

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

Отделение ядерной физики и технологий

Одобрено на заседании
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ
Протокол от 24.04.2023 № 23.4

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
для студентов
по освоению дисциплины**

Электротехника

название дисциплины

для направления подготовки

22.03.01 – Материаловедение и технологии материалов

код и название

образовательная программа

«Плазменные и лазерные технологии материалов»

Форма обучения: очная

ВВЕДЕНИЕ

Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины «Электротехника» – комплекс рекомендаций и разъяснений, позволяющий обучающимся оптимальным образом организовать процесс изучения как теоретического учебного материала дисциплины, так и подготовки к практическим занятиям и/или лабораторным работам.

Цель дисциплины – усвоение базовых знаний по основным разделам электротехники, необходимые для подготовки в соответствии с выбранной специальностью;

Задачи дисциплины:

- развитие навыков организации и проведения измерений в цепях с учетом их особенностей;
- совершенствование практики анализа параметров цепей с использованием основополагающих методов решения задач на основе законов Ома и Кирхгофа, а также эквивалентных преобразований и топологических компонентов;
- обретение компетентности в функционировании основных электротехнических устройств (трансформаторы, электрические машины и двигатели различных видов и назначения);

Дисциплина реализуется в рамках обязательной части и относится к общепрофессиональному модулю.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: «Физика», «Линейная алгебра», «Математический анализ», «Дифференциальные и интегральные уравнения».

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: выполнение всех видов практики и выпускной квалификационной работы.

Дисциплина изучается на 2 курсе в 4 семестре.

Основными видами учебной работы по данной дисциплине являются лекции, лабораторные занятия, самостоятельная работа обучающихся. Для успешного освоения дисциплины студенты необходимо изучить лекционный материал и рекомендуемую литературу, отработать изученный материал на лабораторных занятиях, выполнить задания для самостоятельной работы.

1 Лекции

Лекция – это важный источник информации по каждой учебной дисциплине. Она ориентирует студента в основных проблемах изучаемого курса, направляет самостоятельную работу над ним.

Содержание лекционного курса по дисциплине «Электротехника» представлено в таблице

Лекционный курс

Неделя	№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1-4.	1	Линейные электрические цепи постоянного тока	Введение. Основные определения. Элементы и топология электрических цепей. Источники ЭДС и источники тока. Мощность. Согласование нагрузки. Законы Кирхгофа. Метод контурных токов. Входные и взаимные проводимости. Метод узловых потенциалов. Метод эквивалентного генератора.
5-7	2	Линейные электрические цепи переменного тока	Основные характеристики переменного тока. Действующее значение. Особенности прохождения переменного тока через элементы R, L, C. Векторное представление токов и напряжений. Символический метод. Представление электрических величин в комплексной форме. Расчет цепей символическим методом. Активная, реактивная и полная мощности. Частотные характеристики электрических цепей. Колебательный контур. Явление резонанса. Обобщенные параметры резонансного контура: резонансная частота, волновое сопротивление, добротность, ширина резонансной кривой. Резонанс токов и резонанс напряжений.
8	3	Трехфазные цепи	Трехфазные системы ЭДС и их преимущества в передаче энергии. Основные схемы соединений. Линейные и фазовые величины и их соотношения. Мощность в трехфазной системе. Вращающееся магнитное поле.
9	4	Магнитные цепи	Основные сведения о магнитных характеристиках. Законы магнитных цепей. Расчет магнитных цепей постоянного тока (прямая и обратная задачи). Законы Ома и Кирхгофа для магнитных цепей.
10-11	5	Переходные процессы	Переходные процессы и их роль в электронных системах связи, автоматики, вычислительной техники в формировании и передаче сигналов. Законы коммутации. Начальные условия. Классический метод расчета переходных процессов. Свободные и принужденные составляющие. Операторный метод расчета переходных процессов. Преобразование Лапласа. Эквивалентные схемы цепи в операторной форме. Расчет переходных процессов операторным методом. Понятие о постоянной времени и её определение.
12	6	Нелинейные электрические цепи	Нелинейные элементы (НЭ) и их ВАХ. Статистическое и дифференциальное сопротивления. Методы расчета цепей с НЭ: аналитический метод, графические методы, метод нагрузочной прямой. Линейная схема замещения НЭ. Применение НЭ.

13-16	7	Электрические машины	Устройство, принцип действия, параметры и характеристики трансформаторов, генераторов постоянного тока, двигателей постоянного тока, асинхронных электродвигателей, синхронных машин.
-------	---	----------------------	---

Для лекций по каждому предмету должна быть отдельная тетрадь. Прежде всего, запишите имя, отчество и фамилию лектора, оставьте место для списка рекомендованной литературы, пособий, справочников.

Будьте внимательны, когда лектор объявляет тему лекции, объясняет Вам место, которое занимает новый предмет в Вашей подготовке и чему новому Вы сможете научиться. Опытный студент знает, что, как правило, на первой лекции преподаватель обосновывает свои требования, раскрывает особенности чтения курса и способы сдачи зачета или экзамена.

Отступите поля, которые понадобятся для различных пометок, замечаний и вопросов.

Запись содержания лекций очень индивидуальна, именно поэтому трудно пользоваться чужими конспектами.

Не стесняйтесь задавать вопросы преподавателю. Чем больше у Вас будет информации, тем свободнее и увереннее Вы будете себя чувствовать.

Базовые рекомендации:

- не старайтесь дословно конспектировать лекции, выделяйте основные положения, старайтесь понять логику лектора;

- точно записывайте определения, законы, понятия, формулы и т.д.;

- передавайте излагаемый материал лектором своими словами;

- наиболее важные положения лекции выделяйте подчеркиванием;

- создайте свою систему сокращения слов;

- привыкайте просматривать, перечитывать перед новой лекцией предыдущую информацию;

- дополняйте материал лекции информацией;

- задавайте вопросы лектору;

- обязательно вовремя пополняйте возникшие пробелы.

Правила тактичного поведения и эффективного слушания на лекциях:

- слушать (и слышать) другого человека – это настоящее искусство, которое очень пригодится в будущей профессиональной деятельности;

- если преподаватель «скучный», но Вы чувствуете, что он действительно владеет материалом, то скука – это уже Ваша личная проблема (стоит вообще спросить себя, а настоящий ли Вы студент, если Вам не интересна лекция специалиста?).

Если Вы в чем-то не согласны (или не понимаете) с преподавателем, то совсем не обязательно тут же перебивать его и, тем более, высказывать свои представления, даже если они и кажутся Вам верными. Перебивание преподавателя на полуслове – это верный признак невоспитанности. А вопросы следует задавать либо после занятий (для этого их надо кратко записать, чтобы не забыть), либо выбрав момент, когда преподаватель сделал хотя бы небольшую паузу, и обязательно извинившись

2. Лабораторные занятия.

Одной из наиболее важных задач при изучении дисциплины «Электротехника» является умение пользоваться электротехническим оборудованием, в том числе и измерительным.

Обрабатывать результаты экспериментов. Проводить расчет электрических цепей различной сложности.

Для решения этих задач студенты работают с лабораторными стендами «Электротехника и основы электроники», установленные в лаборатории, решают задачи, а также в достаточном объеме занимаются самостоятельно.

ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 1) Изучить цель лабораторной работы.
- 2) Изучить задание к лабораторной работе.
- 3) Изучить теоретические сведения, относящиеся к данной лабораторной работе.
- 4) Собрать электрическую цепь, снять показания измерительных приборов, провести обработку полученных данных.
- 5) Написать отчёт о проделанной работе.
- 6) Проверить свои знания по контрольным вопросам к лабораторной работе.

СТРУКТУРА ОТЧЕТА О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

В отчёте о выполненной лабораторной работе необходимо отразить следующие пункты:

- титульный лист ;
- цель лабораторной работы;
- задание на лабораторную работу;
- ход выполнения лабораторной работы;
- выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1
«ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА»

Цель работы: получение навыков сборки простых электрических цепей, измерения токов и напряжений; экспериментальная проверка законов Ома, Кирхгофа и основных свойств линейных цепей постоянного тока.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Электрическая цепь – это устройство, состоящее из источников и потребителей электрической энергии, соединенных проводниками. Источники и потребители – это элементы электрической цепи.

Схема электрической цепи – идеализированное графическое изображение электрической цепи.

К линейным цепям относятся цепи, у которых электрическое сопротивление каждого элемента или участка не зависит от значений и направлений тока и напряжения. В противном случае цепь относится к нелинейным. Вольтамперная характеристика (ВАХ) линейного элемента – зависимость между напряжением, приложенным к элементу или участку цепи, и протекающим в нем током – прямая линия. Линейная цепь состоит только из линейных элементов.

Общая задача анализа электрической цепи состоит в том, что в известной схеме цепи с заданными параметрами (ЭДС и сопротивлениями) необходимо рассчитать токи, напряжения и мощности на отдельных участках. Решение задачи анализа может быть выполнено с помощью разных методов, но все они основаны на применении закона Ома и законов Кирхгофа.

Закон Ома определяет связь между током I , протекающим на участке цепи, напряжением на этом участке U и его сопротивлением R :

$$I = U / R,$$

Откуда следуют формулы $U = RI$, $R = U / I$.

Первый закон Кирхгофа применяется к узлам электрической цепи. Он гласит: алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю, т. е.

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0,$$

где I_k – ток k -й ветви, присоединенной к данному узлу, n – число ветвей, подключенных к узлу.

Токи, направленные к узлу, записываются со знаком плюс, направленные от узла – со знаком минус.

Второй закон Кирхгофа применяется к контурам электрической цепи. Он формулируется следующим образом: алгебраическая сумма напряжений на сопротивлениях контура равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре:

$$\sum_{k=1}^n U_k = \sum_{k=1}^n E_k,$$

где U_k – напряжение на k -ом сопротивлении контура; E_k – k -я ЭДС, входящая в данный контур; m – число ЭДС в контуре; n – число сопротивлений в контуре.

Напряжения и ЭДС записываются со знаком плюс, если их направления совпадают с выбранным направлением обхода контура, со знаком минус в противном случае.

Анализ неразветвленных, простых цепей и цепей с одним источником электроэнергии часто выполняют с помощью закона Ома и законов Кирхгофа. При этом не прибегают к составлению и решению систем совместных уравнений, а отдельные участки, а затем и вся цепь заменяются одним элементом с эквивалентным сопротивлением. Такая замена будет эквивалентной, если токи и напряжения не преобразованной части цепи не изменятся. В результате преобразования структура цепи и ее расчет упрощаются. Рассмотрим чаще всего встречающиеся преобразования.

При последовательном соединении к одному из выводов предыдущего элемента

присоединяется один из выводов последующего так что после всех соединений получается участок с двумя выводами (рис.1).

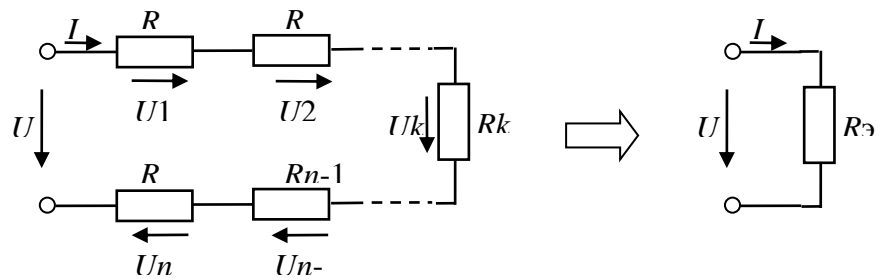


Рис.1. Преобразование последовательной цепи

При последовательном соединении во всех элементах протекает один и тот же ток, напряжение на зажимах (входе) цепи равно сумме напряжений на отдельных элементах.

$$U = \sum_{k=1}^n U_k = \sum_{k=1}^n R_k I = I \sum_{k=1}^n R_k = IR_{\Sigma}.$$

Следовательно, последовательная цепь заменяется резистором с сопротивлением R_{Σ} , равным сумме всех сопротивлений последовательно соединенных резисторов.

Последовательная резистивная цепь – это делитель напряжения, поскольку напряжение на элементе k можно записать в виде:

$$U_k = R_k I = (R_k / R_{\Sigma}) U = K_u U,$$

напряжения на резисторах прямо пропорциональны их сопротивлениям

$$U_1 : U_2 : \dots : U_n = R_1 : R_2 : \dots : R_n.$$

$K_u = U_k / U = R_k / R_{\Sigma} < 1$ представляет собой коэффициент передачи (деления) напряжения.

Мощность, потребляемая последовательной цепью

$$P = \sum_{k=1}^n P_k = \sum_{k=1}^n R_k I^2 = I \sum_{k=1}^n U_k = IU,$$

откуда:

$P_1 : P_2 : \dots : P_n = R_1 : R_2 : \dots : R_n$, мощности приемников прямо пропорциональны их сопротивлениям.

При параллельном соединении все элементы присоединяются к одной паре узлов, при этом ко всем элементам приложено одно и то же напряжение U (рис.2).

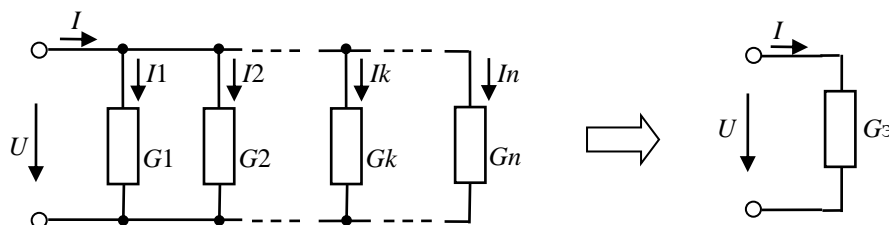


Рис.2. Преобразование параллельной цепи

На основании первого закона Кирхгофа втекающий (входной) ток равен сумме токов отдельных элементов:

$$I = \sum_{k=1}^n I_k = \sum_{k=1}^n U / R_k = \sum_{k=1}^n U G_k = U \sum_{k=1}^n G_k = U G_{\Sigma}.$$

Здесь $G_k = 1/R_k$ – проводимость резистора k , $G_{\Sigma} = 1/R_{\Sigma}$ – эквивалентная проводимость цепи.

Следовательно параллельная цепь заменяется резистором с проводимостью G_{Σ} , равной сумме всех проводимостей параллельно соединенных резисторов.

Параллельные резистивные цепи являются делителями тока. Ток, протекающий в резисторе k , можно записать в виде:

$$I_k = G_k U = (G_k / G_{\Sigma}) I = K_I I ,$$

где $K_I = I_k / I = G_k / G_{\Sigma} < 1$ – коэффициент передачи (деления) тока.

Т.е. при параллельном соединении токи, протекающие в резисторах, прямо пропорциональны их проводимостям или обратно пропорциональны их сопротивлениям

$$I_1 : I_2 : \dots : I_n = G_1 : G_2 : \dots : G_n = (1/R_1) : (1/R_2) : \dots : (1/R_n)$$

Мощность, потребляемая параллельной цепью

$$P = \sum_{k=1}^n P_k = \sum_{k=1}^n R_k I_k^2 = \sum_{k=1}^n U I_k = \sum_{k=1}^n U^2 G_k = U I ,$$

откуда:

$P_1 : P_2 : \dots : P_n = G_1 : G_2 : \dots : G_n = (1/R_1) : (1/R_2) : \dots : (1/R_n)$, мощности приемников прямо пропорциональны их проводимостям или обратно пропорциональны их сопротивлениям.

В частном случае, когда параллельное соединение образовано двумя резисторами R_1 и R_2 , для расчета эквивалентного сопротивления удобно использовать соотношение:

$$R_{\Sigma} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$

Смешанное соединение представляет собой комбинацию последовательного и параллельного соединений. Эквивалентное сопротивление определяют постепенно упрощая схему и «сворачивая» ее, что бы получить одно сопротивление. При расчете токов в отдельных ветвях схему «разворачивают» в обратном порядке. Множество примеров применения методов преобразования пассивных схем можно найти в литературе [1-5].

Для анализа сложных, разветвленных цепей и особенно цепей с несколькими источниками наиболее часто используются метод Кирхгофа, контурных токов, узловых потенциалов, эквивалентного генератора. Подробное описание методов можно найти в литературе. Здесь в качестве примера мы ограничимся применением указанных методов к анализу цепи на рис. 3.

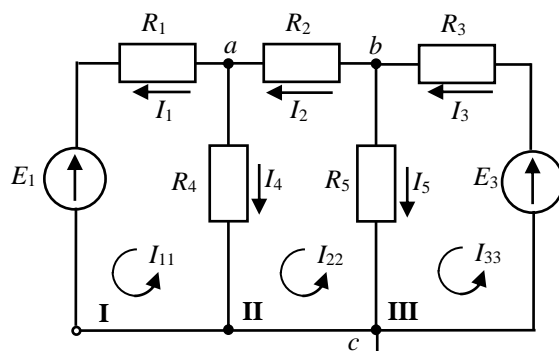


Рис. 3

По методу Кирхгофа в цепи, содержащей пассивные элементы и источники напряжений и имеющей ν ветвей, необходимо определить столько токов, сколько ветвей имеет цепь. При этом по первому закону Кирхгофа следует составить $(\nu - 1)$ уравнение, где ν – число узлов в цепи, а остальные $k = \nu - (\nu - 1)$ записать по второму закону Кирхгофа, выбрав k независимых контуров.

Например, для схемы на рис. 1, содержащей 5 ветвей и 3 узла, необходимо составить систему из 5 уравнений, в том числе на основании первого закона Кирхгофа – 2 уравнения, на основании

второго – 3:

$$\begin{aligned} -I_1 + I_2 - I_4 &= 0; \\ -I_2 + I_3 - I_5 &= 0; \\ R_1 I_1 - R_4 I_4 &= -E_1; \\ R_2 I_2 + R_4 I_4 - R_5 I_5 &= 0; \\ R_3 I_3 + R_5 I_5 &= E_3. \end{aligned}$$

При расчете по методу контурных токов предполагают, что в каждом независимом контуре течет свой контурный ток. Уравнения составляют относительно контурных токов, а ток каждой ветви равен алгебраической сумме контурных токов, замыкающихся через эту ветвь.

Так для цепи, изображенной на рис.1, система уравнений, составленная по методу контурных токов, может быть записана в следующем виде:

$$\begin{aligned} I_{11}(R_1 + R_4) - I_{22} \cdot R_4 - I_{33} \cdot 0 &= -E_1; \\ -I_{11}R_4 + I_{22}(R_2 + R_4 + R_5) - I_{33} \cdot R_5 &= 0; \\ -I_{11} \cdot 0 - I_{22} \cdot R_5 + I_{33}(R_3 + R_5) &= E_3. \end{aligned}$$

По контурным токам определяются токи в ветвях:

$$I_1 = I_{11}; \quad I_2 = I_{22}; \quad I_3 = I_{33}; \quad I_4 = -I_{11} + I_{22}; \quad I_5 = -I_{22} + I_{33}.$$

Метод узловых потенциалов заключается в определении потенциалов узлов относительно узла, потенциал которого принимается равным нулю. Так, для схемы рис. 1, система уравнений по методу узловых потенциалов относительно $\varphi_c = 0$ может быть записана следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_a \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} \right) - \varphi_b \frac{1}{R_2} &= \frac{E_1}{R_1}, \\ -\varphi_a \frac{1}{R_2} + \varphi_b \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} \right) &= \frac{E_2}{R_3}. \end{aligned} \right\} (1)$$

Зная потенциалы узлов, определенные из уравнений (1), токи в ветвях определим по закону Ома:

$$I_1 = \frac{\varphi_a - E_1}{R_1}; \quad I_2 = \frac{\varphi_b - \varphi_a}{R_2}; \quad I_3 = \frac{-\varphi_b + E_3}{R_3}; \quad I_4 = \frac{\varphi_a}{R_4}; \quad I_5 = \frac{\varphi_b}{R_5}.$$

Экспериментально потенциалы узлов определяются с помощью вольтметра относительно узла, потенциал которого принят за нулевой.

Метод эквивалентного генератора (метод холостого хода и короткого замыкания) дает возможность часть сложной электрической цепи с источниками энергии и двумя выделенными выводами, т.е. активный двухполюсник, заменить эквивалентным генератором, ЭДС которого равна напряжению холостого хода на выводах двухполюсника, и внутреннее сопротивление – выходному сопротивлению двухполюсника.

Так, если требуется определить ток I_2 в исходной схеме (рис.1), то можно записать

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{U_{baxx}}{R_2 + R_{\text{ЭГ}}}, \\ \text{где } R_{\text{ЭГ}} = R_{\text{ВХ}} &= \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_4} + \frac{R_3 R_5}{R_3 + R_5}, \\ U_{baxx} &= \frac{E_3 R_5}{R_3 + R_5} - \frac{E_1 R_4}{R_1 + R_4}. \end{aligned}$$

Опытным путем ток I_2 может быть определен из двух опытов:

1) опыта холостого хода, когда разрывается ветвь "ав" и с помощью вольтметра измеряется напряжение холостого хода U_{baxx} ;

2) опыта короткого замыкания, когда закорачивается сопротивление R_2 и с помощью амперметра измеряется в этой ветви ток короткого замыкания $I_{2кз}$.

$$\text{Тогда: } I_2 = \frac{U_{\text{baxx}}}{R_2 + U_{\text{baxx}}/I_{2\text{кз}}}, \quad \text{где } \frac{U_{\text{baxx}}}{I_{2\text{кз}}} = R_{\text{ЭГ}}.$$

Подготовка к работе

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
2. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.
3. Изучить описания и технические характеристики модулей стенда, применяемых при выполнении данной работы: «Источники питания», «Резисторы/ Активная нагрузка», «Диоды, резисторы, конденсаторы», «Измерительные приборы», «Мультиметры».
4. В соответствии с рабочим заданием подготовить схемы исследуемых цепей и таблицы для записи измерений.

Рабочее задание

1. Соберите линейную электрическую цепь постоянного тока с последовательным соединением элементов (рис. 4). В качестве резисторов $R1 - R3$ используйте резисторы блока «Резисторы / Активная нагрузка», В качестве амперметра $PA1$ используйте один из ампервольтметров модуля «Измерительные приборы» в режиме DC , в качестве вольтметра $PV1$ – встроенный вольтметр источника питания $E1$. Ручку регулировки напряжения источника $E1$ установите в ноль, повернув ее против часовой стрелки до упора. Величины номинальных сопротивлений резисторов $R1 - R3$ установите в соответствии номером варианта (табл. 1). В качестве вольтметра $PV2$ для измерения напряжений на резисторах подготовьте и используйте один из мультиметров. Представьте схему для проверки преподавателю.

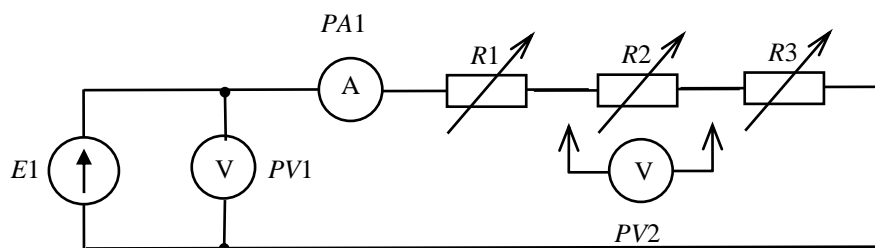


Рис. 4. Схема линейной электрической цепи постоянного тока с последовательным соединением элементов

Таблица.1

Вариант	1	2	3	4	5
$R1$, Ом	75	100	150	200	100
$R2$, Ом	200	75	100	75	150
	300	200	200	150	75
$R3$, Ом	75	100	150	200	150

2. Включите электропитание модулей (переведите в положение «ВКЛ»

выключатели питания). Напряжение источника питания установите равным 5В, в процессе дальнейшей работы ручку регулировки напряжения не трогать и не менять напряжение источника питания. Измерьте ток в цепи, величину напряжения на входе цепи и напряжения на резисторах $R1 - R3$. Результаты измерений занесите в табл.2. Измените величину сопротивления $R2$ и снова проведите аналогичные измерения. Выключите электропитание.

3. По результатам измерений вычислите сопротивление каждого потребителя ($R1, R2, R3$), общее (эквивалентное) сопротивление R_{Σ} цепи, коэффициенты передачи (деления) напряжения для каждого из резисторов, мощности, потребляемые каждым из резисторов и всей цепью. Рассчитайте теоретическое значение R_{Σ} при используемых в работе сопротивлениях $R1, R2, R3$. Результаты вычислений занесите в табл.2.

Таблица 2

Измерено					Вычислено												
Напряжение на входе цепи U_{Σ}	Ток в цепи I, mA	Напряжение на резисторах, В			Сопротивление потребителей, Ом			Эквивалентное сопротивление цепи, R_{Σ} , Ом		Коэффициенты передачи (деления) напряжения			Мощность, Вт				
		$U1$	$U2$	$U3$	$R1$	$R2$	$R3$	по схеме	по измерениям	K_{U1}	K_{U2}	K_{U3}	$P1$	$P2$	$P3$	P	

4.Используя результаты измерений и расчетов, подтвердите основные свойства последовательного соединения, объясните изменение режима работы цепи и отдельных потребителей при изменении величины сопротивления одного из резисторов. Сформулируйте выводы.

5. Соберите цепь с параллельным соединением резисторов (рис. 5). В качестве амперметров $PA1 - PA4$ используйте ампервольтметры модуля «Измерительные приборы» в режиме DC. Установите в соответствии номером варианта (табл. 3) величину номинального сопротивления резисторов. Представьте схему для проверки преподавателю.

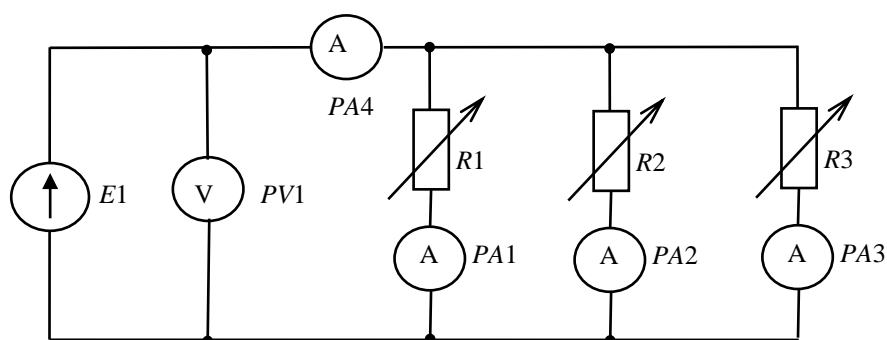


Рис. 5. Схема линейной электрической цепи постоянного тока с параллельным соединением элементов

Таблица 3

Вариант	1	2	3	4	5
$R1, \text{Ом}$	800	800	1000	1000	1200
$R2, \text{Ом}$	800	1000	1200	1000	800
	1000	800	800	1200	1000
$R3, \text{Ом}$	1200	1200	1000	800	800

6. Включите электропитание. Измерьте напряжение и токи в цепи. Результаты измерений занесите в табл. 4. Измените в соответствии с заданным вариантом величину сопротивления R_2 и снова проведите измерения. Выключите электропитание.

7. По результатам измерений рассчитайте проводимости отдельных ветвей G_1 , G_2 , G_3 и всей цепи G_{Σ} , сопротивление всей цепи R_{Σ} , коэффициенты передачи (деления) тока для каждого из резисторов, мощности, потребляемые каждым из резисторов и всей цепью. Рассчитайте теоретические значения G_{Σ} , R_{Σ} при используемых в работе сопротивлениях R_1 , R_2 , R_3 . Результаты вычислений занесите в табл.4.

Таблица 4

Измерено					Вычислено														
U, В	I мА	I ₁ мА	I ₂ мА	I ₃ мА	G ₁ См	G ₂ См	G ₃ См	по измерениям		по схеме		Коэффициенты передачи (деления) тока			Мощность, Вт				
								G _Σ См	R _Σ Ом	G _Σ См	R _Σ Ом	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	P ₁	P ₂	P ₃	P	

8. Используя результаты измерений и расчетов, подтвердите основные свойства параллельного соединения, объясните влияние изменения величины сопротивления одного из резисторов на режим работы цепи и отдельных потребителей. Сформулируйте выводы.

9. Соберите цепь со смешанным соединением резисторов (рис. 6). В качестве резисторов R_1 , R_2 , R_3 используйте резисторы блока «Резисторы / Активная нагрузка», а в качестве R_4 , R_5 – резисторы модуля «Диоды, резисторы, конденсаторы», выбрав их сопротивления в соответствии с заданным вариантом (табл. 5). В качестве амперметров PA_1 – PA_2 используйте ампервольтметры модуля «Измерительные приборы» в режиме DC. Для измерения напряжений на резисторах используйте один из мультиметров. Представьте схему для проверки преподавателю.

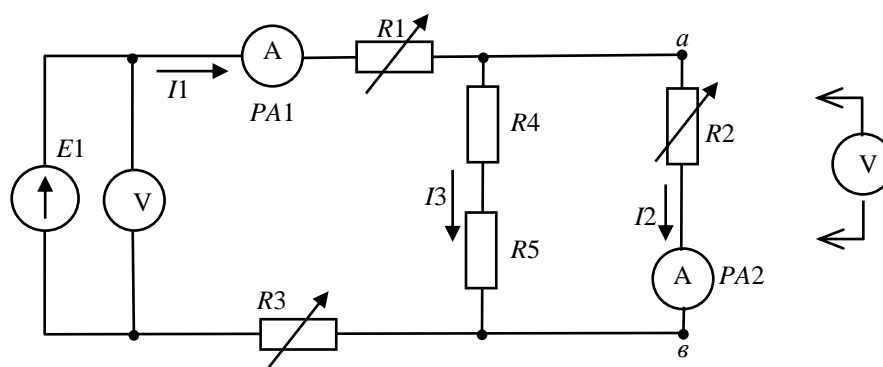


Рис. 6. Схема линейной электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением элементов

Таблица 5

Вариант	1	2	3	4	5
$R1, \text{ Ом}$	100	150	200	150	200
$R2, \text{ Ом}$	100	200	300	100	150
$R3, \text{ Ом}$	150	100	150	100	200
$R4, \text{ Ом}$	100	200	100	200	200
$R5, \text{ Ом}$	100	100	200	200	100

Таблица 6

Измерено										
$U, \text{ В}$	$U1, \text{ В}$	$U2, \text{ В}$	$U3, \text{ В}$	$U4, \text{ В}$	$U5, \text{ В}$	$I1, \text{ мА}$	$I2, \text{ мА}$	$I3, \text{ мА}$	$I_{кз}, \text{ мА}$	$U_{хх}, \text{ В}$

10. Включите электропитание. Выполните измерения:
- напряжения на входе цепи;
 - напряжений на всех резисторах;
 - токов $I1$ и $I2$, протекающих в резисторах $R1$ и $R2$ (ток $I3$ определите косвенным способом по данным напряжения на резисторах $R4$ или $R5$).
- Результаты занесите в табл. 6. Выключите электропитание.

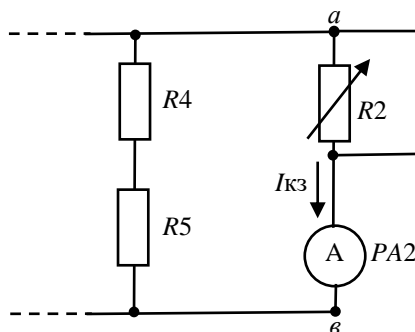


Рис.7

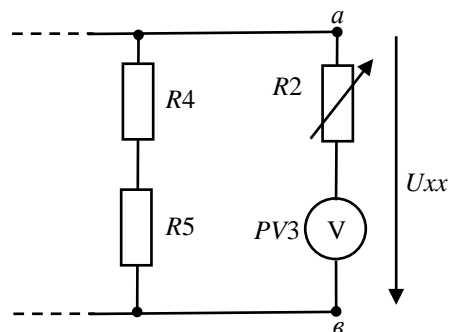


Рис.8

11. Проведите опыт короткого замыкания, соединив проводником выводы резистора $R2$ (рис.7). Включите электропитание. Выполните измерения тока короткого замыкания $I_{кз}$, результаты занесите в табл.6. Выключите электропитание. Уберите проводник, соединяющий выводы резистора $R2$.

12. Проведите опыт холостого хода. Для этого ампервольтметр, измеряющий ток $I2$ используйте в качестве вольтметра ($PV3$), выполнив для этого необходимые настройки и переключения (рис.8). Включите электропитание. Выполните измерение напряжения холостого хода $U_{хх}$ Результаты занесите в табл. 6. Выключите электропитание модулей.

13. Вычислите эквивалентное сопротивление цепи $R_{\text{э}}$ по результатам измерений и схеме цепи. Сравните полученные результаты, сформулируйте

выводы.

14. Запишите для исследуемой цепи систему уравнений Кирхгофа. Проверьте правильность законов Кирхгофа, пользуясь результатами измерений.

15. Пользуясь методом контурных токов, рассчитайте токи, протекающие в резисторах.

16. Пользуясь методом узловых потенциалов, рассчитайте потенциалы узлов схемы.

17. Сравните полученные в п.15 и п.16 результаты расчетов с результатами измерений, сформулируйте выводы.

18. Рассчитайте ток I_2 методом эквивалентного генератора используя схему цепи и параметры ее элементов.

19. Определите элементы $E_{\text{Э}}$ и $R_{\text{Э}}$ того же эквивалентного генератора по данным измерений. Сравните полученные результаты. Нарисуйте схему эквивалентного генератора с нагрузкой, сформулируйте выводы.

20. По результатам измерений вычислите мощности каждого из резисторов и всей цепи. Проверьте выполнение баланса мощностей в исследуемой цепи, сформулируйте выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие электрические цепи (устройства) постоянного тока с определенными функциональными назначениями Вам известны?

2. Какая электрическая цепь называется линейной?

3. Дайте определение ветви, узла, контура электрической цепи.

4. В чем отличие источника ЭДС от источника тока?

5. Назовите параметры реального и идеального источников ЭДС и тока, нарисуйте их внешние характеристики.

6. Как перейти от схемы с источником ЭДС к эквивалентной схеме с источником тока?

7. Какие режимы работы электрических цепей Вам известны?

8. Сформулируйте обобщенный закон Ома и запишите его для участка цепи, содержащего источник ЭДС.

9. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа.

10. Сформулируйте порядок расчета цепи с использованием законов Кирхгофа.

11. Сформулируйте порядок расчета цепи методом контурных токов, методом узловых потенциалов и методом эквивалентного генератора.

12. Какими свойствами обладает последовательное соединение резисторов?

13. Какими свойствами обладает параллельное соединение резисторов?

14. Как рассчитываются коэффициенты передачи тока и напряжения в схемах с резисторами? Каков смысл этих величин?

15. Как рассчитывается эквивалентное сопротивление цепи при смешанном соединении резисторов?

16. Как рассчитывается мощность цепи постоянного тока?

ЛИТЕРАТУРА

1. Теоретические основы электротехники / Л.А.Бессонов.- 10-е изд., стер.-

М.:Высш.шк.,2016.-750 с.: ил

2. Курс электротехники: Учеб. Для вузов/А.С.Касаткин, М.В.Немцов.- 10-е изд., стер.- М.:Высш.шк.,2009.-542 с.: ил

3. Электротехника: Учебное пособие /И.И.Иванов, Г.И.Соловьев. - 6-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 496 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература

4. Электротехника и электроника: Курс лекций/ Г.В.Савилов. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2009. –

5. Электротехника и электроника: учебник / О.П. Новожилов. - М.:Издательство «Гардарики»,2008. -653с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА»

Цель работы: приобретение навыков проведения измерений в цепях переменного тока, определение параметров элементов в цепях переменного тока по результатам измерений, применение законов Ома и Кирхгофа в цепи переменного тока.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Особенность прохождения гармонического тока через реактивные элементы цепи - емкостные и индуктивные сопротивления, связана со смещением в этих элементах фаз токов относительно напряжений. Это приводит к необходимости характеризовать токи и напряжения не только их численным значением, но и фазой (углом) относительно некоторого выбранного уровня отсчета. Мгновенное значение гармонического тока (напряжения) можно выразить тригонометрической функцией

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi). \quad (1)$$

При этом в процессе расчета цепей приходится производить действия с тригонометрическими функциями разных аргументов (фаз), что приводит к громоздким вычислениям. Обычно расчет цепей гармонического тока производится так называемым символическим методом с применением комплексных величин. Суть его заключается в следующем.

Теория показывает, что гармоническая функция (1) может быть отображена комплексной функцией

$$I_m e^{j(\omega t + \varphi)} = I_m e^{j\omega t} e^{j\varphi} \quad (2)$$

Благодаря этому, операция с тригонометрическими функциями заменяется более простой и наглядной операцией с комплексными числами. Кроме того, оперируют не с мгновенными значениями, а с амплитудными комплексными значениями, для чего временной член в выражении (2) отбрасывают. Выражение комплексной амплитуды

$$\dot{I}_m = I_m e^{j\varphi}$$

содержит в себе информацию о том, какая величина амплитуды колебаний тока (I_m – модуль комплекса) и каково смещение данного колебания по фазе относительно выбранного уровня (φ - аргумент комплекса).

На практике величину переменного тока и напряжения характеризуют действующим значением. Оно определяется как среднеквадратичное мгновенного значения за период. Для гармонического тока (напряжения) действующее значение I просто связано с

амплитудным значением:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

С токами и напряжениями, выраженными комплексно, в процессе расчета производятся обычные математические действия. При этом, где это необходимо, по формуле Эйлера от показательной формы комплексного числа переходят к его алгебраической форме:

$$\dot{I} = Ie^{j\varphi} = I(\cos\varphi + j\sin\varphi) = I_a + jI_p. \quad (3)$$

Здесь I_a – действительная, jI_p – мнимая части комплексного числа, записанного в алгебраической форме,

Переход от алгебраической формы комплекса к показательной осуществляется по таким формулам:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}, \quad \varphi = \arctg \frac{I_p}{I_a}.$$

Отметим, что каждому комплексному числу можно поставить в соответствие вектор на комплексной плоскости. Рис. 1 иллюстрирует связь параметров комплекса (3) с координатами вектора. Знаками ± 1 отмечена ось действительных значений комплекса, $\pm j$ – мнимых значений. Положительный отсчет угла ведется против часовой стрелки.

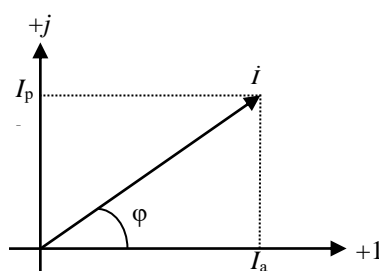


Рис.1

Отображение комплекса векторами дает возможность наглядно представить токи и напряжения данной цепи совокупностью векторов, что дает ее векторную диаграмму.

Символический метод требует выражения сопротивления цепи также в виде комплексов. Определим их.

Как известно, в общем случае ток и напряжение на элементах цепи R , L , C связаны следующими соотношениями:

$$U_R = Ri; \quad U_L = L \frac{di}{dt}; \quad U_C = \frac{1}{C} \int idt.$$

Перейдем в этих выражениях к комплексным значениям. Для этого мгновенное значение тока i заменим на комплекс $Ie^{j\omega t}$. В результате получим:

$$\dot{U}_R = E\dot{I}; \quad \dot{U}_L = j\omega L\dot{I}; \quad \dot{U}_C = \frac{1}{j\omega C}\dot{I}. \quad (4)$$

В выражениях (4) величины $j\omega L = jX_L$, $\frac{1}{j\omega C} = -j\frac{1}{\omega C} = -jX_C$ представляют собой

запись индуктивного и емкостного сопротивлений в комплексной форме. Их особенность, в отличие от активного сопротивления R , связана с зависимостью от частоты. Наличие множителя $+j$ или $-j$ определяет их действие, вызывающее смещение фазы тока относительно напряжения на $+90^\circ$ или -90° соответственно.

Расчет линейных цепей гармонического тока основывается на законах Кирхгофа в комплексной форме и при этом остаются применимы все те методы, которые применяются для расчета цепей постоянного тока (метод контурных токов, узловых потенциалов и др.).

Потребляемая цепью гармонического тока полная мощность складывается из двух составляющих:

$$P = UI \cos \varphi \text{ – активной мощности;}$$

$$Q = UI \sin \varphi \text{ – реактивной мощности.}$$

Здесь φ – угол сдвига фаз между напряжением и током.

Активная мощность потребляется активными элементами, преобразующие её в другие виды энергии (тепловую, механическую энергию, световую и др.). Реактивная мощность потребляется реактивными элементами L и C и идет на создание магнитного и электрического полей. Существенное отличие реактивной мощности от активной в том, что её среднее значение за период равно нулю. Причем потребление реактивной мощности – чередуется с её возвратом через каждые четверть периода.

Вводится также понятие полной мощности

$$S = \sqrt{R_a^2 + Q_p^2} = IU.$$

Размерность полной, активной и реактивной мощностей одинакова, однако для них вводятся разные наименования. Для полной мощности – вольтампер (ВА), для активной – ватт (Вт), для реактивной – вольтампер реактивный (ВАр).

Ниже мы приводим пример расчета цепи гармонического тока. Для электрической цепи, схема которой показана на рис. 2, определим токи в ветвях, напряжения на элементах, мощность, потребляемую цепью. Построим векторную диаграмму.

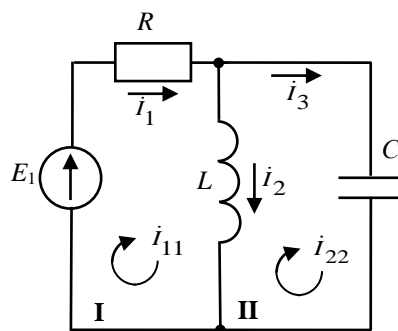


Рис.2

Дано: $R = 100 \text{ Ом}$, $X_L = 30 \text{ Ом}$, $X_C = 40 \text{ Ом}$, $E = 100 \text{ В}$

Для определения токов воспользуемся методом контурных токов.

Исходные уравнения:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{11}(R + jX_L) - \dot{I}_{22}jX_L &= \dot{E}; \\ -\dot{I}_{11}jX_L + \dot{I}_{22}(jX_L - jX_C) &= 0. \end{aligned}$$

Откуда: $\dot{I}_{11} = \dot{E} \frac{\Delta_{11}}{\Delta}; \dot{I}_{22} = \dot{E} \frac{\Delta_{21}}{\Delta}$.

$$\Delta = \begin{vmatrix} R + jX_L & -jX_L \\ -jX_L & jX_L - jX_C \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 100 + j30 & -j30 \\ -j30 & -j10 \end{vmatrix} = 1200 - j1000 = 156 e^{-j39^\circ 48'};$$

$$\Delta_{11} = -j10 = 10e^{-j90^\circ}; \Delta_{21} = -(-j30) = 30e^{j90^\circ};$$

$$\dot{I}_{11} = \dot{I}_1 = \dot{E} \frac{\Delta_{11}}{\Delta} = 100 \frac{10e^{-j90^\circ}}{156e^{-j39^\circ 48'}} = 0,64e^{-j50^\circ 12'} \text{ A};$$

$$\dot{I}_{22} = \dot{I}_3 = \dot{E} \frac{\Delta_{21}}{\Delta} = 100 \frac{30e^{j90^\circ}}{156e^{-j39^\circ 48'}} = 1,92e^{j129^\circ 48'} = -1,92e^{-j50^\circ 12'} \text{ A};$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_1 - \dot{I}_3 = 0,64e^{-j50^\circ 12'} + 1,92e^{-j50^\circ 12'} = 2,56e^{-j50^\circ 12'} \text{ A}.$$

Определим напряжения на элементах:

$$\dot{U}_R = R\dot{I}_1 = 100 \cdot 0,64e^{-j50^\circ 12'} = 64e^{-j50^\circ 12'} \text{ B};$$

$$\dot{U}_L = \dot{U}_C = \dot{I}_2 jX_L = 2,56e^{-j50^\circ 12'} \cdot 30e^{j90^\circ} = 76,8e^{j39^\circ 48'} \text{ B};$$

Определим мощности, потребляемые цепью:

$$P = I_1 \cdot E \cos \varphi = 0,64 \cdot 100 \cos 50^\circ 12' = 40 \text{ Вт},$$

$$Q = I_1 \cdot E \sin \varphi = 0,64 \cdot 100 \sin 50^\circ 12' = 49,2 \text{ ВАр},$$

$$S = I_1 \cdot E = 0,64 \cdot 100 = 64 \text{ ВА}.$$

По данным расчета строим векторную диаграмму (рис. 3).

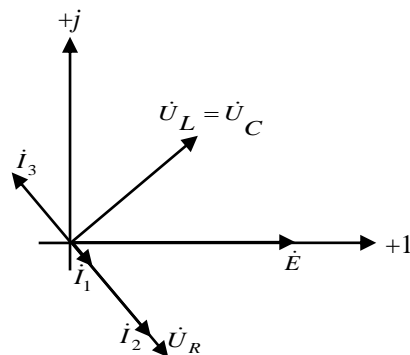


Рис. 3

Подготовка к работе

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
2. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.
3. Изучить описания и технические характеристики модулей стенда, применяемых при выполнении данной работы: «Источники питания», «Резисторы / Активная нагрузка», «Реактивные элементы», «Измерительные приборы», «Мультиметры», «Измеритель мощности».
4. В соответствии с рабочим заданием подготовить схемы исследуемых цепей и таблицы для записи измерений.

Рабочее задание

1. Установите на мультиметре режим измерения сопротивления, подключите его выводы параллельно резистору $R1$ модуля «Резисторы / Активная нагрузка», проведите измерения фактических значений сопротивлений резистора $R1$, изменяя его сопротивление в пределах 50...600 Ом. Результаты измерений запишите в табл. 1.

Таблица 1.

Установлено					
Измерено					

2. Аналогично п.1 проведите измерения активного сопротивления R_k реальной катушки индуктивности $L1$ (модуль «Реактивные элементы»).

Результат измерений запишите в табл.2.

Таблица 2.

Установлено $L1, \text{мГн}$	5	10	22	47	100
Измерено $R_k, \text{Ом}$					

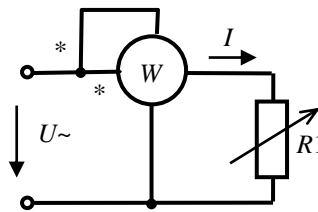


Рис. 4. Схема цепи переменного тока для исследования свойств резистора.

3. Соберите цепь в соответствии с рис.4. Для этого используйте источник переменного напряжения $E2$ модуля «Источники питания», модуль «Измеритель мощности», резистор $R1$ модуля «Резисторы / Активная нагрузка». Тумблер выбора диапазона измерений в модуле «Измеритель мощности» установите в нижнее положение (1В...40В).

Внимание! Переключение тумблера выбора диапазона измерений должно выполняться только при выключенном напряжении питания модуля!

Сопротивление $R1$ выберете в диапазоне 200...500 Ом, запишите в табл.3.

Внимание! Сопротивление $R1$ менее 150 Ом не устанавливать!

Представьте цепь преподавателю для проверки.

4. Включите электропитание модулей. Измерьте напряжение $U_{вх}$, ток $I_{вх}$ на входе цепи, активную P , реактивную Q , полную S мощности цепи и коэффициент мощности цепи $\cos\phi$. Результаты занесите в таблицу 3. Выбор и отображение на индикаторе требуемой переменной выполняется кратковременным (в течении 2...3сек) нажатием кнопки «Выбор измерения». При этом необходимо учитывать множитель «0,1» для показаний напряжения и мощности. Это отображается на передней панели в виде светящихся светодиодов.

Внимание! Запрещается удерживать кнопку «Выбор измерения» более 5 сек.

Выключите электропитание модулей.

Таблица 3.

Схема	Измерено					
	U , В	I , мА	P , Вт	Q , ВАр	S , ВА	$\cos \varphi$
Рис.4, $R1=$						
Рис.5, $L1=$						
Рис.6, $C1=$						
Рис.7, $R1=$, $L1=$, $C1=$						

5. Соберите цепь в соответствии с рис.5, установив индуктивность катушки $L1 = 47$ или 100 мГн, соблюдая требования, изложенные в п.3.

Представьте цепь преподавателю для проверки.

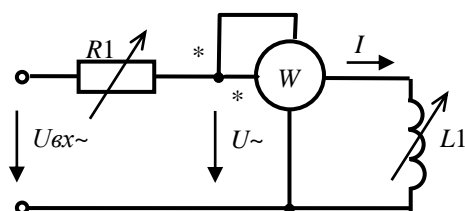


Рис. 5. Схема цепи переменного тока для исследования свойств катушки индуктивности.

6. Включите электропитание модулей. Измерьте напряжение U , ток I на катушке, активную P , реактивную Q , полную S мощности цепи и коэффициент мощности $\cos\varphi$. Результаты занесите в табл. 3. Выключите электропитание модулей.

7. Соберите цепь в соответствии с рис.6, установив емкость конденсатора $C1$ в диапазоне $2...10$ мкФ. Представьте цепь преподавателю для проверки.

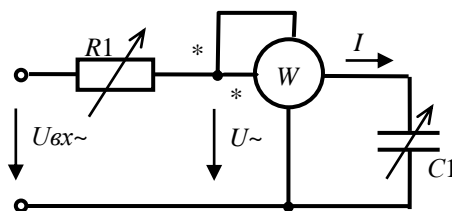


Рис. 6. Схема цепи переменного тока для исследования свойств конденсатора.

8. Включите электропитание модулей. Измерьте напряжение U , ток I на конденсаторе, активную P , реактивную Q , полную S мощности цепи и коэффициент мощности $\cos\varphi$. Результаты занесите в таблицу 3. Выключите электропитание модулей.

9. Соберите цепь в соответствии с рис.7, установив параметры элементов цепи равными их значениям в предыдущих опытах. Представьте цепь преподавателю для проверки.

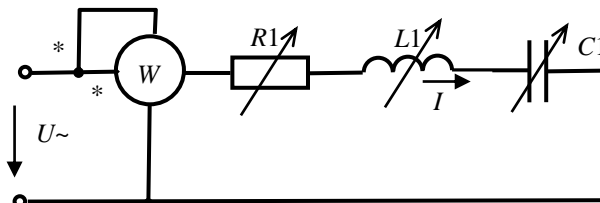


Рис. 7. Схема цепи переменного тока.

10. Включите электропитание модулей. Измерьте напряжение U , ток I на входе цепи, активную P , реактивную Q , полную S мощности цепи и коэффициент мощности $\cos\varphi$. Результаты занесите в таблицу 3. Выключите электропитание модулей.

11. Пользуясь данными измерений (п.3, п.4), рассчитайте сопротивление резистора, сравните полученные результаты с установленным значением R_1 , сформулируйте выводы о свойствах резистора в цепи переменного тока, постройте в масштабе векторную диаграмму.

12. По данными измерений (п5, п.6) предложите варианты расчета основных параметров катушки индуктивности:

- Z_K – полного сопротивления катушки индуктивности;
- R_K – активного сопротивления катушки индуктивности
- X_K – реактивного сопротивления катушки индуктивности;
- L – индуктивности катушки (при частоте тока $f = 50\text{Гц}$);
- $\cos\varphi$ – коэффициента мощности катушки.

Рассчитайте эти параметры (при частоте тока $f = 50\text{Гц}$). По результатам измерений и расчетов сформулируйте выводы о свойствах катушки индуктивности в цепи переменного тока, постройте эквивалентную схему замещения катушки с указанием на ней конкретных значений параметров, постройте в масштабе векторную диаграмму.

13. По данными измерений (п7, п.8) предложите варианты расчета основных параметров конденсатора:

- Z_C – полного сопротивления конденсатора;
- R_C – активного сопротивления конденсатора
- X_C – реактивного сопротивления конденсатора;
- C – емкости конденсатора;
- $\cos\varphi$ – коэффициента мощности конденсатора.

Рассчитайте эти параметры. По результатам измерений и расчетов сформулируйте выводы о свойствах конденсатора в цепи переменного тока, постройте эквивалентную схему замещения конденсатора с указанием на ней конкретных значений параметров, постройте в масштабе векторную диаграмму.

14. Используя значения параметров элементов цепи, полученные в п. 11 – п.13, и измеренное в п. 10 значение напряжения U , рассчитайте комплексное сопротивление цепи \underline{Z} , протекающий в цепи ток \underline{I} , активную P , реактивную Q , полную S мощности цепи и коэффициент мощности цепи $\cos\varphi$. Сравните результаты расчетов с результатами измерений. Сформулируйте выводы по свойствам исследуемой цепи переменного тока. Постройте эквивалентную схему замещения цепи с указанием на ней конкретных значений параметров, постройте в масштабе векторную диаграмму.

Контрольные вопросы.

1. Какими параметрами характеризуется синусоидальный ток. Что понимается под действующим значением тока?
2. Почему при расчете синусоидальных токов применяются комплексные величины?
3. Какие существуют формы записи комплексных чисел?
3. Как выполняется переход от выражений для мгновенных значений тока и

напряжения к комплексам и обратно?

2. В чем особенность прохождения синусоидального тока через элементы R, L, C ?
3. Как записываются выражения для индуктивного и емкостного сопротивлений в комплексной форме?
4. Как рассчитывается сопротивление цепей синусоидального тока?
5. Какие виды сопротивлений существуют в цепях переменного тока?
5. Как рассчитываются активная, реактивная, полная мощности? Каков их физический смысл?
6. Что такое коэффициент мощности и каков его смысл?
7. Как формулируются законы Ома и Кирхгофа для цепи переменного тока?

Лабораторная работа № 4

РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: определение характеристик последовательного колебательного контура по данным эксперимента.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Под резонансным режимом работы электрических цепей с элементами R, L, C понимают такой режим, при котором эквивалентное сопротивление цепи является чисто активным (ток и напряжение на входе цепи совпадают по фазе). Отсюда следует, что для определения условий наступления резонанса надо приравнять нулю мнимую часть комплекса входного сопротивления или проводимости цепи.

Если в резонансе находится цепь, содержащая последовательно соединенные участки, имеющие индуктивный и емкостной характер, режим называется резонансом напряжений. Если в резонансе находится разветвленная цепь, содержащая параллельно соединенные участки, имеющие индуктивный и емкостной характер, режим называется резонансом токов.

А. Резонанс напряжений

1. Рассмотрим резонанс напряжений в последовательном контуре (рис. 1).

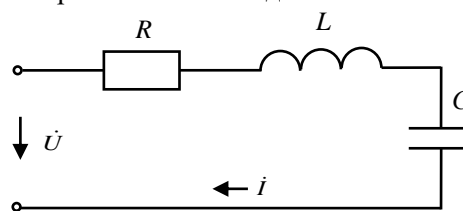


Рис. 1

Комплексное сопротивление такой цепи равно

$$\underline{Z} = R + j(\omega L - 1/\omega C) \quad (1)$$

Условие резонансного режима для рассматриваемой цепи следующее

$$\omega L - 1/\omega C = 0; \quad \omega L = 1/\omega C. \quad (2)$$

Из условия (2) следует, что резонанса можно достигнуть, изменяя либо частоту источника, либо параметры цепи – L или C .

При заданных значениях L и C резонанс напряжения наступает в цепи при угловой частоте $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ или частоте $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$, которые называются резонансными частотами. Резонансная частота определяется исключительно параметрами цепи и поэтому

называется частотой собственных колебаний цепи.

Векторная диаграмма токов и напряжений при резонансе представлена на рис. 2.

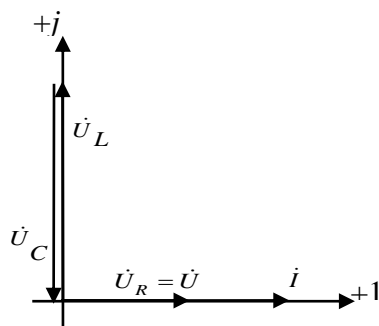


Рис. 2

Индуктивное или емкостное сопротивление при резонансе называется характеристическим сопротивлением ρ

$$\rho = \omega_0 L = 1/\omega_0 C = \sqrt{L/C}. \quad (3)$$

Отношение напряжения на индуктивности или емкости к приложенному к цепи при резонансе, называется добротностью контура Q .

$$Q = \frac{U_{L0}}{U} = \frac{U_{C0}}{U} = \frac{\rho I}{RI} = \frac{\rho}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{L/C}. \quad (4)$$

Добротность показывает, во сколько раз напряжение на индуктивности (или на емкости) превышает напряжение на входе схемы в резонансном режиме.

Величина, обратная добротности, называется затуханием контура

$$d = 1/Q \quad (5)$$

Добротности контуров, используемых при высоких частотах, могут достигать $50 \div 300$. Из уравнения (4) следует, что при резонансе $U_L = U_C = QU$, т.е. напряжение на емкости и индуктивности может в десятки и сотни раз превышать напряжение, приложенное ко всему контуру. Это свойство последовательного контура и послужило основанием для наименования режима резонансом напряжений.

Рассмотрим частотные характеристики последовательного контура, т. е. зависимость I , U_L , U_C , угла сдвига фаз (φ) между напряжением и током от частоты приложенного напряжения. Значение тока в цепи (рис.1) равно

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} = \frac{U}{R} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L - 1/\omega C}{R}\right)^2}} \quad (6)$$

Из формулы (6) ясно, что своего максимального значения I_0 ток достигнет при частоте равной резонансной. При этом $I_0 = U/R$. Чем меньше R (при неизменных L и C), т. е. чем больше добротность контура Q , тем более острой становится форма кривой $I = I(\omega)$ на рис. 3. На рис.3 построены амплитудно-частотные характеристики последовательного контура.

Качественно оценим изменения напряжений на емкости и индуктивности.

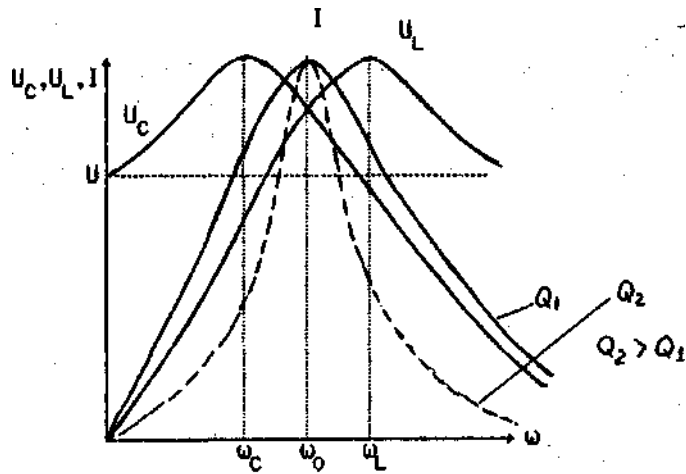


Рис. 3

При частоте, равной нулю, сопротивление конденсатора бесконечно велико, и приложенное ко всей цепи напряжение окажется на зажимах конденсатора. При этом сопротивление катушки и напряжение на ней равны нулю. Наоборот, при бесконечно большой частоте катушка представляет собой разрыв ($\omega L \rightarrow \infty$), и напряжение на ее зажимах равно приложенному к цепи напряжению, а напряжение на конденсаторе равно нулю ($1/\omega C = 0$). При резонансной частоте напряжения на индуктивности и емкости равны между собой. Своего максимального значения U_C достигает при $\omega_C < \omega_0$, а U_L – при $\omega_L > \omega_0$.

На рис.4 представлена фазочастотная характеристика, т. е. $\varphi = \varphi(\omega)$. Эту характеристику строят, исходя из равенства

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R}. \quad (7)$$

При $\omega = 0$ угол $\varphi = -\pi/2$, а при $\omega = \omega_0$ угол $\varphi = 0$, и при $\omega \rightarrow \infty$ угол $\varphi = \pi/2$.

Таким образом, при частотах ниже резонансной сопротивление контура носит емкостной характер, при частоте больше резонансной – индуктивный.

Из уравнения (7) следует: чем меньше R (при неизменных L и C), т.е., чем больше добротность контура Q , тем более резко изменяется кривая $\varphi = \varphi(\omega)$ между своими предельными значениями ($-\pi/2$) и ($\pi/2$) (рис. 4).

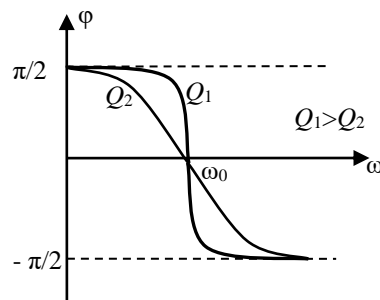


Рис. 4

3. Установим связь между полосой пропускания последовательного контура и его добротностью.

Полосой пропускания контура условимся называть такой диапазон частот, в пределах которого активная мощность P контура составляет не менее половины активной мощности P_0 , которую контур поглощает при резонансной частоте.

Следовательно, на границах полосы пропускания контура

$$\frac{P}{P_0} = \frac{RI^2}{RI_0^2} = \frac{I^2}{I_0^2} = \frac{1}{2} \quad \text{или} \quad \frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Напомним, что $I_0 = U/R$ – ток при резонансе. Зависимость I/I_0 от частоты легко получить из уравнения (6)

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L - 1/\omega C}{R} \right)^2}}. \quad (8)$$

График зависимости $I/I_0 = f(\omega)$ показан на рисунке 5.

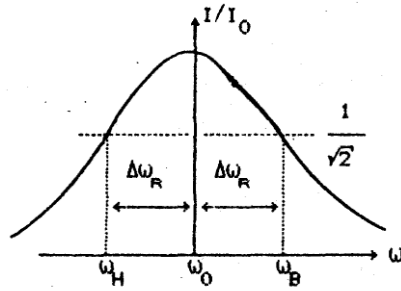


Рис. 5

Величина $\frac{\omega L - 1/\omega C}{R}$ в уравнении (8) носит название обобщенной расстройки. На границах полосы пропускания

$$\frac{\omega L - 1/\omega C}{R} = 1.$$

Практический интерес представляют контуры, для которых $\Delta\omega = \omega - \omega_0$ существенно меньше ω_0 . В этом случае связь между Q , ω и ω_0 легко получить, преобразовывая соотношение

$$\begin{aligned} \frac{\omega L - 1/\omega C}{R} &= \frac{L}{R} \left(\omega - \frac{1}{\omega LC} \right) = \frac{\omega_0 L}{R} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) = \\ Q \left(\frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega_0 \omega} \right) &= Q \frac{(\omega + \omega_0)(\omega - \omega_0)}{\omega_0 \omega} \cong 2Q \frac{\omega_0 \Delta\omega}{\omega_0^2} = 2Q \frac{\Delta\omega}{\omega_0}. \end{aligned} \quad (9)$$

Так как на границах полосы пропускания $\frac{\omega L - 1/\omega C}{R} = 1$, то из уравнения (9) следует

$$Q = \frac{\omega_0}{2\Delta\omega_R} = \frac{f_0}{f_B - f_H}, \quad (10)$$

и ширина резонансной кривой $\delta = f_0/Q$,

где $f_B = \frac{\omega_B}{2\pi}$ и $f_H = \frac{\omega_H}{2\pi}$ соответственно, верхняя и нижняя граничные частоты полосы

пропускания (рис. 5); $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ – резонансная частота контура.

Б. Резонанс токов

1. Рассмотрим резонанс токов в цепи, называемой параллельным колебательным контуром (рис. 6).

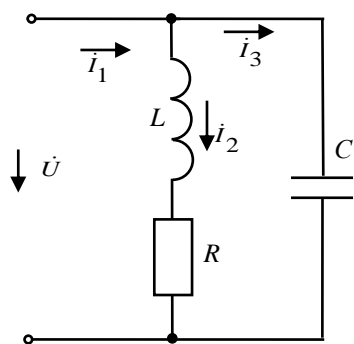


Рис. 6

Комплексная проводимость такой цепи равна

$$\begin{aligned} \underline{Y} &= \frac{1}{R + j\omega L} + j\omega C = \frac{R}{R^2 + (j\omega L)^2} - \\ &- j \left[\frac{\omega L}{R^2 + (j\omega L)^2} - \omega C \right] = G + jB. \end{aligned} \quad (11)$$

Условие резонансного режима для рассматриваемой цепи

$$\frac{\omega L}{R^2 + (j\omega L)^2} - \omega C = 0 \quad (12)$$

приводит к следующему соотношению для резонансной частоты

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{L}\right)^2} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{R}{p}\right)^2}. \quad (13)$$

При $p = \sqrt{L/C} \gg R$ резонансная частота (13) совпадает по величине с резонансной частотой для последовательного контура $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Векторная диаграмма для резонансного режима параллельного контура с учетом R представлена на рис. 7.

В случае резонанса реактивные составляющие токов в параллельных ветвях равны по величине и противоположны по фазе:

$$\dot{I}_C = -\dot{I}_{LP} = j\omega_0 C \dot{U} = j\omega_0 C \dot{I}_0 R = j\dot{I}_0 Q. \quad (14)$$

Таким образом, при резонансе токи в параллельных ветвях в Q раз превосходят ток I_0 в неразветвленной части цепи.

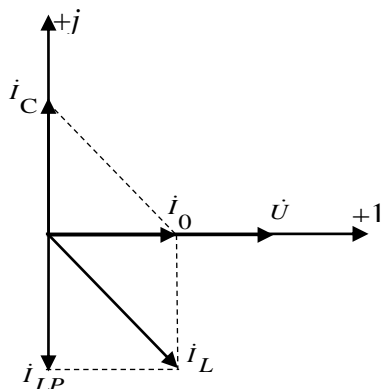


Рис. 7

2. Рассмотрим амплитудно-частотные характеристики параллельного резонансного контура. В предположении, что $R=0$, $I_C = U \omega C$, $I_L = U / \omega L$, $I_0 = |I_L - I_C|$. На рис.8 представлена зависимость этих величин от частоты.

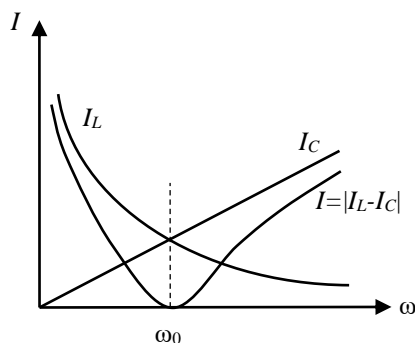


Рис. 8

На рис. 9 приведена фазо-частотная характеристика параллельного контура. Она строится согласно уравнению $\operatorname{tg} \varphi = B/G$ (см. соотношение (11)). При $\omega < \omega_0$ сопротивление контура имеет индуктивный характер, при $\omega > \omega_0$ - емкостной.

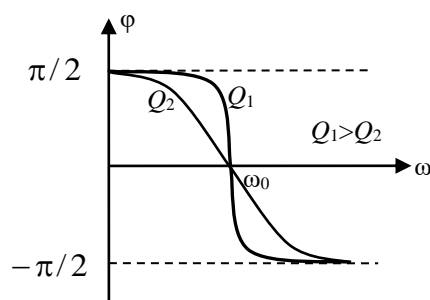


Рис. 9

Подготовка к работе

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
2. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.
3. Изучить описания и технические характеристики модулей стенда, применяемых при выполнении данной работы: «Функциональный генератор», «Резисторы / Активная нагрузка», «Реактивные элементы», «Измерительные приборы», «Мультиметры».
4. В соответствии с рабочим заданием подготовить схемы исследуемых цепей и таблицы для записи измерений.

Рабочее задание

1. В соответствии с номером Вашего варианта рассчитайте значение резонансной частоты f_0 для указанных параметров $L1$ и $C1$ (табл.1).

Таблица 1

Вариант	1	2	3	4	5	6
$R1$, Ом	100	100	100	100	100	100
$L1$, мГн	22	22	22	47	47	47
$C1$, мкФ	0,1	0,2	0,5	0,1	0,2	0,5

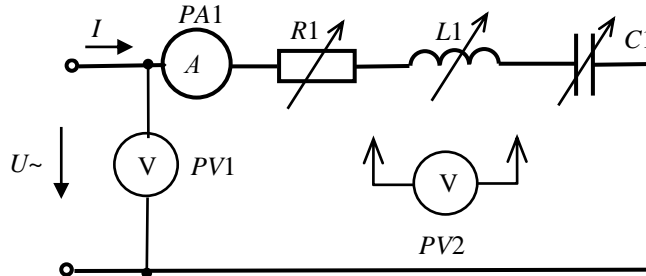


Рис. 10 Схема исследуемой цепи

2. Соберите цепь в соответствии с рис.10. На вход цепи подключите выход функционального генератора. Ручку регулировки амплитуды в блоке «Функциональный генератор» установите в ноль, повернув ее против часовой стрелки до упора. Параметры элементов цепи задайте в соответствии с номером варианта (табл.1). В качестве измерительных приборов используйте ампервольтметры блока «Измерительные приборы», задав для них соответствующие режимы работы. Представьте цепь для проверки.

3. Включите электропитание блоков. Проведите настройку генератора, установив форму выходного сигнала «Синусоида», частоту, равной расчетному значению резонансной частоты (п.1), напряжение $U = 1В$.

4. С помощью эксперимента убедитесь в правильности расчета и установки резонансной частоты. Для этого, плавно вращая ручку регулировки частоты влево и затем вправо от резонансного значения, убедитесь, что при резонансе ток цепи имеет максимальное значение.

5. Выполните измерения, тока I , напряжения на входе цепи и на элементах контура R, L, C . Результаты занесите в табл.2.

Таблица 2

Частота f , Гц	Ток I , мА	Входное напряжение U , В	Напряжение резистора U_R , В	Напряжение катушки U_L , В	Напряжение конденсатора U_C , В
...

6. Выполните измерения, необходимые для построения резонансных кривых (амплитудно-частотных характеристик), выражающих зависимость тока I , напряжения на элементах контура R, L, C от частоты подаваемого от генератора на вход цепи переменного напряжения. Напряжение на входе цепи U поддерживайте равным 1В. Результаты занесите в табл.2.

7. По данным измерений постройте резонансные кривые $U_L(f), U_C(f)$ в общих

осях, кривую $U_R(f)$ – отдельно.

8. По данным эксперимента, пользуясь характеристикой $U_R(f)$ определите численные значения:

f_0 – резонансной частоты;

U_{0R} – напряжения на резисторе R при резонансе;

δ – ширины резонансной кривой.

Пользуясь характеристикой $U_C(f)$, определите значение максимума функции U_{0C} .

По формулам $Q = U_{0C}/U_{BX}$ и $\delta_1 = \omega_0/Q$

рассчитайте численное значение добротности контура и ширины резонансной кривой.

9. Покажите, что для данного контура

R_K – активная составляющая сопротивления катушки индуктивности,

$R_{ПЛ}$ – полное активное сопротивление контура ($R_{ПЛ} = R + R_K$)

L – индуктивность катушки,

C – емкость конденсатора;

ρ – характеристическое сопротивление контура

могут быть определены через измеренные величины по следующим формулам:

$$R_{нл} = R \frac{U_{BX}}{U_{0R}}; \quad R_K = R \left(\frac{U_{BX}}{U_{0R}} - 1 \right); \quad L = R \frac{U_{0C}}{U_{0R} \omega_0};$$
$$C = \frac{U_{0R}}{U_{0C} R \omega_0}; \quad \rho = R \frac{U_{0C}}{U_{0R}}.$$

10. Рассчитайте численные значения величин $R_{ПЛ}$, R_K , L , C , ρ по приведенным в п. 9 формулам.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимают под резонансным режимом работы электрической цепи?
2. В чем проявляется резонанс напряжений?
3. Каковы условия возникновения резонанса напряжений и способы его достижения?
4. Каков физический смысл добротности контура?
5. Как в общем случае для любого резонансного контура рассчитать его резонансную частоту и добротность?
6. Каково практическое применение явления резонанса?
7. Объясните, почему при резонансе напряжений ток максимален.
8. Объясните, в какой цепи и при каких условиях возможен резонанс токов.
9. Объясните, почему при резонансе токов ток минимален.
10. Как строятся векторные диаграммы цепи в резонансном режиме?

ЛИТЕРАТУРА

1. Курс электротехники: Учеб. Для вузов/А.С.Касаткин, М.В.Немцов.- 10-е изд., стер.- М.:Высш.шк.,2009.-542 с.: ил. Стр. 196 – 216.
2. Электротехника: Учебное пособие /И.И.Иванов, Г.И.Соловьев. - 6-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 496 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература). Стр. 174 – 208.
3. Электротехника и электроника: Учебник/ О.П.Новожилов. – М.: Гардарики, 2008. – 653 с.: ил. Стр. 65 – 67.

Лабораторная работа

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ «ЗВЕЗДОЙ»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой. Экспериментальное определение токов и напряжений в цепи при симметричной и несимметричной нагрузках в фазах с нулевым проводом и без него.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Трехфазной электрической системой называется совокупность трех электрических цепей переменного тока одной частоты, ЭДС которых имеют различные начальные фазы и создаются общим источником энергии.

Трехфазная система переменного тока получила широкое распространение как система, обеспечивающая более экономичную передачу энергии по сравнению с однофазной. Кроме того, она позволяет создать простые по устройству и надежные в эксплуатации генераторы, двигатели и трансформаторы.

Отдельные цепи трехфазной системы называют фазами. Трехфазную систему электрических цепей, соединенных друг с другом, называют трехфазной цепью.

Совокупность токов, напряжений или ЭДС, действующих в фазах трехфазной цепи, называется трехфазной системой токов, напряжений и ЭДС.

Простейший трехфазный генератор (рис.1) состоит из электромагнита NS и расположенного между его полюсами цилиндрического якоря. На якоре расположены три одинаковые обмотки (фазы), начала и концы которых обозначаются соответственно буквами A, B, C, X, Y, Z . Оси обмоток сдвинуты в пространстве одна относительно другой на равные углы 120° . Поэтому при вращении якоря с угловой скоростью ω в обмотках индуцируются ЭДС с одинаковыми амплитудами и сдвигом фаз относительно друг друга на 120° или $1/3$ периода. Такая система трех ЭДС называется симметричной.

Приняв за начало отсчета времени ($t = 0$) начало периода ЭДС в первой фазе (A), запишем выражения для мгновенных значений и комплексов фазных ЭДС трехфазной цепи:

$$e_A = E_m \cdot \sin \omega t, \quad E_A = E_m$$

$$e_B = E_m \cdot \sin(\omega t - 120^\circ), \quad E_B = E_m e^{-j120^\circ}$$

$$e_C = E_m \cdot \sin(\omega t + 120^\circ), \quad E_C = E_m e^{j120^\circ}$$

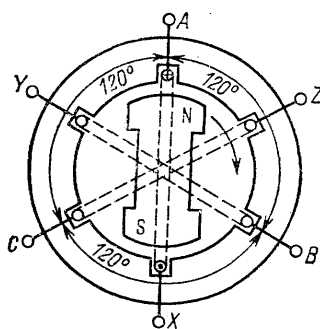


Рис.1.

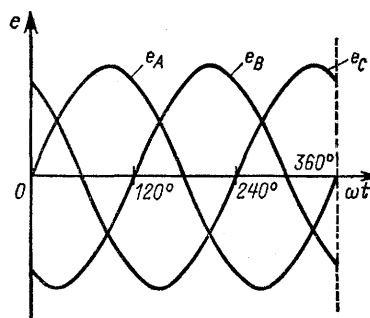


Рис.2.

Временные диаграммы ЭДС показаны на рис.2.

Обмотки трехфазного генератора соединяются звездой или треугольником, что дает возможность вместо шести проводов применять три или четыре провода.

При соединении обмоток звездой, концы обмоток X, Y, Z соединяются в одну точку N , называемую нейтралью генератора (рис.3). Потенциал нейтральной точки генератора N принимается равным нулю.

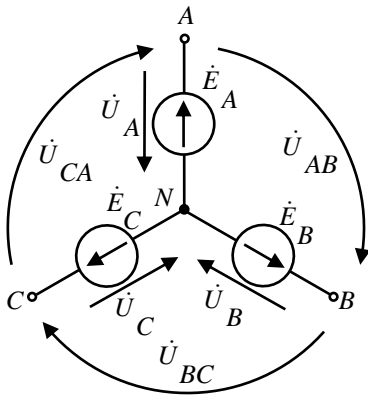


Рис. 3.

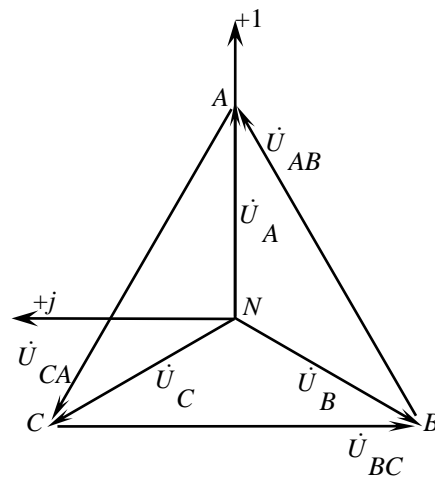


Рис. 4.

В четырехпроводной системе к нейтрали присоединяется нейтральный (нулевой) провод. Провода, идущие к приемникам от начала A, B, C фаз, называются линейными.

Напряжения между началами и концами фаз, или напряжения между каждым из линейных проводов и нулевым называются фазными напряжениями:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AN} &= \dot{U}_A = U_{\Phi} e^{j0^\circ}; \\ \dot{U}_{BN} &= \dot{U}_B = U_{\Phi} e^{-j120^\circ}; \\ \dot{U}_{CN} &= \dot{U}_C = U_{\Phi} e^{j120^\circ}, \end{aligned}$$

т.е. равны фазным напряжениям генератора с действующим значением U_{Φ} .

Напряжения между началами двух фаз или между линейными проводами, идущими от начала к приемнику $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$, называются линейными напряжениями (рис.3). При этом:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B; \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C; \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A. \end{aligned}$$

Векторная диаграмма напряжений показана на рис.4. Из диаграммы видно, что векторы линейных напряжений также образуют симметричную трехфазную систему, т.е. их действующие значения U_L одинаковы и сдвинуты относительно друг друга по фазе на 120° . В комплексной

форме линейные напряжения

$$\dot{U}_{AB} = U_{\text{л}} e^{j30^\circ}; \dot{U}_{BC} = U_{\text{л}} e^{-j90^\circ}; \dot{U}_{CA} = U_{\text{л}} e^{j150^\circ}.$$

При соединении обмоток генератора звездой, линейное напряжение в $\sqrt{3}$ раз больше фазного.

$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}} \cdot \sqrt{3}$$

При соединении обмоток генератора треугольником (рис.5) начало одной фазы соединено с концом другой: B с X, C с Y, A с Z. Обмотки образуют замкнутый контур, в котором действуют

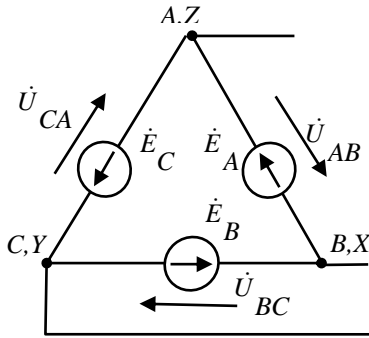


Рис.5

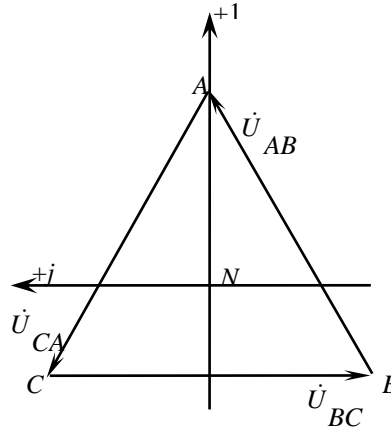


Рис. 6

три ЭДС. В любой момент времени сумма мгновенных значений трех ЭДС и сумма комплексных действующих значений равна нулю $\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$

Линейные и фазные напряжения при соединении фаз генератора треугольником равны между собой: $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$. Топографическая диаграмма напряжений при соединении обмоток треугольником изображена на рис.6.

Обмотки трехфазных генераторов, как правило, соединяют звездой, такое соединение дает возможность получить два разных напряжения: линейное и фазное. Трехфазные приемники так же могут соединяться звездой и треугольником.

На рис.7 представлена схема четырехпроводной системы звезда-звезда с нейтральным проводом.

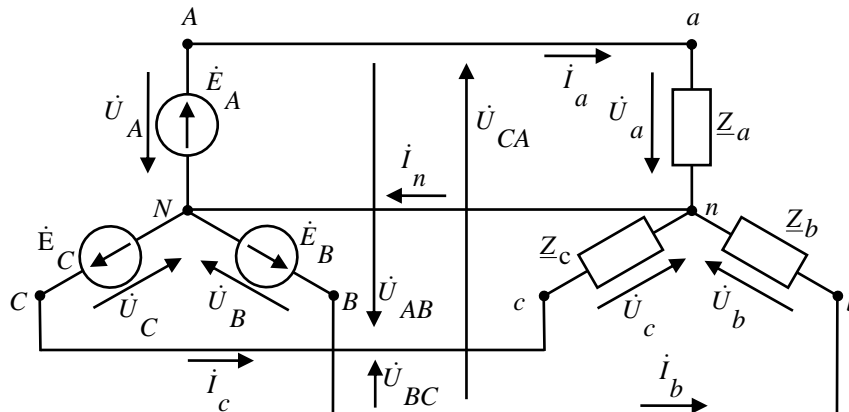


Рис.7.

Если сопротивлением проводов пренебречь, то потенциалы нейтральных точек генератора N и приемника n равны нулю, фазные напряжения приемника равны фазным напряжениям генератора:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A; \dot{U}_b = \dot{U}_B; \dot{U}_c = \dot{U}_C.$$

Соответственно равны и линейные напряжения.

Положительные направления токов в линейных проводах принято выбирать от генератора к приемнику (рис.7), а в нейтральном проводе от приемника к генератору. Режим каждой фазы

системы не зависит от режима двух других фаз, ток определяется параметрами приемника этой фазы. Приемники (нагрузки) в трехфазной цепи делятся на три группы:

–симметричные однородные, когда комплексы фазных сопротивлений равны

$$\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = \underline{Z}_\Phi = \underline{Z}_\Phi e^{j\varphi};$$

–симметричные неоднородные, когда равны модули комплексных фазных сопротивлений $Z_A = Z_B = Z_C = Z_\Phi$, но сопротивления имеют разный характер;

–несимметричные однородные, когда сопротивления в фазах имеют одинаковый характер, но различные модули. Токи в фазах рассчитываются по закону Ома:

$$\dot{I}_a = \dot{U}_a / \underline{Z}_a; \quad \dot{I}_b = \dot{U}_b / \underline{Z}_b; \quad \dot{I}_c = \dot{U}_c / \underline{Z}_c$$

В системе звезда-звезда токи в линейных проводах (линейные токи) равны токам в фазах. Ток в нейтральном проводе \dot{I}_0 равен сумме токов трех фаз. По первому закону Кирхгофа:

$$\dot{I}_n = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c.$$

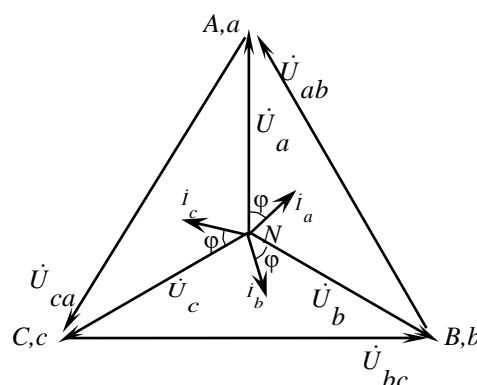


Рис.8

При симметричной однородной нагрузке токи в фазах имеют одинаковые значения и сдвинуты по фазе относительно соответствующих фазных напряжений на один и тот же угол φ т.е. образуют симметричную трехфазную систему (рис.8).

Их сумма $\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = \dot{I}_n = 0$, т.е. ток в нейтральном проводе отсутствует.

Если нагрузка в фазах отличается от симметричной однородной, то трехфазная система токов становится несимметричной, а ток в нейтральном проводе - не равным нулю (рис.9).

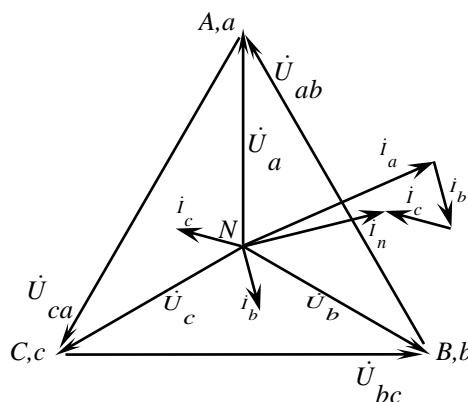


Рис. 9

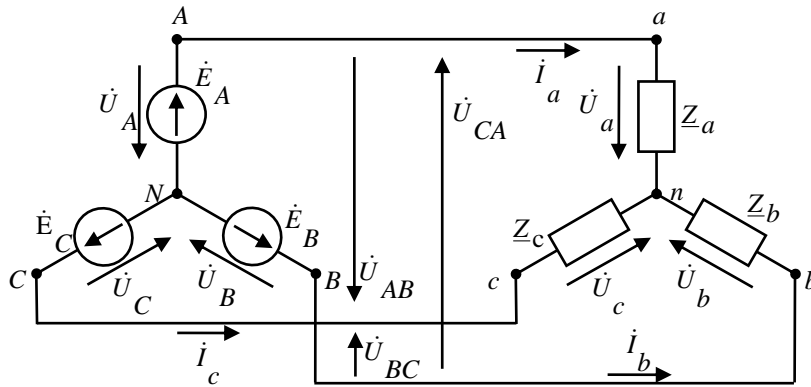


Рис.10.

Отсутствие тока в нейтральном проводе при симметричной однородной нагрузке означает, что в этом случае нейтральный провод вообще может отсутствовать и система становится трехпроводной (рис.10).

Расчет токов в системе звезда - звезда без нейтрального провода при симметричной однородной нагрузке ничем не отличается от расчета токов в четырехпроводной системе звезда-звезда. Векторная диаграмма токов и напряжений такая же, как на рис.8.

Если $Z_A \neq Z_B \neq Z_C$ симметрия фазных токов и напряжений нарушается.

Линейные напряжения \dot{U}_{ab} ; \dot{U}_{bc} , \dot{U}_{ca} не изменяются при изменении режима приемников, но потенциал нейтральной точки приемника уже не равен нулю.

В соответствии с методом двух узлов напряжение между нейтральными (N и n), смещение нейтрали в комплексной форме

$$\dot{U}_{nN} = \frac{\dot{E}_A \underline{Y}_A + \dot{E}_B \underline{Y}_B + \dot{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} = \frac{\dot{U}_a \underline{Y}_a + \dot{U}_b \underline{Y}_b + \dot{U}_c \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c},$$

где $\underline{Y}_a, \underline{Y}_b, \underline{Y}_c$ – комплексные проводимости фаз приемника (проводимостями соединительных проводов и обмоток можно пренебречь из-за их малости).

Фазные напряжения приемника не равны фазным напряжениям генератора из-за смещения нейтрали:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A - U_{nN}, \quad \dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_{nN}, \quad \dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_{nN}$$

Линейные и фазные токи определяются по закону Ома:

$$\dot{I}_a = \underline{Y}_a \dot{U}_a, \quad \dot{I}_b = \underline{Y}_b \dot{U}_b,$$

Рассмотрим пример расчета трехфазной цепи с несимметричной нагрузкой в фазах. К трехпроводной трехфазной сети с линейным напряжением $U_n = 220\text{В}$ подключен приемник, фазы которого соединены звездой (рис .11). Заданы сопротивления $R_a = 10 \text{ Ом}$, $R_b = 50 \text{ Ом}$, $X_g = 8,66 \text{ Ом}$, $X_c = -10 \text{ Ом}$. Определить токи в фазах, построить диаграмму напряжений и токов.

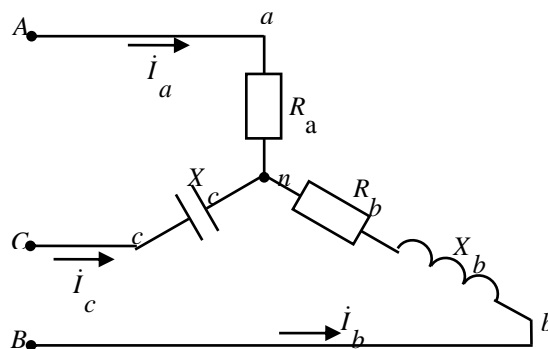


Рис. 11.

Фазные напряжения источника образуют симметричную систему.

$$\begin{aligned}\dot{U}_A &= U_\Phi e^{j0^\circ} = 127e^{j0^\circ} \text{ В}; \\ \dot{U}_B &= U_\Phi e^{-j120^\circ} = 127e^{-j120^\circ} \text{ В}; \\ \dot{U}_C &= U_\Phi e^{j120^\circ} = 127e^{j120^\circ} \text{ В}\end{aligned}$$

Комплексные сопротивления фаз приемника:

$$\underline{Z}_a = Z_a e^{j\varphi_a} = R_a = 10 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_b = Z_b e^{j\varphi_b} = R_b + jX_b = 5 + j8,66 = 10e^{j60^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_c = Z_c e^{j\varphi_c} = -jX_c = -j10 = 10e^{-j90^\circ} \text{ Ом};$$

их комплексные проводимости

$$\underline{Y}_a = \frac{1}{\underline{Z}_a} = \frac{1}{10e^{j60^\circ}} = 0,1e^{-j60^\circ} = 0,1(0,5 - j0,866) \text{ См};$$

$$\underline{Y}_b = \frac{1}{\underline{Z}_b} = \frac{1}{10e^{j60^\circ}} = 0,1e^{-j60^\circ} = 0,1(0,5 - j0,866) \text{ См}$$

$$\underline{Y}_c = \frac{1}{\underline{Z}_c} = \frac{1}{10e^{-j90^\circ}} = 0,1e^{j90^\circ} \text{ См}.$$

Смещение нейтрали

$$\dot{U}_{nN} = \frac{\dot{U}_A \underline{Y}_a + \dot{U}_B \underline{Y}_b + \dot{U}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c} = -76 - j35,5 \text{ В}.$$

Фазные напряжения приемника:

$$\begin{aligned}\dot{U}_a &= \dot{U}_A - \dot{U}_{nN} = 127 - (-76 - j35,5) = 203 + j35,5 = \\ &= 206e^{j10^\circ} \text{ В};\end{aligned}$$

$$\dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_{nN} = -63,5 - j110 - (-76 - j35,5) = 12,5 - j74,5 = 75,5e^{-j80^\circ 30'}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_c &= \dot{U}_C - \dot{U}_{nN} = -63,5 + j110 - (-76 - j35,5) = \\ &= 12,5 + j145,5 = 145,6e^{j85^\circ} \text{ В}.\end{aligned}$$

Фазные и линейные токи:

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a} = \frac{206e^{j10^\circ}}{10} = 20,6e^{j10^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_b = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b} = \frac{75,5e^{-j80^\circ 30'}}{10e^{j60^\circ}} = 7,55e^{-j140^\circ 30'} \text{ А};$$

$$\dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c} = \frac{145,6e^{j85^\circ}}{10e^{-j90^\circ}} = 14,56e^{j175^\circ} \text{ А}.$$

Для построения векторных диаграмм выбираем масштабы напряжения и тока. Строим симметричную диаграмму напряжений генератора (рис. 12) и вектор смещения нейтрали $\dot{U}_{nN} = 84e^{j205^\circ} \text{ В}$. Векторы, соединяющие точку n с точками a , b , c будут соответственно векторами фазных напряжений приемника $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$. Из точки n строим векторы токов $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$ с учетом сдвига фаз относительно напряжений $\varphi_a = 0^\circ, \varphi_b = 60^\circ, \varphi_c = -90^\circ$.

Диаграмма показывает, что при неравномерной нагрузке фаз из-за смещения нейтрали

симметрия фазных напряжений приемника нарушается:

$$U_a = 206 \text{ В вместо } U_\Phi = 127 \text{ В}; U_c = 145,6 \text{ В}, U_b = 75,5 \text{ В.}$$

Топографические диаграммы по опытным данным строят в следующей последовательности: сначала строят треугольник линейных напряжений $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$ методом засечек (рис.4), из соответствующих вершин его радиусами, равными фазовым напряжениям $\dot{U}_{An}, \dot{U}_{Bn}, \dot{U}_{Cn}$, описывают дуги, пересечение которых дает точку n . При обрыве линейного провода потребители этой фазы остаются без энергии, а потребители двух других фаз продолжают питаться от трехфазной системы. Если при этом есть нейтральный провод, то на работающих фазах обрыв чужого линейного провода практически не сказывается, а при его отсутствии происходит перераспределение напряжений на зажимах электроприемника.

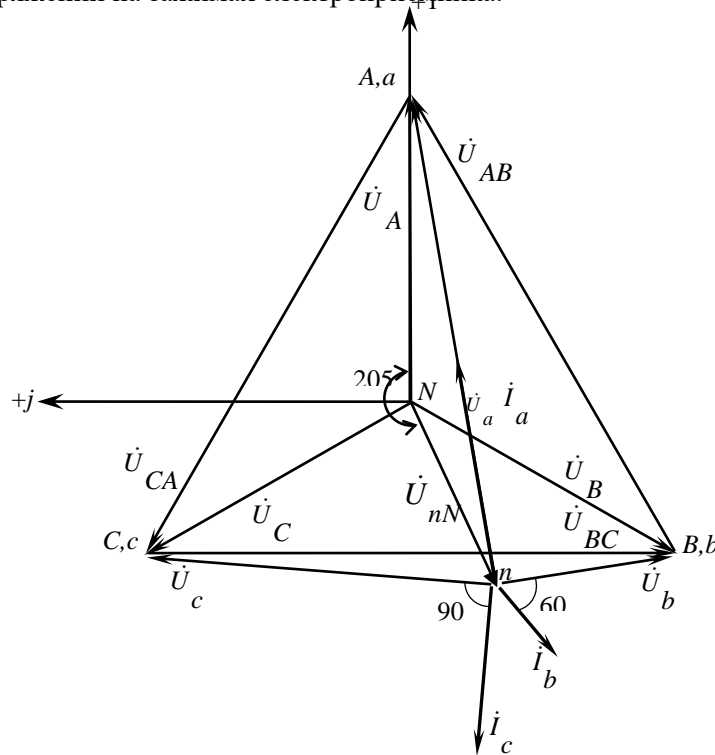


Рис.12.

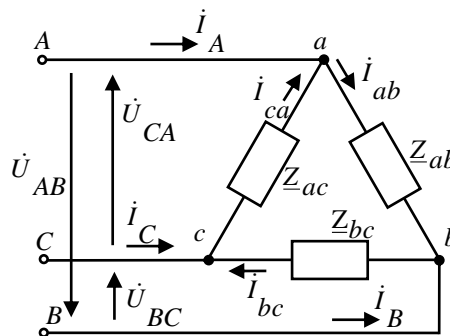


Рис.13

Схема соединения фаз приемника треугольником показана на рис.13. Сопротивления фаз приемника оказываются включенными на линейное напряжение генератора, поэтому эти же напряжения являются фазными напряжениями приемника:

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{AB}; \dot{U}_{bc} = \dot{U}_{BC}; \dot{U}_{ca} = \dot{U}_{CA}.$$

Токи в проводах линии $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ – линейные токи. Токи в фазах приемника $\dot{I}_{ab}, \dot{I}_{bc}, \dot{I}_{ca}$ –

фазные токи, они рассчитываются по закону Ома:

$$\dot{I}_{ab} = \dot{U}_{ab} / \underline{Z}_{ab}; \dot{I}_{bc} = \dot{U}_{bc} / \underline{Z}_{bc}; \dot{I}_{ca} = \dot{U}_{ca} / \underline{Z}_{ca}.$$

Линейные и фазные токи связаны между собой первым законом Кирхгофа:

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

При симметричной однородной нагрузке $\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{ac} = \underline{Z}_{cb} = \underline{Z}_{\Phi} = \underline{Z}_{\Phi} e^{j\varphi}$ действующие значения токов в фазах одинаковы и токи сдвинуты по фазе относительно соответствующих фазных напряжений на один и тот же угол φ , а относительно друг друга на 120° . Линейные токи связаны с фазными соотношением $I_L = \sqrt{3} \cdot I_{\Phi}$. Поскольку каждый из фазных токов является составляющей двух линейных токов, то очевидно, что при изменении одного фазового тока будут изменяться сразу два линейных тока.

Например, при обрыве фазы Z_{AB} ток $I_{AB} = 0$, токи I_{CA} и I_{BC} останутся неизменными. Линейные токи $I_A = I_{CA}$, $I_B = I_{BC}$ изменились, а $I_C = I_{CA} - I_{BC}$ остался неизменным.

При обрыве одного из линейных проводов, например C , нормальный режим работы установки нарушается. Нагрузка Z_{AB} находится под нормальным фазовым напряжением \dot{U}_{AB} , сопротивления Z_{BC} и Z_{AC} окажутся последовательно соединенными и будут питаться от того же напряжения.

Подготовка к работе

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
2. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.
3. Изучить описания и технические характеристики модулей стенда, применяемых при выполнении данной работы: «Функциональный генератор», «Резисторы / активная нагрузка», «Измерительные приборы», «Мультиметры».
4. В соответствии с рабочим заданием подготовить схемы исследуемых цепей и таблицы для записи измерений.

Рабочее задание

1. Переведите один из мультиметров в режим измерения переменного напряжения, используйте его в качестве вольтметра. Включите электропитание модулей стенда «Функциональный генератор» и «Мультиметры». Без подключения потребителей проведите измерения линейных и фазных напряжений трехфазного источника питания модуля «Функциональный генератор». Результаты измерений занесите в табл. 1. Выключите модуль «Функциональный генератор».

Таблица 1

Линейные напряжения			Фазные напряжения			Вычислено		
$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$U_A, В$	$U_B, В$	$U_C, В$	$U_{ЛСР}, В$	$U_{ФСР}, В$	$U_{ЛСР} / U_{ФСР}$

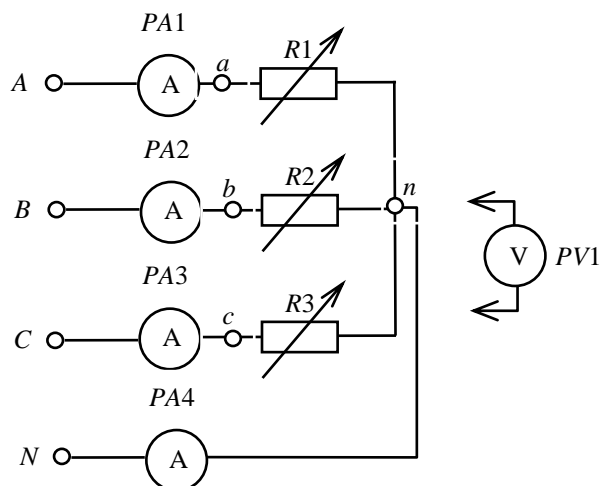


Рис. 14. Схема исследуемой цепи

2. Соберите электрическую цепь (рис. 14), в качестве амперметров используйте ампервольтметры модуля «Измерительные приборы» в режиме АС, в качестве потребителей - резисторы модуля «Резисторы / активная нагрузка».

3. Для проведения первого опыта сопротивления резисторов установите равными (симметричная нагрузка).

Внимание! Сопротивление резисторов нагрузки менее 300 Ом не устанавливать!

Представьте цепь для проверки преподавателю.

4. Включите электропитание модулей. Измерьте все токи, фазные напряжения на резисторах нагрузки, напряжение смещения нуля U_{nN} . Результаты измерений занесите в табл.2.

Таблица 2

Характер нагрузки		Токи нагрузки, мА			Ток нейтрального провода, мА	Фазные напряжения нагрузки, В			Напряжение смещения нуля, В
		I_a , мА	I_b , мА	I_c , мА		U_a , В	U_b , В	U_c , В	
1	С нейтральным проводом	Нагрузка симметричная							
2		Нагрузка несимметричная							
3		Обрыв линейного провода А							
4	Без нейтрального провода	Обрыв линейного провода А							
5		Нагрузка несимметричная							
6		Нагрузка симметричная							

5. Измените сопротивления в фазах нагрузки в соответствии с номером опыта (табл.2). Измерьте все токи, фазные напряжения на резисторах нагрузки, напряжение смещения нуля U_{nN} при включенном и отключенном нейтральном проводе. Результаты измерений занесите в табл.2.

6. По окончании всех опытов результаты измерений представьте преподавателю и только после этого отключите питание всех блоков и разберите собранную цепь.
7. Для всех проведенных опытов постройте в масштабе векторные диаграммы.
8. Сформулируйте выводы по работе, обратив внимание на влияние нейтрального провода на работу трехфазной цепи при различных видах нагрузки.

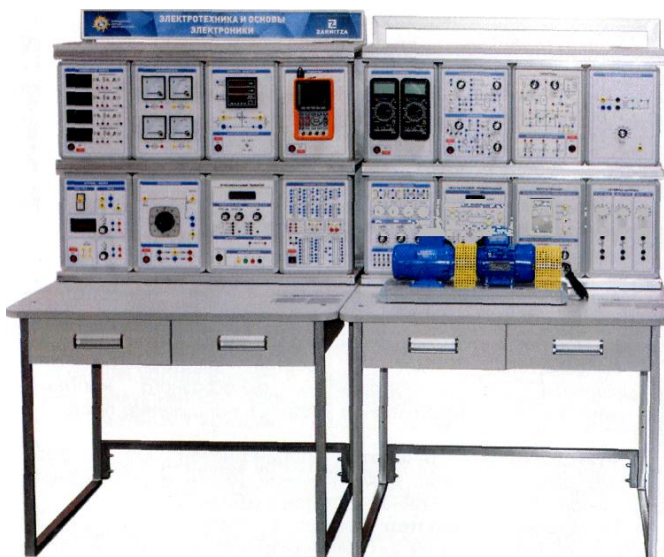
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какая трехфазная система напряжений называется симметричной ?
2. Соотношение между линейными и фазовыми токами и напряжениями при симметричной нагрузке, соединенной звездой.
3. Какова роль нулевого провода в четырехпроводной трехфазной системе?
4. Нагрузка симметрична и соединена в звезду. Произошел обрыв линейного провода А. Какое соотношение между фазовыми и линейными напряжениями в этом случае?
5. Что произойдет при обрыве нулевого провода, если нагрузка несимметрична?
6. Почему опасно короткое замыкание одной фазы приемника в четырехпроводной цепи?
7. Запишите комплексное выражение для фазных ЭДС при соединении обмоток генератора звездой.
8. Запишите соотношение между линейными и фазными токами и напряжениями при соединении фаз приемника треугольником в случаях симметричной и несимметричной нагрузок.
9. Напишите выражения для активной, реактивной и полной мощностей трехфазной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курс электротехники: Учеб. Для вузов/А.С.Касаткин, М.В.Немцов.- 10-е изд., стер.- М.:Высш.шк.,2009.-542 с.: ил. Стр. 196 – 216.
2. Электротехника: Учебное пособие /И.И.Иванов, Г.И.Соловьев. - 6-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 496 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература). Стр. 174 – 208.
3. Электротехника и электроника: Курс лекций/ Г.В.Савилов. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^о», 2009. – 324 с.: ил. Стр. 82 – 104.
4. Электротехника и электроника: Учебник/ О.П.Новожилов. – М.: Гардарики, 2008. – 653 с.: ил. Стр. 88 – 94.

Типовой комплект учебного оборудования «Электротехника и основы электроники»



Типовой комплект учебного оборудования «Электротехника и основы электроники» предназначен для проведения лабораторных занятий по курсам «Электротехника» и «Электроника» и обеспечивает изучение электрических цепей постоянного и переменного тока, трехфазных цепей, полупроводниковых приборов, аналоговых электронных устройств, элементов цифровой техники и основ электромеханики.

Комплект оборудования имеет стендовое исполнение.

В комплект оборудования входят следующие лабораторные модули:

- Автотрансформатор.
- Функциональный генератор.
- Измеритель мощности.
- Источник питания.
- Измерительные приборы.
- Мультиметры.
- Тиристоры.
- Диоды, резисторы и конденсаторы.
- Нелинейные элементы. Реактивные элементы. Резисторы/Активная нагрузка.
- Операционный усилитель. Транзисторы.
- Цифровая техника.
- Трансформатор однофазный.
- Миллиамперметры.
- Осциллограф.
- Модуль питания.
- Модуль силовой/измерительный.
- Активная нагрузка.

1 ОПИСАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЕЙ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ»

1.1 АВТОТРАНСФОРМАТОР

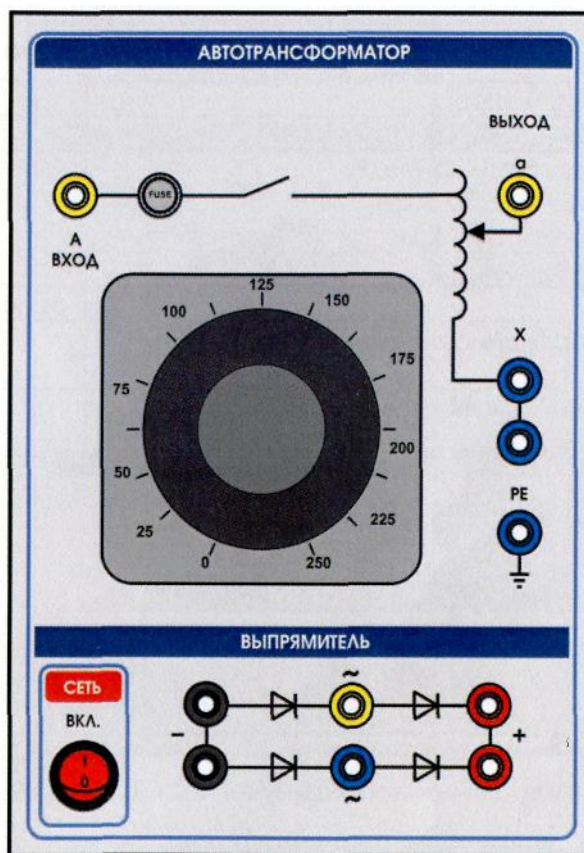


Рисунок.1.1 – Автотрансформатор

Модуль включает в себя: лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) и мостовую схему выпрямления. Регулируемый автотрансформатор предназначен для преобразования однофазного нерегулируемого напряжения промышленной частоты 220В/50 Гц в однофазное регулируемое напряжение 0-250В той же частоты. ЛАТР имеет номинальное входное напряжение 230В. Входное напряжение подается на вход «А» и «Х» и включается в работу тумблером «Вкл». Выходное напряжение от 0 до 250В регулируется при помощи ручки ЛАТРа, выведенной на переднюю панель. Номинальная мощность нагрузки составляет 250Вт. Перед началом проведения лабораторных экспериментов необходимо ручку регулировки напряжения установить в положение «0 В».

Мостовая схема выпрямителя предназначена для преобразования переменного двуполярного напряжения в однополярное. Модуль не имеет цепей питания.

Технические характеристики

Число фаз, не менее	1
Номинальная мощность, В-А	250
Номинальное напряжение, В: - первичной обмотки - вторичной обмотки	220 0...250
Частота напряжения, Гц	50±0,5
Защита	от перегрузки по

Рабочее напряжение мостового выпрямителя (не менее), В	600
Максимальный ток мостового выпрямителя (не менее), А	10

1.2 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР

Модуль состоит из двух функциональных узлов: трехфазного генератора и, собственно, функционального генератора.

Функциональный генератор представляет собой генератор колебаний заданной формы, частоты и амплитуды. Частотный диапазон генератора составляет 10 Гц... 100 кГц и разбит на 4 поддиапазона: 10...100 Гц, 0,1...1 кГц, 1...10 кГц, 10...100 кГц. Переключение между поддиапазонами происходит путем нажатия на тактовую кнопку. Текущий диапазон индицируется включением соответствующего светодиода. Реализовано два режима регулировки частоты генератора - ручками «Грубо» и «Точно». Текущее значение частоты в Гц отображается на цифровом индикаторе.



Выбор формы выходного сигнала генератора осуществляется тактовой кнопкой, при этом загорается соответствующий светодиод

прямоугольная, синусоидальная, треугольная, прямоугольная однополярная положительная, двуполярная.

Амплитуда выходного сигнала генератора регулируется в диапазоне 0...11 В ручкой «Амплитуда». Для отображения текущего значения амплитуды генератора необходимо подключить измерительный прибор. На

лицевую панель выведены клеммы «Выход» для включения прибора в измерительную цепь

Рисунок 1.2 - Функциональный генератор

Трехфазный генератор содержит выходные гнезда напряжений фаз А, В, С и нейтрального проводника N. Напряжения на выходных гнездах трехфазного генератора появляются через определенное время (порядка 30-40сек). Это связано с особенностями используемой схемы генератора.

Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «ВКЛ», расположенным на передней панели.

Технические характеристики

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником	
- напряжение, В	230±10%
- частота, Гц	50±0,5

Максимальный ток нагрузки, А	0,3
Выходное напряжение специальной формы:	
- синусоидальное	
- амплитуда, В	0...± 11
- частота, Гц	10... 100000
- прямоугольное, двуполярное	
- амплитуда, В	0... ± 11
- частота, Гц	10... 100000
- скважность	2
- треугольное	
- амплитуда, В	0...11
- частота, Гц	10... 100000
- прямоугольное, однополярное	
- амплитуда, В	0... + 11
- частота, Гц	10... 100000
- скважность	2
Индикация текущего значения частоты	цифровая
Погрешность измерения частоты, не более	0.1%

Выход трехфазного синусоидального напряжения с нулевым выводом:

- действующее значение напряжения, В $3 \times 8 \pm 10\%$
- частота, Гц $50 \pm 1\%$
- ток, А, не более 0,3
-

1.3 ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ

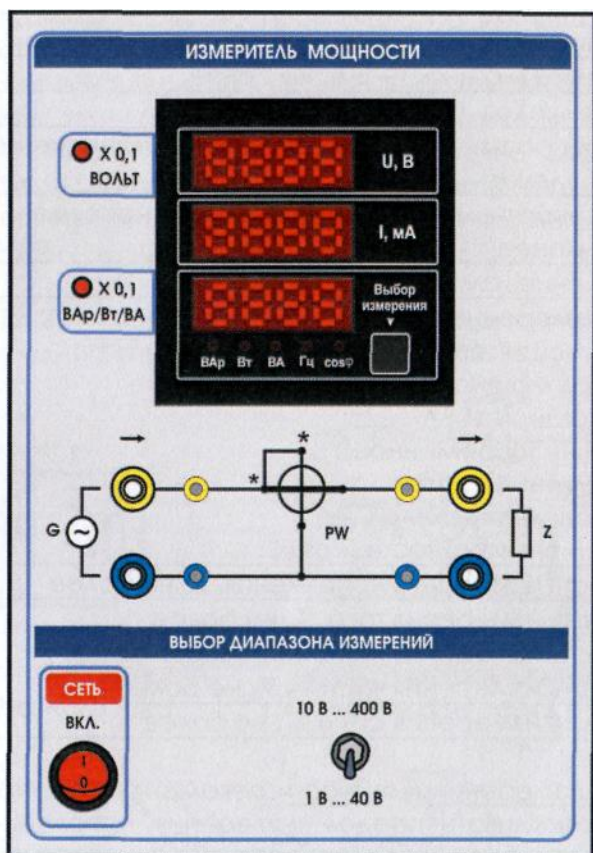


Рисунок .1.3 - Измеритель мощности

Модуль предназначен для измерения действующих значений переменного напряжения и тока; активной, реактивной и полной мощности, частоты и $\cos \varphi$ на нагрузке в цепях переменного тока. Модуль содержит цифровой 3-х строчный индикатор, на котором отображаются следующие параметры: 1) напряжение, 2) ток, 3) активная мощность, реактивная мощность, полная мощность, частота и $\cos \varphi$. Входное измеряемое напряжение - до 400В (или 40В), максимальный измеряемый ток - 600мА.

На лицевую панель выведены клеммы для включения прибора в измерительную цепь.

Технические характеристики

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником:	
- напряжение, В	230
- частота питающей сети, Гц	50

Потребляемая мощность, В-А, не более	10
Количество входов (ток, напряжение)	2
Входное сопротивление при измерении напряжения до 400В, не менее	560 кОм
Входное сопротивление при измерении напряжения до 40В, не менее	56 кОм
Сопротивление измерительного шунта	0,05 Ом
Пределы измерения: - активная мощность, Вт - реактивная мощность, Вар - полная мощность, ВА - напряжение (переменное), В - ток (переменный), мА - частота тока/напряжения, Гц - коэффициент мощности (cos φ)	0,02... 240 0,02... 240 0,02... 240 10...400./ 1...40 2...600 45... 65 0... 1,000
Погрешность измерения напряжения, %, не более	±1,0
Погрешность измерения тока, %, не более	±1,0
Погрешность измерения мощности, %, не более	±2,0
Погрешность измерения частоты, %, не более	±1,0
Погрешность измерения cos φ, %, не более	±2,5

При измерении мощности рекомендуется перед включением в схему устанавливать предел измерения напряжения в положение «10В...400В», если измеряемое напряжение имеет значение менее 10В, то необходимо переключиться на предел измерения «1...40В». В этом диапазоне необходимо учитывать множитель «0,1» для показаний напряжения и мощности. Это отображается на передней панели в виде светящихся светодиодов.

Необходимо иметь в виду, что большая точность обеспечивается при значениях которые находятся ближе к верхней шкале диапазона. (Например, при измерении напряжения от 10В до 39.99В лучше пользоваться диапазоном напряжений 1В...40В).

ВНИМАНИЕ!

1) *Запрещается* устанавливать тумблер диапазона измерений в положение «1...40В» при измерении напряжений более 40В, а также запрещается производить манипуляции с тумблером диапазона измерений при поданном напряжении более 40В.

2) *Запрещается* удерживать нажатую клавишу «ВЫБОР ИЗМЕРЕНИЯ» более 5 сек, т.к. в этом случае может произойти сбой в настройках программы. Если это произошло, то для восстановления следует произвести следующие операции:

После нажатия и удержания кнопки «ВЫБОР ИЗМЕРЕНИЯ» более 5 сек на верхнем индикаторе появляется надпись « n-tg », а на среднем появится число «100». Если это число не равно 100, то необходимо поочередно кратковременно нажимать клавишу «ВЫБОР ИЗМЕРЕНИЯ», до появления значения «100». После этого нажать клавишу «ВЫБОР ИЗМЕРЕНИЯ» и удерживать её более 5 сек, до появления надписи «YES».

1.4 ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ

Однофазный источник питания предназначен для питания однофазным переменным током промышленной частоты функциональных блоков учебных лабораторных комплексов.

Модуль содержит в своем составе:

- стабилизированный регулируемый в пределах 0...12 В, 0,5А источник постоянного тока с защитой от перегрузок по току Е1.Источник оборудован цифровым вольтметром;
- источник переменного тока 12В х 0,2А с внутренней защитой от перегрузок по току Е2;
- стабилизированный регулируемый в пределах 0...12 В., 0,5А источник постоянного тока с внутренней защитой от перегрузок по току Е3.

- Источник переменного тока 220В х16А.

Источники (Е1-Е3) имеют гальваническую развязку друг от друга и от питающей сети 220В/50Гц. На задней стенке модуля имеется разъем для подключения модуля к питающей сети 220В. Включение/выключение модуля производится выключателем «ВКЛ», расположенным на передней панели.

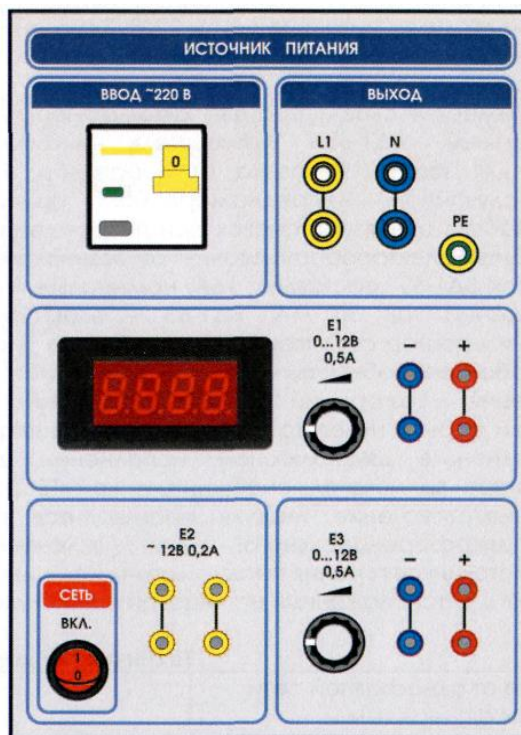


Рисунок .1.4 - Источник питания

Модуль имеет в своем составе автоматический выключатель дифференциальный ВД1-63. Выключатель дифференциальный предназначен для защиты человека от поражения электрическим током при случайном непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электроустановок при повреждении изоляции, а также для защиты электрооборудования от возникновения пожара. Номинальный ток ВД1-63 составляет 16А, номинальный отключающий дифференциальный ток 30 мА. ВД1-63 - электромеханическое устройство, не имеющее собственного потребления электроэнергии, сохраняет работоспособность, т.е. осуществляет защиту от электропоражений и возгораний при любых колебаниях напряжения в сети и даже при обрыве нулевого рабочего проводника. Выключатель ВД1-63 выполнен в двухполюсном исполнении. Для контроля работоспособности выключатель снабжен кнопкой «ТЕСТ».

Включение/отключение модуля производится при помощи выключателя дифференциального. Для включения/выключения низковольтных источников питания предусмотрен отдельный клавишный выключатель «Вкл.», расположенный на лицевой панели модуля.

Технические характеристики

<p>Электропитание от однофазной сети переменного тока с нулевым и защитным проводниками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - напряжение, В - ток, А, не более - частота, Гц 	<p>230±10%</p> <p>16</p> <p>50+0,5</p>
---	--

Выходные: - напряжение, В - ток, А, не более	220±10% 16
Устройства защиты	Выключатель
Номинальный ток нагрузки, А	16
Номинальный отключающий дифференциальный ток, мА	30
Параметры вторичных источников: Источник E1: - регулируемое постоянное напряжение, В - ток нагрузки, А - индикация Источник E2: - переменное напряжение, В - ток нагрузки, А - Источник E3: - регулируемое постоянное напряжение, В - ток нагрузки, А	0...+12 0,5 цифровая ~12 0,2 0...+12 0,5

Клеммы:	
- фазный провод L1	2
- нулевой провод N	2
- защитный проводник PE	1

1.5 ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

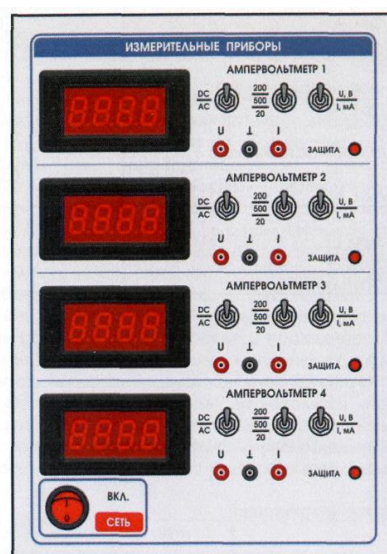


Рисунок 1.5 - Измерительные приборы
 Модуль содержит цифровые измерительные приборы: четыре ампервольтметра

постоянного/переменного тока с соответствующими гнездами для включения в измерительную цепь, выведенными на лицевую панель. Выбор функционального назначения прибора осуществляется с помощью микротумблеров «U,V/I,мА». В верхнем положении он выполняет функцию вольтметра, а в нижнем - амперметра. Выбор диапазона измерения ампервольтметров 20, 200 и 500 В/мА производится при помощи микротумблеров, имеющих три фиксированных положения (верхнее положение - 200, среднее - 500, нижнее - 20).

Род измеряемого тока прибора (переменный или постоянный) выбирается тумблерами DC/AC (верхнее положение (DC) - постоянный ток или напряжение, нижнее положение (AC) - переменный ток или напряжение). Погрешность измерения токов и напряжений - 2,5%. На задней стенке модуля имеется разъем для подключения модуля к питающей сети 220В. Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «Вкл.», расположенным на лицевой панели.

Все миллиамперметры имеют встроенные схемы защиты шунтов от прямой подачи напряжения без последовательной нагрузки. В случае протекания повышенного тока через шунт (более 1А), он отключается от цепи путем размыкания на время около 4сек.

При измерении постоянного тока или напряжения гнездо красного цвета соответствует полярности «плюс». Гнездо черного цвета - полярности «минус».

Технические характеристики

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником:	
Напряжение, В	230
Частота питающей сети, Гц	50
Потребляемая мощность, ВА, не более	20
Количество цифровых вольтметров	4
Количество цифровых амперметров	4
Род тока измерительных приборов	переменный /постоянный
Дискретность измерения напряжения, В	20 / 200 /500
Дискретность измерения тока, мА	20 / 200 /500

1.6. МУЛЬТИМЕТРЫ

Примечание. В техническом описании и методических указаниях показано использование мультиметров типа МУ61...МУ64. В данном варианте стенда используются мультиметры типа МУ63. Изменение типа мультиметра не оказывает существенного влияния на понимание процессов, происходящих при проведении экспериментов и лабораторных работ.

Модуль представляет собой блок из двух мультиметров. Мультиметры имеют несъемную конструкцию и свои собственные, гальванически развязанные источники питания от сети 220В/50Гц. Мультиметр предназначен для измерения величины силы постоянного и переменного тока, постоянного и переменного напряжения, сопротивления и коэффициента усиления биполярных транзисторов. Высокое входное сопротивление не вносит погрешности при измерениях величин. Выбор пределов измерения величин производится вручную путем установки нужного положения многопозиционного переключателя.

Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «Вкл.», расположенным на лицевой панели.

Технические характеристики

Электропитание от однофазной сети переменного тока с защитным проводником:	
- напряжение, В	220
- частота питающей сети, Гц	50
Режим выбора пределов измерения	ручной
Количество измерений в секунду	2-3

Постоянное напряжение $U=$	0,1мВ- 1000В
Переменное напряжение $U\sim$	1мВ-750В
Переменный ток $I\sim$	10 мкА - 10 А
Постоянный ток $I=$	0,1 мкА-10 А
Диапазон частот по переменному току	40- 1000Гц
Сопротивление Ω	0,1 Ом-20Мом
Входное сопротивление R	10МОм
Диод-тест	есть
Автовывключение	~ 15 мин
Режим «прозвонка»	<500м



Рисунок 1.6 - Мультиметры

ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИМЕТРА

Для измерения трех базовых электрических величин (тока, напряжения и омического сопротивления) используется мультиметр. Мультиметр является основным измерительным инструментом в слаботочных системах.

Мультиметр, в общем случае, имеет следующие режимы:

- Измерение переменного напряжения, пределы измерений до 600 В;
- Генератор прямоугольных импульсов;
- Измерение силы тока для постоянного напряжения;
- Измерение постоянного тока до 10 А;
- Проверка транзисторов;
- Прозвонка для определения целостности кабеля;
- Измерение сопротивления пределы измерений 200 Ом, 2000 Ом, 20 кОм, 200 кОм, 2000 кОм, 200МОм;
- Измерение постоянного напряжения пределы измерений 200 мВ, 2000 мВ, 20В, 200 В, 1000 В.

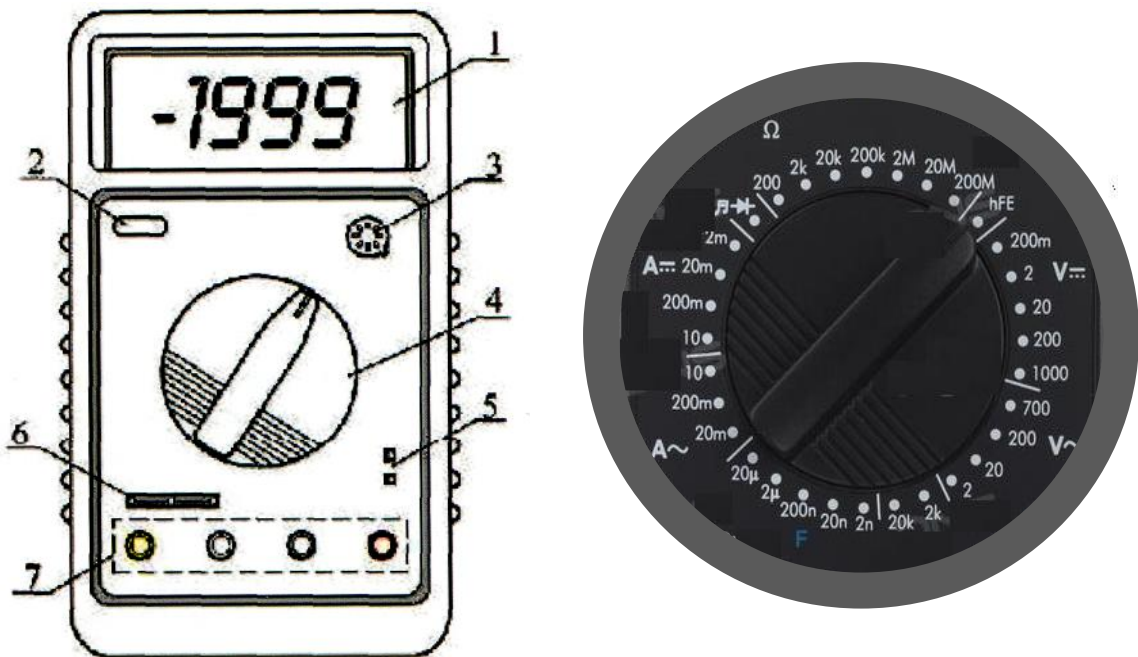


Рис. 1.6.1 Лицевая панель мультиметра:

1 - дисплей; 2 - выключатель питания; 3 - гнездо для проверки транзисторов; 4 - переключатель режимов; 5 - разъем для подключения термопары; 6 - разъем для подключения конденсатора; 7 - входы для измерения тока, напряжения, сопротивления

Рис. 1.6.2 Переключатель режимов мультиметра

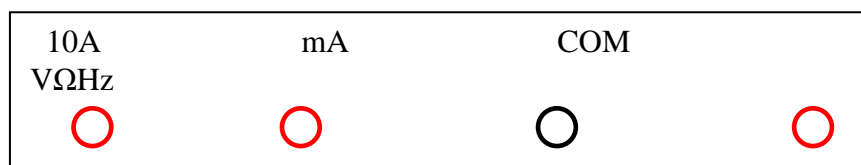


Рис. 1.6.3 Измерительные входы мультиметра:

10 А - вход для измерения тока до 10 А; mA - вход для измерения тока до 200 мА; COM - общий вход (земля); VΩHz - вход для измерения напряжения и сопротивления

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Никогда не превышайте максимально допустимых значений входных сигналов, указанных в спецификации для каждого диапазона измерений.

Не касайтесь открытых гнезд мультиметра, когда он подключен к измеряемой схеме.

Если порядок измеряемой величины заранее не известен, установите переключатель диапазонов на максимальное значение.

Всегда отключайте щупы от измеряемой схемы при смене функции работы прибора.

При проведении измерений в телевизорах или импульсных блоках питания всегда помните, что там могут присутствовать высоковольтные импульсы напряжения, которые могут вывести прибор из строя.

Никогда не проводите измерение величины сопротивлений во включенных схемах.

Никогда не измеряйте емкость конденсаторов, не убедившись, что они полностью разряжены.

Будьте всегда осторожны при работе с напряжениями более +60В или -30 В. При проведении измерений держите пальцы за защитной кромкой щупов.

Общие принципы работы с мультиметром

1. Переключения между режимами работы мультиметра производятся с помощью поворотного переключателя (рис.1.6.1). По окончании измерений необходимо установить переключатель в положение OFF, для предотвращения разряда батареи.

2. Не касаться оголенной части щупов при работе с мультиметром, т.к.помимо возможности поражения электрическим током возрастает погрешность измерений.

3. Перед началом работы с мультиметром необходимо правильно выставлять пределы измерений. Чем ближе к измеряемому значению выставлен предел, тем точнее будет результат. Если же примерное значение измеряемой величины заранее не известно, то стоит начинать измерения с максимально возможного предела измерений. Появление на дисплее цифры «1» указывает на то, что следует увеличить диапазон измерений.

Внимание! Если положение переключателя режимов не изменяют в течение 10 минут, мультиметр автоматически выключается. Для продолжения работы необходимо дважды нажать кнопку 2 (рис.1.6.1).

ИЗМЕРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИМЕТРА

До подключения мультиметра к измеряемой цепи необходимо выполнить следующие операции:

- установить род тока (постоянный/переменный);
- выбрать диапазон измерений измеряемой величины;
- правильно подсоединить зажимы мультиметра к измеряемой цепи.

Измерение силы тока с помощью мультиметра

Для измерения силы тока необходимо красный щуп подключить к входу «10А», черный - ко входу «СОМ». Если Вы уверены, что в цепи течет небольшая сила тока (до 200мА), то можно установить щуп во вход «mA». Подключение мультиметра в режиме амперметра в цепь необходимо производить последовательно (в разрыв цепи).

Поворотным переключателем выберите желаемый предел измерения «A=» или «A~» и подсоедините щупы последовательно с исследуемой нагрузкой.

Прочтите показания на дисплее. При измерении постоянного тока индикатор покажет полярность сигнала на красном щупе.

Если дисплей показывает «1», это указывает на перегрузку и необходимость выбрать больший предел измерения.

Измерение напряжения с помощью мультиметра

Для измерения напряжения необходимо красный щуп подключить ко входу «V Ω », черный - ко входу «СОМ». Подключение мультиметра в режиме вольтметра в цепь необходимо производить параллельно.

Поворотным переключателем выберите желаемый предел измерения «V \Rightarrow » или «V \sim » и подсоедините щупы к источнику напряжения или исследуемой нагрузке.

Прочтите показания на дисплее. При измерении постоянного напряжения индикатор покажет полярность сигнала на красном щупе. Если дисплей показывает «1», это указывает на перегрузку и необходимость выбрать больший предел измерения.

Измерение сопротивления с помощью мультиметра

Для измерения электрического сопротивления участка цепи необходимо красный щуп подключить ко входу «V Ω », черный - ко входу «СОМ». Установив переключатель в соответствующее положение произвести измерение, мультиметр при этом подключается параллельно участку цепи. Необходимо помнить, что в измеряемом участке цепи не должен протекать электрический ток, иначе мультиметр выйдет из строя.

Замечание:

- Если измеряемое сопротивление превышает максимальное значение выбранного предела измерения или вход не подсоединен к сопротивлению, дисплей покажет «1».

- При измерении величины сопротивления, находящегося в схеме, убедитесь, что схема выключена и конденсаторы полностью разряжены.

- При измерениях свыше 1 МОм прибор может устанавливать показания в течение нескольких секунд. Это является нормальным при измерении больших сопротивлений.

- На диапазоне 200 МОм при замыкании щупов накоротко дисплей покажет 10 единиц. Это значение должно быть вычтено из полученного результата при измерении сопротивления на этом пределе. Например, при измерении сопротивления в 100 МОм дисплей покажет 101,0, и правильное значение будет $101,0 - 1,0 = 100,0$ МОм.

Измерение емкости конденсаторов

Установите поворотный переключатель на желаемый предел измерения емкости «F».

Перед установкой конденсатора в разъем для конденсаторов убедитесь, что конденсатор полностью разряжен.

При измерении емкости конденсатора с короткими выводами установите в разъем для конденсаторов переходной адаптер.

Проверка диодов

Соедините черный щуп с гнездом «СОМ», а красный с гнездом «V Ω Hz» прибора (полярность красного будет «+»).

Установите переключатель функций в положение « \blacktriangleright | » и соедините красный щуп с анодом, а черный щуп с катодом измеряемого диода. Дисплей покажет приблизительное прямое падение напряжения на диоде. При обратном подключении щупов к диоду дисплей покажет «1».

Проверка транзисторов

Установите поворотный переключатель в положение «h_{FE}».

Определите, какого типа проводимости - PNP или NPN - проверяемый транзистор и определите местоположение его эмиттера, коллектора и базы.

Установите выводы транзистора в соответствующие гнезда разъема на приборе.

Дисплей покажет приблизительный коэффициент h_{FE} транзистора при токе базы 10 мкА и напряжении коллектор-эмиттер 3,2 В.

«Прозвонка» с помощью мультиметра. Установить мультиметр в режим прозвонки, красный щуп подключить ко входу «V Ω », черный - ко входу «СОМ». Для проверки работоспособности данного режима замкнуть два щупа между собой. При этом мультиметр издаст звуковой сигнал и

покажет сопротивление близкое к нулю. Звуковой сигнал мультиметр издает при сопротивлении проверяемого участка цепи до 80 Ом. Для прозвонки необходимо подключить щупы к разным концам цепи, если обрыва нет, то мультиметр издает звуковой сигнал или покажет сопротивление.

Измерение частоты

Соедините черный щуп с гнездом «СОМ», а красный с гнездом «VΩ Hz» прибора.

Установите поворотный переключатель в положение «kHz» и подсоедините щупы к источнику сигнала или исследуемой нагрузке.

Замечание:

- При входном сигнале свыше 10 В считывание возможно, но точность не гарантируется.
- При малых входных сигналах в условиях сильных внешних шумов предпочтительнее использовать экранированный кабель.

1.7 ДИОДЫ, РЕЗИСТОРЫ, КОНДЕНСАТОРЫ. КОННЕКТОР/ БЛОК ВВОДА-ВЫВОДА

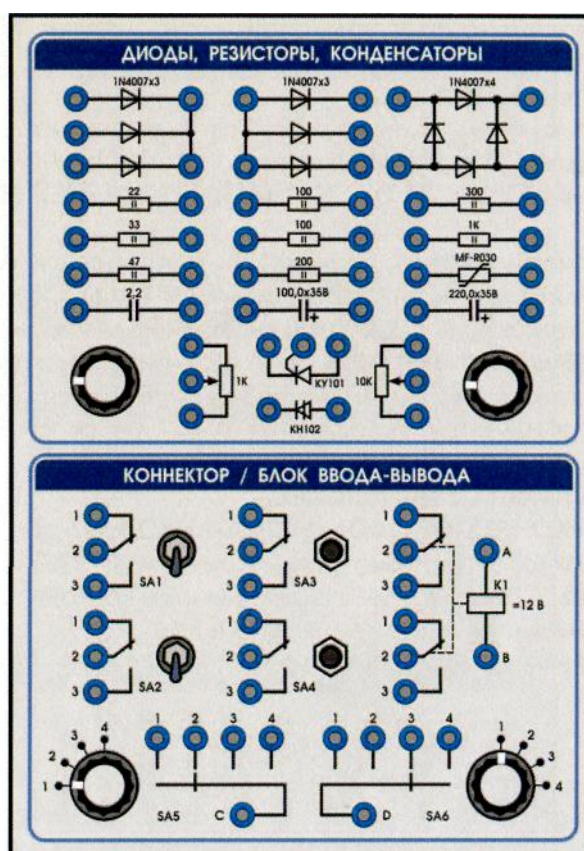


Рисунок .1.7 – Диоды, резисторы, конденсаторы

Блок «ДИОДЫ, РЕЗИСТОРЫ, КОНДЕНСАТОРЫ» представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров выпрямительного диода, тиристора, динистора, различных типов выпрямителей, а также в качестве элементов для составления исследуемых схем (постоянные и переменные резисторы, конденсаторы неполярные и полярные, самовосстанавливающийся предохранитель) и проведения лабораторных работ.

Модуль содержит:

-диоды для исследования трехфазных цепей:

- 1 N4007 x 3 (с общим катодом);
- 1 N4007 x 3 (с общим анодом);

- диоды для исследования однофазных цепей (диодный мост 1 N4007x4);

- самовосстанавливающийся предохранитель ЛЛР-РОЗО ;

- тиристор КУ101;
- динистор КН102;
- набор из 8-ми отдельных постоянных резисторов мощностью 2Вт каждый со следующими номинальными величинами сопротивлений: 22 Ом, 33 Ом, 47 Ом, 100 Ом (2 шт.), 200 Ом, 300 Ом, 1 кОм;
- два переменных резистора мощностью 0,5Вт каждый с номинальными величинами сопротивлений 1 кОм и 10 кОм;
- 3 конденсатора: 2,2 мкФ х 50В (керамический, неполярный), 100,0 мкФ х 35В и 220,0 мкФ х 35В (электролитические, полярные);

На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь, установлены ручки регулировки.

Блок не имеет цепей питания.

Блок «КОННЕКТОР/БЛОК ВВОДА-ВЫВОДА» представляет собой набор элементов : переключаемые тумблеры SA1, SA2. Кнопки SA3, SA4, реле на 12В с двумя перекидными контактами , 2 галетных переключателя на 4 положения SA5 и SA6.

Блок не имеет цепей питания.

1.8 РЕАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. РЕЗИСТОРЫ/АКТИВНАЯ НАГРУЗКА. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

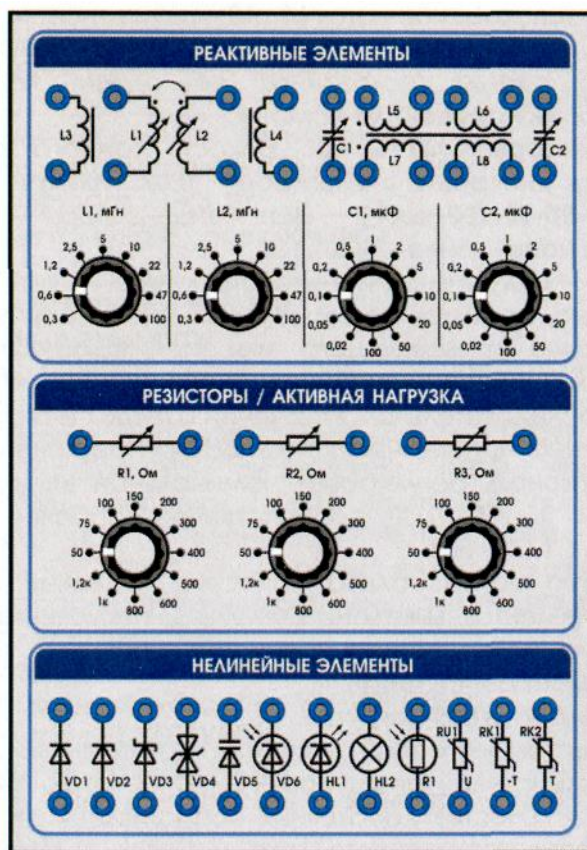


Рисунок 1.8 - Реактивные элементы. Резисторы/Активная нагрузка. Нелинейные элементы

Реактивные элементы

Блок представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров реактивных элементов - катушек индуктивности, трансформаторов, конденсаторов. Также блок используется в качестве отдельных элементов для составления схем.

Блок содержит следующие реактивные элементы:

- взаимосвязанные катушки переменной индуктивности $L1, L2$ с диапазоном дискретных значений от 0,3мГн до 100мГн (0,3-0.6-1,2-2,5-5-10-22-47-100).

- катушки индуктивности $L3$ и $L4$, конструктивно выполненные на ферритовых сердечниках.

Индуктивность $L3 = 10\text{мГн}$, а $L4 = 40\text{мГн}$.

- трансформатор, выполненный на ферритовом сердечнике, состоит из 4-х одинаковых обмоток $L5...L8$ индуктивностью по 10мГн.

Ток максимальный для катушек $L1...L8$ - не более 500мА. Точка на схеме, показанная на одном конце катушки ($L1, L2, L5...L8$) обозначает начало обмотки.

- конденсаторы $C1$ и $C2$. Емкость каждого конденсатора устанавливается дискретно в диапазоне 0,02...100мкФ (0,02-0,05-0,1- 0,2-0,5-1-2-5-10-20-50-100 мкФ). Все конденсаторы - неполярные. Максимальное напряжение - 50В.

Катушки индуктивности конструктивно выполнены как взаимосвязанные, т.е. имеется возможность проводить эксперименты по исследованию повышающего или понижающего воздушного трансформатора, взаимосвязанных катушек, индуктивности с отводом при последовательном включении катушек и т.п.

На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь, установлены ручки регулировки.

Блок не имеет цепей питания.

Резисторы/Активная нагрузка

Блок представляет собой дискретно изменяемые при помощи галетных переключателей резисторы $R1, R2, R3$, предназначенные для использования в качестве добавочных сопротивлений в однофазных, трехфазных цепях переменного тока и цепях постоянного тока с регулированием вручную.

На лицевую панель блока нанесены условные графические обозначения элементов, выведены клеммы для включения элементов в электрическую цепь, установлены ручки регулировки.

Технические характеристики блока «Резисторы/ Активная нагрузка»

Количество резисторов	3{R1,R2,R3}
Дискретность изменения номинальной величины сопротивления резисторов $R1...R3$, Ом	50/75/ 100/150/200 / 300 / 400 / 500 / 600/800/1000/1200
Номинальная мощность (при минимальном значении сопротивления равном 50 Ом) каждого из резисторов $R1-R3$, Вт	8
Ток коммутации галетного переключателя максимальный, мА	500

Блок не имеет цепей питания.

Нелинейные элементы

Блок представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров следующих нелинейных элементов: полупроводникового диода ($VD1$), стабилитрона ($VD2$), диода Шоттки ($VD3$), диода защитного- супрессора ($VD4$), варикапа ($VD5$), фотодиода ($VD6$), светодиода ($HL1$), лампочки накаливания ($HL2$), фоторезистора ($R1$), варистора ($RU1$),

- ОУ КР140УД608-А1;
- встроенный источник питания $\pm 15\text{В}$ для питания ОУ;
- встроенный, регулируемый при помощи потенциометра RP1, стабилизированный источник $-5\text{В} \dots 0 \dots +5\text{В}$, напряжение которого снимается с гнезда X3;
- постоянные резисторы: R1, R2 - 20кОм; R3 - 10кОм; Rн - 2кОм;
- резисторы дискретно изменяемые: SA1 (R4) имеет пять положений. Положения с 1 по 5 соответствуют сопротивлению: 20 кОм, 50 кОм, 100 кОм, 150 кОм, 200 кОм. Положение «1» SA4 (R5) соответствует сопротивлению 200кОм, положение «2» - 400кОм.
- конденсаторы дискретно переключаемые: положение «1» SA3 (C1) соответствует емкости 1500пФ, положение «2» - 10 нФ. Положение «1» SA2 (C2) соответствует емкости 6800пФ, положение «2» - 10 нФ. На задней стенке модуля имеется разъем для подключения модуля к питающей сети 220В. Включение/выключение модуля производится выключателем «ВКЛ», расположенным на передней панели.

Транзисторы

Блок представляет собой набор элементов для исследования характеристик биполярных и полевых транзисторов, моделирования параметров каскадов на биполярном и полевом транзисторах, исследования характеристик диодно-транзисторной оптопары.

Блок содержит:

- транзистор биполярный VT1 - BC639;
- транзистор полевой VT2 - BS170;
- диодно-транзисторная оптопара VT3-АОТ127А;
- встроенный, регулируемый при помощи потенциометра RP1, источник тока базы и напряжения затвора транзисторов. Напряжение источника снимается с гнезда X2;
- встроенный, регулируемый при помощи потенциометра RP2, стабилизированный источник U2. Напряжение снимается с гнезд X4 через переключатель SA2;
- встроенный нерегулируемый источник постоянного не сглаженного напряжения (положительная полуволна синусоиды 50Гц). Напряжение снимается с гнезд X4 через переключатель SA2;
- резистор R2, дискретно изменяемый, имеет пять положений. Положения с 1 по 5 соответствуют сопротивлению: 1 кОм, 1,2 кОм, 1,5 кОм, 1,8 кОм, 2,2 кОм.
- R1-300 Ом; R3-100 Ом; R4 -1 кОм; R5- 330 Ом.
- цепь RG (1кОм), C (4,7мкФ) представляют собой разделительный конденсатор и эквивалент выходного сопротивления источника сигнала;
- сопротивление шунта Rш составляет 10 Ом.

1.10 ЦИФРОВАЯ ТЕХНИКА

Модуль представляет собой набор элементов для исследования характеристик и параметров базовых логических элементов (И-НЕ, ИЛИ-НЕ, И, ИЛИ, НЕ, исключающее ИЛИ), триггеров (RS и JK), двоичного четырехразрядного счетчика, регистра, дешифратора и мультиплексора. Модуль содержит:

- логические элементы И-НЕ (К155ЛА3), ИЛИ-НЕ (К155ЛЕ1), И (К155ЛИ1), ИЛИ (К155ЛЛ1), НЕ (К155ТЛ2), исключающее ИЛИ (К155ЛП5);
- D- триггеры (К155ТМ2), JK триггер (К155ТВ1);
- регистр (К155ИР1);
- мультиплексор (К155КП2);
- дешифратор (К155ИД4)
- генераторы прямоугольных импульсов ТТЛ уровня с фиксированными частотами: 0,1 кГц, 0,2кГц, 1,6кГц. Генераторы импульсов между собой не синхронизированы;
- формирователь постоянных логических ТТЛ уровней с устройством индикации. Формирование соответствующих уровней осуществляется при помощи переключателей SA1 и SA2;

- формирователь одиночных прямоугольных импульсов ТТЛ уровня с устройством индикации. Формирование соответствующих уровней осуществляется при помощи кнопок SB1 и SB2.

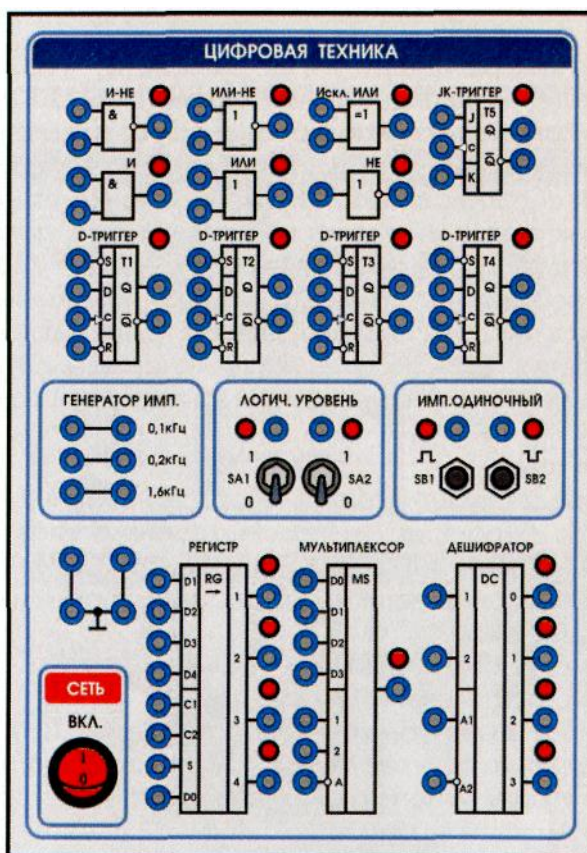


Рисунок 1.10 - Цифровая техника

Все входные и нагрузочные характеристики элементов блока соответствуют паспортным данным стандарта логики ТТЛ.

На задней стенке модуля имеется разъем для подключения модуля к питающей сети 220В. Включение/выключение модуля производится клавишным выключателем «ВКЛ», расположенным на лицевой панели.

3 Самостоятельная работа обучающихся

Подготовка современного специалиста предполагает, что в стенах института он овладеет методологией самообразования, самовоспитания, самосовершенствования. Это определяет важность активизации его самостоятельной работы. С целью организации данного вида учебных занятий необходимо в первую очередь использовать материал лекций и семинаров. Лекционный материал создает проблемный фон с обозначением ориентиров, наполнение которых содержанием производится студентами на семинарских занятиях после работы с учебными пособиями, монографиями и периодическими изданиями.

Самостоятельно изучается рекомендуемая литература, проводится работа с библиотечными фондами и электронными источниками информации, специальной литературой, статьями из профильных журналов. Реферируя и конспектируя наиболее важные вопросы, имеющие научно-практическую значимость, новизну, актуальность, делая выводы, заключения, высказывая практические замечания, выдвигая различные положения, студенты глубже понимают вопросы курса.

Подготовка к практическим занятиям, а также выполнение заданий для самостоятельной работы требует от студента навыков работы с литературными источниками:

- умение выделять главное в тексте;
- умение составлять опорную схему изученного материала, тезисный и развернутый план-конспект;
- свободное владение проработанным материалом;
- способность рассказать своими словами суть проблемы;
- умение объяснить и дать определение встречающимся в тексте новым научным терминам;
- умение находить в жизни ситуации, которые могут служить иллюстрацией теоретического материала, обсуждаемого на занятиях.

Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы базируется на соблюдении настоящих рекомендаций и изучении рекомендованной литературы. Студент может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании курсовых работ и выпускной квалификационной работы.

Важной является готовность студента к восприятию в курсе сочетания философского, теоретического материала с конкретным практическим, направленным на освоение умений и навыков практической организации профессиональной деятельности в образовательном учреждении.

Подготовка к практическому занятию включает 2 этапа:

I - организационный;

II - закрепление и углубление теоретических знаний.

На первом этапе студент планирует свою самостоятельную работу, которая включает:

- уяснение задания на самостоятельную работу;
- подбор рекомендованной литературы;
- составление плана работы, в котором определяются основные пункты предстоящей подготовки. Составление плана дисциплинирует и повышает организованность в работе.

Второй этап включает непосредственную подготовку студента к занятию. Начинать надо с изучения рекомендованной литературы. Необходимо помнить, что на лекции обычно рассматривается не весь материал, а только его часть. Остальная его часть восполняется в процессе самостоятельной работы. В связи с этим работа с

рекомендованной литературой обязательна. Особое внимание при этом необходимо обратить на содержание основных положений и выводов, объяснение явлений и фактов, уяснение практического приложения рассматриваемых теоретических вопросов. В процессе этой работы студент должен стремиться понять и запомнить основные положения рассматриваемого материала, примеры, поясняющие его, а также разобраться в иллюстративном материале. Заканчивать подготовку следует составлением плана (конспекта) по изучаемому материалу (вопросу). Это позволяет составить концентрированное, сжатое представление по изучаемым вопросам.

Записи имеют первостепенное значение для самостоятельной работы студентов. Они помогают понять построение изучаемого материала, выделить основные положения, проследить их логику и тем самым проникнуть в творческую лабораторию автора.

Ведение записей способствует превращению чтения в активный процесс, мобилизует, наряду со зрительной, и моторную память. Следует помнить: у студента, систематически ведущего записи, создается свой индивидуальный фонд подсобных материалов для быстрого повторения прочитанного, для мобилизации накопленных знаний. Особенно важны и полезны записи тогда, когда в них находят отражение мысли, возникшие при самостоятельной работе.

Важно развивать умение сопоставлять источники, продумывать изучаемый материал. Большое значение имеет совершенствование навыков конспектирования. Преподаватель может рекомендовать студентам следующие основные формы записи: план (простой и развернутый), выписки, тезисы. Результаты конспектирования могут быть представлены в различных формах.

План – это схема прочитанного материала, краткий (или подробный) перечень вопросов, отражающих структуру и последовательность материала. Подробно составленный план вполне заменяет конспект.

Конспект – это систематизированное, логичное изложение материала источника. Различаются четыре типа конспектов:

- план-конспект – это развернутый детализированный план, в котором достаточно подробные записи приводятся по тем пунктам плана, которые нуждаются в пояснении;

- текстуальный конспект – это воспроизведение наиболее важных положений и фактов источника;

- свободный конспект – это четко и кратко сформулированные (изложенные) основные положения в результате глубокого осмысливания материала. В нем могут присутствовать выписки, цитаты, тезисы; часть материала может быть представлена планом;

- тематический конспект – составляется на основе изучения ряда источников и дает более или менее исчерпывающий ответ по какой-то схеме (вопросу).

В процессе подготовки к занятиям рекомендуется взаимное обсуждение материала, во время которого закрепляются знания, а также приобретается практика в изложении и разъяснении полученных знаний, развивается речь.

При необходимости следует обращаться за консультацией к преподавателю. Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения.

Примеры вопросов для самостоятельной работы студентов

1. Активные и пассивные элементы электрических цепей постоянного тока. Схема цепи.
2. Сложная электрическая цепь: ветви, узлы, контуры. Преобразование пассивных ветвей при их последовательном, параллельном и смешанном соединении.
3. Законы Ома и Кирхгофа, анализ электрической цепи с помощью законов Кирхгофа.
4. Расчет электрической цепи методом контурных токов.
5. Расчет электрической цепи методом узловых потенциалов.
6. Расчет электрической цепи методом эквивалентного генератора.

7. Расчет электрической цепи методом наложения.
8. Режимы работы электрической цепи.
9. Синусоидальные токи и напряжения, их характеристики. Представление синусоидальных функций векторами и комплексными числами.
10. Активное сопротивление, емкость и индуктивность в цепи синусоидального тока.
11. Полная, активная и реактивная мощность цепи синусоидального тока. Коэффициент мощности.
12. Законы Ома и Кирхгофа для цепи синусоидального тока. Символический метод расчета цепей синусоидального тока.
13. Трехфазная цепь. Виды соединений, методы расчета, мощность.
14. Нелинейные элементы в электрических цепях постоянного тока и их вольтамперные характеристики. Статическое и дифференциальное сопротивление. Общая характеристика основных методов расчета нелинейных цепей.
15. Графические методы расчета простейших нелинейных цепей постоянного тока.
16. Кусочно-линейная аппроксимация вольтамперных характеристик и схемы замещения нелинейных сопротивлений.
17. Устройство, принцип работы и основные параметры трансформатора.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

- Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.
- Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.
- Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.
- Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:
 - контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.
 - контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.

Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум*	Максимум

Текущая аттестация	1-16	36	60
Контрольная точка № 1	7-8	18	30
<i>Контрольная работа</i>		18	30
Контрольная точка № 2	15-16	18	30
<i>Контрольная работа</i>		18	30
Промежуточная аттестация	-	24	40
Зачет	-		
<i>Зачетный билет</i>	-	24	40
ИТОГО по дисциплине		60	100

* Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

Студент считается аттестованным по разделу, зачету или экзамену, если он набрал не менее 60% от максимального балла, предусмотренного рабочей программой.

Студент может быть аттестован по дисциплине, если он аттестован по каждому разделу, зачету/экзамену и его суммарный балл составляет не менее 60.

8.4. Шкала оценки образовательных достижений

Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет сумму баллов, заработанных обучающимся при выполнении заданий в рамках текущей и промежуточной аттестации

<i>Сумма баллов</i>	<i>Оценка по 4-х балльной шкале</i>	<i>Оценка ECTS</i>	<i>Требования к уровню освоения учебной дисциплины</i>
90-100	<i>5- «отлично»/ «зачтено»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы
85-89	<i>4 - «хорошо»/ «зачтено»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
75-84		C	
70--74		D	

65-69			Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала
60-64	<i>3 - «удовлетворительно»/ «зачтено»</i>	<i>E</i>	
0-59	<i>2 - «неудовлетворительно»/ «не зачтено»</i>	<i>F</i>	Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная учебная литература:

1. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для вузов / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — 11-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-7115-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/155680> (дата обращения: 28.08.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Новожилов О.П., Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи: учеб. пособие. – 8-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2010. – 592 с.
3. Сборник задач по основам теоретической электротехники : учебное пособие для спо / Ю. А. Бычков, А. Н. Белянин, В. Д. Гончаров [и др.] ; под редакцией Ю. А.Бычкова. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 392 с. — ISBN 978-5-8114-6889-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153657> (дата обращения: 28.08.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Теоретические основы электротехники. Нелинейные электрические цепи. Электромагнитное поле : учебное пособие / Г. И. Атабеков, С. Д. Купалян, А. Б. Тимофеев, С. С. Хухриков ; под редакцией Г. И. Атабекова. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 432 с. — ISBN 978-5-8114-5176-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/134338> (дата обращения: 28.08.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) дополнительная учебная литература:

1. Новожилов О. П. Электротехника и электроника : учеб. для студ. вузов / О. П. Новожилов. - М. : Гардарики, 2008. - 653 с. : ил. (100 экз.)
2. Электротехника и электроника : учеб. пособие для вузов / В. В. Кононенко [и др.] ; ред. В. В. Кононенко. - 4-е изд. - Ростов н/Д : Феникс, 2008. - 778 с. : ил. - (Высшее образование) (1 экз.)

10. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины

<http://ibooks.ru/>

<http://e.lanbook.com/>

<http://www.biblio-online.ru/>

<http://kuperbook.biblioclub.ru>

<http://www.studentlibrary.ru>

<http://library.mephi.ru>