

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
сборник учебно-методических материалов
для направления подготовки 21.05.04 – Горное дело

Благовещенск, 2017

Печатается по решению
Редакционно-издательского совета
Энергетического факультета
Амурского государственного университета

Составитель: Скрипко О.В.

Электротехника: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 21.05.04
– Горное дело. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

Рассмотрен на заседании кафедры автоматизации производственных процессов и электро-
техники 24.05.2017, протокол № 9.

© Амурский государственный университет, 2017
© Кафедра автоматизации производственных
процессов и электротехники, 2017
© Скрипко О.В., составитель

Содержание

Введение	4
1. Краткий курс лекций	5
2. Методические рекомендации к практическим занятиям	28
3. Методические рекомендации к лабораторным занятиям	36
4. Методические рекомендации для самостоятельной работы	38
Библиографический список	41

ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины «Электротехника» является формирование у студентов системы взглядов на теорию электромагнитных процессов, а также создания основы электротехнического образования и базы для восприятия и изучения совокупности средств, способов и методов человеческой деятельности, направленных на исследование, разработку и применение электротехнических и электронных устройств, что определяет теоретический уровень подготовки академических горных инженеров.

Задачами изучения дисциплины являются:

- активизация самостоятельной познавательной деятельности студентов с использованием разнообразных источников информации.
- усвоение основных законов электрических и магнитных цепей и методов их расчета.
- усвоение элементной базы основных электронных устройств, используемых в электроэнергетике и теплоэнергетике при получении, передаче, распределении электрической и тепловой энергии;
- формирование у студентов научного мышления, правильного понимания границ и используемых методов анализа электротехнических и электронных устройств и методов оценки степени достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных и математических методов исследования.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

Знать:

- основные законы электрических цепей;
- физическую сторону электромагнитных явлений в электрических цепях и в электронных устройствах;
- основное используемое оборудование;
- методы обеспечения безопасности при работе с электротехническим оборудованием;
- основные направления развития современной электротехники.

Уметь:

- проводить расчеты простых и сложных электрических цепей в установившихся и в не-установившихся режимах работы;
- экспериментально определять параметры и характеристики типовых электротехнических элементов и устройств;
- критически анализировать полученные экспериментально результаты, сравнивая их с результатами теоретических расчетов;
- использовать правила безопасности при работе на электрических установках.

Владеть:

- навыками создания физических моделей электротехнических устройств и их экспериментального исследования;
- навыками составления структурных (топологических) схем для электрических и магнитных цепей электромагнитных систем;
- навыками обработки результатов эксперимента;
- навыками работы с измерительными приборами.

1. КРАТКИЙ КУРС ЛЕКЦИЙ

Тема 1. Введение

Электротехника - это область науки и техники, изучающая электрические и магнитные явления и их использование в практических целях получения, преобразования, передачи и потребления электрической энергии.

Электрическая цепь - это совокупность устройств, предназначенных для производства, передачи, преобразования и использования электрического тока.

Все электротехнические устройства по назначению, принципу действия и конструктивному оформлению можно разделить на три большие группы.

Источники энергии - устройства, вырабатывающие электрический ток (генераторы, термоэлементы, фотоэлементы, химические элементы).

Электродвижущая сила - электрическая разность потенциалов, создаваемая источником электрической энергии (электрохимическим элементом, механическим генератором, термоэлементом, фотоэлементом и пр.).

Приемники, или нагрузка, т.е. устройства, потребляющие электрический ток (электродвигатели, электролампы, электрические механизмы и т.д.).

Проводники, а также различная коммутационная аппаратура (выключатели, реле, контакторы и т.д.).

Направленное движение электрических зарядов называют электрическим током. Электрический ток может возникать в замкнутой электрической цепи. Электрический ток, направление и величина которого не изменны, называют постоянным током и обозначают прописной буквой I .

Электрический ток, величина и направление которого не остаются постоянными, называется переменным током. Значение переменного тока в рассматриваемый момент времени называют мгновенным и обозначают строчной буквой i .

Для работы электрической цепи необходимо наличие источников энергии. В любом источнике за счет сторонних сил неэлектрического происхождения создается электродвижущая сила. На зажимах источника возникает разность потенциалов или напряжение, под воздействием которого во внешней, присоединенной к источнику части цепи, возникает электрический ток. Различают активные и пассивные цепи, участки и элементы цепей. Активными называют электрические цепи, содержащие источники энергии, пассивными - электрические цепи, не содержащие источников энергии.

Линейная электрическая цепь - это такая цепь, в которой ни один параметр цепи не зависит от величины или направления тока, или напряжения.

Нелинейная электрическая цепь - это такая электрическая цепь, которая содержит хотя бы один нелинейный элемент. Параметры нелинейных элементов зависят от величины или направления тока, или напряжения.

Электрическая схема - это графическое изображение электрической цепи, включающее в себя условные обозначения устройств и показывающее соединение этих устройств.

Для облегчения анализа электрическую цепь заменяют схемой замещения.

Схема замещения - это графическое изображение электрической цепи с помощью идеальных элементов, параметрами которых являются параметры замещаемых элементов.

Тема 2. Линейные электрические цепи

Источники электрической энергии относятся к группе активных элементов электротехнических устройств. Если $R_0 = 0$ и электродвижущая сила (ЭДС) $E = const$, то источник называется идеальным. Внутреннее сопротивление источника тока $R_{вн}$ во много раз больше сопротивления нагрузки. Аккумуляторная батарея по своим параметрам близка к идеальному источнику ЭДС. К группе пассивных элементов относятся: активное сопротивление R , индуктивность L , и ёмкость C .

В электротехнических устройствах одновременно протекают три энергетических процесса: в активном сопротивлении в соответствии с законом Джоуля - Ленца происходит преобразование электрической энергии в тепло: $p = u \cdot i = i^2 R = u^2 g$. Здесь p , i , u - мгновенные значения активной мощности, тока и напряжения в цепи, R , g - активное сопротивление и проводимость.

Мощность на активном сопротивлении всегда положительна.

1. Термин «сопротивление» применяется для условного обозначения элемента электрической цепи и для количественной оценки величины R . Сопротивление измеряется в Омах (Ом). Величина, обратная сопротивлению g , называется проводимостью и измеряется в Сименсах (См).

Величина R любого приемника, не остается постоянной при протекании по нему тока, а зависит от температуры окружающей среды, однако для практических расчетов величину R можно принимать постоянной. В этом случае зависимость напряжения на сопротивлении R от силы тока в нем (вольтамперная характеристика) будет линейной. Электрические цепи, в которые включены постоянные сопротивления, называют линейными.

2. Индуктивный элемент - это элемент, в котором электромагнитная энергия преобразуется в энергию магнитного поля. Потокосцепление самоиндукции катушки это произведение магнитного потока, пронизывающего один виток на число витков катушки. В СИ потокосцепление измеряется в веберах, индуктивность в генри. Зависимость потокосцепления от тока может быть линейной (L_K зависит от тока).

Мощность на индуктивности может быть как положительной, так и отрицательной.

3. Конденсатор. Накопление энергии в электрическом поле конденсатора $q = C \cdot u$, где q - заряд; u - напряжение; C - емкость конденсатора. Заряд измеряется в кулонах, емкость в фарадах.

Сопротивление R , индуктивность L и емкость C зависят от свойств самого элемента электрической цепи и свойств окружающей среды.

Соединения элементов R , L , C и источников электромагнитной энергии, образующие замкнутые пути для электрического тока называют электрической цепью, а их графическое представление - схемой электрической цепи.

В электрической цепи принято различать ветви, узлы и контуры. Участок электрической цепи, по которому проходит один и тот же ток называется ветвью. Замкнутый путь, образованный одной или несколькими ветвями, называется контуром, а любая замкнутая поверхность, охватывающая ветви электрической цепи называется узлом. На схеме узел изображается точкой.

Электрические цепи классифицируются: по роду тока (постоянный, переменный); по характеру элементов (линейные и нелинейные); по сложности (простые, сложные). Схемы электрических цепей бывают: монтажные, принципиальные, замещения и др.

Законы электрических цепей

1. Закон Ома: $U = IR$ или $I = U/R$. Определяет связь между током и напряжением на участке цепи с сопротивлением R .

2. Первый закон Кирхгофа - закон баланса токов в узле. Алгебраическая сумма токов i_k , в узле электрической цепи равна нулю.

$$\sum_1^n i_k = 0$$

Токи выходящие из узла считаются положительными, а входящие в узел – отрицательными.

3. Второй закон Кирхгофа – в любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжения.

$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{k=1}^k i_k R_k$$

4. Закон Джоуля - Ленца. Энергия, выделяемая на сопротивлении R при протекании по нему тока i , пропорциональна времени t и произведению квадрата силы тока на величину сопротивления: $W = i^2 R t$.

Режимы работы электрических цепей

Электрические цепи и их элементы могут работать в различных режимах, наиболее характерными из которых являются номинальный, согласованный, холостого хода (х.х.) и короткого замыкания (к.з.).

Номинальным режимом работы элемента электрической цепи называют режим, при котором он работает с номинальными параметрами, указанными в его паспортных данных.

Согласованным называют режим, при котором мощность, отдаваемая источником или потребляемая приемником, имеет максимальное значение. Такое значение получается при определенном соотношении (согласовании) параметров электрической цепи.

Под режимом х.х. понимается режим, при котором источник или приемник находятся под номинальным напряжением, но ток нагрузки по ним не протекает. Для двигателя это будет режим без механической нагрузки на валу.

Режимом к.з. называют режим, возникающий при соединении между собой металлической перемычкой нагрузочных зажимов источника или приемника.

В практической деятельности в основном применяются два рода тока – постоянный и переменный. Под постоянным понимают электрический ток, не меняющий своего направления.

Электрические цепи постоянного тока

Постоянный ток используется в процессе электролиза (гальванопластика - получение легко отделяющихся точных металлических копий, гальваностегия - нанесение металлических покрытий из одних металлов на изделия из других металлов), на электротранспорте (электропоезда, трамваи, троллейбусы, локомотивы), в осветительных приборах, в устройствах автоматики и вычислительной техники.

Следовательно, в установившемся режиме, в цепи постоянного тока остаются только источники ЭДС (активные элементы) и приемники - резисторы (пассивные элементы).

Простыми цепями постоянного тока называются цепи с одним источником ЭДС. Простые цепи могут содержать последовательное, параллельное и смешанное соединения приемников.

При параллельном соединении приемников напряжение на всех приемниках одинаково.

Смешанное соединение - комбинация первых двух соединений.

Сложной электрической цепью называется цепь, содержащая несколько источников

ЭДС.

Расчет таких цепей ведется на основании уравнений составленных по первому и второму законам Кирхгофа.

Электрические цепи переменного тока

Переменный ток, по сравнению с током постоянным получил гораздо большее распространение, как в промышленности, так и в быту. Это объясняется рядом причин:

- упрощается конструкция электродвигателей;
- а синхронные генераторы могут быть выполнены на значительно большие мощности и более высокие напряжения, чем генераторы постоянного тока;
- переменный ток позволяет легко изменять величину напряжения с помощью трансформаторов, что необходимо при передаче электроэнергии на большие расстояния.

Переменным называется ток, периодически меняющийся по величине и направлению и характеризующийся амплитудой, периодом, частотой и фазой.

Свободные процессы исследуются с целью определения устойчивости системы. В устойчивой системе процессы должны затухать. Принужденный и свободный режимы в сумме определяют процессы, которые называются переходными, т.е. осуществляется переход от одного установившегося режима к другому. При установившемся режиме ток и напряжение сохраняют в течение

ние длительного времени амплитудные значения. В цепях постоянного тока токи и напряжения остаются неизменными, а в цепях переменного тока остаются неизменными кривые изменения токов и напряжений.

В электрических цепях переменного тока наиболее часто используют синусоидальную форму, характеризующуюся тем, что все токи и напряжения являются синусоидальными функциями времени. В генераторах переменного тока получают ЭДС, изменяющуюся во времени по закону синуса, и тем самым обеспечивают наиболее выгодный эксплуатационный режим работы электрических установок. Кроме того, синусоидальная форма тока и напряжения позволяет производить точный расчет электрических цепей с использованием метода комплексных чисел и приближенный расчет на основе метода векторных диаграмм. При этом для расчета используются законы Ома и Кирхгофа, но записанные в векторной или комплексной форме.

В современной технике широко используют разнообразные по форме переменные токи и напряжения: синусоидальные, прямоугольные, треугольные и др. Значение тока, напряжения, ЭДС в любой момент времени t называется мгновенным значением и обозначается малыми строчными буквами, соответственно

$$i = i(t); u = u(t); e = e(t)$$

Токи, напряжения и ЭДС, мгновенные значения которых повторяются через равные промежутки времени, называют периодическими, а наименьший промежуток времени, через который эти повторения происходят, называют периодом T .

Если кривая изменения периодического тока описывается синусоидой, то ток называют синусоидальным. Если кривая отличается от синусоиды, то ток несинусоидальный.

В промышленных масштабах электрическая энергия производится, передается и расходуется потребителями в виде синусоидальных токов, напряжений и ЭДС,

При расчете и анализе электрических цепей применяют несколько способов представления синусоидальных электрических величин.

- Аналитический способ;
- Временная диаграмма;
- Графоаналитический способ;
- Аналитический метод с использованием комплексных чисел.

Индуктивность

Вокруг всякого проводника с током образуется магнитное поле, которое характеризуется вектором магнитной индукции \vec{B} и магнитным потоком Φ :

$$\Phi = \int_S \vec{B} \times d\vec{S}$$

Если поле образуют несколько (w) проводников с одинаковым током, то используют понятие потокосцепления ψ

$$\psi = w \Phi.$$

Отношение потокосцепления к току, который его создает называют индуктивностью катушки

$$L = \psi / i.$$

При изменении во времени потокосцепления согласно закону Фарадея возникает ЭДС самоиндукции

$$e_L = - d\psi / dt.$$

Эта ЭДС всегда препятствует изменению тока (закон Ленца). Поэтому, чтобы через проводники все время тек ток, необходимо к проводникам прикладывать компенсирующее напряжение

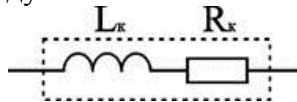
$$u_L = -e_L.$$

Условное обозначение индуктивности



Катушка с проводом кроме свойства создавать магнитное поле обладает активным сопротивлением R.

Условное обозначение реальной индуктивности.



Единицей измерения индуктивности является Генри (Гн). Часто используют дробные единицы

$$1 \text{ мкГн} = 10^{-6} \text{ Гн}; 1 \text{ нГн} = 10^{-9} \text{ Гн}.$$

Емкость

Все проводники с электрическим зарядом создают электрическое поле. Характеристикой этого поля является разность потенциалов (напряжение). Электрическую емкость определяют отношением заряда проводника к напряжению

$$C = Q / U_C.$$

С учетом соотношения

$$i = dQ / dt$$

получаем формулу связи тока с напряжением

$$i = C \cdot du_C / dt.$$

Для удобства ее интегрируют и получают

$$u_C = 1 / C \cdot \int i dt.$$

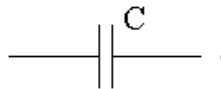
Это соотношение является аналогом закона Ома для емкости.

Конструктивно емкость выполняется в виде двух проводников разделенных слоем диэлектрика. Форма проводников может быть плоской, трубчатой, шарообразной и др.

Единицей измерения емкости является фарада:

$$1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл} / 1 \text{ В} = 1 \text{ Кулон} / 1 \text{ Вольт}.$$

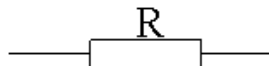
Условным обозначением емкости является символ



Сопротивления в цепи переменного тока

В цепях переменного тока выделяют следующие виды сопротивлений.

Активное. Активным называют сопротивление резистора. Условное обозначение



Единицей измерения сопротивления является Ом. Сопротивление резистора не зависит от частоты.

Реактивное. В разделе реактивные выделяют три вида сопротивлений: индуктивное x_L и емкостное x_C и собственно реактивное. Для индуктивного сопротивления выше была получена формула $X_L = \omega L$. Единицей измерения индуктивного сопротивления также является Ом. Величина x_L линейно зависит от частоты.

Для емкостного сопротивления выше была получена формула $X_C = 1 / \omega C$. Единицей измерения емкостного сопротивления является Ом. Величина x_C зависит от частоты по обратно-пропорциональному закону. Просто реактивным сопротивлением цепи называют величину $X = X_L - X_C$.

Полное сопротивление. Полным сопротивлением цепи называют величину

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

Из этого соотношения следует, что сопротивления Z, R и X образуют треугольник: Z – гипотенуза, R и X – катеты. Для удобства в этом треугольнике рассматривают угол ϕ , который определяют уравнением

$$\phi = \arctg((X_L - X_C) / R),$$

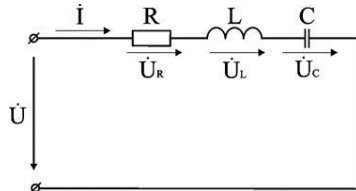
и называют углом сдвига фаз. С учетом него можно дать дополнительные связи

$$\begin{aligned} R &= Z \cos \varphi, \\ X &= Z \sin \varphi. \end{aligned}$$

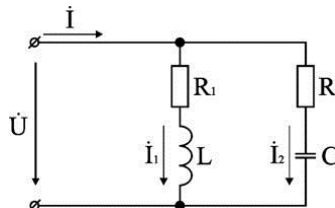
Мощности в цепях переменного тока

По аналогии с мощностью в цепях постоянного тока $P = U I$, в цепях переменного тока рассматривают мгновенную мощность $p = u i$.

Цепь с последовательным соединением элементов



Цепь с параллельным соединением элементов



Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме

Достоинство комплексного метода: при его применении в анализе цепей переменного тока можно применять все известные методы анализа постоянного тока.

Закон Ома

Под законом Ома в комплексной форме понимают:

$$\dot{I} = \dot{U} / \underline{Z}$$

$$\begin{cases} \dot{I} = I e^{j\varphi}, \\ \dot{U} = U e^{j\varphi_u} \end{cases} \Rightarrow \underline{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{U}{I} e^{j(\varphi_u - \varphi)} = z e^{\pm j\varphi} = z \cos \varphi \pm j z \sin \varphi = r \pm jx.$$

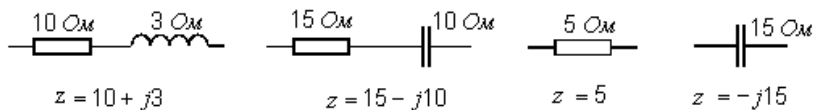
Комплексное сопротивление участка цепи представляет собой комплексное число, вещественная часть которого соответствует величине активного сопротивления, а коэффициент при мнимой части – реактивному сопротивлению.

По виду записи комплексного сопротивления можно судить о характере участка цепи:

$R + j X$ — активно-индуктивное сопротивление;

$R - j X$ — активно-емкостное.

Примеры.



Первый закон Кирхгофа в комплексной форме

Алгебраическая сумма комплексных действующих значений токов в узле равна нулю.

$$\sum_{k=1}^n \dot{I}_k = 0.$$

Второй закон Кирхгофа в комплексной форме

В замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма комплексных действующих значений ЭДС равна алгебраической сумме комплексных падений напряжений в нём.

$$\sum_{k=1}^n \dot{E}_k = \sum_{k=1}^n \dot{I}_k z_k$$

При использовании символического метода можно пользоваться понятиями мощностей. Но в комплексной форме можно записать только полную мощность:

$$\tilde{S} = \dot{U} \cdot \dot{I} = U \cdot I \cdot e^{j(\varphi_u + \varphi_i)} = U \cdot I \cdot e^{\pm j\varphi} = S \cdot e^{\pm j\varphi},$$

где \dot{I} — комплексно-сопряженный ток

$$S \cos \varphi \pm j S \sin \varphi = P \pm j Q.$$

Полная мощность в комплексной форме представляет собой комплексное число, вещественная часть которого соответствует активной мощности рассматриваемого участка, а коэффициент при мнимой части – реактивной мощности участка. Значение знака перед мнимой частью: “+” означает, что напряжение опережает ток, нагрузка – активно-индуктивная; “-” означает, что нагрузка - активно-емкостная.

Тема 3. Нелинейные электрические цепи. Магнитные цепи

Нелинейными называются цепи, в состав которых входит хотя бы один нелинейный элемент. Нелинейными называются элементы, параметры которых зависят от величины и (или) направления связанных с этими элементами переменных (напряжения, тока, магнитного потока, заряда, температуры, светового потока и др.). Нелинейные элементы описываются нелинейными характеристиками, которые не имеют строгого аналитического выражения, определяются экспериментально и задаются таблично или графиками.

Нелинейные элементы можно разделить на двух – и многополюсные. Последние содержат три (различные полупроводниковые и электронные триоды) и более (магнитные усилители, многообмоточные трансформаторы, тетроды, пентоды и др.) полюсов, с помощью которых они подсоединяются к электрической цепи. Характерной особенностью многополюсных элементов является то, что в общем случае их свойства определяются семейством характеристик, представляющих зависимости выходных характеристик от входных переменных и наоборот: входные характеристики строят для ряда фиксированных значений одного из выходных параметров, выходные – для ряда фиксированных значений одного из входных.

По другому признаку классификации нелинейные элементы можно разделить на инерционные и безынерционные. Инерционными называются элементы, характеристики которых зависят от скорости изменения переменных. Для таких элементов статические характеристики, определяющие зависимость между действующими значениями переменных, отличаются от динамических характеристик, устанавливающих взаимосвязь между мгновенными значениями переменных. Безынерционными называются элементы, характеристики которых не зависят от скорости изменения переменных. Для таких элементов статические и динамические характеристики совпадают.

Понятия инерционных и безынерционных элементов относительны: элемент может рассматриваться как безынерционный в допустимом (ограниченном сверху) диапазоне частот, при выходе за пределы которого он переходит в разряд инерционных.

В зависимости от вида характеристик различают нелинейные элементы с симметричными и несимметричными характеристиками. Симметричной называется характеристика, не зависящая от направления определяющих ее величин, т.е. имеющая симметрию относительно начала системы координат: $f(x) = -f(-x)$. Для несимметричной характеристики это условие не выполняется, т.е. $f(x) \neq -f(-x)$. Наличие у нелинейного элемента симметричной характеристики позволяет в целом ряде случаев упростить анализ схемы, осуществляя его в пределах одного квадранта.

По типу характеристики можно также разделить все нелинейные элементы на элементы с однозначной и неоднозначной характеристиками. Однозначной называется характеристика $y = f(x)$, у которой каждому значению x соответствует единственное значение y и наоборот. В случае неоднозначной характеристики каким-то значениям x может соответствовать два или более значения y или наоборот. У нелинейных резисторов неоднозначность характеристики обычно связана с наличием падающего участка, для которого $du/di < 0$, а у нелинейных индуктивных и емкостных элементов – с гистерезисом.

Наконец, все нелинейные элементы можно разделить на управляемые и неуправляемые. В отличие от неуправляемых управляемые нелинейные элементы (обычно трех- и многополюсники) содержат управляющие каналы, изменяя напряжение, ток, световой поток и др. в которых, изменяют их основные характеристики: вольт-амперную, вебер-амперную или кулон-вольтную.

Для построения многих функциональных узлов аппаратуры связи используется большой класс нелинейных двухполюсных полупроводниковых и электронных приборов, называемых диодами. Единственной электрической характеристикой диода является его вольт-амперная характеристика (ВАХ) - зависимость постоянного тока в диоде от постоянного напряжения на его зажимах $i = F(u)$ при согласном выборе положительных направлений напряжения и тока. Отличительные особенности вольт-амперных характеристик некоторых типов диодов различного назначения и их условные (схемные) обозначения приведены на рис. 10.1. Это характеристики полупроводниковых приборов: выпрямительного диода, стабилитрона, туннельного диода и динистора. Некоторые из нелинейных резисторов относятся к числу управляемых нелинейных элементов. Управляющей величиной может быть, например, внешняя температура, давление или освещенность. Свойства таких резисторов определяются не одной, а семейством ВАХ, каждая из которых соответствует различным значениям управляющей величины.

Транзисторы, электронные лампы, тиристоры и некоторые другие полупроводниковые и электронные приборы могут рассматриваться как нелинейные резистивные четырехполюсники.

Методы расчета нелинейных электрических цепей постоянного тока

Электрическое состояние нелинейных цепей описывается на основании законов Кирхгофа, которые имеют общий характер. При этом следует помнить, что для нелинейных цепей принцип наложения неприменим. В этой связи методы расчета, разработанные для линейных схем на основе законов Кирхгофа и принципа наложения, в общем случае не распространяются на нелинейные цепи.

Общих методов расчета нелинейных цепей не существует. Известные приемы и способы имеют различные возможности и области применения. В общем случае при анализе нелинейной цепи описывающая ее система нелинейных уравнений может быть решена следующими методами:

- графическими;
- аналитическими;
- графо-аналитическими;
- итерационными.

Графические методы расчета

При использовании этих методов задача решается путем графических построений на плоскости. При этом характеристики всех ветвей цепи следует записать в функции одного общего аргумента. Благодаря этому система уравнений сводится к одному нелинейному уравнению с одним неизвестным. Формально при расчете различают цепи с последовательным, параллельным и смешанным соединениями.

а) Цепи с последовательным соединением резистивных элементов.

При последовательном соединении нелинейных резисторов в качестве общего аргумента принимается ток, протекающий через последовательно соединенные элементы. Расчет проводится в следующей последовательности. По заданным ВАХ $U_i(I)$ отдельных резисторов в системе декартовых координат $U-I$ строится результирующая зависимость $U(I) = \sum U_i(I)$. Затем на оси напряжений откладывается точка, соответствующая в выбранном масштабе заданной величине напряжения на входе цепи, из которой восстанавливается перпендикуляр до пересечения с зависимостью $U(I)$. Из точки пересечения перпендикуляра с кривой $U(I)$ опускается ортогональ на ось токов – полученная точка соответствует искомому току в цепи, по найденному значению которого с использованием зависимостей $U_i(I)$ определяются напряжения U_i на отдельных резистивных элементах.

Использование данного метода наиболее рационально при последовательном соединении линейного и нелинейного резисторов. В этом случае линейный резистор принимается за внутреннее сопротивление источника, и линейная ВАХ последнего строится по двум точкам.

б) Цепи с параллельным соединением резистивных элементов.

При параллельном соединении нелинейных резисторов в качестве общего аргумента принимается напряжение, приложенное к параллельно соединенным элементам. Расчет проводится в

следующей последовательности. По заданным ВАХ $I_i(U)$ отдельных резисторов в системе декартовых координат $U-I$ строится результирующая зависимость $I(U) = \sum I_i(U)$. Затем на оси токов откладывается точка, соответствующая в выбранном масштабе заданной величине тока источника на входе цепи (при наличии на входе цепи источника напряжения задача решается сразу путем восстановления перпендикуляра из точки, соответствующей заданному напряжению источника, до пересечения с ВАХ $I_i(U)$), из которой восстанавливается перпендикуляр до пересечения с зависимостью $I(U)$. Из точки пересечения перпендикуляра с кривой $I(U)$ опускается ортогональ на ось напряжений – полученная точка соответствует напряжению на нелинейных резисторах, по найденному значению которого с использованием зависимостей $I_i(U)$ определяются токи I_i в ветвях с отдельными резистивными элементами.

Магнитное поле и его параметры

Направление магнитных линий и направление создающего их тока связаны между собой известным правилом правоходного винта (буравчика).

Основной величиной, характеризующей интенсивность и направление магнитного поля является – вектор магнитной индукции \vec{B} , которая измеряется в Теслах [Тл].

Магнитные цепи

Всякий электромагнит состоит из стального сердечника – магнитопровода и намотанной на него катушки с витками изолированной проволоки, по которой проходит электрический ток.

Совокупность нескольких участков: ферромагнитных (сталь) и неферромагнитных (воздух), по которым замыкаются линии магнитного потока, составляют магнитную цепь.

Закон полного тока

В основе расчета магнитных цепей лежит закон полного тока: ток I_k , пронизывающий контур L считается положительным, если принятое направление обхода контура и направление этого тока связаны правилом правоходного винта (буравчика).

Закон Ома для магнитной цепи. Линейные и нелинейные магнитные сопротивления

В кольцевом магнитопроводе с равномерной обмоткой все поле концентрируется внутри кольца.

Магнитный поток Φ зависит от произведения $IW = F$, которое получило название магнитодвижущей силы (МДС).

Величину $L / (\mu_a S) = R_m$ – принято назвать магнитным сопротивлением магнитопровода (по аналогии с электрическим сопротивлением $r = L / \gamma S$).

Магнитное сопротивление воздуха (зазоров) линейное, т.к. $\mu_a = \mu_0 = \text{const}$. Магнитное сопротивление сердечника нелинейно – μ_a зависит от B .

Если намагничивающую силу F , уподобить действию ЭДС, будет получено соотношение, похожее на выражение закона Ома для цепи постоянного тока. В связи с этим формулу

$$\Phi = \mu_a S \frac{IW}{L} = \frac{IW}{\frac{L}{\mu_a S}} = \frac{F}{R_m}$$

принято назвать законом Ома для магнитной цепи. Следует оговориться, что эта аналогия – формальная, а физическая сущность процессов в электрических и магнитных цепях различна.

Расчет неразветвленной магнитной цепи

Формула, выражающая закон полного тока магнитной цепи, была получена для кольцевого магнитопровода постоянного поперечного сечения и с равномерно распределенной обмоткой. Эту формулу распространяют и на магнитные цепи, где намагничивающая обмотка сосредоточена на ограниченном участке магнитопровода, а отдельные участки цепи выполнены из различных ферромагнитных и неферромагнитных материалов и имеют различное поперечное сечение.

В приближенных расчетах магнитных цепей принимают, что магнитный поток на всех участках цепи остается одним и тем же, хотя на самом деле в магнитной цепи образуются также потоки рассеяния Φ_p , которые замыкаются по воздуху, а не следуют по пути магнитопровода.

В расчетах магнитных цепей различают прямую и обратную задачи.

Прямая задача

Задано: 1) геометрические размеры магнитной цепи; 2) характеристика $B = f(H)$ (кривая намагничивания) ферромагнитных материалов, из которых выполнена магнитная цепь; 3) магнитный поток Φ , который надо создать в магнитной цепи. Требуется найти намагничивающую силу обмотки $F = IW$.

1. Магнитная цепь разбивается на ряд участков с одинаковым поперечным сечением S , выполненном из однородного материала.

2. Намечается путь прохождения средней магнитной линии.

3. Т.к. магнитный поток на всех участках цепи остается постоянным, то магнитная индукция $B = \Phi / S$ на каждом из участков и напряженность магнитного поля H неизменны. Это позволяет сравнительно просто определить значение $\int H dL$ для контура, образованного средней магнитной линией, а следовательно, найти искомую величину намагничивающей силы, поскольку $F = \int H dL$.

Запишем интеграл $\int H dL$ в виде суммы интегралов с границами интегрирования, совпадающими с началом и концом каждого участка цепи. Тогда

$$\int H dL = \int_a^b H_1 dL + \int_b^c H_2 dL + \int_c^a H_3 dL = H_1 L_1 + H_2 L_2 + H_{\text{воз}} \delta = IW$$

где: L_1 и L_2 – длины ферромагнитных участков цепи [м].
 δ – ширина воздушного зазора, [м].

4. Значения H_1 и H_2 определяют по известным величинам магнитной индукции B с помощью кривых намагничивания, соответствующих ферромагнитных материалов.

А для воздушного зазора

$$H_{\text{воз}} = \frac{B_{\text{воз}}}{\mu_0} = \frac{B_{\text{воз}}}{4\pi \times 10^{-7}} = 8 \times 10^5 B_{\text{воз}} \text{ А/м.}$$

Обратная задача

Задано:

1. Геометрические размеры магнитной цепи;
 2. Характеристики ферромагнитных материалов;
 3. Намагничивающая сила обмотки F .
- Требуется определить магнитный поток Φ .

$$\Phi = \mu_0 S \frac{IW}{L} = \frac{IW}{\frac{L}{\mu_0 S}} = \frac{F}{R_m}$$

Непосредственное использование формулы для определения магнитного потока Φ оказывается невозможным, поскольку магнитное сопротивление цепи переменное и само зависит от величины магнитного потока. Такие задачи решаются методом последовательного приближения в следующем порядке. Задаются рядом произвольных значений магнитного потока в цепи и для каждого из этих значений определяют необходимую намагничивающую силу обмотки так, как это делается при решении прямой задачи.

По полученным данным строят кривую $\Phi(F)$ – вебер-амперную характеристику. Имея эту зависимость, нетрудно для заданного значения намагничивающей силы найти величину магнитного потока.

Для оценки необходимого значения Φ можно пренебречь сопротивлением ферромагнитного участка и посчитать поток, который получится под действием намагничивающей силы F при сопротивлении воздушного участка. Это значение Φ заведомо больше расчетного.

Остальные значения можно давать меньше.

$$\Phi = \frac{F}{R_{\text{воз}}} = \frac{F}{\frac{L}{\mu_0 S}}$$

Тема 4. Электромагнитные устройства и электрические машины

Принцип действия электромагнитных устройств и электрических машин основан на явлении электромагнитной индукции. Явление электромагнитной индукции возникает при изменении магнитного потока, связанного с обмотками машины. Это изменение может происходить или при

перемещении обмоток в магнитном поле, или вследствие изменения во времени величины связанного с ними потока, или обоими этими способами.

По роду тока электрические машины и электромагнитные устройства разделяются на машины и устройства постоянного и переменного тока.

Машины постоянного тока используются как генераторы и двигатели, электромашинные усилители и преобразователи напряжения постоянного тока. Двигатели постоянного тока обычно предназначаются для электроприводов, требующих широкого диапазона регулирования скорости вращения. Двигатели малой мощности часто применяются в системах автоматического регулирования в качестве исполнительных двигателей.

К машинам переменного тока относятся синхронные и асинхронные машины, трансформаторы и преобразователи переменного тока.

Синхронные машины используются как генераторы переменного тока, синхронные двигатели разных мощностей и компенсаторы реактивной мощности. Большое распространение получили синхронные двигатели малых мощностей в системах автоматического регулирования, требующих постоянной скорости вращения.

Асинхронные машины используются преимущественно как двигатели. Они просты в изготовлении, относительно дешевы и надежны в эксплуатации. Поэтому асинхронные двигатели по сравнению с двигателями других типов, получили наибольшее распространение. В электроприводах средней и большой мощности применяются трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, у которых скорость вращения практически не изменяется. У двигателей с фазным ротором можно плавно регулировать скорость вращения. В бытовой технике и в схемах автоматики используются асинхронные исполнительные двигатели, имеющие двухфазную обмотку на статоре и запитываемые от однофазной сети.

Трансформатором называют статическое электромагнитное устройство, имеющее две или большее число индуктивно-связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной (первичной) системы переменного тока в другую (вторичную) систему переменного тока. Трансформаторы широко используются в промышленности и быту для различных целей.

1. Для передачи и распределения электрической энергии.

Обычно на электростанциях генераторы переменного тока вырабатывают электрическую энергию при напряжении 6-24 кВ, а передавать электроэнергию на дальние расстояния выгодно при значительно больших напряжениях (110, 220, 330, 400, 500, и 750 кВ). Поэтому на каждой электростанции устанавливают трансформаторы, осуществляющие повышение напряжения.

Распределение электрической энергии между промышленными предприятиями, населёнными пунктами, в городах и сельских местностях, а также внутри промышленных предприятий производится по воздушным и кабельным линиям, при напряжении 220, 110, 35, 20, 10 и 6 кВ. Следовательно, во всех распределительных узлах должны быть установлены трансформаторы, понижающие напряжение до величины 220, 380 и 660 В.

2. Для обеспечения нужной схемы включения вентилях в преобразовательных устройствах и согласования напряжения на выходе и входе преобразователя. Трансформаторы, применяемые для этих целей, называются преобразовательными.

3. Для различных технологических целей: сварки (сварочные трансформаторы), питания электротермических установок (электродуховые трансформаторы) и др.

4. Для питания различных цепей радиоаппаратуры, электронной аппаратуры, устройств связи и автоматики, электробытовых приборов, для разделения электрических цепей различных элементов указанных устройств, для согласования напряжения и пр.

5. Для включения электроизмерительных приборов и некоторых аппаратов (реле и др.) в электрические цепи высокого напряжения или же в цепи, по которым проходят большие токи, с целью расширения пределов измерения и обеспечения электробезопасности. Трансформаторы, применяемые для этих целей, называются измерительными.

Классификацию трансформаторов можно произвести по нескольким признакам:

1. По назначению трансформаторы разделяют на силовые общего и специального применения. Силовые трансформаторы общего применения используются в линиях передачи и распределения электроэнергии. Для режима их работы характерна частота переменного тока 50 Гц и очень малые отклонения первичного и вторичного напряжений от номинальных значений. К трансформаторам специального назначения относятся силовые специальные (печные, выпрямительные, сварочные, радиотрансформаторы), измерительные и испытательные трансформаторы, трансформаторы для преобразования числа фаз, формы кривой ЭДС, частоты и т.д.

2. По виду охлаждения – с воздушным (сухие трансформаторы) и масляным (масляные трансформаторы) охлаждением.

3. По числу фаз на первичной стороне – однофазные и трёхфазные.

4. По форме магнитопровода – стержневые, броневые, тороидальные.

5. По числу обмоток на фазу – двухобмоточные, трёхобмоточные, многообмоточные (более трёх обмоток).

6. По конструкции обмоток – с concentрическими и чередующимися (дисковыми) обмотками.

Принцип действия трансформатора

Электромагнитная схема однофазного двухобмоточного трансформатора состоит из двух обмоток, размещенных на замкнутом магнитопроводе, который выполнен из ферромагнитного материала. Применение ферромагнитного магнитопровода позволяет усилить электромагнитную связь между обмотками, т.е. уменьшить магнитное сопротивление контура, по которому проходит магнитный поток трансформатора. Первичную обмотку подключают к источнику переменного тока – электрической сети с напряжением сети u_1 . К вторичной обмотке присоединяют сопротивление нагрузки Z_n .

Обмотку более высокого напряжения называют обмоткой высшего напряжения (ВН), а низкого напряжения – обмоткой низшего напряжения (НН). Начала и концы обмотки ВН обозначают буквами А и Х; обмотки НН – буквами а и х.

При подключении к сети в первичной обмотке возникает переменный ток i_1 , который создаёт переменный магнитный поток Φ , замыкающийся по магнитопроводу. Поток Φ индуцирует в обеих обмотках переменные ЭДС – e_1 и e_2 пропорциональные, согласно закону Максвелла, числам витков w_1 и w_2 соответствующей обмотки и скорости изменения потока $d\Phi/dt$.

В системах передачи и распределения энергии в ряде случаев применяют трёхобмоточные трансформаторы, а в устройствах радиоэлектроники и автоматики – многообмоточные трансформаторы. В таких трансформаторах на магнитопроводе размещают три или большее число изолированных друг от друга обмоток, что даёт возможность при питании одной из обмоток получать два или большее число различных напряжений (U_2 , U_3 , U_4 и т.д.) для электроснабжения двух или большего числа групп потребителей. В трёхобмоточных силовых трансформаторах различают обмотки высшего, низшего и среднего (СН) напряжения.

В трансформаторе преобразуются только напряжения и токи. Мощность же остаётся приблизительно постоянной (она несколько уменьшается из-за внутренних потерь энергии в трансформаторе).

Трансформатор может работать только в цепях переменного тока. Если первичную обмотку трансформатора подключить к источнику постоянного тока, то в его магнитопроводе образуется магнитный поток, постоянный во времени по величине и направлению. Поэтому в первичной и вторичной обмотках в установившемся режиме не индуцируются ЭДС, а, следовательно, не передаётся электрическая энергия из первичной цепи во вторичную. Такой режим опасен для трансформатора, так как из-за отсутствия ЭДС E_1 в первичной обмотке ток $I_1 = U_1 / R_1$ весьма большой.

Важным свойством трансформатора, используемым в устройствах автоматики и радиоэлектроники, является способность его преобразовывать сопротивление нагрузки.

Силовые трансформаторы - наиболее распространенный тип трансформаторов. Они предназначены для изменения энергии переменного тока в электросетях энергосистем, в сетях освещения или питания электрооборудования. Применяются для создания комплектных транс-

форматорных подстанций. Классифицируются по количеству фаз и номинальному напряжению. Наиболее известные низковольтные однофазные и трехфазные трансформаторы серии ТП и ОСМ.

Измерительные трансформаторы - электротехнические устройства, предназначенные для изменения уровня напряжения с высокой точностью трансформации. Классифицируются по назначению, изменению уровня напряжения или тока.

Трехфазные трансформаторы. Трехфазные сети широко распространены в энергетике и используются для производства и передачи электрической энергии, представляют собой систему из трёх источников переменного тока, ЭДС которых сдвинуты друг относительно друга на угол 120° .

Трансформирование трехфазного тока можно осуществить тремя однофазными трансформаторами, соединенными в трансформаторную группу (так называемый групповой трансформатор) или трёхфазным трансформатором. Обмотки первичной и вторичной цепей соединяются одним из способов: "звезда" - Y, "треугольник" - Δ , "зигзаг" - Z.

Обмотки трехфазных трансформаторов принято соединять по следующим схемам: звезда; звезда с нулевым выводом; треугольник; зигзаг с нулевым выводом. Схемы соединения обмоток трансформатора обозначают дробью, в числителе которой указана схема соединения обмоток ВН (высшего напряжения), а в знаменателе - обмоток НН (низшего напряжения).

Машины постоянного тока представляют собой возвратную электрическую машину, в которых происходит процесс преобразования энергии. В машинах, где механическая энергия преобразуется в электрическую, называются генераторами. Они предназначены для выработки электроэнергии. Для работы необходимо наличие какого-либо двигателя (дизеля, паровой или водяной турбины), который будет вращать вал генератора.

Обратное преобразование энергий происходит в электродвигателях. Они приводят в движение колесные пары локомотивов, вращают валы вентиляторов и т.д. Для работы необходимо подсоединение электродвигателя с источником электроэнергии посредством проводов.

Принцип работы электрических машин постоянного тока основан на использовании явления электромагнитной индукции, а также законов, которые определяют взаимодействие электрических токов и магнитных полей.

Эти машины включают в себя неподвижную и вращающуюся части. В конструкцию неподвижной части, или статора входят станина, главные и дополнительные полюса, подшипниковые щиты и щеточная траверса с графитовыми или медно-графитовыми щетками.

Вращающаяся часть, или ротор, в электрических машинах постоянного тока именуется якорем. Якорь, снабженный коллектором, в электродвигателях играет роль преобразователя частоты, а в генераторах – выпрямителя.

Конструктивное выполнение машины. Основными частями машины постоянного тока являются: остов (станина), полюсы, якорь, щеточный аппарат и некоторые вспомогательные детали, служащие для конструктивного оформления машины. Электрические машины общего применения обычно имеют цилиндрическую форму и снабжены приливами для установки на фундамент или фланцами для крепления.

Тяговые электрические машины имеют те же основные части, но их конструкция приспособлена к особенностям установки этих машин на локомотивах. Например, тяговые двигатели электровозов, тепловозов и электропоездов устанавливаются на тележках экипажной части локомотива, поэтому в их конструкции предусматривают специальные элементы для монтажа двигателя на тележке и передачи его вращающего момента на движущую колесную пару.

Магнитная индукция зависит от э.д.с. машины или от напряжения, а частота перемагничивания - от скорости вращения якоря. Поэтому при работе машины постоянного тока в режиме генератора или двигателя потери в стали будут постоянными, не зависящими от нагрузки, если напряжение на зажимах якоря и скорость его вращения постоянны.

- потери энергии на нагревание проводов обмоток возбуждения и якоря протекающими по ним токами, называемые потерями в меди.

- потери в обмотке якоря и в щеточных контактах зависят от тока в якоря, т.е. являются переменными - меняются при изменениях нагрузки.

- механические потери, представляющие собой потери энергии на трение в подшипниках, трение вращающихся частей о воздух и щеток о коллектор. Эти потери зависят от скорости вращения якоря машины. Поэтому механические потери также являются постоянными, не зависящими от нагрузки.

К.П.Д. машины в процентах представляет собой отношение полезной мощности к потребляемой машиной мощности умноженное на 100%.

Машины переменного тока бывают двух видов. Это синхронные машины и асинхронные. У синхронных машин скорость вращения ротора строго зависит от частоты переменного тока. Можно сказать скорость вращения «синхронна» с частотой тока. У асинхронных машин частота вращения в общем случае зависит от нагрузки на валу, а не от частоты питающего тока.

Синхронной машиной переменного тока называют такую машину, в которой: основное магнитное поле то есть поле статора создается постоянным током. В частном случае это может быть даже постоянный магнит. А вращение ротора происходит с частотой изменения тока.

Синхронные машины по большей части применяются в качестве электродвигателей и генераторов переменного тока. Преобразователи частоты из них, как правило, не делают. Основным достоинством синхронной электрической машины является то, что в ней легко регулировать скорость вращения вала. Поэтому их часто применяют в системах автоматики.

Асинхронная машина - это машина, в которой основное магнитное поле статора создаётся переменным электрическим током. А скорость вращения вала не связана жёсткой зависимостью с частотой питающего тока. Асинхронные машины делятся на коллекторные и без коллекторные. Коллекторные машины применяются крайне редко так как они более дороги в производстве, а надежность их ниже. Асинхронные электрические машины чаще всего используются в качестве электродвигателей.

Кроме деления на синхронные и асинхронные электрические машины еще делятся по назначению. Это могут быть генераторы. То есть такая машина, которая преобразует механическую энергию вращения в переменный электрический ток. Машина, которая преобразует электрическую энергию в механическую называется двигателем. Также существует еще один класс электрических машин. Они преобразуют электрическую энергию, тоже в электрическую, но другой частоты или напряжения.

Устройство синхронного генератора. Статор имеет общий принцип действия с асинхронником, собирается из пластин электротехнической стали, разделённых изолирующими слоями. В пазах размещается обмотка переменного тока. Наиболее распространён трёхфазный синхронный генератор. Провода обмоток надёжно крепятся и изолируются, поскольку через них подключается нагрузка.

СГ может работать в режимах двигателя или генератора переменного тока. Важно, какой здесь применяется способ охлаждения. Обычно на валу устанавливаются крыльчатки, охлаждающие ротор с обеих сторон. Воздух перед вентиляцией проходит через фильтр. В замкнутой системе циркулирует один и тот же воздух, проходя через теплообменники. Обмотки генератора переменного тока выводятся концами на его распределительную коробку. Для трёхфазных – соединение производится в звезду или в треугольник. Синхронный генератор преимущественно обеспечивает поддержание синусоидального переменного напряжения. Это достигается изменением формы полюсных наконечников, а неявнополюсный ротор имеет определённое расположение витков в его пазах. При активной нагрузке ток и ЭДС совпадают по фазам. Он становится максимальным, если полюса ротора располагаются напротив якорных обмоток. Основной магнитный поток и образующийся от реакции якоря перпендикулярны и при наложении образуют несколько больший результирующий поток, увеличивающий ЭДС. Индуктивная нагрузка приводит к снижению ЭДС, поскольку потоки направлены встречно.

Генераторы отличаются способами возбуждения. В автономных установках на транспорте, в авиации, на судах применяется самовозбуждение за счёт остаточного намагничивания. Способ

отличается надёжностью и удобством применения. Распространённым вариантом здесь является отбор энергии от статорной обмотки, которая проходит через понижающий трансформатор и полупроводниковый преобразователь ПП, в результате чего на обмотку возбуждения через коллектор поступает постоянный ток.

Другая схема реализует самовозбуждение также путём подачи переменного тока со статорной обмотки через выпрямительный трансформатор ВТ и тиристор ТП в обмотку возбуждения ОВ. Тиристором автоматически управляет регулятор возбуждения АРВ по сигналам от входа генератора СГ через трансформаторы напряжения ТН и тока ТТ. Блок защиты БЗ не допускает образования на обмотке возбуждения повышенного напряжения и перегрузочного тока. Другая конструкция содержит дополнительную синхронную или асинхронную машину с возбуждением от статорных обмоток. При этом ротор основного генератора имеет общий вал с якорными обмотками возбуждения ОВ1 и ОВ2 дополнительного подвозбудителя ПВ. Ток возбуждения регулируется реостатами r_1 и r_2 . Устройство не уступает по быстродействию установкам с самовозбуждением, но конструкция у него более сложная, а габариты больше.

Применяется также бесконтактная система возбуждения, где у СГ нет подвижных контактов для передачи энергии.

Асинхронные машины. В настоящее время асинхронные машины используются в основном в режиме двигателя. Машины мощностью больше 0,5 кВт обычно выполняются трёхфазными, а при меньшей мощности – однофазными.

За прошедшие годы асинхронные двигатели нашли очень широкое применение в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Их используют в электроприводе металло-режущих станков, подъёмно-транспортных машин, транспортёров, насосов, вентиляторов. Мало-мощные двигатели используются в устройствах автоматики.

Широкое применение асинхронных двигателей объясняется их достоинствами по сравнению с другими двигателями: высокая надёжность, возможность работы непосредственно от сети переменного тока, простота обслуживания.

Устройство трёхфазной асинхронной машины. Неподвижная часть машины называется статор, подвижная – ротор. Сердечник статора набирается из листовой электротехнической стали и запрессовывается в станину. Обмотка статора состоит из трёх отдельных частей, называемых фазами. Начала фаз обозначаются буквами c_1, c_2, c_3 , концы – c_4, c_5, c_6 .

Начала и концы фаз выведены на клеммник, закреплённый на станине. Обмотка статора может быть соединена по схеме звезда или треугольник. Выбор схемы соединения обмотки статора зависит от линейного напряжения сети и паспортных данных двигателя. В паспорте трёхфазного двигателя задаются линейные напряжения сети и схема соединения обмотки статора. Основное назначение обмотки статора – создание в машине вращающего магнитного поля.

Сердечник ротора набирается из листов электротехнической стали, на внешней стороне которых имеются пазы, в которые закладывается обмотка ротора. Обмотка ротора бывает двух видов: короткозамкнутая и фазная. Соответственно этому асинхронные двигатели бывают с короткозамкнутым ротором и фазным ротором (с контактными кольцами).

Механическая характеристика асинхронного двигателя

Под механической характеристикой принято понимать зависимость частоты вращения ротора в функции от электромагнитного момента $n = f(M)$. Эту характеристику можно получить, используя зависимость $M = f(S)$ и пересчитав частоту вращения ротора при разных значениях скольжения. Асинхронные двигатели имеют жесткую механическую характеристику, т.к. частота вращения ротора мало зависит от нагрузки на валу. Это одно из достоинств этих двигателей.

Синхронные компенсаторы (СК) используют для генерирования в электросеть реактивной мощности с целью повышения общего коэффициента мощности, стабилизации стандартного уровня напряжения в местах большого сосредоточения потребительских нагрузок, снижения потерь электроэнергии и общей оптимизации работы энергетических систем.

Конструктивно компенсатор представляют собой электродвигатель синхронного типа облегченной конструкции, функционирующий в двигательном режиме без активной нагрузки, другими словами - на холостом ходу, исключительно на выработку реактивной энергии. Поэтому компенсаторы, устанавливаемые на питающих подстанциях, часто называют генераторами реактивной мощности. К числу наиболее мощных приемников реактивной мощности относят асинхронные электродвигатели, являющиеся приводом многих подвижных устройств.

Тема 5. Электронные устройства

Электроника – это область науки, техники и производства, охватывающая исследование, разработку и изготовление электронных приборов и устройств, а также принципов их использования. В электронных приборах (электронных лампах, транзисторах и т.д.) и устройствах на их основе происходит взаимодействие электронов с электромагнитными полями. Эффекты этого взаимодействия выражающиеся, в частности, в изменениях электрических токов и напряжений, используются для генерации и преобразования электрических сигналов.

В настоящее время создано большое количество самых разнообразных электронных приборов и устройств. При практическом использовании они соединяются между собой с помощью электрических цепей. В простейших случаях цепи состоят из проводов, металлических дорожек на печатных платах, кабелей и пассивных компонентов: резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности. Совокупность электронных приборов, соединенных между собой электрическими цепями, будем называть электронной цепью или устройством, а ее условное графическое изображение на рисунке – электронной схемой.

Действие полупроводниковых приборов основано на использовании свойств полупроводников. Полупроводники занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. К полупроводникам относятся элементы IV группы периодической системы элементов Д.И. Менделеева, которые на внешней оболочке имеют четыре валентных электрона. Типичные полупроводники - Ge (германий) и Si (кремний).

Чистые полупроводники кристаллизуются в виде решетки. Каждая валентная связь содержит два электрона, оболочка атома имеет восемь электронов, и атом находится в состоянии равновесия. Чтобы «вырвать» электрон в зону проводимости, необходимо затратить большую энергию.

Основное значение для работы полупроводниковых приборов имеет электронно-дырочный переход, который называют р–n-переходом – область, на границе двух полупроводников, один из которых имеет дырочную, а другой - электронную электропроводность).

На практике р-n-переход получают введением в полупроводник дополнительной легирующей примеси. Например, при введении донорной примеси в определенную часть полупроводника р-типа в нем образуется область полупроводника n-типа, граничащая с полупроводником р-типа.

Полупроводниковым диодом называют двухэлектродный полупроводниковый прибор, содержащий один электронно-дырочный р-n переход.

По конструктивному исполнению полупроводниковые диоды разделяются на плоскостные и точечные. Плоскостные диоды представляют собой р-n-переход с двумя металлическими контактами, присоединенными к р- и n- областям. В точечном диоде вместо плоской используется конструкция, состоящая из пластины полупроводника и металлического проводника в виде острия. При сплавлении острия с пластиной образуется микропереход. По сравнению с плоскостным диодом падение напряжения на точечном в прямом направлении очень мало, ток в обратном направлении значительно меняется в зависимости от напряжения. Точечные диоды обладают малой межэлектродной емкостью.

Выпрямительный полупроводниковый диод используется для выпрямления переменного тока.

Полупроводниковый стабилитрон - полупроводниковый диод, напряжение на котором в области электрического пробоя слабо зависит от тока.

Туннельный диод - это полупроводниковый диод, в котором благодаря использованию высокой концентрации примесей возникает очень узкий барьер и наблюдается туннельный механизм переноса зарядов через р-п-переход.

Характеристика туннельного диода имеет область отрицательного сопротивления, т. е. область, в которой положительному приращению напряжения соответствует отрицательное приращение тока.

Варикап - полупроводниковый диод, в котором используется зависимость емкости р-п-перехода от обратного напряжения, который предназначен для применения в качестве элемента с электрически управляемой емкостью.

Фотодиод - полупроводниковый диод, в котором в результате освещения р-п-перехода повышается обратный ток.

Светодиод - полупроводниковый диод, в котором в режиме прямого тока в зоне р-п-перехода возникает видимое или инфракрасное излучение.

Фотодиоды используются в солнечных батареях, применяемых на космических кораблях и в южных районах земного шара. Светодиоды находят применение для индикации в измерительных приборах, в наручных часах, микрокалькуляторах и других приборах.

Резистор - один из наиболее распространённых компонентов в электронике. Его назначение - простое: сопротивляться течению тока, преобразовывая его часть в тепло. Основной характеристикой резистора является сопротивление. Единица измерения сопротивления - Ом. Чем больше сопротивление, тем большая часть тока рассеивается в тепло. В схемах, питаемых небольшим напряжением (5 – 12 В), наиболее распространены резисторы номиналом от 100 Ом до 100 кОм.

Тиристорами называют переключательные полупроводниковые компоненты, имеющие четыре и более слоя и три и более чередующихся электронно-дырочных перехода. В качестве полупроводника обычно применяют кремний. К группе тиристоров относят динисторы, тринисторы, запираемые тиристоры, симисторы. У всех тиристоров на вольтамперной характеристике присутствует участок отрицательного дифференциального сопротивления. Тиристоры в основном производят по технологии диффузии.

Как правило, тиристор имеет три вывода, один из которых управляющий, а два других образуют путь для протекания тока. Как мы знаем, транзистор открывается пропорционально величине управляющего тока. Чем он больше, тем больше открывается транзистор, и наоборот. А у тиристора все устроено иначе. Он открывается полностью, скачкообразно. И что самое интересное, не закрывается даже при отсутствии управляющего сигнала.

Биполярные транзисторы

Транзистором называют трехэлектродный полупроводниковый прибор, служащий для усиления мощности электрических сигналов. Кроме усиления транзисторы используют для генерирования сигналов, их различных преобразований и решения других задач электронной техники.

Различают два типа транзисторов: биполярные и полевые (униполярные). Название биполярного транзистора объясняется тем, что ток в нем определяется движением носителей зарядов двух знаков - отрицательных и положительных (электронов и дырок). Термин же транзистор происходит от английских слов *transfer* - переносить и *resistor* - сопротивление, т.е. в них происходит изменение сопротивления под действием управляющего сигнала.

Биполярный транзистор состоит из трех слоев полупроводников типа «р» и «п», между которыми образуются два *p-n* перехода. В соответствии с чередованием слоев с разной электропроводностью биполярные транзисторы подразделяют на два типа: *p-n-p* и *n-p-n*. У транзистора имеются три вывода (электрода): эмиттер (э), коллектор (к) и база (б). Эмиттер и коллектор соединяют с крайними областями (слоями), имеющими один и тот же тип проводимости, база с соединяется со средней областью. Напряжение питания подают на переход «эмиттер - база» в прямом направлении, а на переход «база - коллектор» - в обратном направлении.

По диапазонам используемых частот транзисторы делятся на низкочастотные (до 3МГц), среднечастотные (от 3 до 30 МГц), высокочастотные (от 30 до 300 МГц) и сверхвысокочастотные

(свыше 300 МГц). По мощности транзисторы делятся на малой мощности (до 0,3Вт), средней мощности (от 0,3Вт до 1,5Вт), большой мощности (свыше 1,5Вт).

Полевые транзисторы

Полевым называют транзистор, управляемый электрическим полем, или транзистор с управляемым каналом для тока. В отличие от биполярных полевые транзисторы имеют высокое входное сопротивление и поэтому требуют очень малых мощностей для управления.

Ток в полевом транзисторе создается носителями заряда только одного знака (электронами или дырками), вследствие чего эти транзисторы часто называют униполярными.

Носители заряда в полевом транзисторе являются основными для активной области и его параметры не зависят от времени жизни неосновных носителей (как у биполярных транзисторов). Это и определяет высокие частотные свойства и меньшую зависимость от температуры.

Изготавливают полевые транзисторы из кремния. В зависимости от электропроводности исходного материала различают транзисторы с *p*- и *n*-каналом.

Каналом считают центральную область транзистора. Электрод, из которого в канал поступают основные носители заряда, называют истоком *U*, а электрод, через который основные носители уходят из канала - стоком *C*. Электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала, называют затвором *З*.

Полевые транзисторы подразделяются на два основных типа: с затвором в виде *p-n*-перехода и с изолированным затвором. Полевой транзистор представляет собой пластину, например, *n*-типа, на верхней и нижней гранях которой создаются области с проводимостью противоположного типа, например, *p*-типа. Эти области электрически связаны, образуя единый электрод-затвор. Область с проводимостью, расположенная между областями, образует токовый канал. На торцевые поверхности пластины наносят контакты, образующие два других электрода *U* и *C*, к которым подключается источник питания U_c и при необходимости сопротивление нагрузки. Между каналом и затвором создаются два *p-n*-перехода. Ток протекает от истока к стоку по каналу, сечение которого зависит от затвора.

При увеличении отрицательного потенциала на затворе *p-n*-переходы запираются и расширяются практически за счет канала, сечение канала, а следовательно, и его проводимость, уменьшаются, ток через канал падает.

Принцип действия МОП-транзисторов зависит от изменения в полупроводнике электрического поля, происходит поляризация изолированного затвора. Такое действие вызвало название элемента, как «металлоокисный полупроводник». Он представляет собой прибор, в котором для изготовления затвора использовалась двуокись кремния SiO_2 , для современных МОП-транзисторов в качестве материала для затвора применяют поликристаллический кремний. Существует два типа МОП-транзисторов. Первые имеют дырочную проводимость – *p*-канальные. Транзисторы с электронной проводимостью называются *n*-канальными. Канал в этих полупроводниковых приборах может быть обедненным или наоборот обогащенным носителями.

Интегральные микросхемы

Усложнение электронных устройств и систем, в которых количество дискретных элементов достигло десятков и сотен тысяч, вызвало снижение эксплуатационной надежности при одновременном увеличении габаритов и массы, росте потребления электрической энергии, стоимости. Эти недостатки устраняются с внедрением изделий микроэлектроники.

Микроэлектроника – это область науки и техники, занимающаяся физическими и техническими проблемами создания интегральных схем. Интегральная технология является наиболее важным технологическим приемом микроэлектроники и позволяет на одной пластине создавать группы элементов, схемно соединенных между собой. Функциональные узлы, выполненные по интегральной технологии, называют интегральными микросхемами.

Интегральная микросхема – это микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию преобразования, имеющее высокую плотность упаковки электрически соединенных

компонентов (транзисторов, резисторов и др.), изготовленных в едином технологическом цикле на общей подложке.

Наиболее распространенными пассивными элементами в полупроводниковых микросхемах являются резисторы. Слой полупроводника, изолированный от других элементов, может служить резистором интегральной микросхемы. Однако, ввиду низкого удельного сопротивления слоя полупроводника, резисторы занимают большую часть площади всей микросхемы. В связи с этим микросхемы проектируют с минимальным числом резисторов, а величина их сопротивления должна быть небольшой, менее 10 кОм. Так, к примеру, цифровые интегральные микросхемы содержат меньше резисторов, чем аналоговые схемы. А цифровые микросхемы на полевых транзисторах практически не имеют резисторов, их функции выполняют дополнительные транзисторы, работающие на крутом восходящем участке вольт-амперной характеристики.

Наряду с резисторами в гибридных интегральных микросхемах распространенными пассивными элементами являются пленочные конденсаторы. При этом пассивные элементы во многом определяют схемотехнические и эксплуатационные характеристики интегральных микросхем (ИМС). В низкочастотных микросхемах используются дискретные миниатюрные конденсаторы и катушки индуктивности, а в аналоговых высокочастотных микросхемах – пленочные конденсаторы емкостью менее 100 пФ. Пленочные конденсаторы бывают как тонко-, так и толстопленочные и занимают большую площадь ИМС. В связи с этим в полупроводниковых интегральных микросхемах роль конденсаторов выполняют обратносмещенные р–п переходы и структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-конденсаторы).

Несмотря на ограничения на геометрические размеры и номиналы или допуски абсолютных значений, пассивные элементы в интегральных схемах обладают некоторыми преимуществами монолитных структур, такими, как хорошая воспроизводимость по номинальной величине и температурной зависимости.

В зависимости от формы обрабатываемых электрических сигналов микросхемы бывают аналоговыми или цифровыми.

Параметром, определяющим уровень сложности микросхем, является степень интеграции, под которой понимается округленный до ближайшего целого числа коэффициент K , являющийся показателем десятичного логарифма от числа N содержащихся в микросхеме элементов и компонентов.

По уровню сложности цифровые микросхемы подразделяются на малые (МИС, $K \leq 1 \dots 2$), средние (СИС, $2 \leq K \leq 3 \dots 4$), большие (БИС, $3 \dots 4 \leq K \leq 5$) и сверхбольшие (СБИС, $K > 5$).

Основные типы микросхем – пленочные и полупроводниковые. В пленочных микросхемах элементы и соединения выполнены в виде различных пленок (проводящие, резистивные и диэлектрические) на подложке из диэлектрика. В полупроводниковых микросхемах пассивные и активные элементы вместе с изолирующими и проводящими областями создаются на одной подложке кремния или другого полупроводника. Применяются еще и так называемые гибридные микросхемы, в которых органически сочетаются в одном корпусе пленочные конструкции из пассивных элементов с дискретными миниатюрными активными компонентами.

К пассивным компонентам ИС относятся резисторы, конденсаторы, индуктивности и внутрисхемные соединения.

В ИМС применяются пленочные, диффузионные резисторы и резисторы на основе МДП-структур.

Пленочные конденсаторы позволяют получить большую емкость и представляют собой многослойную структуру. На подложку наносится слой металла, служащий обкладкой конденсатора, на поверхности которого наносится слой диэлектрика. Диэлектрик покрывается металлическим слоем, служащим второй обкладкой конденсатора. В качестве диэлектрика используется оксид тантала или монооксид кремния. Температурный коэффициент емкости таких конденсаторов порядка 0,02...0,04 %/°С, а добротность на высоких частотах определяется сопротивлением об-

кладок. В связи с этим чаще используются алюминиевые обкладки. Сопротивление пленки тантала велико, поэтому танталовые конденсаторы являются низкочастотными.

Основным и наиболее универсальным элементом интегральных микросхем является *биполярный транзистор*. В большинстве случаев используется транзистор $n-p-n$ типа, ибо подвижность электронов больше подвижности дырок, и они обладают лучшими частотными свойствами, чем транзисторы $p-n-p$ типа.

Главное отличие структур биполярных транзисторов в микросхемах от дискретных транзисторов состоит в том, что интегральные транзисторы имеют дополнительные области, которые изолируют транзисторы от общей полупроводниковой подложки. Все выводы интегральных транзисторов располагаются на одной плоскости, что позволяет легко проводить межэлементные соединения всей микросхемы.

Диоды в полупроводниковых ИМС можно получить на основе одинаковых транзисторных структур, выбирая соответствующую схему коммутации выводов транзистора.

Существует пять вариантов коммутации выводов транзистора для создания диода:

1. Переход база–эмиттер с разомкнутой цепью коллектора.
2. Переход база–эмиттер с коллектором, закороченным на базу.
3. Переход база–коллектор с разомкнутым эмиттером.
4. Переход база–коллектор с эмиттером, закороченным на базу.
5. Включены в параллель переходы база–эмиттер и база–коллектор.

Полупроводниковые приборы с зарядовой связью - это полупроводниковый прибор, в котором происходит накопление неосновных носителей под электродами МОП-структур и перемещение этих носителей от одного электрода к другому.

Электрический сигнал в приборах с зарядовой связью (ПЗС) представлен не напряжением или током, как в обычных аналоговых или цифровых схемах, а зарядом неосновных носителей – зарядовым пакетом.

Тема 6. Электрические измерения

Показания (сигналы) электроизмерительных приборов используют для оценки работы различных электротехнических устройств и состояния электрооборудования, в частности состояния изоляции. Электроизмерительные приборы отличаются высокой чувствительностью, точностью измерений, надежностью и простотой исполнения.

Показания электроизмерительных приборов можно передавать на дальние расстояния (телеизмерение), они могут использоваться для непосредственного воздействия на производственные процессы (автоматическое регулирование); с их помощью регистрируют ход контролируемых процессов, например путем записи на ленте и т.д.

Применение полупроводниковой техники существенно расширило применение электроизмерительных приборов.

Развитие электроизмерительных приборов привело к использованию в них микроэлектроники, что позволяет измерять физические величины с погрешностью не более 0,005-0,0005 %.

Электрические измерения и приборы, методы и средства обеспечения их единства, способы достижения требуемой точности - все это относится к метрологии, а принципы и методы установления оптимальных норм и правил взаимодействия - к стандартизации.

Вопросы электрических измерений и приборов проще воспринимаются, если известны содержание терминов и определений.

Метрология - наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства, способах достижения требуемой точности.

Измерение - нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Результат измерения - значение физической величины, найденной путем измерения.

Мера - средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера (например, единицы измерения света - кд).

Измерительный преобразователь - средство измерений для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки (или хранения), но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Первичный измерительный преобразователь - датчик.

Измерительный прибор - средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Для различных измеряемых электрических величин существуют свои *средства измерений*, так называемые меры. Например, мерами ЭДС служат нормальные элементы, мерами электрического сопротивления - измерительные резисторы, мерами индуктивности измерительные катушки индуктивности, мерами электрической емкости - конденсаторы постоянной емкости и т. д.

На практике для измерения различных физических величин применяют различные методы. Последние в зависимости от способа получения результата делятся на *прямые* и *косвенные*. При *прямом измерении* значение величины получают непосредственно из опытных данных. При *косвенном измерении* искомое значение величины находят путем подсчета с использованием известной зависимости между этой величиной и величинами, получаемыми на основании прямых измерений. Так, определить сопротивление участка цепи можно путем измерения протекающего по нему тока и приложенного напряжения с последующим подсчетом этого сопротивления из закона Ома. Наибольшее распространение в электроизмерительной технике получили методы прямого измерения, так как они обычно проще и требуют меньших затрат времени.

В электроизмерительной технике используют также *метод сравнения*, в основе которого лежит сравнение измеряемой величины с воспроизводимой мерой. Метод сравнения может быть компенсационным и мостовым. Примером применения *компенсационного метода* служит измерение напряжения путем сравнения его значения со значением ЭДС нормального элемента. Примером *мостового метода* является измерение сопротивления с помощью четырех-плечной мостовой схемы. Измерения компенсационным и мостовым методами очень точные, но для их проведения требуется более сложная измерительная техника.

При любом измерении неизбежны *погрешности*, т. е. отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины, которые обуславливаются, с одной стороны, непостоянством параметров элементов измерительного прибора, несовершенством измерительного механизма (например, наличием трения и т. д.), влиянием внешних факторов (наличием магнитных и электрических полей), изменением температуры окружающей среды и т. д., а с другой стороны - несовершенством органов чувств человека и другими случайными факторами. Разность между показанием прибора $A_{п}$ и действительным значением измеряемой величины $A_{д}$ выражается в единицах измеряемой величины и называется *абсолютной погрешностью* измерения:

Электроизмерительные приборы классифицируют по различным признакам.

По роду *измеряемой величины* электроизмерительные приборы подразделяют на амперметры, вольтметры, ваттметры, счетчики электрической энергии, фазометры, частотомеры, омметры и т. д. Условное обозначение по роду измерительной величины (табл. 3.1) наносится на лицевую сторону прибора. На шкалах электроизмерительных приборов указывают также условные обозначения, отражающие род измеряемого тока, класс точности прибора, испытательного напряжения изоляции, рабочего положения прибора и т. д.

Измерительные приборы бывают аналоговыми и цифровыми. *Аналоговыми* называют измерительные приборы, показания которых являются непрерывной функцией измеряемой величины. *Цифровыми* называют измерительные приборы, показания которых выражены в цифровой форме.

В зависимости от вида получаемой информации измерительные приборы подразделяют на показывающие, интегрирующие, суммирующие.

Наибольшее распространение в электротехнической практике получили *показывающие приборы*, т. е. приборы непосредственной оценки, или прямого отсчета. Приборы этого типа независимо от принципа действия и назначения состоят из двух основных частей: измерительной цепи и измерительного механизма. Простейшая измерительная цепь, например вольтметра, представля-

ет собой катушку с последовательно подсоединенным добавочным сопротивлением. При постоянном сопротивлении такой цепи через катушку проходит ток, пропорциональный измеряемому напряжению.

В простейшем амперметре измерительная цепь состоит из измерительной катушки, последовательно подключенной к электрической сети, в которой необходимо измерить ток.

Измерительный механизм предназначен для преобразования подводимой к нему электрической энергии в механическую энергию перемещения подвижной части прибора и связанной с ней стрелкой или другим указательным устройством, каждому положению которого соответствует определенное значение измеряемой величины. Одинаковый по конструкции измерительный механизм в сочетании с различными измерительными цепями можно применять для измерения различных электротехнических величин (тестер).

К электроизмерительным приборам предъявляются следующие основные требования:

1. погрешность прибора не должна превышать указанного на лицевой стороне предела (класса точности) и не должна изменяться с течением времени;
2. шкала прибора должна быть проградуирована в единицах СИ;
3. прибор должен быть снабжен успокоительной системой;
4. магнитные и электрические поля, температура окружающей среды не должны оказывать заметного влияния на показания прибора;
5. прибор должен потреблять минимальное количество энергии и должен выдерживать установленную соответствующим ГОСТ перегрузку.

Тема 7. Основы электробезопасности

Опасность электрического тока в отличие от прочих опасных и вредных производственных факторов усугубляется тем, что органы чувств человека не обнаруживают на расстоянии грозящую опасность. Реакция человека на электрический ток возникает лишь при прохождении его через тело. Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава.

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта.

Биологическое действие тока на живую ткань выражается в опасном возбуждении клеток и тканей организма, сопровождающемся произвольными судорожными сокращениями мышц. В результате такого возбуждения может возникнуть нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения.

Раздражающее действие тока на ткани организма может быть прямым, когда ток проходит непосредственно по этим тканям, и рефлекторным, через центральную нервную систему.

Различают два основных вида поражений током: электрические травмы и электрические удары.

Электрические травмы подразделяются на электрические ожоги, электрические знаки, электрометаллизацию кожи, механические повреждения и электроофтальмию.

Электрические ожоги в зависимости от условий их возникновения бывают двух видов: токовые (контактные) и дуговые.

Токовый ожог является следствием преобразования электрической энергии в тепловую и обусловлен прохождением тока непосредственно через тело человека в результате прикосновения к токоведущим частям. Различают электрические ожоги четырех степеней. Основные признаки ожогов I степени - покраснение кожи, II степени - образование пузырей, III степени - обугливание кожи, IV степени - обугливание подкожной клетчатки, мышц, костей.

Дуговой ожог является результатом действия на тело человека электрической дуги в электроустановках высокого напряжения. Такой ожог носит, как правило, тяжелый характер (III или IV степень).

Электрические знаки (электрические метки) представляют собой пятна серого или бледно-желтого цвета на поверхности кожи в месте контакта ее с токоведущими частями. В большинстве случаев они безболезненны. Со временем поврежденный слой кожи сходит.

Электрометаллизация кожи - это проникновение в верхние слои кожи мельчайших частиц металла при его расплавлении или испарении под действием электрической дуги. Поврежденный участок кожи становится жестким и шероховатым, имеет специфическую окраску, которая определяется цветом металла, проникшего в кожу. Электрометаллизация кожи не опасна. С течением времени поврежденный слой кожи сходит, и пораженный участок приобретает нормальный вид.

Механические повреждения возникают вследствие резких непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием тока. В результате возможны разрывы кожных покровов, кровеносных сосудов, нервной ткани, а также вывихи суставов и переломы костей.

Электроофтальмия - это поражение глаз вследствие воздействия ультрафиолетового излучения электрической дуги.

Электрический удар - это возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся непроизвольным судорожным сокращением мышц. При электрическом ударе может наступить клиническая смерть, которая при отсутствии квалифицированной медицинской помощи через 7-8 мин переходит в смерть биологическую. Если при клинической смерти немедленно освободить пострадавшего от действия электрического тока и срочно начать оказывать необходимую помощь (искусственное дыхание, массаж сердца), то жизнь пострадавшего может быть сохранена.

Причинами смерти от воздействия электрического тока могут быть остановка сердца или его фибрилляция, прекращение дыхания и электрический шок - своеобразная нервно-рефлекторная реакция организма в ответ на сильное раздражение электрическим током, сопровождающаяся расстройством кровообращения, дыхания, обмена веществ и т.д. Шоковое состояние может продолжаться от нескольких десятков минут до суток. При длительном шоковом состоянии может наступить смерть.

Знание допустимых для человека значений тока и напряжения позволяет правильно оценить опасность поражения и определить требования к защитным мерам от поражения электрическим током.

ГОСТ 12.1.038-82 устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека. Под напряжением прикосновения понимается напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек. Нормы предназначены для проектирования способов и средств защиты от поражения электрическим током людей при их взаимодействии с электроустановками. Они соответствуют прохождению тока через тело человека по пути рука - рука или рука - ноги.

Стандарт предусматривает нормы для электроустановок при нормальном (неаварийном) режиме их работы, а также при аварийных режимах производственных и бытовых электроустановок.

Электробезопасность обеспечивается: конструкцией электроустановок; техническими способами и средствами защиты; организационными и техническими мероприятиями.

В соответствии с ГОСТ 12.1.019-79 технические способы и средства защиты устанавливаются с учетом:

- номинального напряжения, рода и частоты тока электроустановки;
- способа электроснабжения (от стационарной сети, автономного источника);
- режима нейтрали (средней точки) источника питания электроэнергией (изолированная, заземленная);
- вида исполнения электроустановки (стационарная, передвижная, переносная);

- условий внешней среды (помещения особо опасные, повышенной опасности, без повышенной опасности, на открытом воздухе);
- возможности снятия напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых предполагается работа;
- характера возможного прикосновения человека к элементам цепи тока (однофазное, двухфазное, прикосновение к металлическим нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением);
- возможности приближения к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на расстояние меньше допустимого или попадания в зону растекания тока;
- вида работ (монтаж, наладка, испытание, эксплуатация электроустановок в зоне их расположения, в том числе в зоне воздушных линий электропередачи).

В целях обеспечения электробезопасности используют следующие технические способы и средства (часто в сочетании одного с другим): защитное заземление; зануление; защитное отключение; выравнивание потенциалов; малое напряжение; электрическое разделение сети; изоляцию токоведущих частей; оградительные устройства; предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности; электрoзащитные средства, предохранительные приспособления и др.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Задачей практических занятий является изучение методов расчета типовых задач, а также практическое осмысление основных теоретических положений курса. При решении задач обращается внимание на логику решения, на физическую сущность используемых величин, их размерность. Далее проводится анализ полученного решения, результат сопоставляется с реальными объектами, что вырабатывает у студентов инженерную интуицию.

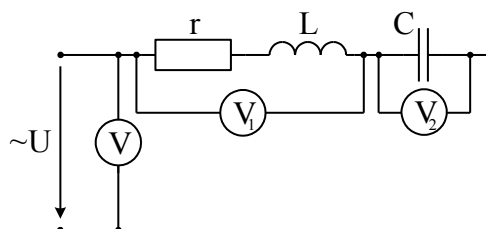
Цель практических занятий – научить динамическому и математическому моделированию статических и динамических процессов, происходящих в механических системах, на примере решения типовых задач.

Перед практическим занятием необходимо изучить материал, изложенный на лекции и выполнить самостоятельную работу, предусмотренную рабочим планом. Для этого используются: конспект лекций, соответствующие разделы печатных и электронных учебников, ответы на вопросы для самоконтроля знаний. После практического занятия самостоятельно решить рекомендованные задачи и расчетно-графические работы.

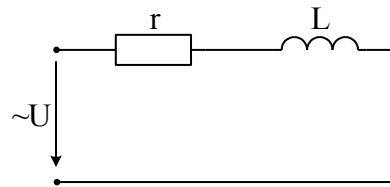
Тема 1. Расчет простых цепей переменного синусоидального тока. Векторные диаграммы. Символический метод расчета. Резонанс напряжений и резонанс токов

На практическом занятии необходимо решить разноуровневые задачи по пройденному лекционному материалу. Примерный перечень задач приведен ниже. Рекомендуемая литература и дополнительный теоретический материал представлены в рабочей программе дисциплины «Электротехника и промышленная электроника».

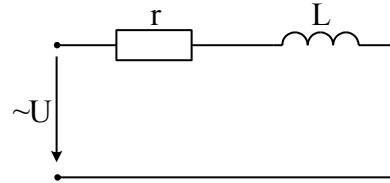
Задача 1. Определить U_{V1} , U_{V2} , U_V , если:
 $i = 2\sin\omega t$, $r = 10$ Ом, $x_L = 20$ Ом, $x_C = 10$ Ом.



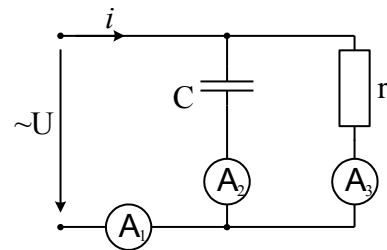
Задача 2. Определить P, Q, S , коэффициент мощности, если:
 $U=14\sin\omega t$, $x_L=10$ Ом, $r=10$ Ом.



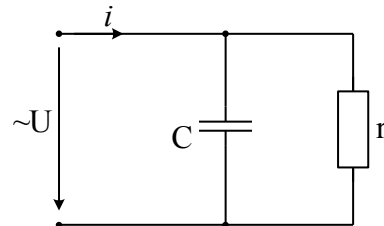
Задача 3. Определить $U(t)$, если:
 $r=5$ Ом, $L=40$ мГ,
 $U_L=240\sin(1000t+150)$.



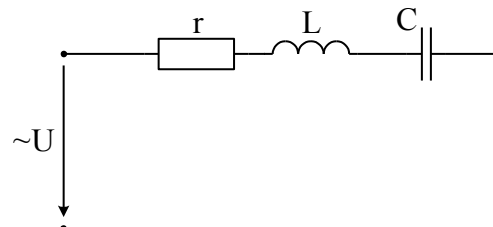
Задача 4. Определить I_2 , если:
 $I_1=2$ А, $I_3=1.6$ А.



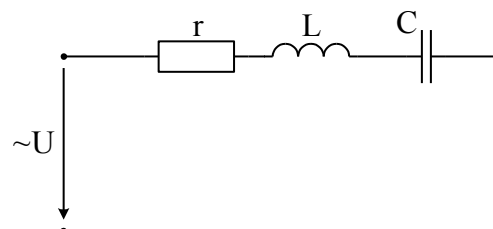
Задача 5. Определить x_C и коэффициент мощности схемы, если:
 $U=40$ В, $I=8$ А, $r=10$ Ом.



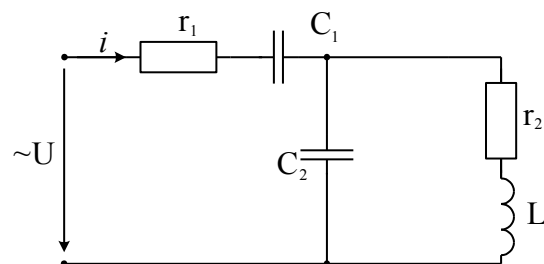
Задача 6. Определить $i(t)$, если:
 $r=10$ Ом, $x_L=20$ Ом, $x_C=10$ Ом,
 $U=141\sin(\omega t+60)$.



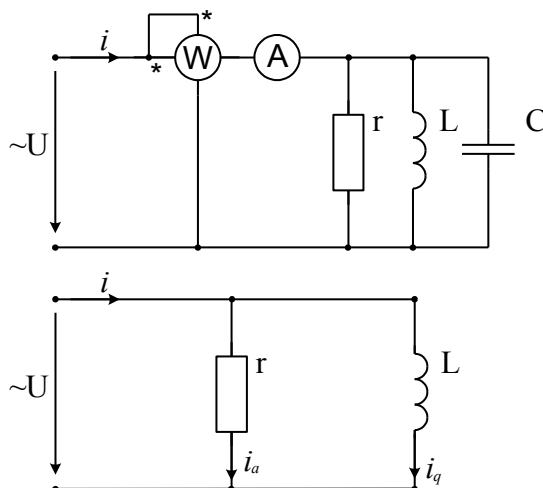
Задача 7. Определить закон изменения тока в цепи $i(t)$, если:
 $r=5$ Ом, $x_L=10$ Ом, $x_C=15$ Ом,
 $U=141\sin(\omega t+30)$.



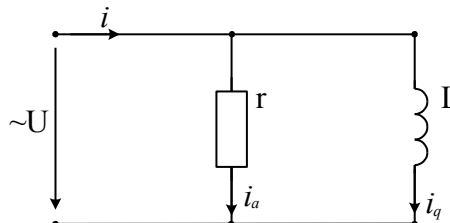
Задача 8. Записать закон Ома в общем виде для тока i .



Задача 9. Определить I_A , P_W , если:
 $|r|=|x_L|=|x_C|=2 \text{ Ом}$,
 $U=200 \sqrt{2} \sin \omega t$

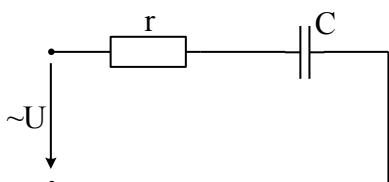


Задача 10. Определить I , если:
 $b_L=2 \text{ Ом}^{-1}$, $I_a=1.5 \text{ А}$, $q=1.5 \text{ Ом}^{-1}$.



Тема 2. Гармонический анализ и разложение периодических функций. Расчет простых цепей несинусоидального тока. Мощности несинусоидального тока

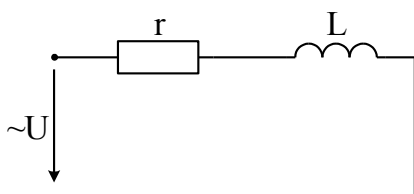
Задача 1.



Дано: $U = 100 + 100 \sin \omega t + 50 \sin (3\omega t + 68)$,
 $r = 2 \text{ Ом}$, $C = 10,5 \text{ мкФ}$, $f = 50 \text{ Гц}$.

Определить: мгновенное значение тока в цепи и его действующее значение.

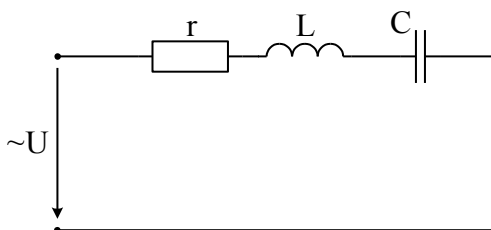
Задача 2.



Дано: $i = 10 + 5 \sin 1000t + 2 \sin 2000t$,
 $r = 5 \text{ Ом}$, $L = 3 \text{ мГн}$.

Определить: мгновенное значение напряжения U .

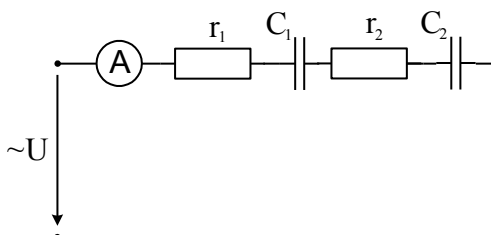
Задача 3.



Дано: $U = 180 \sin \omega t + 120 \sin 3\omega t$,
 $r = 3 \text{ Ом}$, $L = 95,5 \text{ мГн}$, $C = 11,8 \text{ мкФ}$,
 $f = 50 \text{ Гц}$.

Определить: мгновенное значение тока.

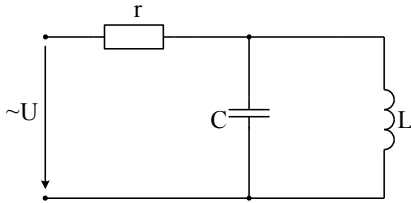
Задача 4.



Дано: $U = 300 \sin \omega t + 102 \sin (3 \omega t - 78,5^\circ)$,
 $r_1 = 8 \text{ Ом}$, $C_1 = 6 \text{ мкФ}$, $r_2 = 12 \text{ Ом}$,
 $C_2 = 4,6 \text{ мкФ}$, $f = 50 \text{ Гц}$.

Определить: показания амперметра.

Задача 5.

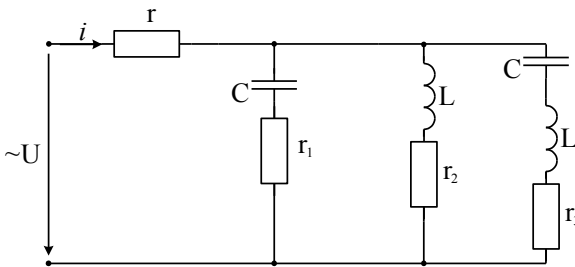


Дано: $U = 200 + 100 \sin 3 \omega t$,
 $r = 50 \text{ Ом}$, $X_L = \omega L = 5 \text{ Ом}$,

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = 45 \text{ Ом}.$$

Определить: действующее значение тока в неразветвленной части цепи.

Задача 6.



Дано: $U = 120 + 282 \sin \omega t$,
 при угловой частоте ω $X_C = X_L = 30 \text{ Ом}$,
 $r_1 = r_2 = 40 \text{ Ом}$, $r_3 = 100 \text{ Ом}$.

Определить: мгновенное значение тока i .

Задача 7.

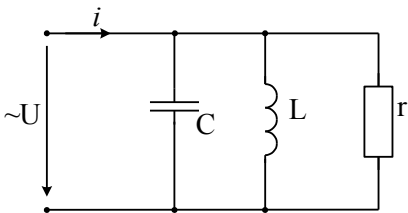
Дано: напряжение и ток в цепи изменяются по законам:

$$U = 80 \sqrt{2} \sin(\omega t + 15^\circ) + 60 \sqrt{2} \sin(3 \omega t - 20^\circ),$$

$$i = 40 \sqrt{2} \sin(\omega t + 75^\circ) + 30 \sqrt{2} \sin(3 \omega t + 40^\circ).$$

Определить: активную мощность цепи P .

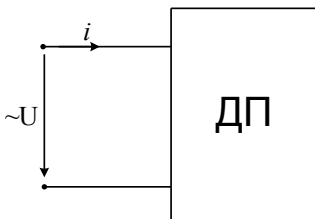
Задача 8.



Дано: $U = 100 + 50 \sin(\omega t + 50^\circ) + 25 \sin 3 \omega t$,
 $r = 20 \text{ Ом}$, $C = 100 \text{ мкФ}$, $L = 10 \text{ мГн}$,

$\omega = 1000 \text{ 1/с}$, на 1^{ой} гармонике в цепи возникает резонанс токов.
 Определить: мгновенное значение тока i .

Задача 9.



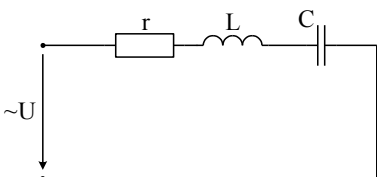
Дано: для двухполюсника

$$U = 1 + 0,83 \sin(\omega_1 t + 60^\circ),$$

$$i = 0,1 + 1,3 \sin(\omega_1 t + 0,4 \sin 2 \omega_1 t).$$

Определить: активную и полную мощность цепи.

Задача 10.



Дано: $U = 400 + 282 \sin \omega t$,

$X_L = X_C = 60 \text{ Ом}$ при угловой частоте ω ,

$r = 40 \text{ Ом}$.

Определить: действующее значение тока и напряжение на отдельных участках цепи.

Тема 3. Расчет переходных процессов классическим методом в цепях с одним и двумя накопителями энергии

На практическом занятии необходимо решить индивидуальное задание по пройденному лекционному материалу. Рекомендуемая литература и дополнительный теоретический материал представлены в рабочей программе дисциплины «Электротехника и промышленная электроника».

Электрическая схема и значения её параметров выбираются по номеру варианта задания. Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в журнале.

Для студентов, номера которых от 1 до 10-го, выбирается схема, соответствующая номеру варианта (рис. 1 – 10).

Для вариантов, больше 11-го, номер схемы (номер рисунка) соответствует второй цифре варианта. При этом варианты 10, 20 и т.д. используют схему №10 (рис. 10).

Параметры схемы (значение R , L , C) и реакция цепи, которую требуется определить, приведены в таблице и соответствуют номеру варианта.

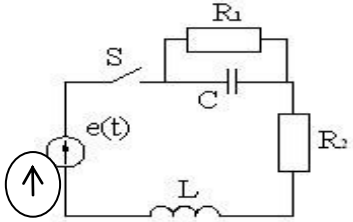
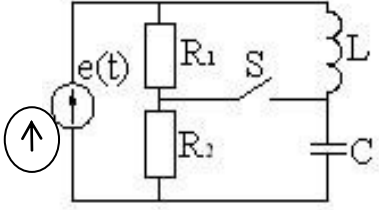
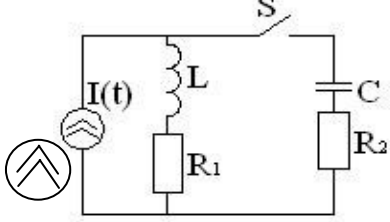
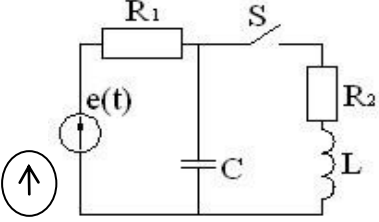
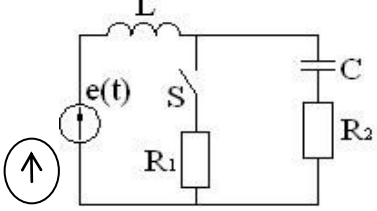
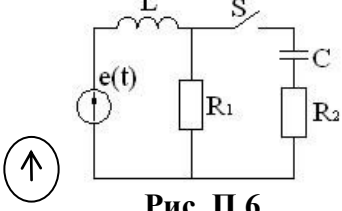
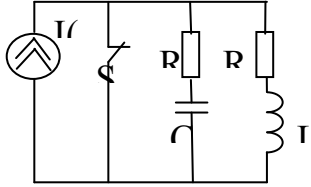
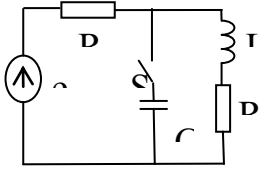
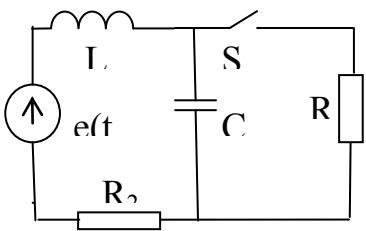
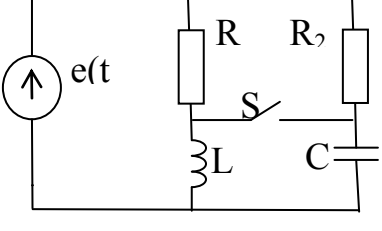
 <p>Рис. II.1.</p>	 <p>Рис. II.2.</p>
 <p>Рис. II.3.</p>	 <p>Рис. II.4.</p>
 <p>Рис. II.5.</p>	 <p>Рис. II.6.</p>
 <p>Рис. II.7.</p>	 <p>Рис. II.8.</p>
 <p>Рис. II.9.</p>	 <p>Рис. II.10.</p>

Таблица параметров цепи и искомой реакции

Номер варианта	R1 Ом	R2 Ом	L мГн	C мкФ	Искомая реакция цепи
1.	1	14	15	340	i_{R_2}
2.	15	2	14	360	i_L
3.	3	16	18	350	i_{R_1}
4.	17	4	18	370	u_C
5.	5	11	20	390	i_L
6.	12	13	22	380	i_{R_2}
7.	7	13	24	400	u_C
8.	20	8	28	420	i_L
9.	9	18	28	410	i_{R_2}
10.	19	10	30	430	i_L
11.	2	9	11	360	u_{R_2}
12.	1	4	13	340	u_C
13.	6	3	15	370	i_L
14.	5	8	17	350	i_{R_2}
15.	10	7	19	380	u_C
16.	8	3	21	390	i_L
17.	5	6	23	420	i_{R_1}
18.	4	7	25	400	u_C
19.	7	2	29	430	i_{R_1}
20.	9	10	27	410	u_C
21.	10	4	11	410	i_L
22.	9	6	12	430	i_{R_1}
23.	8	8	13	400	i_{R_2}
24.	7	10	14	420	i_L
25.	8	2	15	390	i_{R_2}
26.	5	1	16	380	u_C
27.	4	3	17	350	i_L
28.	3	5	18	370	i_{R_1}
29.	2	7	19	340	u_C
30.	1	9	20	360	i_{R_2}

1) Определить реакцию электрической цепи, если воздействие, задаваемое электродвижущей силой источника напряжения или током источника тока, постоянно и равно:

$$e(t) = 100 \text{ В}; \quad I(t) = 1 \text{ А.}$$

Расчёт выполнить классическим методом.

2) Определить эту же реакцию при заданном воздействии операторным методом.

3) Построить зависимость искомой реакции от времени на промежутке времени $t = (4 - 5)$

τ.

Если корни характеристического уравнения p_1 и p_2 действительные и различные, то

$$\tau = \frac{1}{|p_{\min}|}$$

где p_{\min} – наименьший из корней p_1 и p_2 .

В случае комплексно сопряжённых корней характеристического уравнения

$$p_{1,2} = \alpha + j\omega$$

$$\tau = \frac{1}{|\alpha|}$$

Тема 4. Расчет резистивных нелинейных и магнитных цепей

На практическом занятии необходимо решить групповое задание по пройденному лекционному материалу. Рекомендуемая литература и дополнительный теоретический материал представлены в рабочей программе дисциплины «Электротехника и промышленная электроника».

Задача 1. Прямая задача расчета мц

По заданному магнитному потоку в цепи необходимо определить намагничивающую силу (МДС), необходимую для создания этого потока.

вариант	А, мм	В, мм	а, мм	b, мм	с, мм	d, мм	δ, мм	Прямая задача			Обратная задача		
								Вδ, Тл	I, А	материал	I, А	w, вит	материал
1	290	330	70	40	60	30	4	0,5	0,1	чугун	0,2	1300	чугун
2	300	250	60	50	40	30	9	1,9	0,5	электротехническая сталь	0,4	1900	литая сталь

Определить число витков w катушки электромагнита, если известны габариты магнитопровода, индукция $B\delta$ в воздушном зазоре, материал магнитопровода и ток I в обмотке электромагнита. Толщина провода магнитопровода по всей длине одинакова и составляет 100 мм.

Задача 2. (обратная задача расчета мц)

Цель. По заданной намагничивающей силе (МДС) необходимо определить магнитный поток в магнитопроводе.

Задачи. Определить суммарный магнитный поток цепи, если известны габариты и материал магнитопровода, ток и число витков электромагнита (см. таб. выше).

Тема 5. Опытное определение параметров трансформатора. Расчет и построение механических характеристик асинхронных двигателей и ДПТ

На практическом занятии необходимо решить разноуровневые задачи по пройденному лекционному материалу. Примерный перечень задач приведен ниже. Рекомендуемая литература и дополнительный теоретический материал представлены в рабочей программе дисциплины «Электротехника и промышленная электроника».

Задача 1. По паспортным данным и результатам осмотра однофазного двухобмоточного трансформатора установлено, что число витков первичной обмотки $w_1=424$, а вторичной обмотки $w_2=244$, действительное сечение сердечника $S = 28,8 \text{ см}^2$; 10% приходится на изоляцию пластин, активное сопротивление первичной обмотки $R_1=1,2$ Ом, вторичной обмотки $R_2=1,4$ Ом, потери холостого хода составляют 1% от номинального значения потребляемой мощности, напряжение

на первичной обмотке $U_2=220\text{В}$, активный ток обмоток $I_1=2,95\text{ А}$, $I_2=4,85\text{ А}$, ток холостого хода 5% от $I_{1\text{ ном}}$.

Определить амплитудное значение магнитной индукции, ЭДС, вторичной обмотки, электрические и магнитные потери, номинальный КПД.

Задача 2. Первичную обмотку однофазного трансформатора, потребляющего мощность $S = 12\text{ Кв А}$, подключили к сети постоянного тока напряжением $U = 2\text{ В}$. При этом ток в обмотке $I = 20\text{ А}$, затем ее подключили к сети переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением $U = 220\text{ В}$, амперметр показал $I_x = 5\text{ А}$, ваттметр – $P_x = 75\text{ Вт}$, а вольтметр вторичной обмотки – $U_2 = 36,6\text{ В}$.

Определить активное, индуктивное и сопротивления постоянному току первичной обмотки, потери и КПД трансформатора, если электрические потери первичной обмотки равны электрическим потерям вторичной обмотки, а $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,9$.

Задача 3. Однофазный двухобмоточный трансформатор испытали в режиме холостого хода и короткого замыкания. При опытах получили следующие данные: номинальное напряжение первичной обмотки $U_1=10000\text{ В}$; ток холостого хода $I_x = 0,25\text{ А}$; потери холостого хода $P_x = 125\text{ Вт}$; напряжение на вторичной обмотке $U_2 = 380\text{ В}$; номинальное напряжение короткого замыкания $U_k = 500\text{ В}$; номинальный активный ток первичной обмотки $I_{1\text{ ном}} = I_{1\text{ к}} = 2,5\text{ А}$; номинальный ток вторичной обмотки $I_{2\text{ ном}} = I_{2\text{ к}} = 79,4\text{ А}$

Потери короткого замыкания $P_k = 600\text{ Вт}$.

В опыте короткого замыкания указаны суммарные электрические потери двух обмоток, значение которых одинаковы. Определить коэффициент мощности при холостом ходе и опыте короткого замыкания, полное, активное и индуктивное сопротивление первичной обмотки, номинальный КПД.

Задача 4. Однофазный трансформатор имеет следующие данные: номинальная мощность $S_{\text{ном}} = 5000\text{ кВ * А}$; потери холостого хода $P_x = 1400\text{ Вт}$; потери короткого замыкания при номинальной мощности $P_k = 4500\text{ Вт}$; ток холостого хода $I_x = 4\%$ от номинального значения тока первичной обмотки. Напряжение первичной обмотки $U_1 = 35\text{ кВ}$, напряжение вторичной обмотки $U_2 = 400\text{ В}$. Определить полное сопротивление первичной обмотки, коэффициент мощности при холостом ходе трансформатора, коэффициент трансформации, КПД трансформатора при номинальной нагрузке, при нагрузке $0,5$; $0,75$; $1,25$ и коэффициенте мощности $\cos \varphi_2 = 0,8$. При какой нагрузке КПД трансформатора будет максимальным и чему равно его значение?

Задача 5. Однофазный автотрансформатор с первичным напряжением $U_1 = 220\text{ В}$, вторичным напряжением $U_2 = 127\text{ В}$ имеет в первичной обмотке $w_1 = 125$ витка и при полной активной нагрузке дает потребителю ток $I_2 = 9\text{ А}$. Определить число витков вторичной обмотки w_2 , пренебрегая током холостого хода. Определить ток в первичной обмотке I_1 , на общем участке обмотки I_2 , сечение проводников S_2 на общем участке обмотки, сечение проводников S_1 на участке, где проходит только первичный ток, мощность, передаваемую электрическим путем, коэффициент выгодности автотрансформатора, если плотность тока $J = 2\text{ А / мм}^2$.

Задача 6. Трехфазный трансформатор имеет следующие данные: номинальная мощность $S_{\text{ном}} = 250\text{ кВ А}$, высшее напряжение $U_1 = 10\,000\text{ В}$, низшее напряжение $U_2 = 400\text{ В}$, активное сечение стержня и ярма $S_c = S_y = 200\text{ см}^2$, наибольшая магнитная индукция в стержне $B_c = 1,4\text{ Тл}$. Найти число витков в обмотке высшего и низшего напряжений с учетом регулирования на $\pm 5\%$.

Задача 7. Амперметр на 5 А , вольтметр на 100 В и ваттметр на 5 А и 100 В (со шкалой 500 делений) включены через измерительный трансформатор тока ТШЛ – $20\ 10000/5$ и трансформатор напряжения НТМИ – $10000/100$ для измерения тока, напряжения и мощности. Определить ток, напряжение, активную мощность и коэффициент мощности первичной цепи, если во вторичной цепи измерительных трансформаторов тока $I_2 = 3\text{ А}$, напряжение $U_2 = 99,7\text{ В}$, а показания ваттметра – 245 делений.

Задача 8. Вольтметр на 100 В со шкалой на 100 делений подсоединен к вторичной обмотке трансформатора напряжения НОСК -6 -66 ($U_1 = 6000\text{ В}$). Определить напряжение сети, если стрелка вольтметра остановилась на 95 -м делении. Определить погрешности при измерении приборами первого класса точности.

Задача 9. Трехфазный трансформатор ТМ- 63 /10 имеет следующие данные: низшее напряжение $U_2 = 400$ В, потери при холостом ходе $P_x = 265$ Вт, потери при коротком замыкании $P_k = 1280$ Вт, напряжение короткого замыкания U_k составляет 5,5 % от номинального значения, ток холостого хода I_k составляет 2,8 % от номинального значения. Определить: а) фазные напряжения U_ϕ при группе соединения трансформатора Y/Δ ; б) фазный n_ϕ и линейный n_Δ коэффициенты трансформации; в) номинальные токи первичных и вторичных обмоток; г) КПД при нагрузке 0,5 от номинального значения и $\cos\varphi = 0,8$; д) активное и реактивное сопротивление фазы при коротком замыкании; е) абсолютное значение напряжения короткого замыкания; ж) процентное изменение напряжения на вторичной цепи при $\cos\varphi = 0,8$, индуктивном и емкостном характере нагрузки и при номинальном токе; з) напряжение во вторичной цепи, соответствующее этим нагрузкам.

Задача 10. Вторичная обмотка трансформатора тока ТКЛ – 3 рассчитана на включение амперметра с пределом измерения 5 А. Класс точности приборов 0,5. Определить номинальный ток в первичной цепи и в амперметре, погрешности измерения приборов, если коэффициент трансформации $K1 = 60$, а ток первичной цепи $I1 = 225$ А.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

Задачей преподавателя при проведении лабораторных работ является грамотное и доступное разъяснение принципов и правил проведения работ, побуждение студентов к самостоятельной работе, определения места изучаемой дисциплины в дальнейшей профессиональной работе будущего специалиста.

Цель лабораторной работы – научить студентов самостоятельно производить необходимые действия для достижения желаемого результата.

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, студенту необходимо ознакомиться с теоретическим материалом, соответствующим данной теме.

Выполнение лабораторной работы целесообразно разделить на несколько этапов:

- формулировка и обоснование цели работы;
- определение теоретического аппарата, применительно к данной теме;
- выполнение заданий;
- анализ результата;
- выводы.

Индивидуальные задания для лабораторных работ представлены конкретно-практическими и творческими задачами.

После изучения отдельной темы курса дисциплины, каждый студент получает оценку по результатам выполнения лабораторных работ.

Начиная подготовку к лабораторному занятию, необходимо, прежде всего, указать студентам страницы в конспекте лекций, разделы учебников и учебных пособий, чтобы они получили общее представление о месте и значении темы в изучаемом курсе. Затем следует рекомендовать им поработать с дополнительной литературой, сделать записи по рекомендованным источникам.

Успешное выполнение лабораторных работ может быть достигнуто в том случае, если студент отчетливо представляет себе цель эксперимента и ожидаемые результаты, поэтому важным условием обстоятельности проводимых исследований является тщательная подготовка к каждой лабораторной работе.

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

Подготовка к выполнению лабораторной работы

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

При подготовке к лабораторной работе студент должен:

- 1) внимательно ознакомиться с описанием соответствующей лабораторной работы и установить, в чём состоит цель и задача работы;
- 2) по лекционному курсу и рекомендованным литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной лабораторной работе;
- 3) ознакомиться с порядком выполнения работы;
- 4) выполнить предварительный теоретический расчет;
- 5) приготовить в рабочей тетради заготовку отчета лабораторной работы, которая должна содержать:

- титульный лист;
- название работы и её цель;
- план проведения опытов;
- электрические схемы изучаемых цепей (монтажные и принципиальные);
- таблицы для записи результатов наблюдений и расчетов;
- расчётные формулы, необходимые для промежуточных вычислений в процессе работы;
- выполненный предварительный теоретический расчет (если это предусмотрено данной лабораторной работой).

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

Выполнение лабораторной работы

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

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

– ознакомиться со стендом, измерительными приборами и дополнительным оборудованием, используемым в процессе выполнения работы. Выбрать приборы, необходимые для выполнения работы или подобрать пределы измерений на многопредельных приборах так, чтобы значения измеряемых величин находились в пределах 20-95% шкалы прибора.

– собрать цепь в соответствии со схемой. Сборку цепи удобнее производить в следующем порядке: начав сборку главной последовательной цепи с одного зажима источника, закончить ее на другом зажиме. К этой цепи в соответствующих схеме местах присоединяются остальные параллельные ветви.

– предъявить собранную цепь для проверки преподавателю. Только после его разрешения к цепи может быть подано напряжение.

– выполнить все измерения, и провести необходимые по ходу работы расчеты (остальные расчеты делаются позже при подготовке отчета по лабораторной работе).

– при выполнении работы следует соблюдать правила техники безопасности.

– обращаться с приборами и оборудованием следует бережно и аккуратно. Применять приборы только в соответствии с их назначением. Студенты несут материальную ответственность за повреждение приборов, произошедшее по их вине.

– в конце занятия (или по завершению измерений), не разбирая электрической цепи, предъявить преподавателю результаты измерений для проверки. Для этого строят черновик полученной экспериментальной кривой (или векторной диаграммы). Если результат опыта не верен, опыт повторяется вновь. Если результаты удовлетворительны, преподавателем делается отметка о выполнении студентом лабораторной работы (ставится подпись и дата в отчете студента). Отчеты без подписи преподавателя в дальнейшем к зачёту не принимаются.

– разобрать электрическую цепь (с разрешения преподавателя) и привести в порядок рабочее место после окончания работы.

Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы

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

- титульный лист;
- номер, название, цель работы и дату её выполнения;
- результаты измерений и вычислений в виде таблиц (или ином виде, согласно методическим рекомендациям к данной лабораторной работе);
- расчетные формулы, по которым производились вычисления с примером вычисления по каждой формуле;
- расчеты погрешностей измерений и записи результатов измерений с учетом погрешности (если это предусмотрено заданием на лабораторную работу);
- схемы, графики, диаграммы и т.п., в соответствии с заданием на лабораторную работу;
- основные выводы по результатам работы на основании сравнения полученных результатов с данными теоретических расчетов.

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

Электрические схемы вычерчиваются в соответствии с принятым ГОСТом и обозначениями.

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

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

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

Тетрадь с отчетами выполненных работ предъявляется экзаменатору. Выполнение лабораторных работ и отчет по ним в полном объеме является обязательным условием допуска к экзамену по данной дисциплине.

Перечень лабораторных работ и материалы к ним приведены в учебно пособии [5].

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа представляет собой особую, высшую степень учебной деятельности. Она обусловлена индивидуальными психологическими различиями обучающегося и личностными особенностями и требует высокого уровня самосознания, рефлексивности. Самостоятельная работа может осуществляться как во внеаудиторное время (дома, в лаборатории), так и на аудиторных занятиях в письменной или устной форме.

Самостоятельная работа обучающихся является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, в том числе с использованием автоматизированных обучающих систем, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям, зачетам и экзаменам. Организуется, обеспечивается и контролируется данный вид деятельности студентов соответствующими кафедрами.

Самостоятельная работа предназначена не только для овладения каждой дисциплиной, но и для формирования навыков самостоятельной работы вообще, в учебной, научной, профессиональной деятельности, способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решить проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т. д. Значимость самостоятельной работы выходит далеко за рамки отдельного предмета, в связи с чем выпускающие кафедры должны разрабатывать стратегию формирования системы умений и навыков само-

стоятельной работы. При этом следует исходить из уровня самостоятельности абитуриентов и требований к уровню самостоятельности выпускников, с тем чтобы за весь период обучения достаточный уровень был достигнут.

При проведении самостоятельной работы, связанной с проработкой теоретического материала, студентам предлагается законспектировать рассматриваемый вопрос, в случае необходимости задать возникшие вопросы на практическом занятии (лабораторной работе или на консультации).

При изучении дисциплины «Электротехника и электроника» практикуются следующие виды и формы самостоятельной работы студентов:

- выполнение лабораторных и практических работ;
- оформление отчётов;
- завершение практических работ;
- подготовка к устному опросу, к дискуссии
- подготовка к тестированию
- подготовка к письменной, контрольной работе, тестированию, контрольной точке;

Самостоятельная работа тесно связана с контролем (контроль также рассматривается как завершающий этап выполнения самостоятельной работы), при выборе вида и формы самостоятельной работы следует учитывать форму контроля.

Формы контроля при изучении дисциплины «Электротехника и электроника»:

- устный опрос;
- контрольная работа;
- контрольная точка;
- отчет;
- письменная работа;
- тестирование.

Самостоятельная работа проводится в виде подготовительных упражнений для усвоения нового, упражнений при изучении нового материала, упражнений в процессе закрепления и повторения, упражнений проверочных и контрольных работ, а также для самоконтроля.

Для организации самостоятельной работы необходимы следующие условия:

- готовность студентов к самостоятельному труду;
- наличие и доступность необходимого учебно-методического и справочного материала;
- консультационная помощь.

Самостоятельная работа может проходить в лекционном кабинете, лаборатории, компьютерном зале, библиотеке, дома. Самостоятельная работа тренирует волю, воспитывает работоспособность, внимание, дисциплину и т.д.

Рекомендации по организации аудиторной самостоятельной работы

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

Основными видами аудиторной самостоятельной работы являются:

- выполнение лабораторных и практических работ по инструкциям; работа с литературой и другими источниками информации, в том числе электронными;
- само- и взаимопроверка выполненных заданий;

Выполнение лабораторных и практических работ осуществляется на лабораторных и практических занятиях в соответствии с графиком учебного процесса. Для обеспечения самостоятельной работы преподавателями разрабатываются методические указания по выполнению лабораторной/практической работы.

Работа с литературой, другими источниками информации, в т.ч. электронными может реализовываться на лекционных и практических занятиях. Данные источники информации могут быть представлены на бумажном и/или электронном носителях, в том числе, в сети Internet. Пре-

подаватель формулирует цель работы с данным источником информации, определяет время на проработку документа и форму отчетности.

Само и взаимопроверка выполненных заданий чаще используется на лекционном, практическом занятии и имеет своей целью приобретение таких навыков как наблюдение, анализ ответов сокурсников, сверка собственных результатов с эталонами.

Рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы

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

При предъявлении видов заданий на внеаудиторную самостоятельную работу рекомендуется использовать дифференцированный подход к уровню подготовленности обучающегося. Перед выполнением внеаудиторной самостоятельной работы преподаватель проводит консультацию с определением цели задания, его содержания, сроков выполнения, ориентировочного объема работы, основных требований к результатам работы, критериев оценки, форм контроля и перечня литературы. В процессе консультации преподаватель предупреждает о возможных типичных ошибках, встречающихся при выполнении задания.

Для методического обеспечения и руководства самостоятельной работой в образовательном учреждении разрабатываются учебные пособия, методические рекомендации по самостоятельной подготовке к различным видам занятий.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня подготовленности обучающихся.

Для обеспечения внеаудиторной самостоятельной работы по дисциплине преподавателем разрабатывается перечень заданий для самостоятельной работы, который необходим для эффективного управления данным видом учебной деятельности обучающихся.

Преподаватель осуществляет управление самостоятельной работой, регулирует ее объем на одно учебное занятие и осуществляет контроль выполнения всеми обучающимися группы. Для удобства преподаватель может вести ведомость учета выполнения самостоятельной работы, что позволяет отслеживать выполнение минимума заданий, необходимых для допуска к итоговой аттестации по дисциплине.

В процессе самостоятельной работы студент приобретает навыки самоорганизации, самоконтроля, самоуправления и становится активным самостоятельным субъектом учебной деятельности.

Обучающийся самостоятельно определяет режим своей внеаудиторной работы и меру труда, затрачиваемого на овладение знаниями и умениями по каждой дисциплине, выполняет внеаудиторную работу по индивидуальному плану, в зависимости от собственной подготовки, бюджета времени и других условий.

Ежедневно обучающийся должен уделять выполнению внеаудиторной самостоятельной работы в среднем не менее 3 часов.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может проводиться в письменной, устной или смешанной форме с представлением продукта деятельности обучающегося. В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы могут быть использованы зачеты, тестирование, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и др.

Методические рекомендации по изучению теоретических основ дисциплин

Изучение теоретической части дисциплин призвано не только углубить и закрепить знания, полученные на аудиторных занятиях, но и способствовать развитию у студентов творческих навыков, инициативы и организовать свое время.

Планирование времени, необходимого на изучение дисциплин, студентам лучше всего осуществлять весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение материала.

При изучении дисциплины сначала необходимо по каждой теме прочитать рекомендованную литературу и составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения последующих тем курса. Для расширения знания по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы; проводить поиски в различных системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем.

При подготовке к контрольной работе необходимо прочитать соответствующие страницы основного учебника. Желательно также чтение дополнительной литературы. При написании контрольной работы ответ следует иллюстрировать схемами.

При ответе на экзамене необходимо: продумать и четко изложить материал; дать определение основных понятий; дать краткое описание явлений; привести примеры. Ответ следует иллюстрировать схемами, рисунками и графиками.

Варианты тестов, контрольных заданий и критерии оценки приведены в ФОС по дисциплине «Электротехника и электроника» для направления подготовки 21.05.02 – Прикладная геология.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов Н. В. Электротехника и основы электроники [Электронный ресурс] : учебное пособие / Белов Н. В., Волков Ю. С. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2012. — 431 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3553 — Загл. с экрана.
2. Иванов, И.И. Электротехника и основы электроники. [Электронный ресурс] : Учебники / И.И. Иванов, Г.И. Соловьев, В.Я. Фролов. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2016. — 736 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/71749> — Загл. с экрана.
3. Бабичев, Ю.Е. Электротехника и электроника. Ч.1. Электрические, электронные и магнитные цепи. [Электронный ресурс] : Учебники — Электрон. дан. — М. : Горная книга, 2007. — 615 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/3300> — Загл. с экрана.
4. Новиков, Ю.Н. Электротехника и электроника: Теория цепей и сигналов, методы анализа: учеб. пособие: рек. Мин. обр. РФ / Ю.Н.Новиков.-СПб.:Питер,2005.- 383с.
5. Вилесова, Л.А. Электрические цепи : учеб. пособие / Л.А. Вилесова, О.В. Зотова. – 2-е изд. перераб. – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2009. – 46 с. - http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/3104.pdf
6. Рекус, Г.Г. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники: учеб. пособие / Г.Г. Рекус, А.И. Белоусов.- 2-е изд. перераб.- М.:Высш.шк., 2001. – 416 с.