

Министерство науки и высшего образования РФ
Иркутский национальный исследовательский технический университет
Факультет среднего профессионального образования
Машиностроительный колледж

Т.В.Черкашенина

ОП. 03 Электротехника и электроника

Методические указания
по выполнению практических и самостоятельных работ

Издательство
Иркутского национального исследовательского технического университета
2025 г.

Учебно-методической комиссией факультета среднего профессионального образования

Автор

Преподаватель Машиностроительного колледжа факультета среднего-профессионального образования ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

Т.В.Черкашенина

Т.В.Черкашенина ОП. 03 «Электротехника и электроника»: метод. указания по выполнению практических и самостоятельных работ - Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2025.- 88 с.

Соответствуют требованиям ФГОС среднего профессионального образования по специальности 23.02.07 Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств»

Предназначены для студентов Машиностроительного колледжа, изучающих дисциплину «Электротехника и электроника» в рамках подготовки специалистов среднего звена.

© ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», 2025

Введение

Целью методических указаний является реализация образовательного процесса в условиях действия Федерального государственного образовательного стандарта по специальности 23.02.07 Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств.

Требования к планируемым результатам освоения дисциплины:

Уметь:

- - распознавать задачу и/или проблему в профессиональном и/или социальном контексте, анализировать и выделять её составные части;
- определять этапы решения задачи, составлять план действия, реализовывать составленный план, определять необходимые ресурсы;
- выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи и/или проблемы;
- владеть актуальными методами работы в профессиональной и смежных сферах;
- оценивать результат и последствия своих действий (самостоятельно или с помощью наставника);
- определять задачи для поиска информации, планировать процесс поиска, выбирать необходимые источники информации;
- выделять наиболее значимое в перечне информации, структурировать получаемую информацию, оформлять результаты поиска;
- оценивать практическую значимость результатов поиска;
- применять средства информационных технологий для решения профессиональных задач;
- использовать современное программное обеспечение в профессиональной деятельности;
- использовать различные цифровые средства для решения профессиональных задач; подбирать детали и сборочные единицы для замены неисправных компонентов мехатронных систем по итогам анализа их технического состояния.

Знать:

- - актуальный профессиональный и социальный контекст, в котором приходится работать и жить;
 - структура плана для решения задач, алгоритмы выполнения работ в профессиональной и смежных областях;
 - основные источники информации и ресурсы для решения задач и/или проблем в профессиональном и/или социальном контексте;
 - методы работы в профессиональной и смежных сферах;
 - порядок оценки результатов решения задач профессиональной деятельности;
 - номенклатура информационных источников, применяемых в профессиональной деятельности;
 - приемы структурирования информации;
 - формат оформления результатов поиска информации;
 - современные средства и устройства информатизации, порядок их применения и программное обеспечение в профессиональной деятельности, в том числе цифровые средства;
 - основы электротехники и электроники;
 - методы соединения элементов электропроводки;
 - взаимосвязь между материалом, сечением проводника и предельно допустимым током через него;
- электрическую совместимость проводников, выполненных из разных материалов.

Перечень компетенций

Перечень общих компетенций

Код	Наименование общих компетенций
ОК 01	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам.
ОК 02	Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности.

Перечень профессиональных компетенций

Код	Наименование профессиональных компетенций
ПК 1.3.	Проводить ремонт и устранение неисправностей автотранспортных средств

Общее количество часов лабораторных работ - 22 часа.

Общее количество часов практических работ - 38 часа.

Общее количество часов самостоятельных работ-18 часов.

Информационное обеспечение

Перечень основной и дополнительной литературы, электронных ресурсов:

Основная литература:

1. Данилов, И. А. Общая электротехника в 2 ч. Часть 1 : учебное пособие для вузов / И. А. Данилов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 426 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01639-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/514050>

2. Данилов, И. А. Общая электротехника в 2 ч. Часть 2 : учебное пособие для вузов / И. А. Данилов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 251 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01640-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/514051>

3. Кузовкин, В. А. Электротехника и электроника : учебник для среднего профессионального образования / В. А. Кузовкин, В. В. Филатов. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 416 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-20474-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/561194>

Дополнительная литература:

1. Миленина, С. А. Электротехника : учебник и практикум для среднего профессионального образования / С. А. Миленина ; под редакцией Н. К. Миленина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 245 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-19816-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/562788> — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/538841>

2. Лунин, В. П. Электротехника и электроника в 3 т. Том 1. Электрические и магнитные цепи : учебник и практикум для вузов / В. П. Лунин, Э. В. Кузнецов ; под общей редакцией В. П. Лунина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 255 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00356-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/468936>

Общие критерии оценки:

Оценка «5»: работа выполнена в срок, полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий:

–проводит работу в условиях, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов;

–в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления;

–правильно выполняет анализ ошибок.

Оценка «4»: работа выполнена правильно с учетом 1-2 мелких погрешностей или 2-3 недочетов, исправленных самостоятельно по требованию преподавателя. На выполнение работы затрачено времени, больше установленного по норме на 10%.

Оценка «3»: работа выполнена правильно не менее чем наполовину, допущены 1-2 погрешности или одна грубая ошибка. На выполнение работы затрачено времени больше установленного по норме на 25%.

Оценка «2»: допущены две (и более) грубые ошибки в ходе работы, которые обучающийся не может исправить даже по требованию преподавателя. На выполнение работы затрачено времени против нормы больше чем на 25%.

Общие рекомендации

Составление отчета о проведенных исследованиях является важнейшим этапом выполнения лабораторной работы.

Все рисунки и схемы необходимо выполнять аккуратно, используя основные правила черчения и обозначения электрооборудования на схемах.

По каждой выполненной работе в тетради (папке) для лабораторных и практических работ составляют отчет, руководствуясь следующими положениями:

1. указать название и порядковый номер лабораторной работы, а также сформулировать цель работы;

2. указать тип и номинальные данные испытуемых электрических машин и аппаратов, а также типы, номера, пределы измерений, класс точности и системы измерительных приборов, используемых при выполнении лабораторной работы

3. схемы и графики вычертить с помощью линейки с соблюдением принятых стандартных условных обозначений;

4. отчет по каждой лабораторной работе должен содержать основные выводы.

Таблица – Перечень лабораторных, практических и самостоятельных работ

Тема	Вид, номер и название работы	Коды компетенций, личностных результатов (ОК, ПК)	Количество часов
Семестр 4			
Тема 1.1 Электрические цепи постоянного тока	Практическая работа № 1. Расчет электрических цепей постоянного тока	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	4
	Лабораторная работа № 1 Применение закона Ома и законов Кирхгофа для расчетов электрических цепей постоянного тока	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	4
Тема 1.1 Электрические цепи постоянного	Самостоятельная работа обучающихся № 1: Составление кроссворда по теме «Электрические цепи постоянного то-	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	4

тока	ка»		
Тема 1.2 Элек- тромагнетизм	Практическая работа № 2. Расчёт маг- нитной цепи	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	2
Тема 1.3 Элек- трические цепи однофазного пе- ременного тока	Практическая работа № 3. Расчёт од- нофазных цепей переменного тока	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	2
	Лабораторная работа № 2 Исследо- вание однофазных цепей переменного тока	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	2
Тема 1.4 Элек- трические цепи трёхфазного пе- ременного тока	Практическая работа № 4. Расчёт трёхфазных цепей переменного тока	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	4
	Лабораторная работа № 3 Исследо- вание трехфазной цепи с нагрузкой, со- единенной звездой	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	4
	Лабораторная работа № 4. Исследо- вание трехфазной цепи с нагрузкой, со- единенной треугольником	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	4
Тема 1.5 Электрические измерения	Практическая работа № 5. Ознакомле- ние с устройством электроизмеритель- ных приборов	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	4
	Лабораторная работа № 5. Измерение электрических величин и параметров элементов электрических цепей	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	2
Тема 1.6 Трансформаторы	Практическая работа № 6. Определе- ние основных характеристик транс- форматора	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	2
	Лабораторная работа № 6. Исследо- вание однофазного трансформатора	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	2
Тема 1.6 Трансформаторы	Самостоятельная работа обучающихся №2: Составление конспект-схемы по теме «Трансформаторы»	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	4
Тема 1.7 Электрические машины пере- менного тока	Практическая работа № 7. Определе- ние основных характеристик двигате- ля	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	2
	Лабораторная работа № 7. Исследо- вание работы асинхронного двигателя	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	2
Тема 1.8 Электрические машины постоян- ного тока	Лабораторная работа № 8 Исследо- вание работы двигателя постоянного то- ка параллельного возбуждения	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	2
Тема 1.8 Электрические машины	Самостоятельная работа обучающихся №3: Создание мини-проекта по теме «Электрические машины»	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	6
Тема 1.9 Основы электро-	Практическая работа № 8. Расчет мощности и выбор двигателя при раз-	ОК 01. ОК 02.	2

привода	личных режимах работы. Аппаратура для управления электроприводом.	ПК 1.3.	
Тема 2.1 Полупроводниковые приборы	Практическая работа № 9. Идентификация и определение параметров полупроводниковых приборов	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	4
Тема 2.3 Электронные выпрямители и стабилизаторы	Практическая работа № 10. Расчет схемы одно- и двухполупериодных выпрямителей. Определение величины коэффициента сглаживания и коэффициента выпрямления схемы, при различных конфигурациях схем выпрямления»	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	4
Тема 2.4 Электронные усилители	Практическая работа № 11. Расчет усилителя на биполярном транзисторе	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	4
Тема 2.5 Электронные генераторы и измерительные приборы	Практическая работа № 12. Изучение назначения и свойств основных функциональных узлов аналоговой электроники: усилителей, генераторов в схемах	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	4
Тема 2.6 Электронные устройства автоматики и вычислительной техники	Самостоятельная работа обучающихся № 4: Составление кроссворда по разделу «Электроника»	ОК 01. ОК 02. ПК 1.3.	4
ВСЕГО			78

Практическая работа № 1

Расчет электрических цепей постоянного тока

Количество часов на выполнение: 4 часа

Цель работы: рассчитать электрическую цепь постоянного тока

Задание: Используя предоставленные на рисунке данные для параллельного и последовательного соединений проводников, рассчитать неизвестные величины и заполнить соответствующие таблицы.

Пример решения задачи

Используя предоставленные на рисунке 1 данные для параллельного и последовательного соединений проводников, рассчитать неизвестные величины и заполнить соответствующие таблицы.

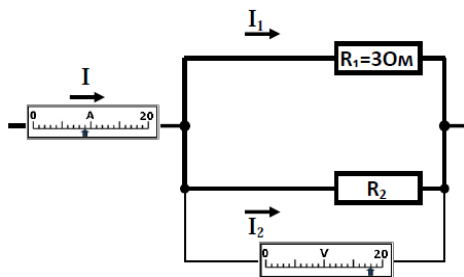


Рис.1 а

I, A	U, В	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , В	U ₂ , В

Решение:

по рисунку 1а определяем исходные данные: общий ток в цепи $I_{\text{общ}} = 9\text{A}$, общее напряжение $U_{\text{общ}} = 18\text{В}$ и сопротивление верхней ветви цепи $R_1 = 3\text{Ом}$. Так как соединение проводников параллельное, то напряжения на каждом из них равны между собой и равны общему напряжению $U_{\text{общ}}$

$U_{\text{общ}} = U_1 = U_2$, следовательно $U_1 = 18\text{В}$, $U_2 = 18\text{В}$.

Зная напряжение $U_1 = 18\text{В}$ и сопротивление $R_1 = 3\text{ Ом}$ верхней ветви, можем определить электрический ток в ней

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} \quad I_1 = \frac{18}{3} = 6\text{A}$$

Используя соотношение $I_{\text{общ}} = I_1 + I_2$, определяем силу тока в нижней ветви соединения $I_2 = I_{\text{общ}} - I_1$ получаем $I_2 = 9 - 6 = 3\text{A}$. Тогда сопротивление нижней ветви равно

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} \quad R_2 = \frac{18}{3} = 6\text{Ом}$$

Определяем общее сопротивление цепи:

$$R_{\text{общ}} = \frac{U}{I} \quad R_{\text{общ}} = \frac{18}{9} = 2\text{Ом}$$

Проверка. Для параллельного соединения двух проводников:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad R = \frac{3 \cdot 6}{3 + 6} = 2\text{ Ом}$$

Заполняем таблицу

I, A	U, В	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , В	U ₂ , В
9	18	2	6	3	3	6	18	18

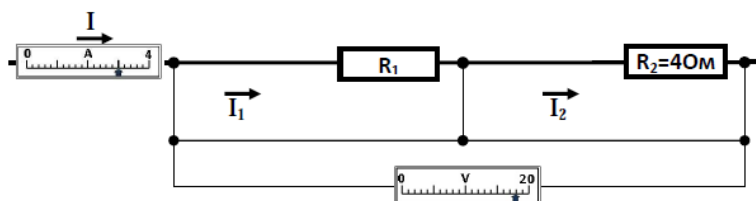


Рис.1б

I _{общ} , A	U, В	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , В	U ₂ , В

Решение:

по рисунку 1б определяем исходные данные: входной ток в цепи $I = 3\text{A}$, общее напряжение $U_{\text{общ}} = 18\text{В}$ и сопротивление второго проводника цепи $R_2 = 4\text{Ом}$.

Так как соединение проводников последовательное, то силы тока на каждом участке цепи одинаковы и равны входному току

$I_1 = I_2 = I_{\text{общ}}$, следовательно $I_1 = 3\text{A}$, $I_2 = 3\text{A}$.

Зная общее напряжение $U_{\text{общ}}$ и входной ток I , можем определить общее сопротивление цепи $R_{\text{общ}}$:

$$R_{\text{общ}} = \frac{U_{\text{общ}}}{I_{\text{общ}}} \quad R_{\text{общ}} = \frac{18}{3} = 6\text{Ом}$$

Тогда напряжение на втором проводнике: $U_2 = I_2 \cdot R_2 \quad U_2 = 3 \cdot 4 = 12\text{В}$.

Используя соотношение $U_{\text{общ}} = U_1 + U_2$, находим напряжение на первом проводнике

$U_1 = U_{\text{общ}} - U_2$. Получаем $U_1 = 18 - 12 = 6\text{В}$.

Окончательно, получаем сопротивление первого проводника

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} \quad R_1 = \frac{6}{3} = 2\text{Ом}$$

Проверка. Для последовательного соединения двух проводников:

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 \quad R_{\text{общ}} = 2 + 4 = 6\text{Ом}$$

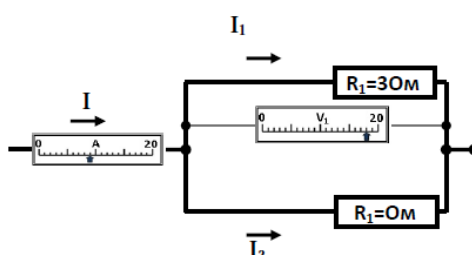
Заполняем таблицу.

I, A	U _{общ} , В	R _{общ} , Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , В	U ₂ , В
3	18	6	3	3	2	4	6	12

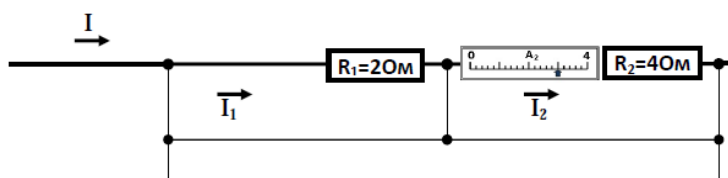
Задания для практической работы

Вариант 1

Используя предоставленные на рисунке данные для параллельного и последовательного соединений проводников, рассчитать неизвестные величины и заполнить соответствующие таблицы



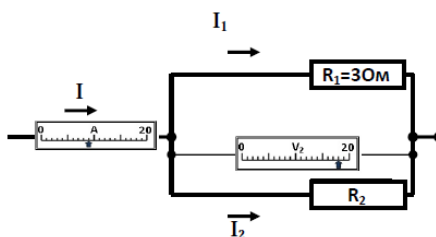
I, A	U, В	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , В	U ₂ , В



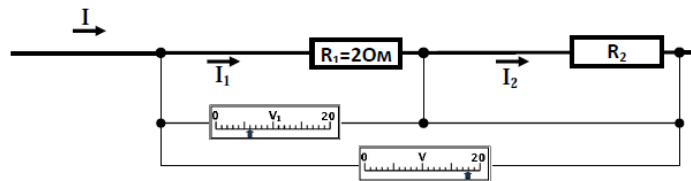
I, A	U, В	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , В	U ₂ , В

Вариант 2

Используя предоставленные на рисунке данные для параллельного и последовательного соединений проводников, рассчитать неизвестные величины и заполнить соответствующие таблицы



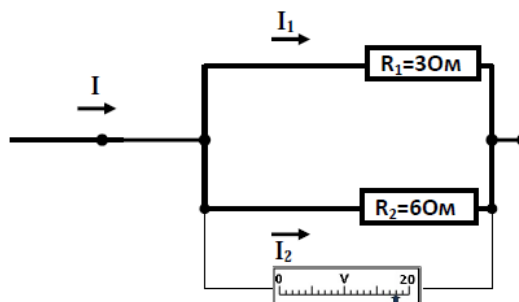
I, A	U, В	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , В	U ₂ , В



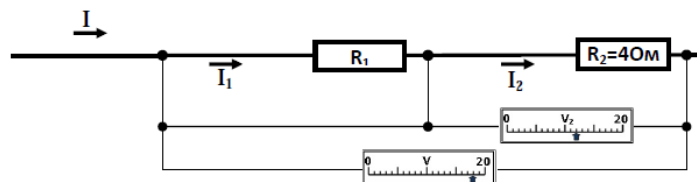
I, A	U, B	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , B	U ₂ , B

Вариант 3

Используя предоставленные на рисунке данные для параллельного и последовательного соединений проводников, рассчитать неизвестные величины и заполнить соответствующие таблицы



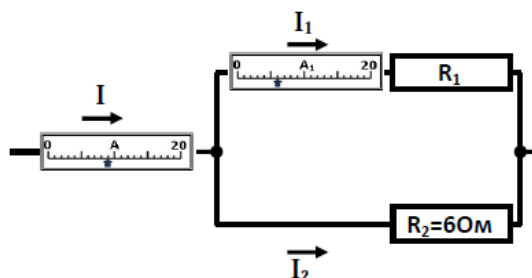
I, A	U, B	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , B	U ₂ , B



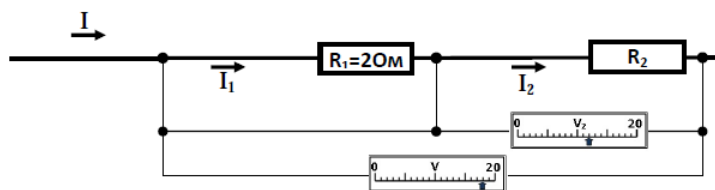
I, A	U, B	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , B	U ₂ , B

Вариант 4

Используя предоставленные на рисунке данные для параллельного и последовательного соединений проводников, рассчитать неизвестные величины и заполнить соответствующие таблицы



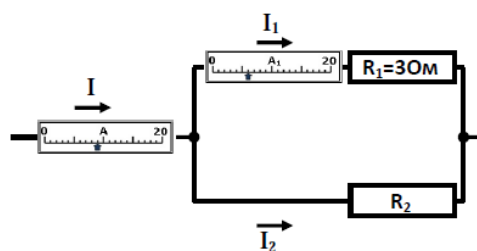
I, A	U, B	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , B	U ₂ , B



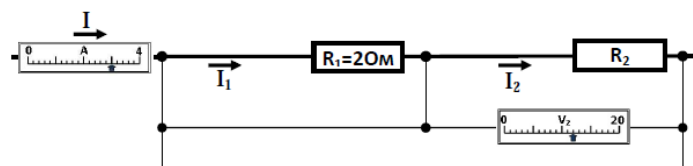
I, A	U, B	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , B	U ₂ , B

Вариант 5

Используя предоставленные на рисунке данные для параллельного и последовательного соединений проводников, рассчитать неизвестные величины и заполнить соответствующие таблицы



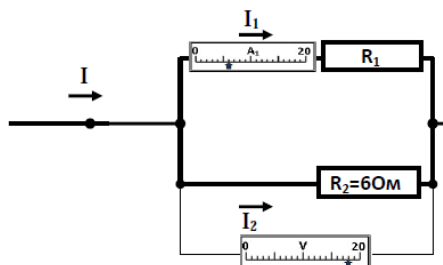
I, A	U, B	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , B	U ₂ , B



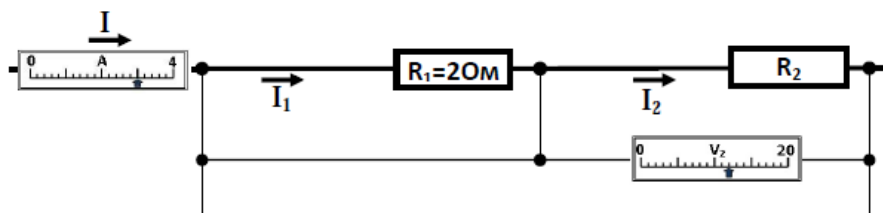
I, A	U, B	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , B	U ₂ , B

Вариант 6

Используя предоставленные на рисунке данные для параллельного и последовательного соединений проводников, рассчитать неизвестные величины и заполнить соответствующие таблицы



I, A	U, B	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , B	U ₂ , B



I, A	U, В	R, Ом	I ₁ , A	I ₂ , A	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	U ₁ , В	U ₂ , В

Требования к оформлению отчетного материала:

Практические работы на листах формата А 4 (книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические работы». Первый лист должен содержать сведения об исполнителе. Практические работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляется для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о практической работе должен содержать:

цель работы;

исходные данные;

ход решения;

выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Лабораторная работа №1

Применение закона Ома и законов Кирхгофа для расчетов электрических цепей постоянного тока

Количество часов на выполнение: 4 часа

Цель работы: Изучение основных правил расчета электрических схем с применением закона Ома и законов Кирхгофа.

Оборудование: Работа выполняется на персональной электронной вычислительной машине (ПЭВМ) с использованием программного комплекса Multisim 11.0.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом:

Течение тока в электрической цепи осуществляется по проводникам, в направлении от источника к потребителям. В зависимости выполняемых задач, в электрических цепях используется последовательное и параллельное соединение проводников.

В некоторых случаях могут быть применены оба типа соединений, тогда этот вариант будет называться смешанным.

На рис. 1 изображена электрическая цепь с последовательно соединенными сопротивлениями. Если резисторы или другие нагрузки соединены последовательно, по ним проходит один и тот же ток.

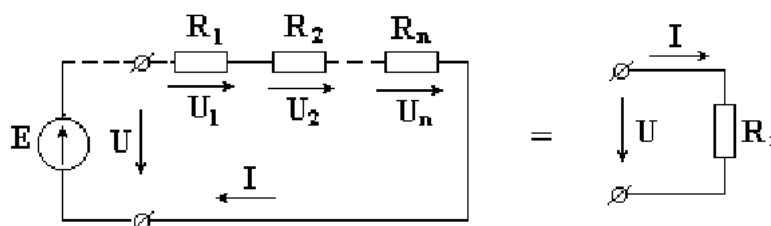


Рис. 1 Электрическая цепь с последовательно соединенными сопротивлениями

Напряжение на зажимах источника ЭДС равно величине электродвижущей силы. Поэтому часто источник на схеме не изображают.

Падения напряжений на сопротивлениях определяются по формулам

$$U_1 = I \cdot R_1, \quad U_2 = I \cdot R_2, \quad U_n = I \cdot R_n.$$

В соответствии со вторым законом Кирхгофа, напряжение на входе электрической цепи равно сумме падений напряжений на сопротивлениях цепи.

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + \dots + I \cdot R_n = \\ = I \cdot (R_1 + R_2 + \dots + R_n) = I \cdot R_3,$$

где $R_3 = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ - эквивалентное сопротивление.

Эквивалентное сопротивление электрической цепи, состоящей из n последовательно включенных элементов, равно сумме сопротивлений этих элементов.

На рис. 2 показана электрическая цепь с параллельным соединением сопротивлений.

Если резисторы или любые другие нагрузки соединены параллельно, все они находятся под одинаковым напряжением.

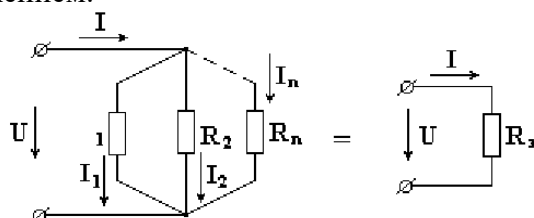


Рис. 2 Электрическая цепь с параллельным соединением сопротивлений

Токи в параллельных ветвях определяются по формулам:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = U \cdot g_1; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = U \cdot g_2; \quad I_n = \frac{U}{R_n} = U \cdot g_n,$$

где $g_1 = \frac{1}{R_1}$, $g_2 = \frac{1}{R_2}$, $g_n = \frac{1}{R_n}$ - проводимости 1-й, 2-й и n-й ветвей.

В соответствии с первым законом Кирхгофа, ток в неразветвленной части схемы равен сумме токов в параллельных ветвях.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = U \cdot g_1 + U \cdot g_2 + \dots + U \cdot g_n = U \cdot (g_1 + g_2 + \dots + g_n) = U \cdot g_3,$$

где $g_3 = g_1 + g_2 + \dots + g_n$

Эквивалентная проводимость электрической цепи, состоящей из n параллельно включенных элементов, равна сумме проводимостей параллельно включенных элементов.

Эквивалентным сопротивлением цепи называется величина, обратная эквивалентной проводимости

$$R_3 = \frac{1}{g_3}$$

Пусть электрическая схема содержит три параллельно включенных сопротивления.

Эквивалентная проводимость

$$g_3 = g_1 + g_2 + g_3 = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3};$$

$$R_3 = \frac{1}{g_3} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}$$

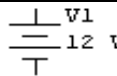

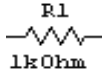
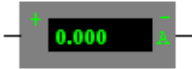

Эквивалентное сопротивление схемы, состоящей из n одинаковых элементов, в n раз меньше сопротивлений R одного элемента

$$R_3 = \frac{R}{n}$$

2. Выполнение работы в среде MULTISIM

Порядок выполнения работы

1. Запустить программный комплекс Multisim 11.0.
2. Ознакомиться с элементами управления и методами построения электрических схем.
3. Собрать схему, изображенную на рисунке 3, запустить режим эмуляции, записать значения токов и напряжений с указательных приборов в таблицу 1.

Компонент	Изображение	Последовательность действий
Источник постоянного напряжения		панель Виртуальных инструментов » Источники энергии (Power Sources) » Источник постоянного напряжения (DC Voltage Source)
Земля		панель Виртуальных инструментов » Источники энергии (Power Sources) » Земля (Ground)
Резистор		панель Виртуальных инструментов » Основные компоненты (Basic Components) » Резистор (Resistor)
Амперметр		панель Виртуальных инструментов » Измерительные приборы (Measurement Components) » Амперметр (Ammeter)
Вольтметр		панель Виртуальных инструментов » Измерительные приборы (Measurement Components) » Вольтметр (Voltmeter)

Примечание: обратите внимание на то, как подключены амперметры.

5. Произвести аналитический расчет токов и падений напряжений в цепи, проверить выполнение II закона Кирхгофа

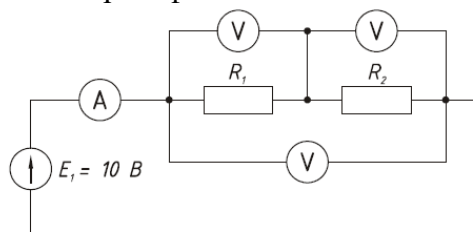


Рис.3. Последовательное соединение приёмников электрической энергии

Таблица 1

R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	I, A	U, В	U ₁ , В	U ₂ , В
100	100				
...				

6. Увеличивая номинал одного из резисторов со 100 Ом до 200 Ом с шагом в 20 Ом, заполнить таблицу 1.

Заменить в схеме источник напряжения на источник постоянного тока номиналом 50 мА и повторить.

7. Собрать схему, изображенную на рисунке 4, запустить режим эмуляции, записать значения токов и напряжений с указательных приборов в таблицу

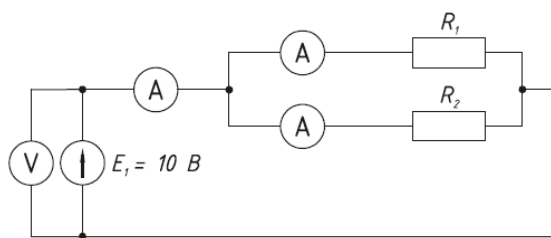


Рис.4. Параллельное соединение приёмников электрической энергии

Произвести аналитический расчет токов и падений напряжений в цепи, проверить выполнение I закона Кирхгофа..

8. Увеличивая номинал одного из резисторов со 100 Ом до 200 Ом с шагом в 20 Ом, заполните таблицу 2.

9. Заменить в схеме источник напряжения на источник постоянного тока номиналом 200 мА и повторить.

Таблица 2

$R_1, \text{ Ом}$	$R_1, \text{ Ом}$	$I, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	$I_1, \text{ А}$	$I_2, \text{ А}$
100	100				
...	...				

9. Сделать выводы по проделанной работе.

10. Ответить на контрольные вопросы письменно

Контрольные вопросы

1. В чём сходство и различие закона Ома для участка цепи и всей цепи.

2. Что физически выражает закон Кирхгофа

3. Какое соединение резисторов называют последовательным, параллельным, смешанным

4. Как распределяются токи, напряжения при последовательном соединении резисторов, при параллельном соединении резисторов.

5. Чему равно полное сопротивление цепи при последовательном соединении резисторов, при параллельном соединении.

Требования к оформлению отчетного материала:

Лабораторные работы оформляются на листах формата А 4 (книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические и лабораторные работы». Работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляется для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о работе должен содержать:

тему и цель работы, оборудование;

краткое описание работы, схемы, таблицы;

ответы на контрольные вопросы;

выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Самостоятельная работа №1

Тема 1.1. Электрические цепи постоянного тока

Количество часов на выполнение: 4 часа

Цель работы: систематизация знаний по теме «Электрические цепи постоянного

тока».

Задание:

Составить кроссворд

1. Сделайте анализ учебного текста по теме «Электрические цепи постоянного тока», познакомьтесь с материалом [1,2], воспользуйтесь глобальной сетью Интернет для составления кроссворда.

2. Составьте список слов изучаемого учебного материала.
3. Выберите наиболее подходящий тип кроссворда.
4. Составьте вопросов к терминам, понятиям, определения.
5. Начертите рисунок сетки.
6. Пронумеруйте рисунок сетки.
7. Напишите тексты вопросов и ответов.
8. Выполните орфографическую проверку текстов.
9. Проверьте тексты на соответствие нумерации.
10. Представить на контроль в установленный срок.

Методика выполнения задания

При составлении кроссвордов необходимо придерживаться принципов наглядности и доступности.

1. Кроссворд должен состоять из 20- 25 слов
2. Кроссворд должен быть "Классический"
3. Определения (толкования) должны быть строго лаконичными. Не следует делать их пространными, излишне исчерпывающими, многословными, несущими избыточную информацию.
4. Старайтесь подать слово с наименее известной стороны. В определениях не должно быть однокоренных слов.
5. Не допускается наличие "плашек" (незаполненных клеток) в сетке кроссворда;
6. Не допускаются случайные буквосочетания и пересечения;
7. Двухбуквенные слова должны иметь два пересечения;
8. Трехбуквенные слова должны иметь не менее двух пересечений;
9. Не допускаются аббревиатуры (ЗиЛ и т.д.), сокращения (детдом и др.);
10. Не рекомендуется большое количество двухбуквенных слов;
11. Все тексты должны быть написаны разборчиво, желательно отпечатаны.

Требования к оформлению:

На каждом листе должна быть фамилия автора, а также название данного кроссворда;

Рисунок кроссворда должен быть четким;

Сетки всех кроссвордов должны быть выполнены в двух экземплярах:

- 1-й экз. - с заполненными словами;
- 2-й экз. - только с цифрами позиций.

Ответы публикуются отдельно. Ответы предназначены для проверки правильности решения кроссворда и дают возможность ознакомиться с правильными ответами на нерешенные позиции условий, что способствует решению одной из основных задач разгадывания кроссвордов — повышению эрудиции и увеличению словарного запаса.

Требования к оформлению отчетного материала: отчет содержит тему и цель самостоятельной работы; задания и ответы, которые формируются в отчете, работа выполняется на листах формата А4.

Форма контроля: письменный отчет о проделанной работе.

Ссылки на источники [1,2]

Критерии оценивания составленных кроссвордов:

Четкость изложения материала, полнота исследования темы;
 Оригинальность составления кроссворда;
 Практическая значимость работы;
 Уровень стилизованного изложения материала, отсутствие стилистических ошибок;
 Уровень оформления работы, наличие или отсутствие грамматических и пунктуационных ошибок;

Количество вопросов в кроссворде, правильное их изложение.

20- 25 слов – «5» баллов

17- 19 слов – «4» балла

14-16 слов – «3» балла

менее 15 слов – «2» балла

Практическая работа № 2

Расчет магнитной цепи

Количество часов на выполнение: 2 часа

Цель: рассчитать магнитную цепь

Задание:

1. Разделить цепь на участки l_1, l_2, \dots
2. Определить магнитную индукцию $B = \Phi / S$.
3. Определить напряжения по кривой намагничивания.
4. Определить напряжённость поля в воздушном зазоре $H_0 = 0,8 \times 10^6 \times B_0$.
5. Определить МДС $H_1 \times l_1 + H_2 \times l_2 + \dots + H_0 \times l_0 = i \times \omega$
6. Определить ток или число витков.

Теоретические сведения к практической работе

Для расчета магнитных цепей можно воспользоваться законом полного тока. При этом решается одна из двух задач.

1. Прямая задача, в которой по заданному магнитному потоку Φ в магнитной цепи определяют намагничивающую силу $I\omega$.

2. Обратная задача, в которой по заданной намагничивающей силе $I\omega$ определяют магнитный поток Φ .

Для неоднородной неразветвленной магнитной цепи (прямая задача решается в следующей последовательности:

а) по заданному магнитному потоку Φ , который для всех участков неразветвленной цепи имеет одинаковое значение, определяют магнитную индукцию B каждого однородного участка

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1}; B_2 = \frac{\Phi}{S_2}; B_3 = \frac{\Phi}{S_3}$$

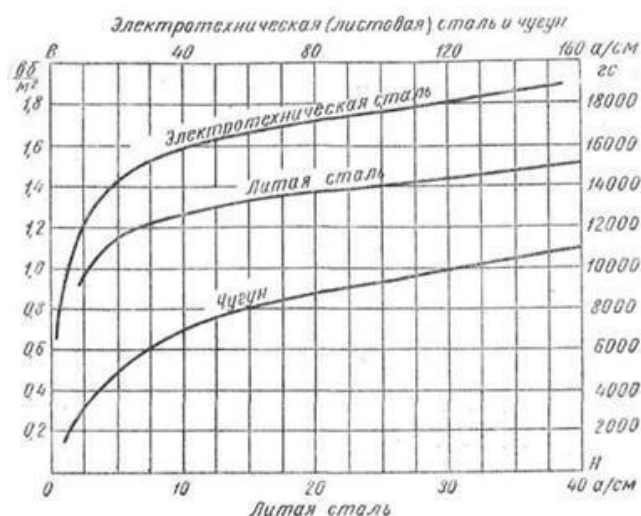
где S — площадь сечения участка. Для прямоугольного сечения $S = av$; для круглого сечения $S = \frac{\pi d^2}{4}$

Если задана магнитная индукция какого-либо участка $B_{уч}$, то находят магнитный поток этого участка $\Phi_{уч} = B_{уч} S_{уч}$, который для всех участков неразветвленной цепи имеет одинаковое значение. Затем определяют магнитную индукцию остальных участков, как показано выше;

б) по кривым намагничивания материалов определяют напряженности ферромагнитных участков H_1 и H_2 . Напряженность в воздушном зазоре вычисляют по выражению $H_3 = \frac{B_3}{\mu_0}$;

в) определив длину средней линии каждого участка, по закону полного тока

(второй закон Кирхгофа для магнитной цепи), вычисляют намагничивающую силу рассчитываемой магнитной цепи $IW = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3$, или ток I , или витки ω .



B, Тл	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,4	68	69	70	71	72	73	74	75	75	
0,5	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
0,6	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
0,7	96	99	103	108	113	118	123	126	131	135
0,8	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185
0,9	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235
1,0	240	246	252	258	264	270	276	282	288	294
1,1	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390
1,2	400	410	420	430	440	450	460	470	500	520
1,3	550	580	610	650	690	730	780	830	880	940
1,4	1000	1060	1120	1180	1240	1300	1360	1420	1480	1540
1,5	1600	1750	1900	2050	2200	2350	2500	270	2900	3100
1,6	3400	3600	3800	4100	4400	4700	5300	5900	6500	7100
1,7	7700	8200	8900	9400	10000	10600	11100	11700	12200	12800
1,8	13400	14000	14600	15200	15800	16400	17000	17600	18200	18800
1,9	19400	20000	21800	23700	25700	27800	30000	32200	34400	36600
2,0	38800	41000	43200	45400	47600	49800	52000	54500	57500	60500
2,1	65500	72500	80000	88000	96000	104000	112000	120000	128000	136000
2,2	144000	152000	160000	168000	176000	184000	192000	200000	208000	216000
2,3	224000	232000	240000	248000	256000	264000	272000	280000	288000	296000
2,4	304000	312000	320000	328000	336000	344000	352000	360000	368000	376000

Рис 3. Кривая намагничивания и таблица зависимости индукции B от напряженности H

Пример решения задачи

Определить число витков обмотки, которую необходимо нужно наложить на сердечник, если необходим магнитный поток $470 \times 10^{-5} \text{ Вб}$ при токе в обмотке 10А. Верхняя часть сердечника изготовлена из электротехнической стали, а нижняя часть изготовлена из литой стали.

Дано: $l_1 = 56 \text{ см}$ $l_0 = 1 \text{ см}$ $S_2 = 48 \text{ см}^2$ $I = 10 \text{ А}$ $l_2 = 18 \text{ см}$ $S_1 = 36 \text{ см}^2$ $S_0 = 36 \text{ см}^2$

$\Phi = 470 \times 10^{-5} \text{ Вб}$

Найти: ω - ?

Решение:

1. Разбить цепь на 3 участка и определить магнитную индукцию на участках

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{470 \times 10^{-5}}{36 \times 10^{-4}} = 1,3 \text{ Тл} . \quad B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{470 \times 10^{-5}}{48 \times 10^{-4}} = 0,98 \text{ Тл} . \quad B_0 = \frac{\Phi}{S_0} = \frac{470 \times 10^{-5}}{36 \times 10^{-4}} = 1,3 \text{ Тл} .$$

2. По кривой намагничивания найдём соответствующие напряжённости.

$$H_1 = 750 \frac{A}{м} ; \quad H_2 = 400 \frac{A}{м} ; \quad H_0 = 0,8 \times 10^6 \times B_0 = 1,04 \times 10^6 \frac{A}{м}.$$

3. Магнитное напряжение на участках

$$U_{M1} = H_1 \times L_1 = 750 \times 0,56 = 420 A$$

$$U_{M2} = H_2 \times L_2 = 400 \times 0,17 = 68 A$$

$$U_{M0} = H_0 \times L_0 = 1,04 \times 10^6 \times 0,01 = 10400 A$$

4. Магнитодвижущая сила $F_M = U_{M1} + U_{M2} + U_{M0} = 420 + 68 + 10400 = 10888 A$.

5. Число витков

$$\omega = \frac{F}{I} = \frac{10888}{10} = 1089$$

Ответ: $\omega = 1089$

Задания для практической работы

Вариант 1

Какой величины должна быть сила тока для получения магнитного потока $\Phi = 410 \times 10^{-5}$ Вб, если число витков 1000, верхняя часть – литая сталь, нижняя часть – чугун.

$$l_1 = 44 \text{ см}, S_1 = 40 \text{ см}^2, l_2 = 19 \text{ см}, S_2 = 30 \text{ см}^2, l_0 = 1 \text{ см}, S_0 = 40 \text{ см}^2.$$

Вариант 2

Сколько витков надо наложить на сердечник для получения магнитного потока $\Phi = 420 \times 10^{-5}$ Вб, при силе тока $I = 7$ А, верхняя часть состоит из пермаллоя, а нижняя из литой стали.

$$l_1 = 45 \text{ см}, S_1 = 42 \text{ см}^2, l_2 = 20 \text{ см}, S_2 = 35 \text{ см}^2, l_0 = 1 \text{ см}, S_0 = 42 \text{ см}^2.$$

Вариант 3

Какой величины должна быть сила тока для получения магнитного потока $\Phi = 410 \times 10^{-5}$ Вб, если число витков 458, верхняя часть – литая сталь, нижняя часть – пермаллой.

$$l_1 = 46 \text{ см}, S_1 = 48 \text{ см}^2, l_2 = 19 \text{ см}, S_2 = 30 \text{ см}^2, l_0 = 1 \text{ см}, S_0 = 48 \text{ см}^2.$$

Вариант 4

Сколько витков надо наложить на сердечник для получения магнитного потока $\Phi = 420 \times 10^{-5}$ Вб, при силе тока $I = 15$ А, верхняя часть состоит из электротехнической стали, а нижняя из литой стали.

$$l_1 = 47 \text{ см}, S_1 = 42 \text{ см}^2, l_2 = 20 \text{ см}, S_2 = 35 \text{ см}^2, l_0 = 1 \text{ см}, S_0 = 42 \text{ см}^2.$$

Вариант 5

Какой величины должна быть сила тока для получения магнитного потока $\Phi = 410 \times 10^{-5}$ Вб, если число витков 558, верхняя часть – электротехническая сталь, нижняя часть – чугун.

$$l_1 = 48 \text{ см}, S_1 = 54 \text{ см}^2, l_2 = 25 \text{ см}, S_2 = 39 \text{ см}^2, l_0 = 1 \text{ см}, S_0 = 54 \text{ см}^2.$$

Вариант 6

Сколько витков надо наложить на сердечник для получения магнитного потока $\Phi = 420 \times 10^{-5}$ Вб, при силе тока $I = 20$ А, верхняя часть состоит из чугуна, а нижняя из литой стали.

$$l_1 = 49 \text{ см}, S_1 = 45 \text{ см}^2, l_2 = 25 \text{ см}, S_2 = 35 \text{ см}^2, l_0 = 1 \text{ см}, S_0 = 45 \text{ см}^2.$$

Требования к оформлению отчетного материала:

Практические работы на листах формата А 4 (книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические работы». Первый лист должен содержать сведения об исполнителе. Практические работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляется для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о практической работе должен содержать:

цель работы;

исходные данные;

ход решения;

выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Практическая работа № 3

Расчет однофазных цепей переменного тока

Количество часов на выполнение: 2 часа

Цель работы: рассчитать цепь переменного тока

Задание: Используя предоставленные данные, рассчитать неизвестные величины:

1. Токи в ветвях и в неразветвленной части цепи;
2. Активные и реактивные мощности каждой ветви и всей цепи;
3. Полную мощность цепи;
4. Углы сдвига фаз между током и напряжением в каждой ветви и во всей цепи.

пи.

Пример решения задачи

Катушка с активным сопротивлением $R_1=4$ Ом и индуктивным $X_{L1}=3$ Ом соединена параллельно с конденсатором, емкостное сопротивление которого $X_{C2}=8$ Ом и активным сопротивлением $R_2=6$ Ом. К цепи приложено напряжение $U=60$ В.

Определить:

1. Точки в ветвях и в неразветвленной части цепи;
2. Активные и реактивные мощности каждой ветви и всей цепи;
3. Полную мощность цепи;
4. Углы сдвига фаз между током и напряжением в каждой ветви и во всей цепи.

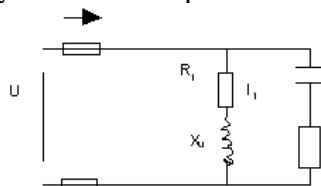


Рис.1

Решение:

1. Определить токи в ветвях:

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2}} = \frac{60}{\sqrt{4^2 + 3^2}} = \frac{60}{5} = 12 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{U}{\sqrt{R_2^2 + X_{C2}^2}} = \frac{60}{\sqrt{6^2 + 8^2}} = \frac{60}{10} = 6 \text{ A}$$

2. Углы сдвига фаз в ветвях:

$$\sin \varphi_1 = \frac{X_{L1}}{Z_1} = \frac{3}{\sqrt{4^2 + 3^2}} = 0,6$$

По таблицам Брадиса находим $\varphi_1=36^\circ 50'$, т.к. $\varphi_1>0$, то напряжение опережает ток;

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_{C2}}{Z_2} = \frac{8}{\sqrt{6^2 + 8^2}} = 0,8; \varphi_2=-53^\circ 10',$$

т.е. напряжение отстает от тока, так как $\varphi_2<0$.

По таблицам Брадиса находим:

$$\cos \varphi_1 = \cos 36^\circ 50' = 0,8$$

$$\cos \varphi_2 = \cos(-53^\circ 10') = 0,6$$

3. Определяем активные и реактивные составляющие токов в ветвях:

$$I_{a1} = I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 12 \cdot 0,8 = 9,6 \text{ A}$$

$$I_{a2} = I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 6 \cdot 0,6 = 3,6 \text{ A}$$

$$I_{p1} = I_1 \cdot \sin \varphi_1 = 12 \cdot 0,6 = 7,2 \text{ A}$$

$$I_{p2} = I_2 \cdot \sin \varphi_2 = 6 \cdot (-0,8) = -4,8 \text{ A}$$

4. Определяем ток в неразветвленной части цепи

$$I = \sqrt{(I_{a1} + I_{a2})^2 + (I_{p1} + I_{p2})^2} = \sqrt{(9,6 + 3,6)^2 + (7,2 - 4,8)^2} = 13,4 \text{ A}$$

5. Определяем коэффициент мощности всей цепи:

$$\cos \varphi = \frac{I_{a1} + I_{a2}}{I} = \frac{9,6 + 3,6}{13,4} = \frac{13,2}{13,4} = 0,98$$

6. Определяем активные и реактивные мощности ветвей по всей цепи:

$$P_1 = U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 60 \cdot 12 \cdot 0,8 = 576 \text{ Вт}$$

$$P_2 = U \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 60 \cdot 6 \cdot 0,6 = 216 \text{ Вт}$$

$$P = P_1 + P_2 = 576 + 216 = 792 \text{ Вт}$$

$$Q_1 = U \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1 = 60 \cdot 12 \cdot 0,6 = 432 \text{ вар}$$

$$Q_2 = U \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2 = 60 \cdot 6 \cdot (-0,8) = -288 \text{ вар}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 432 + (-288) = 144 \text{ вар}$$

7. Определяем полную мощность всей цепи:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{792^2 + 144^2} = 805 \text{ ВА}$$

Ток в неразветвленной части цепи можно определить и таким образом:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{805}{60} = 13,4 \text{ A}$$

Задания для практической работы

Вариант 1

Определить:

1. Точки в ветвях и в неразветвленной части цепи;
2. Активные и реактивные мощности каждой ветви и всей цепи;
3. Полную мощность цепи;
4. Углы сдвига фаз между током и напряжением в каждой ветви и во всей цепи.

$$R_1 = 20 \text{ Ом}$$

$$C_2 = 150 \text{ мкФ}$$

$$L_3 = 0,1 \text{ Гн}$$

$$R_4 = 10 \text{ Ом}$$

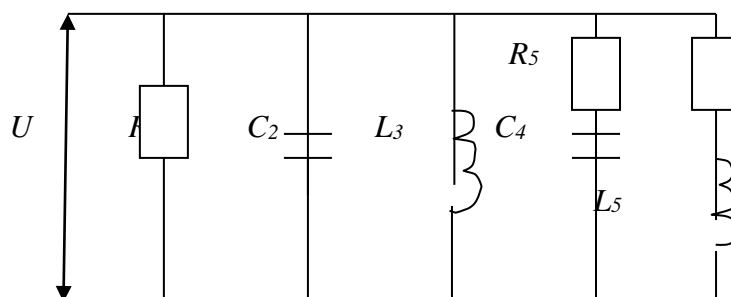
$$C_4 = 200 \text{ мкФ}$$

$$R_5 = 8 \text{ Ом}$$

$$L_5 = 50 \text{ мГн}$$

$$f = 50 \text{ Гц}$$

$$U = 220 \text{ В}$$



Вариант 2

Определить:

1. Точки в ветвях и в неразветвленной части цепи;
2. Активные и реактивные мощности каждой ветви и всей цепи;
3. Полную мощность цепи;
4. Углы сдвига фаз между током и напряжением в каждой ветви и во всей цепи.

$$R_1 = 4 \text{ Ом}$$

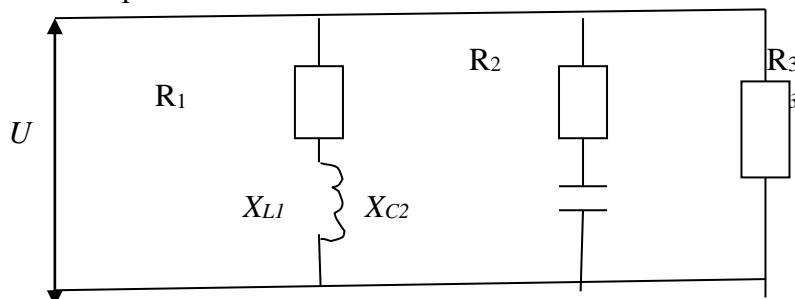
$$R_2 = 6 \text{ Ом}$$

$$X_{C2} = 8 \text{ Ом}$$

$$X_{L1} = 6 \text{ Ом}$$

$$U = 125 \text{ В}$$

$$R_3 = 5 \text{ Ом}$$



Вариант 3

Определить:

1. Точки в ветвях и в неразветвленной части цепи;
2. Активные и реактивные мощности каждой ветви и всей цепи;
3. Полную мощность цепи;
4. Углы сдвига фаз между током и напряжением в каждой ветви и во всей цепи.

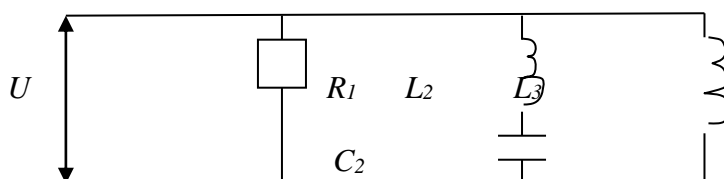
$$R_1 = 30 \text{ Ом}$$

$$L_2 = L_3 = 0,1 \text{ Гн}$$

$$C_2 = 250 \text{ мкФ}$$

$$f = 50 \text{ Гц}$$

$$U = 120 \text{ В}$$



Вариант 4

Определить:

1. Точки в ветвях и в неразветвленной части цепи;
2. Активные и реактивные мощности каждой ветви и всей цепи;
3. Полную мощность цепи;
4. Углы сдвига фаз между током и напряжением в каждой ветви и во всей цепи.

$$R_1 = 20 \text{ Ом}$$

$$L_1 = 50 \text{ мГн}$$

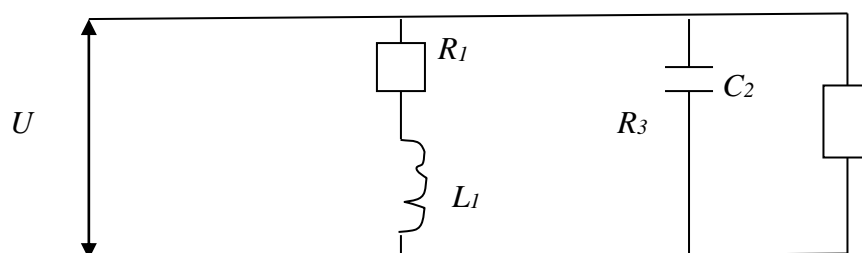
$$I_1 = 6 \text{ А}$$

$$I_2 = 3 \text{ А}$$

$$f = 50 \text{ Гц}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$R_3 = 10 \text{ Ом}$$



Требования к оформлению отчетного материала:

Практические работы на листах формата А 4 (книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические работы». Первый лист должен содержать сведения об исполнителе.

Практические работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляются для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о практической работе должен содержать:

цель работы;

исходные данные;

ход решения;

выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Лабораторная работа № 2

Исследование однофазных цепей переменного тока

Количество часов на выполнение: 2 часа

Цель работы: исследовать цепи переменного тока, содержащие активную и реактивную нагрузки.

Оборудование: Работа выполняется на персональной электронной вычислительной машине (ПЭВМ) с использованием программного комплекса Multisim 11.0.

Задание:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом.
2. Собрать схему.
3. Снять показания, данные занести в таблицу.
4. Определить неизвестные величины. Определить экспериментально параметры цепи с последовательным соединением R, L и C для трех случаев $X_L > X_C$, $X_L = X_C$ и $X_L < X_C$.
5. Ответить на контрольные вопросы письменно
6. Сделать вывод о работе

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом:

Переменным называется электрический ток, величина и направление которого изменяются во времени.

Наименьший промежуток времени, через который значения переменного тока повторяются, называется периодом. Период T измеряется в секундах. Периодические токи, изменяющиеся по синусоидальному закону, называются синусоидальными.

Величину, обратную периоду, называют частотой. Частота f измеряется в герцах.

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Гц)}.$$

В Западном полушарии и в Японии используется переменный ток частотой 60 Гц, в Восточном полушарии - частотой 50 Гц.

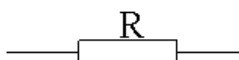
Величину $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f$ называют круговой, или угловой, частотой. Угловая частота измеряется в рад/с.

Если у синусоидальных токов начальные фазы при одинаковых частотах одинаковы, говорят, что эти токи совпадают по фазе. Если неодинаковы по фазе, говорят, что токи сдвинуты по фазе. Сдвиг фаз двух синусоидальных токов измеряется разностью начальных фаз $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$.

Амперметры и вольтметры электромагнитной системы измеряют действующие значения переменного тока и напряжения.

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 $X = X_L - X_C$.

Полным сопротивлением цепи называют величину

$$Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}$$

Величину P равную произведению действующих значений тока и напряжения называют активной мощностью. Единицей ее измерения является Ватт (Вт).

$$P = U I \cos \varphi,$$

Для количественной оценки мощности в индуктивности используют величину Q и называют ее реактивной (индуктивной) мощностью. Единицей ее измерения выбрали ВАр (вольт-ампер реактивный).

$$Q = U I \sin \varphi,$$

Вводят понятие полной мощности цепи

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

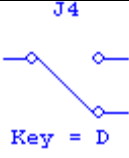
Можно записать в виде

$$S = U I.$$

Единицей измерения полной мощности является ВА – вольт-ампер.

2. Выполнение работы в среде MULTISIM

Компонент	Изображение	Последовательность действий
Источник переменного напряжения		панель Виртуальных инструментов » Источники энергии (Power Sources) » Источник переменного напряжения (AC Power Source)
Земля		панель Виртуальных инструментов » Источники энергии (Power Sources) » Земля (Ground)
Резистор		панель Виртуальных инструментов » Основные компоненты (Basic Components) » Резистор (Resistor)
Конденсатор		панель Виртуальных инструментов » Основные компоненты (Basic Components) » Виртуальный конденсатор (Virtual Capacitor)
Катушка индуктивности		панель Виртуальных инструментов » Основные компоненты (Basic Components) » Виртуальная катушка индуктивности (Virtual Inductor)
Амперметр		панель Виртуальных инструментов » Измерительные приборы (Measurement Components) » Амперметр (Ammeter)

Ключ		панель Компонент (Component) » Основные элементы (Basic) » список Переключатели (Switch) окна Семейство (Family) » список Компонент (Component) » Двухпозиционный ключ (SPDT)
Вольтметр		панель Виртуальных инструментов » Измерительные приборы (Measurement Components) » Вольтметр (Voltmeter)

1. Запустить программный комплекс Multisim 11.0.

2. Собрать схему в соответствии с рис. 1. Устанавливая индуктивность катушки в соответствии с таблицей 1 записать значения токов и напряжений с указательных приборов. ($R_1 = 100 \text{ Ом}$)

Примечание: не забудьте перевести амперметры и вольтметры в режим измерения переменных величин (AC).

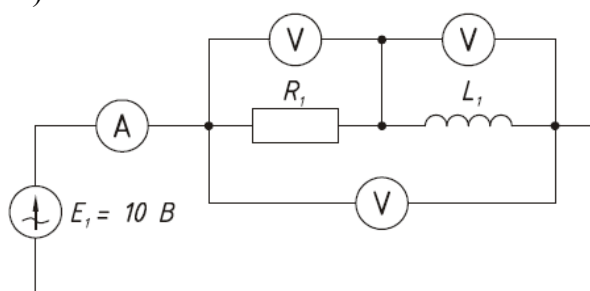


Рис. 1

Таблица 1

L, мГн	C, мкФ	I, А	U, В	U _R , В	U _L , В	U _C , В
314,2	-					-
628,4	-					-
942,6	-					-
-	31,42				-	
-	62,84				-	
-	94,26				-	

3. Заменить катушку индуктивности конденсатором, устанавливая значение емкости конденсатора в соответствии с таблицей 1 записать значения токов и напряжений с указательных приборов.

4. Собрать схему в соответствии с рис. 2. Устанавливая индуктивность в соответствии с таблицей 2 записать значения токов и напряжений с указательных приборов. ($R_1 = 100 \text{ Ом}$)

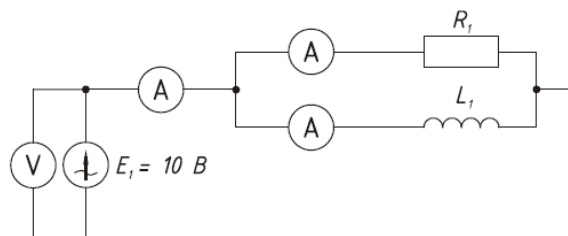


Рис. 2

5. Заменить катушку индуктивности конденсатором, устанавливая значение емкости конденсатора в соответствии с таблицей 2 записать значения токов и напряжений с указательных приборов.

Таблица 2

L, мГн	C, мкФ	I, А	U, В	I _R , В	I _L , В	I _C , В
314,2	-					-
628,4	-					-
942,6	-					-
-	31,42				-	
-	62,84				-	
-	94,26				-	

6. Сделать выводы по проделанной работе.

7. Ответить на контрольные вопросы письменно

Контрольные вопросы

1. Чему равно индуктивное сопротивление и в каких единицах его измеряют?

2. Что такое активная и реактивная мощности однофазной цепи переменного тока и в каких единицах их измеряют?

3. Чему равна полная мощность однофазной цепи переменного тока и в каких единицах её измеряют?

4. Что такое коэффициент мощности?

5. От чего зависит угол сдвига фаз напряжения и тока в цепи?

Требования к оформлению отчетного материала:

Лабораторные работы оформляются на листах формата А 4 (книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические и лабораторные работы». Работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляются для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о работе должен содержать:

тему и цель работы, оборудование;

краткое описание работы, схемы, таблицы;

ответы на контрольные вопросы;

выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Практическая работа № 4

Расчёт трёхфазных цепей переменного тока

Количество часов на выполнение: 4 часа

Цель работы: рассчитать трёхфазную цепь переменного тока

Задание: Используя предоставленные данные, рассчитать неизвестные величины

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом:

Трёхфазная цепь является совокупностью трех электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, сдвинутые относительно друг друга по фазе на 120° , создаваемые общим источником. Участок трёхфазной системы, по которому протекает одинаковый ток, называется фазой.

Трёхфазная цепь состоит из трёхфазного генератора, соединительных проводов и приемников или нагрузки, которые могут быть однофазными или трёхфазными.

Трёхфазный генератор представляет собой синхронную машину. На статоре генератора размещена обмотка, состоящая из трех частей или фаз, пространственно смещенных относительно друг друга на 120° . В фазах генератора индуцируется симметричная трёхфазная система ЭДС, в которой электродвижущие силы одинаковы по ам-

плитуде и различаются по фазе на 120° . Запишем мгновенные значения и комплексы действующих значений ЭДС.

$$e_B = E_m \cdot \sin(\omega t - 120^\circ), \quad e_C = E_m \cdot \sin(\omega t + 120^\circ)$$

$$\dot{E}_A = E; \quad \dot{E}_B = E \cdot e^{-j120^\circ}; \quad \dot{E}_C = E \cdot e^{j120^\circ}.$$

Сумма электродвижущих сил симметричной трехфазной системы в любой момент времени равна нулю.

$$\begin{aligned} \dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C &= E(1 + e^{-j120^\circ} + e^{j120^\circ}) = \\ &= E(1 + \cos 120^\circ - j \cdot \sin 120^\circ + \cos 120^\circ + j \cdot \sin 120^\circ) = E\left(1 - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\right) = 0. \end{aligned}$$

Соответственно $e_A + e_B + e_C = 0$

На схемах трехфазных цепей начала фаз обозначают первыми буквами латинского алфавита (А, В, С), а концы - последними буквами (Х, Y, Z). Направления ЭДС указывают от конца фазы обмотки генератора к ее началу.

Каждая фаза нагрузки соединяется с фазой генератора двумя проводами: прямым и обратным. Получается несвязанная трехфазная система, в которой имеется шесть соединительных проводов. Чтобы уменьшить количество соединительных проводов, используют трехфазные цепи, соединенные звездой или треугольником.

Если концы всех фаз генератора соединить в общий узел, а начала фаз соединить с нагрузкой, образующей трехлучевую звезду сопротивлений, получится трехфазная цепь, соединенная звездой. При этом три обратных провода сливаются в один, называемый нулевым или нейтральным. Трехфазная цепь, соединенная звездой, изображена на рис. 1.

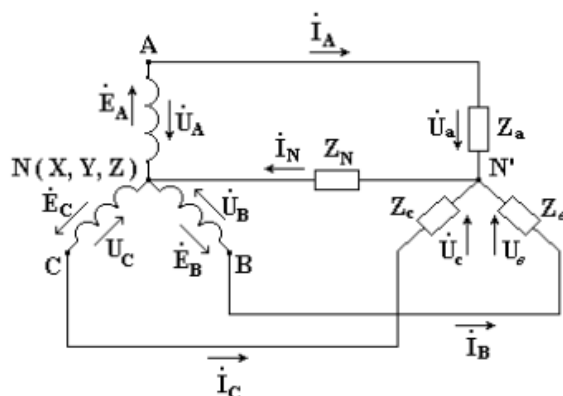


Рис. 1.

Провода, идущие от источника к нагрузке называют линейными проводами, провод, соединяющий нейтральные точки источника N и приемника N' называют нейтральным (нулевым) проводом.

Напряжения между началами фаз или между линейными проводами называют линейными напряжениями. Напряжения между началом и концом фазы или между линейным и нейтральным проводами называются фазными напряжениями.

Токи в фазах приемника или источника называют фазными токами, токи в линейных проводах - линейными токами. Так как линейные провода соединены последовательно с фазами источника и приемника, линейные токи при соединении звездой являются одновременно фазными токами.

$$I_L = I_\phi.$$

Z_N - сопротивление нейтрального провода.

Линейные напряжения равны геометрическим разностям соответствующих

фазных напряжений

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

На рис. 2. изображена векторная диаграмма фазных и линейных напряжений симметричного источника.

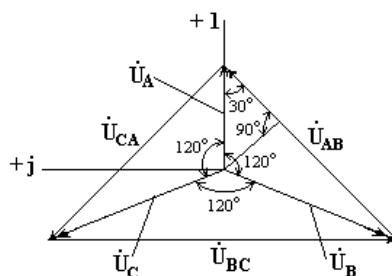


Рис. 2.

Из векторной диаграммы видно, что

$$U_L = U_{AB} = 2U_\phi \cdot \cos 30^\circ = 2U_\phi \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \cdot U_\phi$$

При симметричной системе ЭДС источника линейное напряжение больше фазного в $\sqrt{3}$ раз.

$$U_L = \sqrt{3} U_\phi$$

Если конец каждой фазы обмотки генератора соединить с началом следующей фазы, образуется соединение в треугольник. К точкам соединений обмоток подключают три линейных провода, ведущие к нагрузке.

На рис. 3 изображена трехфазная цепь, соединенная треугольником. Как видно из рис. 3, в трехфазной цепи, соединенной треугольником, фазные и линейные напряжения одинаковы.

$$U_L = U_\phi$$

I_A, I_B, I_C - линейные токи;

I_{ab}, I_{bc}, I_{ca} - фазные токи.

Линейные и фазные токи нагрузки связаны между собой первым законом Кирхгофа для узлов a, b, c.

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

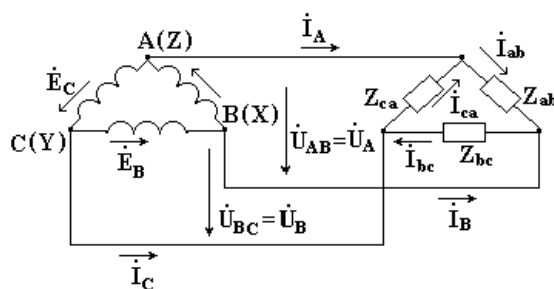


Рис. 3.

Линейный ток равен геометрической разности соответствующих фазных токов.

На рис. 4 изображена векторная диаграмма трехфазной цепи, соединенной треугольником при симметричной нагрузке. Нагрузка является симметричной, если сопротивления фаз одинаковы. Векторы фазных токов совпадают по направлению с векторами соответствующих фазных напряжений, так как нагрузка состоит из активных сопротивлений.

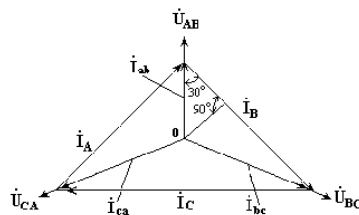


Рис. 4.

Из векторной диаграммы видно, что

$$I_L = 2 I_\phi \cdot \cos 30^\circ = 2 I_\phi \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \cdot I_\phi,$$

$I_L = \sqrt{3} I_\phi$ при симметричной нагрузке.

Трехфазные цепи, соединенные звездой, получили большее распространение, чем трехфазные цепи, соединенные треугольником. Это объясняется тем, что, во-первых, в цепи, соединенной звездой, можно получить два напряжения: линейное и фазное. Во-вторых, если фазы обмотки электрической машины, соединенной треугольником, находятся в неодинаковых условиях, в обмотке появляются дополнительные токи, нагружающие ее. Такие токи отсутствуют в фазах электрической машины, соединенных по схеме "звезда". Поэтому на практике избегают соединять обмотки трехфазных электрических машин в треугольник.

2. Пример решения задачи

В трехфазную сеть с $U_L = 380$ В включен соединенный треугольником трехфазный асинхронный двигатель мощностью $P = 5$ кВт, КПД двигателя равен $\eta_H = 90\%$, коэффициент мощности $\cos \varphi_H = 0,8$.

Определить фазные и линейные токи двигателя, параметры его схемы замещения R_ϕ , X_ϕ , построить векторную диаграмму.

Двигатель является активно-индуктивным потребителем энергии, его схема замещения приведена на рис. 5.

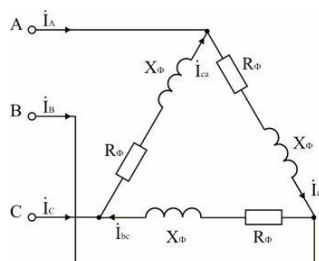


Рис. 5. Расчетная схема

Расчет активной мощности и токов, потребляемых двигателем из сети.

В паспорте двигателя указывается механическая мощность на валу; потребляемая активная мощность двигателя

$$P = P_H / \eta = 500 / 0,9 = 5560 \text{ Вт.}$$

Для симметричной нагрузки, какой является двигатель,

$$P = 3 U_\phi I_\phi \cos \varphi \text{ и } I_\phi = P / (3 U_\phi \cos \varphi).$$

$$I_\phi = 5560 / (3 \cdot 380 \cdot 0,8) = 6,09 \text{ А.}$$

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi = \sqrt{3} \cdot 6,09 = 10,54 \text{ А.}$$

Расчет параметров схемы замещения двигателя.

$$Z_\phi = U_\phi / I_\phi = 380 / 6,09 = 62,4 \text{ Ом; } R_\phi = Z_\phi \cos \varphi = 62,4 \cdot 0,8 = 49,9 \text{ Ом;}$$

$$X_\phi = Z_\phi \sin \varphi = 62,4 \cdot 0,6 = 37,4 \text{ Ом; } \cos \varphi = \cos \varphi_H = 0,8.$$

Построение векторной диаграммы.

Линейные напряжения строятся в виде симметричной звезды, они же являются в данном случае фазными напряжениями. Фазные токи отстают от напряжений на угол

фф, линейные токи строятся по фазным на основании уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа:

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

Векторная диаграмма показана на рис. 4.6.

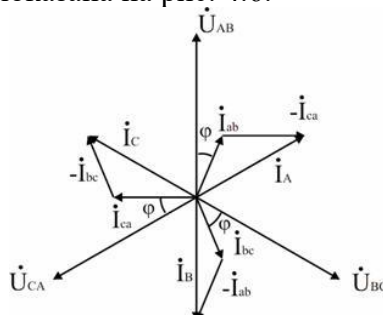


Рис. 6.

Задания для практической работы

В трехфазную сеть с U_L включен соединенный треугольником трехфазный асинхронный двигатель мощностью P , известны КПД двигателя и коэффициент мощности.

Определить фазные и линейные токи двигателя, параметры его схемы замещения R_Φ , X_Φ , построить векторную диаграмму.

Вариант	$U_L, В$	$P, кВт$	$\eta_n, \%$	$\cos \varphi_n$
1	380	5	80	0,7
2	380	6	90	0,8
3	380	7	85	0,6
4	380	4	75	0,85
5	380	3	70	0,9
6	380	8	95	0,65
7	380	5	80	0,55
8	380	6	90	0,5
9	380	7	85	0,7
10	380	4	75	0,8
11	380	3	70	0,6
12	380	8	95	0,85
13	380	5	80	0,9
14	380	6	90	0,65
15	380	7	85	0,55
16	380	4	75	0,5
17	380	3	70	0,7
18	380	8	95	0,8
19	380	5	80	0,6
20	380	6	90	0,85

Требования к оформлению отчетного материала:

Практические работы на листах формата А 4(книжный вариант) и помещается в папку студента «Практические работы». Первый лист должен содержать сведения об исполнителе. Практические работы оформляются по специально заданной структуре, и

предоставляется для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о практической работе должен содержать:

цель работы;

исходные данные;

ход решения;

выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

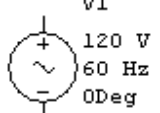

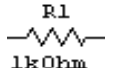


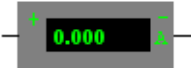
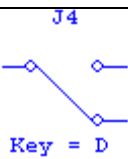

Лабораторная работа № 3

Исследование трехфазной цепи с нагрузкой, соединенной звездой

Количество часов на выполнение: 4 часа

Цель работы: Ознакомиться со свойствами трехфазной цепи с нагрузкой, соединенной звездой

Оборудование: Работа выполняется на персональной электронной вычислительной машине (ПЭВМ) с использованием программного комплекса Multisim 11.0.

Компонент	Изображение	Последовательность действий
Источник переменного напряжения		панель Виртуальных инструментов » Источники энергии (Power Sources) » Источник переменного напряжения (AC Power Source)
Земля		панель Виртуальных инструментов » Источники энергии (Power Sources) » Земля (Ground)
Резистор		панель Виртуальных инструментов » Основные компоненты (Basic Components) » Резистор (Resistor)
Конденсатор		панель Виртуальных инструментов » Основные компоненты (Basic Components) » Виртуальный конденсатор (Virtual Capacitor)
Катушка индуктивности		панель Виртуальных инструментов » Основные компоненты (Basic Components) » Виртуальная катушка индуктивности (Virtual Inductor)
Амперметр		панель Виртуальных инструментов » Измерительные приборы (Measurement Components) » Амперметр (Ammeter)
Ключ		панель Компонент (Component) » Основные элементы (Basic) » список Переключатели (Switch) окна Семейство (Family) » список Компонент (Component) » Двухпозиционный ключ (SPDT)
Вольтметр		панель Виртуальных инструментов » Измерительные приборы (Measurement Components) » Вольтметр (Voltmeter)

Задание:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом.
2. Собрать схему.
3. Снять показания, данные занести в таблицу.
4. Определить неизвестные величины.

5. Ответить на контрольные вопросы письменно

6. Сделать вывод о работе

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом:

Трёхфазная цепь - совокупность трёхфазной системы ЭДС, трёхфазной нагрузки и соединительных проводов.

Трёхфазную систему ЭДС (напряжений) получают с помощью синхронного трёхфазного генератора, в обмотках которого при вращении ротора индуктируются три синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, равные по амплитуде и сдвинутые по фазе относительно друг друга на угол 120° :

Если нагрузки (приемники) соединены в трёхфазную цепь по схеме «звезда» (рис.1), то к сопротивлениям нагрузки приложены фазные напряжения. Линейные напряжения (U_L) в $\sqrt{3}$ раз больше фазных (U_ϕ), а линейные токи (I_L) равны фазным (I_ϕ) и определяются по закону Ома:

$$I_A = \frac{U_A}{R_A}; \quad I_B = \frac{U_B}{R_B}; \quad I_C = \frac{U_C}{R_C},$$

Ток нейтрали (I_N) равен векторной сумме этих токов: $I_N = I_A + I_B + I_C$.

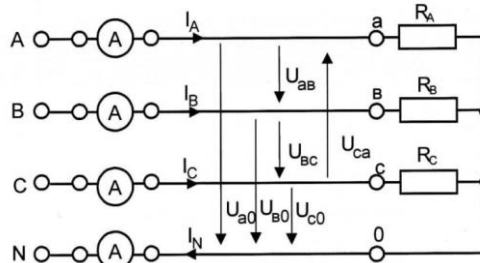


Рис.1

При симметричных напряжениях U_A, U_B, U_C и одинаковых сопротивлениях $R_A = R_B = R_C = R$ токи I_A, I_B, I_C также симметричны и их векторная сумма (I_N) равна нулю. Тогда $I_L = U_\phi = U_\phi / R$; $I_N = 0$.

Мощность складывается из мощностей трёх фаз: $\sum P = P_A + P_B + P_C$. При симметричной и чисто активной нагрузке, имеем: $\sum P = 3 P_\phi = 3 U_\phi I_\phi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$.

При смешанной (активно-индуктивной или активно-емкостной) нагрузке в симметричной трёхфазной цепи:

$$\text{Активная мощность } \sum P = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi.$$

$$\text{Реактивная мощность } \sum Q = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi.$$

$$\text{Полная мощность } \sum S = 3 \cdot U_\phi I_\phi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L.$$

Активная мощность в четырёхпроводной трёхфазной цепи измеряется с помощью трёх ваттметров (рис. 2а), а в трёхпроводной - с помощью двух ваттметров (рис. 2б).

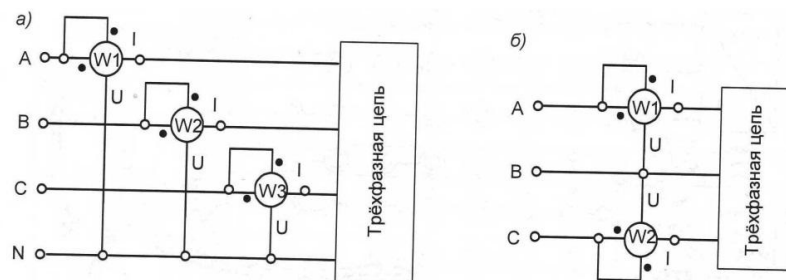


Рис.2

Порядок выполнения работы

Выполнение работы в среде MULTISIM

1. Запустить программный комплекс Multisim. Собрать схему, изображенную на рис.3.

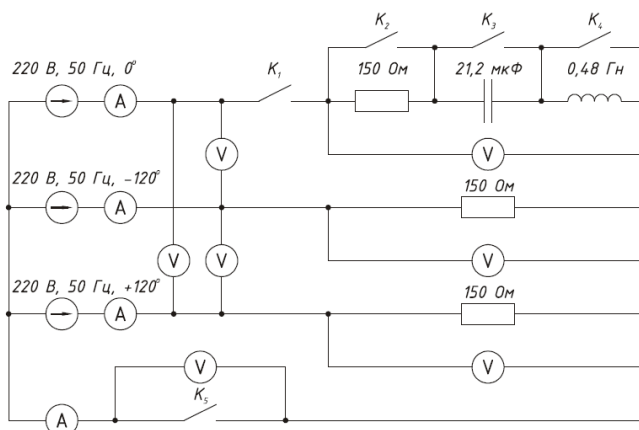


Рис. 3

2. Исследовать трехпроводную (без нулевого провода - K5 разомкнут) режимах:
 - сопротивление нагрузки в фазе А в два раза превышает сопротивление нагрузок других фаз;
 - сопротивление нагрузки в фазе А в два раза меньше сопротивления нагрузок других фаз;
 - включение индуктивности в фазу А (при замкнутых ключах K1, K2, K3, разомкнуть ключ K4);
 - включение емкости в фазу А (при замкнутых ключах K1, K2, K4, разомкнуть ключ K3).
 - отключение нагрузки в фазе А (разомкнуть ключ K1);
3. Результаты всех измерений внести в табл. 1.

Таблица 1

№	Показания приборов								Расчётные значения	
	U _a , В	U _b , В	U _c , В	I _a , А	I _b , А	I _c , А	I _N , А	U _N , В	U _N , В	I _N , А
1										
2										
3										
4										

4. Сформулировать выводы по работе.
5. Ответить на контрольные вопросы письменно

Контрольные вопросы

1. Как три однофазных приёмника соединить звездой?
2. Какие существуют зависимости между линейными и фазными токами трехфазной системы при соединении приёмников звездой?
3. Какую трехфазную нагрузку называют симметричной?
4. Что такое фазные и линейные напряжения?
5. Каково соотношение между линейными и фазными токами и напряжениями для симметричной нагрузки фаз?

Требования к оформлению отчетного материала:

Лабораторные работы оформляются на листах формата А 4(книжный вариант) и помещается в папку студента «Практические и лабораторные работы». Работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляется для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о работе должен содержать:

тему и цель работы, оборудование;

краткое описание работы, схемы, таблицы;

ответы на контрольные вопросы;

выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

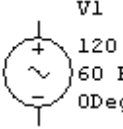


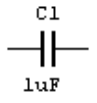



Лабораторная работа № 4

Исследование трехфазной цепи с нагрузкой, соединенной треугольником

Количество часов на выполнение: 4 часа

Цель работы: Расширение практических навыков исследования трехфазной цепи с нагрузкой, соединенной треугольником.

Оборудование: Работа выполняется на персональной электронной вычислительной машине (ПЭВМ) с использованием программного комплекса Multisim.

Компонент	Изображение	Последовательность действий
Источник переменного напряжения		панель Виртуальных инструментов » Источники энергии (Power Sources) » Источник переменного напряжения (AC Power Source)
Земля		панель Виртуальных инструментов » Источники энергии (Power Sources) » Земля (Ground)
Резистор		панель Виртуальных инструментов » Основные компоненты (Basic Components) » Резистор (Resistor)
Конденсатор		панель Виртуальных инструментов » Основные компоненты (Basic Components) » Виртуальный конденсатор (Virtual Capacitor)
Катушка индуктивности		панель Виртуальных инструментов » Основные компоненты (Basic Components) » Виртуальная катушка индуктивности (Virtual Inductor)
Амперметр		панель Виртуальных инструментов » Измерительные приборы (Measurement Components) » Амперметр (Ammeter)
Ключ		панель Компонент (Component) » Основные элементы (Basic) » список Переключатели (Switch) окна Семейство (Family) » список Компонент (Component) » Двухпозиционный ключ (SPDT)
Вольтметр		панель Виртуальных инструментов » Измерительные приборы (Measurement Components) » Вольтметр (Voltmeter)

Задание:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом.

2. Собрать схему.
3. Снять показания, данные занести в таблицу.
4. Определить неизвестные величины.
5. Ответить на контрольные вопросы письменно
6. Сделать вывод о работе

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом:

В схеме «треугольник» (рис. 1), нагрузка R_{AB} , R_{BC} и R_{CA} каждой фазы включается на *линейное напряжение*, которое в данном случае равно фазному ($U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$)

Фазные токи I_{AB} , I_{BC} и I_{CA} определяются по закону Ома:

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{R_{AB}}; \quad I_{BC} = \frac{U_{BC}}{R_{BC}}; \quad I_{CA} = \frac{U_{CA}}{R_{CA}}$$

Линейные токи определяются по первому закону Кирхгофа как векторные разности соответствующих фазных токов: $I_A = I_{AB} - I_{CA}$; $I_B = I_{BC} - I_{AB}$; $I_C = I_{CA} - I_{BC}$. Построение этих векторов показано на векторной диаграмме (рис. 2).

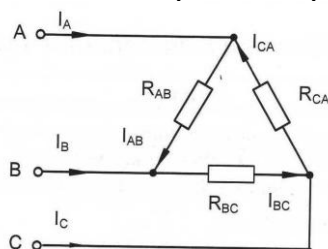


Рис. 1

При симметричных напряжениях U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} и одинаковых нагрузках фаз $R_{AB} = R_{BC} = R_{CA} = R$ токи также симметричны, причём, линейный ток по величине в $\sqrt{3}$ раз больше фазного. Это поясняется на векторных диаграммах (рис. 2).

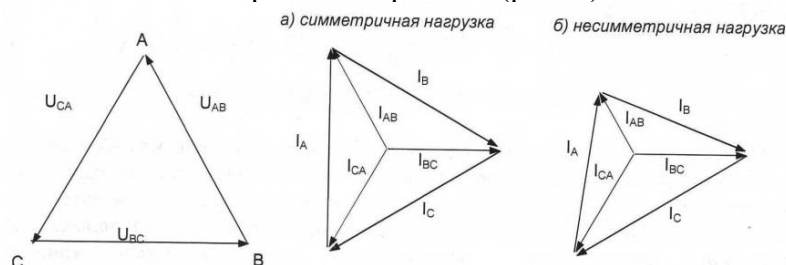


Рис. 2

Суммарная мощность $\sum P$, потребляемая трехфазной нагрузкой при ее соединении в «треугольник», складывается из мощностей фаз $\sum P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}$.

Также как и при соединении в звезду в случае симметричной нагрузки: Актив-

$$\text{ная мощность } \sum P = 3 \cdot U_{\text{ф}} \cdot I_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos \varphi.$$

$$\text{Реактивная мощность } \sum Q = 3 \cdot U_{\text{ф}} \cdot I_{\text{ф}} \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \sin \varphi.$$

$$\text{Полная мощность } \sum S = 3 \cdot U_{\text{ф}} \cdot I_{\text{ф}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}}.$$

Активная мощность трёхфазной цепи при соединении в треугольник измеряется двумя ваттметрами так же, как и при соединении в звезду без нейтрального провода.

2. Порядок выполнения работы

Выполнение работы в среде MULTISIM

1. Собрать схему, изображённую на рис.3

Снять показания приборов в симметричном режиме (замкнуты ключи К1, К2, разомкнуты К3, К4) и подсчитать отношение ПЛ /ЛФ. Вычислить также активную мощ-

ность $P = 3UI\cos\varphi$ ($\cos\varphi = 1$ для активной нагрузки).

3. Исследовать несимметричную цепь в следующих режимах:

- сопротивление нагрузки в фазе АВ в два раза превышает сопротивление нагрузок других фаз;
- сопротивление нагрузки в фазе АВ в два раза меньше сопротивления нагрузок других фаз;
- включение индуктивности в фазу АВ (при замкнутых ключах K_1, K_4 , разомкнуть ключи K_2, K_3);
- включение емкости в фазу АВ (при замкнутых ключах K_1, K_3 , разомкнуть ключи K_2, K_4);
- отключение нагрузки в фазе АВ (при замкнутом ключе K_1 , разомкнуты ключи K_2, K_3, K_4);
- обрыв линейного провода А, (разомкнуть ключ K_1 при одинаковых активных сопротивлениях нагрузки всех трех фаз);

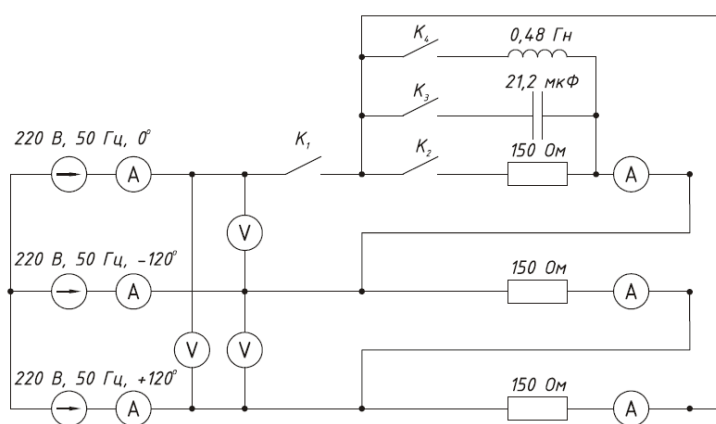


Рис. 3

4. Результаты всех измерений внести в табл. 1.

Таблица 1

№ опыта	Показания приборов									Расчётные значения $P, Вт$
	$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$I_{AB}, А$	$I_{BC}, А$	$I_{CA}, А$	$I_a, А$	$I_b, А$	$I_c, А$	
1										
2										
3										
4										

5. Ответить на контрольные вопросы письменно

Контрольные вопросы

1. Как три однофазных приёмника соединить треугольником?
2. Какие существуют зависимости между линейными и фазными токами трехфазной системы при соединении приёмников треугольником?
3. Какую трехфазную нагрузку называют симметричной?
4. Что такое фазные и линейные напряжения?
5. Каково соотношение между линейными и фазными токами и напряжениями

для симметричной нагрузки фаз?

Требования к оформлению отчетного материала:

Лабораторные работы оформляются на листах формата А 4(книжный вариант) и помещается в папку студента «Практические и лабораторные работы». Работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляется для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о работе должен содержать:

тему и цель работы, оборудование;

краткое описание работы, схемы, таблицы;

ответы на контрольные вопросы;

выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Практическая работа № 5

Ознакомление с устройством электроизмерительных приборов

Количество часов на выполнение: 4 часа

Цель работы:

1.Ознакомление с условными обозначениями, наносимыми на шкалу измерительных приборов;

2.Определение основных метрологических характеристик приборов.

Задание:

1. Определить основные параметры этих приборов и заполнить таблицу;

2. Расшифровать все символы, нанесенные на шкале каждого прибора, и провести сравнительный анализ этих приборов с указанием их относительных достоинств и недостатков;

Пример выполнения

Для измерения тех или иных параметров на производстве бывает необходимо выбрать прибор, оценив его характеристики, причем не всегда на этот прибор имеется паспорт. Поэтому рассмотрим определение основных метрологических характеристик приборов, примеры расшифровки символов, изображаемых на их лицевых панелях, критерии сравнительного анализа и другие факторы.

Для примера возьмем изображения лицевых панелей двух микроамперметров, показанные на рис. 1.

Определяемые характеристики этих приборов будем вносить в заранее подготовленную табл. 1*.

Определим номинальные значения токов для обоих приборов, имеющих одностороннюю шкалу: $I_{ном1} = 50-0 = 50 \text{ мкА}$; $I_{ном2} = 50-0 = 50 \text{ мкА}$.

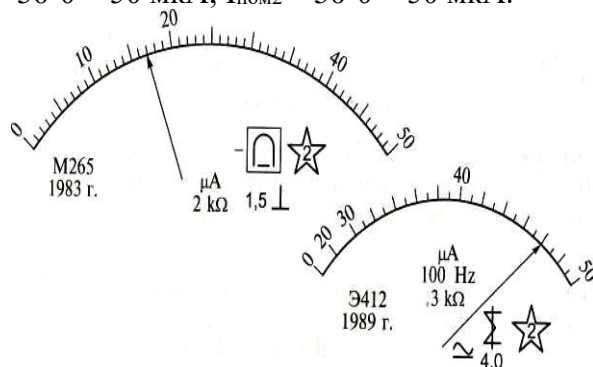


Рис. 1. Изображения шкал микроамперметров магнитоэлектрической и электромагнитной систем

Таблица 1

Система прибора	Тип прибора	$I_{ном},$ мкА	$U_{пр.},$ %	$r_A,$ Ом	$C,$ мкА/дел.	$S,$ дел./мкА	$U_A,$ В	$P_A,$ мВт	Диапазон измерения тока $D_1 = I_{ном} - I_{мин},$ мкА	Частотный диапазон $D_f = F_{max} - F_{мин},$ Гц
	M265 Э412									

*Для вольтметров составляется аналогичная таблица, в которой вместо $I_{ном}$ указывается значение $U_{ном}$, вместо r_A – значение r_v , а вместо напряжения

$U_{ном}$ – значения I_v .

Классы точности приборов:

$\gamma_{пр1} = 1,5\%; \gamma_{пр2} = 4,0\%.$

Внутренние сопротивления микроамперметров:

$r_A = 2 \text{ кОм}; r_{A2} = 3 \text{ кОм}.$

Цена деления приборов

$$C1 = \frac{(50 - 40) \text{ мкА}}{10 \text{ дел.}} = 1 \frac{\text{мкА}}{\text{дел.}}; \quad C2 = \frac{(50 - 40) \text{ мкА}}{10 \text{ дел.}} = 1 \frac{\text{мкА}}{\text{дел.}}.$$

Чувствительность микроамперметров:

$$S1 = \frac{1}{C1} = 1 \text{ дел./мкА}; \quad S2 = \frac{1}{C2} = 1 \text{ дел./мкА};$$

Рассчитаем падение напряжений на приборах:

$$U_{A1} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ А} \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 0,1 \text{ В};$$

$$U_{A2} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ А} \cdot 3 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 0,15 \text{ В};$$

Определим потребляемую приборами мощность (так как мощность в табл. 1. должна быть представлена в милливаттах, то результат расчета следует умножить на 10^3):

$$P_{A1} = 50 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^{-6} \text{ А}^2 \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 0,005 \text{ мВт};$$

$$P_{A2} = 50 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^{-6} \text{ А}^2 \cdot 3 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 0,0075 \text{ мВт};$$

Найдем рабочие участки шкал обоих приборов:

$$I_{мин1} = 10 \text{ мкА}, \quad I_{макс1} = 50 \text{ мкА};$$

$$I_{мин2} = 20 \text{ мкА}, \quad I_{макс2} = 50 \text{ мкА}.$$

Соответственно диапазоны измерения тока у приборов следующие:

$$D_{i1} = I_{макс1} - I_{мин1} = (50 - 10) = \text{мкА} = 40 \text{ мкА};$$

$$D_{i2} = I_{макс2} - I_{мин2} = (50 - 20) = \text{мкА} = 30 \text{ мкА}.$$

Частные диапазоны приборов определяется аналогично диапазонам измерения тока. Отличие заключается в том, что прибор магнитоэлектрической системы может использоваться только на постоянном токе, т.е. у него $D_f = 0$, информация о чем указана на изображении лицевой панели прибора M265.

Частотный диапазон прибора электромагнитной системы

$$D_{f2} = F_{макс2} - F_{мин2} = (100 - 0) \text{ Гц} = 100 \text{ Гц}.$$

Приведем для примера расшифровку всех знаков символов, помещенных на

изображениях лицевых панелей приборов, показанных на рис. 1.

Прибор М265:

М – буквенный шифр магнитоэлектрической системы;

265 – номер разработки (модели);

1983 – год выпуска;

μA – микроамперметр;

$2\text{k}\Omega$ – внутреннее сопротивление 2 кОм;

— - предназначен для использования в цепях постоянного тока;

□...- графическое обозначение магнитоэлектрической системы, защищенной от действия внешних магнитных полей;

1, 5 – класс точности;

⊥ - рабочее положение вертикальное;

☆ - измерительный механизм изолирован, и сопротивление изоляции испытано напряжением 2 кВ.

Прибор Э412:

Э – буквенный шифр электромагнитной системы;

412 – номер разработки;

1989 г. – год выпуска;

μA – микроамперметр;

100 Hz - частота;

$3\text{k}\Omega$ – внутреннее сопротивление;

≈ - предназначен для использования в цепях переменного и постоянного тока;

Σ - графическое обозначение электромагнитной системы;

4,0 – класс точности;

☆ - измерительный механизм изолирован, и сопротивление изоляции испытано напряжением 2кВ.

Приведем критерии, используемые при сравнительном анализе измерительных приборов:

- класс точности (чем меньше $\gamma_{\text{пр}}$, тем прибор лучше);
- внутренне сопротивление (чем меньше r_{A} , тем лучше амперметр, чем больше r_{V} , тем лучше вольтметр);
- чувствительность (чем больше S , тем прибор лучше);
- падение напряжения на амперметре (чем меньше U_{a} , тем прибор лучше) либо потребляемый вольтметром ток (чем меньше I_{v} , тем прибор лучше);
- потребляемая прибором мощность (чем меньше P , тем прибор лучше);
- диапазон измерения параметра (чем он больше, тем прибор лучше);
- частотный диапазон (чем он больше, тем прибор лучше);
- вид шкалы (лучше прибор с равномерной шкалой);
- наличие защиты от внешних магнитных полей (прибор лучше при наличии такой защиты);
- год выпуска (чем прибор новее, тем он лучше);
- рабочее положение (лучше прибор, работающий в любом положении);
- по роду тока (лучше прибор универсальный).

На основании приведенных критериев сравним рассматриваемые приборы М265 и Э412.

Преимущества прибора М265:

- равномерная шкала;

- наличие защиты от влияния внешних магнитных полей;
- меньшая $\gamma_{\text{пр}}$;
- меньшее внутреннее сопротивление;
- меньшее падение напряжения;
- меньшая потребляемая мощность;

более широкий диапазон измерения.






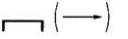

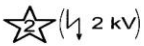



Недостатки прибора М265:

- неуниверсальный;
- более раннего года выпуска;
- работает только в вертикальном положении;
- меньший частотный диапазон.

Электромеханические приборы весьма разнообразны по назначению, конструкции, принципу преобразования подводимой энергии и метрологическим характеристикам.

Расшифровка условных обозначений, наносимых на шкалах приборов, приведена в приложении .

Условные обозначения, наносимые на шкалы электромеханических приборов

Условное обозначение	Расшифровка обозначения
	Переменный однофазный ток
	Постоянный ток
	Постоянный и переменный токи
	Переменный трехфазный ток
	Вертикальное рабочее положение прибора
	Горизонтальное рабочее положение прибора
	Рабочее положение прибора с наклоном 60° к горизонтальной плоскости
0,5 — 1,0 — 1,5 — 2,5	Класс точности (приведенная погрешность) прибора (например, 0,5 %; 1,0 %; 1,5 %; 2,5 %)
	Измерительный механизм прибора изолирован, и сопротивление изоляции испытано, например напряжением 2 кВ
	Наличие защиты от влияния внешнего магнитного поля
	Наличие защиты от влияния внешнего электрического поля
A	Нормальные климатические условия эксплуатации: $t^\circ = (20 \pm 5)^\circ\text{C}$, влажность $(60 \pm 15) \%$, давление (750 ± 30) мм рт.ст.
Б(Б ₁ , Б ₂ , Б ₃)	Прибор предназначен для работы в неотапливаемых помещениях
В(В ₁ , В ₂ , В ₃)	Прибор предназначен для работы в полевых и морских условиях
Т	Прибор предназначен для работы в условиях тропического климата
	Внимание! Смотрите дополнительные указания в паспорте

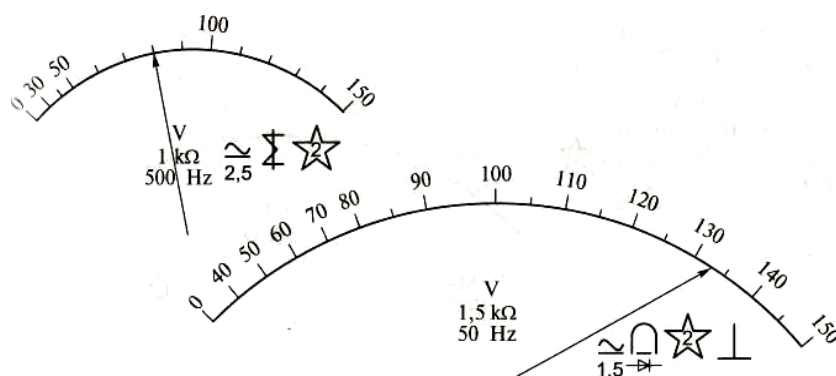
Задания для практической работы

Вариант 1

На рисунке представлены шкалы двух измерительных приборов.

Требуется:

- 1) определить основные параметры этих приборов и заполнить форму типа табл. 1;
- 2) расшифровать все символы, нанесенные на шкале каждого прибора, и провести сравнительный анализ этих приборов с указанием их относительных достоинств и недостатков;



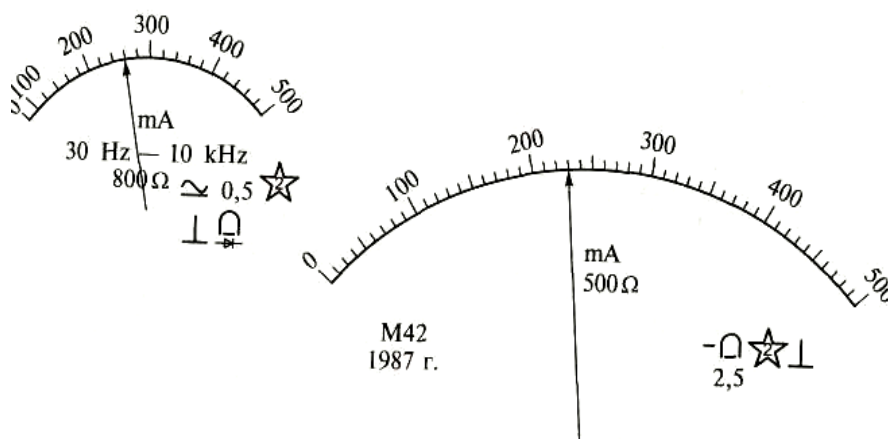
Изображения шкал двух приборов для варианта

Вариант 2

На рисунке представлены шкалы двух измерительных приборов.

Требуется:

- 1) определить основные параметры этих приборов и заполнить форму типа табл. 1.;
- 2) расшифровать все символы, нанесенные на шкале каждого прибора, и провести сравнительный анализ этих приборов с указанием их относительных достоинств и недостатков;
- 3) рассчитать погрешность измерения γ_d тока, равного 250 мА, обоими приборами;
- 4) определить значения измеряемых токов, соответствующих положениям стрелок на шкалах приборов, показанных на рисунке.



Изображения шкал двух приборов для варианта 2

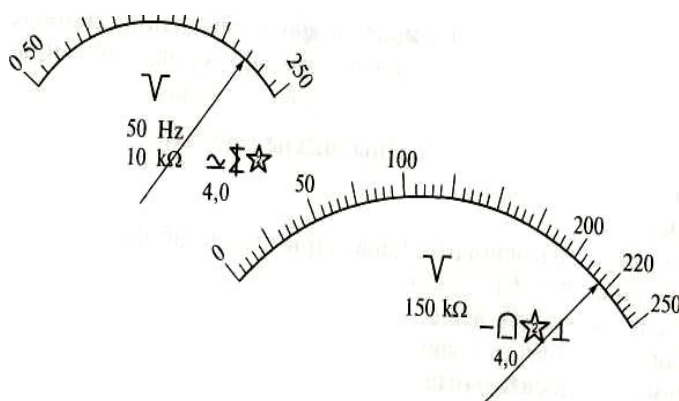
Вариант 3

На рисунке представлены шкалы двух измерительных приборов.

Требуется:

- 1) определить основные параметры этих приборов и заполнить форму типа табл. 1;
- 2) расшифровать все символы, нанесенные на шкале каждого прибора, и провести сравнительный анализ этих приборов с указанием их относительных достоинств и недостатков;
- 3) рассчитать погрешность измерения γ_d напряжения, равного 220 В, обоими приборами;

4) определить значения измеряемых напряжений, соответствующих положениям стрелок на шкалах приборов, показанных на рисунке.



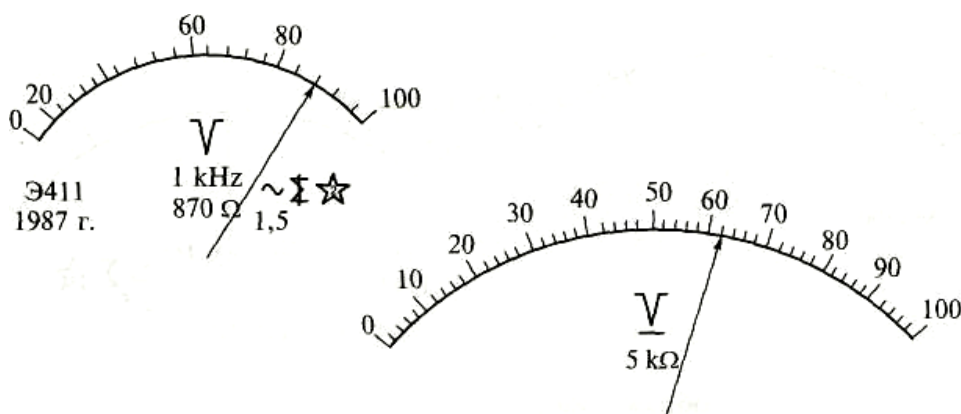
Изображения шкал двух приборов для варианта 3

Вариант 4

На рисунке представлены шкалы двух измерительных приборов.

Требуется:

- 1) определить основные параметры этих приборов и заполнить форму типа табл. 1;
- 2) расшифровать все символы, нанесенные на шкале каждого прибора, и провести сравнительный анализ этих приборов с указанием их относительных достоинств и недостатков;
- 3) рассчитать погрешность измерения γ_d напряжения, равного 80 В, обоими приборами;
- 4) определить значения измеряемых напряжений, соответствующих положениям стрелок на шкалах приборов, показанных на рисунке.



Изображения шкал двух приборов для варианта 4

Требования к оформлению отчетного материала:

Практические работы оформляются на листах формата А 4 (книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические и лабораторные работы».

Работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляется для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о работе должен содержать:

- тему и цель работы, оборудование;
- краткое описание работы, схемы, таблицы;
- выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Лабораторная работа № 5

Измерение электрических величин и параметров элементов электрических цепей
Количество часов на выполнение: 2 часа

Цель работы: Изучить методы измерения тока, напряжения, сопротивления и мощности.

Задание:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом.
2. Изобразить схемы.
3. Снять показания, данные занести в таблицу.
4. Ответить на контрольные вопросы письменно.
5. Сделать вывод о работе

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом:

В зависимости от способа обработки экспериментальных данных для нахождения результата различают прямые, косвенные, совместные и совокупные измерения.

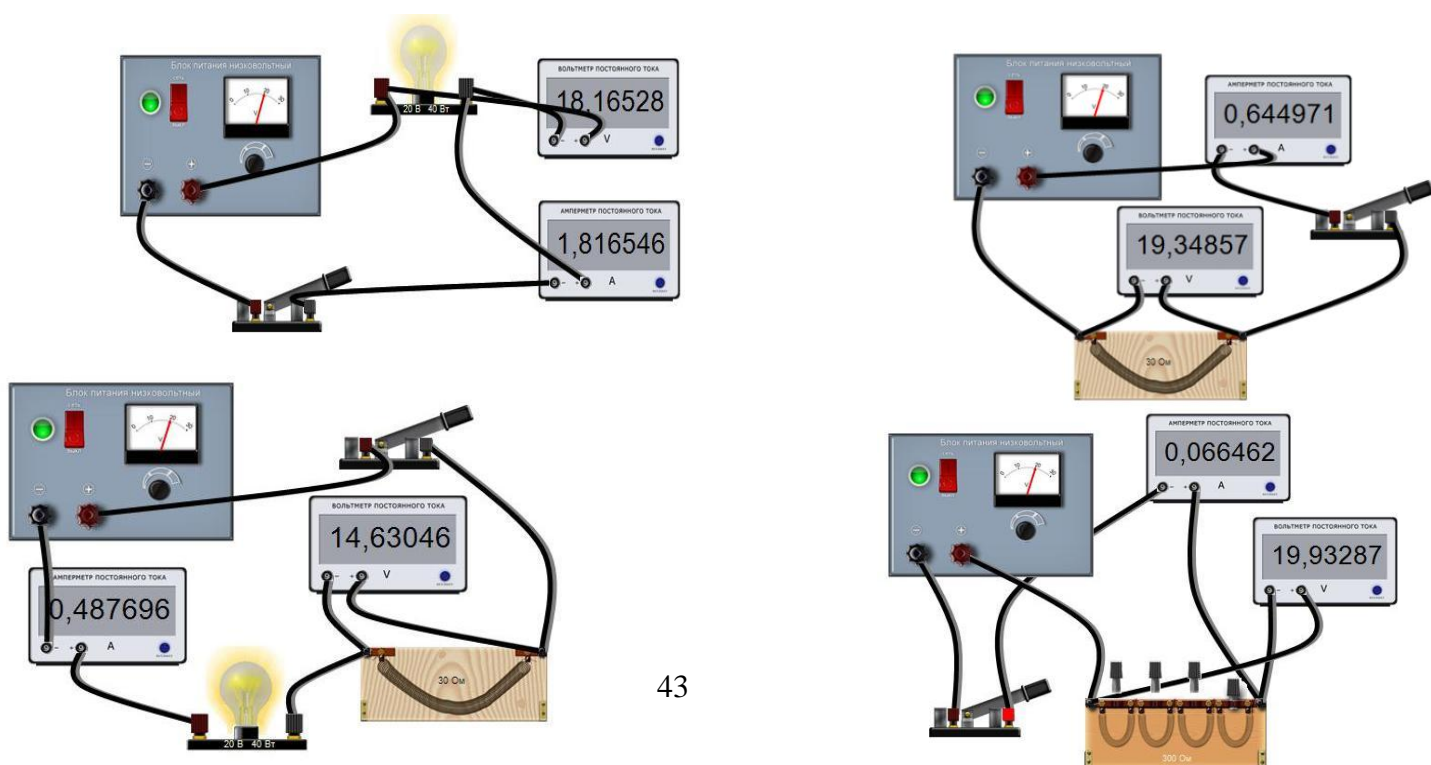
При *прямом* измерении искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных в результате выполнения измерения; например, измерение амперметром тока в ветви цепи.

При *косвенном* измерении искомое значение величины находят на основании известной зависимости между измеряемой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям; например, определение сопротивления R резистора из уравнения $R = U/I$, в которое подставляют измеренное значение напряжения U на зажимах резистора и протекающего через него постоянного тока I .

Совместные измерения – одновременные измерения нескольких неоднородных величин для нахождения зависимости между ними; например, определение зависимости сопротивления резистора от температуры по формуле $R_t = R_0(1 + at + bt^2)$ посредством измерения сопротивления резистора R_t при трех различных температурах t . Составив систему из трех уравнений, находят параметры R_0 , a и b зависимости сопротивления резистора от температуры.

Порядок выполнения работы

1. По рисункам 1), 2), 3), 4) определить силу тока и напряжение в цепи
2. Изобразить в тетради схемы цепи.
3. Считая время работы 1 минута, вычислить работу и мощность тока.



1. Определить сопротивление методом амперметра и вольтметра
2. Ответы записать в таблицу 1

Таблица 1

№	Сила тока I, А	Напряжение U, В	Сопротивление R, Ом	Работа тока A, Дж	Мощность P, Вт
1					
2					
3					
4					

5. Сформулировать выводы по работе.
6. Ответить на контрольные вопросы письменно.

Контрольные вопросы:

1. Какие существуют погрешности измерительных приборов?
2. Укажите косвенные и непосредственные методы измерений сопротивлений?
3. Что называется, приведённой погрешностью прибора?
4. Что обозначает класс точности прибора?
5. Почему метод вольтметра – амперметра непригоден для измерения очень малых и очень больших сопротивлений?

Требования к оформлению отчетного материала:

Лабораторные работы оформляются на листах формата А 4 (книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические и лабораторные работы». Работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляются для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о работе должен содержать:

тему и цель работы, оборудование;
краткое описание работы, схемы, таблицы;
ответы на контрольные вопросы;
выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Практическая работа № 6

Определение основных характеристик трансформатора

Количество часов на выполнение: 2 часа

Цель работы: Рассчитать однофазный трансформатор.

Задание: Используя предоставленные данные, рассчитать неизвестные величины.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом:

Трансформатор- электромагнитный статический аппарат, предназначенный для преобразования величины переменного напряжения, переменного тока без изменения частоты.

Конструктивно трансформатор состоит из замкнутого ферромагнитного магнитопровода, собранного из отдельных листов электротехнической стали, на котором расположены две обмотки, выполненные из медного или алюминиевого провода.

Обмотку, подключенную к источнику питания, принято называть первичной, а обмотку, к которой подключаются приемники вторичной.

Переменный магнитный поток, возбуждённый в магнитопроводе трансформатора, наводит в обмотках ЭДС, действующие значения которых

$$E_1 = 4,44 f \omega_1 \Phi_m$$

$$E_2 = 4,44 f \omega_2 \Phi_m$$

f - частота переменного тока, Гц.

ω_1, ω_2 - число витков обмоток.

Φ_m - амплитуда магнитного потока, Вб

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = n - \text{коэффициент трансформации трансформатора.}$$

Если $U_1 > U_2$ трансформатор будет понижающим, если $U_1 < U_2$, то повышающим
Отношение мощности тока во вторичной обмотке к мощности тока в первичной обмотке называется коэффициентом полезного действия трансформатора.

$$\text{КПД} \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

$$P_2 = I_2 \cdot U_2 \cdot \cos \varphi_2$$

$$P_1 = I_1 \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_1$$

P_2 - мощность тока во вторичной обмотке, Вт

P_1 - мощность тока в первичной обмотке, Вт

Задания для практической работы

Задание №1. Однофазный трансформатор включен в сеть напряжением 220 В. Первичная обмотка трансформатора имеет $\omega_1 = 800$ витков, вторичная $\omega_2 = 46$ витков. Определить коэффициент трансформации и напряжение вторичной обмотки.

Задание №2. Вторичная обмотка трансформатора, указанного в предыдущей задаче, даёт ток 8А для ламп накаливания. Определить ток, потребляемый трансформатором из сети, если его КПД=90 %.

Задание № 3. Мощность, потребляемая трансформатором из сети $P_1 = 500$ Вт. Напряжение сети $U_1 = 100$ В, $\cos \varphi_1 = 1$. Определить силу тока в первичной обмотке.

Задание №4. Закончите предложения:

- Обмотка трансформатора, включенная в сеть источника электрической энергии, называется _____
- Обмотка трансформатора, от которой энергия подается к приемнику, называется _____

Задание № 5. Выберите правильный ответ:

Для чего предназначены трансформаторы?

- Для преобразования энергии переменного тока из одного напряжения в другое.
- Для преобразования частоты переменного тока.
- Для повышения коэффициента мощности.

Задание № 6. Первичная обмотка однофазного трансформатора с числом витков 1000 включена в сеть напряжением равным 220 В . Вторичная обмотка имеет 50 витков. Определить коэффициент трансформации и напряжение на концах вторичной обмотки.

Задание №7. Вторичная обмотка однофазного трансформатора отдает потребителю мощность 100 кВт. Определить силу тока в первичной обмотке, если первичная обмотка включена в сеть напряжением 6600 В. К.П.Д трансформатора 96%.

Задание № 8. Число витков в первичной обмотке однофазного трансформатора 1200. Его коэффициент трансформации равен 40. Максимальное значение магнитного потока равно 0,01 Вб, частота переменного тока $f = 50$ Гц. Определить ЭДС: E_1 и E_2 и число витков вторичной обмотки.

Задание №9. Сила тока в первичной обмотке однофазного трансформатора составляет 20 А, мощность, потребляемая от источника, $P_1 = 10$ кВт. Определить приложенное напряжение U_1 , если косинус угла сдвига фаз между током и напряжением равен 0,8.

Задание № 10. Мощность осветительного однофазного трансформатора $P_2 = 50$ кВт. Определить К.П.Д трансформатора при полной нагрузке, если при холостом ходе потребляемая активная мощность его равна 600 Вт, а при опыте короткого замыкания мощность равна 1400 Вт

Требования к оформлению отчетного материала:

Практические работы на листах формата А 4 (книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические работы». Первый лист должен содержать сведения об исполнителе. Практические работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляется для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о практической работе должен содержать:

цель работы;
исходные данные;
ход решения;
выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Лабораторная работа № 6

Исследование однофазного трансформатора

Количество часов на выполнение: 2 часа

Цель работы: Исследовать однофазный трансформатор

Оборудование: Работа выполняется на персональной электронной вычислительной машине (ПЭВМ) с использованием программного комплекса Multisim.

Задание:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом.
2. Собрать схему.
3. Провести опыт ХХ трансформатора.
4. Провести опыт КЗ трансформатора.
5. Ответить на контрольные вопросы письменно
6. Сделать вывод о работе

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом:

Трансформатор – статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.

Трансформаторы находят широкое применение для передачи и распределения электрической энергии, для различных технологических целей и для питания различных цепей радио-, электронно-вычислительной и телевизионной аппаратуры, устройств связи, автоматики, телемеханики и т. д.

Он состоит из замкнутого магнитопровода, на котором расположены две или более катушки (обмотки).

Если $w_1 > w_2$, то трансформатор называется понижающим, так как он понижает напряжение ($U_2 < U_1$), если же $w_1 < w_2$, то повышающим.

Испытания трансформатора обычно включают опыты: опыт холостого хода (ХХ), опыт короткого замыкания (КЗ) Схемы этих опытов показаны на рис. 1а, б

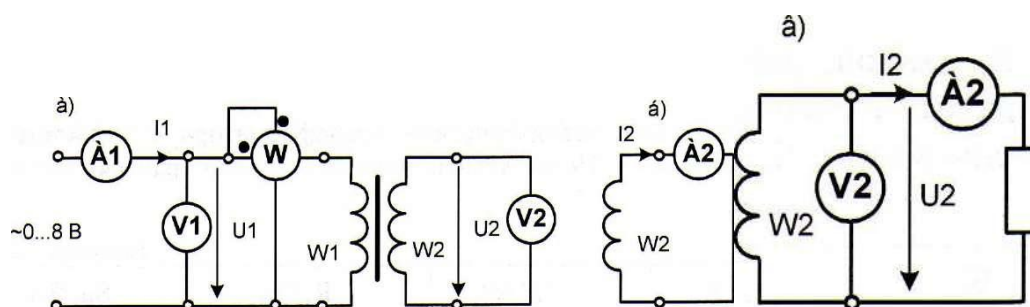


Рис.1

Выполнение работы в среде MULTISIM

1. Собрать схему, изображенную на рис.2

В библиотеке программной среды MS11 имеется модель нелинейного однофазного трансформатора (**Nonlinear Transformer Virtual**).

2. Провести опыт XX трансформатора.

С этой целью:

- разомкнуть контакты переключателей, управляемых клавишами Q, W, S и T клавиатуры, и установить режим АС работы вольтметров V1 и V2 (сопротивления $R_V = 10$

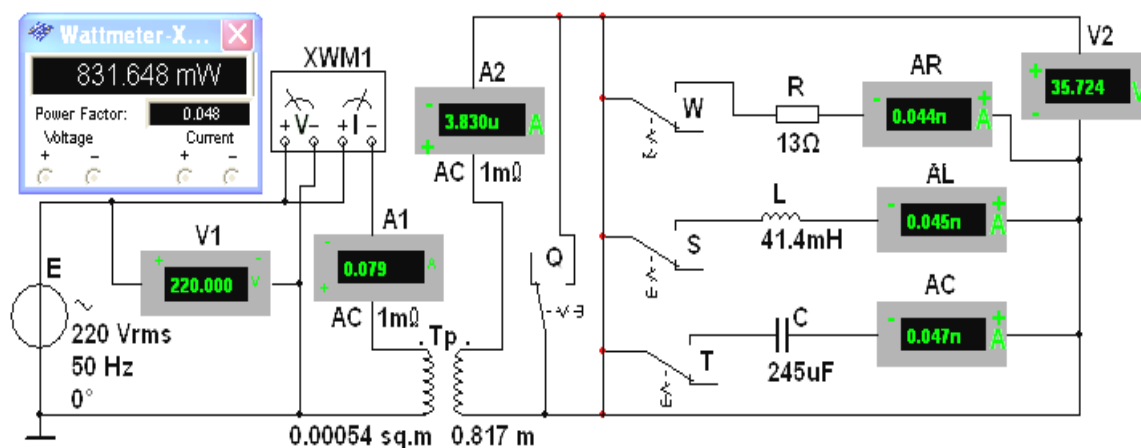


Рис.2

МОм) и амперметров A1, A2, AR, AL, AC (сопротивления $R_A = 1$ мОм). Запустить программу MS10 и занести показания приборов V1, V2, A1 и ваттметра XWM1 в табл. 1.

Рассчитать и занести в табл. 1 параметры XX трансформатора.

Таблица 1

Установлено		Измерено				Вычислено					
$U_{1н},$ В	$f,$ Гц	$U_{1н},$ В	$U_{20},$ В	$I_0,$ А	$P,$ Вт	n	$i_0,$ %	$Z_0,$ Ом	$R_0,$ Ом	$X_0,$ Ом	$P_0,$ Вт
	50										

3. Провести опыт КЗ трансформатора.

Для этого:

- установить ЭДС источника напряжения $E = U_k = u_k U_{1н} / 100$; нажать на клавишу Q клавиатуры, т. е. замкнуть накоротко вторичную обмотку трансформатора, и запустить программу MS10 (см. рис. 2). Данные измерений занести в табл. 2;

Таблица 2

Установлено	Измерено				Вычислено				
$E = U_k, В$	$U_k,$ В	$I_{1н},$ А	$I_{2н},$ А	$P,$ Вт	$\eta_k,$ %	$Z_k,$ Ом	$R_k,$ Ом	$X_k,$ Ом	$P_m,$ Вт

4. Сформулировать выводы по работе.

5. Ответить на контрольные вопросы письменно

Контрольные вопросы:

1. Как устроен однофазный трансформатор?

2. Что называют коэффициентом трансформации?

3. Что называют внешней характеристикой трансформатора и как её получить?

4. Какие потери энергии имеются в трансформаторе и как их получить опытным путём?

5. Как определить КПД трансформатора?

Требования к оформлению отчетного материала:

Лабораторные работы оформляются на листах формата А 4(книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические и лабораторные работы». Работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляется для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о работе должен содержать:

тему и цель работы, оборудование;

краткое описание работы, схемы, таблицы;

ответы на контрольные вопросы;

выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Самостоятельная работа № 2

Тема 1.6 Трансформаторы

Количество часов на выполнение: 4 часа

Цель работы: систематизация знаний по теме «Трансформаторы», составление конспект-схемы.

Задание: составить конспект-схему

1. Подберите факты для составления схемы.

2. Выделите среди них основные, общие понятия.

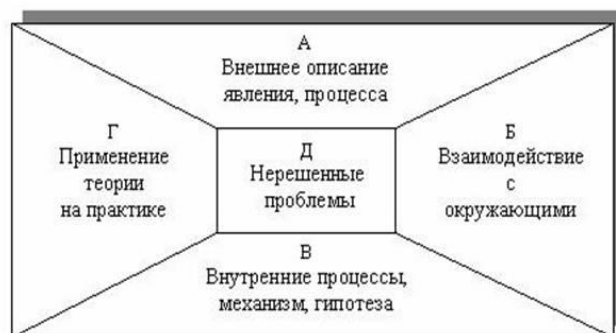
3. Определите ключевые слова, фразы, помогающие раскрыть суть основного понятия.

4. Сгруппируйте факты в логической последовательности.

6. Заполните схему данными.

Методика выполнения задания

Удобно пользоваться схематичной записью прочитанного. Составление конспектов-схем служит не только для запоминания материала. Такая работа становится средством развития способности выделять самое главное, существенное в учебном материале, классифицировать информацию.



По периметру схемы располагаются блоки, отражающие: внешнее описание объекта изучения; взаимодействие его с окружающим миром; внутренние механизмы, процессы, гипотезы; применение теории в практике. В центре схемы расположен блок с указанием на нерешенные в данной области проблемы. Расположение блоков в конспект - схеме изображено на рисунке.

Примерный перечень вопросов в конспект- схеме:

1. Назначение трансформатора
2. Классификация
3. Характеристики
4. Потери энергии
5. Принцип работы

Требования к оформлению отчетного материала: отчет содержит тему и цель самостоятельной работы; задания и ответы, которые формируются в отчете, работа выполняется на листах формата А4.

Форма контроля: письменный отчет о проделанной работе.

Ссылки на источники: [1,2]

Критерии оценки:

- соответствие содержания теме;
- логичность структуры конспект- схемы;
- правильный отбор информации;
- наличие обобщающего (систематизирующего, структурирующего, сравнительного) характера изложения информации;
- соответствие оформления требованиям;
- работа сдана в срок.

Практическая работа № 7

Определение основных характеристик двигателя

Количество часов на выполнение: 2 часа

Цель работы: рассчитать основные характеристики двигателя переменного тока

Задание: Используя предоставленные данные рассчитать неизвестные величины

Теоретические сведения к практической работе

Электрической машиной принято считать электромеханическое устройство, способное преобразовать механическую энергию в электрическую и обратно. В первом случае происходит выработка электроэнергии (машины являются генераторами), во втором – её потребление (электродвигатели). Последние необходимы для того чтобы привести в движение транспортные средства, станки и другие механизмы.

Генераторы и электродвигатели – основная сфера использования электрических машин. Но они могут быть также использованы и в качестве электромеханических преобразователей (умформеров) – агрегатов, которые способны преобразовывать электрическую энергию в различные её формы. Преобразователь постоянного тока в переменный

называется инвертором, увеличитель мощности электрических сигналов – электрома-
шинным усилителем, а устройство способное отрегулировать напряжение переменного
тока – индукционным регулятором.

Отдельной категорией можно назвать также сельсины –
самосинхронизирующиеся индукционные машины, которые обеспечивают возмож-
ность вращения нескольких осей независимо друг от друга с точки зрения механики.
Такие устройства используются в электронике, в составе сварочных аппаратов для ре-
гулировки их рабочей мощности.



Рис. 1 Классификация электрических машин

Коллекторные и бесколлекторные электрические машины

Деление на коллекторные и бесколлекторные электрические машины существу-
ет благодаря принципиальным отличиям в принципе их действия.

Коллекторные агрегаты работают только на постоянном токе, поэтому отлич-
ительной чертой их конструкции является наличие механического преобразователя, ко-
торый позволяет получить постоянный ток из переменного или наоборот. Они могут
использоваться в качестве двигателя или генератора без необходимости внесения изме-
нений в схему.

Их существенными преимуществами являются отличные пусковые характери-
стики и возможность плавной регулировки частоты вращения вала. Именно поэтому
коллекторные электрические машины постоянного тока нашли очень широкое приме-
нение в качестве приводов для прокатных станов, электротранспорта, источников пи-
тания для сварочных аппаратов, электролитических ванн. В самолётах, тракторах, ав-
томобилях такие двигатели приводят в движение всё используемое вспомогательное
оборудование.

Небольшая группа коллекторных машин небольшой мощности выполняется в
виде универсальных двигателей, которые уникальны тем, что могут работать и от по-
стоянного, и от переменного тока.

Бесколлекторные агрегаты работают только с переменным током и делятся на
синхронные и асинхронные машины. Синхронные машины широко применяются как в
качестве генераторов, так и электродвигателей, в то время как асинхронные – в основ-
ном служат двигателями.

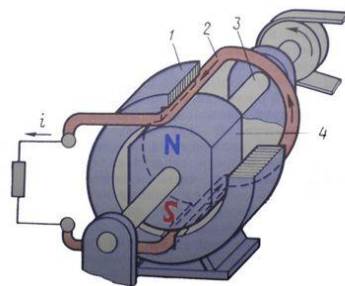


Рис. 2 Синхронный генератор (упрощенная схема устройства)

1 – сердечник статора (неподвижная часть машины), 2 – обмотка статора, 3 – вал, 4 – ротор двигателя (постоянный магнит).

Принцип работы такого генератора заключается в том, чтобы при помощи привода (двигателя внутреннего сгорания или турбины) через ременную передачу привести в движение ротор генератора. Одновременно в обмотке статора наводится ЭДС (указано стрелками) и благодаря замыканию её на нагрузке в цепи появляется ток.

Когда речь идёт о синхронном электродвигателе, то его работа начинается с подачи тока на обмотку статора. Это приводит к вращению магнитного поля, которое при взаимодействии с полем ротора вырабатывает силу, которая, в конечном счёте, преобразует электрическую энергию в механическую и вращает вал.

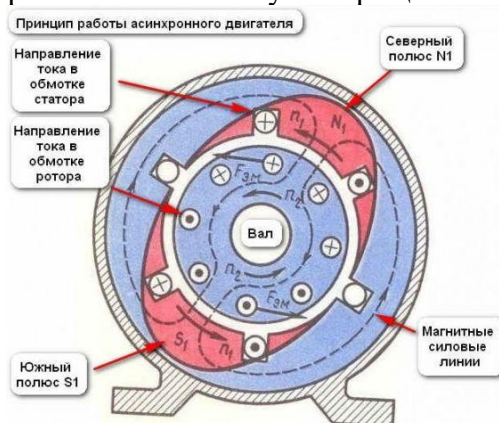


Рис. 3 Принцип действия асинхронного электродвигателя

В асинхронном электродвигателе при включении обмотки статора в сеть образуется вращающееся с частотой n_1 магнитное поле. При этом в обмотке статора и ротора наводится ЭДС. Благодаря тому что обмотка ротора замкнута в ней возникает ток, который взаимодействуя с полем статора создаёт электромагнитные силы $F_{эм}$ приводящие во вращение ротор двигателя.

Частота вращающегося магнитного поля статора (в об/мин) равна $n_1 = 60f / p$, где f – частота напряжения сети; p – число пар полюсов машины (в частности, три обмотки статора создают одну пару полюсов, шесть обмоток – две пары и т. д.).

Рассматриваемая машина называется *асинхронной* потому, что в ней частота вращения ротора n_2 не равна частоте вращающегося магнитного поля статора n_1 . Если бы эти частоты были одинаковыми, то магнитный поток статора был бы неподвижен относительно вращающегося ротора, и в обмотках ротора не индуцировались бы ЭДС, не было бы в них токов и не возникал бы вращающий момент на валу.

Разность частот вращения поля статора и ротора называют частотой скольжения $n_s = n_1 - n_2$, а её отношение к частоте n_1 – *скольжением* S , т. е.

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \text{ или (выраженное в процентах) } S\% = \frac{n_1 - n_2}{n_1} 100.$$

Диапазон изменения скольжения в асинхронном двигателе $1 \geq S \geq 0$; при пуске $S = 1$, при холостом ходе $S = 0,001 \dots 0,005$, при номинальной нагрузке $S = 0,03 \dots 0,07$.

Задания для практической работы

1. Двигатель трёхфазного переменного тока работает под напряжением 400В и потребляет ток силой 100А. Определить мощность на валу двигателя, если коэффициент мощности равен 0,87, а КПД двигателя составляет 0,88.

2. Трёх фазный асинхронный двигатель потребляет ток силой 20 А от сети напряжением 220В. Определить мощность, отдаваемую двигателем, если $\cos\varphi = 0,8$, а КПД = 0,85

3. Обмотки трехфазного электродвигателя соединены в треугольник, потребляемая активная мощность 10 кВт при линейном напряжении 220В и коэффициенте мощности 0,8 . Определить силу линейного и фазного токов электродвигателя.

4. Однофазный электродвигатель, включенный в сеть напряжением 120 В, потребляет ток силой 4А. Какова полная и активная мощность, потребляемая двигателем из сети, если $\cos\varphi = 0,8$

5. Асинхронный двигатель имеет скорость вращения ротора 2880 об/мин. Определить скольжение, если вращающееся магнитное поле двигателя делает 3000 об/мин.

Требования к оформлению отчетного материала:

Практические работы на листах формата А 4(книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические работы». Первый лист должен содержать сведения об исполнителе. Практические работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляются для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о практической работе должен содержать:

цель работы;
исходные данные;
ход решения;
выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Лабораторная работа № 7

Исследование работы асинхронного двигателя

Количество часов на выполнение: 2 часа

Цель работы: исследовать работу асинхронного двигателя

Оборудование: Работа выполняется на персональной электронной вычислительной машине (ПЭВМ) с использованием программного комплекса Multisim.

Задание:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом.
2. Собрать схему.
3. Снять показания, данные занести в таблицу.
4. Определить неизвестные величины.
5. Ответить на контрольные вопросы письменно
6. Сделать вывод о работе

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом:

Наибольшее применение в промышленности получили трёхфазные асинхронные двигатели. Это объясняется тем, что они просты по конструкции, дешевы, надёжны в работе, имеют высокий КПД при номинальной нагрузке, выдерживают значительные перегрузки, не требуют сложных пусковых устройств. Наряду с преимуществами АД имеют ряд недостатков, основными из которых являются: низкий коэффициент мощности ($\cos\varphi$) при неполной нагрузке (при холостом ходе $\cos\varphi = 0,2 \dots 0,3$); низкий КПД при малых нагрузках; малоудовлетворительные регулировочные характеристики.

Основными частями АД являются *статор* и *ротор*, отдалённые друг от друга воздушным зазором (0,3...0,5 мм). Их сердечники собраны из листов электротехнической стали. На внутренней части поверхности статора и на внешней ротора выштампованы пазы, в которые уложены обмотки. Сердечник статора помещён в корпус, на котором закреплены клеммы статорной обмотки, состоящей из трёх отдельных катушек, сдвинутых в пространстве на 120° .

Сердечник ротора укреплён непосредственно на валу двигателя или на ступице, надетой на вал.

Обмотка ротора может быть выполнена короткозамкнутой или трёхфазной, аналогичной обмотке статора. Короткозамкнутая обмотка ротора выполняется в виде "*беличьего колеса*", состоящего из стержней и замыкающих их на торцах колец (рис. 3, а и б).

У АД с фазным ротором (см. рис. 1, в) одни концы обмоток 2 ротора 1 соединяют с контактными кольцами 3, расположенными на валу двигателя, а другие – объединяют в общую точку (рис. 3, в и г). Контактные кольца 3 соединяются с контактами неподвижной части машины с помощью щёток 4 и щёткодержателей. К ним подключают *пусковой реостат* 5.

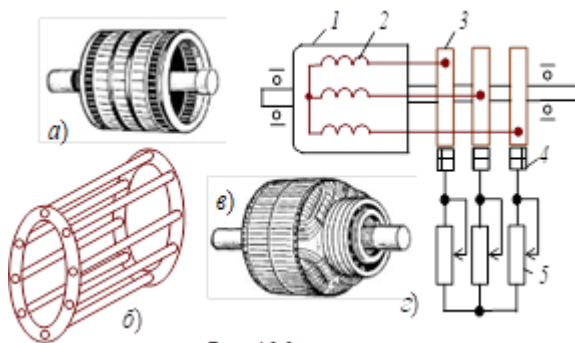


Рис.1.

Принцип действия АД основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора (неподвижная часть машины) с токами, индуцируемыми в роторе (подвижная её часть).

Выполнение работы в среде MULTISIM

Краткое описание моделей ад

Моделирование АД выполнено по каталожным данным ($P_{2н}$, $n_{2н}$, S_n , $U_{1н} = 220/380$ В (Δ/Y), $f_1 = 50$ Гц, $\alpha = I_{1н}/I_{1н}$, $\beta = M_n/M_n$, $\lambda = M_{max}/M_n$, КПД η_n , $\cos\varphi_n$) для мощностей $P_{2н} = 4 \dots 100$ кВт с использованием Г-образной схемы замещения АД для скольжений $S = 1 \dots S_{кр}$ с параметрами:

$$R_2' \approx R_1 = \omega_0 M_n / (3I_{1n}^2); X_k = \sqrt{(U_{1nf} / I_{1n})^2 - (R_1 + R_2')^2};$$

$$I_1 \approx U_{1f} / \sqrt{(c_1 R_1 + c_2 R_2' / S)^2 + (c X_k)^2};$$

$$M = \frac{3U_{1nf}^2}{\omega_0} \cdot \frac{R_2' / S}{(c_1 R_1 + c_2 R_2' / S)^2 + (c X_k)^2},$$

и T-образной схемы замещения для скольжений $S = 0 \dots S_{кр}$ с параметрами:

$$R_2' \approx S_n Z_{1nf} \text{ или } R_2' \approx (0,01 \dots 0,08) Z_{1nf} \text{ (обычно } (0,02 \dots 0,06) Z_{1nf},$$

при этом меньшие значения относятся к крупным машинам, большие – к машинам малой мощности), где $Z_{1nf} = U_{1nf} / I_{1nf}$; $R_1 \approx (1 \dots 1,3) R_2'$;

$$X_k \approx (0,18 \dots 0,3) Z_{1nf}; R_0 \approx (0,1 \dots 0,4) Z_{1nf}; X_0 \approx (1,5 \dots 4) Z_{1nf};$$

$$M = \frac{2M_{max}}{S_{кр} / S + S / S_{кр}}; S_{кр} \approx S_n (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}),$$

где S – текущее скольжение, вычисляемое (посредством численного метода Эйлера) из уравнения динамики АД:

$$M - M_c = J d\omega / dt, \omega = \omega_0 (1 - S), \omega_0 = 2\pi f_1 / p,$$

где M – вращающий момент АД; M_c – момент сопротивления на валу АД, принятый независимым от угловой скорости ω и от времени t ; J – суммарный момент инерции в кг·м², пересчитанный к валу двигателя; c_1, c_2 и c – коэффициенты согласования двух схем замещения АД.

Пример моделирования работы АД с КЗ-ротором типа 4А160S2У3 при изменении момента сопротивления на валу представлен на рис. 2.

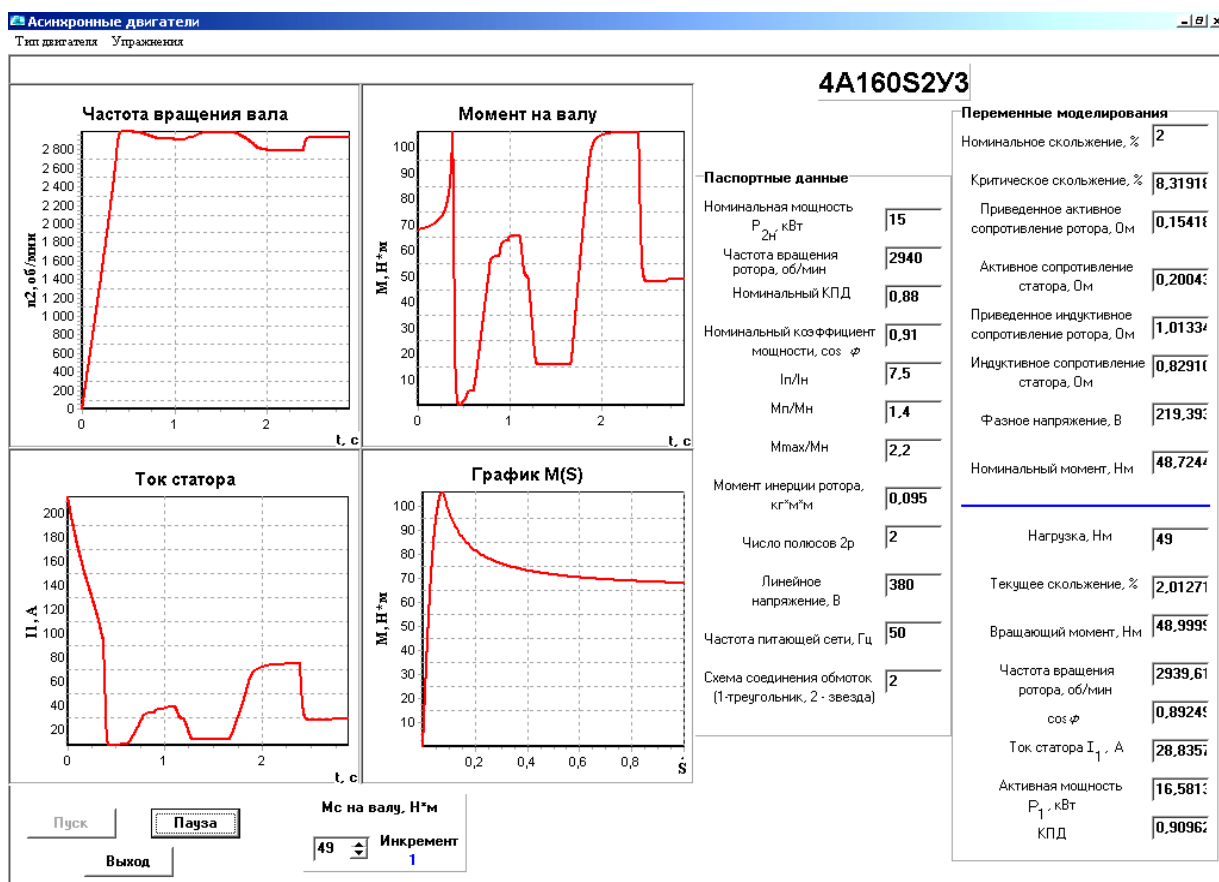


Рис. 2

Окна, снабженные стрелками, предназначены для изменения момента сопротив-

ления M_c на валу и сопротивления пускового реостата (для двигателей с фазным ротором). В выделенные справа экрана поля выводятся каталожные параметры двигателя и текущие значения расчетных величин.

Графики $n_2(t)$, $M(t)$, $I_1(t)$ и $M(S)$ могут быть записаны в файл (после щелчка правой клавишей мыши на графике высвечивается закладка "Копировать в буфер") и распечатаны на принтере.

Задание 1. Щёлкнуть мышью на команде **Эксперимент** меню комплекса Lab-Works, а затем на закладке **Тип двигателя** (см. рис.2, в левом верхнем углу). В открывшемся окне выбрать тип двигателя:

- для *нечетных* вариантов N – АД с короткозамкнутым ротором;
- для *четных* вариантов N – АД с фазным ротором,

где N – номер записи фамилии студента в учебном журнале группы, и **внести** паспортные данные АД (см. рис. 2, справа):

для АД с КЗ ротором в поля табл. 1:

номинальную механическую мощность $P_n = P_{2n}$ на валу, номинальную частоту вращения вала n_n , номинальный КПД η_n , номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_n$, отношения: пускового тока к номинальному I_n/I_n , пускового момента к номинальному M_n/M_n , максимального момента к номинальному M_{max}/M_n , момент инерции привода J , приведенный к валу АД, линейное напряжение сети U_n и его частоту f_1 , номинальный ток $I_n = P_{2n} / \sqrt{3} U_n \eta_n \cos \varphi_n$ (P_{2n} в Вт), схему соединения обмоток статора (звезда Y или треугольник Δ);

Таблица 1 Тип двигателя и его номинальные данные

P_{2n} , кВт	n_2 , об/мин	η_n –	$\cos \varphi_n$ –	I_n/I_n –	M_n/M_n –	M_{max}/M_n –	J , кгм ²	U_n , В	I_n , А	f_1 , Гц	Схема соединения обмоток статора (Y или Δ)

для АД с фазным ротором в поля табл. 2:

номинальную механическую мощность $P_n = P_{2n}$ на валу, номинальную частоту вращения вала n_n , номинальный КПД η_n , номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_n$, номинальное скольжение S_n (в %), отношение максимального момента к номинальному M_{max}/M_n , ток ротора I_{2n} при номинальном скольжении, напряжение между кольцами разомкнутой обмотки ротора $U_{2л}$, частота напряжения сети f_1 , линейное напряжение сети U_n , момент инерции привода J , приведенный к валу АД, схему соединения обмоток статора и ротора (звезда).

Таблица 2 Тип двигателя и его номинальные данные

P_{2n} , кВт	n_2 , об/мин	η_n –	$\cos \varphi_n$ –	S_n , %	M_{max}/M_n –	I_{2n} , А	$U_{2л}$, В	f_1 , Гц	U_n , В	J , кгм ²	Схема соединения обмоток статора и ротора
											Звезда

Задание 2. Запустить программу моделирования и расчёта параметров АД и снять его механическую и рабочие характеристики.

Для этого:

- щёлкнуть мышью на кнопке "Пуск" в ход АД, расположенной внизу пользовательского интерфейса программы моделирования АД, т. е. "подключить" обмотки ста-

тора АД к трехфазной сети переменного тока, и **записать** в строку 1 табл. 3 значения линейного напряжения U_1 , линейного тока I_1 , активной мощности P_1 , "потребляемой" АД из сети, частоты вращения ротора n_2 в режиме холостого хода (полезный момент на валу $M = 0$), которые выводятся в соответствующих полях на экране дисплея;

– **снять** механическую $n_2 = f(M)$ и рабочие $I_1 = f(P_2)$, $\cos \varphi = f(P_2)$, $S = f(P_2)$, $P_1 = f(P_2)$, $M = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$ характеристики двигателя, выполняя операции в следующей последовательности:

– **щелкнуть** мышью на команде **Мс на валу, Нм**, размещенной внизу интерфейса программы (см. рис. 2), т. е. "подключить" цепь обмотки возбуждения электромагнитного тормоза к сети;

– ступенчато увеличивая момент сопротивления (нагрузку) M_c на валу АД (при необходимости, изменяя шаг ступени посредством щелчка правой клавишей мыши на закладке **Инкремент** и выбора одного из значений шага: 1, 2, 3, 4, 5, 10 Нм), **записывать** в табл. 3 показания "измерительных приборов" при восьми значениях момента $M_c = M$: от режима холостого хода ($M = 0$, $P_2 = 0$) до значения $M_c = (1,2 \dots 1,5)M_n$ или $P_2 = (1,2 \dots 1,5)P_{2n}$.

Внимание. После установления параметров моделирования щелкнуть мышью на команде **Пауза**, а после занесения параметров моделирования в электронную тетрадь отчета и установки очередного значения момента сопротивления M_c на валу – щелкнуть мышью на команде **Продолжить**.

Примечание. При установке момента сопротивления M_c на валу больше момента M_{max} , развиваемого двигателем, "срабатывает" магнитный пускатель: обмотки статора отключаются от сети.

Таблица 3

№	Результаты измерений					Результаты вычислений			
	U_1 , В	I_1 , А	P_1 , кВт	n_2 , об/мин	M , Нм	P_2 , кВт	S –	$\cos \varphi$ –	η –
1									
2									
3									
4									

Задание 3. По данным моделирования работы АД **рассчитать** полезную мощность P_2 на валу, скольжение S , коэффициент мощности $\cos \varphi$ и КПД η двигателя при разных нагрузках, воспользовавшись следующими расчётными формулами:

$$P_2 = \frac{M \cdot n_2}{9550}; S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}; \eta = P_2/P_1; \cos \varphi = P_1/\sqrt{3}U_1I_1,$$

где P_2 – полезная механическая мощность на валу двигателя, кВт; M – момент вращения асинхронного двигателя, Нм; n_2 – частота вращения ротора АД, об/мин; U_1 – линейное напряжение сети, В; I_1 – линейный ток двигателя, А. Результаты расчётов **занести** в табл. 3.

По результатам вычислительного эксперимента и расчётов (см. табл. 3) **построить** (в любом редакторе или вручную в отчёте) механическую $n_2 = f(M)$ (см. рис. 4) и рабочие характеристики АД (совместив их в одних координатных осях, вычерчивая для каждой величины свою ось ординат, см. рис. 6): $I_1(P_2)$, $\cos \varphi(P_2)$, $S(P_2)$, $P_1(P_2)$, $M(P_2)$, $\eta(P_2)$.

Задание 4. Определить время разгона АД при холостом ходе и при номинальной нагрузке, воспользовавшись графиками $n_2(t)$, выводимыми на экран дисплея. **Скопировать** на страницу отчета графики разгона $n_2(t)$ АД, на которых отметить вре-

мена разгона t_x и t_n (от $t = 0$ до t_n при $n = 0,95n_{2n}$).

Примечание. Для четных вариантов (АД с фазным ротором) записать процесс разгона при ХХ без пускового реостата, а при номинальной нагрузке – с выводимым реостатом со скоростью, не приводящей к "срабатыванию" магнитного пускателя.

Требования к оформлению отчетного материала:

Лабораторные работы оформляются на листах формата А 4 (книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические и лабораторные работы». Работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляются для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о работе должен содержать:

тему и цель работы, оборудование;
краткое описание работы, схемы, таблицы;
ответы на контрольные вопросы;
выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Лабораторная работа 8

Исследование работы двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

Количество часов на выполнение: 2 часа

Цель работы: Исследовать работу двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

Задание:

3. Ознакомиться с теоретическим материалом.
4. Определить неизвестные величины.
5. Сделать вывод о работе

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом:

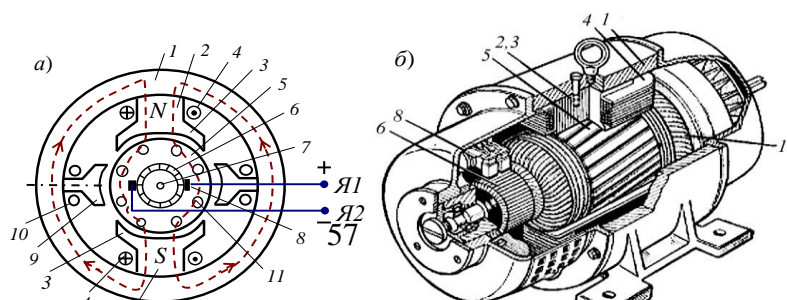
Двигатели постоянного тока до сих пор находят широкое применение, хотя они значительно дороже и менее надёжны, чем асинхронные и синхронные.

Преимущество ДПТ- возможность плавного и экономичного регулирования в широком диапазоне частоты вращения вала и создания большого пускового момента при относительно небольшом пусковом токе. Поэтому их широко используют в электротранспорте, для привода прокатных станов, металлорежущих станков и т. д. *Недостаток* ДПТ наличие щеточно-коллекторного аппарата, который требует тщательного ухода в эксплуатации и снижает надежность машины.

Основными частями двигателя постоянного тока являются статор и якорь, отдалённые друг от друга воздушным зазором (0,3...0,5 мм).

Статор – это стальной цилиндр 1, внутри которого крепятся главные полюса 2 с полюсными наконечниками 3, образуя вместе с корпусом магнитопровод машины (рис. 1, а).

Рис.1.



На главных полюсах расположены последовательно соединённые катушки *обмотки возбуждения 4*, предназначенные для создания неподвижного магнитного потока Φ_v машины. Концы *III1* и *III2* обмотки возбуждения (ОВ) выводят на клеммный щиток, расположенный на корпусе машины. Помимо основных полюсов внутри статора располагают *дополнительные полюса 9 с обмотками 10*, которые служат для уменьшения искрения в скользящих контактах (между щётками и коллектором).

Якорь (подвижная часть машины) – это цилиндр 5, набранный из листов электротехнической стали, снаружи которого имеются пазы, в которые уложена *якорная обмотка 11* (рис. 1). Отводы обмотки якоря припаивают к пластинам коллектора 6, расположенного на вращающемся в подшипниках валу 7. *Коллектор* представляет собой цилиндр, набранный из медных пластин, изолированных друг от друга и от вала и закреплённых (по технологии "ласточкина хвоста") на стальной втулке. Коллектор играет роль механического выпрямителя переменной ЭДС, индуцируемой в обмотке якоря.

К коллектору с помощью пружин прижимаются неподвижные *медно-графитовые щётки 8*, соединённые с клеммами *Я1* и *Я2* щитка. Образовавшиеся скользящие контакты дают возможность соединить вращающуюся обмотку якоря (ОЯ) с электрической цепью (снять выпрямленное напряжение с коллектора (генераторный режим) или соединить якорную обмотку с источником постоянного напряжения и распределить токи в стержнях ОЯ таким образом, чтобы их направления под разноимёнными полюсами были бы противоположными (двигательный режим)). Суммарное сопротивление цепи якоря $R_{\text{я}} = 0,5 \dots 5 \text{ Ом}$.

Часть машины, в которой индуцируется ЭДС, принято называть *якорем*, а часть машины, создающей основное магнитное поле (магнитный поток) – *индуктором*. В машинах постоянного тока якорем является ротор, а индуктором – статор.

В зависимости от того, как обмотка возбуждения ОВ включена относительно сети и якоря, различают МПТ *независимого* возбуждения (ОВ к якорю не подключена) и МПТ с *самовозбуждением*, которое подразделяется на параллельное, последовательное и смешанное. На рис. 2 приведены электрические схемы возбуждения указанных типов МПТ.

При подаче постоянного напряжения U к зажимам ДПТ в обмотках возбуждения ОВ и якоря

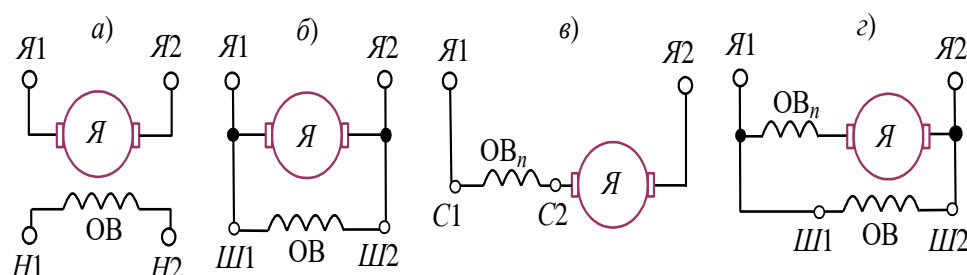


Рис.2

Пример расчёта двигателя постоянного тока

Для двигателя постоянного тока параллельного возбуждения известны следующие данные: номинальная мощность $P_{\text{н}} = 95 \text{ кВт}$, номинальное напряжение $U_{\text{н}} = 220 \text{ В}$, номинальный ток $I_{\text{н}} = 470 \text{ А}$, сопротивление обмоток в цепи якоря $r_{\text{а}} = 0,0125 \text{ Ом}$, номинальный ток возбуждения $I_{\text{вн}} = 4,25 \text{ А}$, номинальная частота вращения $n_{\text{н}} = 500 \text{ об/мин}$. Определить: коэффициент полезного действия η , электрические потери в обмотках якоря $P_{\text{эл.а}}$ и возбуждения $P_{\text{эл.в}}$, постоянную составляющую потерь мощности P_0 , ток холостого хода I_0 , значение добавочного сопро-

тивления в цепи якоря r_d , при котором двигатель развивает номинальную мощность при частоте вращения $n = 400$ об/мин. Падением напряжения на щетках пренебречь.

Решение:

Потребляемая из сети мощность, кВт:

$$P_1 = U_H I_H = 220 \cdot 470 = 103.$$

Коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{P_H}{P_1} = \frac{95}{103} = 0.918.$$

Ток обмотки якоря, А:

$$I_{ан} = I_H - I_{вн} = 470 - 4.45 = 465.75.$$

Потери мощности в обмотке якоря, кВт:

$$P_{эл.а} = I_{ан}^2 r_a = 465.75^2 \cdot 0.0125 = 2.71.$$

Потери мощности в обмотке возбуждения, кВт:

$$P_{эл.в} = I_{вн} U_H = 4.25 \cdot 220 = 0.935.$$

Постоянная доля потерь мощности, состоящая из потерь в стали, механических потерь, добавочных потерь и электрических потерь в цепи возбуждения, кВт:

$$P_o = P_1 - (P_H + P_{эл.а}) = 103 - (95 + 2.71) = 5.69.$$

Ток холостого хода, А:

$$I_o = \frac{P_o}{U_H} = \frac{5.69 \cdot 10^3}{220} = 25.9.$$

Электродвижущая сила якоря при номинальной частоте вращения, В:

$$E_{ан} = U_H - I_{ан} r_a = 220 - 470 \cdot 0.0125 = 214.$$

При неизменном токе возбуждения значение ЭДС, индуцированной в обмотке якоря, пропорционально частоте вращения ротора. ЭДС при частоте вращения $n = 400$ об/мин, В:

$$E_a = \frac{n}{n_H} E_{ан} = \frac{400}{500} 214 = 173.$$

Ток якоря при номинальной мощности двигателя и частоте вращения $n = 400$ об/мин, А:

$$I_a = \frac{P_H}{E_a} = \frac{95 \cdot 10^3}{173} = 548.$$

Добавочное сопротивление в цепи якоря, при котором двигатель развивает номинальную мощность при $n = 400$ об/мин, определяется на основании второго закона Кирхгофа $U_H = E_a + I_a (r_a + r_d)$. Добавочное сопротивление, Ом:

$$r_d = \frac{U_H - E_a}{I_a} - r_a = \frac{220 - 173}{548} - 0.0125 = 0.0727.$$

Задания для работы

Используя предоставленные данные определить: коэффициент полезного действия η , электрические потери в обмотках якоря $P_{эл.а}$ и возбуждения $P_{эл.в}$, постоянную составляющую потерь мощности P_o , ток холостого хода I_o , значение добавочного сопротивления в цепи якоря r_d

Вариант	U_n , В	P_n , кВт	I_n , А	r_a , Ом	$I_{вн}$, А	n_n , об/мин
1	220	85	460	0,0125	4,27	550
2	220	80	470	0,0130	5	510
3	220	87	480	0,0145	4,3	530
4	220	90	475	0,0135	4,4	520
5	220	95	465	0,0120	4,7	525
6	220	82	485	0,0155	4,35	540
7	220	85	460	0,0125	4,3	550
8	220	80	470	0,0130	5,2	510
9	220	87	480	0,0145	4,27	530
10	220	90	475	0,0135	5	520
11	220	95	465	0,0120	4,3	525
12	220	82	485	0,0155	4,4	540
13	220	85	460	0,0125	4,7	550
14	220	85	470	0,0130	4,35	510
15	220	80	480	0,0145	4,3	530
16	220	87	475	0,0135	5,2	520
17	220	90	465	0,0120	4,27	525
18	220	95	460	0,0125	5	540
19	220	82	470	0,0130	4,3	550
20	220	85	480	0,0145	4,4	510

Отчет о работе должен содержать:

цель работы;

исходные данные;

ход решения;

выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Самостоятельная работа № 3

Тема 1.8 Электрические машины постоянного тока

Количество часов на выполнение: 6 часов

Цель работы: обобщение знаний по теме «Электрические машины», подготовить мини-проект.

Задание: Создание мини -проекта по теме «Электрические машины».

1. Прочитайте материал [1,2], воспользуйтесь глобальной сетью Интернет для подготовки проекта.

2. Подготовить мини -проект по теме: «Электрические машины», работая в группах по 3 человека.

3. Презентация проекта. Время на защиту проекта – 7-10 мин.

Методика выполнения задания

Работая в группах по 3 человека, вам необходимо выполнить задание. После этого, на основании выполненных вами шагов проекта, моделируете единый проект и делаете его представление.

№ шага	Задание
ШАГ № 1	Классификация электрических машин переменного тока
ШАГ № 2	Дать описание устройства асинхронного двигателя
ШАГ № 3	Дать описание принципа действия машины переменного тока.

ШАГ № 4	Перечислить основные характеристики машины переменного тока
ШАГ № 5	Дать описание потерям энергии в машинах переменного тока.
ШАГ № 6	Какие меры применяют для снижения потерь электрической энергии в машинах переменного тока.
ШАГ № 7	Презентация проекта

Требования к оформлению отчетного материала:

Работа оформляется на листе формата А1.

Работа может быть выполнена в виде презентации, презентация в файле с расширением .ppt на флеш-карте.

Форма контроля: контроль осуществляется в виде защиты проекта с помощью технических средств.

Ссылки на источники: [1,2]

Критерии оценки проекта

Критерии оценки	Содержание оценки
1. Содержательный критерий	правильный выбор темы, знание предмета и свободное владение текстом, грамотное использование научной терминологии, импровизация, речевой этикет
2. Логический критерий	стройное логико-композиционное построение речи, доказательность, аргументированность
3. Речевой критерий	использование языковых (метафоры, фразеологизмы, пословицы, поговорки и т.д.) и неязыковых (поза, манеры и пр.) средств выразительности; фонетическая организация речи, правильность ударения, четкая дикция, логические ударения и пр.
4. Психологический критерий	взаимодействие с аудиторией (прямая и обратная связь), знание и учет законов восприятия речи, использование различных приемов привлечения и активизации внимания
5. Критерий соблюдения дизайн-эргономических требований к компьютерной презентации	соблюдены требования к первому и последним слайдам, прослеживается обоснованная последовательность слайдов и информации на слайдах, необходимое и достаточное количество фото- и видеоматериалов, учет особенностей восприятия графической (иллюстративной) информации, корректное сочетание фона и графики, дизайн презентации не противоречит ее содержанию, грамотное соотнесение устного выступления и компьютерного сопровождения, общее впечатление от мультимедийной презентации

Практическая работа № 8

Расчет мощности и выбор двигателя при различных режимах работы. Аппаратура для управления электроприводом

Количество часов на выполнение: 2 часа

Цель работы: Произвести расчет мощности и выбрать электродвигателя для различных режимов работы.

Последовательность выполнения работы

1. Пользуясь приложением А, выписать данные для построения нагрузочной диаграммы и выбора электродвигателя.

2. По данным варианта построить нагрузочную диаграмму (см. пример приложение Б).

3. Определить эквивалентный момент двигателя

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3 + M_4^2 \cdot t_4 + M_5^2 \cdot t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}} H \cdot m \quad (1)$$

где $M_{1...5}$ – момент двигателя в определенный промежуток времени (из варианта задания), Нм

$t_{1...5}$ – продолжительность нагрузки (из варианта задания), мин.

4. Определить эквивалентную мощность, кВт:

$$P_{\text{экв}} = \frac{M_{\text{экв}} \cdot n}{9550}, \quad (2)$$

где $M_{\text{экв}}$ – расчетный эквивалентный момент, Нм

n – частота вращения двигателя (из варианта задания), мин⁻¹

6. Из данных каталога, с учетом заданной частоты вращения выбрать стандартный электродвигатель по условию:

$$P_n \geq P_{\text{дв}} \quad (3)$$

Записать паспортные данные двигателя.

7. Определить номинальный момент двигателя, Н·м:

$$M_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{n_H} \cdot 9,55 \quad (4)$$

где P_H – номинальная мощность двигателя (из паспортных данных), кВт

n_H – номинальная частота вращения электродвигателя (из паспортных данных), мин⁻¹

8. Проверить двигатель на перегрузочную способность, Н·м:

$$M_H \geq \frac{M_{\text{max}} \cdot 1.25}{k_{\text{max}}}, \quad (5)$$

где M_{max} – максимальный момент нагрузки (из нагрузочной диаграммы), Нм

k_{max} – кратность максимального момента (из паспортных данных двигателя).

Определение мощности электродвигателя при повторно – кратковременном режиме

9. Определить эквивалентный момент с учетом нагрузки (за цикл):

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_0}} H \cdot m \quad (6)$$

где $M_{1...3}$ – момент двигателя в определенный промежуток времени, Нм

$t_{1...3}$ – продолжительность нагрузки, мин

t_0 – время паузы двигателя, за рабочий цикл не более 10 мин.

10. Определить эквивалентный момент двигателя:

умножим числитель и знаменатель подкоренного выражения на время работы

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{(M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3) \cdot (t_1 + t_2 + t_3)}{(t_1 + t_2 + t_3 + t_0) \cdot (t_1 + t_2 + t_3)}} = M'_{\text{экв}} \cdot \sqrt{\varepsilon}, H \cdot m \quad (7)$$

где $M'_{\text{экв}}$ – эквивалентный момент за период работы;

ε – стандартная продолжительность нагрузки

$$\varepsilon = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_0} \quad (8)$$

11. Определить эквивалентную мощность:

$$P_{\text{экв}} = \frac{M'_{\text{экв}} \cdot n}{9550}, \text{ кВт} \quad (9)$$

где $M'_{\text{экв}}$ - расчетный эквивалентный момент, Нм

n – частота вращения двигателя, мин⁻¹

12. Так как стандартные значения ПВ% и расчетное отличаются, то мощность двигателя определяется из условия:

$$P_{\text{дв}} = P_{\text{экв}} \sqrt{\frac{ПВ_1 \%}{ПВ_2 \%}} \quad (10)$$

$$ПВ_1 \% = \varepsilon \cdot 100\% \quad (11)$$

где ПВ₂% - стандартные значения продолжительности включения (принимается ближайшее стандартное ПВ%: 15% - 30 мин, 25% - 60 мин, 40% - 90 мин, 60% - 180 мин.)

13. Из данных каталога, с учетом условия окружающей среды, с учетом ПВ₂% и заданной частоты вращения выбрать стандартный электродвигатель по условию

$$P_n \geq P_{\text{дв}} \quad (12)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Исходные данные для практической работы

№ вар	M_1 , Нм	M_2 , Нм	M_3 , Нм	M_4 , Нм	M_5 , Нм	t_1 мин	t_2 мин	t_3 мин	t_4 мин	t_5 , мин	n , мин ⁻¹	Режим работы дви- гателя
1	50	110	90	100	80	20	30	10	20	10	970	продолжительный
2	120	160	150	80	110	20	10	25	20	20	1480	Повторно - кратковре-
3	60	45	40	65	70	20	15	15	15	15	2700	продолжительный
4	45	80	70	140	110	15	25	20	15	30	975	Повторно - кратковре-
5	100	90	55	70	80	25	20	15	30	40	1450	продолжительный
6	75	100	90	50	80	10	15	20	25	30	2730	Повторно - кратковре-
7	60	70	90	100	55	20	30	10	20	10	955	продолжительный
8	90	45	50	80	110	15	10	20	30	40	1400	Повторно - кратковре-
9	110	80	60	90	150	30	70	50	10	5	900	продолжительный
10	50	70	45	30	40	20	30	60	25	15	2900	Повторно - кратковре-
11	50	110	90	100	80	20	30	10 1.20	20	10	970	продолжительный
12	120	160	150	80	110	20	10	25	20	20	1480	Повторно - кратковре-
13	60	45	40	65	70	20	15	15	15	15	2700	продолжительный
14	45	80	70	140	110	15	25	20	15	30	975	Повторно - кратковре-
15	100	90	55	70	80	25	20	15	30	40	1450	продолжительный
16	75	100	90	50	80	10	15	20	25	30	2730	Повторно - кратковре-
17	60	70	90	100	55	20	30	10	20	10	955	продолжительный
18	90	45	50	80	110	15	10	20	30	40	1400	Повторно - кратковре-
19	110	80	60	90	150	30	70 50	50	10	5	900	продолжительный
20	50	110	90	100	80	20	30	10	20	30	970	Повторно - кратковре-
21	120	160	150	80	110	20	10	25	20	20	1480	продолжительный

22	60	45	40	65	70	20	15	15	15	15	2700	Повторно - кратковре-
23	45	80	70	140	110	15	25	20	15	30	975	продолжительный
24	100	90	55	70	80	25	20	15	30	40	1450	Повторно - кратковре-
25	75	100	90	50	80	10	15	20	25	30	2730	продолжительный

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

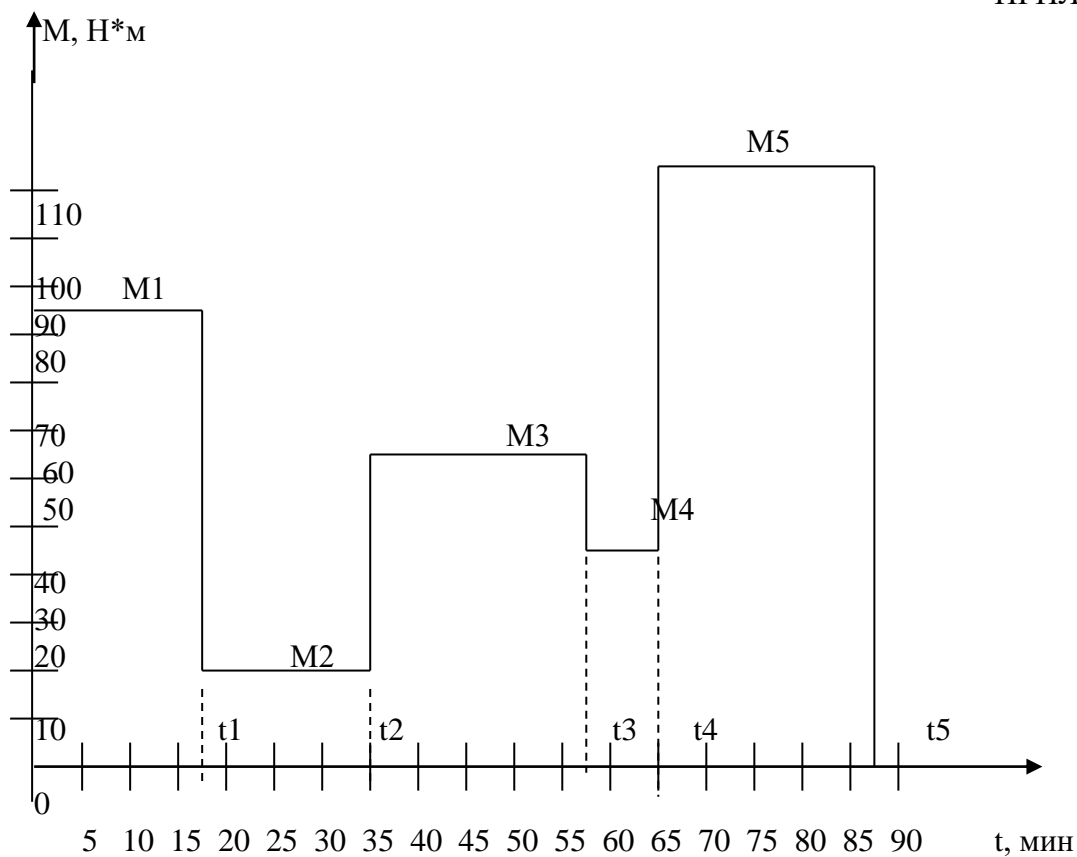


Рисунок 1 – Нагрузочная диаграмма

Таблица 2 – Технические данные асинхронных электродвигателей трехфазного тока с короткозамкнутым ротором серии АИР мощностью от 0,25 до 75 кВт (по данным Интерэлектро)

Тип двигателя	При номинальной нагрузке					Кратность пускового тока	Кратность моментов		
	Мощность, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Сила тока статора, А	КПД, %	Коэффициент мощности		пускового	максимального	минимального
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
<i>Синхронная частота вращения 3000 об/мин</i>									
АИР56В2У3	0.25	2730	0,70	69	0,79	5,0	2,2	2,2	1,8
АИР63А2У3	0.37	2730	0,91	72	0,86	5,0	2,2	2,2	1,8
АИР63В2У3	0.55	2730	0,31	75	0,85	5,0	2,2	2,2	1,8
АИР71А2У3	0.75	2820	1,75	78,5	0,83	6,0	2,1	2,2	1,6
АИР71В2У3	1.1	2800	2,55	79	0,83	6,0	2,1	2,2	1,6
АИР80А2У3	1.5	2850	3,31	81	0,85	7,0	2,1	2,2	1,6
АИР80В2У3	2.2	2850	4,63	83	0,87	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР90Л2У3	3.0	2850	6,13	84,5	0,88	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР100S2У3	4.0	2850	7,94	87	0,88	7,5	2,0	2,2	1,6
АИР100Л2У3	5.5	2850	10,7	88	0,89	7,5	2,0	2,2	1,6
АИР112М2У3	7.5	2900	14,8	87,5	0,88	7,5	2,0	2,2	1,6
АИР132М2У3	11	2910	21,0	88	0,90	7,5	1,6	2,2	1,2
АИР160S2У3	15	2910	28,5	90	0,89	7,0	1,8	2,7	1,7
АИР160М2У3	18.5	2910	34,5	90,5	0,90	7,0	2,0	2,7	1,8
АИР180S2У3	22	2920	41,5	90,5	0,89	7,0	2,0	2,7	1,9
АИР180М2У3	30	2920	55,5	91,5	0,90	7,5	2,2	3,0	1,9
АИР200М2У3	37	2940	70,6	91,5	0,87	7,0	1,6	2,8	1,5
АИР200Л2У3	45	2940	86,5	92	0,88	7,5	1,8	2,8	1,5
АИР225М2У3	55	2940	99,3	92,5	0,91	7,5	1,8	2,6	1,5
АИР250S2У3	75	2940	136	93	0,90	7,5	1,8	3,0	1,6
<i>Синхронная частота вращения 1500 об/мин</i>									
АИР63А4У3	0.25	1320	0,83	68	0,67	5,0	2,1	2,2	1,8
АИР63В4У3	0.37	1320	1,18	68	0,70	5,0	2,1	2,2	1,8
АИР71А4У3	0.55	1360	1,69	70,5	0,70	5,0	2,3	2,2	1,8
АИР71В4У3	0.75	1360	2,14	73	0,73	5,0	2,2	2,2	1,6
АИР80А4У3	1.1	1395	2,75	75	0,81	5,5	2,2	2,2	1,6
АИР80В4У3	1.5	1395	3,52	78	0,83	5,5	2,2	2,2	1,6
АИР90Л4У3	2.2	1400	5	81	0,83	6,5	2,1	2,2	1,6
АИР100S4У3	3.0	1410	6,7	82	0,83	7,0	2,0	2,2	1,6

АИР100L4У3	4.0	1410	8,5	85	0,83	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР112М4У3	5.5	1430	11,4	85,5	0,86	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР132S4У3	7.5	1440	15,1	87,5	0,86	7,5	1,9	2,2	1,6
АИР132М4У3	11	1450	22,0	87,5	0,87	7,5	2,0	2,2	1,6
АИР160S4У3	15	1455	28,5	90	0,87	7,0	2,0	2,9	1,8
АИР160М4У3	18.5	1455	34,9	90,5	0,89	7,0	1,9	2,9	1,8
АИР180S4У3	22	1460	42,5	90,5	0,89	7,0	1,7	2,4	1,5
АИР180М4У3	30	1470	56,9	92	0,87	7,0	1,7	2,7	1,5
АИР200М4У3	37	1470	68,3	92,5	0,89	7,5	1,7	2,7	1,6
АИР200L4У3	45	1470	83,0	92,5	0,89	7,5	1,7	2,7	1,6
АИР225М4У3	55	1470	101	93	0,89	7,0	1,7	2,6	1,6
АИР250S4У3	75	1480	138	94	0,89	7,5	1,7	2,5	1,4
	Синхронная частота вращения 1000 об/мин								
АИР63B6У3	0.25	860	1,04	59	0,62	4,0	2,0	2,2	1,6
АИР71A6У3	0.37	915	1,31	65	0,65	4,5	2,0	2,2	1,6
АИР71B6У3	0.55	915	1,74	68,5	0,70	4,5	2,0	2,2	1,6
АИР80A6У3	0.75	920	2,26	70	0,72	4,5	2,0	2,2	1,6
АИР80B6У3	1.1	920	3,05	74	0,74	4,5	2,0	2,2	1,6
АИР90L6У3	7.5	925	4,2	76	0,72	6,0	2,0	2,2	1,6
АИР100L6У3	2.2	945	5,6	81	0,74	6,0	2,0	2,2	1,6
АИР112МА6У3	3.0	950	7,1	81	0,76	6,0	2,0	2,2	1,6
АИР112МВ6У3	4.0	950	9,2	82	0,81	6,0	2,0	2,2	1,6
АИР132S6У3	5.5	960	12,3	85	0,80	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР132М6У3	7.5	960	16,5	85,5	0,81	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР160S6У3	11	970	22,9	88	0,83	6,5	2,0	2,7	1,6
АИР160М6У3	15	970	31	88	0,85	6,5	2,0	2,7	1,6
АИР180М6У3	18.5	980	37	89,5	0,85	6,5	1,8	2,4	1,6
АИР200М6У3	22	980	14,7	90	0,83	6,5	1,6	2,4	1,4
АИР200L6У3	30	975	59,6	90	0,85	6,5	1,6	2,4	1,4
АИР225М6У3	37	980	72,7	91	0,85	6,5	1,5	2,3	1,4
АИР250S6У3	45	980	87	92,5	0,85	6,5	1,5	2,3	1,4
АИР250М6У3	55	980	105	92,5	0,86	6,5	1,5	2,3	1,4
АИР280S6У3	75	980	137	92,5	0,90	6,5	1,3	2,2	1,0
	Синхронная частота вращения 750 об/мин								
АИР80A8У3	0.25	690	1,04	56	0,65	4,0	1,8	1,9	1,4
АИР80B8У3	0.37	700	1,54	60	0,61	4,0	1,8	1,9	1,4
АИР90LA8У3	0.55	700	2,07	64	0,63	4,0	1,8	1,9	1,4
АИР90LB8У3	0.75	700	2,47	70	0,66	3,5	1,6	1,7	1,2
АИР100LB8У3	1.1	700	3,32	72	0,70	3,5	1,6	1,7	1,2
АИР112МА8У3	1.5	705	4,1	76	0,73	5,5	1,6	1,7	1,2
АИР112МВ8У3	2.2	710	6,2	76,5	0,71	6,0	1,8	2,2	1,4
АИР132S8У3	3.0	710	7,8	79	0,74	6,0	1,8	2,2	1,4
АИР132М8У3	4.0	715	10,5	83	0,70	6,0	1,8	2,2	1,4
АИР160S8У3	5.5	710	13,6	83	0,74	6,0	1,8	2,2	1,4
АИР160М8У3	7.5	725	11,5	87	0,75	5,5	1,6	2,4	1,4
АИР180М8У3	11	725	25,5	87,5	0,75	6,0	1,6	2,4	1,4
АИР200М8У3	15	730	31,2	89	0,82	5,5	1,6	2,2	1,5
АИР200L8У3	18.5	730	39,0	89	0,81	6,0	1,6	2,3	1,4
АИР225М8У3	22	730	45,8	90	0,81	6,0	1,6	2,3	1,4
АИР250S8У3	30	730	62,2	90,5	0,81	6,0	1,4	2,3	1,3
АИР250М8У3	37	735	77,9	92,5	0,78	6,0	1,5	2,3	1,4
АИР200S8У3	45	735	93,6	92,5	0,79	6,0	1,4	2,2	1,0
АИР280М8У3	55	725	106	92	0,86	6,0	1,3	2,2	1,0
АИР315S8У3	75	725	141	93	0,87	6,0	1,4	2,2	1,0

2. Технические данные асинхронных двигателей серии АИР сельскохозяйственного исполнения с температурной защитой

АИР71А2БСУ2	0.75	2820	1,75	78,5	0,83	6,0	2,1	2,2	1,6
АИР71В2БСУ2	1.1	2805	2,55	79,0	0,83	6,0	2,1	2,2	1,6
АИР80А2БСУ2	1.5	2850	3,31	81,0	0,85	7,0	2,1	2,2	1,6
АИР80В2БСУ2	2.2	2850	4,63	83,0	0,87	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР90L2БСУ2	3.0	2850	6,17	84,5	0,88	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР100S2БСУ2	4.0	2850	7,13	97,0	0,88	7,5	2,0	2,2	1,6
АИР100L2БСУ2	5.5	2850	10,68	88,0	0,89	7,5	2,0	2,2	1,6
АИР100А4БСУ2	0.55	1357	1,61	71,0	0,73	5,0	2,3	2,4	1,6
АИР71В4БСУ2	0.75	1350	1,9	75,0	0,80	5,0	2,5	2,6	1,6
АИР80А4БСУ2	1.1	1395	2,75	75,0	0,81	5,5	2,2	2,2	1,6
АИР80В4БСУ2	1.5	1395	3,52	78,0	0,83	5,5	2,2	2,2	1,6
АИР90L4БСУ2	2.2	1395	4,98	81,0	0,83	6,5	2,0	2,2	1,6
АИР100S4БСУ2	3.0	1410	6,71	82,0	0,83	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР100L4БСУ2	4.0	1410	8,32	85,0	0,86	6,0	2,1	2,3	1,6
АИР71А6БСУ2	0.37	915	1,32	65,0	0,66	4,5	2,0	2,2	1,6
АИР71В6БСУ2	0.55	915	1,74	68,5	0,70	4,5	2,0	2,2	1,6
АИР80А6БСУ2	0.75	920	2,26	70	0,72	4,5	2,0	2,2	1,6
АИР80В6БСУ2	1.1	920	3,06	74,0	0,74	4,6	2,0	2,2	1,6
АИР90L6БСУ2	1.5	925	4,17	76,0	0,72	6,0	2,0	2,2	1,6
АИР100L6БСУ2	2.2	945	5,58	81,0	0,74	6,0	2,0	2,2	1,6
АИР71В8БСУ2	0.25	690	1,04	56,0	0,65	4,0	1,8	1,9	1,4
АИР80А8БСУ2	0.37	710	1,54	60,0	0,61	4,0	1,8	1,9	1,4
АИР80В8БСУ2	0.55	710	2,07	64,0	0,63	4,0	1,8	1,9	1,4
АИР90LА8БСУ2	0.75	710	2,08	75,0	0,73	4,0	1,4	2,0	1,3
АИР90LB8БСУ2	1.1	710	3,29	77,0	0,72	4,0	1,4	2,0	1,4
АИР100L8БСУ2	1.5	690	4,22	74,0	0,73	3,6	1,9	2,1	1,4

Отчет о работе должен содержать:

цель работы;

исходные данные;

ход решения;

выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Практическая работа № 9

Идентификация и определение параметров полупроводниковых приборов

Количество часов на выполнение: 4 часа

Цель работы: Сформировать умение идентифицировать и определять параметры полупроводниковых приборов: диодов

Задание:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом

2. Используя теоретическую справку и Интернет заполнить таблицу

3. Определить параметры диодов на основе экспериментально

измеренных характеристик

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом

Теоретический материал:

Диод – это полупроводниковый прибор с одним р-п переходом, имеющий два вывода (анод и катод), и предназначенный для выпрямления, детектирования, стабилизации, модуляции, ограничения и преобразования электрических сигналов.

Система обозначения полупроводниковых диодов определяется отраслевым стандартом ОСТ 11336.038 – 81 и его последующими редакциями, и представляет собой буквенно-цифровой код.

Расшифровка условного обозначения и кодовая маркировка полупроводниковых приборов в соответствии с ОСТ 11.336.919-81 "Приборы полупроводниковые. Система условных обозначений"

В соответствии с ОСТ 11.336.919-81 "Приборы полупроводниковые. Система условных обозначений" в основу системы обозначения диодов, транзисторов, тиристор, оптронов, светодиодов и других полупроводниковых приборов положен буквенно-цифровой код.

Буквенно-цифровое условное обозначение полупроводниковых приборов состоит из нескольких элементов:

ПЕРВЫЙ ЭЛЕМЕНТ - исходный материал:	
Г или 1	германий;
К или 2	кремний;
А или 3	соединения галлия;
И или 4	соединения индия.
ВТОРОЙ ЭЛЕМЕНТ - подкласс прибора обозначения:	
А	СВЧ-диоды;
Б	приборы Ганна;
В	варикапы;
Г	генераторы шума;
Д	выпрямительные, импульсные диоды
И	туннельные диоды;
К	стабилизаторы тока;
Л	излучающие приборы;
Н	тиристоры диодные;
О	оптопары;
П	полевые транзисторы;
С	стабилитроны, стабисторы, ограничители;
Т	биполярные транзисторы;

У	тиристоры триодные;
Ф	фотоприборы;
Ц	выпрямительные столбы и блоки.
ТРЕТИЙ ЭЛЕМЕНТ - назначение прибора:	
Диоды выпрямительные с прямым током, А:	
1	< 0,3 А;
2	0,3.... 10 А;
3	диоды прочие.
Диоды импульсные с временем восстановления, нс:	
4	> 500 нс;
5	150.... 500 нс;
6	30.... 150 нс;
7	5.... 30 нс;
8	1.... 5 нс;
9	< 1 нс.
СВЧ-диоды:	
1	смесительные;
2	детекторные;
3	усилительные;
4	параметрические;
5	переключающие и ограничивающие;
6	умножительные и настроечные;
7	генераторные;
8	прочие.
Триодные тиристоры с максимально допустимым средним (или импульсным) током в открытом состоянии, А:	
1	< 0,3 А (< 15 А), незапираемые;
2	0,3.... 10 А (15.... 100 А), незапираемые;
3	< 0,3 А (< 15 А), запираемые;
4	0,3.... 10 А (15.... 100 А), запираемые;
5	< 0,3 А (< 15 А), симметричные;
6	0,3.... 10 А (15.... 100 А), симметричные;
7	> 10 А (> 100 А), незапираемые;
8	> 10 А (> 100 А), запираемые;

9	> 10 А (> 100 А), симметричные.
Туннельные диоды:	
1	усилительные;
2	генераторные;
3	переключательные;
4	обращенные.
Генераторы шума:	
1	низкочастотные;
2	высокочастотные.
Варикапы:	
1	подстроечные;
Стабилитроны, стабилитроны и ограничители с напряжением стабилизации, В:	
1	< 10 В (мощностью < 0,3 Вт);
2	10.... 100 В (мощностью < 0,3 Вт);
3	> 100 В (мощностью < 0,3 Вт);
4	< 10 В (мощностью 0,3.... 5 Вт);
5	10.... 100 В (мощностью 0,3.... 5 Вт);
6	> 100 В (мощностью 0,3.... 5 Вт);
7	< 10 В (мощностью 5.... 10 Вт);
8	10.... 100 В (мощностью 5.... 10 Вт);
9	> 100 В (мощностью 5.... 10 Вт).
Выпрямительные столбы с прямым током, А:	
1	< 0,3 А;
2	0,3.... 10 А.
Выпрямительные блоки с прямым током, А:	
3	< 0,3 А;
4	0,3.... 10 А;
Транзисторы биполярные и полевые с граничной частотой:	
1	$f_{гр} < 3 \text{ МГц}$ (с рассеиваемой мощностью < 0,3 Вт);
2	$f_{гр} = 3 \dots 30 \text{ МГц}$ (с рассеиваемой мощностью < 0,3 Вт);
3	$f_{гр} > 30 \text{ МГц}$ (с рассеиваемой мощностью < 0,3 Вт);
4	$f_{гр} < 3 \text{ МГц}$ (с рассеиваемой мощностью 0,3.... 1,5 Вт);
5	$f_{гр} = 3 \dots 30 \text{ МГц}$ (с рассеиваемой мощностью 0,3.... 1,5 Вт);

6	Гр > 30 МГц (с рассеиваемой мощностью 0,3.... 1,5 Вт);
7	Гр < 3 МГц (с рассеиваемой мощностью > 1,5 Вт);
8	Гр = 3.... 30 МГц (с рассеиваемой мощностью > 1,5 Вт);
9	Гр > 30 МГц (с рассеиваемой мощностью > 1,5 Вт).
Источники инфракрасного излучения:	
1	излучающие диоды;
2	излучающие модули.
Приборы визуального представления информации:	
3	светоизлучающие диоды;
4	знаковые индикаторы;
5	знаковые табло;
6	шкалы;
Оптопары:	
Р	резисторные;
У	тиристорные;
Д	диодные;
Т	транзисторные.
ЧЕТВЕРТЫЙ ЭЛЕМЕНТ - порядковый номер разработки:	
Порядковый номер технологической разработки и изменяется от 01 до 999.	
ПЯТЫЙ ЭЛЕМЕНТ - классификационная группа:	
Буквенно-цифровой код системы условных обозначений указывает разбраковку по отдельным параметрам приборов, изготовленных в единой технологии. Для обозначения используются заглавные буквы русского алфавита от А до Я, кроме З, О, Ч, Ы, Ш, Щ, Я, схожих по написанию с цифрами.	

Примеры обозначения полупроводниковых приборов:

2Д206А - кремниевый выпрямительный диод с постоянным и средним значением тока 0,3...10 А, номер разработки 06, группа А.

КС133А - кремниевый стабилитрон мощностью не более 0,3 Вт, с номинальным напряжением стабилизации не более 10 В, номер разработки 33, группа А.

Существует еще цветовая маркировка полупроводниковых диодов (предусмотрена в системах JEDEC и Pro Electron).

Такая маркировка осуществляется цветными полосками различной толщины, наносимыми по окружности цилиндрического корпуса диода.

Задание для практической работы

Вариант 1

1. Расшифруйте названия полупроводниковых приборов 2С733А, КВ102А, АЛ306Д
2. Найдите и запишите основные параметры (которые есть в справочнике) полупроводникового прибора 2Д504А
3. Расшифруйте условное обозначение полупроводникового прибора КД202А
4. Напишите, для чего применяется варикап

Вариант 2

1. Расшифруйте названия полупроводниковых приборов 1А304Б, КС405А, 3Л102А
2. Найдите и запишите основные параметры (которые есть в справочнике) полупроводникового прибора КВ107В
3. Расшифруйте условное обозначение полупроводникового прибора ГД501А
4. Напишите, для чего применяется туннельный диод.

Вариант 3

1. Расшифруйте названия полупроводниковых приборов ГД107Б, АЛ102А, КУ202Г
2. Найдите и запишите основные параметры (которые есть в справочнике) полупроводникового прибора КД521В
3. Расшифруйте условное обозначение полупроводникового прибора АЛ307Б
4. Напишите, для чего применяется стабилитрон

Вариант 4

1. Расшифруйте названия полупроводниковых приборов КД202К, КС211Б, 2В117А
2. Найдите и запишите основные параметры (которые есть в справочнике) полупроводникового прибора КВ114А-1
3. Расшифруйте условное обозначение полупроводникового прибора КС520А
4. Напишите, для чего применяется выпрямительный диод

Требования к оформлению отчетного материала:

Практические работы на листах формата А 4 (книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические работы». Первый лист должен содержать сведения об исполнителе. Практические работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляется для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о практической работе должен содержать:

цель работы;
исходные данные;
ход решения;
выводы.

Ссылки на источники: [1,2].

Практическая работа № 10

Расчет схемы одно- и двухполупериодных выпрямителей. Определение величины коэффициента сглаживания и коэффициента выпрямления схемы, при различных конфигурациях схем выпрямления

Количество часов на выполнение: 4 часа

Цель работы: Произвести расчет выпрямителя с фильтром

Задание:

1. Изучить пример расчёта выпрямителя.

2. Согласно заданных исходных данных определить параметры выпрямителя

Порядок выполнения работы:

Пример расчета выпрямителя

Рассмотрим пример на расчёт выпрямителя с фильтром.

Исходными данными для расчета выпрямителя являются:

$U_{но}$ – среднее значение выпрямленного напряжения на нагрузке;

I_o – среднее значение выпрямленного тока;

U_1 – напряжение сети;

$K_{п.вых}$ – коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения на нагрузке.

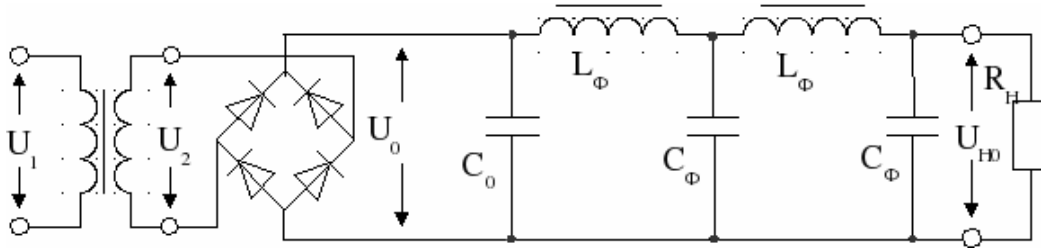


Рис. 1. Схема выпрямителя с фильтром

В приводимых ниже расчетах напряжение выражается в вольтах, ток – в миллиамперах, сопротивление – в Омах, емкость – в микрофарадах, коэффициент пульсаций в процентах.

Произведем расчет со следующими данными.

Дано: $U_{но} = 4 \text{ В}$; $I_o = 2 \text{ А}$; $U_1 = 220 \text{ В}$; $K_{п.вых} = 2 \%$.

Последовательность расчета

1. Для выбора типа диодов, определяют обратное напряжение на вентиле

$$U_{обр} = 1,5 \cdot U_o = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 4 = 7,2 \text{ В},$$

где $U_o = 1,2 \cdot U_{но}$ – напряжение на входе сглаживающего фильтра должно быть больше напряжения на нагрузке, т.к. учитывает потери напряжения на фильтре.

Средний ток через вентиль

$$I_{a \text{ ср}} = 0,5 \cdot I_o = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ А}.$$

Выбираем диоды КД130АС с $I_{ср} = 3 \text{ А}$; $U_{обр.м} = 50 \text{ В}$

Выбор диода производится по этим двум параметрам $I_{a \text{ ср}}$ и $U_{обр}$. Из справочника выпи-сывают максимальное обратное напряжение, средний ток и внутреннее сопротивление вентилля R_i . Если величины R_i в справочнике нет, то его легко рассчитать. При падении напряжения на кремниевом диоде $U_d = 0,7 \text{ В}$ величина $R_i = U_d / I_{a \text{ ср}} = 0,7 / 1 = 0,7 \text{ Ом}$.

2. Расчет трансформатора при $U_o = 1,2 \cdot U_{но} = 1,2 \cdot 4 = 4,8 \text{ В}$:

1. Сопротивление трансформатора

$$R_{тр} = \frac{830 \cdot U_o}{I_o \cdot (U_o \cdot I_o)^{1/4}} = \frac{830 \cdot 4,8}{2 \cdot (4,8 \cdot 2)^{1/4}} = 1132 \text{ Ом}.$$

2. Напряжение на вторичной обмотке трансформатора

$$U_2 = 0,75 \cdot U_o + \frac{I_o (2R_i + R_{тр})}{530} = 0,75 \cdot 4,8 + \frac{2(2 \cdot 0,7 + 1132)}{530} = 11,5 \text{ В}.$$

3. Токи обмоток

$$I_2 = 1,41 \cdot I_o + \frac{16,6 \cdot U_o}{2 \cdot R_i + R_{тр}} = 1,41 \cdot 2 + \frac{16,6 \cdot 4,8}{2 \cdot 0,7 + 1132} = 2,9 \text{ А},$$

$$I_1 = \frac{1,2 \cdot U_2 \cdot I_2}{U_1} = \frac{1,2 \cdot 11,5 \cdot 2,9}{220} = 0,18 \text{ А.}$$

3. Вычисляется габаритная мощность трансформатора, которая для двухполупериодной схемы определяется выражением

$$P_r = 1,7 U_2 I_2 = 1,7 \cdot 11,5 \cdot 2,9 = 57 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

4. Далее находится произведение площади сечения сердечника трансформатора Q_c на площадь окна сердечника Q_0 , которое в зависимости от марки провода обмотки равно, см^4 :

$Q_c Q_0 = 1,6 \cdot P_r$ для провода марки ПЭЛ;

$Q_c Q_0 = 2,0 \cdot P_r$ для провода марки ПЭШО;

$Q_c Q_0 = 2,4 \cdot P_r$ для провода марки ПШД.

Для провода ПЭЛ

$$Q_c Q_0 = 1,6 \cdot P_r = 1,6 \cdot 57 = 91 \text{ см}^4.$$

Из таблицы 1, в которой приведены основные данные типовых Ш-образных пластин, по значению $Q_c Q_0$ выбирают тип пластины и выписывают все ее параметры.

Выбираем пластины УШ-30 с $a = 3 \text{ см}$; $b = 1,9 \text{ см}$; $h = 5,3 \text{ см}$; $Q_0 = b h = 10,1 \text{ см}^2$.

При этом получают

$$Q_c = (Q_c Q_0) / Q_0 = 91 / 10,1 = 9 \text{ см}^2.$$

Необходимая толщина пакета пластин $c = Q_c / a = 9 / 3 = 3 \text{ см}$.

Отношение c/a рекомендуется брать в пределах 1...2. Если оно выйдет за эти пределы, то необходимо выбрать другой тип пластин.

5. Определяют число витков w и толщину провода d первичной и вторичной обмоток трансформатора при плотности тока в обмотках $j = 3 \text{ А/мм}^2$:

$$d = 1,13 (I/j)^{1/2} = 1,13 (I/3)^{1/2} = 0,65 \cdot I^{1/2},$$

$$w_1 = 48 U_1 / Q_c = 48 \cdot 220 / 9 = 1173 \text{ вит.}$$

$$d_1 = 0,65 \cdot I_1^{1/2} = 0,65 \cdot 0,18^{1/2} = 0,28 \text{ мм},$$

$$w_2 = 54 U_2 / Q_c = 54 \cdot 11,5 / 9 = 69 \text{ вит.},$$

$$d_2 = 0,65 \cdot I_2^{1/2} = 0,65 \cdot 2,9^{1/2} = 1,1 \text{ мм.}$$

Расчет фильтра.

1. Емкость конденсатор на входе фильтра

$$C_o = 30 \cdot I_o / U_o = 30 \cdot 2 \cdot 4,8 = 288 \text{ мкФ.}$$

Выбирают электролитические конденсаторы по величине емкости и номинальному напряжению, причем $U_c \geq 1,2 U_o \text{ В}$.

2. Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения на выходе фильтра

$$K_{п.вх} = 300 \cdot I_o / (U_o \cdot C_o) = 300 \cdot 2 / (4,8 \cdot 288) = 0,43 \text{ \%}.$$

3. Необходимый коэффициент сглаживания фильтра

$$q = K_{п.вх} / K_{п.вых} = 0,43 / 2 = 0,215.$$

В данной схеме выбран двухзвенный LC-фильтр. Коэффициент сглаживания одного звена

$$q_{зв} = (q)^{1/2} = 0,215^{1/2} = 0,46.$$

4. Определяют произведение $L_\phi C_\phi$ по формуле

$$L_\phi C_\phi = 2,5 (q_{зв} + 1) = 2,5 (0,46 + 1) = 3,63 \text{ Гн} \cdot \text{мкФ.}$$

Задаются емкостью C_ϕ так, чтобы индуктивность дросселя фильтра не превышала 5 – 10 Гн и определяют индуктивность дросселя. Принимаем $L_\phi = 7 \text{ Гн}$.

$$C_\phi = 3,63 / 7 = 0,5 \text{ мкФ.}$$

5. Находят сечение сердечника Q_c , число витков w и диаметр провода d обмотки дрос-

селя:

$$Q_c = L_\phi I_0^2 / 2 = 7 \cdot 2^2 / 2 = 14 \text{ см}^2;$$

$$w = 4 \cdot 10^2 / I_0 = 4 \cdot 10^2 / 2 = 200 \text{ витков};$$

$$d = 0,65 \cdot I_0^{1/2} = 0,65 \cdot 2^{1/2} = 0,92 \text{ мм}.$$

Сечение обмотки

$$Q_w = w \cdot d^2 / 1000 = 200 \cdot 0,92^2 / 100 = 1,92 \text{ см}^2.$$

$$Q_c Q_w = 14 \cdot 1,92 = 27 \text{ см}^4.$$

6. По произведению $Q_c Q_w$ из таблицы 1 выбирают тип сердечника и выписывают все параметры. С учетом объема, занимаемого стенками каркаса и изоляционными прокладками, сечение окна должно быть несколько больше сечения обмотки.

$$\text{Выбираем пластины Ш-19 с } a = 1,9 \text{ см}; b = 1,2 \text{ см}; h = 3,35 \text{ см}; Q_0 = b h = 4,02 \text{ см}^2.$$

Проверяют значение выпрямленного напряжения на нагрузке, для чего определяют среднюю длину витка обмотки l_w и сопротивление провода обмотки R_w :

$$l_w = \pi \cdot (a + b) = \pi \cdot (1,9 + 1,2) = 9,73 \text{ см};$$

$$R_w = 2 \cdot w \cdot l_w / (10^4 d^2) = 2 \cdot 200 \cdot 9,73 / (10^4 \cdot 0,92^2) = 0,46 \text{ Ом}.$$

При этом падение напряжения на двухзвенном фильтре

$$U_\phi = R_w \cdot I_0 = 0,46 \cdot 2 = 0,92 \text{ В}.$$

Напряжение на нагрузке

$$U_{но} = U_0 - U_\phi = 4,8 - 0,92 = 3,88 \text{ В}.$$

Если напряжение на нагрузке получается меньше заданного, то необходимо провести корректировочный расчет. Простейшим является увеличение, до необходимого значения, диаметра провода обмотки дросселя. Увеличение диаметра провода приведет к уменьшению сопротивления обмотки R_w , что вызовет уменьшение падения напряжения на фильтре U_ϕ .

Таблица 1

Тип пластины	Размеры				Пределы $Q_c Q_0$, см ⁴
	ширина среднего стержня a, см	ширина окна b, см	высота окна h, см	площадь окна $Q_0 = b h$, см ²	
Ш-10	1,0	0,5	1,5	0,75	0,75-1,5
Ш-10	1,0	0,65	1,8	1,17	1,17-2,34
Ш-10	1,0	1,2	3,6	4,32	4,32-8,64
Ш-12	1,2	0,6	1,8	1,08	1,56-3,12
УШ-12	1,2	0,8	2,2	1,76	2,53-5,06
Ш-12	1,2	1,6	4,8	7,68	11,1-22,2
Ш-14	1,4	0,7	2,1	1,47	2,88-5,76
Ш-14	1,4	0,9	2,5	2,25	4,41-8,82
Ш-15	1,5	1,35	2,7	3,65	8,21-16,4

Ш-16	1,6	0,8	2,4	1,92	4,91-9,82
УШ-16	1,6	1,0	2,8	2,8	7,17-14,3
Ш-18	1,8	0,9	2,7	2,43	7,87-15,7
Ш-19	1,9	1,2	3,35	4,02	14,5-29
Ш-20	2,0	1,0	3,0	3,0	12-24
Ш-20	2,0	1,7	4,7	7,99	32-64
УШ-22	2,2	1,4	3,9	5,46	26,4-52,8
Ш-25	2,5	2,5	6,0	15	93,7-180,7
Ш-25	2,5	3,15	5,8	18,3	114-228
Ш-28	2,8	1,4	4,2	5,88	46,5-93
УШ-30	3,0	1,9	5,3	10,1	91-182
Ш-32	3,2	3,6	7,2	25,9	265-530
УШ-35	3,5	2,2	6,15	13,5	165-330
УШ-40	4,0	2,6	7,2	18,7	300-600

Таблица 2 Параметры диодов

Тип прибора	Средний выпрямленный прямой ток $I_{пр.}$, А	Максимальное обратное напряжение $U_{обр. max}$, В	f_p , кГц
1	2	3	4
Д10А	0,016	10	150
ГД107А	0,02	15	50
ГД402Б	0,03	15	50
Д104	0,03	100	150
КД401Б	0,03	75	150
Д206	0,1	100	1
Д207	0,1	200	1

Д208	0,1	300	1
КД102Б	0,1	300	4
КД103А	0,1	50	20
2Д237В	0,3	100	300
Д7Ж	0,3	400	2,4
КД105Г	0,3	800	4
КД106А	0,3	100	30
Д202	0,4	100	1,2
Д203	0,4	200	1,2
Д204	0,4	300	1,2
Д205	0,4	400	1,2
Д302	1	200	5
КД226Д	2	600	50
Д303	3	150	5
КД130АС	3	50	200
КД248В	3	800	100
Д245Б	5	300	1,1
Д304	5	100	5
КД202Ж	5	140	1,2
2Д231Б	10	200	200
В10	10	100...1000	1
Д214А	10	100	1,1
Д215А	10	200	1,1
Д245	10	300	1,1
Д305	10	50	5

КД203А	10	420	1
КД213В	10	200	100
2Д239А	20	100	500
КД2999А	20	250	100
В25	25	100...1000	1
2Д252Б	30	80	200
КД2997Б	30	200	100
В50	50	100...1000	1
В100	100	100...1000	1

Задания для практической работы

Согласно заданных исходных данных определить параметры выпрямителя

№ варианта	$U_{но}, В$	$I_o, А$	$U_1 В$	$K_{п.вых}$
1	12	0,5	220	2%
2	5	1	220	2,5%
3	6	1,2	220	1,5%
4	8	0,8	220	1%
5	10	0,4	220	1,25%
6	15	0,2	220	2%
7	4	1,5	220	5%
8	4,5	2,5	220	2%
9	20	0,1	220	1,5%
10	15	0,4	220	1%

Требования к оформлению отчетного материала:

Практические работы оформляются на листах формата А 4(книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические работы». Первый лист должен содержать сведения об исполнителе. Практические работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляется для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о практической работе должен содержать:

цель работы;

исходные данные;

ход решения;

выводы.

Ссылки на источники: [1].

Практическая работа № 11

Расчет усилителя на биполярном транзисторе

Количество часов на выполнение: 4 часа

Цель работы: согласно заданных исходных данных выбрать транзистор и рассчитать параметры элементов схемы. Определить коэффициент усиления по напряжению и КПД.

Задание:

1. Изучить теоретический материал.
2. Согласно заданных исходных данных выбрать транзистор
3. Рассчитать параметры элементов схемы
4. Определить коэффициент усиления по напряжению и КПД.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом

Усилитель – устройство, увеличивающее мощность (напряжение, силу тока) входного сигнала за счет энергии внешних источников питания посредством усиительных элементов (полупроводниковых приборов, электронных ламп и др.).

Основными элементами усилителя являются усилительный элемент, функцию которого выполняет биполярный транзистор, полевой транзистор или электронная лампа, и резистор. Совместно с напряжением питания U_n эти элементы образуют *входную цепь*. Усиливаемый сигнал $U_{вх}$ подается на вход усилительного элемента. Усиленный сигнал $U_{вых}$ снимается с выхода усилительного элемента. Он создается в результате изменения сопротивления усилительного элемента и, следовательно, тока в выходной цепи под воздействием входного напряжения.

2. Пример определения параметров усилителя

Исходные данные:

$$U_n = 8 \text{ В}$$

$$U_{вых} = 3 \text{ В}$$

$$R_n = 500 \text{ Ом}$$

$$f_n = 1000 \text{ Гц}$$

$$S = 5\text{-коэффициент неустойчивости}$$

U_n – напряжение источника питания;

VT, R_k – усилительный элемент;

C_p – разделительный конденсатор – пропускает в цепь нагрузки переменную составляющую и задерживает постоянную;

R_1, R_2 – резисторы используемые для задания режима покоя: обеспечивают исходное напряжение на базе $U_{бэп}$ относительно $+U_n$;

R_3 – элемент отрицательной обратной связи, предназначенный для стабилизации режима покоя при изменении температуры;

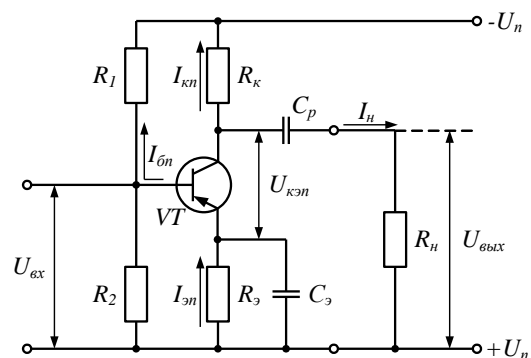
C_3 – конденсатор, который шунтирует резистор R_3 по переменному току, исключая проявление отрицательной обратной связи по переменным составляющим.

Выбрать транзистор VT , рассчитать параметры элементов схемы и коэффициент полезного действия η .

1. Выбор транзистора:

Выбираем транзистор из условий:

$$U_{кэ.мах} \geq (1,1 \div 1,3) \cdot U_n = 1,2 \cdot 8 = 9,6 \text{ В}$$



$$I_{к.мах} \geq 2 \cdot I_n = 2 \cdot \frac{U_{вых}}{R_n} = 2 \cdot \frac{3}{500} = 0,012 \text{ А} = 12 \text{ мА}$$

$$f_z > 10 \cdot f_n = 10 \cdot 1000 = 10000 \text{ Гц} = 10 \text{ кГц},$$

где $U_{кэ.мах}$ – максимально-допустимое напряжение коллектор-эмиттер; U_n – напряжение питания; $I_{к.мах}$ – максимально-допустимый ток коллектора; I_n – ток нагрузки; $U_{вых}$ – выходное напряжение; R_n – сопротивление нагрузки; f_n – номинальная частота работы усилителя; f_z – граничная частота работы транзистора (справочные данные).

По справочнику принимаем транзистор МП13Б р-п-р типа.

$$U_{кэ.мах} = 15 \text{ В} > 9,6 \text{ В};$$

$$I_{к.мах} = 20 \text{ мА} > 12 \text{ мА};$$

$$f_z = 1000 \text{ кГц} > 10 \text{ кГц};$$

$$h_{21} = 20 \dots 60 \text{ – коэффициент передачи тока в режиме малого сигнала.}$$

2. Расчёт параметров режима покоя схемы:

Режим покоя – режим работы усилителя, характеризующийся коротким замыканием на входе и холостым ходом на выходе относительно переменных составляющих входного и выходного напряжения, он определяет электрическое состояние схемы при отсутствии входного сигнала.

В режиме покоя напряжение на выходе (переменная составляющая) идеального усилителя равно нулю. Для реального усилителя оно состоит из напряжения шумов и напряжения дрейфа.

Энергетической характеристикой усилителя является потребляемый ток в режиме покоя I_n – ток (токи), потребляемый усилителем от источника питания в режиме покоя.

а) Расчёт тока покоя коллектора транзистора:

$$I_{кп} = I_n + I_{к. min},$$

где $I_{к. min}$ – минимальный ток коллектора.

$$I_n = \frac{U_{вых}}{R_n} = \frac{3}{500} = 0,006 \text{ А} = 6 \text{ мА}$$

$$I_{к. min} = (0,05 \div 0,2) \cdot I_n = 0,2 \cdot 0,006 = 0,0012 \text{ А} = 1,2 \text{ мА}$$

$$I_{кп} = I_n + I_{к. min} = 0,006 + 0,0012 = 0,0072 \text{ А} = 7,2 \text{ мА}$$

б) Расчёт тока покоя базы транзистора:

$$I_{бп} = \frac{I_{кп}}{h_{21cp}} = \frac{0,0072}{40} = 0,00018 \text{ А} = 0,18 \text{ мА},$$

$$\text{где } h_{21cp} = \frac{h_{21.min} + h_{21.max}}{2} = \frac{20 + 60}{2} = 40 \text{ – средневзвешенный коэффициент пе-}$$

редачи тока

в) Расчёт тока покоя эмиттера транзистора:

$$I_{эп} = I_{кп} + I_{бп} = 0,0072 + 0,00018 = 0,00738 \text{ А} = 7,38 \text{ мА}$$

г) Расчёт напряжения коллектор-эмиттер покоя $U_{кэп}$ транзистора:

$$U_{кэп} = U_{вых} + (0,5 \div 1) = 3 + 0,5 = 3,5 \text{ В}$$

3. Расчёт сопротивления цепи эмиттера:

$$R_э \leq \frac{(0,05 \div 0,3) \cdot U_n}{I_{эп}} = \frac{0,1 \cdot 8}{0,00738} = 108 \approx 100 \text{ Ом}$$

4. Расчет сопротивления цепи коллектора:

$$R_к \geq \frac{U_n - U_{кэп} - I_{эп} \cdot R_э}{I_{кп}} = \frac{8 - 3,5 - 0,00738 \cdot 100}{0,0072} = 522,5 \approx 560 \text{ Ом}$$

Производим перерасчет максимально-допустимого тока коллектора усилителя, с учетом выбранных резисторов:

$$I_{\kappa.\max} = \frac{U_n}{R_9 + R_\kappa} = \frac{8}{100 + 560} = 0,012 \text{ A} = 12 \text{ mA} < 20 \text{ mA}$$

5. Расчёт сопротивления цепи базы:

$$R_\delta = R_9 \cdot \frac{S-1}{1 - \frac{S}{1+h_{21\max}}} = 100 \cdot \frac{5-1}{1 - \frac{5}{1+60}} = 435,7 \text{ Ом}$$

Сопротивление цепи базы транзистора состоит из двух сопротивлений R_1 и R_2 , определим данные сопротивления:

$$R_2 \leq \frac{U_n \cdot R_\delta}{U_n - I_{\delta n} \cdot R_\delta - I_{\varepsilon n} \cdot R_9 - U_{\delta \varepsilon n}} = \frac{8 \cdot 435,7}{8 - 0,00018 \cdot 435,7 - 0,00738 \cdot 100 - 0,25} = 502,7 \approx 470$$

Ом

где $U_{\delta \varepsilon n}$ – напряжение база-эмиттер покоя, которое для германиевых транзисторов составляет 0,25 В, а для кремниевых – 0,6 В.

$$R_1 \leq \frac{-R_2 \cdot R_\delta}{-R_2 + R_\delta} = \frac{-470 \cdot 435,7}{-470 + 435,7} = 5970 \approx 5600 \text{ Ом}$$

Уточняем сопротивление цепи базы транзистора с учетом полученных сопротивлений R_1 и R_2 :

$$R_\delta = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5600 \cdot 470}{5600 + 470} = 433,6 \text{ Ом}$$

Проверяем транзистор по максимально-допустимому току базы:

$$I_\delta = \frac{U_n}{R_1 + R_2} = \frac{8}{5600 + 470} = 0,0013 \text{ A} = 1,3 \text{ mA}$$

Должно выполняться условие:

$$5 \cdot I_{\delta n} = 0,0009 \text{ A} < I_\delta = 0,0013 \text{ A}$$

В случае если данное условие не выполняется, необходимо взять меньшие стандартные сопротивления R_1 и R_2 .

6. Расчёт ёмкости конденсатора цепи эмиттера:

$$C_\varepsilon = \frac{10}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot R_9} = \frac{10}{2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 100} = 0,000015915 \text{ Ф} = 15,915 \approx 15 \text{ мкФ}$$

7. Расчёт ёмкости разделительного конденсатора:

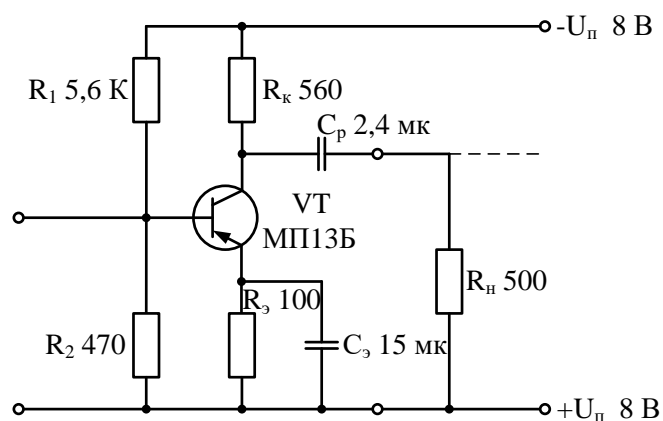
$$C_p = \frac{10}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot (R_9 + R_\kappa)} = \frac{10}{2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot (100 + 560)} = 0,0000024 \text{ Ф} = 2,4 \text{ мкФ}$$

8. Расчёт коэффициента усиления по напряжению:

$$K_u = \frac{R_\kappa \cdot h_{21cp}}{R_9 \cdot h_{21cp} + R_\delta} = \frac{560 \cdot 40}{100 \cdot 40 + 433,6} = 5,05$$

9. Расчёт коэффициента полезного действия усилителя:

$$\eta = \frac{I_n \cdot U_{\text{вых}}}{2 \cdot I_{\kappa n} \cdot U_{\kappa \varepsilon n}} \cdot 100\% = \frac{0,006 \cdot 3}{2 \cdot 7,2 \cdot 3,5} \cdot 100\% = 35,7\%$$



Задания для практической работы

1. согласно заданных исходных данных выбрать транзистор
2. рассчитать параметры элементов схемы
3. определить коэффициент усиления по напряжению и КПД.

Исходные данные для расчета усилительного каскада на биполярном транзисторе

Вариант	$U_{п}, В$	$R_{н}, Ом$	$U_{вых}, В$	$f_{н}, Гц$	Коэффициент неустойчивости S
1	15	800	7	400	5
2	9	600	3,8	100	5
3	6	500	2,7	50	5
4	5	850	2	700	5
5	8	600	3,5	500	5
6	6	300	2,5	1000	5
7	10	700	4,5	300	5
8	12	1000	5	70	5
9	3	280	1,6	1600	5
10	6	400	2	500	5
11	8	500	3	1000	5
12	5	300	2,2	50	5
13	6	450	2,5	200	5
14	18	1000	6	1500	5
15	12	800	4,5	1000	5
16	10	800	3	50	5
17	3	200	1	2000	5
18	9	700	4	100	5
19	15	900	5,5	1000	5
20	24	2200	9	2000	5

Требования к оформлению отчетного материала:

Практические работы оформляются на листах формата А 4(книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические работы». Первый лист должен содержать сведения об исполнителе. Практические работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляется для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о практической работе должен содержать:
 цель работы;
 исходные данные;
 ход решения;
 выводы.
 Ссылки на источники: [1].

Практическая работа № 12

Изучение назначения и свойств основных функциональных узлов аналоговой электроники: усилителей, генераторов в схемах

Количество часов на выполнение: 4 часа

Цель работы: научиться различать полупроводниковые приборы на схемах и в изделиях, проводить простейшие расчёты параметров электронных узлов.

Задание для практической работы:

Задача №1 Приведены несколько схем простых устройств и узлов. Выбрать схему согласно своему варианту (номер по журналу), перерисовать её и указать все элементы, из которых она выполнена.

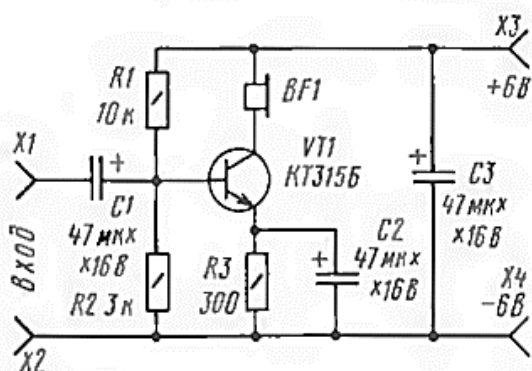


Рис. 1. Схема однокаскадного усилителя ЗЧ на транзисторе.

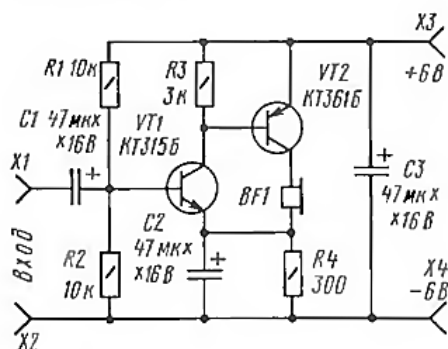


Рис. 2. Схема двухкаскадного усилителя ЗЧ на транзисторах разной структуры.

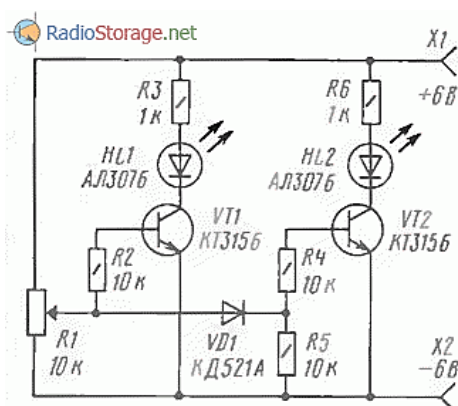


Рис. 6. Схема двухуровневого индикатора напряжения.

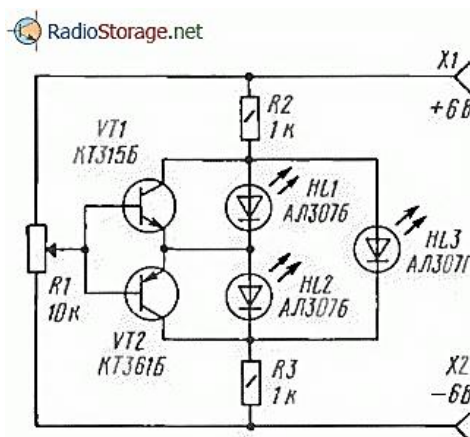


Рис. 7. Трехуровневый индикатор напряжения.

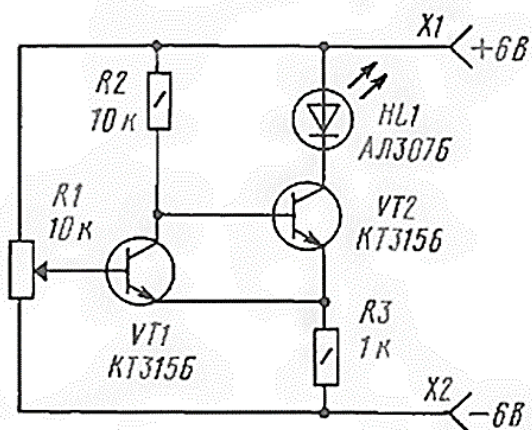


Рис. 3 Простой триггер Шмитта на двух транзисторах.

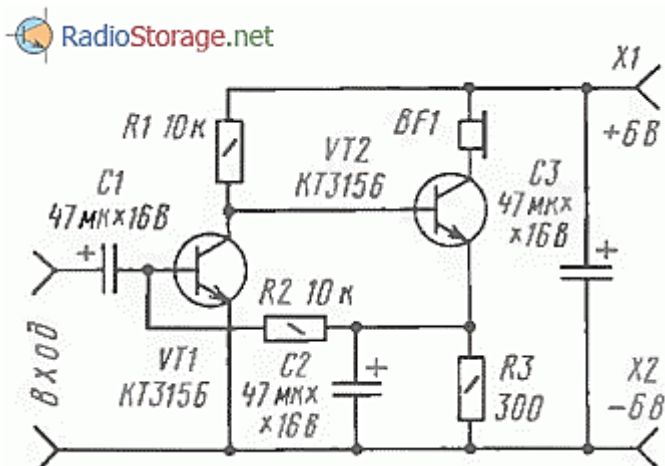


Рис. 8 Схема двухкаскадного усилителя ЗЧ на транзисторах одинаковой структуры.

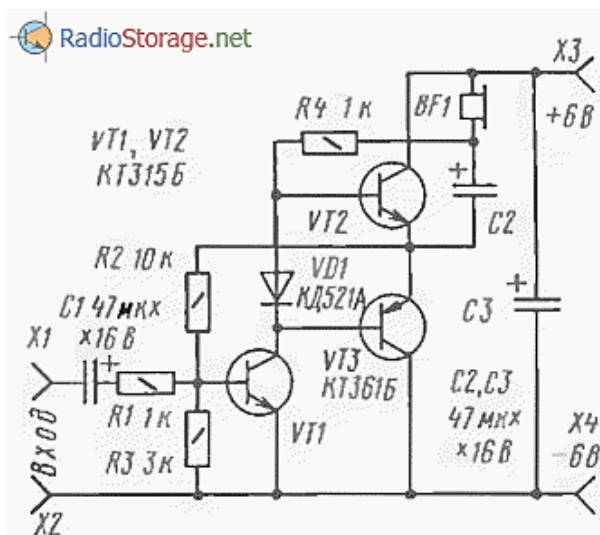


Рис. 4. Двухтактный усилитель мощности ЗЧ на транзисторах.

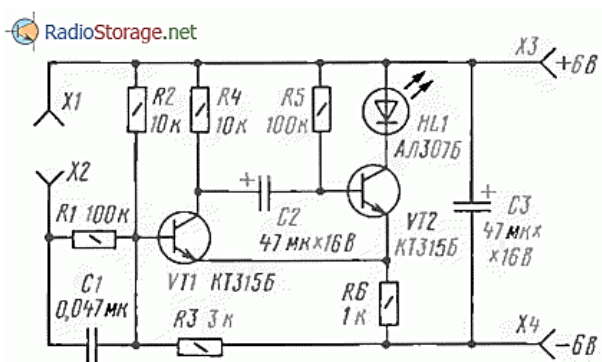


Рис. 9. Принципиальная схема ждущего мультивибратора.

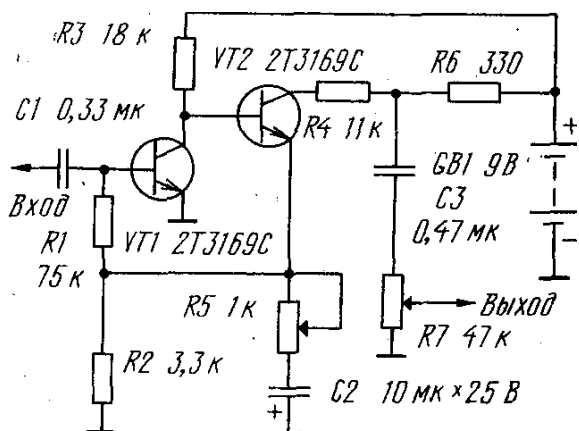


Рис. 5 Схема двухкаскадного усилителя НЧ на транзисторах одинаковой структуры

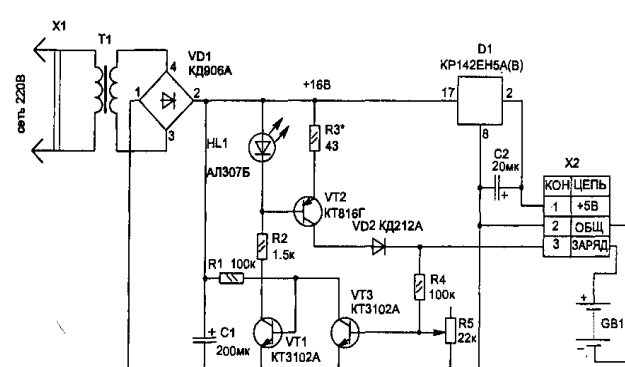
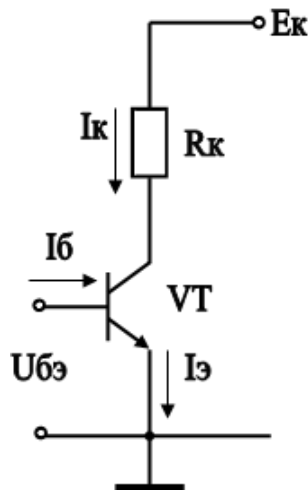


Рис. 5.16. Электрическая схема блока питания с автоматическим зарядным устройством

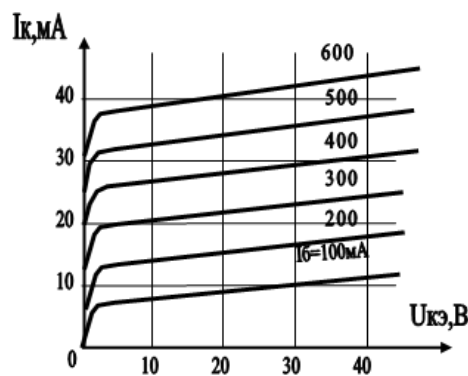
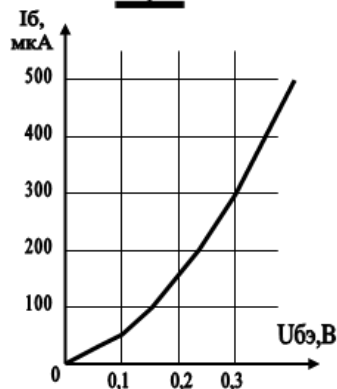
Рис. 10 Схема блока питания с автоматическим зарядным устройством

Задача № 2 (Варианты 1-10)

Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, используя входную и выходные характеристики, определить коэффициент усиления $h_{21э}$, значение напряжения на коллекторе $U_{кэ}$ мощность на коллекторе P_k , если дано напряжение на базе $U_{бэ}$ (В), значение сопротивления нагрузки R_k (кОм) и напряжение источника питания E_k (В). Данные для своего варианта взять из таблицы.



Номер варианта	$U_{бэ}$, В	$U_{кэ}$, В	R_k , кОм	E_k , В
1	0,4	5	0,05	40
2	0,15	20	0,2	40
3	0,15	40	0,1	40
4	0,1	30	0,05	40
5	0,15	15	1	40
6	0,25	5	10	20
7	0,3	35	0,1	20
8	0,3	20	5	40
9	0,25	25	1	40
10	0,2	10	1	20



1. По входной характеристике определяем ток базы $I_{б}$.
2. По выходным характеристикам определяем ток коллектора $I_{к}$.
3. На выходных характеристиках строим отрезок AB , из которого находим:

$$\Delta I_k = AB = I_{к1} - I_{к2}$$

$$\Delta I_{б} = AB = I_{б1} - I_{б2}.$$

4. Определяем коэффициент усиления:

$$h_{21э} = \Delta I_k / \Delta I_{б}$$

5. Определяем коэффициент передачи по току

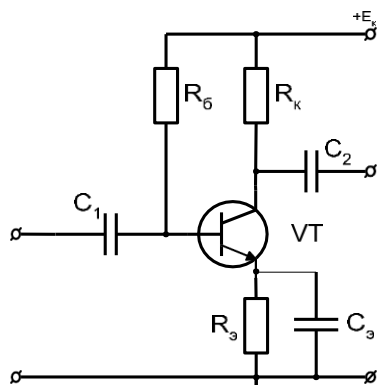
$$h_{21б} = h_{21э} / (h_{21э} + 1).$$

6. Определяем мощность на коллекторе

$$P_k = U_{кэ} \cdot I_{к}$$

Задача 3. Конденсатор в цепи переменного тока частотой 50 Гц имеет реактивное сопротивление, обратно пропорциональное его ёмкости и частоте переменного тока:

$X_c = \frac{1}{2\pi\nu C}$ (1). Ток конденсатора определяется по формуле: $I = \frac{U}{X_c}$ (2). Рассчитать, конденсаторы какой ёмкости надо включить в цепь однокаскадного усилителя (рис. 11) напряжением 12 В, что бы ток базы был равен значению I_b , ток коллектора значению I_k , а ток эмиттера $I_э$. Рассчитать коэффициент усиление по току.



№	I_b , мА	I_k , мА	$I_э$, мА
1.	0,1	200	80
2.	0,2	100	50
3.	0,3	300	10
4.	0,4	500	90
5.	0,5	250	20
6.	0,6	350	40
7.	0,7	150	30
8.	0,8	250	60
9.	0,9	100	50
10	1	200	70

Рис. 11 Однокаскадный усилитель.

Требования к оформлению отчетного материала:

Практические работы оформляются на листах формата А 4(книжный вариант) и помещаются в папку студента «Практические работы». Первый лист должен содержать сведения об исполнителе. Практические работы оформляются по специально заданной структуре и предоставляется для оценивания преподавателю.

Форма контроля: письменный отчет студентов о проделанной работе, практическая проверка преподавателем.

Отчет о практической работе должен содержать:

- цель работы;
- исходные данные;
- ход решения;
- выводы.

Ссылки на источники: [1].

Самостоятельная работа № 4

Тема 2.6 Электронные устройства автоматики и вычислительной техники

Количество часов на выполнение: 4 часа

Цель работы: систематизация знаний по разделу «Электроника».

Задание:

Составить кроссворд

1. Сделайте анализ учебного текста по разделу «Электроника», познакомьтесь с материалом [1,2], воспользуйтесь глобальной сетью Интернет для составления кроссворда.
2. Составьте список слов изучаемого учебного материала.
3. Выберите наиболее подходящий тип кроссворда.
4. Составьте вопросов к терминам, понятиям, определения.
5. Начертите рисунок сетки.
6. Пронумеруйте рисунок сетки.
7. Напишите тексты вопросов и ответов.
8. Выполните орфографическую проверку текстов.
9. Проверьте тексты на соответствие нумерации.

10. Представить на контроль в установленный срок.

Методика выполнения задания

При составлении кроссвордов необходимо придерживаться принципов наглядности и доступности.

12. Кроссворд должен состоять из 20- 25 слов
13. Кроссворд должен быть "Классический"
14. Определения (толкования) должны быть строго лаконичными. Не следует делать их пространными, излишне исчерпывающими, многословными, несущими избыточную информацию.
15. Старайтесь подать слово с наименее известной стороны. В определениях не должно быть однокоренных слов.
16. Не допускается наличие "плашек" (незаполненных клеток) в сетке кроссворда;
17. Не допускаются случайные буквосочетания и пересечения;
18. Двухбуквенные слова должны иметь два пересечения;
19. Трехбуквенные слова должны иметь не менее двух пересечений;
20. Не допускаются аббревиатуры (ЗиЛ и т.д.), сокращения (детдом и др.);
21. Не рекомендуется большое количество двухбуквенных слов;
22. Все тексты должны быть написаны разборчиво, желательно отпечатаны.

Требования к оформлению:

На каждом листе должна быть фамилия автора, а также название данного кроссворда;

Рисунок кроссворда должен быть четким;

Сетки всех кроссвордов должны быть выполнены в двух экземплярах:

- 1-й экз. - с заполненными словами;
- 2-й экз. - только с цифрами позиций.

Ответы публикуются отдельно. Ответы предназначены для проверки правильности решения кроссворда и дают возможность ознакомиться с правильными ответами на нерешенные позиции условий, что способствует решению одной из основных задач разгадывания кроссвордов — повышению эрудиции и увеличению словарного запаса.

Требования к оформлению отчетного материала: отчет содержит тему и цель самостоятельной работы; задания и ответы, которые формируются в отчете, работа выполняется на листах формата А4.

Форма контроля: письменный отчет о проделанной работе.

Ссылки на источники [1,2]

Критерии оценивания составленных кроссвордов:

Четкость изложения материала, полнота исследования темы;

Оригинальность составления кроссворда;

Практическая значимость работы;

Уровень стилизованного изложения материала, отсутствие стилистических ошибок;

Уровень оформления работы, наличие или отсутствие грамматических и пунктуационных ошибок;

Количество вопросов в кроссворде, правильное их изложение.

20- 25 слов – «5» баллов

17- 19 слов – «4» балла

14-16 слов – «3» балла

менее 15 слов – «2» балла

Методические указания по дисциплине ОП. 03 Электротехника и электроника составлены в соответствии с рабочей программой.

Составитель:

Черкашенина Татьяна Викторовна, преподаватель


Методические указания рассмотрены и рекомендованы к утверждению на заседании цикловой комиссии Монтажа и ремонта промышленного оборудования

Протокол № 3 от «6» 11 2025 г.

Председатель ЦК  Т.В. Данилова

СОГЛАСОВАНО:

Заместитель декана по учебно-производственной работе

 П.М. Макогон
«6» 11 2025г.

УТВЕРЖДАЮ:

Заместитель декана
по учебной работе

 И.А. Чинская