quad \dots, \quad U_n = I \cdot r_n, \quad (1.2)$$

$$P_1 = I^2 \cdot r_1, \quad P_2 = I^2 \cdot r_2, \quad \dots, \quad P_n = I^2 \cdot r_n, \quad (1.3)$$

где $r_3 = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n$ - эквивалентное сопротивление всей цепи.

Напряжение и мощность, подводимые к электрической цепи, равны соответственно сумме напряжений и мощностей:

$$E = U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n, \\ P = E \cdot I = U \cdot I = U_1 \cdot I + U_2 \cdot I + U_3 \cdot I + \dots + U_n \cdot I = I^2 \cdot r_1 + I^2 \cdot r_2 + I^2 \cdot r_3 + \dots + I^2 \cdot r_n. \quad (1.4)$$

1.3. Исследуемая схема электрической цепи

Для проведения лабораторной работы на панели №6 секции электрических цепей стенда гибкими соединителями собирается схема (рис.1.2). Принципиальная схема представлена на рис. 1.1. На пульте источников питания включается источник регулируемого напряжения постоянного тока и устанавливается напряжение $40 \div 100$ В (по заданию преподавателя), при котором величина тока в цепи не превышает 1 А. Сопротивления резисторов r_1 , r_2 , r_3 также задаются преподавателем.

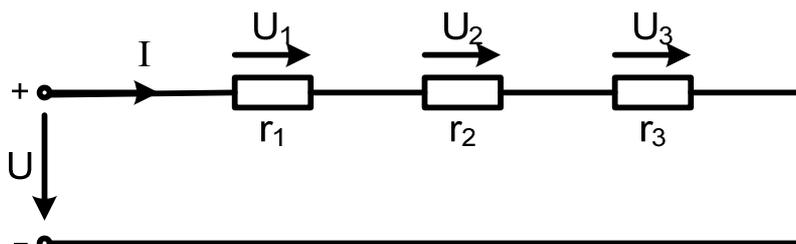


Рис. 1.1

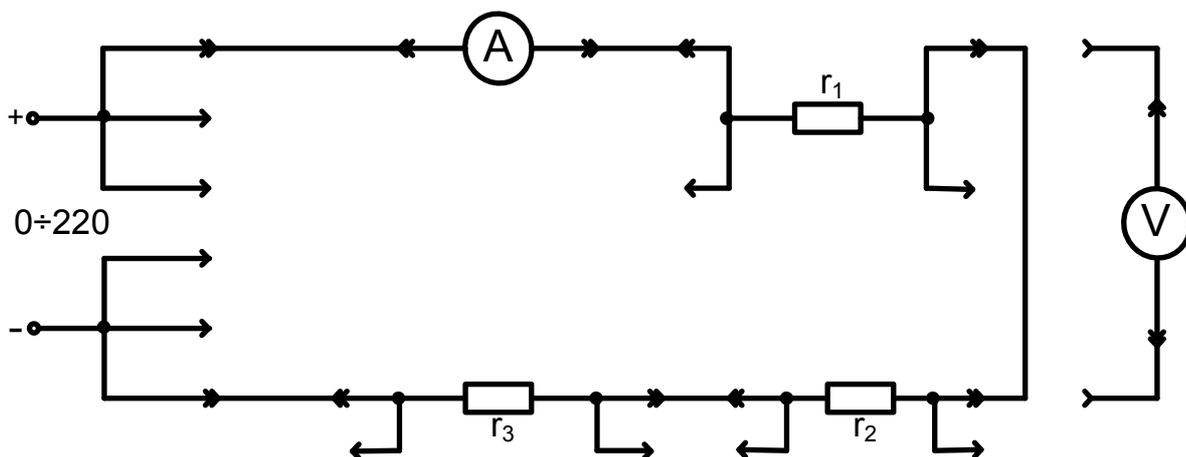


Рис. 1.2

1.4. Программа работы

1.4.1. Ознакомиться с лабораторным стендом «ЭВ 4».

1.4.2. По заданным преподавателем напряжению на входе цепи и параметрам резисторов рассчитать ток в исследуемой цепи (рис.1.1), напряжение на отдельных резисторах, эквивалентное сопротивление цепи, мощность источника. Результаты расчетов занести в табл. 1.1.

1.4.3. Собрать электрическую цепь (рис.1.2). Предъявить ее для проверки преподавателю.

1.4.4. Установить заданное значение входного напряжения. Измерить ток, напряжение на резисторах (переносным вольтметром). Определить эквивалентное сопротивление всей цепи по показаниям вольтметра и амперметра. Определить мощность, потребляемую цепью. Результаты опыта и расчета занести в табл. 1.1.

1.4.5. Сравнить данные расчета и опыта. Сделать выводы.

Таблица 1.1

U	I	U ₁	U ₂	U ₃	r _э	P	Примечание	
В	А	В	В	В	Ом	Вт		Заданные величины
							Расчет	r ₁ =
							Опыт	r ₂ =
								r ₃ =

1.5. Контрольные вопросы

1.5.1. Особенности работы на лабораторном стенде «ЭВ 4».

1.5.2. Что такое принципиальная схема и чем она отличается от схемы замещения или монтажной схемы?

1.5.3. Какое соединение приемников электрической энергии называется последовательным?

1.5.4. Как записывается закон Ома для цепи с последовательным соединением элементов?

1.5.5. Что называется электрической мощностью?

1.5.6. Как определить мощность, выделяемую источником электрической энергии, и мощность, потребляемую приемником?

1.5.7. Запишите уравнение баланса мощностей. Поясните его физический смысл.

Лабораторная работа №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СО СМЕШАННЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОСТОЯННОМ НАПРЯЖЕНИИ

2.1. Цель работы

2.1.1. Изучение возможности преобразования цепи со смешанным соединением в простейшую цепь.

2.1.2. Экспериментальная проверка законов Ома и Кирхгофа.

2.2. Краткие теоретические сведения

Анализ и расчет электрических цепей со смешанным соединением приемников с одним источником электрической энергии производится чаще всего методом преобразований, т. е. участки с параллельным соединением заменяются последовательным. При параллельном соединении элементов эквивалентное сопротивление определяется как

$$r_3 = \frac{1}{g_3}, \quad (2.1)$$

где $g_3 = g_1 + g_2 + \dots + g_n$ - эквивалентная проводимость цепи,

$g_1 = \frac{1}{r_1}, g_2 = \frac{1}{r_2}, \dots, g_n = \frac{1}{r_n}$ - проводимость каждой из ветвей.

Электрическое состояние цепи определяется законами Ома и Кирхгофа. Закон Ома для тока в неразветвленной цепи

$$I = \frac{U}{r_3}, \quad (2.2)$$

где r_3 - общее эквивалентное сопротивление всей цепи.

Первый закон Кирхгофа:
$$\pm \sum_{k=1}^n I_k = 0. \quad (2.3)$$

Второй закон Кирхгофа:
$$\pm \sum_{k=1}^n E_k = \pm \sum_{k=1}^n I_k r_k. \quad (2.4)$$

2.3. Исследуемая схема электрической цепи

Для проведения лабораторной работы на панели №6 секции электрических цепей гибкими соединителями собирается схема (рис. 2.1). Принципиальная схема приведена на рис. 2.1. Величина напряжения на входе цепи 40 ± 100 В и сопротивления резисторов задаются преподавателем (величины токов в цепи не должны превышать 1 А).

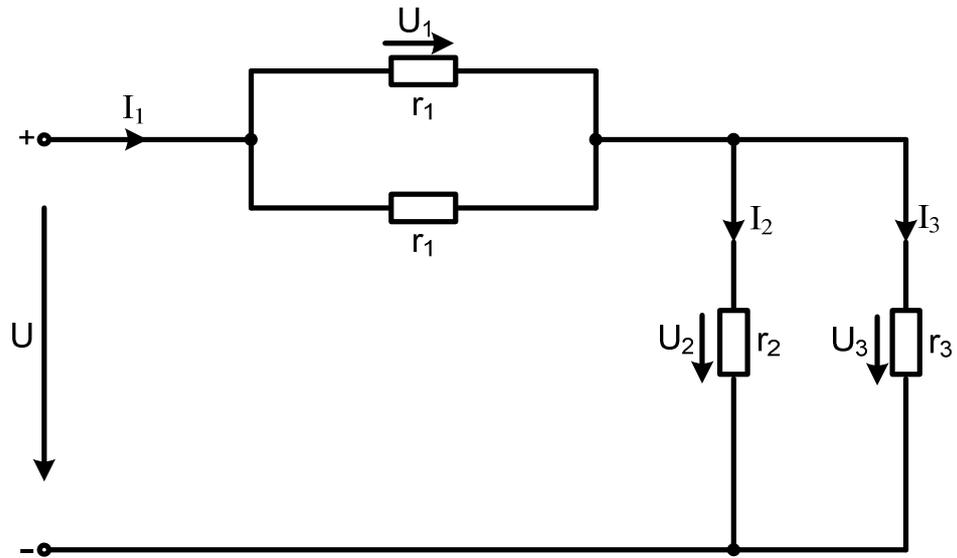


Рис. 2.1

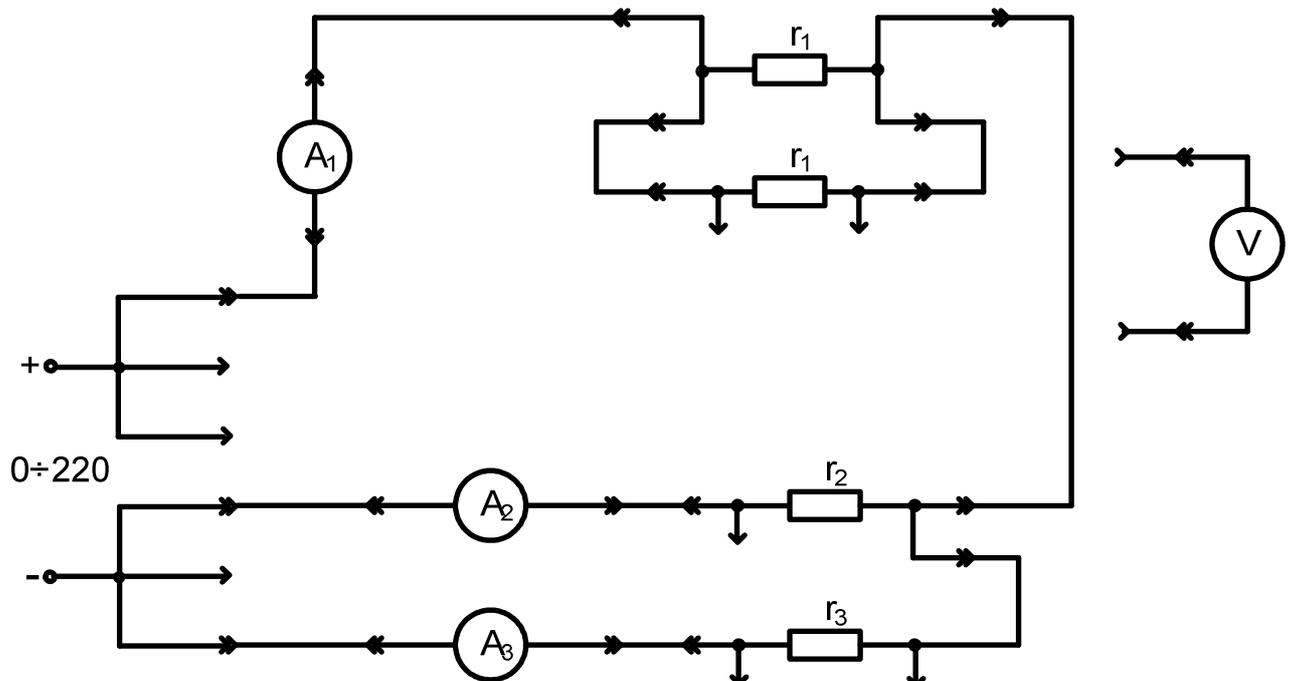


Рис. 2.2

2.4. Программа работы

2.4.1. По заданным величинам входного напряжения и сопротивлений резисторов рассчитать токи в цепи (рис. 2.1). Определить напряжение на каждом резисторе, а также мощность источника и мощность всех приемников. Результаты расчетов занести в табл. 2.1.

2.4.2. Собрать электрическую схему по рис. 2.2. Установить заданные параметры резисторов. Предъявить схему для проверки преподавателю.

2.4.3. Установить заданное входное напряжение. Замерить токи в ветвях и напряжения на резисторах. Результаты опыта занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

U	I ₁	I ₂	I ₃	U ₁	U ₂	U ₃	P _{ист}	P _{пот}	Примечание	
В	А	А	А	В	В	В	Вт	Вт		Заданные величины
									Расчет	r ₁ =
									Опыт	r ₂ = r ₃ =

2.4.4. Рассчитать по данным измерений мощность источников и мощность потребителей.

2.4.5. Сравнить данные расчета и опыта. Сделать выводы. Проверить выполняются ли первый и второй законы Кирхгофа.

2.5. Контрольные вопросы

2.5.1. Какое соединение приемников электрической энергии называется параллельным?

2.5.2. Как определяется эквивалентное сопротивление при параллельном соединении приемников?

2.5.3. Как определяется эквивалентное сопротивление при смешанном соединении приемников?

2.5.4. Дайте определение понятий узла, ветви и контура.

2.5.5. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа.

2.5.6. Составьте уравнения по первому и второму законам Кирхгофа для исследуемой цепи (для произвольно выбранного узла и контура).

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

3.1. Цель работы

3.1.1. Определение параметров индуктивной катушки по показаниям вольтметра, амперметра, ваттметра.

3.1.2. Изучение неразветвленной цепи переменного тока с катушкой индуктивности и конденсатором.

3.1.3. Изучение разветвленной цепи переменного тока, содержащей катушку индуктивности и конденсатор.

3.1.4. Построение векторных диаграмм.

3.2. Краткие теоретические сведения

Линейные электрические цепи переменного тока могут быть рассчитаны различными методами. Законы Ома и Кирхгофа выполняются для мгновенных значений синусоидальных величин. Но расчет цепей переменного тока значительно сложнее, чем расчет цепей постоянного тока, так как необходимо учитывать сдвиг фаз между токами и напряжениями.

Реальная катушка индуктивности обладает как индуктивным, так и активным сопротивлениями. Полное сопротивление катушки индуктивности Z_k определяется:

$$Z_k = \sqrt{r_k^2 + x_k^2}, \quad (3.1)$$

где r_k - активное сопротивление катушки;

x_k - индуктивное сопротивление катушки;

Закон Ома для неразветвленной цепи:

$$I = \frac{U}{\sqrt{r_s^2 + x_s^2}}, \quad (3.2)$$

где r_s - эквивалентное активное сопротивление цепи;

$x_s = \pm \sum_{k=1}^n x_k$ - эквивалентное реактивное сопротивление цепи.

Знак (+) ставится у индуктивного сопротивления, а знак (-) у емкостного сопротивления. Угол сдвига фаз между общим током и входным напряжением:

$$\varphi = \arctg \frac{x_s}{r_s}. \quad (3.3)$$

Для анализа и расчета разветвленных цепей переменного тока используют проводимости, с помощью которых разветвленную цепь можно преобразовать в простейшую и аналитически рассчитать токи. В цепях переменного тока различают три проводимости - активная g , реактивная b , полная y , причем:

$$g = \frac{r}{Z^2}; \quad b = \frac{x}{Z^2}; \quad y = \sqrt{g^2 + b^2}, \quad (3.4)$$

где Z - полное сопротивление ветви;

r - активное сопротивление ветви;

x - реактивное сопротивление ветви.

Эквивалентная проводимость любой цепи с параллельным соединением приемников электрической энергии:

$$y_3 = \sqrt{g_3^2 + b_3^2}, \quad (3.5)$$

где $g_3 = \sum_{k=1}^n g_k = g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n$ - эквивалентная активная проводимость цепи;

$g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$ - активные проводимости параллельно соединенных ветвей;

$b_3 = \pm \sum_{k=1}^n b_k$ - эквивалентная реактивная проводимость цепи;

$b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ - реактивные проводимости параллельно соединенных ветвей.

При этом проводимости ветвей с индуктивным характером нагрузки берут со знаком (+), а ветвей с емкостным характером - со знаком (-).

Если два и большее количество приемников соединены параллельно, то ток в общей ветви:

$$I = U \cdot Y_3 = U \cdot \sqrt{g_3^2 + b_3^2}, \quad (3.6)$$

а токи в ветвях:

$$I_1 = \frac{U}{Z_1}, I_2 = \frac{U}{Z_2}, \dots, I_n = \frac{U}{Z_n}, \quad (3.7)$$

Угол сдвига фаз между общим током и входным напряжением:

$$\varphi = \arctg \frac{b_3}{g_3}. \quad (3.8)$$

3.3. Исследуемые схемы электрических цепей

Для проведения лабораторной работы на панелях №3 и №4 секции электрических цепей с помощью измерительного комплекта К 505 собираются схемы рис. 3.2 а, б, в. Принципиальные схемы приведены на рис. 3.1 а, б, в. Максимальное напряжение источника однофазного переменного напряжения ($f=50$ Гц) не должно превышать 25 В (задается преподавателем). Емкость конденсатора также задается преподавателем.

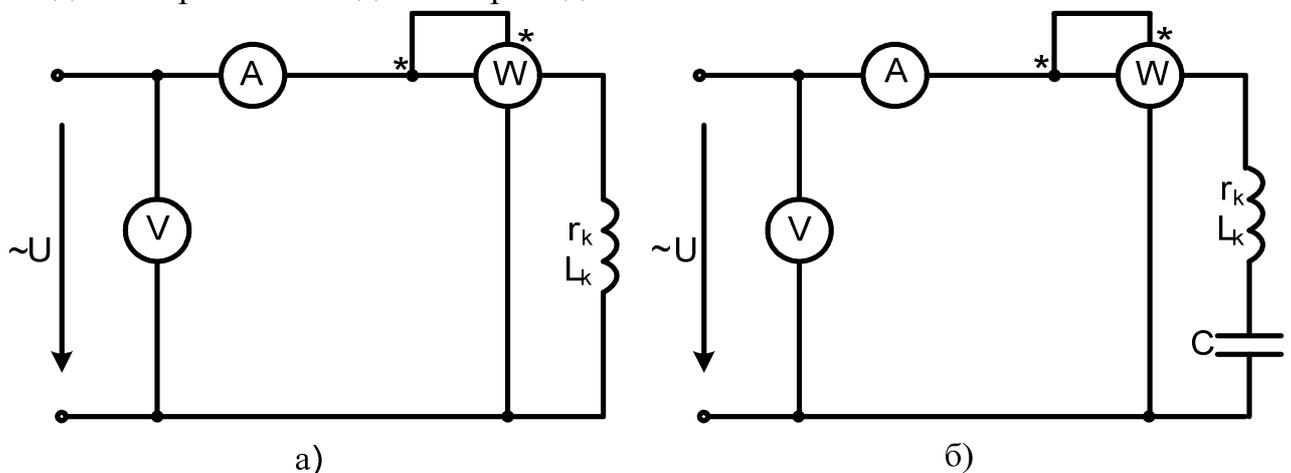
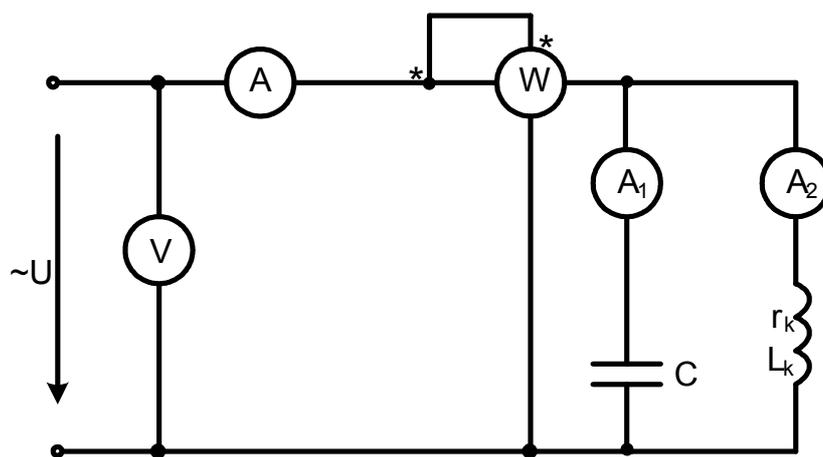
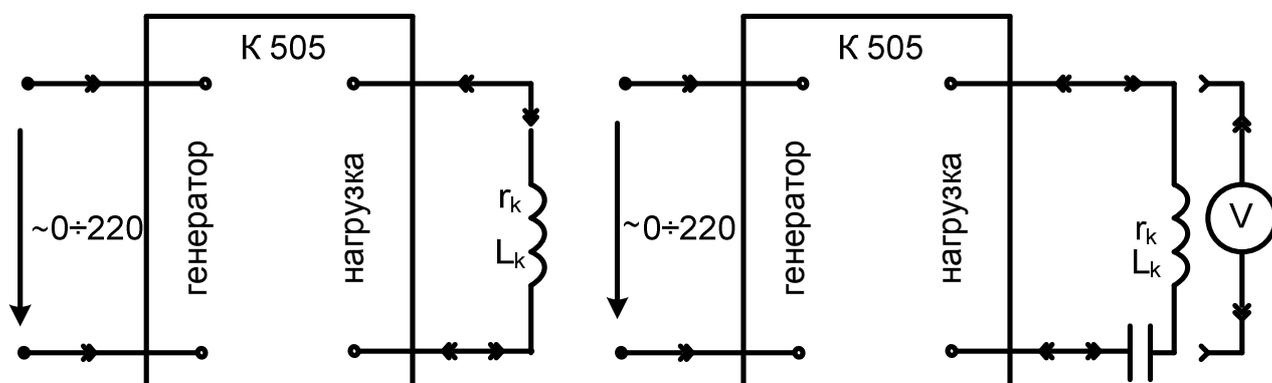


Рис. 3.1



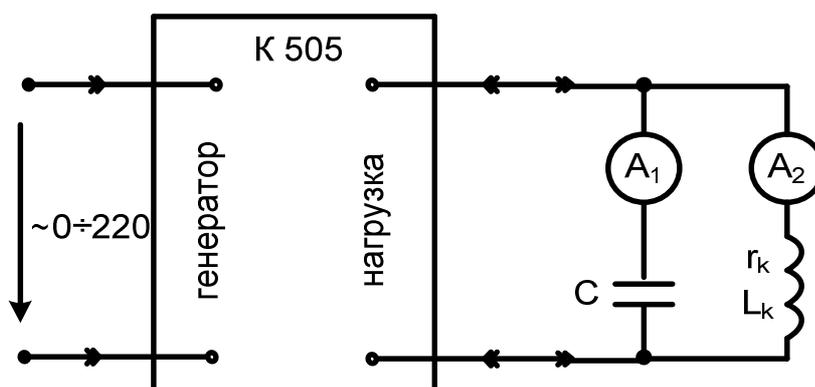
в)

Рис. 3.1



а)

б)



в)

Рис. 3.2

3.4. Программа работы

3.4.1. Собрать схему (рис. 3.2 а). Записать формулы для определения параметров католики r_k и x_k . Представить схему для проверки преподавателю.

3.4.2. При заданном входном напряжении снять показания приборов и занести в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Опытные данные			Расчетные данные		
U	I	P	Z_k	r_k	x_k
B	A	Вт	Ом	Ом	Ом

3.4.4. По определенным параметрам катушки, заданным значениям емкости конденсатора и напряжению на входе цепи рассчитать ток в цепи, напряжения на катушке и конденсаторе, потребляемую мощность и угол сдвига фаз между током и напряжением при последовательном соединении катушки и конденсатора. Результаты расчетов занести в табл. 3.2.

3.4.5. Собрать схему (рис. 3.2 б). Замерить ток в цепи, мощность и напряжение на конденсаторе и катушке. Результаты опыта также занести в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Опытные данные					Расчетные данные				
U	I	P	U_k	U_C	I	P	U_k	U_C	φ
B	A	Вт	B	B	A	Вт	B	B	°

3.4.6. Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений по опытными данным и определить угол сдвига фаз между током и напряжением. Сделать выводы.

3.4.7. Рассчитать токи и потребляемую мощность, угол сдвига фаз между током и напряжением при параллельном соединении катушки индуктивности и конденсатора при заданном входном напряжении. Результаты расчетов занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Опытные данные					Расчетные данные				
U	I	I_1	I_2	P	I	I_1	I_2	P	φ
B	A	A	A	Вт	A	A	A	Вт	°

3.4.8. Собрать схему (рис. 3.2 в). Замерить токи и мощность в цепи при заданном входном напряжении. Результаты расчета занести в табл. 3.3.

3.4.9. Построить в масштабе векторную диаграмму токов и определить по ней угол сдвига фаз между напряжением и током в неразветвленной части цепи. Сравнить с расчетным. Сделать выводы.

3.5. Контрольные вопросы

3.5.1. Что характеризует активная мощность в цепях переменного тока?

3.5.2. Как определить угол сдвига фаз между током и напряжением по показаниям приборов?

3.5.3. Как ведут себя ток и напряжение на активной, индуктивной и емкостной нагрузке?

3.5.4. Порядок построения векторных диаграмм для неразветвленных и разветвленных цепей переменного тока.

3.5.5. Как определяются активная, реактивная и полная проводимости ветвей в разветвленной цепи?

3.5.6. Зависит ли реактивная проводимость катушки индуктивности от величины ее активного сопротивления?

3.5.7. Как определить полную проводимость цепи с параллельным соединением ветвей?

3.5.8. Как проверить правильность расчета тока в разветвленной цепи?

Лабораторная работа №4 РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

4.1. Цель работы

Исследование резонанса напряжений в электрической цепи и условий, при которых он возникает.

4.2. Краткие теоретические сведения

Резонансом называется такой режим работы электрической цепи, при котором входной ток совпадает по фазе с входным напряжением, при наличии в цепях катушек индуктивности и конденсаторов. При последовательном их соединении возникает резонанс напряжений, когда реактивные сопротивления катушки и конденсатора равны, т. е. условием резонанса напряжений является равенство:

$$x_L - x_C = 0, \quad (4.1)$$

где $x_L = \omega L_k$ – индуктивное сопротивление катушки индуктивности, Ом;

L_k – индуктивность катушки, Гн;

$\omega = 2\pi f$ – угловая частота, c^{-1} ;

$x_C = \frac{1}{\omega C}$ – емкостное сопротивление конденсатора, Ом.

Тогда закон Ома при последовательном соединении катушки индуктивности и конденсатора в случае резонанса запишется в виде:

$$I_0 = \frac{U}{z_0} = \frac{U}{\sqrt{r_k^2 + (x_L - x_C)^2}} = \frac{U}{r_k}, \quad (4.2)$$

где z_0 – полное сопротивление цепи в режиме резонанса.

Все величины, соответствующие резонансу напряжений в дальнейшем будут помечаться индексом 0.

Из (4.1) и (4.2) следует, что полное сопротивление цепи при резонансе является чисто активным и имеет минимальное значение, при этом ток в цепи имеет наибольшее значение и совпадает по фазе с входным напряжением, т.е. $\varphi_0 = 0$.

Из выражения (4.1) следует, что падения напряжения на индуктивности и конденсаторе находятся в противофазе и равны между собой ($U_L = U_C$) и при условии $x_L = x_C > r_k$ могут значительно превышать входное напряжение U , равное действующему значению напряжения на активном сопротивлении.

Активная мощность при резонансе P_0 также имеет наибольшее значение: т.к. $\varphi_0 = 0$, то $\cos \varphi_0 = 1$, и следовательно

$$P_0 = UI_0 \cos \varphi_0 = UI_0. \quad (4.3)$$

Реактивная мощность в режиме резонанса

$$Q_0 = UI_0 \sin \varphi_0 = 0. \quad (4.4)$$

Полная мощность в режиме резонанса

$$S_0 = \sqrt{P_0^2 + Q_0^2} = P_0 \quad (4.5)$$

Из условия (4.1) следует, что резонанс напряжений можно достичь при изменении параметров цепи (L или C), или путем изменения частоты.

4.3. Исследуемая схема электрической цепи

Для проведения лабораторной работы на панелях №3 и №4 с помощью измерительного комплекта К 505 собирается цепь (рис. 4.2), принципиальная схема которой представлена на рис. 4.1. Питание цепи осуществляется от источника однофазного переменного напряжения (не более 20 В).

4.4. Предварительная подготовка

По определенным в работе №3 параметрам катушки индуктивности (r_k и L_k), и заданному входному напряжению U (см таблицу вариантов 4.1) рассчитать:

- емкость конденсатора C_0 , при которой в цепи возникает резонанс напряжений ($f=50$ Гц);
- ток в режиме резонанса I_0 .

Таблица 4.1

номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
U, В	15	17	19	21	23	25	25	25

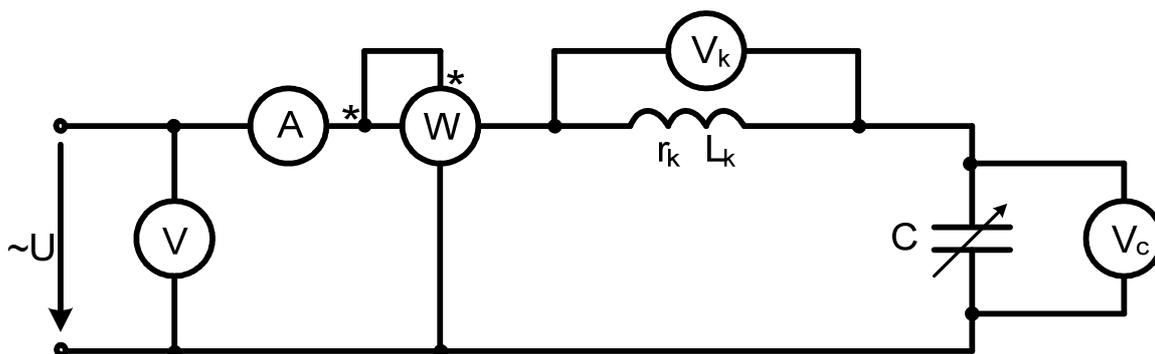
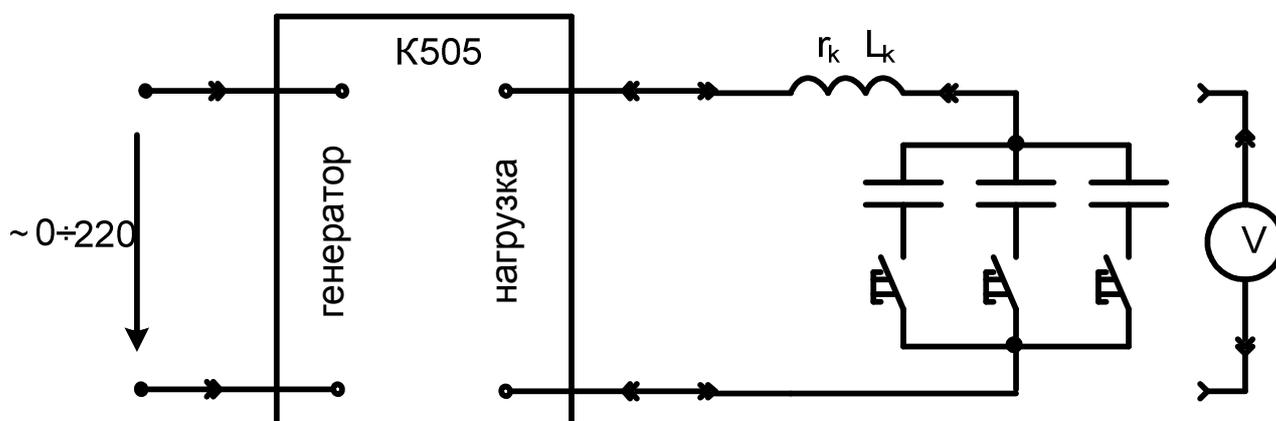


Рис. 4.1



В)

Рис. 4.2

4.5. Программа работы

4.5.1. Подготовить таблицу 4.2 для записи результатов измерений и вычислений.

Таблица 4.2

Измерено						Вычислено		
C, мкФ	U, В	I, А	U _С , В	U _к , В	P, Вт	U _L , В	cos φ	φ, °

4.5.2. Собрать схему (рис. 4.2). Представить ее для проверки преподавателю.

4.5.3. Установить на магазине конденсаторов C_0 . Убедиться, что ток при этом значении емкости имеет максимальное значение, т.е. проверить значение тока для двух произвольных емкостей – больше и меньше C_0 . Сравнить значение тока при резонансе с рассчитанным в п. 4.4.

4.5.4. Провести измерения всех величин при заданном входном напряжении и емкости C_0 . Данные измерений в этом режиме записать в таблицу 4.2.

4.5.5. Устанавливая различные значения емкости, (не менее трех значений меньше и больше C_0), снять показания всех приборов и занести в таблицу 4.2, поддерживая напряжение на входе неизменным.

4.5.6. Для каждого значения емкости батареи конденсаторов рассчитать все входящие в таблицу 4.2 параметры цепи. Определить знак угла φ .

4.5.7. По данным опыта и расчета (пункты 4.5.4, 4.5.5, 4.5.6) построить графики изменения $I(C)$, $U_L(C)$, $U_C(C)$, $\varphi(C)$.

4.5.8. Построить примерные векторные диаграммы напряжений в электрической цепи при $C > C_0$, $C = C_0$, $C < C_0$.

4.6. Контрольные вопросы

4.6.1. В чем физическая сущность резонанса напряжений?

4.6.2. При каких условиях возникает резонанс напряжений?

4.6.4. Изменением каких параметров электрической цепи можно получить резонанс напряжений?

4.6.5. Запишите выражения для тока, полного сопротивления и коэффициента мощности электрической цепи при резонансе напряжений?

4.6.6. Как определить емкость конденсатора при резонансе напряжений по показаниям вольтметра и амперметра?

4.6.7. За счет чего увеличивается напряжение на реактивных участках при резонансе?

4.6.8. Каковы характерные особенности мощностей при резонансе напряжений? Чему равна полная мощность цепи при резонансе напряжений?

4.6.9. Какую опасность представляет резонанс напряжений для электротехнических устройств?

4.6.10. Где используются явления резонанса напряжений?

Лабораторная работа №5 ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ В ЗВЕЗДУ

5.1. Цель работы

Изучение влияния изменения параметров одного из трех однофазных приемников, соединенных в звезду и включенных в трехпроводную и четырехпроводную цепи, на режим работы цепи.

5.2. Краткие теоретические сведения

5.2.1. Общие сведения

Трехфазной системой называется совокупность трех электрических цепей, в которых действуют три синусоидальные ЭДС одинаковой амплитуды и частоты, сдвинутые относительно друг друга по фазе на 120° и создаваемые общим источником. В таких системах энергия от генератора к приемнику передается по трем линейным проводам. Различают фазные и линейные напряжения генератора, фазные и линейные напряжения нагрузки, фазные и линейные токи.

Напряжения между началами обмоток генератора А, В, С называются линейными напряжениями и обозначаются U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} (при прямом чередовании фаз).

Напряжения между началами обмоток фаз генератора (А, В, С) и концами (точки X, Y, Z), называются фазными напряжениями генератора и обозначаются U_A , U_B , U_C . При соединении концов фаз генератора в один узел, называемый нулевой точкой генератора (0_G), получается соединение звездой (рис 5.2). При таком соединении линейные и фазные напряжения генератора связаны между собой соотношениями (на основании второго закона Кирхгофа):

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B, \quad \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C, \quad \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A. \quad (5.1)$$

Для симметричного трехфазного генератора линейное напряжение больше фазного в $\sqrt{3}$ раз и фазное напряжение отстает от линейного на 30° . Векторная топографическая диаграмма напряжений на генераторе имеет вид (рис 5.1.):

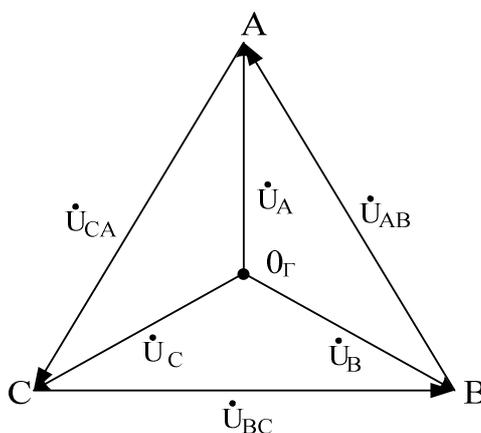


Рис. 5.1

Приемники электрической энергии в трехфазных цепях могут быть соединены звездой или треугольником независимо от соединения фаз генератора. Напряжения на каждой фазе приемника называются фазными напряжениями нагрузки и обозначаются соответственно U_a, U_b, U_c . Токи, протекающие по линейным проводам от генератора к нагрузке, называются линейными (I_A, I_B, I_C), а токи, протекающие через сопротивления фаз нагрузки, - фазными (I_{ab}, I_{bc}, I_{ca}). Нагрузка в трехфазных цепях может быть симметричной и несимметричной. Нагрузка симметрична, если сопротивления фаз нагрузки равны между собой, т. е. если $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = \underline{Z}$.

5.2.2. Основные соотношения для симметричной трехфазной цепи, соединенной по схеме «звезда-звезда» без нулевого провода (схема на рис.5.2):

Фазные напряжения нагрузки равны фазным напряжениям генератора:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A, \quad \dot{U}_b = \dot{U}_B, \quad \dot{U}_c = \dot{U}_C. \quad (5.2)$$

Действующие значения линейных напряжений в $\sqrt{3}$ раз больше действующих значений фазных напряжений, которые образуют симметричную систему векторов:

$$U_{л} = \sqrt{3}U_{\phi}, \quad \dot{U}_A = U_{\phi}e^{j0}, \quad \dot{U}_B = U_{\phi}e^{-j120^\circ}, \quad \dot{U}_C = U_{\phi}e^{+j120^\circ}. \quad (5.3)$$

Линейные токи равны фазным, которые рассчитываются по закону Ома, и так же, как и фазные напряжения, образуют симметричную систему векторов:

$$\dot{I}_{л} = \dot{I}_{\phi}, \quad \dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}}, \quad \dot{I}_B = \dot{I}_A e^{-j120^\circ}, \quad \dot{I}_C = \dot{I}_A e^{+j120^\circ}. \quad (5.4)$$

Активная мощность всей цепи:

$$P = 3U_{\phi}I_{\phi}\cos\varphi_{\phi} = \sqrt{3}U_{л}I_{л}\cos\varphi_{\phi} = 3I_{\phi}^2r_{\phi}, \quad (5.3)$$

где $\varphi_{\phi} = \arctg \frac{x_{\phi}}{r_{\phi}}$ - угол сдвига фаз между фазным напряжением и фазным током.

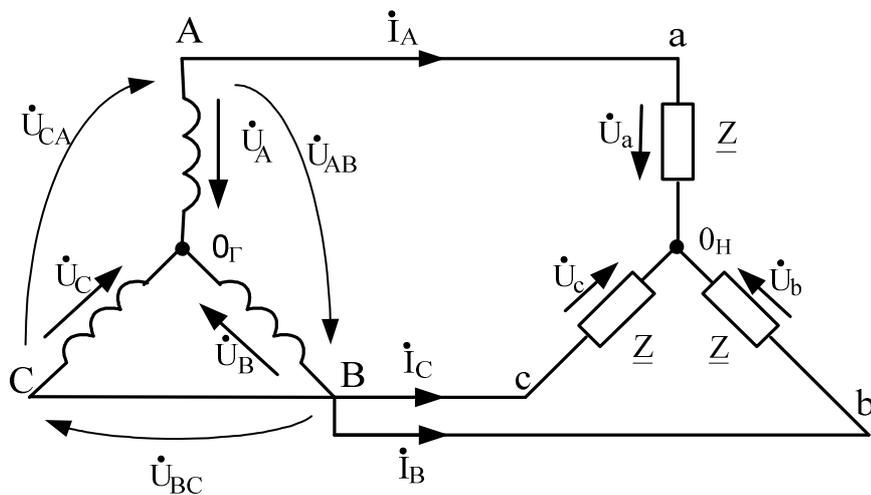


Рис. 5.2

Топографическая диаграмма напряжений:

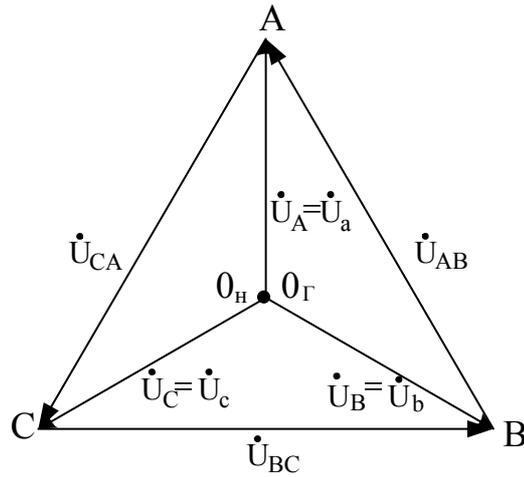


Рис. 5.3

5.2.3. Основные соотношения для четырехпроводной трехфазной цепи (схема на рис. 5.4).

Фазные напряжения нагрузки равны фазным напряжениям генератора:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A, \quad \dot{U}_b = \dot{U}_B, \quad \dot{U}_c = \dot{U}_C. \quad (5.4)$$

Линейные токи равны фазным и определяются по закону Ома:

$$\dot{I}_л = \dot{I}_ф, \quad \dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_a}, \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_b}, \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_c}. \quad (5.5)$$

Ток в нулевом проводе: $\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C. \quad (5.6)$

Активная мощность, потребляемая цепью:

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_a + U_B I_B \cos \varphi_b + U_C I_C \cos \varphi_c, \quad (5.7)$$

где φ_a - угол сдвига фаз между фазным напряжением \dot{U}_a и фазным током \dot{I}_A ,
 φ_b - угол сдвига фаз между фазным напряжением \dot{U}_b и фазным током \dot{I}_B ,
 φ_c - угол сдвига фаз между фазным напряжением \dot{U}_c и фазным током \dot{I}_C .

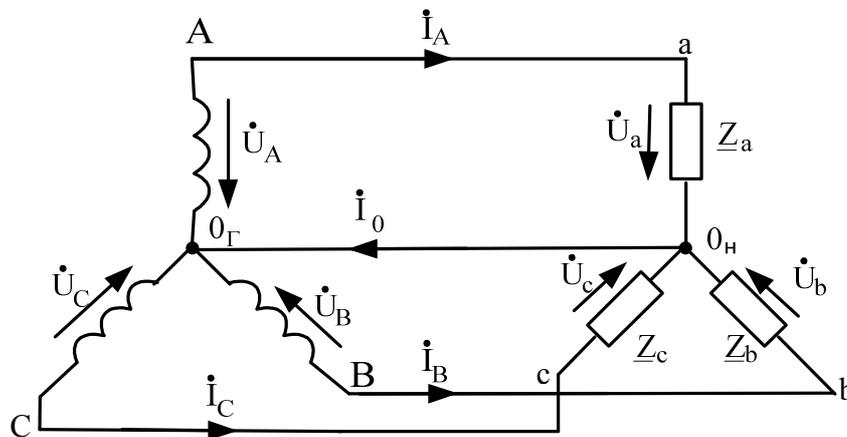


Рис. 5.4

Топографическая диаграмма напряжений:

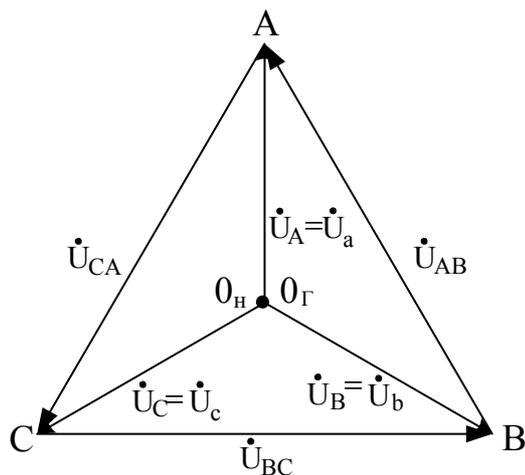


Рис. 5.5

5.2.4. Основные соотношения для несимметричной трехфазной цепи, соединенной звездой без нулевого провода.

Неравномерная нагрузка фаз в цепи при отсутствии нулевого провода вызывает появление напряжения между нулевыми точками генератора и нагрузки - смещение нейтрали:

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{U}_A \underline{Y}_A + \dot{U}_B \underline{Y}_B + \dot{U}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}, \quad (5.8)$$

где $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ - комплексные фазные напряжения генератора;
 $\underline{Y}_A, \underline{Y}_B, \underline{Y}_C$ - комплексы проводимости фаз.

Комплексы фазных напряжений нагрузки определяются:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A - \dot{U}_0, \quad \dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_0, \quad \dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_0. \quad (5.9)$$

Линейные токи равны фазным и определяются по закону Ома:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a}, \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b}, \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c}. \quad (5.10)$$

Топографическая диаграмма напряжений:

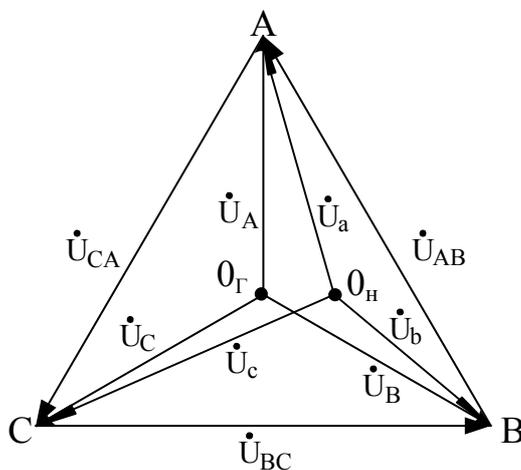


Рис. 5.6

5.3. Исследуемая схема электрической цепи

Для проведения лабораторией работы собирается схема (рис. 5.7) на панели №2 с измерительным комплектом К 505. Электрическая цепь питается от трехфазного источника с линейным напряжением 220 В.

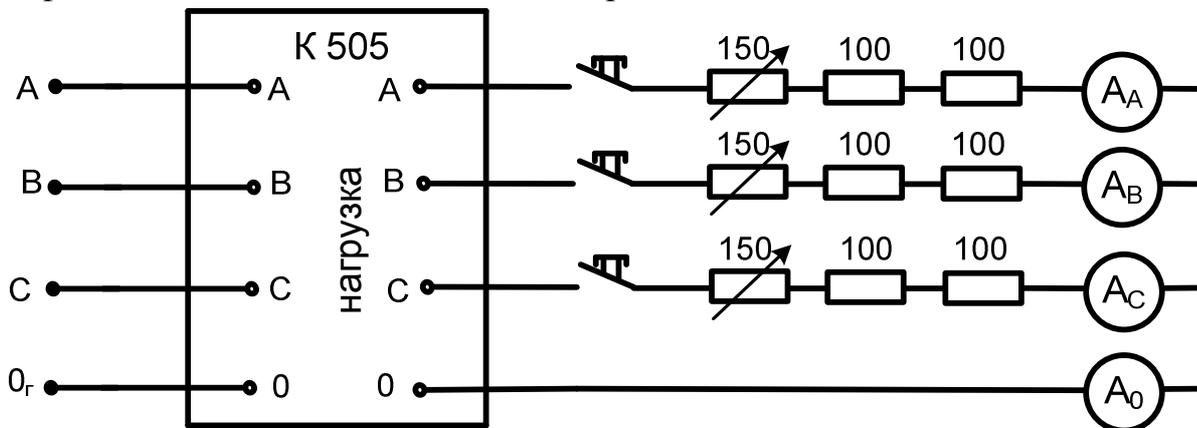


Рис. 5.7

5.4. Программа работы

5.4.1. Собрать схему (рис. 5.7). Снять показания приборов при следующих режимах:

- симметричной нагрузке фаз;
- уменьшенной нагрузке в одной из фаз;
- отключении нагрузки в одной из фаз;
- коротком замыкании одной из фаз.

Все измерения проводятся с нулевым проводом и без него (кроме пункта Г).

ПРИ КОРТКОМ ЗАМЫКАНИИ (пункт Г) НЕЛЬЗЯ ВКЛЮЧАТЬ НУЛЕВОЙ ПРОВОД, Т.К. ЭТО ПРИВОДИТ К КОРТКОМУ ЗАМЫКАНИЮ ФАЗЫ ГЕНЕРАТОРА.

Результаты измерений занести в табл. 5.1.

5.4.2. Измерить линейное напряжение U_L цифровым вольтметром.

5.4.3. В соответствии с опытными данными построить примерные топографические диаграммы напряжений и лучевые диаграммы токов для всех случаев.

5.4.4. На основе опытных данных рассчитать мощности, потребляемые каждой фазой, и мощность потребляемую всей нагрузкой, а также соотношение U_L/U_ϕ для всех режимов. Результаты расчетов занести в табл. 5.1. Сделать выводы.

5.5. Контрольные вопросы

- Какая цепь называется трехфазной?
- Что такое симметричная нагрузка трехфазной цепи?
- Основные соотношения для трехфазной цепи, соединенной звездой.
- Какова роль нулевого провода?
- Как определить ток в нулевом проводе из векторной диаграммы?
- Как определяется мощность в трехфазной цепи?

Таблица 5.1

Виды включения трехфазной нагрузки		Измерено						Вычислено				
		Токи				Фазные напряжения нагрузки		Мощности				
		I_A	I_B	I_C	I_0	U_a	U_b	U_c	P_a	P_b	P_c	P
		A	A	A	A	B	D	B	Вт	Вт	Вт	Вт
Симметричная нагрузка	С нулевым проводом											
	Без него											
Уменьшенная нагрузка фазы	С нулевым проводом											
	Без него											
Отключена фаза	С нулевым проводом											
	Без него											
Короткое замыкание фазы	Без нулевого провода											

Лабораторная работа № 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ В ТРЕУГОЛЬНИК

6.1. Цель работы

Изучение влияния изменения параметров одного из трех однофазных приемников, соединенных в треугольник и включенных в трехпроводную цепь, на режим работы цепи.

6.2. Краткие теоретические сведения

6.2.1. Общие сведения (см. лабораторную работу №5, пункт 5.2.1) .

6.2.2. Основные соотношения для симметричной трехфазной цепи, соединенной треугольником ($\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca} = \underline{Z}$) (схема на рис. 6.1.):

Фазные напряжения на нагрузке равны линейным напряжениям генератора:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_{AB}, \quad \dot{U}_b = \dot{U}_{BC}, \quad \dot{U}_c = \dot{U}_{CA}. \quad (6.1)$$

Фазные токи определяются по закону Ома:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{ab}}, \quad \dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{bc}}, \quad \dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\underline{Z}_{ca}}. \quad (6.2)$$

Действующие значения линейных токов в $\sqrt{3}$ раз больше действующих значений фазных токов и отстают от них на 30° :

$$\dot{I}_A = \sqrt{3}\dot{I}_{ab}e^{-j30^\circ}, \quad \dot{I}_B = \sqrt{3}\dot{I}_{bc}e^{-j30^\circ}, \quad \dot{I}_C = \sqrt{3}\dot{I}_{ca}e^{-j30^\circ}. \quad (6.3)$$

Активная мощность, потребляемая цепью:

$$P = 3P_\phi = 3U_\phi I_\phi \cos U_\phi. \quad (6.4)$$

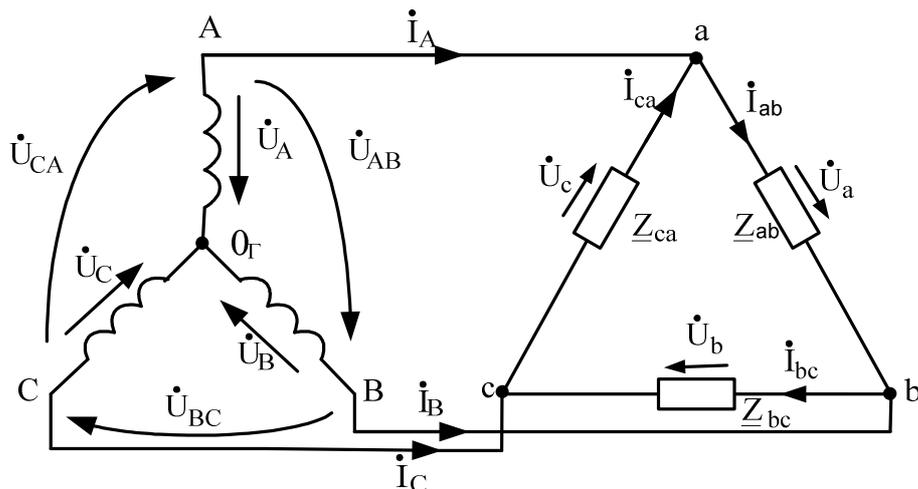


Рис. 6.1

Топографическая диаграмма напряжений:

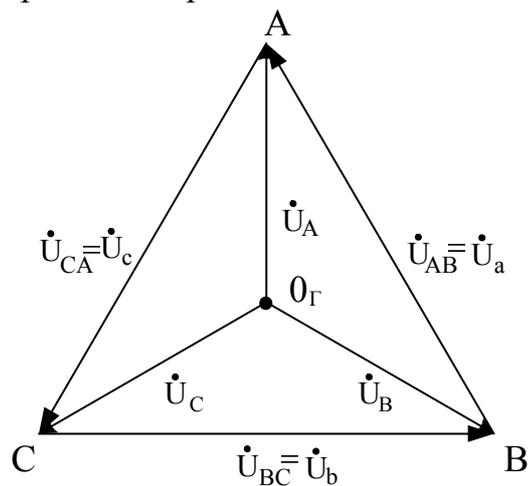


Рис. 6.2

6.2.3. Основные соотношения для несимметричной трехфазной цепи, соединенной треугольником.

Линейные токи фаз определяются через фазные по первому закону Кирхгофа:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}, \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}, \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}. \quad (6.3)$$

Изменение сопротивлений одной из фаз вызывает изменение двух линейных токов. Активная мощность, потребляемая нагрузкой:

$$P = P_{ab} + P_{bc} + P_{ca} = U_a I_{ab} \cos \varphi_a + U_b I_{bc} \cos \varphi_b + U_c I_{ca} \cos \varphi_c, \quad (6.4)$$

где φ_a - угол сдвига фаз между фазным напряжением \dot{U}_a и фазным током \dot{I}_{ab} ,
 φ_b - угол сдвига фаз между фазным напряжением \dot{U}_b и фазным током \dot{I}_{bc} ,
 φ_c - угол сдвига фаз между фазным напряжением \dot{U}_c и фазным током \dot{I}_{ca} .

6.3. Исследуемая схема электрической цепи

Для проведения лабораторной работы собирается схема (рис. 6.3) с измерительным комплектом К 505. Напряжение подается от трехфазного источника питания с линейным напряжением 220 В. Нагрузкой служат резисторы.

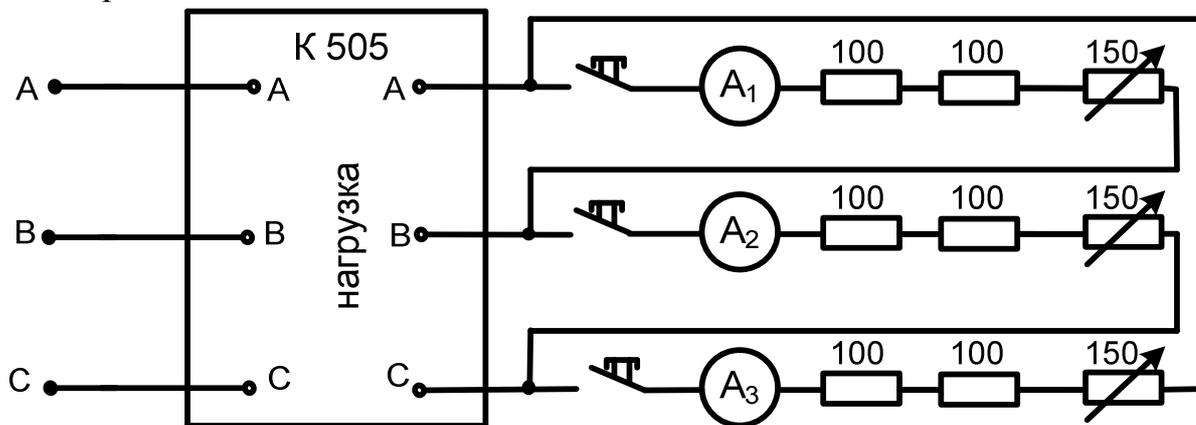


Рис. 6.3

6.4. Программа работы

6.4.1. Собрать схему (рис.6.3). Снять показания приборов при следующих режимах:

- а) симметричной нагрузке;
- б) уменьшенной нагрузке в одной из фаз;
- в) отключении нагрузки в одной из фаз;
- г) обрыве линейного провода.

Результаты измерений занести в табл. 6.1.

6.4.2. Измерить линейное напряжение $U_{л}$ цифровым вольтметром.

6.4.3. Рассчитать активную мощность потребляемую нагрузкой в каждом режиме.

6.4.4. Построить примерные топографические диаграммы напряжений и лучевые диаграмма токов для всех режимов.

6.5. Контрольные вопросы

6.5.1. Основные соотношения для трехфазной цепи, соединенной треугольником.

6.5.2. Как рассчитать полную активную мощность, потребляемую трехфазной цепью, по показаниям приборов?

6.5.3. Можно ли по показаниям приборов определить реактивную мощность?

6.5.4. Для какой нагрузки справедливо соотношение $\frac{I_{л}}{I_{ф}} = \sqrt{3}$?

Таблица 6.1

Виды включения трехфазной нагрузки	Измерено						Вычислено			
	Линейные токи			Фазные токи			Мощность			
	I_A	I_B	I_C	I_{ab}	I_{bc}	I_{ca}	P_{ab}	P_{bc}	P_{ca}	P
	А	А	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт
Симметричная нагрузка										
Уменьшенная нагрузка в одной из фаз										
Отключение нагрузки в одной из фаз										
Обрыв линейного провода										

Лабораторная работа №7
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ
С ОДНИМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

7.1. Цель работы

7.1.1. Исследование переходных процессов в цепи с r и C .

7.1.2. Исследование переходных процессов в цепи с r и L .

7.2. Краткие теоретические сведения

Переходным неустановившимся процессом называется процесс, возникающий в электрической цепи при переходе от одного установившегося режима к другому в результате операций включения, выключения, переключений, внезапных изменений параметров цепей при аварийных ситуациях и т. п., т. е. в результате различных коммутаций. Переходные процессы в некоторых электрических цепях, устройствах связи, автоматики, импульсной и телевизионной техники являются рабочими процессами при нормальной эксплуатации этих устройств, а в отдельных случаях они сопровождаются нежелательными явлениями (на отдельных участках возникают повышенные напряжения или увеличение токов). Рассчитать электрическую цепь в переходном режиме означает найти зависимость токов, напряжений или других переменных от времени, прошедшего от момента коммутации до момента наблюдения этих величин. Расчет переходных процессов сводится к решению линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, полученных с помощью законов Кирхгофа. Так, цепь с r , L при подключении ее к источнику с напряжением U (рис. 7.1) описывается в переходном режиме уравнением:

$$L \frac{di}{dt} + ri = U, \quad (7.1)$$

если $U = U_0 = \text{const}$, то решение его запишется в виде:

$$i(t) = \frac{U_0}{r} (1 - e^{-\frac{r}{L}t}). \quad (7.2)$$

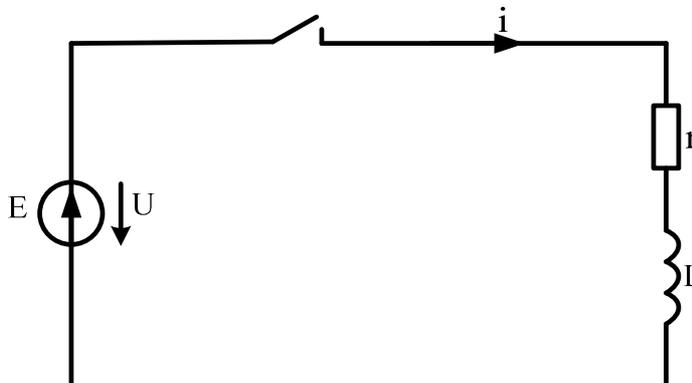


Рис. 7.1

Цепь с r, C (рис. 7.2) при подключении ее к источнику с напряжением U описывается уравнением:

$$rC \frac{dU_c}{dt} + U_c = U, \quad (7.3)$$

если $U = U_0 = \text{const}$, то решение его запишется в виде:

$$U(t) = U_0(1 - e^{-\frac{t}{rC}}). \quad (7.4)$$

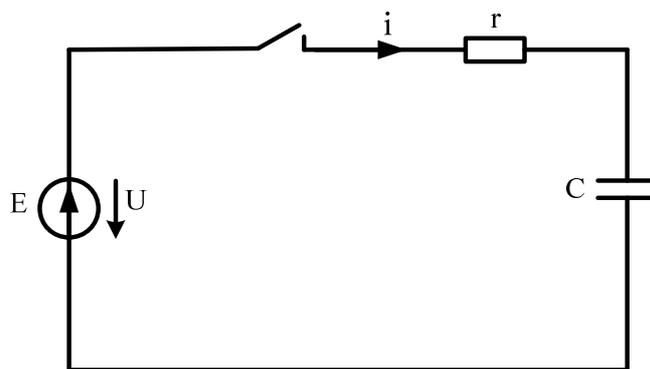


Рис. 7.2

Длительность переходных процессов составляет доли секунды (десятые и сотые) и зависит от параметров цепи. Опытным путем установлено, что переходный процесс заканчивается за время, равное $(4 \div 5)\tau$, где τ - постоянная времени цепи ($\tau = 1/|p|$, где p - корень характеристического уравнения). Для цепи с r и L (рис 7.2) $\tau = L/r$, для цепи с r и C (рис. 7.2) $\tau = rC$. Постоянную времени можно определить геометрическим построением экспоненциально убывающей кривой тока или напряжения. Касательная, проведенная к любой точке экспоненты, и перпендикуляр, опущенный из этой же точки на ось времени, отсекают на ней отрезок, равный τ в масштабе времени.

7.3. Исследуемая схема электрической цепи

Для лабораторной работы используется готовая рабочая схема (рис. 7.3) (нижняя часть панели №7). Параметры цепи указаны на стенде. Питание цепи осуществляется от стабилизированного источника питания постоянного напряжения с $U=12$ В. Электронный коммутатор (ЭК) выполняет роль ключа, работающего в непрерывном режиме отключения и подключения источника питания к цепи. Кривые напряжений снимаются с осциллографа С-118. Для исследования цепи с r и C ключ $K1$ ставится в положение 1. Для исследования цепи с r и L ключ $K1$ в положение 2, а $K2$ выключен.

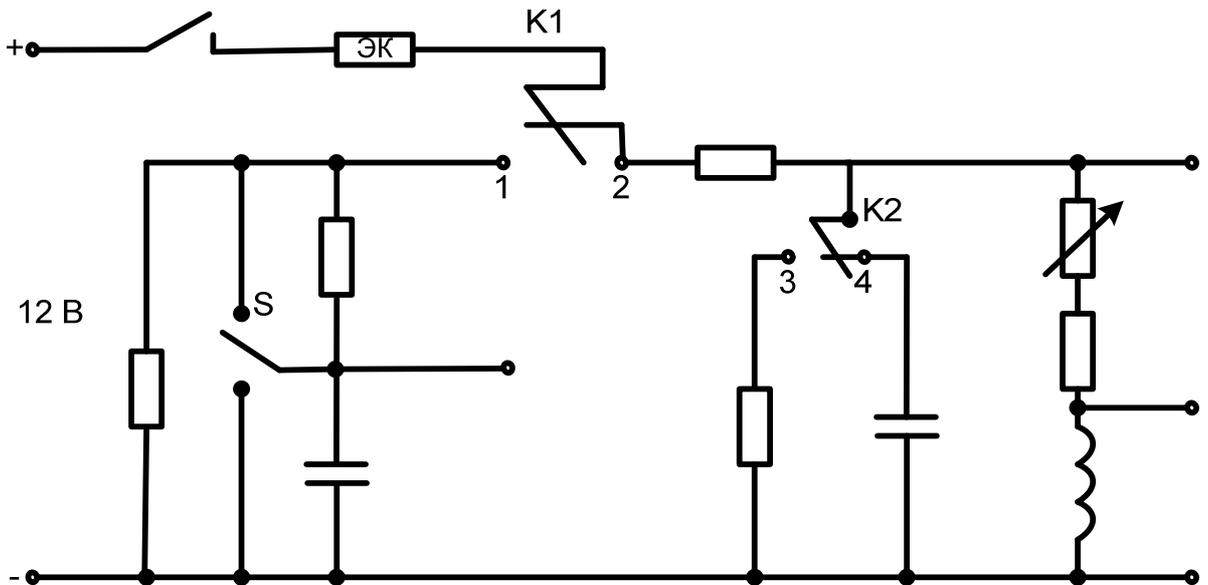


Рис. 7.3

7.4. Программа работы

7.4.1. По заданным параметрам цепи рассчитать закон изменения на конденсаторе U_C . Определить τ . Построить график изменения напряжения $U_C(t)$.

7.4.2. Ознакомьтесь с рабочей схемой (рис. 7.2) и с работой осциллографа. Подключить цепь с r и C к источнику постоянного напряжения с $U=12$ В. Включить ЭК и снять осциллограммы входного напряжения и напряжения U_r , U_C (в масштабе). (Ключ $K1$ в положении 1).

7.4.3. Сравнить расчетные и опытные графики изменения $U_C(t)$. Определить τ по опытной кривой и сравнить ее с расчетной. Сделать выводы.

7.4.4. По заданным параметрам цепи с r и L рассчитать закон изменения тока в цепи. Определить τ . Построить график изменения тока $i(t)$.

7.4.5. Подключить к цепи с r и L постоянное напряжение: для этого ключ $K1$ переключить в положение 2, ключ $K2$ – ВЫКЛЮЧЕН! Снять осциллограммы $U_r(t)$ и U_L . Зная параметры цепи, с учетом полученной осциллограммы $U_r(t)$, получить кривую тока.

7.4.6. Сравнить расчетные и опытные графики $i(t)$. Определить τ по опытной кривой.

7.5. Контрольные вопросы

7.5.1. В чем заключается смысл законов коммутации?

7.5.2. Как изменятся графики зависимости от времени переходного напряжения U_C , и тока в цепи (рис. 7.2), если сопротивление резистора уменьшить?

7.5.3. Каков физический смысл постоянной времени?

7.5.4. Как определить графически постоянную времени цепи?

7.5.5. Как изменятся графики зависимости от времени $i(t)$, $U_L(t)$ в цепи (рис. 7.1), если в ней последовательно с индуктивной катушкой добавить дополнительное сопротивление?

Лабораторная работа № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕПИ R, L, C ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ ЕЕ К ИСТОЧНИКУ С ПОСТОЯННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

8.1. Цель работы

8.1.1. Изучение влияния параметров цепи на ход переходного процесса.

8.1.2. Снятие осциллограмм напряжений $U_C(t)$, $U_R(t)$ и тока $i(t)$ в цепи при апериодическом и колебательном режимах.

8.2. Краткие теоретические сведения

Электрическое состояние в переходном режиме с последовательным соединением r , L , C при подключении ее к источнику с постоянным напряжением описывается дифференциальным уравнением второго порядка. В зависимости от состояния параметров r , L , C возможны три типа переходных процессов:

апериодический режим - корни характеристического уравнения действительные и разные:

$$\left(\frac{r}{2L} > \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{или} \quad r > 2\sqrt{\frac{L}{C}} \right);$$

колебательный режим - корни характеристического уравнения сопряженно-комплексные:

$$\left(\frac{r}{2L} < \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{или} \quad r < 2\sqrt{\frac{L}{C}} \right);$$

критический режим - корни характеристического уравнения одинаковые и вещественные:

$$\left(\frac{r}{2L} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{или} \quad r = 2\sqrt{\frac{L}{C}} \right).$$

Т.е., изменяя активное сопротивление цепи r , можно получить апериодический и колебательный заряд и разряд конденсатора, причем свободные составляющие заряда и разряда конденсатора изменяются по одному и тому же закону.

8.3. Исследуемая схема электрической цепи

Для проведения лабораторной работы используется готовая рабочая схема (рис. 7.3) (нижняя часть панели №7) . Параметры цепи указаны на схеме. Питание осуществляется от стабилизированного источника питания с $U=12$ В. Электронный коммутатор (ЭК) выполняет роль ключа, работающего в непрерывном режиме отключения и подключения источника питания (ключ $K1$ в положении 2, $K2$ в положении 4).

8.4. Программа работы

8.4.1. Ознакомиться с рабочей схемой. Подключить цепь r , L , C к источнику питания с $U=12$ В. Включить ЭК. Изменяя переменное

сопротивление, подобрать аperiodический режим работы цепи и снять осциллограммы $U_C(t)$, $U_R(t)$, $U_L(t)$. Измерить сопротивление (цифровым вольтметром), соответствующие этому режиму.

8.4.2. По заданным параметрам цепи рассчитать $U_C(t)$ в аperiodическом режиме при отключении цепи от $U=12$ В и сравнить с опытной кривой.

8.4.3. Установить с помощью сопротивления колебательный режим работы и снять осциллографы $U_C(t)$, $U_R(t)$, $U_L(t)$. Сделать выводы.

8.5. Контрольные вопросы

8.5.1. Как определить порядок дифференциального уравнения, описывающего переходный процесс?

8.5.2. Когда в цепи наблюдается аperiodический, колебательный режим?

8.5.3. Сущность переходного процесса при аperiodическом и колебательном режимах.

8.5.4. Чем оценивается быстрота затухания колебательного процесса?

Лабораторная работа №9 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

9.1. Цель работы

9.1.1. Ознакомиться с графическим методом расчета нелинейных цепей постоянного тока.

9.1.2. Снять вольт-амперные характеристики нелинейных элементов.

9.1.3. Ознакомиться с графическим методом расчета простейших нелинейных цепей постоянного тока.

9.2. Краткие теоретические сведения

Электрическую цепь называют нелинейной, если она содержит элементы, параметры которых непостоянны и зависят от значений или направлений тока и напряжения, от температуры и т.д. Вольт-амперные характеристики этих элементов нелинейны. Электрическое состояние нелинейной цепи постоянного тока, как и линейной, описывается системой алгебраических уравнений, составленных по первому и второму законам Кирхгофа. Уравнения, составленные по этим законам для нелинейных цепей, являются нелинейными алгебраическими уравнениями. Как известно, общих аналитических методов решения нелинейных уравнений нет, поэтому в общем случае решение таких задач осуществляется численными методами математики с использованием ЭВМ. Однако при анализе и расчете простейших нелинейных цепей постоянного тока применяются графоаналитические методы. При этом вольт-амперные характеристики нелинейных элементов ($U=f(I)$) задаются или снимаются экспериментально, а нелинейная цепь заменяется эквивалентной (метод преобразований), вольт-амперная характеристика эквивалентного элемента также нелинейна и может быть построена путем суммирования вольт-амперных характеристик отдельных нелинейных элементов.

9.3. Исследуемые схемы электрических цепей

Лабораторная работа проводится на панели №6 секции электрических цепей. В работе используется полупроводниковый диод (Д) и лампа накаливания (Л). Входное напряжение подается от регулируемого источника напряжения постоянного тока (0-220) В. Для снятия вольт-амперных характеристик собирается цепь (рис. 9.2) принципиальная схема которой представлена на рис. 9.1. Для снятия вольт-амперных характеристик при последовательном и параллельном соединении резистора и лампы собираются соответственно схемы, показанные на рис. 9.3 и 9.4.

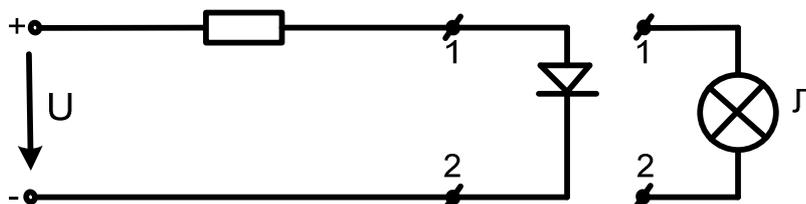


Рис. 9.1

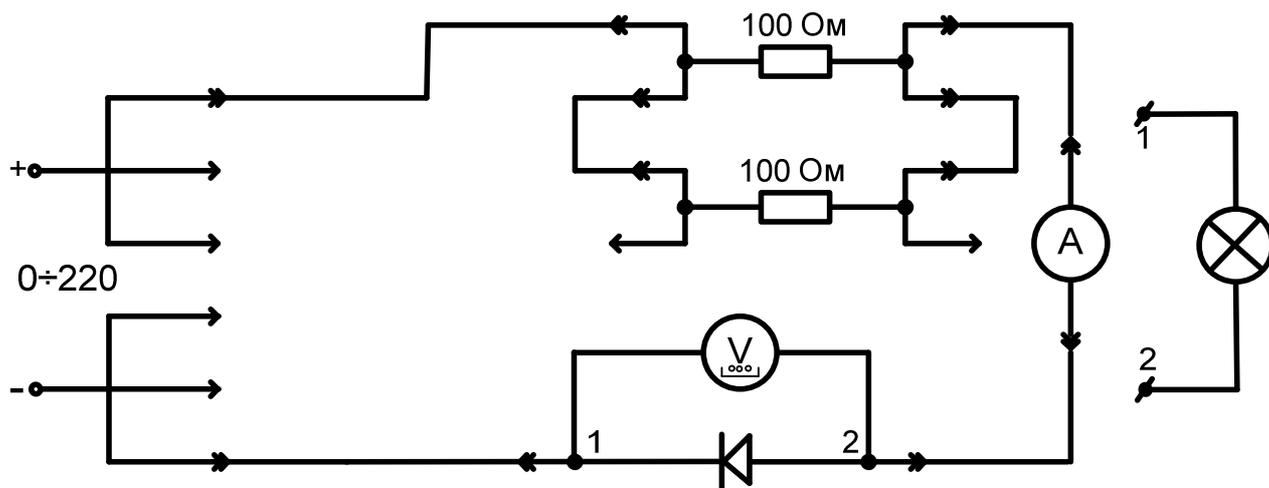


Рис. 9.2

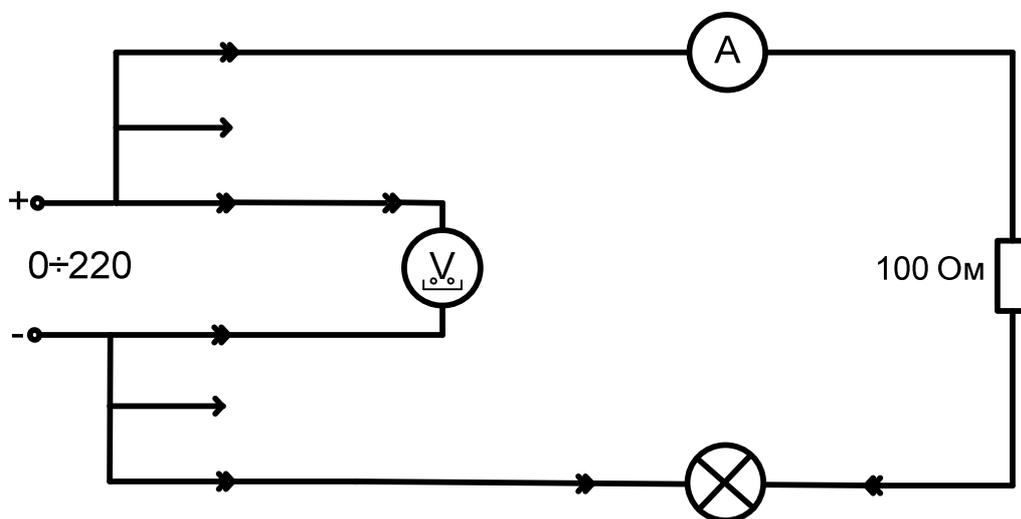


Рис. 9.3

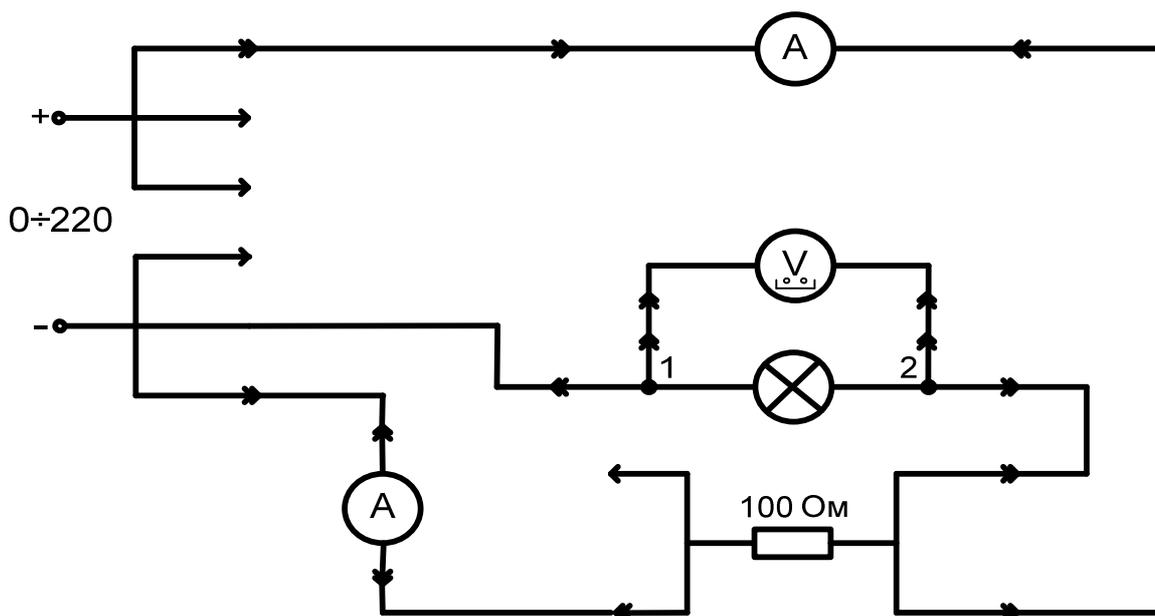


Рис. 9.4

9.4. Программа работы

9.4.1. Собрать электрическую цепь (рис. 9.2). Снять вольт-амперную характеристику диода. При этом изменять напряжение на входе от 0 до значения, при котором ток в цепи будет равен 2 А (6-7 измерений). Результаты опыта занести в табл. 9.1.

9.4.2. По измеренным значениям тока и напряжения построить прямую ветвь вольт-амперной характеристики диода.

9.4.3. Заменить в монтажной схеме (рис. 9.2) диод на лампу накаливания. Снять вольт-амперную характеристику лампы, изменяя входное напряжение от 0 до 150 В (5-6 измерений через каждые 30 В). Результат опыта занести в табл. 9.1.

9.4.4. По измеренным значениям тока и напряжения построить вольт-амперную характеристику лампы.

9.4.5. Собрать электрическую цепь (рис.9.3). Снять вольт-амперную характеристику при последовательном соединении резистора и лампы, изменяя входное напряжение от 0 до 150 В (5-6 измерений). Результаты занести в табл. 9.2.

9.4.6. Построить в одной координатной схеме ВАХ лампы и резистора и ВАХ всей цепи. Сложение производить по напряжению, т.к. ток общий. Построить в той же координатной системе ВАХ цепи (рис. 9.3) по результатам измерений. Сделать выводы.

9.4.7. Собрать электрическую цепь (рис. 9.4). Снять вольт-амперную характеристику при параллельном соединении лампы и резистора, изменяя напряжение на входе от 0 до 150 В, но ток в цепи резистора не должен превышать 0,7 А.

9.4.8. Построить вольт-амперную характеристику всей цепи (рис.9.4) по результатам измерений и сравнить ее с вольт-амперной характеристикой цепи, полученной при сложении ВАХ лампы и резистора по току, т.к. напряжение на них общее. Сделать выводы.

Таблица 9.1

Диод	U, В								
	I, А								2
Лампа	U, В								150
	I, А								

Таблица 9.2

Последовательное соединение	U, В	0							150
	I, А								
Параллельное соединение	U, В	0							150
	I, А								

9.5. Контрольные вопросы

9.5.1. Какие электрические цепи называют нелинейными?

9.5.2. Справедливы ли законы Кирхгофа для нелинейных электрических цепей?

9.5.3. Как построить вольт-амперную характеристику резистора?

9.5.4. Сущность метода эквивалентных преобразований при расчете нелинейных цепей постоянного тока.

Литература

1. Григораш О.В., Султанов Г.А., Нормов Д.А. Электротехника и электроника. Ростов Н/Д: Феникс 2008.
2. Электротехника: Учебное пособие для вузов. – В 3-х книгах. Книга 1. Теория электрических и магнитных цепей. Электрические измерения./ Под ред. П.А. Бутырина, Р.Х. Гафиятуллина А.М. Шестакова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003.
3. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники. М.: Высшая школа, 2001.
4. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. Ростов Н/Д: Феникс, 2001.
5. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. –М.: Высшая школа, 2005.
6. Рекус Г.Г., Чесноков В.Н. Лабораторные работы по электротехнике и основам электроники. М.: Высшая школа, 1989
7. Пантюшин В.С. Лабораторные работы по электротехнике и основам электроники. М.:высшая школа,1983.

ОБРАЗЕЦ
оформления титульного листа отчета по лабораторной работе

Федеральное агентство по образованию
«АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ГОУВПО «АМГУ»

Кафедра АПП и Э

Лабораторная работа № 4
по дисциплине «Электротехника и электроника»

Тема: Резонанс напряжений

Выполнил:

студент 745 гр.
Иванов А.В.

Дата выполнения:

(подпись преподавателя и дата)

Отчет принял:

(подпись преподавателя и дата)

Оценка:

2009 г.

Условные графические обозначения в схемах

наименование	обозначение и размеры
<p align="center">Источники тока и ЭДС</p> <p>Источник ЭДС</p> <p>Источник тока</p>	
<p align="center">Резисторы</p> <p>Резистор постоянный</p> <p>Резистор переменный</p>	
<p align="center">Конденсаторы</p> <p>Конденсатор постоянной ёмкости</p> <p>Конденсатор переменной ёмкости (магазин конденсаторов)</p>	
<p align="center">Катушки индуктивности</p> <p>Катушка индуктивности, обмотка</p> <p>Катушка индуктивности, дроссель с ферромагнитным магнитопроводом</p>	
<p align="center">Линии электрической связи, контактные соединения</p> <p>Линия связи, провод</p> <p>Выключатель, контакт замыкающий, ключ</p> <p>Контакт разборного соединения (клемма подключения)</p> <p>Контакт неразборного соединения</p>	
<p align="center">Электроизмерительные приборы</p> <p>Прибор измерительный (общее обозначение): показывающий</p> <p><i>Примеры:</i> микроамперметр, вольтметр с цифровым отсчётом</p>	
<p align="center">Полупроводниковые приборы</p> <p>Диод</p> <p>Транзистор типа p-n-p</p> <p>Транзистор типа n-p-n</p>	
<p align="center">Источники света</p> <p>Лампа накаливания осветительная</p>	

