

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Фурсов Владимир Алексеевич

Должность: И.о. директора Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 08.06.2026 14:27:06

Уникальный программный ключ:

1c378726a41fd0143ae5bccc8ba81860b00daa62

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

Высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Колледж Пятигорского института (филиал) СКФУ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ВНЕАУДИТОРНЫХ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ ЗАНЯТИЙ
ОП.03 Электротехника и электроника**

23.02.07 Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных
средств

Методические рекомендации к проведению внеаудиторных самостоятельных занятий по дисциплине ОП.03 Электротехника и электроника производства составлены в соответствии с требованиями ФГОС СПО к подготовке выпуска для получения квалификации специалист.

Предназначены для студентов, обучающихся по специальности: 23.02.07
Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические рекомендации к проведению внеаудиторных самостоятельных занятий по дисциплине Электротехника и электроника представляют собой руководство по изучению различных разделов и тем курса в соответствии ФГОС СПО по специальности 23.02.07 Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств и рабочей программой учебной дисциплины ОП.03 Электротехника и электроника

Методические рекомендации по выполнению практических занятий учебной дисциплины «Электротехника и электроника» раскрывают у студентов формирование системы знаний, практических умений и объяснения уровня образованности и уровня подготовки студентов по специальности 23.02.07 «Технологическое обслуживание и ремонт автотранспортных средств».

Самостоятельная работа студента должна начинаться с изучения, осмысления изложенной темы в учебной, справочной литературе.

Количество часов на реализацию программы ОП.03 «Электротехника и электроника» – 48 часов. **Рекомендуемое количество часов самостоятельной работы – 36 часов.**

Методические рекомендации имеют определенную структуру.

В первом разделе представлена тематика самостоятельных работ, прописаны задания для самостоятельной работы и формы их представления, время, отведенное на их выполнение.

Во втором разделе содержатся рекомендации по выполнению заданий, в частности, дан алгоритм выполнения задания, сформулированы критерии самооценки выполненной работы, виды контроля качества выполненной работы, рекомендуемые источники информации.

Предлагаемые рекомендации разработаны в помощь студенту, выполняющему внеаудиторную самостоятельную работу, которые помогут быть успешным в этой деятельности.

В рамках программы учебной дисциплины обучающимися осваиваются умения и знания

Код ПК, ОК	Умения	Знания
ОК 01	распознавать задачу и/или проблему в профессиональном и/или социальном контексте; анализировать задачу и/или проблему и выделять её составные части; определять этапы решения задачи; выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи и/или проблемы; составлять план действия; определять необходимые ресурсы; владеть актуальными методами работы в профессиональной и смежных сферах; реализовывать составленный план; оценивать результат и последствия своих действий (самостоятельно или с помощью наставника)	актуальный профессиональный и социальный контекст, в котором приходится работать и жить; основные источники информации и ресурсы для решения задач и проблем в профессиональном и/или социальном контексте; алгоритмы выполнения работ в профессиональной и смежных областях; методы работы в профессиональной и смежных сферах; структуру плана для решения задач; порядок оценки результатов решения задач профессиональной деятельности
ОК 02	определять задачи для поиска информации; определять необходимые источники информации; планировать процесс поиска; структурировать	номенклатура информационных источников, применяемых в профессиональной деятельности; приемы структурирования информации; формат оформления результатов

	получаемую информацию; выделять наиболее значимое в перечне информации; оценивать практическую значимость результатов поиска; оформлять результаты поиска, применять средства информационных технологий для решения профессиональных задач; использовать современное программное обеспечение; использовать различные цифровые средства для решения профессиональных задач.	поиска информации, современные средства и устройства информатизации; порядок их применения и программное обеспечение в профессиональной деятельности в том числе с использованием цифровых средств.
ПК 1.1.	Принимать автомобиль на диагностику, проводить беседу с заказчиком для выявления его жалоб на работу автомобиля, проводить внешний осмотр автомобиля, составлять необходимую документацию; Выявлять по внешним признакам отклонения от нормального технического состояния двигателя, делать на их основе прогноз возможных неисправностей; Выбирать методы диагностики, выбирать необходимое диагностическое оборудование и инструмент, подключать и использовать диагностическое оборудование, выбирать и использовать программы диагностики, проводить диагностику двигателей. Соблюдать безопасные условия труда в профессиональной деятельности. Использовать технологическую документацию на диагностику двигателей, соблюдать регламенты диагностических работ, рекомендованные автопроизводителями. Читать и интерпретировать данные, полученные в ходе диагностики. Определять по результатам диагностических процедур неисправности механизмов и систем автомобильных двигателей, оценивать остаточный ресурс отдельных наиболее изнашиваемых деталей, принимать решения о необходимости ремонта и способах устранения выявленных неисправностей. Использовать технологическую документацию на диагностику двигателей, соблюдать регламенты диагностических работ,	Марки и модели автомобилей, их технические характеристики и особенности конструкции. Технические документы на приёмку автомобиля в технический сервис. Психологические основы общения с заказчиками. Устройство и принцип действия систем и механизмов двигателя, регулировки и технические параметры исправного состояния двигателей, основные внешние признаки неисправностей автомобильных двигателей различных типов. Устройство и принцип действия систем и механизмов двигателя, диагностируемые параметры работы двигателей, методы инструментальной диагностики двигателей, диагностическое оборудование для автомобильных двигателей, их возможности и технические характеристики, оборудование коммутации. Основные неисправности двигателей и способы их выявления при инструментальной диагностике. Знать правила техники безопасности и охраны труда в профессиональной деятельности. Основные неисправности автомобильных двигателей, их признаки, причины и способы устранения. Коды неисправностей, диаграммы работы электронного контроля работы автомобильных двигателей, предельные величины износов их деталей и сопряжений. Технические документы на приёмку автомобиля в технический сервис. Содержание диагностической карты автомобиля, технические термины, типовые неисправности. Информационные программы технической документации по диагностике автомобилей

	рекомендованные автопроизводителями. Читать и интерпретировать данные, полученные в ходе диагностики. Применять информационно-коммуникационные технологии при составлении отчетной документации по диагностике двигателей. Заполнять форму диагностической карты автомобиля. Формулировать заключение о техническом состоянии автомобиля	
--	---	--

Критерии оценивания:

Оценка «отлично»выставляется, если студент глубоко и прочно усвоил программный материал по изученной теме, не допускает ошибок при ответе на теоретические вопросы, выполнил тестовые задания, правильно решил задачи, дает полные ответы на дополнительные вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если студент знает программный материал по теме, последовательно и по существу излагает его, допускает незначительные ошибки при ответе на теоретические вопросы, выполнил тестовые задания, правильно решил задачи, но допускает неточности в ответе на дополнительные вопросы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если студент усвоил только основной материал, допускает неточности при ответе на теоретические вопросы, выполнил более половины тестовых заданий, задачи решил с ошибками, затрудняется с ответами на дополнительные вопросы.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если студент обнаружил пробелы в знании материала по теме, не выполнил более половины тестовых заданий, не решил задачи, в ответах допустил принципиальные ошибки.

Общие положения о внеаудиторной самостоятельной работе студентов

Самостоятельная работа по электротехнике – это педагогически управляемый процесс самостоятельной деятельности студентов, обеспечивающий реализацию целей и задач по овладению необходимым объемом знаний, умений и навыков, опыта творческой работы и развитию профессиональных интеллектуально-волевых, нравственных качеств будущего специалиста.

Основные виды внеаудиторной самостоятельной работы (ВСР) студентов при изучении дисциплины «Электротехника»:

- работа с учебником;
- решение задач;
- работа со справочной литературой;
- подготовка сообщений по темам;
- изготовление наглядных пособий и моделей;
- составление кроссвордов;
- использование Интернета.

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных знаний и практических умений и навыков студентов;
- углубления и расширения теоретических и практических знаний;
- формирования умений использовать специальную, справочную литературу, Интернет;
- развития познавательных способностей и активности студентов, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию,

самосовершенствованию и самореализации;

- развития исследовательских знаний.

Критериями оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентом учебного материала;
- умение студента использовать теоретические знания при решении задач;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями ФГОС.

Задачами, реализуемыми в ходе проведения внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся, в образовательной среде колледжа являются:

- систематизация, закрепление, углубление и расширение полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления: способности к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- овладение практическими навыками применения информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности;
- развитие исследовательских умений.

Объем времени, отведенный на внеаудиторную самостоятельную работу, находит свое отражение:

- в рабочих программах учебных дисциплин и профессиональных модулей с ориентировочным распределением по разделам и темам.

Контроль результатов самостоятельной работы обучающихся может осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия и самостоятельную работу по дисциплине математика и может проходить в письменной, устной или смешанной форме с предоставлением изделия или продукта творческой деятельности.

Критериями оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы обучающегося являются:

- уровень освоения учебного материала;
- умение использовать теоретические знания и умения при выполнении практических задач;
- уровень сформированности общих и профессиональных компетенций.

Указания к выполнению ВСР

1. ВСР нужно выполнять в тетради в клетку.
2. Решения задач следует излагать подробно и аккуратно, объясняя и мотивируя все действия по ходу решения и делая необходимые чертежи.
3. Оформление решения задачи следует завершать словом «Ответ».
4. После получения проверенной преподавателем работы студент должен в этой же тетради исправить все отмеченные ошибки и недочеты. Вносить исправления в сам текст работы после ее проверки запрещается.
5. Оценивание индивидуальных образовательных достижений по результатам выполнения ВСР производится в соответствии с универсальной шкалой (таблица).

Процент результативности (правильных ответов)	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
	балл (отметка)	вербальный аналог
90 – 100	5	отлично

70 – 89	4	хорошо
51 – 69	3	удовлетворительно
менее 51	2	неудовлетворительно

Методические рекомендации по выполнению ВСР

Методические рекомендации по выполнению практических задач

Для того чтобы практические занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнение и решение ситуативных задач проводятся по вычитанному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться на практических занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения ситуативных задач. При этих условиях студент не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном решении поставленных задач нужно обосновывать каждый этап действий, исходя из теоретических положений курса. Если обучающийся видит несколько путей решения проблемы (задачи), то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала решения поставленных задач составить краткий план решения проблемы (задачи). Решение проблемных задач или примеров следует излагать подробно, нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками, инструкциями по выполнению.

Следует помнить, что решение каждой учебной задачи должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие, и по возможности с выводом. Полученный результат следует проверить способами, вытекающими из существа данной задачи.

Методические рекомендации по подготовке сообщения

Сообщение – это сокращенная запись информации, в которой должны быть отражены основные положения текста, сопровождающиеся аргументами, 1–2 самыми яркими и в то же время краткими примерами.

Сообщение составляется по нескольким источникам, связанным между собой одной темой. Вначале изучается тот источник, в котором данная тема изложена наиболее полно и на современном уровне научных и практических достижений. Записанное сообщение дополняется материалом других источников.

Этапы подготовки сообщения:

1. Прочитайте текст.
2. Составьте его развернутый план.
3. Подумайте, какие части можно сократить так, чтобы содержание было понято правильно и, главное, не исчезло.
4. Объедините близкие по смыслу части.
5. В каждой части выделите главное и второстепенное, которое может быть сокращено при конспектировании.
6. При записи старайтесь сложные предложения заменить простыми.

Тематическое и смысловое единство сообщения выражается в том, что все его компоненты связаны с темой первоисточника.

Сообщение должно содержать информацию на 3-5 мин. и сопровождаться презентацией, схемами, рисунками, таблицами и т.д.

Методические рекомендации к написанию реферата

Реферат необходимо сдать в печатном виде на листе формата А4, выполненном шрифтом Times New Roman 14 пунктов.

Требования, предъявляемые к реферату:

Реферат (доклад) должен быть оформлен в MS Word, шрифт текста Times New Roman, 14 пт., интервал 1,5

1. Титульный лист (см. приложение 1)
2. Содержание (см. приложение 2)
3. Введение
4. Основная часть реферата
5. Заключение
6. Список используемой литературы (см. приложение 3)

Если возникнут затруднения в процессе работы, обратитесь к преподавателю.

Критерии оценки:

1. Вы правильно выполнили задание. Работа выполнена аккуратно – 5(отлично).
2. Вы не смогли выполнить 2-3 элемента. Работа выполнена аккуратно- 4(хорошо).
3. Работа выполнена неаккуратно, технологически неправильно – 3(удовлетворительно).

Примерные задания на самостоятельную работу

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА 1

Тема 1.1.Электрическое поле

4 часа

Методические рекомендации

Примеры решения задач:

№1. Найти ёмкость плоского конденсатора, состоящего из двух круглых пластин диаметром 20 см, разделённых парафиновой прослойкой толщиной 1мм.

Дано: $d_{кр.}=20\text{см}=2\cdot 10^{-2}\text{м}$,

$d=1\text{ мм}=1\cdot 10^{-3}\text{м}$,

$\epsilon=2,1$,

$\epsilon_0=8,85\cdot 10^{-12}\text{ Ф/м}$.

Найти: С

Решение: $S_{кр.}=\pi d^2 =3,14\cdot 10^{-4}\text{ м}^2$

$$C=(\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S):d = (8,85\cdot 10^{-12}\cdot 2,1\cdot 3,14\cdot 10^{-4}):(1\cdot 10^{-3})=2,33\cdot 10^{-6}\text{ Ф}$$

Ответ: $2,33\cdot 10^{-6}\text{ Ф}$

№2. К сети напряжением 0,12 кВ параллельно подключены две электрические лампы сопротивлением 0,2 кОм и 0,3 кОм. Чему равно напряжение на каждой лампе, их общее сопротивление, общая сила тока, а также сила тока в каждой лампе?

Дано: параллельное соединение,

$U=0,12\text{кВ}=120\text{В}$,

$R_1=0,2\text{кОм}=200\text{ Ом}$,

$R_2=0,3\text{кОм}=300\text{ Ом}$.

Найти: U_1, U_2, I, I_1, I_2

Решение: $U_1=U_2=U=120\text{ В}$, тк параллельное соединение,

$$R=\frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}}=\frac{1}{\frac{1}{200}+\frac{1}{300}}=\frac{1}{0,0083}=120,5\text{ Ом};$$

По закону Ома для участка цепи:

$$I=\frac{U}{R}=\frac{120}{120,5}\approx 1\text{ А};$$

$$I_1=\frac{U}{R_1}=\frac{120}{200}=0,6\text{ А};$$

$$I_2=\frac{U}{R_2}=\frac{120}{300}=0,4\text{ А}.$$

Ответ: 120В;120В; 1А;0,6А;0,4А.

№3. Два последовательно соединенных проводника сопротивлением 6 и 8 Ом включены в сеть напряжением 0,08 кВ. Определите общую силу тока в цепи, сила тока в каждом проводнике, а также напряжение на каждом из них.

Дано: последовательное соединение,

$$R_1=6 \text{ Ом},$$

$$R_2=8 \text{ Ом},$$

$$U=0.08\text{кВ}=80\text{В}.$$

Найти: I , I_1 , I_2 , U_1 , U_2

Решение: $R = R_1 + R_2 = 6 + 8 = 14 \text{ Ом}$, тк последовательное соединение,

$$I_1 = I_2 = I = \frac{U}{R} = \frac{80}{14} = 5,7 \text{ А}, \text{ тк последовательное соединение,}$$

$$\text{По закону Ома для участка цепи: } U_1 = I * R_1 = 5,7 * 6 = 34,2 \text{ В}, \quad U_2 = I * R_2 = 5,7 * 8 = 45,6 \text{ В}.$$

Ответ: 5,7 А; 5,7А; 5,7А; 34,2В; 45,6В

№4. ЭДС источника тока равна 5В. К источнику присоединили лампу, сопротивление которой 12 Ом. Найдите напряжение на лампе, если внутреннее сопротивление источника равно 0,5 Ом.

Дано: $\varepsilon=5\text{В}$,

$$R=12 \text{ Ом},$$

$$r=0,5 \text{ Ом}.$$

Найти: U

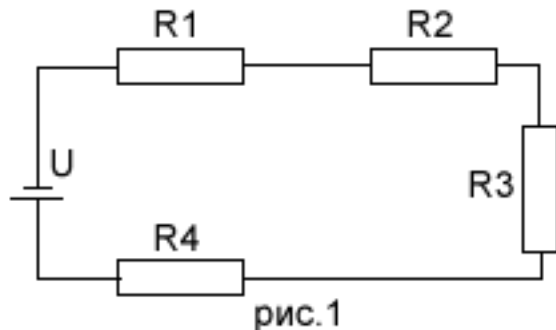
Решение: По закону Ома для полной цепи: $I = \frac{\varepsilon}{R+r} = \frac{5}{12+0,5} = 0,4 \text{ А}.$

$$\text{По закону Ома для участка цепи: } U = I * R = 0,4 * 12 = 4,8 \text{ А}.$$

Ответ: 4,8А.

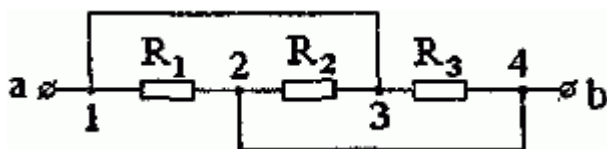
Используя методические рекомендации выполнить задания:

№1-5. Определить общее сопротивление электрической цепи, напряжение и мощность каждого проводника на рис.1. (Внутренним сопротивлением источника пренебречь)



Номер задачи	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	Напряжение источника напряжения, В
1	10	25	15	14	16
2	5	10	15	12	14
3	10	15	20	11	15
4	5	15	10	11	12
5	15	20	17	10	15

№6-10. Найти сопротивление между зажимами а и в для схемы, изображенной на рисунке:



Номер задачи	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом
11	10	15	20
12	5	10	15
13	1	2	4
14	2	1	5
15	10	5	1

№11. Цепь состоит из источника тока с ЭДС 9 В и внутренним сопротивлением 3 Ом и проводников сопротивлением 9 Ом и 6 Ом (соединение последовательное). Найдите напряжение первого проводника.

Вопросы для самопроверки:

1. Дайте определение электрической цепи и ее схемы замещения.
2. Какими моделями пользуются при описании свойств идеальных и реальных источников электродвижущей силы (Э.Д.С.)?
3. Какими моделями пользуются при описании свойств идеальных и реальных источников тока?
4. Чем отличаются линейные и нелинейные элементы электрических цепей?
5. Какие электрические цепи называются линейными электрическими цепями постоянного тока?
6. Дайте определения ветви, узла и контура электрической цепи.
7. Сформулируйте первое правило (закон) Кирхгофа. Какой принцип электромагнетизма утверждается в первом правиле Кирхгофа?
8. Сформулируйте второе правило (закон) Кирхгофа. Какой принцип электромагнетизма утверждается во втором правиле Кирхгофа?
9. Докажите, что при последовательном соединении элементов в электрической цепи эквивалентное сопротивление равно сумме их сопротивлений.
10. Докажите, что при параллельном соединении элементов в электрической цепи эквивалентная проводимость равна сумме их проводимостей.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА 2

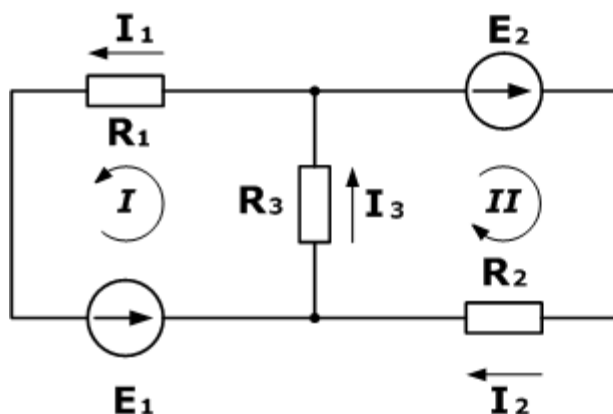
Тема 1.2 Электрические цепи постоянного тока

4 часа

Методические рекомендации

Примеры решения задач:

№1. Дана схема, и известны сопротивления резисторов и ЭДС источников. Требуется найти токи в ветвях, используя законы Кирхгофа.



Дано

$$R_1 = 100 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 150 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 150 \text{ Ом}$$

$$E_1 = 75 \text{ В}$$

$$E_2 = 100 \text{ В}$$

$$I_1, I_2, I_3 - ?$$

Используя первый закон Кирхгофа, можно записать $n-1$ уравнений для цепи. В нашем случае количество узлов $n=2$, а значит нужно составить только одно уравнение.

Напомним, что по первому закону, сумма токов сходящихся в узле равна нулю. При этом, условно принято считать входящие токи в узел положительными, а выходящими отрицательными. Значит для нашей задачи

$$I_3 - I_1 - I_2 = 0$$

Затем используя второй закон (сумма падений напряжения в независимом контуре равна сумме ЭДС в нем) составим уравнения для первого и второго контуров цепи. Направления обхода выбраны произвольными, при этом если направление тока через резистор совпадает с направлением обхода, берем со знаком плюс, и наоборот если не совпадает, то со знаком минус. Аналогично с источниками ЭДС.

На примере первого контура – ток I_1 и I_3 совпадают с направлением обхода контура (против часовой стрелки), ЭДС E_1 также совпадает, поэтому берем их со знаком плюс.

Уравнения для первого и второго контуров по второму закону будут:

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 = E_1$$

$$R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2$$

Все эти три уравнения образуют систему

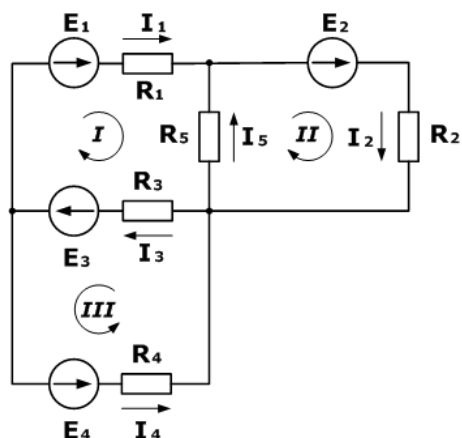
$$\begin{cases} R_1 I_1 + R_3 I_3 = E_1 \\ R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2 \\ I_3 - I_1 - I_2 = 0 \end{cases}$$

Подставив известные значения и решив данную линейную систему уравнений, найдем токи в ветвях (способ решения может быть любым).

$$\begin{cases} I_1 = 0,143 \\ I_2 = 0,262 \\ I_3 = 0,405 \end{cases}$$

Проверку правильности решения можно осуществить разными способами, но самым надежным является проверка балансом мощностей.

№2. Зная сопротивления резисторов и ЭДС трех источников найти ЭДС четвертого и токи в ветвях.



Дано

$R_1 = 130 \text{ Ом}$
 $R_2 = 100 \text{ Ом}$
 $R_3 = 150 \text{ Ом}$
 $R_4 = 200 \text{ Ом}$
 $R_5 = 80 \text{ Ом}$
 $E_1 = 30 \text{ В}$
 $E_2 = 60 \text{ В}$
 $E_3 = 80 \text{ В}$
 $I_5 = 0,206 \text{ А}$

$I_1, I_2, I_3, I_4 - ?$
 $E_4 - ?$

Как и в предыдущей задаче начнем решение с составления уравнений на основании первого закона Кирхгофа. Количество уравнений $n-1=2$

$$I_3 - I_1 - I_4 = 0$$

$$I_5 + I_1 - I_2 = 0$$

Затем составляем уравнения по второму закону для трех контуров. Учитываем направления обхода, как и в предыдущей задаче.

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 - R_5 I_5 = E_1 + E_3$$

$$R_2 I_2 + R_5 I_5 = E_2$$

$$R_3 I_3 + R_4 I_4 = E_3 + E_4$$

На основании этих уравнений составляем систему с 5-ью неизвестными

$$\begin{cases} R_1 I_1 + R_3 I_3 - R_5 I_5 = E_1 + E_3 \\ R_2 I_2 + R_5 I_5 = E_2 \\ R_3 I_3 + R_4 I_4 = E_3 + E_4 \\ I_3 - I_1 - I_4 = 0 \\ I_5 + I_1 - I_2 = 0 \end{cases}$$

Решив эту систему любым удобным способом, найдем неизвестные величины

$$\begin{cases} I_1 = 0,229 \\ I_2 = 0,435 \\ I_3 = 0,645 \\ I_4 = 0,416 \\ E_4 = 100 \end{cases}$$

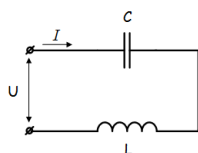
Для этой задачи выполним проверку с помощью баланса мощностей, при этом сумма мощностей, отданная источниками, должна равняться сумме мощностей полученных приемниками.

$$I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 = E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3 + E_4 I_4$$

$$126.2 \approx 126.2 \text{ Вт}$$

Баланс мощностей сошелся, а значит токи и ЭДС найдены верно.

№ 3. В сеть переменного тока включены последовательно катушка индуктивностью 3 мГн и активным сопротивлением 20 Ом и конденсатор емкостью 30 мкФ. Напряжение U_C на конденсаторе 50 В. Определите напряжение на зажимах цепи, ток в цепи, напряжение на катушке, активную и реактивную мощность.



Решение задачи начнём с определения тока в цепи, но для этого нужно сначала определить реактивное сопротивление конденсатора.

Как известно, реактивное сопротивление конденсатора зависит от частоты переменного тока (при её увеличении уменьшается, а при её уменьшении увеличивается), следовательно

$$x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 * 3.14 * 50 * 30 * 10^{-6}} = 106.1 \text{ Ом}$$

Ток в цепи находим из соображения, что элементы в цепи соединены последовательно, а значит, ток на конденсаторе и катушке будет одним и тем же.

$$I = I_C = \frac{U_C}{x_C} = \frac{50}{106.1} = 0.471 \text{ А}$$

Следующим шагом мы определяем индуктивное сопротивление и напряжение катушки

$$x_L = \omega L = 2\pi f L = 2 * 3.14 * 50 * 0.003 = 0.94 \text{ Ом}$$

$$U_L = I x_L = 0.471 * 0.94 = 0.44 \text{ В}$$

Зная активное сопротивление обмотки катушки, можем определить падение напряжения на нем

$$U_R = I R = 0.471 * 20 = 9.42 \text{ В}$$

Теперь, когда мы знаем напряжение на каждом из элементов, мы можем определить напряжение на зажимах цепи, которое будет равно

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{9.42^2 + (0.44 - 50)^2} = 50.44 \text{ В}$$

Активную мощность в данном случае можно определить как мощность, выделяемую на обмотке катушки

$$P = U_R I = 9.42 * 0.471 = 4.44 \text{ Вт}$$

Для определения реактивной мощности необходимо для начала определить угол сдвига ϕ

$$\phi = \arctg\left(\frac{x}{R}\right) = \arctg\left(\frac{(x_L - x_C)}{R}\right) = \arctg\left(\frac{(0.942 - 106.1)}{20}\right) = -79^\circ$$

$$Q = UI \sin \phi = 50.44 * 0.471 * \sin(-79) = -23.34 \text{ ВАр}$$

Так как реактивная мощность имеет отрицательное значение, то цепь имеет емкостной характер.

№4. Задача: Последовательно с катушкой, активное сопротивление которой $R_1=10$ Ом и индуктивность $L=0,0318$ Гн, включен приемник, обладающий активным сопротивлением $R_2=1$ Ом и емкостью $C=796$ мкф (рис. 1). К цепи приложено переменное напряжение, изменяющееся по закону $u=169,8 \cdot \sin(314 \cdot t)$.

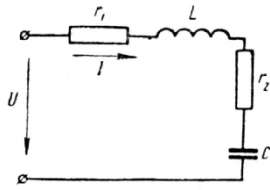


Рис. 1.

Определить: полное сопротивление цепи, коэффициент мощности цепи, ток в цепи, активную, реактивную и полную мощности, а также построить в масштабе векторную диаграмму.

Как нужно изменить величину емкости, чтобы в цепи наступил резонанс напряжений? Индуктивность катушки остается постоянной.

Решение:

1. Сравнивая закон изменения напряжения в цепи с общим выражением $u = U_M \cdot \sin(\omega t)$, можно заключить, что амплитуда напряжения $U_M = 169,8 \text{ В}$, а $\omega = 2\pi \cdot f = 314 \text{ (1/сек)}$.

Отсюда действующее значение напряжения

$$U = \frac{U_M}{\sqrt{2}} = \frac{169,8}{1,41} = 120 \text{ В}.$$

Частота тока

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{314}{2 \cdot 3,14} = 50 \text{ Гц}.$$

2. Индуктивное сопротивление катушки

$$X_L = \omega L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,0318 = 10 \text{ Ом}.$$

3. Емкостное сопротивление конденсатора

$$X_C = \frac{10^6}{\omega \cdot C} = \frac{10^6}{314 \cdot 796} = 40 \text{ Ом}.$$

4. Полное сопротивление цепи

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(10 + 1)^2 + (10 - 4)^2} = 12,5 \text{ Ом}.$$

5. Коэффициент мощности цепи

$$\cos \varphi = \frac{R_1 + R_2}{Z} = \frac{10 + 1}{12,5} = 0,88.$$

$$\varphi = 28,35^\circ$$

6. Сила тока в цепи

$$I = \frac{U}{z} = \frac{120}{12.5} = 9.6 \text{ A.}$$

7. Активная мощность

$$P = I_2(R_1 + R_2) = 9.62(10 + 1) = 1014 \text{ Вт.}$$

или

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 120 \cdot 9.6 \cdot 0.88 = 1014 \text{ Вт.}$$

8. Реактивная мощность

$$Q = I_2 X_L - I_2 X_C = I_2(X_L - X_C) = 9.62(10 - 4) = 553 \text{ Вар.}$$

или

$$Q = I \cdot U \cdot \sin \varphi = 120 \cdot 9.6 \cdot 0.49 = 553 \text{ Вар.}$$

9. Полная мощность

$$S = I_2 Z = 9.62 \cdot 12.5 = 1152 \text{ ВА}$$

или

$$S = U \cdot I = 120 \cdot 9.6 = 1152 \text{ ВА}$$

или

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{1014^2 + 553^2} = 1152 \text{ ВА.}$$

10. Построение векторной диаграммы начинаем с определения потерь напряжений на каждом сопротивлении:

$$U_{R1} = I \cdot R_1 = 9.6 \cdot 10 = 96 \text{ (В);}$$

$$U_{R2} = I \cdot R_2 = 9.6 \cdot 1 = 9.6 \text{ (В);}$$

$$U_L = I \cdot X_L = 9.6 \cdot 10 = 96 \text{ (В);}$$

$$U_C = I \cdot X_C = 9.6 \cdot 4 = 38.4 \text{ (В);}$$

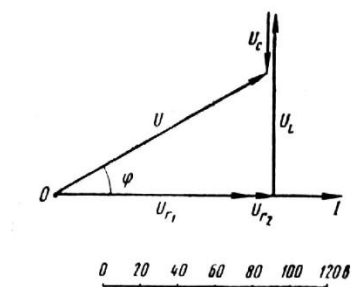


Рис.2

Затем выбираем масштаб для напряжений (см. рис. 2). Построение диаграммы начинаем с вектора

тока I , который откладываем по горизонтали вправо от точки O (рис. 2). Вдоль вектора тока откладываем в принятом масштабе напряжения UR_1 и UR_2 теряемые в активных сопротивлениях цепи. Эти напряжения совпадают по фазе с током. От конца вектора UR_2 откладываем в сторону опережения вектора тока под углом 90° вектор потери напряжения UL в индуктивном сопротивлении. Из конца вектора UL откладываем вектор UC в сторону отставания от вектора тока на угол 90° . Геометрическая сумма четырех векторов равна полному напряжению, приложенному к цепи, т. е.

$$U = U_{R1} + U_{R2} + U_L + U_C.$$

11. Для получения резонанса напряжений необходимо, чтобы $X_C = X_L = 10$ Ом, тогда $10 = \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot C}$,
откуда $C = \frac{10^6}{2\pi \cdot 50 \cdot 10} = 318.5 \text{ мкФ}$.

При этом ток в цепи станет $I = \frac{U}{z} = \frac{120}{11} = 10.9 \text{ А}$, где $z = R_1 + R_2 = 11 \text{ Ом}$.

Используя методические рекомендации выполнить задания:

№1. Источники ЭДС соединены в соответствии со схемой рис.1.1. Величины этих ЭДС равны $\mathcal{E}_1$ и $\mathcal{E}_2$. Сопротивление имеет величину R . Внутренние сопротивления источников равны между собой и равны r каждое. Какова сила тока в резисторе?

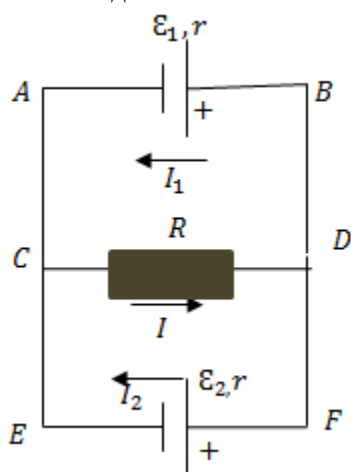
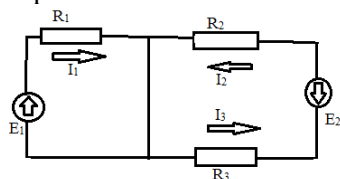


Рис. 1.1

№2. Найдите силы токов для схемы рис.1.1, которые текут через источники ЭДС.

№3. Найдите силу тока каждого резистора ниже приведенной схемы. Если сопротивление первого резистора 4 Ом, второго 6 Ом, третьего 5 Ом, а также ЭДС первого источника тока 10 В и ЭДС второго источника 12 В.



№4. Квадратная рамка вращается вокруг оси, расположенного посередине, с постоянной частотой 1500 об/мин в равномерном магнитном поле, имеющем индукцию 0,4 Тл. Периметр рамки 0,4 м, а число витков 4. Записать выражение для мгновенного значения где, определить период и частоту.

№5. К источнику переменного тока с синусоидально изменяющимся напряжением $U = 84,6 \cdot \sin$

(157t+19°) В подключена катушка, индуктивное сопротивление которой 1,5 Ом и активное 3 Ом. Начертить схему цепи. Определить полное сопротивление и индуктивность катушки; действующее значение напряжения и тока в цепи; коэффициент мощности; частоту и период переменного тока; полную, активную и реактивную мощности катушки. Построить в масштабе $m_u=12$ В/см векторную диаграмму напряжений, отложив горизонтально вектор тока.

Вопросы для самопроверки:

1. Приведите пример расчета электрической цепи методом непосредственного применения правил Кирхгофа.
2. Приведите пример расчета электрической цепи методом контурных токов.
3. Приведите пример расчета электрической цепи методом узловых потенциалов.
4. Приведите пример расчета электрической цепи методом эквивалентного генератора.
5. Приведите пример расчета электрической цепи методом эквивалентных преобразований.
6. Как и для чего составляется уравнение баланса мощностей при расчете электрической цепи? Приведите пример его составления.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА 4

Тема 1.4 Электрические цепи трехфазного переменного тока 4 часа

Методические рекомендации

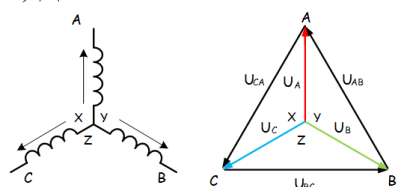
Примеры решения задач:

№1. Соединение «звезда»:

Обмотки трехфазного генератора соединены по схеме «звезда», э.д.с. в них 220 В. Построить векторные диаграммы и определить линейные напряжения для схемы соединения, в которой в одной точке сходятся: а) X Y Z б) X B Z в) X B C. Начала обмоток – A,B,C, концы обмоток – X,Y,Z. Принять нагрузку на генераторе равной нулю.

Решение:

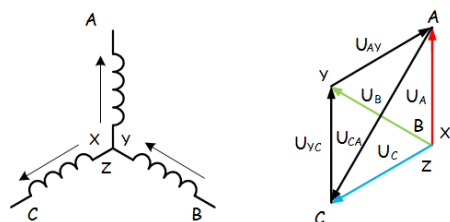
а) Для данной схемы соединения векторная диаграмма будет выглядеть следующим образом



Линейные напряжения в данном случае будут равны и определяться как

$$U_{AB} = U_{CA} = U_{BC} = \sqrt{3}U_{\phi} = \sqrt{3} * 220 = 380 \text{ В}$$

б) Так как обмотка BY подключена началом в нейтральную точку, то вектор напряжения оказывается повернутым на 180 относительно нормального положения.

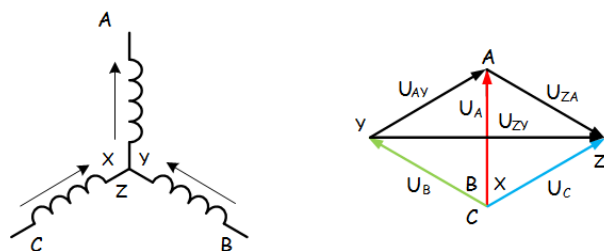


Линейные напряжения в данном примере будут разными по значению

$$U_{AY} = U_{YC} = U_{\phi} = 220 \text{ В}$$

$$U_{CA} = \sqrt{3}U_{\phi} = 380 \text{ В}$$

в) В данном случае относительно нормального положения повернуты вектора двух обмоток – ВУ и CZ.



Как и в предыдущем примере, линейные напряжения не будут равны

$$U_{AY} = U_{ZA} = U_{\phi} = 220 \text{ В}$$

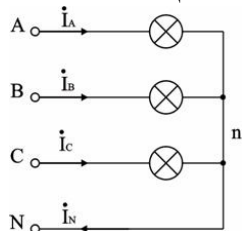
$$U_{ZY} = \sqrt{3}U_{\phi} = 380 \text{ В}$$

№2. Соединение «звезда»:

Освещение здания питается от четырехпроводной трехфазной сети с линейным напряжением $U_L = 380 \text{ В}$. Первый этаж питается от фазы "А" и потребляет мощность 1760 Вт , второй – от фазы "В" и потребляет мощность 2200 Вт , третий – от фазы "С", его мощность 2640 Вт . Составить электрическую схему цепи, рассчитать токи, потребляемые каждой фазой, и ток в нейтральном проводе, вычислить активную мощность всей нагрузки. Построить векторную диаграмму.

Решение:

Лампы освещения соединяются по схеме звезда с нейтральным проводом.

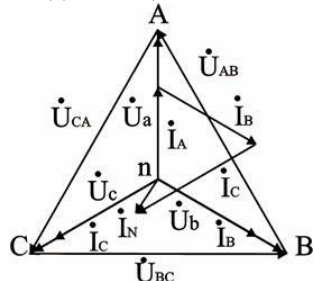


Расчет фазных напряжений и токов. При соединении звездой $U_L = U_{\phi}$, отсюда $U_{\phi} = U_L / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220 \text{ В}$. Осветительная нагрузка имеет коэффициент мощности $\cos \varphi = 1$, поэтому $P_{\phi} = U_{\phi} \cdot I_{\phi}$ и фазные токи будут равны:

$$I_A = P_A / U_{\phi} = 1760 / 220 = 8 \text{ А}; I_B = P_B / U_{\phi} = 2200 / 220 = 10 \text{ А}; I_C = P_C / U_{\phi} = 2640 / 220 = 12 \text{ А}.$$

Построение векторной диаграммы и определение тока в нейтральном проводе.

Векторная диаграмма показана на рис. ниже. Ее построение начинаем с равностороннего треугольника линейных напряжений $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$, и симметричной звезды фазных напряжений $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$. При таком построении напряжение между любыми точками схемы можно найти как вектор, соединяющий соответствующие точки диаграммы, поэтому диаграмму называют топографической.



Токи фаз $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ связаны каждый со своим напряжением; в нашем случае по условию $\varphi = 0$, и токи совпадают по фазе с напряжениями. Ток в нейтральном проводе $\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$. По построению (в масштабе) по величине $\dot{I}_N = 2,5 \text{ А}$.

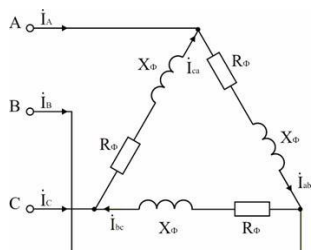
Вычисление активной мощности в цепи.

Активная мощность цепи равна сумме мощностей ее фаз:

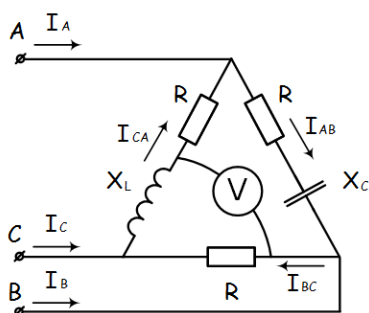
$$P = P_A + P_B + P_C = 1760 + 2200 + 2640 = 6600 \text{ Вт}.$$

Используя методические рекомендации выполнить задания:

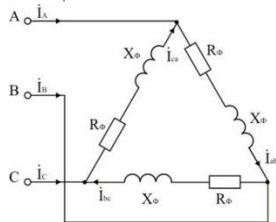
№1. В трехфазную сеть с $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$ включен соединенный треугольником трехфазный асинхронный двигатель мощностью $P = 5 \text{ кВт}$, КПД двигателя равен $\eta_{\text{н}} = 90\%$, коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{н}} = 0,8$. Определить фазные и линейные токи двигателя, параметры его схемы замещения R_{Φ} , X_{Φ} , построить векторную диаграмму. Включить ваттметры для измерения активной мощности и найти их показания.



№2. К зажимам приемника, подсоединён трехфазный генератор, обмотки которого соединены по схеме “треугольник”. Определить фазные и линейные токи, показания вольтметра, зная, что линейное напряжение равно 220 В , $R=25 \text{ Ом}$, $x_L=x_C=10 \text{ Ом}$.



№3. В трехфазную сеть с $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$ включен соединенный треугольником трехфазный асинхронный двигатель мощностью $P = 5 \text{ кВт}$, КПД двигателя равен $\eta_{\text{н}} = 90\%$, коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{н}} = 0,8$. Определить фазные и линейные токи двигателя, параметры его схемы замещения R_{Φ} , X_{Φ} , построить векторную диаграмму. Включить ваттметры для измерения активной мощности и найти их показания.



Вопросы для самопроверки:

1. Что такое симметричная трехфазная система напряжений? Чем отличаются друг от друга системы с прямым и обратным следованием (чередованием) фаз? Показать на векторных диаграммах.
2. Как обозначаются (маркируются) начала и концы фаз трехфазных источников и потребителей? Как осуществить их соединение звездой и треугольником?
3. Дать определение фазных и линейных напряжений. Каково соотношение между линейными и фазными напряжениями на зажимах генератора, соединенного по схеме звезда?

4. Дать определение фазных и линейных токов. Каково соотношение между этими токами при соединении приемника по схеме звезда?
5. Какая нагрузка называется симметричной?
6. Как вычислить фазные токи приемника, соединенного звездой, если известны линейные напряжения источника и сопротивления фаз приемника?
7. В каких случаях применяется четырехпроводная система электроснабжения? Каково значение нейтрального провода?

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА 5

Тема 1.7. Трансформаторы

4 часа

Методические рекомендации

Примеры решения задач:

Определение параметров схемы замещения трансформатора в режиме холостого хода

Для определения параметров схемы замещения трансформатора необходимо рассчитать:

а) номинальный ток первичной обмотки трансформатора:

$$I_{1н} = \frac{S_i}{\sqrt{3}U_{1н}} = \frac{2500000 \text{ В}\cdot\text{А}}{\sqrt{3} \cdot 10000 \text{ В}} = 144,33 \text{ А}$$

б) фазный ток первичной обмотки трансформатора:
при соединении по схеме "звезда"

$$I_{1ф} = I_{1н} = 144,33 \text{ А}$$

в) фазное напряжение первичной обмотки:
при соединении по схеме "звезда"

$$U_{1ф} = \frac{U_{1н}}{\sqrt{3}} = \frac{10000 \text{ В}}{\sqrt{3}} = 5773 \text{ В}$$

г) фазный ток холостого хода трансформатора:

$$I_{10ф} = I_{1н} \cdot \frac{I_i}{100} = 144,33 \text{ А} \cdot \frac{2}{100} = 2,8866$$

где I_i - ток холостого хода, %;

д) мощность потерь холостого хода на фазу

$$P_{10ф} = \frac{P_i}{m} = \frac{5280 \text{ Вт}}{3} = 1760 \text{ Вт} = 1,76 \text{ кВт}$$

где m – число фаз первичной обмотки трансформатора. в нашем случае 3 шт;

е) полное сопротивление ветви намагничивания схемы замещения трансформатора при холостом ходе

$$Z_i = \frac{U_{1ф}}{I_{1ф}} = \frac{5773 \text{ В}}{2,8866 \text{ А}} = 1986 \text{ Ом}$$

ж) активное сопротивление ветви намагничивания

$$r_i = \frac{P_{i0}}{I_{i0}^2} = \frac{1760 \text{ Вт}}{2,8866^2} = 211,22 \text{ Ом}$$

з) реактивное сопротивление цепи намагничивания

$$x_i = \sqrt{Z_i^2 - r_i^2} = \sqrt{1986^2 - 211,22^2} = 1974 \text{ Ом}$$

и) фазный коэффициент трансформации трансформатора

$$\hat{e}_i = \frac{U_{20}}{U_{10}} = \frac{6300 \text{ В}}{5700 \text{ В}} = 1,1$$

; где $U_{2\phi} = U_{2н}$

к) линейный коэффициент трансформации трансформатора

$$\hat{e}_l = \frac{U_{2л}}{U_{1л}} = \frac{6300 \text{ В}}{10\,000 \text{ В}} = 0,63$$

Используя методические рекомендации выполнить задания:

Дан трёхфазный двухобмоточный трансформатор

№	S _н , кВ·А	напряжение обмотки, кВ		Потери, кВт		Схема и группа соединения	U _{кз} , %	I _{хх} , %	cos φ ₂ при нагрузке		
		ВН	НН	P _о	P _{кз}				акти- ной	Индук- тивной	емко- стной
16	2500	10	6,3	5,28	23	Y/Δ-Π	5,5	2	1	0,64	0,58

Необходимо выполнить следующие расчёты.

1. Определить параметры Т-образной схемы замещения трансформатора.
2. Начертить в масштабе полные векторные диаграммы трансформатора для трёх видов нагрузки (активной, активно-индуктивной и активно-ёмкостной).
3. Рассчитать и построить зависимость коэффициента полезного действия от нагрузки $\eta = f(k_{нг})$ при значениях коэффициента нагрузки $k_{нг}$, равных 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 и 1,25 от номинального вторичного тока I_{2н}. Определить максимальное значение кпд.
4. Определить изменение вторичного напряжения Δ U аналитическим и графическим методом.
5. Построить внешние характеристики трансформатора для значений тока, равных 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 и 1,25 от величины номинального вторичного тока I_{2н}.

Вопросы для самопроверки:

1. Конструкция, принцип действия и назначение всех частей.
2. Холостой ход трансформатора.
3. Факторы, влияющие на потери в стали.
4. Факторы, влияющие на потери в меди.
5. Методика проведения опыта КЗ и его схема.
6. Внешняя характеристика трансформатора (объяснить ее поведение). Почему ток влияет на U₂.
7. Процентное изменение напряжения.

8. КПД трансформатора.
9. Когда КПД достигает максимума?
10. Как определяется напряжение короткого замыкания трансформатора?
11. Почему КПД определяется расчетным путем, а не по отношению измеренных P_2 и P_1 .

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА 6

Тема 1.8. Электрические машины переменного тока

4 часа

Методические рекомендации

Примеры решения задач:

Трехфазный асинхронный двигатель с коротко-замкнутым ротором серии 4А имеет технические данные, приведенные в табл. 4. Определить высоту оси вращения h , число полюсов $2p$, скольжение при номинальной нагрузке $s_{НОМ}$, момент на валу $M_{НОМ}$, начальный пусковой M_p и максимальный M_{max} моменты, номинальный и пусковой токи $I_{НОМ}$ и I_p в питающей сети при соединении обмоток статора звездой и треугольником.

Решение:

Асинхронный трехфазный двигатель с короткозамкнутым ротором марки А02-82-6 имеет следующие паспортные данные: напряжение $U=220/380$ В, номинальная мощность $P_2 = 40$ кВт, частота вращения $n_2=980$ об/мин, КПД $\eta=91,5\%$, коэффициент мощности $\cos \varphi=0,91$, кратность пускового тока $KI = 5$, кратность пускового момента $K_M = 1,1$, перегрузочная способность двигателя $\lambda = 1,8$. Определить число пар полюсов, номинальное скольжение, номинальные максимальный и пусковой вращающие моменты, номинальный и пусковой токи двигателя при соединении обмотки статора в «треугольник» и «звезду». Возможен ли пуск нагруженного двигателя, если подводимое напряжение на 10% ниже номинального и пуск производится переключением обмоток статора со «звезды» на «треугольник» от сети с напряжением $U=220$ В?

Для определения числа пар полюсов можно воспользоваться маркировкой двигателя, частотой вращения магнитного поля или ротора.

Если известна маркировка, то последнее число в марке двигателя означает количество полюсов. В данном двигателе шесть полюсов; следовательно, три пары. При известной частоте вращения магнитного поля число пар полюсов определяем по формуле

$$p = 60 f / n_1.$$

По этой же формуле определяем число пар полюсов, если задана частота вращения ротора, но в этом случае получаемый результат округляем до ближайшего целого числа. Например, для заданных условий $p = 60 / n_2 = 3000 / 980 = 3,06$; отбросив сотые доли, получаем число пар полюсов двигателя—3.

Частота вращения магнитного поля

$$n_1 = 60 f / p = 3000 / 3 = 1000 \text{ об/мин.}$$

Номинальное значение скольжения

$$s_{ном} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} * 100\%$$

$$s_{ном} = \frac{1000 - 980}{1000} * 100\% = 2\%$$

Критическое скольжение

$$s_{kp} = s_{НОМ} [\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}]$$

Мощность, потребляемая двигателем,

$$P_1 = P_2 / \eta = 40000 / 0,915 = 43715 \text{ Вт.}$$

Номинальный вращающий момент двигателя

$$M_{НОМ} = 9,55 P_2 / n_2 = 9,55 \cdot 40000 / 980 = 389,8 \text{ Н·м.}$$

Максимальный момент

$$M_{max} = \lambda \cdot M_{НОМ} = 1,8 \cdot 389,8 = 701,6 \text{ Н·м.}$$

Пусковой момент

$$M_{\Pi} = K_M M_{\text{ном}} = 1,1 \cdot 389,8 = 428,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для определения фазных, линейных и пусковых токов (фазными являются токи в обмотках статора, линейными—токи в подводящих проводах) нужно учесть следующее: если двигатель рассчитан на работу от сети переменного тока с напряжением, 220/380 В, то это значит, что каждая фаза обмотки статора рассчитана на напряжение 220 В. Обмотку необходимо включить по схеме «треугольник», если в сети линейное напряжение $U=220 \text{ В}$, и по схеме «звезда», если в сети линейное напряжение $U=380 \text{ В}$.

Определяем фазный, линейный и пусковой токи при линейном напряжении $U=220 \text{ В}$ и соединении обмотки статора по схеме «треугольник».

Фазный ток в обмотке статора

$$I_{\phi} = \frac{P_1}{3U_{\phi} \cos \varphi} = \frac{43715,8}{3 \cdot 220 \cdot 0,91} = 72,8 \text{ А}$$

Токи: линейный

$$I_{\text{л}} = 1,73 \cdot 72,8 = 125,9 \text{ А};$$

Пусковой ток

$$I_{\Pi} = K_I \cdot I_{\text{л}} = 5 \cdot 125,9 = 629,5 \text{ А}.$$

Найдем значения фазных, линейных и пусковых токов, если обмотки статора включены по схеме «звезда» и подключены к сети с линейным напряжением $U=380 \text{ В}$.

Значение фазного тока найдем из формулы мощностей для линейных значений токов и напряжений

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos \varphi$$

При соединении обмоток в «звезду» линейный ток

$$I_{\phi} = I_{\text{л}} = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_{\text{л}} \cos \varphi} = \frac{43715,8}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,91} = 73,4 \text{ А}$$

пусковой ток

$$I_{\Pi} = K_I \cdot I_{\text{л}} = 5 \cdot 73 = 365 \text{ А}.$$

Из сопоставления фазных, линейных и пусковых токов при различных соединениях обмоток можно заметить, что фазные токи оказались практически одинаковыми, а линейные и пусковые — различными.

Для определения возможности пуска в ход двигателя, находящегося под номинальной нагрузкой и пониженным напряжением, необходимо определить пусковой вращающий момент при пониженном напряжении.

В соответствии с формулой $M=CU^2$ вращающий момент двигателя пропорционален квадрату подводимого напряжения. При понижении напряжения на 10% вращающий момент

$$M' = C U_{\text{ном}}^2 = C (0,9 U_{\text{ном}})^2 = 0,81 \times M_{\text{аом}} = 0,81 \times 389,8 = 315,74 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Соответственно пусковой момент

$$M'_{\Pi} = K_M \cdot M' = 1,1 \cdot 315,74 = 347,3 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

что меньше тормозного момента на валу на 42,5 Н • м, т.е. пуск невозможен.

Для понижения пусковых токов часто пуск асинхронных двигателей осуществляют при пониженном напряжении. Двигатели, работающие при соединении обмоток статора по схеме «треугольник», пускают без нагрузки путем переключения обмоток со «звезды» на «треугольник».

Определить пусковой момент двигателя при данном виде пуска.

В момент пуска обмотки находятся под напряжением

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 220 / 1,73 = 127 \text{ В},$$

что составляет 57,7% $U_{\text{ном}}$,

пусковой момент при переключении обмоток

$$M_{\Pi} = C \cdot U^2 = C (0,57 U_{\text{ном}})^2 = 0,33 C U_{\text{ном}}^2 = 128,8 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

т. е. в три раза меньше номинального значения.

таблица 4

№ вариант	Тип двигателя	$P_{\text{НОМ}}$ кВт $n_{2\text{НОМ}}$	об/мин $\eta_{\text{НОМ}}$	% $\cos\varphi$	$I_{\text{П}}$ $I_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{П}}$ $M_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{МАХ}}$ $M_{\text{НОМ}}$	$U_{\text{С}}, \text{В}$
1.	4А100S2У3	4,0	86,5	0,89	7,5	2,0	2,5	220/380
2.	4А160S2У3	15,	88,0	0,91	7,0	1,4	2,2	220/380
3.	4А200М2У3	37,0	90,0	0,89	7,5	1,4	2,5	380/660
4.	4А112М4У3	5,5	85,5	0,85	7,0	2,0	2,2	220/380
5.	4А132М4У3	11,0	87,5	0,87	7,5	2,2	3,0	220/380
6.	4А180М4У3	30,0	91,0	0,89	6,5	1,4	2,3	380/660
7.	4А200М6У3	22,0	90,0	0,90	6,5	1,3	2,4	220/380
8.	4А280М6У3	90,0	92,5	0,89	5,5	1,4	2,2	380/660
9.	4А315М8У3	ПО	93,0	0,85	6,5	1,2	2,3	380/660
10.	4А355М10У3	ПО	93,0	0,83	6,0	1,0	1,8	380/660

Используя методические рекомендации выполнить задания:

Аналогично приведенной выше задаче сделать расчеты по данным, полученным в ходе выполнения лабораторной работы №6.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие устройства называют машинами переменного тока?
2. Объясните принцип действия асинхронного двигателя.
3. Может ли ротор асинхронного двигателя вращаться синхронно с вращающимся полем?
4. Какие функции выполняет обмотка статора в синхронном генераторе и в асинхронном двигателе?

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА 7

Тема 2.1. Физические основы электроники Интегральные схемы микроэлектроники

4 часа

Краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме самостоятельной работы

Полупроводниковым диодом называют полупроводниковый прибор с одним *p-n*-переходом и двумя выводами.

Структура полупроводникового диода с электронно-дырочным переходом и его условное графическое обозначение приведены на рис. 1.

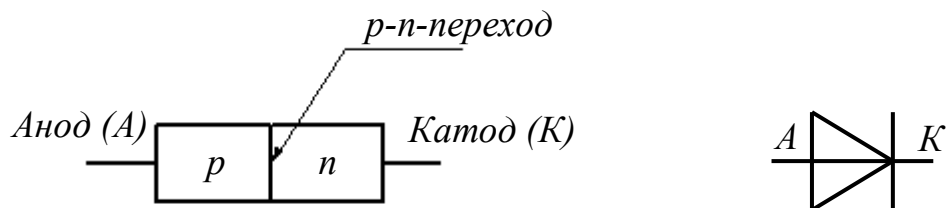


Рис. 1 – Структура полупроводникового диода с электронно-дырочным переходом и его условное графическое обозначение

Буквами p и n обозначены слои полупроводника с проводимостями соответственно p -типа и n -типа. Обычно концентрации основных носителей заряда (дырок в слое p и электронов в слое n) сильно различаются. Одна из областей p - n -структуры, называемая эмиттером, имеет большую концентрацию основных носителей заряда, чем другая область, называемая базой.

В зависимости от основного назначения и вида используемого явления в p - n -переходе различают шесть основных функциональных типов полупроводниковых диодов: выпрямительные, высокочастотные, импульсные, туннельные, стабилитроны, варикапы.

Основной характеристикой полупроводниковых диодов служит вольт-амперная характеристика, приведенная на рис. 2.

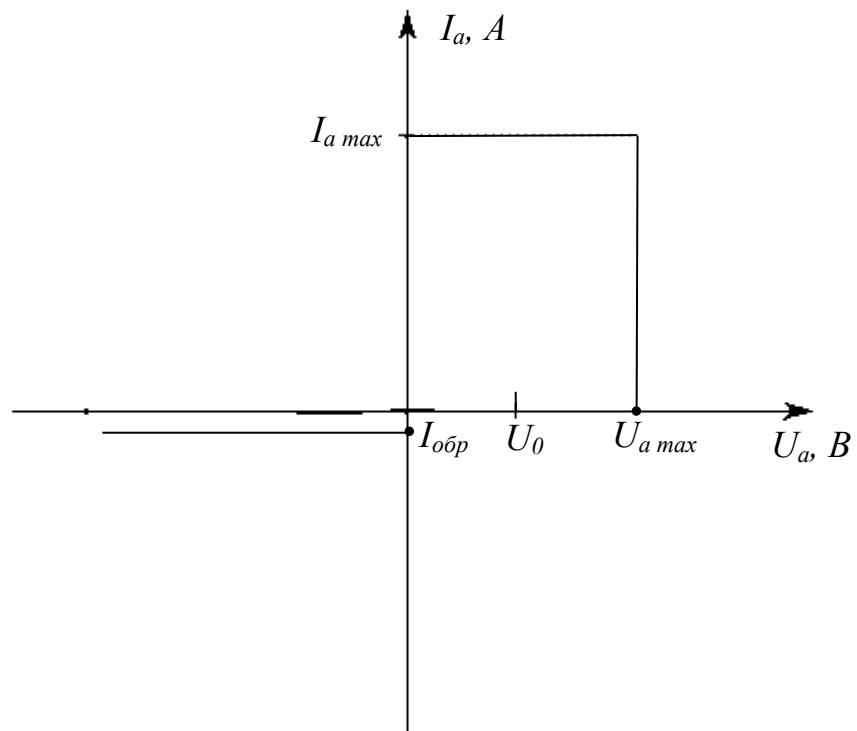


Рис. 2 – Вольт-амперная характеристика диода

При достижении обратным напряжением определённого критического значения ток диода начинает резко возрастать. Это явление называют пробоем диода.

Выпрямительные диоды используют для выпрямления переменных токов частотой 50 Гц – 100 кГц. В них используется главное свойство p - n -перехода – односторонняя проводимость.

В выпрямительном устройстве энергия переменного тока преобразуется в энергию постоянного тока за счет односторонней проводимости диодов.

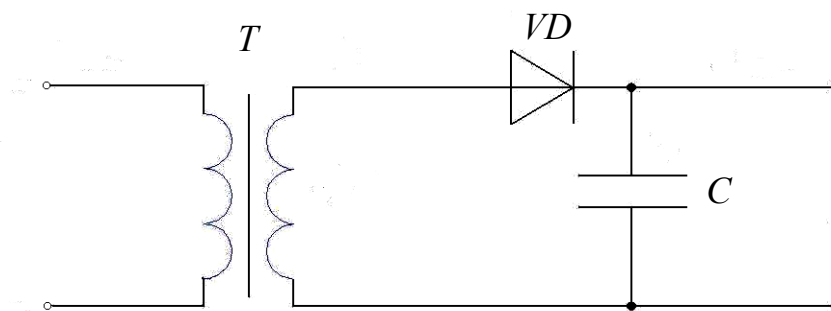


Рис.3 – Схема однополупериодного выпрямителя

На рис. 3 приведена схема однополупериодного выпрямителя. Выпрямленное напряжение обычно используется в качестве напряжения питания электронных схем.

Вопросы для закрепления теоретического материала к самостоятельной работе:

1. Чем отличаются полупроводники типа p и n ?
2. Каковы свойства p - n перехода?
3. Объясните вид вольт-амперной характеристики диода.
4. Как работает неуправляемый выпрямитель?

Задания для самостоятельной работы:

1. Постройте вольт-амперную характеристику выпрямительного диода на постоянном токе для прямой и обратной ветви. Определите основные параметры диода.
2. Постройте вольт-амперную характеристику выпрямительного диода на переменном токе. Определите масштабы по току и напряжению. Определите основные параметры диода.
3. Постройте осциллограммы напряжения на диоде однополупериодного выпрямителя u_a и анодного тока i_a .
4. Постройте временные диаграммы сигналов однополупериодного выпрямителя друг под другом.
5. Постройте осциллограмму напряжения на нагрузке однополупериодного выпрямителя u_n .

Инструкция по выполнению самостоятельной работы

1. Прочитайте краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме лабораторной работы.
2. Ответьте на вопросы для закрепления теоретического материала к лабораторной работе.
3. Ознакомьтесь с условием заданий для лабораторной работы.
4. Подготовьте форму отчета по лабораторной работе.
5. Соберите на лабораторном стенде схему для исследования выпрямительного диода на постоянном токе, приведенную на рис. 4.

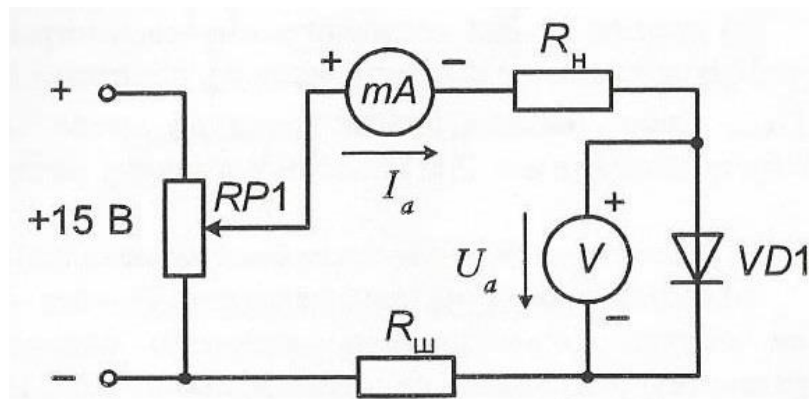


Рис. 4 – Схема для исследования выпрямительного диода на постоянном токе

6. Для измерения анодного тока включите многопредельный миллиамперметр на пределе « $\times 1000$ » (максимальный ток 100 мА). Для измерения анодного напряжения включите мультиметр на пределе «2В», при больших напряжениях перейдите на предел «20В».

7. Снимите по точкам вольт-амперную характеристику выпрямительного диода на постоянном токе. Для этого потенциометром RP1 изменяйте напряжение на входе, фиксируя анодный ток I_a и анодное напряжение U_a на диоде VD1. Вольт-амперную характеристику снимите сначала для прямой, а затем обратной ветви, установив переключатель SA1 на «-». При смене ветви не забудьте изменить полярности миллиамперметра и вольтметра и их пределы измерения!

8. После выполнения эксперимента переведите переключатель SA1 в положение «Выкл». Ручку потенциометра RP1 установите в положение «0».

9. Соберите схему для исследования выпрямительного диода на переменном токе, приведенную на рис. 5, с целью получения вольт-амперной характеристики диода на экране осциллографа.

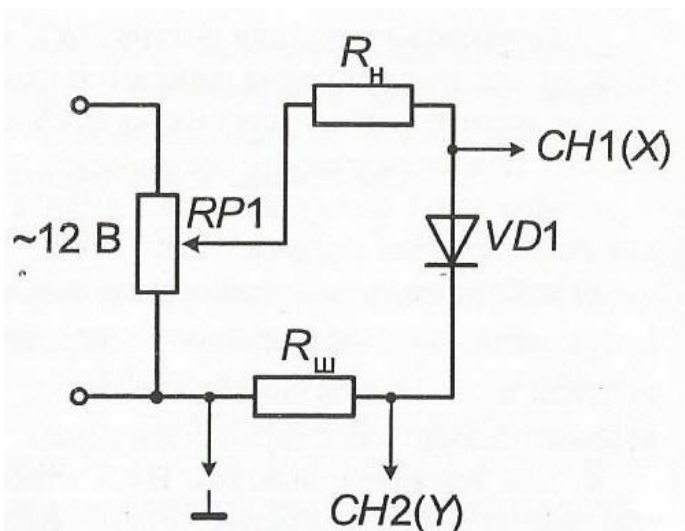


Рис. 5 – Схема для исследования выпрямительного диода на переменном токе

10. Вход CH2(Y) осциллографа подключите к шунту $R_{ш}$ (гнездо X13), а корпус осциллографа « $\perp$ » соедините с гнездом X12. Вход CH1(X) осциллографа подключите к гнезду X3. При этом переключатель развертки осциллографа переведите в положение X/Y. Подайте питание – переключатель SA1 установите в положение « $\sim$ ». Светящуюся точку на экране осциллографа поместите в начало координат. Вращайте ручку потенциометра RP1

до положения «5».

11. Зарисуйте вольт-амперную характеристику диода. Определите масштабы по току и напряжению.

12. После выполнения эксперимента переведите переключатель SA1 в положение «Выкл». Ручку потенциометра RP1 установите в положение «0».

13. Соберите схему однополупериодного выпрямителя на диоде (рис.5) – это не потребует никаких переключений на модуле. Переключатель развертки осциллографа переведите на временную развертку. Установите синхронизацию от сети. На экране осциллографа Вы увидите осциллограммы анодного тока i_a , и напряжения на диоде u_a .

14. Исследуйте выпрямитель, для этого установите на входе напряжение с амплитудой U_m . Измерение напряжения производите при помощи осциллографа, подключив вход CH2 осциллографа к гнезду X10, а корпус осциллографа «⊥» - к гнезду X12. Канал CH1 осциллографа отключите от модуля.

15. Снимите осциллограммы напряжения на диоде u_a (вход CH1 осциллографа подключить к гнезду X3) и анодного тока i_a , (вход CH2 осциллографа подключить к гнезду X13, а корпус осциллографа «⊥» уже соединен с гнездом X12). Переключите осциллограф в двухканальный режим развертки во времени.

16. Зарисуйте с экрана осциллографа временные диаграммы сигналов друг под другом.

17. Снимите осциллограмму напряжения на нагрузке u_n . Для этого корпус осциллографа подключите к гнезду X3, а вход канала CH к гнезду X1 (не забудьте определить масштабы по току и напряжению).

18. После выполнения эксперимента переведите переключатель SA1 в положение «Выкл.». Ручку потенциометра RP1 установите в положение «0».

Порядок выполнения отчета по самостоятельной работе

1. Запись номера, наименования и цели работы.
2. Чертеж схемы для исследования выпрямительного диода на постоянном токе.
3. Чертеж схемы для исследования выпрямительного диода на переменном токе.
4. Запись результатов экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов в соответствующие таблицы.
5. Чертеж вольт-амперных характеристик.
6. Чертежи осциллограмм.
7. Запись кратких выводов по работе.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА 8

Тема 2.3. Электронные генераторы и электронные устройства автоматики

4 часа

Цель работы: изучить работу электронных генераторов, рассмотрение параметров синусоидального сигнала, параметров импульсного сигнала, определение частоты и скважности импульсов.

Общие сведения

Электронный генератор – это устройство, преобразующее электрическую

энергию источника постоянного тока в энергию незатухающих электрических колебаний заданной формы и частоты.

Генераторы широко используются в электронике: в радиоприемниках и телевизорах, системах связи, компьютерах, промышленных системах управления и устройствах точного измерения времени.

Частота сигнала может изменяться от нескольких герц до многих миллионов герц. Выходное напряжение генератора может быть *синусоидальным*, *прямоугольным* или *пилообразным* в зависимости от типа генератора (рис. 1).

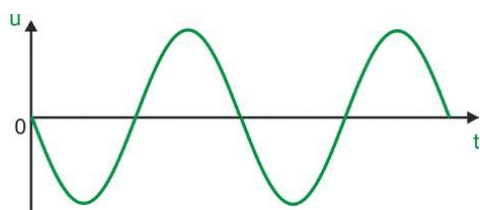


Рис. 1, а. Напряжение синусоидальной формы

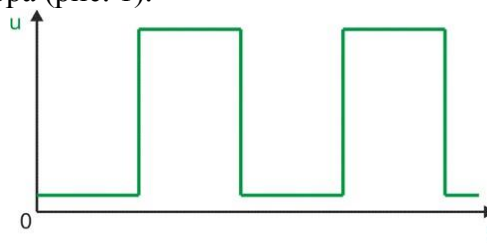


Рис. 1, б. Напряжение прямоугольной формы

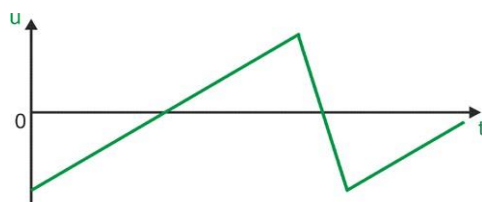


Рис. 1, в. Напряжение пилообразной формы

Когда колебательный контур возбуждается внешним источником постоянного тока, в нем возникают колебания. Эти колебания являются затухающими, поскольку активное сопротивление колебательного контура поглощает энергию тока. Для поддержания колебаний в колебательном контуре поглощенную энергию необходимо восполнить. Это осуществляется с помощью положительной обратной связи.

Положительная обратная связь - это подача в колебательный контур части выходного сигнала для поддержки колебаний. Сигнал обратной связи должен совпадать по фазе с сигналом в колебательном контуре.

На рис. 2 изображена блок-схема генератора.

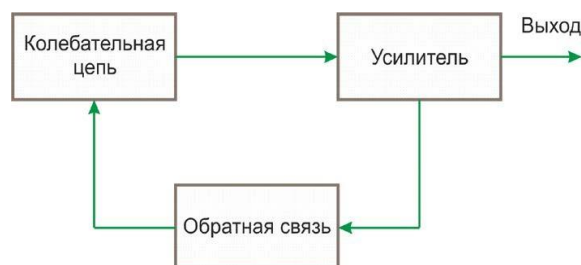


Рис. 2. Блок-схема электронного генератора Генератор можно разбить на три части:

- *LC* -колебательный контур, который обычно является частотозадающей цепью генератора;
- усилитель, увеличивает амплитуду выходного сигнала колебательного контура;

- цепь обратной связи, подает необходимое количество энергии в колебательный контур для поддержания колебаний.

Таким образом, генератор - это схема с положительной обратной связью, которая использует постоянный ток для получения колебаний переменного тока.

Генераторы синусоидальных колебаний

Генераторы синусоидальных колебаний - это генераторы, которые генерируют напряжение синусоидальной формы. Они классифицируются согласно их частоте задающим компонентам. Тремя основными типами генераторов синусоидальных колебаний являются *LC*-генераторы, кварцевые генераторы и *RC*-генераторы.

LC-генераторы используют колебательный контур из конденсатора и катушки индуктивности, соединенных либо параллельно, либо последовательно, параметры которых определяют частоту колебаний.

Кварцевые генераторы подобны *LC*-генераторам, но обеспечивают более высокую стабильность колебаний.

LC-генераторы и кварцевые генераторы используются в диапазоне радиочастот. Они не подходят для применения на низких частотах. На низких частотах используются *RC*-генераторы, в которых для задания частоты колебаний используется резистивно-емкостная цепь.

Автогенераторы типа *LC* применяют в основном на частотах выше 20 кГц, так как для более низких частот конструкция таких колебательных контуров громоздка.

Основными типами *LC*-генераторов являются генератор Хартли и генератор Колпитца. На рис. 3, а изображен генератор Хартли.

Величина обратной связи в этой схеме зависит от положения отвода катушки L_1 . Выходной сигнал снимается с катушки связи L_2 . На рис. 3, б изображен генератор Колпитца. Величина обратной связи в схеме Колпитца определяется отношением емкостей конденсаторов C_1 и C_2 . Генератор Колпитца более стабилен, чем генератор Хартли, и более часто используется.

RC-генераторы применяют для задания синусоидальных колебаний на низких частотах. Простейшим *RC*-генератором синусоидальных колебаний является генератор с фазосдвигающей цепью.

Генератор с фазосдвигающей цепью — это обычный усилитель с фазосдвигающей *RC*-цепью обратной связи (рис. 4).

Переходные процессы в *RC*-цепях. Вместо колебательного контура в схеме включен резистор R_K , а положительная обратная связь осуществляется через фазовращательную цепь, состоящую из трех звеньев *RC*. Если выход данной схемы соединить непосредственно с входом, обеспечив при этом условия самовозбуждения, то генерируемые колебания не будут синусоидальными. Для того чтобы схема вырабатывала именно синусоидальные колебания, положительная обратная связь должна обеспечиваться только для одной определенной гармоники несинусоидальных колебаний. Эту функцию и выполняет фазовращательная цепь *RC*.

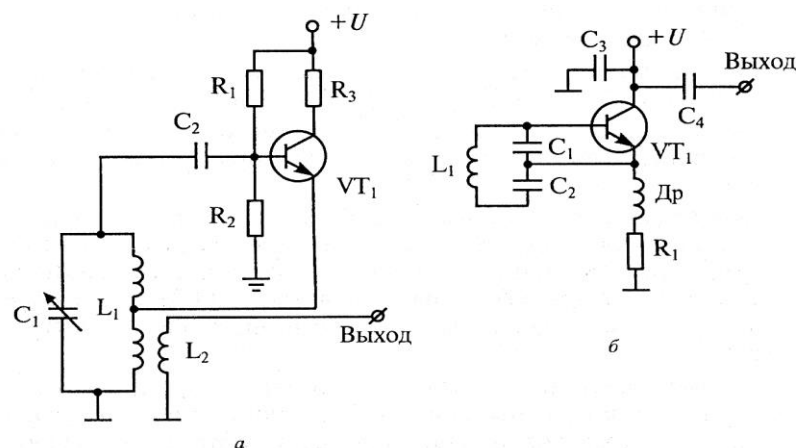


Рис. 3. Схемы основных типов LC -генераторов: а - генератор Хартли; б - генератор Колпитца

Параметры цепи должны быть выбраны так, чтобы при увеличении коллекторного тока и, следовательно, уменьшении потенциала коллектора потенциал базы (рис. 4) увеличивался. Иными словами, напряжения на коллекторе и на базе должны находиться в противофазе.

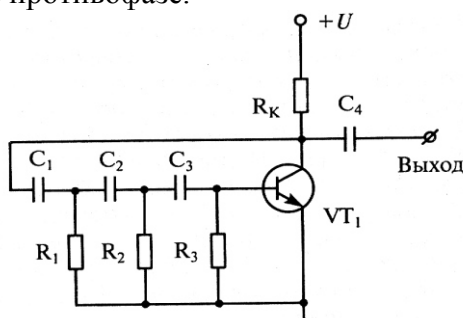


Рис. 4. Схема RC - генератора

Для выполнения условия баланса амплитуд коэффициент усиления усилителя должен быть больше ослабления, вносимого фазовращательной цепью RC . Для схемы, приведенной на рис. 4, это ослабление равно 29.

Основное требование, предъявляемое к генератору, — это стабильность частоты и амплитуды его колебаний. Причинами нестабильной работы генераторов являются зависимости емкости и индуктивности от температуры, старение компонентов и изменение требований к нагрузке. Когда требуется высокая стабильность, используются *кварцевые генераторы*.

Кварц — это материал, который может преобразовывать механическую энергию в электрическую, когда к нему прикладывают давление, и электрическую энергию в механическую, когда к нему прикладывают напряжение. Когда к кристаллу кварца приложено переменное напряжение, кристалл начинает растягиваться и сжиматься, создавая механические колебания, частота которых соответствует частоте переменного напряжения.

Каждый кристалл кварца обладает собственной частотой колебаний, обусловленной его структурой и размерами. Если частота приложенного переменного напряжения совпадает с собственной частотой, колебания кристалла ярко выражены. Если частота приложенного переменного напряжения отличается от собственной частоты кварца, кристалл колеблется слабо. Собственная частота

механических колебаний кристалла кварца практически не зависит от температуры, что делает его идеальным для использования в генераторах. В тех случаях, когда необходимо обеспечить очень высокую стабильность частоты колебаний, применяют термостатирование генератора (кварцевый резонатор помещают в термостат).

Для изготовления кварцевого резонатора на кристаллическую пластинку кварца наносятся металлические электроды, к которым прижимаются пружины для обеспечения электрического контакта. После этого кристалл помещается в металлический корпус.

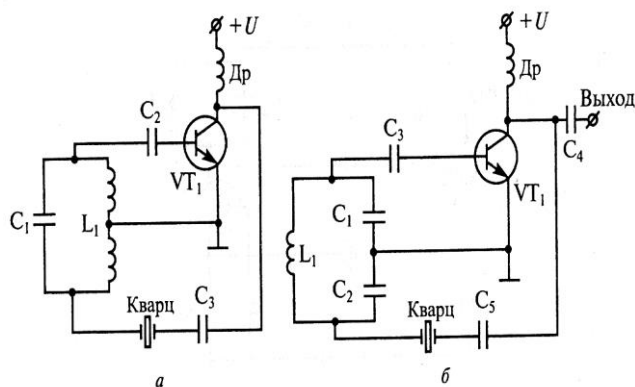


Рис. 5. Схемы кварцевых генераторов: а — Хартли; б — Колпитца

На рис. 5, а изображена схема кварцевого генератора Хартли с параллельной обратной связью. Кварц включен последовательно в цепь обратной связи.

Если частота колебательного контура отклоняется от частоты кварца, импеданс кварца увеличивается, уменьшая величину обратной связи с колебательным контуром.

Это позволяет колебательному контуру вернуться на частоту кварца.

На рис. 5, б изображен генератор Колпитца с кварцем, включенным так же, как и в генераторе Хартли.

Кварц управляет обратной связью с колебательным контуром.

Импульсные генераторы

Генераторы несинусоидальных колебаний применяют для создания периодических электрических сигналов произвольной формы (несинусоидальных импульсов), спектр которых не может быть выражен одним слагаемым типа $\cos(\omega t + \varphi)$. Примерами несинусоидальных колебаний могут служить колебания *прямоугольной*, *пилообразной* или *треугольной* формы (или комбинации этих форм). В основном в качестве генераторов несинусоидальных колебаний используют релаксационные генераторы. Релаксационный генератор запасает энергию в реактивной компоненте за одну фазу цикла колебаний и постепенно отдает ее в течение релаксационной фазы цикла. Релаксационными генераторами являются *блокинг-генераторы* и *мультивибраторы*. На рис. 6 изображена схема блокинг-генератора, названного так потому, что транзистор легко переводится в режим блокирования (запираания).

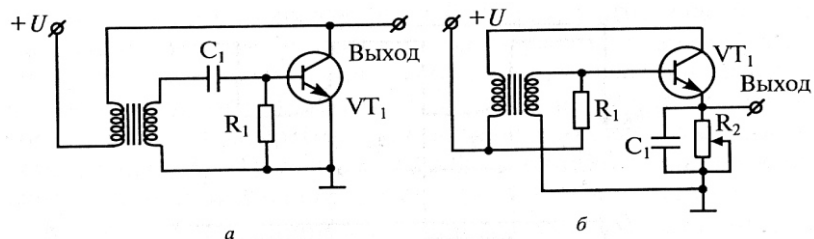


Рис. 6. Схемы блокинг-генераторов

Если выходное напряжение взять с RC -цепочки в эмиттерной цепи транзистора (рис. 6, б), то оно будет иметь пилообразную форму.

Мультивибратор представляет собой генератор несинусоидальных колебаний, близких по форме к прямоугольным. Такие колебания можно рассматривать как сумму большого числа простых гармонических колебаний (рис. 7). Отсюда и название «мультивибратор», или буквально «генератор множества простых колебаний».

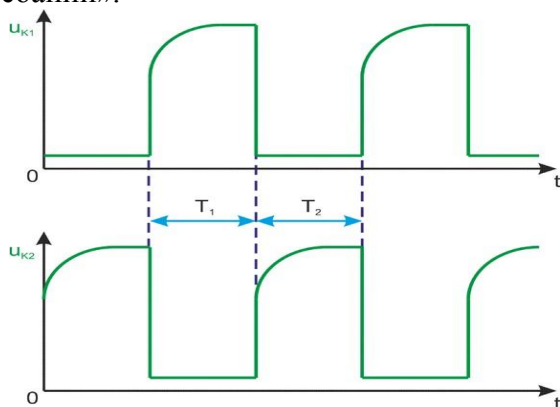


Рис. 7. Графики напряжений на коллекторах симметричного мультивибратора

Мультивибраторы (рис. 8) широко используют в импульсной технике, в ЭВМ и устройствах автоматики в качестве пусковых или переключающих устройств.

Различают три режима работы мультивибраторов: автоколебательный, синхронизации и ждущий.

Рассмотрим симметричный мультивибратор, работающий в режиме автоколебаний (рис. 8).

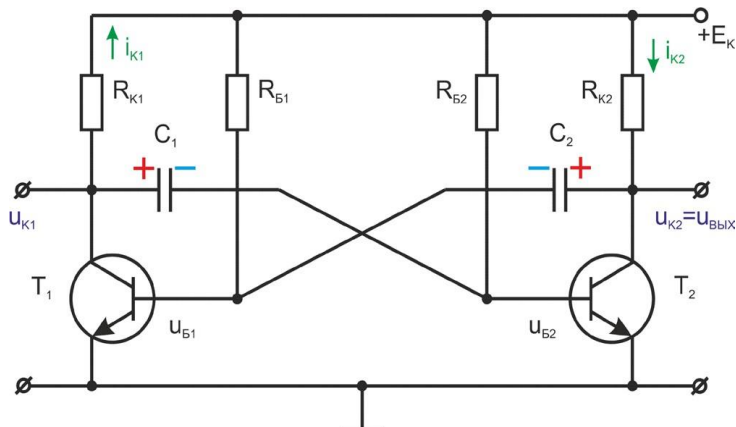


Рис. 8. Схема симметричного транзисторного мультивибратора

Контрольные вопросы

1. Что такое генератор?

2. Нарисуйте блок-схему генератора.
3. В каких случаях используют кварцевые генераторы?
4. Что такое мультивибратор?
5. Как работает электронный осциллограф?

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА 9

Тема 2 4. Микропроцессоры и микро-ЭВМ

4 часа

- **Архитектура МП:** Принципы работы Фон-Неймановской и Гарвардской архитектур, назначение регистров (аккумулятор, указатель стека, счетчик команд).
 - **Системы счисления и логика:** Перевод чисел (2, 8, 16-ричные), выполнение арифметических операций, построение таблиц истинности.
 - **Программирование на Ассемблере (ASM):**
 - Написание кода для базовых операций (сложение, пересылка данных, циклы).
 - Работа с портами ввода-вывода.
 - Обработка прерываний.
 - **Микроконтроллеры:** Особенности семейств MCS-51 (Intel 8051), AVR (ATmega), PIC или современных ARM (STM32).
 - **Интерфейсы и память:** Организация адресного пространства, работа с ОЗУ/ПЗУ, интерфейсы UART, SPI, I2C.
1. **Контрольные вопросы**
 2. *"Напиши программу на ассемблере для 8051, которая складывает два числа в ячейках 30h и 31h."*
 3. *"Объясни простыми словами разницу между микропроцессором и микроконтроллером."*
 4. *"Помоги составить блок-схему алгоритма опроса датчика через АЦП."*
 5. *"Как работает стек в микропроцессоре при вызове подпрограммы?"*

Список литературы:

Основные источники:

1. Немцов М.В. Электротехника : учеб. пособие для сред. учеб. заведений / М.В. Немцов, И.И. Светлакова. - Гриф МО. - Ростов н/Д : Феникс, 2012.
2. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники: учеб. пособие для проф. училищ и колледжей: соответствует гос. стандарту, утв. Минобразования РФ / Ю.Г. Синдеев – 6-е изд. стер. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2014. (Начальное профессиональное образование).
3. Ястребов П.П. Электротехника и электрооборудование учеб. пособие для НПО, Москва, 2013.

Дополнительные источники:

1. Задачник по электротехнике: учеб. пособие для НПО: рек. ФЭС Минобразования России / П.Н.Новиков, В.Я.Кауфман, О. В. Толчеев и др. – 2-е изд. стереотип.– М.: Академия, 2002. – 336с.
2. Сибикин Ю.Д. Справочник электромонтажника.: учеб. пособие для НПО: допущено Минобразования России / Ю.Д. Сибикин.- М.: Академия, 2008.- 336.
3. Ярочкина Г.В., Володарская А.А. Электротехника: Рабочая тетрадь: учеб. пособие для НПО: допущено Минобразования России / Г.В. Ярочкина, А.А. Володарская. – 5-е изд., стер. - М.: Академия, 2008.- 96с.