

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени
Гагарина Ю.А.»

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени
Гагарина Ю.А.» в г. Петровске

УТВЕРЖДАЮ
Директор филиала СГТУ
имени Гагарина Ю.А. в г.Петровске
Е.А.Бесшапошникова
«30» июня 2021 г.



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

по дисциплине
ОП.02 «Электротехника и основы электроники»
специальности
15.02.09 «Аддитивные технологии»

Методические указания рассмотрены
на заседании предметной (цикловой) комиссии
общепрофессиональных дисциплин,
профессиональных модулей специальностей
технического профиля
«14» июня 2021 года, протокол №13

Председатель ПЦК  /Т.А.Лескина/

Петровск 2021

Пояснительная записка

Методические указания по выполнению практических работ подготовлены на основе рабочей программы учебной дисциплины ОП.02 «Электротехника и основы электроники», разработанной на основе ФГОС СПО по специальности 15.02.09 «Аддитивные технологии» и соответствующих профессиональных (ПК) компетенций:

ОК 01. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 02. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 03. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 04. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 05. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 08. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 09. Ориентироваться в условиях смены технологий в профессиональной деятельности.

ПК 2.1. Организовывать и вести технологический процесс на установках для аддитивного производства.

ПК 2.2. Контролировать правильность функционирования установки, регулировать ее элементы, корректировать программируемые параметры.

ПК 2.3. Проводить доводку и финишную обработку изделий, созданных на установках для аддитивного производства.

ПК 2.4. Подбирать параметры аддитивного технологического процесса и разрабатывать оптимальные режимы производства изделий на основе технического задания (компьютерной/цифровой модели).

ПК 3.1. Диагностировать неисправности установок для аддитивного производства.

ПК 3.2. Организовывать и осуществлять техническое обслуживание и текущий ремонт механических элементов установок для аддитивного производства.

ПК 3.3. Заменять неисправные электронные, электронно-оптические, оптические и прочие функциональные элементы установок для аддитивного производства и проводить их регулировку.

При выполнении практических работ студент должен **знать**:

- физические процессы, протекающие в проводниках, полупроводниках и диэлектриках, свойства электротехнических материалов;
- основные законы электротехники и методы расчета электрических цепей;
- условно-графические обозначения электрического оборудования;

- принципы получения, передачи и использования электрической энергии;
- основы теории электрических машин;
- виды электроизмерительных приборов и приемы их использования;
- базовые электронные элементы и схемы;
- виды электронных приборов и устройств;
- релейно-контактные и микропроцессорные системы управления: состав и правила построения.

При выполнении практических работ студент должен **уметь:**

- использовать основные законы и принципы теоретической электротехники и электроники в профессиональной деятельности;
- читать принципиальные электрические схемы устройств;
- измерять и рассчитывать параметры электрических цепей;
- анализировать электронные схемы;
- правильно эксплуатировать электрооборудование;
- использовать электронные приборы и устройства.

Содержание практических занятий определено рабочей программой и тематическим планированием, соответствует теоретическому материалу изучаемых разделов учебной дисциплины.

Объём практических занятий по дисциплине определяется учебным планом по данной специальности.

Продолжительность практического занятия - 2 академических часа. Перед проведением практического занятия преподавателем организуется инструктаж, а по ее окончании – обсуждение итогов.

Комплект методических указаний по выполнению практических работ дисциплины ОП.02 «Электротехника и основы электроники» содержит 10 практических занятий.

**Перечень практических работ
по дисциплине ОП.02 «Электротехника и основы электроники»**

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Тема: Расчёт последовательного соединения конденсаторов и параллельного соединения конденсаторов

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Тема: Расчёт электрической цепи методом «свёртывания» и узловых контурных уравнений

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3.

Тема: Расчёт электрической цепи методом «свёртывания» и узловых контурных уравнений

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

Тема: Расчет магнитного поля провода с током и магнитного поля катушки.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

Тема: Изучение электроизмерительных приборов различных типов

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6

Тема: Изучение электроизмерительных приборов различных типов

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7.

Тема: Проверка проводимости диода

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №8

Тема: Изучение работы биполярного транзистора, тиристора.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №9.

Тема: Расчёт параметров и составление схем различных типов выпрямителей

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №10.

Тема: Расчёт параметров и составление схем различных типов выпрямителей

ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Прежде чем приступить к выполнению заданий, внимательно прочитайте данные рекомендации. Практические работы включают в себя задания следующих видов:

1. Ответ на поставленные вопросы (с аргументацией)

Прочитайте вопрос и вникните в него.

Для удобства подчеркните ту, фразу, которая, по вашему мнению, является главной. Это поможет вам быстрее сориентироваться при ответе на вопрос.

Если вы считаете, что можете ответить на вопрос без помощи лекции и дополнительной литературы – приступайте. Если же вопрос заставляет вас сомневаться, откройте лекционную тетрадь (учебник или дополнительную литературу), прочитайте необходимый пункт, вникните в содержание и после этого приступайте за работу.

ГЛАВНОЕ! Не переписывайте отрывки лекции в рабочую тетрадь! Четко отвечайте на ПОСТАВЛЕННЫЙ вопрос!

Не забудьте привести аргументацию (обоснование) вашей позиции, если вопрос предполагает личностное отношение к проблеме.

2. Заполнение таблиц и схем

Прочитайте название таблицы или схемы.

Исходя из названия, вы поймете цель предстоящей работы.

Воспользуйтесь материалами лекций или другими источниками, чтобы заполнить таблицу (схему).

Используйте цветные графические материалы для выделения строк, столбцов или элементов схем.

Особое внимание обращайте на четкость при отборе материала: делайте записи кратко и четко!

3. Выполнение расчетных заданий.

1. Внимательно прочитайте теоретический материал - конспект, составленный на учебном занятии. Выпишите формулы из конспекта по изучаемой теме.

2. Обратите внимание, как использовались данные формулы при решении задач на занятии.

3. Выпишите ваш вариант задания, предложенного в данных методических указаниях, в соответствии с порядковым номером в учебном журнале.

4. Решите предложенную задачу, используя выписанные формулы.

5. В случае необходимости воспользуйтесь справочными данными.

6. Проанализируйте полученный результат (проверьте размерности величин, правильность подстановки в формулы численных значений, правильность расчетов, правильность вывода неизвестной величины из формулы).

7. Решение задач должно сопровождаться необходимыми пояснениями.

Расчётные формулы приводите на отдельной строке, выделяя из текста, с указанием размерности величин. Формулы записывайте сначала в общем виде (буквенное выражение), затем подставляйте числовые значения без указания размерностей, после чего приведите конечный результат расчётной величины.

Показатели оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы:

- грамотная запись условия задачи и ее решения;
- грамотное использование формул;
- грамотное использование справочной литературы;
- точность и правильность расчетов;
- обоснование решения задачи.

4.Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам и подготовка к их защите

1. Обратитесь к методическим указаниям по проведению лабораторных и практических работ и оформите работу, указав название, цель и краткий порядок проведения работы.

2. Повторите основные теоретические положения по теме лабораторной или практической работы, используя конспект лекций или методические указания.

3. Сформулируйте выводы по результатам работы, выполненной на учебном занятии. В случае необходимости закончите выполнение расчетной части.

4. Подготовьтесь к защите выполненной работы: повторите основные теоретические положения и ответьте на контрольные вопросы, представленные в методических указаниях по проведению лабораторных или практических работ.

Показатели оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы:

- оформление лабораторных и практических работ в соответствии с требованиями, описанными в методических указаниях;
- качественное выполнение всех этапов работы;
- необходимый и достаточный уровень понимания цели и порядка выполнения работы;
- правильное оформление выводов работы;
- обоснованность и четкость изложения ответа на контрольные вопросы к работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Тема: Расчёт последовательного соединения конденсаторов и параллельного соединения конденсаторов

Цель: изучить распределение напряжения, зарядов в схемах с последовательным и параллельным соединением конденсаторов.

Оборудование: Источник питания, конденсаторы

Справочный материал

1. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для спо / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-6756-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152467>

2. Тимофеев, И. А. Основы электротехники, электроники и автоматики. Лабораторный практикум : учебное пособие для спо / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 196 с. — ISBN 978-5-8114-6827-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153638>

Содержание работы

Конденсатор – система двух проводников (обкладок) разделённых слоем диэлектрика. Служит для накопления (конденсации) разделённых зарядов.

Плоский конденсатор – две плоские металлические пластины, расположенные параллельно и разделённые слоем диэлектрика. Обозначение конденсатора на электрических схемах соответствует его принципиальному устройству. Электроёмкость конденсатора показывает, как много заряда может «натечь» в конденсатор, подключённый к источнику, разделяющему заряды.

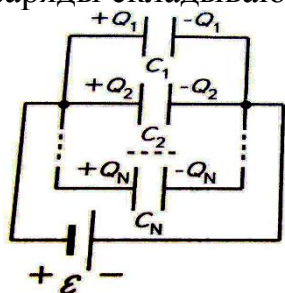
Коэффициент пропорциональности между зарядом на конденсаторе Q и разностью потенциалов U на его обкладках называется электрической ёмкостью конденсатора C . Заряд на обкладках конденсатора тем больше, чем больше ЭДС источника.

Важнейшей характеристикой любого конденсатора является его электрическая ёмкость C – физическая величина, равная отношению заряда Q конденсатора к разности потенциалов U между его обкладками: $C=Q/U$. Единица измерения в СИ: фарад (Ф).

Ёмкость реальных конденсаторов гораздо меньше, и для её измерения обычно используют более мелкие единицы: 1 микрофарад (мкФ), 1 нанофарад (нФ), 1 пикофарад (пФ)

Эквивалентной ёмкостью батареи конденсаторов называют такую ёмкость $C_{\text{общ}}$, которая при подключении к тому же источнику тока принимает на себя такой же заряд, что и батарея конденсаторов.

Два конденсатора соединены параллельно, если обкладки обоих попарно соединены друг с другом. У параллельного соединения конденсаторов ёмкости и заряды складываются

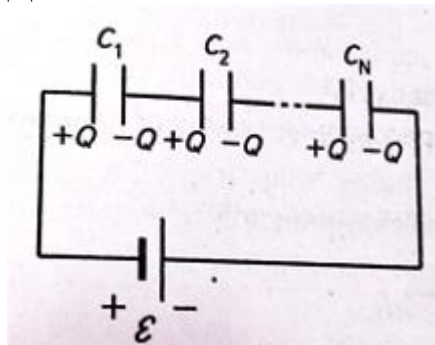


$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + \dots + C_N$$

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N$$

$$U_1 = U_2 = \dots = U_N$$

Для последовательного соединения конденсаторов



$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 + \dots + U_N$$

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_N$$

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}$$

На практике конденсаторы включают только параллельно, можно представить это так, как будто площади их пластин складываются, складываются и их ёмкости. Последовательное соединение не имеет практического смысла, знание сложения необходимо только при анализе цепей переменного тока. Перед проверкой конденсатор разряжают, то есть закорачивают его выводы на металлический предмет.

Энергия конденсатора. При зарядке конденсатора между обкладками скапливаются разделённые заряды (энергия электрического поля)

$$W_c = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C} \quad \text{Э}$$

та энергия может быть высвобождена, если обкладки заряжённого конденсатора соединить через лампу накаливания. После того, как все заряды противоположного знака, скопленные на обкладках, протекут через спираль лампочки и прорекомбинируют, лампочка погаснет. Энергия конденсатора перейдёт во внутреннюю и световую энергию.

Для увеличения ёмкости радиотехнические конденсаторы изготавливают в виде двух слоёв алюминиевой фольги, проложенных промасленной бумагой (диэлектрик) и скрученных в многослойную пачку, упакованную в прочный корпус.

Важной характеристикой конденсатора является максимальное напряжение $U_{\text{макс}}$ указанное на корпусе, при котором он сохраняет работоспособность. При больших напряжениях диэлектрик, проложенный между обкладками, пробивается, и обкладки замыкаются накоротко, составляя единый проводник. Чем больше

напряжение, тем меньше ёмкость. В электролитических конденсаторах важно соблюдать полярность, иначе конденсатор выйдет из строя или возможен разрыв корпуса.

Конденсаторы используются в радиотехнике (излучение и приём электромагнитных волн, преобразование электромагнитных колебаний). В устройствах, где нужно медленно накопить энергию, а затем быстро высвободить (фотовспышка, импульсный лазер).

Задание 1.

Два конденсатора ёмкостью 3 мкФ и 6 мкФ соединены параллельно и включены в цепь 120В. Нарисуйте рисунок. Найти напряжение на каждом конденсаторе, заряд каждого конденсатора, общую ёмкость батареи и её энергию.

Задание 2.

Два конденсатора ёмкостью 120 пФ и 60 пФ соединены последовательно и включены в цепь 240В. Нарисуйте рисунок. Найти общую ёмкость батареи и её энергию, заряд каждого конденсатора, напряжение на каждом конденсаторе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Тема: Расчёт электрической цепи методом «свёртывания» и узловых контурных уравнений

Цель: Научиться проводить расчеты

Оборудование: Мультиметр

Справочный материал

1. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для СПО / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-6756-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152467>

2. Тимофеев, И. А. Основы электротехники, электроники и автоматики. Лабораторный практикум : учебное пособие для СПО / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 196 с. — ISBN 978-5-8114-6827-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153638>

Содержание работы

Метод узловых и контурных уравнений для расчета сложных электрических цепей подразумевает составление системы уравнений по законам Кирхгофа. При составлении системы уравнения должно учитываться следующее.

1. Число уравнений равно числу токов в цепи (число токов равно числу ветвей в рассчитываемой цепи). Направление токов на ветвях выбирается произвольно.

2. По первому закону Кирхгофа составляется $(n - 1)$ уравнение где n — число узловых точек в схеме.

3. Остальные уравнения составляются по второму закону Кирхгофа.

В результате решения системы уравнений определяются искомые величины для сложной электрической цепи (например, все токи при заданных значениях ЭДС источников E и сопротивлений резисторов). Если в результате расчета какие-либо токи получаются отрицательными, это указывает на то, что их направление противоположно выбранному.

Пример задачи с решением 4.9

Составить необходимое и достаточное количество уравнений* по законам Кирхгофа для определения всех токов в цепи (рис. 4.12) методом узловых и контурных уравнений.

Решение

В рассматриваемой сложной цепи имеется 5 ветвей, следовательно, 5 различных токов, поэтому для расчета необходимо составить 5 уравнений, причем 2 уравнения — по первому закону Кирхгофа (в цепи $n = 3$ узловых точки A, B и C) и 3 уравнения по второму закону Кирхгофа (внутренним сопротивлением источников пренебрегаем, т. е. $R_0 = 0$).

Составляем уравнения:

- 1) $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$ (для точки A);
- 2) $I_1 + I_2 - I_5 = 0$ (для точки B);
- 3) $E_1 - E_2 = I_1(R_1 + R_2) - I_2R_3$ (для контура AaB);
- 4) $E_2 + E_5 - E_4 = I_2R_3 + I_5(R_7 + R_8) - I_4R_6$ (для контура $ABbC$);
- 5) $E_4 - E_3 = I_4R_6 - I_1(R_4 + R_5)$ (для контура ACc).

Обход по часовой стрелке.

Пример задачи с решением 4.10

Определить токи в примере 4.7 методом узловых и контурных уравнений (схема рис. 4.10) при тех же заданных условиях.

Решение

При выбранном в схеме рис. 4.10 направлении токов составим необходимое и достаточное количество уравнений по законам Кирхгофа:

1. $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ или $I_1 = -I_2 - I_3$;
2. $E_1 = I_1(R_1 + R_{01}) - I_3R_3$ (обход по часовой стрелке)

3. $E_2 = I_2(R_2 + R_{02}) - I_3 R_3$ (обход против часовой стрелки)

К уравнение (2) подставляются значения тока I_1 из уравнения и числовые значения заданных величин. Тогда уравнения (2) будут выглядеть так:

$$\begin{aligned} 35 &= -2I_2 - 6I_3; \\ 70 &= -I_2 - 4I_3. \end{aligned}$$

Иля сокращения тока I_2 при суммировании уравнений (2) и (3) К числовые значения уравнения (3) умножаются на 2 (два).

$$\begin{aligned} 35 &= -2I_2 - 6I_3; \\ 140 &= 2I_2 - 8I_3. \end{aligned}$$

Результаты суммирования:

$$175 = -14I_3.$$

Откуда $I_3 = -\frac{175}{14} = -12,5 \text{ А.}$

Из уравнения $I_2 = 70 + (-12,5 \cdot 4) = 20 \text{ А.}$

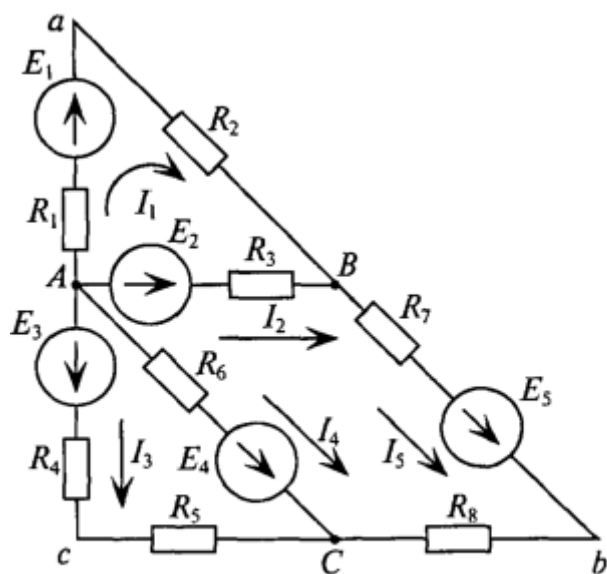


Рис. 4.12

И из уравнения (1): $I_1 = -20 - (-12,5) = -7,5 \text{ А.}$

Очевидно, что полученный результат совпадает с результатом полученным методом узлового напряжения.

Задание 1.

Составить уравнение по первому закону Киргофа

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

Тема: Расчёт электрической цепи методом «свёртывания» и узловых контурных уравнений

Цель: Научиться проводить расчеты

Оборудование: Мультиметр

Справочный материал

1. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для спо / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-6756-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152467>

2. Тимофеев, И. А. Основы электротехники, электроники и автоматики. Лабораторный практикум : учебное пособие для спо / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 196 с. — ISBN 978-5-8114-6827-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153638>

Содержание работы

При расчете сложных цепей методом узловых и контурных уравнений (по законам Кирхгофа) необходимо решать систему из большого количества уравнений, что значительно затрудняет вычисления.

Так, для схемы рис. 4.13 необходимо составить и рассчитать систему из 7-ми уравнений.

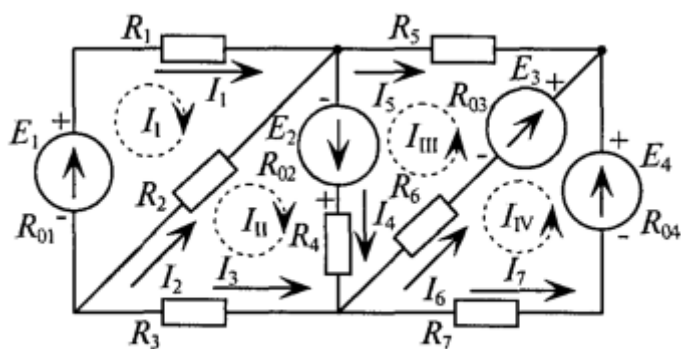


Рис. 4.13

Ту же задачу можно решить, записав только 4 уравнения по второму закону Кирхгофа, если воспользоваться методом контурных токов.

Суть метода состоит в том, что в схеме выделяют t независимых контуров, в каждом из которых произвольно направлены (см. пунктирные стрелки) контурные

токи $I_I, I_{II}, I_{III}, I_{IV}$. Контурный ток — это расчетная величина, измерить которую невозможно.

Как видно из рис. 4.13, отдельные ветви схемы входят в два смежных контура. Действительный ток в такой ветви определяется алгебраической суммой контурных токов смежных контуров.

Таким образом

$$\begin{aligned} I_1 &= I_I; \quad I_2 = I_{II} - I_I; \quad I_3 = -I_{III}; \quad I_4 = I_{II} + I_{III}; \\ I_5 &= -I_{III}; \quad I_6 = I_{III} - I_{IV}; \quad I_7 = I_{IV}. \end{aligned}$$

Для определения контурных токов составляют m уравнений по второму закону Кирхгофа. В каждое уравнение входит алгебраическая сумма ЭДС, включенных в данный контур (по одну сторону от знака равенства), и общее падение напряжения в данном контуре, созданное контурным током данного контура и контурными токами смежных контуров (по другую сторону знака равенства).

Для данной схемы необходимо составить 4 уравнения (знаком «плюс» записываются ЭДС и падения напряжения на разных сторонах знака равенства), действующие в направлении контурного тока, со знаком «минус» — направленные против контурного тока.

схема уравнений для схемы

$$\begin{aligned} E_1 &= I_I (R_{01} + R_1 + R_2) - I_{II} R_2, \\ E_2 &= I_{II} (R_{02} + R_4 + R_3 + R_2) - I_I R_2 + I_{III} (R_{02} + R_4), \\ E_2 + E_3 &= I_{III} (R_{02} + R_4 + R_6 + R_{03} + R_5) + I_{II} (R_{02} + R_4) - \\ &\quad - I_{IV} (R_{03} + R_6), \\ E_4 - E_3 &= I_{IV} (R_{04} + R_{03} + R_6 + R_7) - I_{III} (R_{03} + R_6). \end{aligned}$$

Решением системы уравнений вычисляются значения контурных токов, которые и определяют действительные токи в каждой схеме (рис. 4.13).

Пример задачи с решением 4.11

Определить токи во всех участках сложной цепи (рис. 4.14), если:

$$\begin{aligned} E_1 &= 130 \text{ В}; \quad E_2 = 40 \text{ В}; \quad E_3 = 100 \text{ В}; \quad R_1 = 1 \text{ Ом}; \quad R_2 = 4,5 \text{ Ом}; \quad R_3 = 2 \text{ Ом}; \\ R_4 &= 4 \text{ Ом}; \quad R_5 = 10 \text{ Ом}; \quad R_6 = 5 \text{ Ом}; \quad R_{02} = 0,5 \text{ Ом}; \quad R_{01} = R_{03} = 0. \end{aligned}$$

Решение

Не обходимо составить 3 уравнения по второму закону Кирхгофа для определения контурных токов I_I , I_{II} и I_{III} (направление токов выбрано произвольно указано

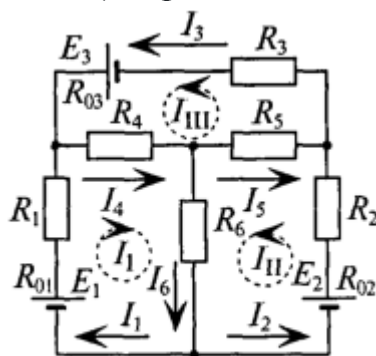


Рис. 4.14

пунктирными линиями).

$$E_1 = I_I(R_{01} + R_1 + R_4 + R_6) + I_{III}R_4 + I_{II}R_6;$$

$$E_2 = I_{II}(R_{02} + R_2 + R_5 + R_6) - I_{III}R_5 + I_I R_6;$$

$$E_3 = I_{III}(R_{03} + R_3 + R_5 + R_4) + I_I R_4 - I_{II} R_5.$$

Подставляются числовые значения величин

$$130 = I_I \cdot 10 + I_{III} \cdot 4 + I_{II} \cdot 5;$$

$$40 = I_{II} \cdot 20 - I_{III} \cdot 10 + I_I \cdot 5;$$

$$100 = I_{III} \cdot 16 + I_I \cdot 4 - I_{II} \cdot 10.$$

Из уравнения (2) определяется ток I_I

$$I_I = \frac{40 - I_{II} \cdot 20 + I_{III} \cdot 10}{5} = 8 - I_{II} \cdot 4 + I_{III} \cdot 2. \quad (2')$$

Значение тока I_I (выражение (2')) подставляется в

$$130 = (8 - I_{II} \cdot 4 + I_{III} \cdot 2) \cdot 10 + I_{III} \cdot 4 + I_{II} \cdot 5 = 80 - 40 \cdot I_{II} + 20 \cdot I_{III} + 4 \cdot I_{III} + 5 \cdot I_{II}$$

уравнение

$$\text{или } 50 = I_{III} \cdot 24 - I_{II} \cdot 35.$$

То же значение тока I_I подставляется в уравнение (3):

$$3) 100 = I_{III} \cdot 16 + (8 - I_{II} \cdot 4 + I_{III} \cdot 2) \cdot 4 - I_{II} \cdot 10 = 16 \cdot I_{III} + 32 - 16 I_{II} + 8 \cdot I_{III} - 10 \cdot I_{II}$$

$$\text{или } 68 = I_{III} \cdot 24 - I_{II} \cdot 26.$$

Из полученного уравнения (3) вычитается полученное уравнение (1). В результате получим

$$18 = I_{II} \cdot 9.$$

Откуда контурный ток $I_{II} = \frac{18}{9} = 2 \text{ A}.$

Из уравнения (3) определяется контурный ток I_{III}

$$I_{III} = \frac{68 + I_{II} \cdot 26}{24} = \frac{68 + 2 \cdot 26}{24} = 5 \text{ A.}$$

Из уравнения (2') определяется ток I_I

$$I_I = 8 - I_{II} \cdot 4 + I_{III} \cdot 2 = 8 - 8 + 10 = 10 \text{ A.}$$

Вычисляются реальные токи в заданной цепи:

$$\begin{aligned} I_1 = I_I &= 10 \text{ A}; \quad I_2 = I_{II} = 2 \text{ A}; \quad I_3 = I_{III} = 5 \text{ A}; \\ I_4 = I_I + I_{III} &= 10 + 5 = 15 \text{ A}; \quad I_5 = I_{III} - I_{II} = 5 - 2 = 3 \text{ A}; \\ I_6 = I_I + I_{II} &= 10 + 2 = 12 \text{ A.} \end{aligned}$$

Проверяется правильность решения для 1-го контура (рис. 4.14).

$$\begin{aligned} E_1 &= I_1 R_1 + I_4 R_4 + I_6 R_6; \\ 130 &= 10 \cdot 1 + 15 \cdot 4 + 12 \cdot 5 = 130 \text{ В.} \end{aligned}$$

Решение правильное.

Такую же проверку можно произвести и для других контуров (2-го и 3-го):

$$\begin{aligned} E_2 &= I_1(R_1 + R_{02}) - I_5 R_5 + I_6 R_6 \\ \text{или } 40 &= 2 \cdot 5 - 3 \cdot 10 + 12 \cdot 5 = 40 \text{ В.} \\ E_3 &= I_3(R_3 + R_{03}) + I_4 R_4 + I_5 R_5 \\ \text{или } 100 &= 5 \cdot 2 - 15 \cdot 4 + 3 \cdot 10 = 100 \text{ В.} \end{aligned}$$

Задание 1.

Составить уравнение по второму закону Кирхгофа

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

Тема : Расчет магнитного поля провода с током и магнитного поля катушки.

Цель : Приобретение практических навыков расчёта параметров магнитного поля

Оборудование: Трансформатор, мультиметр

Справочный материал

1. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для спо / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-6756-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152467>

2. Тимофеев, И. А. Основы электротехники, электроники и автоматики. Лабораторный практикум : учебное пособие для спо / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 196 с. — ISBN 978-5-8114-6827-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153638>

Содержание работы

По проводнику диаметром $d_{пр}$ проходит ток I . Найти напряженность магнитного поля H в точках, удаленных от центра провода на расстояние $r_1, r_2, r_3 \dots r_n$. Построить в масштабе график $H = f(r)$. Данные своего варианта взять из таблицы . Катушка с кольцевым сердечником круглого сечения изготовлена из электротехнической стали с относительной магнитной проницаемостью μ . Внутренний радиус сердечника r_1 , наружный радиус сердечника r_2 . Обмотка катушки содержит ω витков, по которым протекает ток I . Вычислить напряженность магнитного поля H , магнитную индукцию B и магнитный поток Φ в сердечнике катушки

Проанализировать расположение заданных точек: установить, находятся ли заданные точки внутри проводника или за его пределами . Определить плотность тока в проводе. По закону полного тока определить намагничивающую силу F_i вдоль замкнутого контура (окружности), проходящего через точку, расположенную внутри проводника. Расчёт произвести для всех точек, находящихся внутри проводника. Найти напряженность магнитного поля H_i в каждой из рассмотренных точек. Определить напряженность магнитного поля H_i в точках, расположенных за пределами проводника. Построить график $H = f(r)$, выбрав предварительно масштаб по каждой из осей и произведя в выбранном масштабе разметку осей

Задание 1.

Определите направление магнитного потока в катушке

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

Тема : Изучение электроизмерительных приборов различных типов

Цель: Изучение электроизмерительных приборов, используемых в лабораторных работах. Получение представлений о пределе измерения и цене деления, абсолютной и относительной погрешности, условиях эксплуатации и других характеристиках стрелочных электроизмерительных приборов, получение навыков работы с цифровыми измерительными приборами.

Оборудование: Амперметр, вольтметр, омметр ,ваттметр

Справочный материал:

1. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для спо / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-6756-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152467>

2. Тимофеев, И. А. Основы электротехники, электроники и автоматики. Лабораторный практикум : учебное пособие для спо / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 196 с. — ISBN 978-5-8114-6827-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153638>

Содержание работы:

К электроизмерительным приборам относятся приборы для измерения величины тока (амперметры), напряжения (вольтметры), мощности (ваттметры) и сопротивления (омметры) в цепях постоянного и переменного тока.

На панелях электроизмерительных приборов указываются их технические характеристики:

- 1) единицы измеряемых величин
- 2) класс точности прибора;
- 3) система прибора;
- 4) наличие защиты измерительной цепи от магнитных или электрических полей и вид преобразователя;
- 5) рабочее положение прибора и испытательное напряжение изоляции измерительной цепи по отношению к корпусу;
- 6) род тока и число фаз;
- 7) устойчивость к климатическим воздействиям.

Здесь могут быть также указаны внутреннее сопротивление измерительного механизма, ток, отклоняющий стрелку на всю шкалу прибора, падение напряжения на внутреннем сопротивлении, год изготовления и заводской номер.

Кроме того, в соответствии с ГОСТом 1969 г., электроизмерительные приборы классифицируются также:

- а) по положению нулевой отметки на шкале: с односторонней шкалой, с двусторонней симметричной шкалой и двусторонней несимметричной и безнулевой шкалой;
- б) по количеству диапазонов измерений: однопредельные и многопредельные (несколькими диапазонами измерений);

в) по конструкции отсчетного устройства: со стрелочным, световым или вибрационным указателем, с подвижной шкалой, с пишущим устройством, с цифровой индикацией;

г) по характеру шкалы: с равномерной шкалой, с неравномерной шкалой, (степенной, логарифмической)

Как уже указывалось, электроизмерительные приборы встречаются со стрелочным и световым указателем и цифровой индикацией, в которых применяются электронные методы измерения и представления информации без преобразования ее в механическое движение. Стрелочный указатель представляет собой перемещающийся по шкале стрелку, жестко скрепленную с подвижной частью прибора. Световой способ отсчета заключается в следующем: на оси подвижной части закрепляется зеркальце, освещаемое специальным осветителем; луч света, отраженный от зеркальца, попадает на шкалу и отображается на ней в виде светового пятна с темной нитью посередине. Световой отсчет позволяет существенно увеличить чувствительность прибора, во-первых, вследствие того, что угол поворота отраженного луча вдвое больше угла поворота зеркальца, а во-вторых, потому, что длину луча можно сделать весьма большой.

На корпусе приборов как правило устанавливается **корректор** – приспособление, предназначенное для установки прибора в нулевое положение, и **арретир** - устройство, предназначенное для предохранения подвижной части прибора от повреждений при переноске, транспортировке и хранении.

Таблица 1

Обозначение единиц измеряемых величин на приборах.

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Ампер	A	Ом	Om
Килоампер	kA	Килоом	k
Миллиампер	mA	Магом	M
Микроампер	mkA	Миллиом	m
Вольт	V	Микроом	mkOm
Киловольт	kV	Микрофарада	F

Милливольт	mV	Пикофарада	pF
Ватт	W	Генри	H
Киловатт	kW	Миллигенри	mH
Мегаватт	MW	Микрогенри	н
Мегавар	Mvar	Коэффициент мощности	Sin Y

Таблица

2

Обозначения, характеризующие вид преобразователя и наличие защиты измерительной цепи













НАИМЕНОВАНИЕ	ОБОЗНАЧЕНИЕ
Выпрямитель полупроводниковый	
Выпрямитель электромеханический	
Электронный преобразователь	
Термоэлектрический преобразователь	
Защита от внешних магнитных полей	
Защита от внешних электрических полей	

Таблица 3

Обозначения, характеризующие рабочее положение приборов и прочность изоляции по отношению к корпусу

Наименование	Обозначение
Вертикальное положение	
Горизонтальное положение	
Наклонное положение	
Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением (например, 2 кВ)	
Осторожно! Прочность изоляции измерительной цепи не соответствует нормам!	
Внимание! Смотри дополнительные указания в паспорте прибора.	

Приборы магнитоэлектрической системы

Действие приборов магнитоэлектрической системы основано на взаимодействии магнитного потока постоянного магнита и измеряемого тока, проходящего по обмотке подвижной катушки, помещенной в этом магнитном поле (рисунок 1).

Основными частями прибора являются постоянный магнит 2, между полюсами 1 которого укреплен ферромагнитный сердечник 3 цилиндрической формы. Сердечник предназначен для уменьшения магнитного сопротивления между полюсами и обеспечения равномерного распределения магнитного потока в воздушном зазоре. В воздушном зазоре между полюсами постоянного магнита и сердечником расположена катушка 4, которая жестко связана с осью и стрелкой, перемещающейся своим концом по шкале прибора. При прохождении тока через катушку возникает магнитное поле, которое взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита.

Электромагнитный вращающий момент, действующий на катушку, пропорционален силе тока и магнитной индукции в воздушном зазоре. Так как магнитное поле в воздушном зазоре распределено равномерно и направлено радиально, а противодействующий момент, создаваемый пружинами, пропорционален углу поворота подвижной части прибора, то угловое отклонение стрелки пропорционально измеряемому току, то есть $\alpha = SI$, где S - чувствительность прибора.

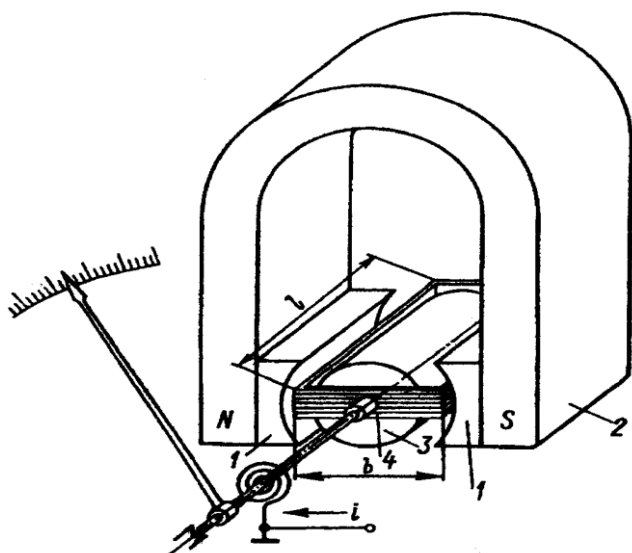


Рисунок 1

Достоинства приборов магнитоэлектрической системы: высокая чувствительность, большая точность, относительно небольшое влияние внешних магнитных полей, малое потребление энергии, малое влияние температуры, равномерность шкалы.

Недостатки: работает только в цепи постоянного тока, чувствителен к перегрузкам, высокая стоимость, обусловленная сложностью конструкции.

Электроизмерительные приборы магнитоэлектрической системы предназначены для измерения силы тока и напряжения в качестве амперметров и вольтметров. Магнитоэлектрический прибор является составной частью омметра, с помощью которого непосредственно измеряют электрическое сопротивление.

Применяя термопреобразователи и выпрямители, магнитоэлектрические приборы используют для измерений в цепях переменного тока.

Почти все технические измерения в цепях постоянного тока осуществляются приборами данной системы. Лишь в немногих случаях, когда значение имеет не точность, а дешевизна и надежность приборов, постоянный ток измеряется электроизмерительными приборами электромагнитной системы.

Задание 1.

Приведите все достоинства магнитоэлектрической системы

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6

Тема : Изучение электроизмерительных приборов различных типов

Цель: Изучение электроизмерительных приборов, используемых в лабораторных

работах. Получение представлений о пределе измерения и цене деления, абсолютной и относительной погрешности, условиях эксплуатации и других характеристиках стрелочных электроизмерительных приборов, получение навыков работы с цифровыми измерительными приборами.

Оборудование: Амперметр, вольтметр, омметр ,ваттметр

Справочный материал

1. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для спо / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-6756-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152467>

2. Тимофеев, И. А. Основы электротехники, электроники и автоматики. Лабораторный практикум : учебное пособие для спо / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 196 с. — ISBN 978-5-8114-6827-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153638>

Содержание работы:

Действие приборов электромагнитной системы основано на взаимодействии магнитного поля тока неподвижной катушки 1 и сердечника 2 из ферромагнитного материала, выполненного в форме пластины (рисунок 2). Созданное измеряемым током магнитное поле катушки намагничивает сердечник и втягивает его в катушку, поворачивая при этом стрелку, укрепленную на одной оси с сердечником. При изменении направления тока в катушке меняются и магнитные полюса сердечника, следовательно, направление перемещения подвижной частей остается неизменным, и прибор оказывается пригодным для измерения в цепях как постоянного, так и переменного токов.

Угол поворота а стрелки прибора определяется по формуле

$$\alpha = k \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{d\alpha}$$

где I - ток, протекающий по катушке; L-индуктивность катушки; k - постоянный коэффициент.

Противодействующий момент создается пружиной 3, воздушный успокоитель 4 обеспечивает плавное перемещение стрелки.

Так как угол поворота стрелки пропорционален квадрату силы тока, а производная индуктивности катушки является величиной непостоянной, то шкала прибора оказывается неравномерной.

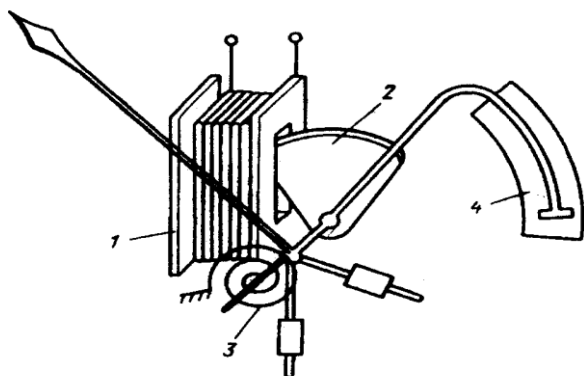


Рисунок 2

Достоинства приборов электромагнитной системы: пригодность для работы в цепях постоянного и переменного токов, простота и надежность конструкции, дешевизна, устойчивость к перегрузкам.

Недостатки: чувствительность к внешним магнитным полям, сравнительно большая потребляемая мощность, относительно низкие чувствительность и точность.

Область применения: в качестве амперметров и вольтметров для технических измерений.

В лабораторных приборах высокого класса точности для уменьшения влияния внешних магнитных полей применяют экранирование.

Приборы электродинамической и ферродинамической систем

Действие приборов электродинамической и ферродинамической систем основано на взаимодействии магнитных полей двух катушек, по которым проходят токи.

Различие приборов электродинамической и ферродинамической систем заключается в отсутствии и наличии соответственно ферромагнитных сердечников у катушек.

На рисунке 3 схематически показано устройство электроприбора электродинамической системы. Катушка 2 неподвижна, катушка 1 имеет возможность поворачиваться на оси 3. Ток i_2 к подвижной катушке подводится при помощи двух спиральных пружин, служащих одновременно и для создания противодействующего момента.

Угол поворота α подвижной катушки и связанной с ней стрелки пропорционален произведению токов подвижной i_2 и неподвижной 1, катушек, т.е.

$$\alpha = k \cdot I_1 \cdot I_2$$

где k - постоянный коэффициент.

Приборы этих систем могут работать как в цепях постоянного тока, так и переменного, поскольку направление магнитных полей обеих катушек меняется синхронно, и, следовательно, направление вращающего момента и перемещения

стрелки не меняются; при этом угол α будет дополнительно пропорционален косинусу угла φ сдвига фаз токов катушек, т.е.

$$\alpha = k \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi$$

Наличие двух катушек у приборов электродинамической и ферродинамической систем дает возможность включать каждую из них в разные участки электрической цепи, что позволяет измерить не только отдельные величины (например, ток или напряжение), но и величины, пропорциональные их произведению, например, мощность. Если неподвижную катушку включить последовательно в цепь с нагрузкой, а подвижную - параллельно нагрузке, то ток в первой из них будет равен току нагрузки, а во второй будет пропорционален напряжению, приложенному к нагрузке. В этом случае выражение для угла поворота стрелки примет вид

$$\alpha = k \cdot \frac{U}{R_1} \cdot I_1 \cdot \cos \varphi = k \cdot \frac{P}{R_1}$$

где R_1 - сопротивление обмотки подвижной катушки;

$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ - активная мощность.

Так как в приборах электродинамической системы используют магнитные потоки, действующие в воздухе, то исключается возможность возникновения различного рода погрешностей, связанных с вихревыми токами, гистерезисом и т.п.

Благодаря этому они обладают рядом достоинств, основные из которых: относительно высокая точность и пригодность для измерений в цепях постоянного и переменного токов.

Однако действующие в приборах электродинамической системы магнитные поля относительно слабы, что обуславливает ряд их недостатков: повышенную потребляемую мощность (повышенные токи в катушках), необходимую для создания достаточных магнитных потоков и, следовательно, вращающего момента; повышенную чувствительность к внешним магнитным полям, что требует применения защитных экранов; низкую перегрузочную способность и, как следствие, относительно высокую стоимость.

В приборах ферродинамической системы магнитные потоки действуют, в основном, в магнитопроводе, выполненном из магнитомягкого ферромагнитного материала, благодаря чему они слабо подвержены воздействию внешних магнитных полей. Это достоинство; однако, применение магнитопроводов существенно снижает точность приборов вследствие влияния гистерезиса и вихревых токов; наиболее высокий класс точности у них - 0,5.

Приборы электродинамической и ферродинамической систем используются в качестве измерителей силы тока - амперметров, напряжения - вольтметров, мощности - ваттметров и сдвига фаз - фазометров.

Шкала прибора

Движущаяся стрелка и шкала образуют устройство отсчета измерительного прибора. Шкала представляет собой совокупность отметок и проставленных у некоторых из них чисел отсчета, соответствующих ряду последовательных значений измеряемой величины. Промежуток между двумя соседними отметками шкалы называется делением шкалы. Разность значений измеряемой величины, соответствующих соседним отметкам, называется ценой деления шкалы. Наименьшее значение измеряемой величины, указанное на шкале, называется нижним, а наибольшее - верхним пределами измерения прибора; разность между верхним и нижним пределами - диапазон измерения прибора. Нижний предел у электроизмерительных приборов чаще всего устанавливается равным нулю, однако он может быть как положительным, так и отрицательным числом, отличным от нуля. В зависимости от принципа действия и особенностей конструктивного устройства измерительные приборы могут иметь равномерную шкалу (длина деления в угловых или линейных единицах одинакова по всей шкале) или неравномерную (длина деления или цена деления разные на участках шкалы). У приборов повышенной точности шкалу обычно выполняют зеркальной, что снижает до минимума ошибку при отсчете показания прибора. Многопредельные или универсальные приборы могут иметь не одну, а иногда и несколько шкал с разной ценой деления.

Для правильного отсчета показания измерительного прибора необходимо предварительно определить цену деления шкалы. Цена деления c определяется как отношение разности двух значений A_1 и A_2 измеряемой величины, соответствующих двум числовым отметкам шкалы, в том числе нижнему и верхнему пределам измерения, к числу делений шкалы между этими отметками ΔN

$$c = \frac{A_1 - A_2}{\Delta N}$$

У многопредельных измерительных приборов цена деления шкалы определяется с учетом конкретного верхнего предела измерения, установленного с помощью переключателя пределов. У многопредельных ваттметров цена деления определяется как отношение произведения предельных (номинальных) значений напряжения и тока, подводимых к прибору и указанных у соответствующих переключателей или присоединительных клемм, к полному числу делений шкалы.

Точность измерительных приборов

Точность - важнейшее свойство измерительных приборов и измерений, выполняемых с их помощью. Точность прибора характеризуется его погрешностями. Различают несколько видов погрешностей: абсолютную, относительную и приведенную. Абсолютная погрешность Δ представляет собой разность между показанием прибора (значением измеряемой величины) a_n и действительным значением a_0 измеряемой величины

$$\Delta = a_n - a_0$$

Относительная δ и приведенная γ погрешности представляет собой отношение, в процентах, абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины или к нормирующему значению a_N , в качестве которого принимают диапазон измерений или верхний предел измерений прибора.

$$\delta = \frac{\Delta}{a_d} \cdot 100\%$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{a_N} \cdot 100\%$$

Погрешности конкретных экземпляров измерительных приборов носят индивидуальный характер и могут принимать разные значения, однако они у исправных приборов не должны выходить за пределы допускаемых погрешностей, устанавливаемых в нормативной документации на приборы данного типа. Для электроизмерительных приборов такой предел без учета знака устанавливают для приведенной погрешности γ_n и называют его классом точности. Класс точности указывается в документации на измерительные приборы, а также наносится на их лицевые панели или циферблаты без указания обозначения процента. Количество и значения классов точности установлены стандартами в виде ограниченного числового ряда, который для электроизмерительных рабочих приборов имеет вид: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5- 1015-2,5; 4,0.

Для оценки точности результата конкретного измерения с помощью данного измерительного прибора необходимо знать пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm \Delta_n$, которые можно вычислить по известным классу точности и верхнему пределу (диапазону) измерений прибора по формуле

$$\Delta = \pm \frac{\gamma_n \cdot a_N}{100}$$

Зная пределы допускаемой абсолютной погрешности, можно представить полный результат измерения в виде

$$a_H \pm \Delta_n$$

Сведения о технических данных измерительных приборов













Технические, в том числе и эксплуатационные, данные и характеристики измерительных приборов приводятся не только в технической документации; основные из них указываются на самих приборах - на циферблатах и (или) на передних панелях. К ним обычно относятся: обозначение единицы измеряемой величины, что определяет и название прибора, диапазон измерения, класс точности, род измеряемого тока, частота измеряемого тока, положение прибора в пространстве (вертикальное, горизонтальное, наклонное), условное обозначение системы прибора, условное обозначение категории защищенности от влияния внешнего магнитного поля, значение напряжения, которыми испытана изоляция измерительной цепи от корпуса прибора, условное обозначение группы эксплуатации прибора и некоторые другие.

По условиям эксплуатации приборы разделяют на 4 группы. Соответственно их обозначение - А, Б, В, Г, которое на циферблате прибора обычно заключается в треугольник.

Группа А - приборы предназначены для работы в закрытых сухих отапливаемых помещениях; Б - для работы в закрытых неотапливаемых помещениях; В - для работы в полевых или морских условиях; Г - для работы в условиях тропического климата.

Основные условные обозначения, наносимые на циферблате электроизмерительных приборов, представлены в таблице 4.

Таблица 4

Наименование объекта обозначения	Условное обозначение
Амперметр	$\mu A, A$
Вольтметр	$\mu V, V$
Ваттметр	$\mu W, W$
Прибор магнитоэлектрической системы	
Прибор электромагнитной системы	
Прибор электродинамической системы	
Прибор ферродинамической системы	
Постоянный ток	
Переменный ток	
Постоянный и переменный ток	
Трехфазный ток	
Трехфазный ток для неравномерной нагрузки	
Горизонтальное положение прибора	
Вертикальное положение прибора	
Наклонное положение прибора, например, под углом 60°	
Класс точности прибора, например, 1,5	1,5 
Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением, например, 2 кВ	 2 кВ
Защита от внешних магнитных полей	
Защита от внешних электрических полей	
Выпрямительный прибор	

Включение приборов для измерения тока, напряжения, мощности

Для измерения тока в цепь включают амперметр последовательно с объектом, ток в котором подлежит измерению (рисунок 4). Во избежание изменения параметров цепи амперметр (его измерительная цепь) должен иметь возможно малое внутреннее сопротивление x_A .

В цепях постоянного тока используют магнитоэлектрические, реже электромагнитные амперметры. В цепях переменного тока на частоте 50 Гц - электромагнитные и электродинамические амперметры, выпрямительные миллиамперметры.

Включение электродинамического амперметра, который имеет две катушки, соединенные при измерении тока параллельно, показано на рисунке 6.

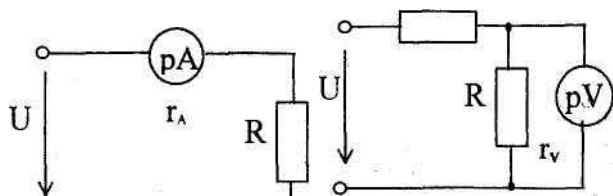


Рисунок 4 Рисунок 5

Для измерения напряжения на каком-либо участке цепи вольтметр включают параллельно этому участку (рисунок 5). Во избежание изменения параметров цепи вольтметр должен иметь большое внутреннее сопротивление r_v по сравнению с сопротивлением цепи.

В цепях постоянного тока для измерения напряжений применяют магнитоэлектрические вольтметры. В цепях переменного тока - преимущественно электромагнитные вольтметры, а для более точных измерений - электродинамические.

Включение электродинамического вольтметра, катушки которого в этом случае имеют большое число витков и снабжаются добавочным сопротивлением, показано на рисунке 6.

Для измерения малых переменных напряжений используют выпрямительные и электромагнитные вольтметры, а при повышенных частотах - электронные вольтметры.

Для измерения малых переменных напряжений используют выпрямительные и электромагнитные вольтметры, а при повышенных частотах - электронные вольтметры.

Для измерения мощности (в цепях переменного тока - активной мощности) в цепь включают ваттметр, при этом одна его катушка (неподвижная, с малым сопротивлением) включается последовательно, другая (подвижная, с большим сопротивлением), при необходимости, с добавочным резистором - параллельно нагрузке, потребляемую мощность которой необходимо измерить (рисунок 6).

В цепях постоянного тока, а также в цепях переменного тока, содержащих только активные элементы, мощность (в цепях переменного тока - активную мощность) можно измерить косвенно с помощью амперметра и вольтметра, измеряющих одновременно ток и напряжение в одной и той же нагрузке.

На схеме (рисунок 7) показано включение в цепь амперметра, вольтметра и ваттметра с использованием их условных обозначений.

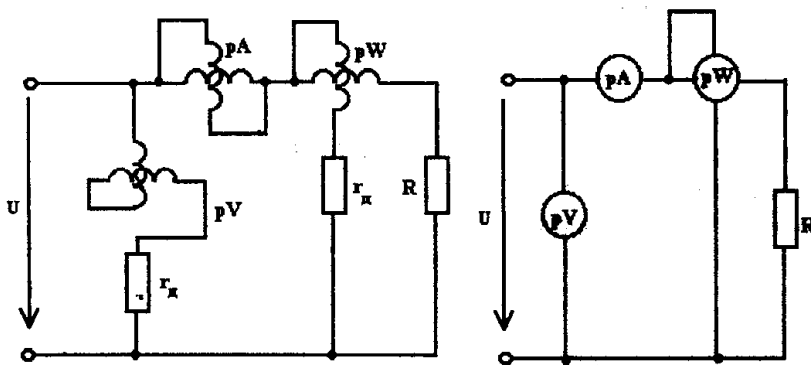


Рисунок 6 Рисунок 7

Задание 1.

По условиям эксплуатации На какие группы подразделяются приборы?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7

Тема: Проверка проводимости диода

Цель: Выработка определения «односторонняя проводимость полупроводникового диода»

Оборудование: источник ЭДС; резистор; реостат; полупроводниковый диод; амперметр; вольтметр; соединительные провода.

Справочный материал

1. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для спо / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-6756-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152467>

2. Тимофеев, И. А. Основы электротехники, электроники и автоматики. Лабораторный практикум : учебное пособие для спо / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 196 с. — ISBN 978-5-8114-6827-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153638>

Содержание работы:

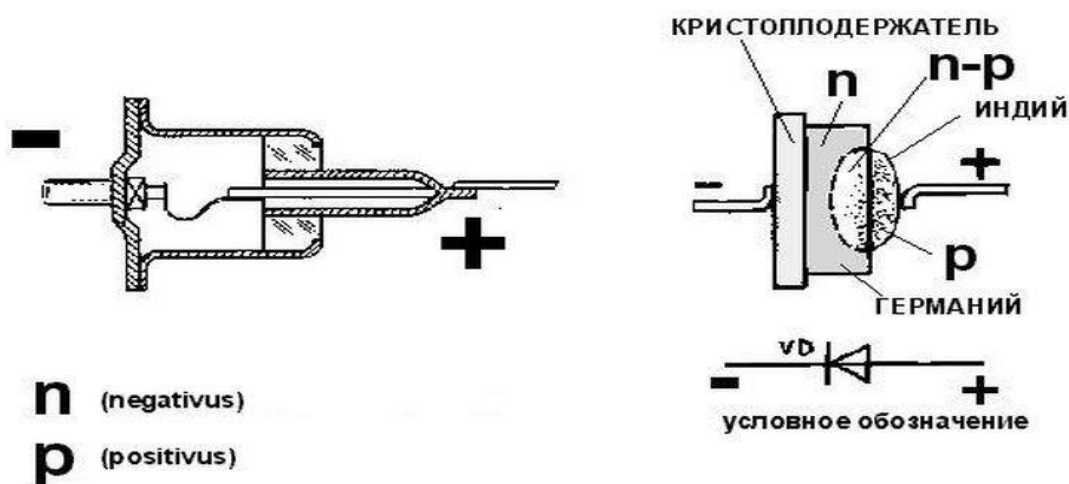
Диод (от ди.-греч. — два и -од означающего путь) — двухэлектродный электронный прибор, обладает различной проводимостью в зависимости от направления электрического тока.

Электрод диода, подключённый к положительному полюсу источника тока, когда диод открыт (то есть имеет маленькое сопротивление), называют анодом, подключённый к отрицательному полюсу — катодом.

Полупроводниковый диод — полупроводниковый прибор, во внутренней структуре которого сформирован один p-n переход

Для объяснения односторонней проводимости полупроводникового диода необходимо обратиться к его конструкции

ДИОД ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ



RADIOKOT.RU

Полупроводниковый диод нашел широкое применение в электронных схемах электровозов и других электронных приборах применяемых на железной дороге:

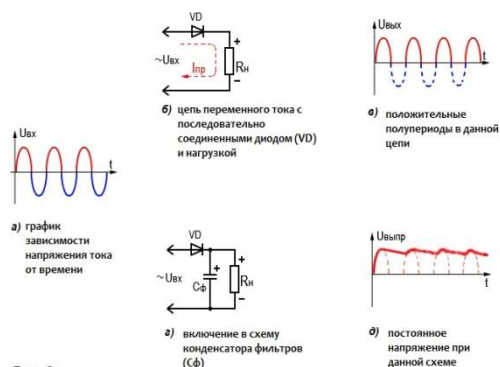
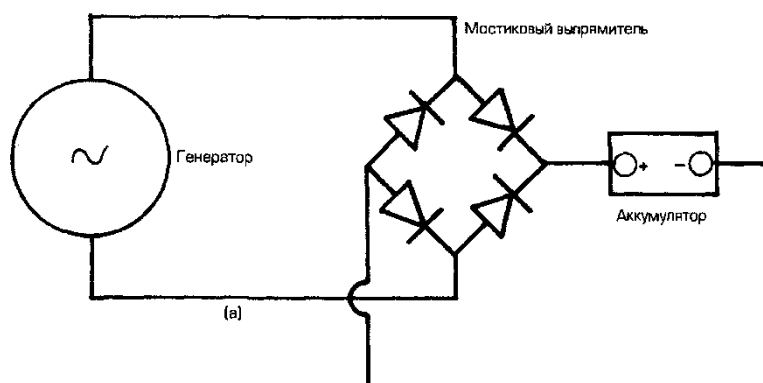


Рис. 2

Диодный мост



Задание 1.

Проверка на не исправность диода

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №8

Тема: Изучение работы биполярного транзистора, тиристора.

Цель: изучить основные параметры и свойства тиристоров, научиться их рассчитывать и выбирать.

Оборудование: Биполярный транзистор, тиристор

Справочный материал

1. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для спо / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-6756-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152467>

2. Тимофеев, И. А. Основы электротехники, электроники и автоматики. Лабораторный практикум : учебное пособие для спо / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 196 с. — ISBN 978-5-8114-6827-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153638>

Содержание работы:

Тиристорами называют полупроводниковые приборы с тремя и более p-n-переходами, имеющие S-образную вольт-амперную характеристику. Устройство тиристора схематично показано на рис. 1.

При изготовлении тиристора берут пластину полупроводника с параметрами области n_1 и методом двухсторонней диффузии формируют области p_1 и p_2 . Затем методом односторонней диффузии формируют область n_2 . При такой технологии

изготовления наименее легированной будет область p_1 , а наиболее легированной - область p_2 .

Контакт к внешнему p-слою называют **анодом**, а к внешнему n-слою - **катодом**. Внутренние области p- и n-типа называют **базами**. Выводы от баз образуют **управляющие электроды УЭ1 и УЭ2**.

В зависимости от числа выводов тиристоры делят на

диодные (динисторы), имеющие два вывода - от анода и катода;

триодные (тиристоры), имеющие выводы от анода, катода и одной из баз;

тетродные, имеющие выводы от всех областей.

В начале своего развития тиристоры претендовали на роль многофункционального прибора. На них пытались делать триггеры, счётчики, мультивибраторы и другие самые разнообразные электронные устройства. Однако постепенно выяснилось, что по большинству направлений они не выдерживают конкуренции с другими полупроводниковыми приборами. Единственная область, в которой тиристоры продемонстрировали высокую конкурентоспособность - это мощные токовые ключи различного назначения, в качестве которых они сейчас успешно и широко используются.

При использовании в качестве токового ключа тиристор включается последовательно с источником питания и нагрузкой (рис. 1). В процессе работы тиристор может находиться в одном из двух возможных состояний. В одном из них тиристор **выключен** или **закрыт**. В этом состоянии тиристор имеет высокое сопротивление и ток в нагрузке практически равен нулю. Во втором состоянии тиристор **включен** или **открыт**. В этом состоянии тиристор имеет малое сопротивление, и ток в цепи определяется сопротивлением нагрузки.

Рассмотрим физические процессы в тиристоре, для чего представим его в виде двух биполярных транзисторов (рис. 2). На физические процессы в тиристоре основное влияние оказывают два фактора: зависимость коэффициента передачи по току от тока эмиттера и лавинное умножение носителей в обеднённом слое коллекторного перехода.

Если на анод подано отрицательное напряжение, то центральный переход П2 будет смещён в прямом направлении, а крайние переходы П1 и П3 - в обратном. В этом случае полярность напряжений на переходах соответствует режиму отсечки транзисторов VT1, VT2 и через тиристор будет протекать обратный ток двух последовательно включенных переходов П1 и П3.

При положительном напряжении на аноде крайние переходы П1 и П3 будут смещены в прямом направлении, а центральный переход П2 - в обратном. В этом случае полярность напряжений на переходах соответствует активному режиму работы транзисторов VT1 и VT2. Как видно из рис. 2, выходной ток транзистора VT1 является входным током транзистора VT2, а выходной ток транзистора VT2 - входным током транзистора VT1, т. е. транзисторы VT1 и VT2 образуют двухкаскадный усилитель, выход которого соединён со входом. В такой схеме возможен регенеративный процесс лавинообразного нарастания тока.

При небольших положительных напряжениях на аноде через коллекторные переходы будут протекать обратные токи, которые будут усилены транзисторами VT1 и VT2. Но, так как эти токи малы, а при токе эмиттера $I_{\Sigma 0}$

коэффициент передачи тока эмиттера 0, то в тиристоре установится ток, ненамного превышающий $I_{к0}$.

По мере роста напряжения на аноде ток тиристора будет возрастать за счёт лавинного умножения носителей заряда в переходе П2. Это само по себе приводит к увеличению тока тиристора. Но увеличение тока тиристора приводит к возрастанию коэффициентов передачи тока эмиттера транзисторов VT1 и VT2, что влечёт ещё большее увеличение тока тиристора.

При некотором токе коэффициент усиления по петле, образованной транзисторами VT1 и VT2 превысит единицу. При этом если ток не ограничен, то в тиристоре возникает регенеративный процесс лавинообразного нарастания тока, заканчивающийся насыщением транзисторов VT1 и VT2, когда все их переходы будут смещены в прямом направлении. Такой процесс будет происходить в электронном ключе на транзисторе. Если ток ограничен, что имеет место при питании тиристора от источника тока при снятии его вольт-амперной характеристики, то с ростом тока через тиристор напряжение на нём будет падать. Если в цепи управляющего перехода протекает некоторый ток, то это приводит к увеличению тока тиристора и возрастанию коэффициентов передачи тока эмиттера транзисторов VT1 и VT2, что приводит к уменьшению напряжения, при котором начинается регенеративный процесс включения тиристора.

Вольт-амперная характеристика тиристора имеет пять характерных участков

Участок 0-1. Напряжение на аноде положительно, ток незначителен, то есть тиристор закрыт. Этот участок вольт-амперной характеристики соответствует **режиму прямого запираания**.

Участок 1-2. В точках 1 и 2 дифференциальное сопротивление тиристора равно нулю, а между ними - отрицательно. Это участок характеристики с отрицательным дифференциальным сопротивлением тиристора.

Координаты точек 1 и 2 являются параметрами тиристора:

$U_{вкл}$ - **напряжение включения**;

$I_{вкл}$ - **ток включения**;

$I_{уд}$ ($I_{выкл}$) - **ток удержания** (ток выключения);

$U_{уд}$ ($U_{выкл}$) - **напряжение удержания (напряжение выключения)**.

Участок 2-3. На этом участке тиристор открыт, и ток через него ограничен сопротивлением внешней цепи. Участок соответствует **режиму прямой проводимости**.

Участок 0-4. На этом участке напряжение на аноде отрицательно. Ток мал. Тиристор закрыт. Участок соответствует **режиму обратного запираания**.

Участок 4-5. На этом участке наблюдается резкое увеличение тока тиристора при увеличении отрицательного напряжения на аноде. Участок 4-5 соответствует **режиму обратного пробоя**.

Для выключения тиристора при его использовании в качестве токового ключа необходимо каким-либо способом уменьшить ток через тиристор до значения, меньшего тока удержания. Выключить тиристор, подавая какие-либо воздействия на управляющий электрод, в большинстве типов тиристоров невозможно. Однако существуют тиристоры, которые могут быть выключены по управляющему электроду импульсом тока обратного знака. Такие тиристоры называют **запираемыми по управляющему электроду**.

Если в качестве управляющего используется электрод УЭ1, то тиристор называют **управляемым по катоду**, если в качестве управляющего используется электрод УЭ2, то тиристор называют **управляемым по аноду**.

Рассмотренные тиристоры при отрицательном напряжении на аноде закрыты. Такие тиристоры называют **запираемыми в обратном направлении**. Однако существуют тиристоры, **проводящие в обратном направлении**, которые как-бы зашунтированы диодом.

Выпускаются тиристоры, имеющие симметричную вольт-амперную характеристику для обеих полярностей напряжения на аноде. Такие тиристоры называют **симисторами**.

Задание 1.

Назовите все условные обозначения тиристоров

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №9

Тема: Расчёт параметров и составление схем различных типов выпрямителей

Цель: Приобретение навыков расчёта мостового выпрямителя и сглаживающего фильтра.

Оборудование: Выпрямитель, мультиметр

Справочный материал

1. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для спо / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-6756-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152467>

2. Тимофеев, И. А. Основы электротехники, электроники и автоматики. Лабораторный практикум : учебное пособие для спо / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 196 с. — ISBN 978-5-8114-6827-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153638>

Содержание работы:

Исходные данные для расчета выпрямителя:

- номинальное выпрямленное напряжение на нагрузке $U_d = 23 \text{ В}$;
- ток нагрузки $I_d = 0,9 \text{ А}$;
- допустимый коэффициент пульсаций выходного напряжения на нагрузке $k_{п. н.} = 0,011$;
- частота питающей сети $f = 50 \text{ Гц}$;
- количество фаз сети $n = 1$;
- номинальное напряжение, подаваемое на первичную обмотку трансформатора $U_1 = 220 \text{ В}$.

В процессе расчёта выпрямительного устройства нужно выполнить следующие этапы:

- 1 Анализ исходных данных и выбор принципиальной схемы выпрямителя.
- 2 Расчет параметров сглаживающего фильтра.
- 3 Расчет параметров вентильного узла и выбор типа выпрямительных диодов.
- 4 Расчет параметров трансформатора.
- 5 Построение временных диаграмм рассчитанного выпрямителя.

1 Выбор принципиальной схемы выпрямителя

Выбор схемы выпрямителя производят в зависимости от значения требуемой выходной мощности, выходного напряжения, коэффициента пульсаций, числа фаз. Критериями для выбора конкретного вида выпрямителя служат достоинства и недостатки.

Но при отсутствии особых требований основным критерием выбора схемы выпрямления является мощность нагрузки постоянного тока.

Определим мощность нагрузки постоянного тока.

соответствует однофазная мостовая схема выпрямления

Сопротивление нагрузки постоянного тока

Эта схема способна работать со всеми типами фильтров - емкостными, Г- или П- образными LC- и RC- фильтрами.

Достоинства мостовых выпрямителей:

- эффективное использование трансформатора;
- небольшое обратное напряжение на выпрямительных диодах;
- повышенная частота пульсаций.

Недостатки этой схемы для заданных условий несущественны.

2 Основные виды сглаживающих фильтров

и особенности их применения

Режим работы выпрямителя в значительной степени определяется типом сглаживающего фильтра, включенного на его выходе. В маломощных выпрямителях,

питающихся от однофазной сети переменного тока, применяются простейшие ёмкостные фильтры, в выпрямителях средней и большой мощности – Г - образные LC

- и RC - фильтры и П - образные CLC - и CRC - фильтры.

Основным параметром сглаживающих фильтров является коэффициент сглаживания, (1)

где k_p сх. – коэффициент пульсаций напряжения на входе фильтра;

k_p н. – коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке, по заданию k_p н. = 0,07.

Для схем двухполупериодного выпрямления коэффициент пульсаций выпрямленного

напряжения равен k_p н. = 0,07.

Определим минимально-допустимый коэффициент сглаживания.

применять П - образные CLC - и CRC – фильтры, но так как выпрямленный ток, то применять надо CLC – фильтр

Индуктивно-ёмкостный сглаживающий фильтр

Определим минимально-допустимую величину индуктивности дросселя

Задание 1. Построить Временную диаграмму рассчитанного выпрямителя

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №10

Тема: Расчёт параметров и составление схем различных типов выпрямителей

Цель: Приобретение навыков расчёта мостового выпрямителя и сглаживающего фильтра.

Оборудование: Выпрямитель, мультиметр

Справочный материал

1. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для спо / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-6756-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152467>

2. Тимофеев, И. А. Основы электротехники, электроники и автоматики. Лабораторный практикум : учебное пособие для спо / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 196 с. — ISBN 978-5-8114-6827-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153638>

Содержание работы:

Исходные данные для расчета выпрямителя при нагрузке, начинающейся с индуктивного элемента, должны содержать: напряжение питающей сети U_1 ; число фаз питающей сети m ; частоту питающей сети f_1 ; выпрямленное напряжение U_d ; выпрямленный ток I_d .

Выбор схемы. Для работы на индуктивный фильтр чаще всего используются схемы выпрямителей: двухполупериодная, однофазная мостовая, трехфазная нулевая и трехфазная мостовая (схема Ларионова).

Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения по первой гармонике $k_{\text{пуль}}$ на входе сглаживающего фильтра является постоянной величиной для выбранной схемы выпрямителя (см. таблицу 2.1).

Для справки: В некоторых случаях применяют двенадцатифазную схему, состоящую из двух схем Ларионова, включенных последовательно или параллельно. Трансформатор, питающий выпрямитель, имеет две системы вторичных обмоток, одна из которых включена звездой (U_2'), а вторая — треугольником (U_2''). В результате фазы линейных напряжений вторичных обмоток $U_{2\Gamma}'$ и $U_{2\Gamma}''$ оказываются сдвинутыми между собой на угол 30° и вся система в целом получается двенадцатифазной. Коэффициент пульсаций на выходе этой схемы составляет 1,4% полного выпрямленного напряжения. Однако такой

малый уровень пульсаций будет обеспечен только при полном равенстве фазных напряжений на первичной обмотке трансформатора, что на практике случается далеко не всегда. Для того чтобы обе половины выпрямителя давали одинаковые напряжения, фазные напряжения вторичных обмоток, соединенных в треугольник $U_{2\phi}^*$, должны быть в $\sqrt{3}$ раз больше фазных напряжений обмоток, соединенных в звезду $U_{2\phi}'$. В остальном эта схема равноценна обычной схеме Ларионова.

Выбор вентиляей. Для выбора вентиляей определяют значения $I_{\text{пр.ср}}$, $U_{\text{обр.и}}$ и $I_{\text{пр.и}}$ по формулам таблицы 2.1. При этом в формулу для $U_{\text{обр.и}}$ подставляют значение $1,2U_d$ вместо пока неизвестного значения $U_{d\gamma}$. После расчета выпрямителя значение $U_{\text{обр.и}}$ уточняют.

Определяют активное сопротивление обмоток трансформатора $r_{\text{тр}}$ и индуктивность рассеяния обмоток трансформатора L_s , приведенные к фазе вторичной обмотки. Значения k_r , k_L , P_2 , P_r находят из таблицы 2.1.

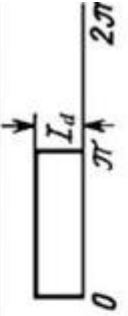
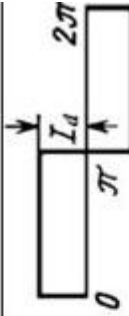

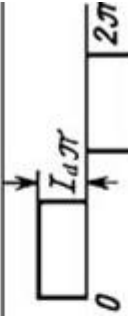
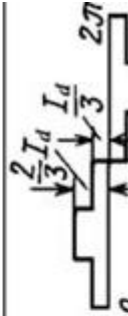
Определяют падение напряжения на активном ΔU_r и реактивном ΔU_x сопротивлениях трансформатора, падение напряжения на диодах в выбранной схеме выпрямителя $U_{\text{пр.сх}}$

Таблица 2. 1

Формулы для расчета выпрямителя с индуктивным фильтром.

Схема выпрямителя	m	$I_{пр.ср}$	$U_{оф.м}$	I_d	k_γ	$k_L \times 10^{-3}$	ΔU_γ	ΔU_L
Двухполупериодная, (со средней точкой)	2	$\frac{I_d}{2}$	$3,14U_{ax} = 2E_2\sqrt{2}$	I_d	7,0	5,5	$I_d r_{TP}$	$2I_d f_1 L_s$
Однофазная мостовая (Грепа)	2	$\frac{I_d}{2}$	$1,57U_{ax} = E_2\sqrt{2}$	I_d	5,2	6,4	$I_d r_{TP}$	$2I_d f_1 L_s$
Трехфазная нулевая (звезда-звезда, треугольник-звезда)	3	$\frac{I_d}{3}$	$2,1U_{ax} = E_2\sqrt{6}$	I_d	6,6	3,3	$I_d r_{TP}$	$3I_d f_1 L_s$
Ларионова (звезда-звезда, треугольник-звезда)	6	$\frac{I_d}{3}$	$1,05U_{ax} = E_2\sqrt{6}$	I_d	2,5	1,0	$2I_d r_{TP}$	$6I_d f_1 L_s$
Ларионова (звезда- треугольник, треугольник- треугольник)	6	$\frac{I_d}{3}$	$1,05U_{ax} = E_2\sqrt{2}$	I_d	7,6	3,0	$\frac{2}{3}I_d r_{TP}$	$4I_d f_1 L_s$

Продолжение табл. 2. 1

Схема выпрямителя	$\Delta U_{прсх}$	E_2	I_2	$I_{пр\pi}$	I_1	P_r	P_2	$k_{пол}, \%$	Форма тока в фазе вторичной обмотки
Двухполупериодная, (со средней точкой)	$U_{пр}(I_d)$	$1,1U_{ax}$	$0,71I_d$	$0,71I_d$	nI_d	$1,34U_{ax}I_d$	$1,57U_{ax}I_d$	67	
Однофазная мостовая (Грепа)	$2U_{пр}(I_d)$	$1,1U_{ax}$	$1,0I_d$	$0,71I_d$	nI_d	$1,1U_{ax}I_d$	$1,1U_{ax}I_d$	67	
Трёхфазная нулевая (звезда-звезда, треугольник-звезда)	$U_{пр}(I_d)$	$0,855U_{ax}$	$0,58I_d$	$0,58I_d$	$0,47nI_d$	$1,35U_{ax}I_d$	$1,5U_{ax}I_d$	25	
Ларионова (звезда-звезда, треугольник-звезда)	$2U_{пр}(I_d)$	$0,43U_{ax}$	$0,82I_d$	$0,58I_d$	$0,82nI_d$	$1,05U_{ax}I_d$	$1,05U_{ax}I_d$	5,7	
Ларионова (звезда-треугольник, треугольник-треугольник)	$2U_{пр}(I_d)$	$0,74U_{ax}$	$0,47I_d$	$0,58I_d$	$0,47nI_d$	$1,05U_{ax}I_d$	$1,05U_{ax}I_d$	5,7	

по формулам таблицы 2.1.

Определяют ориентировочное значение падения напряжения на дросселе ΔU_L в зависимости от выпрямленной мощности по данным таблицы 2.2.

Таблица 2.2. -Ориентировочные значения падения напряжения на дросселе фильтра.

, Вт

ΔU_L (при $f_1 = 50$ Гц)

10-30

(0,2 – 0,14) U_d

30-100

(0,14 – 0,1) U_d

100-300

(0,1 – 0,07) U_d

300-1000

(0,07 – 0,05) U_d

1000-3000

(0,05 – 0,035) U_d

3000-10000

(0,035 – 0,025) U_d

Определяют выпрямленное напряжение при холостом ходе



$$U_{dX} = U_d + \Delta U_r + \Delta U_X + U_{прсх} + \Delta U_L = U_d + U_{прсх} + R_{вых} I_d \quad (2.1)$$

Уточняют амплитуду обратного напряжения $U_{обрн}$ на диоде по формулам таблицы 2.1 и проверяют, чтобы оно не превышало предельно допустимое

значение $U_{добр макс}$ для выбранного типа диодов.

Определяют ЭДС фазы вторичной обмотки трансформатора E_2 , действующее значение тока вторичной обмотки I_2 и, если требуется, действующее значение тока через диод $I_{прд}$ по формулам таблицы 2.1.

Значение критической индуктивности дросселя фильтра определяется согласно формуле. Задаваясь амплитудой 1-й гармонической $I_{ж1}$ равной величине постоянной составляющей I_d выпрямленного тока в формуле, можно получить следующее выражение для расчета $L_{кр}$:

$$L_{кр} = \frac{2U_{dX}}{(m^2 - 1)m \alpha_1 I_d} \quad (2.2)$$

Если выпрямитель должен работать в диапазоне токов от $I_{d\min}$ до $I_{d\max}$, то при расчете в формулу (2.2) следует подставлять значение $I_{d\min}$.

Внешняя характеристика выпрямителя с L -фильтром, т.е. зависимость выпрямленного напряжения от тока нагрузки, представляет собой прямую линию и строится по двум точкам: 1) $U_d = U_{dX}$; $I_d = 0$; 2) U_d ; I_d .

Если выпрямитель имеет сглаживающий фильтр типа LC , то при уменьшении тока нагрузки внешняя характеристика отклоняется от прямой линии в сторону увеличения напряжения в точке, соответствующей критическому току нагрузки, который равен I_{dkp} при условии, что $L = L_{кр}$ (рисунок 2.1).

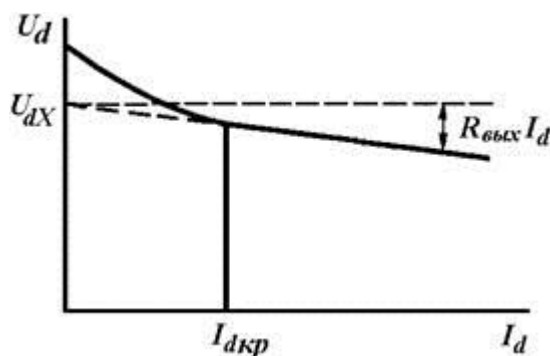


Рисунок 2.1.- Внешняя характеристика выпрямителя с LC - фильтром.

При дальнейшем уменьшении тока нагрузки выпрямленное напряжение растет, достигая при $I_d = 0$ значения $E_2 \sqrt{2}$ (или $E_2 \sqrt{6}$ в схеме Ларионова при соединении вторичной обмотки звездой).

Зная коэффициент трансформации n и действующий ток I_2 во вторичных обмотках можно найти действующий ток I_1 первичных обмоток (см. таблицу 2.1). При соединении первичной обмотки треугольником ток линии $I_L = I_1 \sqrt{3}$. Значение габаритной мощности двухобмоточного трансформатора определяют по формулам таблицы 2.1.

Особенностью переходных процессов, связанных с включением выпрямителей с LC -фильтрами в питающую сеть, считается наличие опасных перенапряжений на элементах фильтра и возможность наличия сверхтока – ток через диоды может в несколько раз превышать установившееся значение выпрямленного тока.

При проектировании выпрямителя следует также учитывать, что при включении выпрямителя все выпрямленное напряжение оказывается приложенным к обмотке дросселя фильтра, изоляция которой должна быть рассчитана на эту величину.

Пример 2.1. Рассчитать выпрямитель, создающий на нагрузке постоянное напряжение $U_d = 120$ В при токе $I_d = 10$ А. Питающая сеть - промышленная трехфазная с нулем (четырёхпроводная) 220/380 В, 50 Гц. Коэффициент пульсаций напряжения в нагрузке по первой гармонике $k_{\pi 1} = 0,012$.

Решение.

1. Найдем сопротивление нагрузки выпрямителя

$$R_d = U_d / I_d = 120 / 10 = 12 \text{ (Ом)}$$

При этом полезная мощность в нагрузке

$$P_d = U_d I_d = 120 \cdot 10 = 1200 \text{ (Вт)}$$

2. В качестве схемы выпрямления выбираем трехфазную мостовую (схема Ларионова), которая характеризуется высоким коэффициентом использования трансформатора по мощности и может быть рекомендована для использования в устройстве заданной мощности.

3. Для выбранной схемы выпрямления определяем средний ток вентиля, значение обратного напряжения на вентиле и максимальное значение тока через вентиль по приближенным формулам (см. таблицу 2.5)

$$I_{\text{пр.ср}} = I_d / 3 = 10 / 3 = 3,33 \text{ (А)},$$

$$U_{\text{обр.и}} \approx 1,05 U_{\text{дх}} = 1,05 \cdot 1,2 \cdot U_d = 1,05 \cdot 1,2 \cdot 120 = 151,2 \text{ (В)},$$

$$I_{\text{при}} \approx I_d = 10 \text{ (А)}.$$

Выбираем в качестве вентиля диоды 6F20: $U_{\text{ид.обр.мак}} = 200 \text{ В}$, $I_{\text{ид.пр.ср.мак}} = 6 \text{ А}$, $I_{\text{ид.пр.д.мак}} = 9,5 \text{ А}$. Вольт - амперная характеристика диода серии 6F(R) приведена на рисунке 2.2).

Исходя из заданного режима работы вентиля по току в прямом направлении определим внутреннее сопротивление диода для диапазона прямых токов до I_d при $T_J = 25^\circ \text{ C}$:

$$r_{\text{д}} = \frac{U_{\text{пр}}(I_d) - E_{\text{всп}}}{I_d} = \frac{1,0 - 0,75}{10} = 0,025 \text{ (Ом)}$$

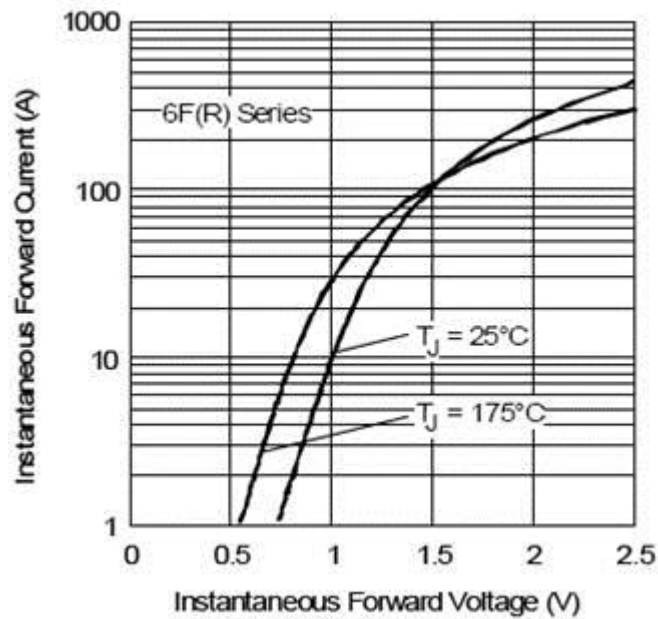


Рисунок 2.2. -ВАХ выпрямительных диодов серии 6F(R).

4. Ориентировочные значения активного сопротивления обмоток и индуктивности рассеяния трансформатора, приведенные к фазе вторичной обмотки, определяем согласно формулам и данным таблицы 2.1:

$$r_{TP} \approx k_r \frac{U_d}{I_d f_1 B_m} \sqrt[4]{\frac{s f_1 B_m}{I_d U_d}} = 2,5 \frac{120}{10 \cdot 50 \cdot 1} \sqrt[4]{\frac{3 \cdot 50 \cdot 1}{10 \cdot 120}} \approx 0,357 \quad (\text{Ом})$$

$$L_s \approx k_L \frac{s U_d}{(p-1)^2 I_d f_1 B_m} \sqrt[4]{\frac{U_d I_d}{s f_1 B_m}} = 1,0 \cdot 10^{-3} \frac{3 \cdot 120}{(2-1)^2 \cdot 10 \cdot 50 \cdot 1} \sqrt[4]{\frac{120 \cdot 10}{3 \cdot 50 \cdot 1}} \approx 1,21 \quad (\text{мГн})$$

Принято: амплитуда магнитной индукции в магнитопроводе - 1 Тл, число стержней трансформатора $s = 3$, $p = 2$.

5. Определяем падение напряжения на активном ΔU_r и реактивном ΔU_x сопротивлениях трансформатора по формулам таблицы 2.1 для схемы Ларионова:

$$\Delta U_r = 2 I_d r_{TP} = 2 \cdot 10 \cdot 0,357 = 7,14 \quad (\text{В})$$

$$\Delta U_x = 6 I_d f_1 L_s = 6 \cdot 10 \cdot 50 \cdot 1,21 \cdot 10^{-3} = 3,63 \quad (\text{В})$$

6. Определяем падение напряжения на диодах в выбранной схеме выпрямителя $U_{пр.сх}$ по формулам таблицы 2.1:

$$U_{пр.сх} = 2 U_{пр}(I_d) = 2 \cdot 1,0 = 2,0 \quad (\text{В})$$

7. Определяем ориентировочное значение падения напряжения на дросселе ΔU_L в зависимости от выпрямленной мощности по данным табл. 2.5:

$$\Delta U_L = 0,05 \cdot U_d = 0,05 \cdot 120 = 6 \text{ (В)}, R_L = 0,05 \cdot R_d = 0,05 \cdot 12 = 0,6 \text{ (Ом)}.$$

8. Определяем выпрямленное напряжение при холостом ходе U_{dX} :

$$U_{dX} = U_d + \Delta U_v + \Delta U_L + U_{пр сХ} + \Delta U_L = 120 + 7,14 + 3,63 + 2 + 6 \cong 138,8 \text{ (В)}$$

9. Считаем, что выпрямитель должен работать в режиме “непрерывных токов” в диапазоне от $I_{d\min} = 0,1I_d$ до $I_{d\max} = I_d$. Определяем значение *критической* индуктивности дросселя фильтра:

$$I_{d\min} = 0,1I_d = 0,1 \cdot 10 = 1,0 \text{ (А)},$$

$$L_{кр} = \frac{2U_{dX}}{(m^2 - 1)m \omega I_{d\min}} = \frac{2 \cdot 138,8}{(6^2 - 1) \cdot 6 \cdot 314,2 \cdot 1,0} = 4,21 \text{ (мГн)}.$$

Выбираем с учетом допуска на величину индуктивности $\pm 10\%$ и некоторым запасом значение $L = 5$ мГн. Подобрать дроссель с подходящими параметрами можно на сайте <http://www.epcos.com> в разделе параметрического поиска (Inductors/Chokes). Если активное сопротивление выбранного дросселя отличается значительно от расчетного, то расчет следует повторить с новым сопротивлением дросселя.

10. Уточняем амплитуду обратного напряжения на диоде по формулам таблицы 2.1:

$$U_{OBR-H} = 1,05U_{dX} = 1,05 \cdot 138,8 \cong 146 \text{ (В)}$$

$$U_{OBR-H} < U_{UD OBR MAX} = 200 \text{ (В)}$$

11. Действующее значение ЭДС фазы вторичной обмотки трансформатора (таблица 2.1):

$$E_2 = 0,43U_{dX} = 0,43 \cdot 138,8 \cong 59,7 \text{ (В)}$$

12. Рассчитаем действующее значение тока вторичной обмотки и действующее значение тока через диод (таблица 2.1):

$$I_2 = 0,82I_d = 0,82 \cdot 10 = 8,2 \text{ (А)}$$

$$I_{пр,д} = 0,58I_d = 0,58 \cdot 10 = 5,8 \text{ (А)} \quad I_{пр,д} < I_{UD пр,д MAX} = 9,5 \text{ (А)}$$

13. Находим коэффициент трансформации:

$$n \cong E_2 / U_1 = 59,7 / 220 = 0,2714$$

14. Рассчитаем действующее значение тока первичной обмотки (таблица 2.1):

$$I_1 = 0,82 n I_d = 0,82 \cdot 0,2714 \cdot 10 = 2,225 \text{ (A)}$$

15. Определяем мощности вторичной и первичной сторон трансформатора

$$S_2 = 3 E_2 I_2 = 3 \cdot 59,7 \cdot 8,2 \cong 1470 \text{ (ВА)},$$

$$S_1 = 3 U_1 I_1 = 3 \cdot 220 \cdot 2,225 \cong 1470 \text{ (ВА)}.$$

16. Вычисляем точное значение габаритной мощности трансформатора:

$$S_{\text{габ}} = 0,5 \cdot (S_1 + S_2) = 1470 \text{ (ВА)}$$

или согласно таблицы 2.1:

$$S_{\text{габ}} = 1,05 U_{\text{дх}} I_d = 1,05 \cdot 138,8 \cdot 10 \cong 1460 \text{ (ВА)}$$

17. Коэффициента использования трансформатора по мощности:

$$K_{\text{из}} = \frac{P_d}{S_{\text{габ}}} = \frac{1200}{1470} \cong 0,816$$

18. Найдем коэффициент сглаживания пульсации по 1-й гармонике фильтра:

$$q_1 = \frac{k_{\text{по1}}}{k_{\text{м1}}} = \frac{5,7\%}{1,2\%} = 4,75$$

где $k_{\text{по1}}$ - коэффициент пульсаций по 1-й гармонике на входе фильтра (см. таблицу 2.1) для схемы Ларионова.

19. По найденному коэффициенту сглаживания q_1 и выбранной индуктивности дросселя фильтра L находим емкость фильтра:

$$C \approx \frac{q_1 + 1}{k^2 m^2 \omega_1^2 L} = \frac{4,75 + 1}{1^2 \cdot 6^2 \cdot (2\pi \cdot 50)^2 \cdot 0,005} = 324 \text{ (мкФ)}$$

Выбираем емкость конденсатора из стандартного ряда номиналов с учетом допустимого отклонения емкости в пределах $\pm 20\%$ и некоторым запасом: $C_{\text{ф}} = 470 \text{ (мкФ)}$.

20. Коэффициент пульсаций выходного напряжения:

$$k_{\pi} = \frac{\Delta(m)}{\omega_1^2 LC} = \frac{0,00162}{(2\pi \cdot 50)^2 \cdot 0,005 \cdot 324 \cdot 10^{-6}} = 0,01$$

21. Определим амплитуду и действующее значение 1-й гармонической тока через конденсатор фильтра (на частоте $m f_1$) по заданному коэффициенту пульсаций напряжения в нагрузке по первой гармонике:

$$I_{C1m} = \frac{U_{d1m}}{X_{C1}} = \frac{U_{d1m}}{1/m\omega_1 C} = m\omega_1 C U_{d1m} = 6 \cdot (2\pi \cdot 50) \cdot 324 \cdot 10^{-6} \cdot 1,44 = 0,88 \quad (\text{A}),$$

$$I_{C1} = I_{C1m} / \sqrt{2} = 0,88 / \sqrt{2} = 0,622 \text{ (A)}.$$

Следовательно, допустимое действующее значение тока пульсации $I_{\sim \Delta U}$ для выбранного типа ЭК должно составлять не менее 0,63 А при максимальной рабочей температуре ЭК и частоте 300 Гц.

22. В схеме Ларионова при соединении вторичной обмотки в звезду напряжение х.х.:

$$U_{xx} = \sqrt{6} E_2 = \sqrt{6} \cdot 59,7 = 146,25 \text{ (В)}$$

Однако, особенностью переходных процессов, связанных с включением выпрямителей с LC-фильтрами в питающую сеть, является наличие опасных перенапряжений на элементах фильтра.

Ближайший стандартный номинал рабочего напряжения ЭК $U_{РАБНОМ} = 160 \text{ В}$, следующий за ним - 180 В. Предельное напряжение (surge voltage), которое способен выдержать ЭК с $U_{РАБНОМ} = 160 \text{ В}$ (в течение 30 сек), - 200 В.

Имеется большое количество серий ЭК на данное рабочее напряжение $U_{РАБНОМ} = 160 \text{ В}$ и емкость $C \geq 470 \text{ мкФ}$: Hitachi AIC – HCGH (тип - под “винт”), HP3, HU3, HF2, HV2 (все типа “snap-in”) [15], Hitano – ELP, EHP, EHL (все типа “snap-in”), EPCOS – B43821, B43851, B43231, B43254.

Так как для срока службы ЭК одним из двух определяющих параметров является рабочее напряжение, то возможно имеет смысл выбрать ЭК на $U_{РАБНОМ} = 180 \text{ В}$ и из тех же серий - HP3, HU3, HF2, HV2 (Hitachi AIC).

Выберем два ЭК одной серии HP3 (Hitachi AIC) на рабочие напряжения 160 В и 180 В и емкостью 470 мкФ (рисунки 2.3). Проведем расчет их срока службы.

HP3 Series

•Life rating to 2,000 hours at 85°C

•Temperature range -40°C to +85°C

Rated Voltage (WVDC)	Part Number	Capacitance	Case Size ØD x L (mm)	Maximum Ripple Current (A rms) @85°C, 120Hz	Maximum ESR (mΩ)	Typical ESL (nH)
160 Volts (Code: 2C)	HP32C471MRX	470	22 X 30	1.76	305	6
	HP32C470MRX	470	25 X 25	1.74	305	6
180 Volts (Code: 2P)	HP32P471MRX	470	22 X 30	1.76	265	8
	HP32P471MRX	470	25 X 25	1.74	265	8

Рисунок 2.3.- Параметры ЭК серии HP3.

Величину действительного значения тока пульсации выберем с запасом относительно первой гармонической:

$$I_{C\sim} (300 \text{ Гц}, 20^\circ) = 1,2 \cdot I_{C1} = 1,2 \cdot 0,622 \cong 0,75 \text{ (A)}.$$

Мощность потерь в ЭК:

$$P_{Ca}^{U1} \approx r_{ESR}^{U1} \cdot I_{C\sim}^2 = 0,305 \cdot 0,75^2 = 0,172 \text{ (Вт)},$$

$$P_{Ca}^{U2} \approx r_{ESR}^{U2} \cdot I_{C\sim}^2 = 0,265 \cdot 0,75^2 = 0,15 \text{ (Вт)},$$

где индекс “U1” относится к ЭК на 160 В, а индекс “U2” к ЭК на 180 В.

Выберем ЭК типоразмера D x L = 25 x 25 мм, тепловое сопротивление порядка $R_{th} = 22,8 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$. Тогда:

$$\Delta T^{U1} = R_{th} P_{Ca}^{U1} = 22,8 \cdot 0,172 \cong 4^\circ \text{ C}, \quad \Delta T^{U2} = R_{th} P_{Ca}^{U2} = 22,8 \cdot 0,15 = 3,4^\circ \text{ C}.$$

При температуре окружающей среды $T_A = 40^\circ \text{ C}$ получим:

$$T_{ks}^{U1} = T_A + \Delta T^{U1} = 40 + 4 = 44^\circ \text{ C}, \quad T_{ks}^{U2} = T_A + \Delta T^{U2} = 40 + 3,4 = 43,4^\circ \text{ C}.$$

Оценка срока службы ЭК:

$$L_{Op}^{U1} = 2000 \cdot 2^{\frac{35-44}{10}} \cdot (160/121,5)^{2,5} = 2000 \cdot 17,15 \cdot 2 = 68\,600 \text{ (часов)},$$

$$L_{Op}^{U2} = 2000 \cdot 2^{\frac{35-43,4}{10}} \cdot (180/121,5)^{2,5} = 2000 \cdot 17,88 \cdot 2,67 = 95\,500 \text{ (часов)}.$$

Здесь $T_0 = T_{ks \text{ max}} = 85^\circ \text{ C}$, $L_0 = 2000$ часов, рабочее напряжение В.

Таким образом, в данном случае потери мощности в ЭК малы и он практически не нагревается. Это и определяет, в значительно большей степени, чем величина номинального рабочего напряжения, срок службы ЭК.

Задание 1.

Какие схемы выпрямителей Вам известны?

Информационное обеспечение обучения

Основные учебные издания:

1. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для спо / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-6756-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152467>

2. Тимофеев, И. А. Основы электротехники, электроники и автоматики. Лабораторный практикум : учебное пособие для спо / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 196 с. — ISBN 978-5-8114-6827-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153638>

Дополнительные учебные издания

3. Меньшенин, С. Е. Теоретические основы электротехники и электроники : практикум / С. Е. Меньшенин. — Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 90 с. — ISBN 978-5-4497-0380-4. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/92319>

