МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

МОГИЛЕВСКОГО ОБЛАСТНОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО КОМИТЕТА

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор колледжа

\_\_\_\_\_\_\_\_\_ С.Н.Козлов

11.01.2018

**СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ИЗУЧЕНИЮ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ,

ЗАДАНИЯ НА ДОМАШНЮЮ КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

ДЛЯ УЧАЩИХСЯ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 2-53 01 05

«АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ»

2018

Авторы: Ладыгин О.Ю., преподаватель учреждения образования «Могилевский государственный политехнический колледж»

Рецензент: Михальцова Е.Л., преподаватель учреждения образования «Могилевский государственный политехнический колледж»

Разработано на основе типовой учебной программы по учебной дисциплине «Силовая преобразовательная техника», утвержденной Министерством образования Республики Беларусь, 2011

Обсуждено и одобрено

на заседании цикловой комиссии

электротехнических дисциплин

Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Согласовано с цикловой комиссией

стандартизации

Протокол № \_\_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Пояснительная записка**

Учебная программа учебной дисциплины «Силовая преобразовательная техника» предусматривает изучение принципов построения, расчета и проектирования полупроводниковых преобразователей электрической энергии и их узлов.

При изучении учебного материала необходимо соблюдать единство терминологии и обозначений в соответствии с действующими стандартами, Международной системой единиц измерений; обращать внимание на значение стандартизаций, ее экономическую эффективность и роль в повышении качества продукции.

Для закрепления теоретических знаний и приобретения необходимых практических умений и навыков программой учебной дисциплины предусматривается проведение лабораторных и практических занятий, выполнение курсового проекта.

В результате изучения учебной дисциплины учащиеся должны знать на уровне представления:

- основные направления развития преобразовательной техники и области ее применения;

- научные исследования в области преобразовательной техники;

знать на уровне понимания:

- классификацию управляемых и неуправляемых выпрямителей;

- устройство и принцип действия типовых управляемых полупроводниковых выпрямителей;

- неуправляемые выпрямители, принцип их действия с учетом характера нагрузки;

- классификацию, устройство и принцип действия ШИП;

уметь:

- читать функциональные и принципиальные схемы силовых преобразовательных устройств, входящих в состав преобразовательной техники;

- рассчитывать и выбирать элементную базу;

- составлять принципиальную схему преобразователя.

Для контроля и коррекции знаний учащихся предусмотрено проведение одной домашней контрольной работы и экзамена.

**Общие методические рекомендации по выполнению**

**домашней контрольной работы**

Домашняя контрольная работа содержит 4 задания, из которых два теоретических вопроса и два практических задания.

Номер варианта домашней контрольной работы определяется двумя последними цифрами шифра учащегося.

Номера теоретических вопросов и практических заданий для домашней контрольной работы представлены в таблице 8.

При выполнении домашней контрольной работы необходимо руководствоваться следующими требованиями:

* домашняя контрольная работа должна быть выполнена и сдана на проверку в установленный учебным графиком срок;
* домашняя контрольная работа может быть выполнена одним из способов: рукописным (в тетради в клетку) или машинописным;
* на обложке домашней контрольной работы указывается фамилия, имя, отчество, шифр учащегося, номер группы, наименование учебной дисциплины, номер домашней контрольной работы, шифр;
* домашняя контрольная работа должна быть аккуратно оформлена, написана разборчивым почерком (для рукописного способа), ее страницы должны быть пронумерованы, иметь поля для замечаний рецензента; в конце работы ставится дата и подпись учащегося;
* объем домашней контрольной работы – максимум 20 страниц школьной тетради или 15 страниц односторонней печати;
* при выполнении домашней контрольной работы машинописным способом набор текста осуществляется с использованием текстового редактора Word. При этом рекомендуется использовать шрифты типа Times New Roman размером 14 пунктов. Межстрочный интервал должен составлять 1-1,5 интервала. Абзацный отступ – не менее 15-17 мм;
* решение задач должно иметь объяснение последовательности выполняемых действий и обоснованные выводы. Задачи без пояснений будут считаться нерешенными;
* теоретический материал должен быть подтверждён примерами, уравнениями, схемами;
* в конце работы приводится список используемых источников, оформленный в соответствии с требованиями СТУ 01-32-2017 (автор, название, место издания, издательство, год издания);
* выполненную работу учащийся предоставляет на рецензирование на заочное отделение. После проверки в соответствии с замечаниями рецензента учащийся вносит исправления в работу;
* учащийся, не получивший зачет по домашней контрольной работе, не допускается к экзамену.

**Критерии оценки домашней контрольной работы**

Результаты выполнения домашней контрольной работы оцениваются отметками «зачтено», «не зачтено».

Домашняя контрольная работа оценивается отметкой «зачтено», если правильно выполнено 75% домашней контрольной работы согласно варианту с учетом всех требований.

Допускаются недочеты, такие как:

- недостаточно полное и грамотное написание одного из теоретических вопросов;

- неточности в формулировках;

- ошибки в вычислениях при использовании нужных формул для выполнения расчетных заданий, что не влияет на конечный результат.

Отметка «не зачтено» ставится, в случае если домашняя контрольная работа выполнена:

- не в соответствии с вариантом;

- в объеме меньше 75% всей домашней контрольной работы;

- без полного соблюдения требований по оформлению домашней контрольной работы;

- с допущением грубых ошибок в соответствии критериями отметок.

Домашняя контрольная работа с отметкой «не зачтено» возвращается учащемуся с подробной рецензией, содержащей рекомендации по устранению ошибок, с которыми необходимо внимательно ознакомиться, устранить и вновь сдать (выслать) вместе с незачтенной домашней контрольной работой на проверку.

Зачтенная и доработанная домашняя контрольная работа предъявляется преподавателю до начала экзамена.

**Программа учебной дисциплины**

**Введение**

Цель и задачи учебной дисциплины, ее значение для подготовки высококвалифицированных специалистов, связь с другими учебными дисциплинами учебного плана

Роль преобразовательной техники в современном производстве и перспективы ее развития

Литература: [1], с.3-7

**Раздел 1 Преобразовательная техника**

**Тема 1.1 Назначение и область применения силового**

 **преобразователя**

Виды и способы преобразования электрической энергии

Область применения и назначение силовых преобразователей

Литература: [1], с.229-234

**Тема 1.2 Основные элементы силового преобразователя и их**

**характеристики**

Основные полупроводниковые приборы (диод, транзистор, тиристор), принцип действия, основные параметры, используемые при выборе полупроводниковых приборов

Литература: [1], с.44-86

**Тема 1.3 Обобщенная структура преобразователя**

Обобщенная структура преобразователей: выпрямителей, инверторов, преобразователей частоты

Назначение, функции и принцип действия отдельных узлов преобразователей

Литература: [1], с.238-248

**Раздел 2 Выпрямители**

**Тема 2.1 Однофазные выпрямители**

Классификация выпрямителей

Однофазный однополупериодный выпрямитель

Однофазный управляемый выпрямитель с нулевой точкой

Однофазный мостовой симметрично управляемый выпрямитель

Схема замещения

Режим непрерывного тока

Режим гранично-непрерывного тока

Однофазный мостовой несимметрично управляемый выпрямитель

Схема, временные диаграммы, основные зависимости, принцип действия однофазного мостового несимметрично управляемого выпрямителя

Однофазный мостовой умножитель напряжения

Схема, временные диаграммы однофазного выпрямителя с регулированием напряжения на стороне переменного тока

Литература: [1], с.249-258

**Тема 2.2 Трехфазные выпрямители**

Трехфазный управляемый выпрямитель

Схема, временные диаграммы, принцип действия, основные зависимости

Трехфазный мостовой выпрямитель

Схема, временные диаграммы

Принцип действия трехфазной мостовой схемы, основные зависимости

Внешняя характеристика выпрямителя, расчет и построение

Литература: [1], с.258-275

**Тема 2.3 Расчет и выбор силовых элементов выпрямителя**

Расчет, выбор и проверка силовых полупроводниковых приборов (СПП)

Расчет и выбор силового трансформатора

Расчет и выбор элементов защиты СПП от аварийных токов перенапряжения

Литература: [1], с.331-342

**Тема 2.4 Системы управления выпрямителей**

Функции системы импульсно-фазового управления (СИФУ)

Требования к СИФУ

Классификация СИФУ

Структурная схема СИФУ

Принцип действия СИФУ

Типовые блоки СИФУ

Проектирование СИФУ

Литература: [1], с.280-293

**Тема 2.5 Реверс двигателя при питании от выпрямителя**

Реверс при помощи контакторов в цепях возбуждения и якоря, область применения

Реверсивные выпрямители, согласованное и раздельное управление вентильными группами

Литература: [1], с.331-342

**Тема 2.6 Энергетические характеристики выпрямителя**

Энергетические характеристики выпрямителя: коэффициент мощности, активная мощность, полная мощность, мощность искажения, потери мощности на тиристоре, вспомогательные потери мощности, потери мощности на трансформаторе, реактивная мощность, КПД выпрямителя, коэффициент гармоник тока, коэффициент сдвига тока, энергетический КПД

Литература: [1], с.293-310

**Раздел 3 Инверторы ведомые сетью**

Схема, временные диаграммы и принцип действия однофазного инвертора со средней точкой, трехфазного мостового инвертора, ведомого сетью

Функциональная схема системы управления

Область применения

Литература: [1], с.342-357

**Раздел 4 Широтно-импульсные преобразователи (ШИП)**

**Тема 4.1 Тиристорные ШИП**

Классификация ШИП

ШИП с одноступенчатой коммутацией

ШИП с одноступенчатой коммутацией и насыщающим дросселем, схема, основные соотношения

ШИП с последовательной двухступенчатой коммутацией, схема, основные соотношения

ШИП с комбинированной коммутацией

ШИП с коммутирующим трансформатором

ШИП с последовательной двухступенчатой коммутацией

Реверсивный тиристорный ШИП с симметричным законом управления

Реверсивный тиристорный ШИП с несимметричным законом управления

Литература: [1], с.366-388

**Тема 4.2 Транзисторные ШИП**

ШИП на активно-индуктивную нагрузку

ШИП на активно-индуктивную нагрузку и противо-ЭДС

ШИП с последовательным ключом и параллельной индуктивностью

ШИП с параллельным ключом и последовательным индуктивностью

Реверсивный транзисторный ШИП с симметричным законом управления

Реверсивный транзисторный ШИП с несимметричным законом управления

Литература: [1], с.372-390

**Раздел 5 Преобразователи частоты и напряжения**

**Тема 5.1 Полупроводниковый преобразователь напряжения**

Схема, временные диаграммы и принцип действия тиристорного регулятора напряжения (ТРП)

Область применения

Литература: [1], с.439-443

**Тема 5.2 Двухзвенные преобразователи частоты**

Классификация автономных инверторов

Однофазный параллельный автономный инвертор тока (АИТ)

Однофазный последовательный АИТ

Трехфазный мостовой АИТ

Однофазный параллельный автономный инвертор напряжения (АИН)

Однофазный последовательный АИН

АИН на тиристорах

Однофазный мостовой АИН

Трехфазный АИН с широтно-импульсным регулированием

Последовательный резонансный автономный инвертор (РАИ)

Параллельный РАИ

Многоячейковый РАИ

Однофазный мостовой инвертор с несимметричным законом управления

Однофазный мостовой инвертор с симметричным законом управления

Трехфазный мостовой инвертор с симметричным законом управления

Трехфазный мостовой инвертор в режиме выпрямления

Схема и принцип действия преобразователя частоты со звеном постоянного тока

Литература: [1], с.390-437

**Тема 5.3 Непосредственный преобразователь частоты (НПЧ)**

Схема, типовые узлы, временные диаграммы и принцип действия непосредственного преобразователя частоты (НПЧ)

Функциональная схема НПЧ

Область применения НПЧ

Литература: [1], с.443-449

**Раздел 6 Направление развития преобразовательной техники**

**Тема 6.1 Современные силовые полупроводниковые приборы**

Современные силовые полупроводниковые приборы: симметричные (диак и триак) и запираемые (GTO, GCT, IGCT, SCR) тиристоры, биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT) и полевые транзисторы (MOSFET), транзисторные модули: принцип действия, схема управления силовыми приборами

Литература: [1], с.171-189

**Тема 6.2 Развитие элементной базы управляющих устройств**

 **преобразователей**

Элементная база управляющих устройств преобразователей, ее назначение, структура, принцип действия

Литература: [1], с.245-249

**Тема 6.3 Промышленные преобразователи**

Схема подключения и принцип действия современных промышленных преобразователей (Omron, Siemens, Metronix и т.п.)

Функциональная схема управления и особенности современных промышленных преобразователей

Литература: [1], с.449-452

**Список используемых источников**

1 Бурков, А. Т. Электронная техника и преобразователи / А. Т. Бурков. – М., 1999.

2 Забродин, Ю. С. Промышленная электроника / Ю. С. Забродин. – М., 1982.

3 Засорин, С. Н. Электронная и преобразовательная техника / С. Н. Засорин, В. А. Мицкевич, К. Г. Кучма. – М., 1981.

4 Розанов Ю. К. Основы силовой преобразовательной техники / Ю. К. Розанов. – М., 1979.

**Перечень примерных вопросов к экзамену по учебной**

**дисциплине «Силовая преобразовательная техника»**

1. Силовые преобразователи. Назначение и классификация
2. Силовые полупроводниковые диоды. Принцип действия, основные параметры
3. Силовые полупроводниковые транзисторы. Принцип действия, основные параметры
4. Силовые полупроводниковые тиристоры. Принцип действия, основные параметры
5. Сравнительная характеристика тиристоров и транзисторов
6. Виды нагрузок для силовых преобразователей
7. Требования, предъявляемые к схеме управления
8. Полупроводниковые управляемые выпрямители, назначение и классификация
9. Однофазный однополупериодный выпрямитель
10. Однофазный управляемый выпрямитель с нулевой точкой
11. Однофазный мостовой симметрично управляемый выпрямитель
12. Однофазный мостовой несимметрично управляемый выпрямитель
13. Однофазный мостовой умножитель напряжения
14. Однофазный мостовой выпрямитель с регулированием напряжения на стороне переменного тока
15. Трехфазный управляемый выпрямитель с нулевой точкой
16. Трехфазный мостовой управляемый выпрямитель
17. Учет коммутационных процессов в трехфазных управляемых выпрямителях с нулевой точкой
18. СИФУ. Классификация, принцип действия
19. Требования, предъявляемые к системе импульсно-фазового управления
20. Реверсивные выпрямители согласованное управление вентильными группами
21. Реверсивные выпрямители раздельное управление вентильными группами
22. Основные расчетные соотношения для выбора силовых элементов выпрямителя
23. Классификация импульсного преобразователя
24. Последовательный нереверсивный импульсный преобразователь
25. Нереверсивный транзисторный импульсный преобразователь с активно-индуктивной нагрузкой
26. Нереверсивный транзисторный импульсный преобразователь с параллельным ключом последовательной индуктивностью
27. Нереверсивный транзисторный импульсный преобразователь с параллельно-включенным дросселем
28. Нереверсивный транзисторный импульсный преобразователь с активно-индуктивной нагрузкой и противоЭДС
29. Реверсивный транзисторный импульсный преобразователь с симметричным управлением
30. Реверсивный транзисторный импульсный преобразователь с несимметричным управлением
31. Нереверсивный тиристорный импульсный преобразователь с одноступенчатой коммутацией
32. Нереверсивный тиристорный импульсный преобразователь с одноступенчатой коммутацией и насыщающим коммутирующим дросселем
33. Нереверсивный тиристорный импульсный преобразователь с комбинированной коммутацией
34. Нереверсивный импульсный преобразователь с коммутирующим трансформатором
35. Нереверсивный тиристорный импульсный преобразователь с двухступенчатой последовательной коммутацией
36. Нереверсивный тиристорный импульсный преобразователь с двухступенчатой параллельной коммутацией
37. Реверсивный тиристорный импульсный преобразователь.
38. Однофазный тиристорный регулятор переменного напряжения с естественной коммутацией
39. Трехфазный тиристорный регулятор переменного напряжения с естественной коммутацией
40. Трехфазный тиристорный регулятор переменного напряжения с искусственной коммутацией
41. Преобразователи частоты, назначение и классификация
42. Автономный инвертор. Назначение, классификация
43. Однофазный мостовой тиристорный инвертор тока
44. Однофазный мостовой инвертор напряжения
45. Трехфазный мостовой тиристорный инвертор тока
46. Трехфазный мостовой инвертор напряжения с ШИМ модуляцией
47. Инвертор, ведомый сетью
48. Инверторы, ведомые сетью с выводом нулевой точкой трансформатора
49. Резонансный автономный инвертор
50. Резонансный автономный инвертор с обратным диодом
51. Непосредственный преобразователь частоты
52. Современные преобразователи частоты

**Задания на домашнюю контрольную работу по учебной**

**дисциплине «Силовая преобразовательная техника»**

**Теоретические вопросы**

1 Классификация силовых электронных устройств. Основные определения

2 Основные виды силовых ключей

3 Схемы управления (драйверы) силовыми электронными ключами

4 Область безопасной работы силовых электронных ключей

5 Защита силовых электронных ключей формированием траекторий переключения

6 Особенности работы трансформаторов и реакторов на повышенных частотах

7 Потери мощности в силовых электронных устройствах и способы их снижения

8 Охлаждение силовых электронных приборов

9 Основные схемы выпрямления, временные диаграммы

10 Принцип действия, расчетные соотношения для неуправляемых выпрямителей

11 Принцип действия, расчетные соотношения для управляемых выпрямителей

12 Коммутация и режимы работы выпрямителей

13 Характеристики выпрямителей: внешняя, регулировочная

14 КПД силовых электронных устройств

15 Коэффициент мощности силовых электронных устройств

16 Работа выпрямителей на емкостную нагрузку и противо-ЭДС

17 Фильтры: определение, назначение, принципиальные схемы, характеристики

18 Входные фильтры: назначение, принципиальные схемы, характеристики

19 Выходные фильтры: назначение, принципиальные схемы, характеристики

20 Классификация преобразователей частоты

21 Резонансные инверторы: схемы, принцип действия временные диаграммы

22 Автономные инверторы: схемы, принцип действия временные диаграммы

23 Непосредственные преобразователи частоты: схемы, принцип действия временные диаграммы

24 Структурные схемы управления преобразователями частоты

25 Классификация импульсных преобразователей – регуляторов постоянного тока

26 Базовые структуры импульсных преобразователей – регуляторов постоянного тока

27 Импульсный преобразователь постоянного тока: понижающий

28 Импульсный преобразователь постоянного тока: повышающий

29 Импульсный преобразователь постоянного тока: инвертирующий

30 Импульсный преобразователь постоянного тока: однотактный

31 Импульсный преобразователь постоянного тока: двухтактный

32 Области применения силовой электроники: коммутационные аппараты

33 Области применения силовой электроники: электропривод постоянного тока

34 Области применения силовой электроники: электропривод переменного тока

35 Области применения силовой электроники: светотехника

36 Области применения силовой электроники: электротехнология

37 Области применения силовой электроники: агрегаты бесперебойного питания

38 Области применения силовой электроники: вторичные источники электропитания

39 Параметрические стабилизаторы напряжения: схемы, принцип действия

40 Компенсационные стабилизаторы напряжения: схемы, принцип действия

**Практические задания**

**Задача 1**

Определите номинальный ток электродвигателя, данные для расчета указаны в таблице 1. Произведите основной расчет тока и напряжения преобразователя. Произведите расчет основного элемента преобразователя, данные элемента в соответствии с вариантом указаны в таблице 1.

Указание. Смотрите решение типовых примеров 1 в методических рекомендациях по выполнению домашней контрольной работы.

Таблица 1 – Индивидуальные задания

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Тип схемы | Рн, кВт | КПД, % | Напряжение,В | Элемент |
| 1 | Однофазный мостовой симметричный выпрямитель |  1,6 |  82 | 220 | Тиристор |
| 2 | Однофазный мостовой симметричный выпрямитель | 12 | 70,5 | 440 | Диод |
| 3 | Однофазный мостовой симметричный выпрямитель с регулированием на стороне переменного тока |  4,5 | 89,5 | 440 | Симмистор |
| 4 | Широтно-импульсный преобразователь |  6,3 |  79 | 110 | Транзистор |
| 5 | Однофазный мостовой несимметричный выпрямитель с неполным диапазоном регулирования | 10 | 82,5 | 220 | Тиристор |
| 6 | Однофазный мостовой несимметричный выпрямитель с неполным диапазоном регулирования |  4,2 | 88,5 | 440 | Диод |

Продолжение таблицы 1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Тип схемы | Рн, кВт | КПД, % | Напряжение,В | Элемент |
| 7 | Трехфазный мостовой выпрямитель с Н-схемой |  5,5 |  68 | 110 | Тиристор |
| 8 | Трехфазный нулевой управляемый выпрямитель |  7,5 |  83 | 110 | Тиристор |
| 9 | Реверсивный транзисторный симметричный широтно-импульсный преобразователь |  2,2 | 66,5 | 110 | Транзистор |
| 0 | Трехфазный мостовой управляемый выпрямитель | 11 |  73 | 440 | Тиристор |

**Задача 2**

Мостовой выпрямитель питает потребитель постоянным током. Мощность потребителя Рd (Вт) с напряжением питания Ud (В). Выберете один тип полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в таблице 7 для схемы выпрямителя, и поясните, на основании чего сделан выбор. Начертите схему выпрямителя. Данные для своего варианта возьмите из таблицы 2.

Указание. Смотрите решение типовых примеров 2 в методических рекомендациях по выполнению домашней контрольной работы.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифрашифра | Рd, Вт | Ud, В | Последняя цифрашифра | Рd, Вт | Ud, В |
| 1 |  80 | 100 | 6 |  30 | 100 |
| 2 | 200 |  50 | 7 | 250 | 150 |
| 3 | 150 | 500 | 8 | 300 | 200 |
| 4 | 300 |  20 | 9 | 250 | 200 |
| 5 | 600 |  80 | 0 | 500 | 400 |

**Задача 3**

Трехфазный выпрямитель, собранный на трех диодах, должен питать потребитель постоянным током. Мощность потребителя Рd (Вт) при напряжении Ud (В). Выберите один тип полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в таблице 7 для схемы выпрямителя, и поясните, на основании чего сделан выбор. Начертите схему выпрямителя. Данные для своего варианта возьмите из таблицы 3.

Указание. Смотрите решение типовых примеров 5 в методических рекомендациях по выполнению домашней контрольной работы.

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифрашифра | Рd, Вт | Ud, В | Последняяцифрашифра | Рd, Вт | Ud, В |
| 1 |  90 |  30 | 6 | 100 |  40 |
| 2 | 100 | 400 | 7 | 600 | 200 |
| 3 |  60 |  80 | 8 | 150 | 150 |
| 4 | 900 | 150 | 9 | 400 |  80 |
| 5 | 200 |  40 | 0 | 500 |  20 |

**Задача 4**

Схема двухполупериодного выпрямителя питает потребитель постоянным током. Мощность потребителя Рd (Вт) с напряжением питания Ud (В). Выберите один тип полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в таблице 7 для схемы выпрямителя, и поясните, на основании чего сделан выбор. Начертите схему выпрямителя. Данные для своего варианта взять из таблицы 4.

Указание. Смотрите решение типовых примеров 3 в методических рекомендациях по выполнению домашней контрольной работы.

Таблица 4

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифрашифра | Рd, Вт | Ud, В | Последняя цифрашифра | Рd, Вт | Ud, В |
| 1 |  20 |  60 | 6 |  30 |  100 |
| 2 | 180 |  30 | 7 |  150 |  20 |
| 3 | 240 | 180 | 8 | 1000 | 200 |
| 4 | 400 |  80 | 9 |  120 |  15 |
| 5 | 800 |  50 | 0 |  80 | 150 |

**Задача 5**

Однополупериодный выпрямитель должен питать потребитель постоянным током. Мощность потребителя Pd (Вт) при напряжении Ud (В). Выберите один тип полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в таблице 7 для схемы выпрямителя, и поясните, на основании чего сделан выбор. Начертите схему выпрямителя.

Данные для своего варианта взять из таблицы 5.

Указание. Смотрите решение типовых примеров 4 в методических рекомендациях по выполнению домашней контрольной работы.

Таблица 5

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифрашифра | Рd, Вт | Ud, В | Последняя цифрашифра | Рd, Вт | Ud, В |
| 1 |  90 |  30 | 6 | 100 |  40 |
| 2 | 100 | 400 | 7 | 600 | 200 |
| 3 |  60 |  80 | 8 | 150 | 150 |
| 4 | 900 | 150 | 9 | 400 |  80 |
| 5 | 200 |  40 | 0 | 500 |  20 |

**Методические рекомендации по решению задач домашней**

**контрольной работы**

**Пример 1**

1 Определить номинальный ток электродвигателя. Данные для расчета указаны в таблице 7.

2 Произвести основной расчет тока и напряжения преобразователя.

3 Произвести расчет основного элемента преобразователя. Данные элемента указаны в таблице 7.

4 По паспортным данным СПП выбрать основной элемент преобразователя.

Рассчитываем номинальный ток электродвигателя постоянного тока по формуле

 $I\_{н.эд}= \frac{Р\_{н}}{U\_{н.эд}× η\_{н}},$ (1)

где ηН – номинальный КПД;

Pн - номинальная мощность двигателя.

Рассчитываем номинальный ток преобразователя по формуле

 $ I\_{н.пр.}=К\_{1}×I\_{н.эд},$ (2)

где K1 – коэффициент запаса по току;

 K1 = 1,2 ÷ 1,4.

Рассчитываем максимальное значение напряжения преобразователя по формуле

 $U\_{max.пр.}=К\_{2}×К\_{3}×U\_{н.эд},$ (3)

где К2 – коэффициент запаса по напряжению;

 К2 = 1 ÷ 1,3;

K3 – коэффициент, учитывающий возможное падение

напряжения в питающей сети;

K3 = 1,1.

Таблица 6 – Основные параметры коэффициентов схемы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип схемы | K4 | КI1 | Kр | kуm |
| Однофазная мостовая схема |  0,9 |  1 | 1,23 |  1 |
| Трёхфазная нулевая схема | 1,17 | 0,817 | 1,35 |  1 |
| Трёхфазная мостовая схема | 2,34 | 0,817 |  1,045 |  1 |
| Однофазная мостовая встречно-параллельная |  1 |  1 |  1 |  1,41 |
| Трехфазная нулевая встречно-параллельная. Трехфазная мостовая встречно-параллельная |  1 |  1 |  1 |  0,62 |
| Трехфазная нулевая перекрестная H-схема |  1 |  1 |  1 |  0,7 |
| Трехфазная мостовая перекрестная |  1 |  1 |  1 |  0,18 |

## Тиристоры.

Вычисляем требуемый ток тиристора по формуле

 $Iтир=\frac{К\_{5}×К\_{6}×Iн.пр}{m\_{2}}$, (4)

где К5 – коэффициент запаса тиристора по току (в зависимости от

 требуемой перегрузки выбирается в пределах 2,5 ÷ 4);

 К6 – коэффициент, определяющий условия охлаждения;

 для естественного воздушного охлаждения K6 = 2;

 для искусственного воздушного охлаждения K6 = 4;

 m2 - число фаз во вторичной обмотке трансформатора;

 для однофазной схемы m2 = 1;

 для трехфазной схемы m2 = 3.

Определяем расчётное напряжение тиристора максимальным напряжением преобразователя и коэффициентом схемы. Оно вычисляется по формуле

$U\_{тир}=K\_{4}×U\_{max.пр}$ (5)

Обратное допустимое напряжение выбранного тиристора должно удовлетворять условию

$$U\_{тир^{'}}\geq К\_{7}×U\_{тир},$$

где К7 – коэффициент запаса по напряжению;

 K7 = 1,65 ÷ 2,5.

## Симмисторы.

Минимальный угол открытия симмистора

$$α=\arccos(\left(\frac{2 × U\_{н.эд}}{Е\_{0}}-1\right)),$$

где Е0 - среднее значение выпрямленной ЭДС при угле

открывания симмистора $α=0$.

Среднее значение выпрямленной ЭДС при угле открывания симмистора $α=0$

$Е\_{0}=\frac{U\_{2Ф}}{К\_{4}}$, (6)

где $U\_{2Ф}$ – напряжение вторичной обмотки питающего

 трансформатора.

Напряжение во вторичной обмотке трансформатора

$U\_{2ф}=\frac{Кс×Кy×К\_{R}×Uн.эд}{К\_{4}}$, (7)

где Kс – учитывает возможное снижение напряжения сети;

 Kс = 1,05 ÷ 1,1;

 Kγ – учитывает неполное открывание вентилей;

 Kγ = 1 ÷ 1,15;

 KR – учитывает падение напряжения в вентилях, обмотках

 трансформатора и реакторов;

 KR = 1,05;

 К4 – коэффициент схемы (таблица 6) для остальных К4 = 1.

Максимальный угол открытия симмистора

$$α\_{max}=\arccos(\left(\frac{2 × U\_{н.эд}}{10×Е\_{0}}-1\right))$$

Режим с максимальной загрузкой соответствует минимальному углу открытия.

Действующее значение тока симмистора

$I\_{сим}= I\_{н.пр.} × \sqrt{\frac{π-α}{π}}$ (8)

Коэффициент формы тока

$k\_{фi}= \sqrt{\frac{π-α}{π}}$ (9)

Выбираем предварительно тип симистора и охладителя по условию

$К\_{зо}×К\_{зрі}×I\_{сим}\leq I\_{сим^{'}},$

где Кзо – коэффициент запаса, учитывающий отклонение режима

 работы и условий охлаждения отличных от

 номинальных;

 Кзо = 0.8 ÷ 1;

 Кзрi - коэффициент запаса по току в рабочем режиме;

 Кзрi = 1,25 ÷ 1,65;

 Iсим′-ток выбранного симмистора.

## Диоды.

Определяем среднее значение тока диода по формуле

$I\_{диод}=\frac{I\_{н.пр}}{2}$ (10)

Произвести выбор диода по условию

$$К\_{зо}×К\_{зрі}×I\_{диод}\leq I\_{FAVm},$$

где IFAVm - максимально допустимый ток выбранного диода при

заданных условиях охлаждения.

Определяем расчётное напряжение диода максимальным напряжением преобразователя и коэффициентом схемы по формуле

$U\_{диод}=К\_{4}×U\_{max.пр}$ (11)

Обратное допустимое напряжение выбранного диода должно удовлетворять условию

$$U\_{диод^{'}}\geq К\_{7}×U\_{диод}$$

## Транзисторы.

Силовые транзисторы выбираются по:

– максимальному току транзистора Iк.mах

$$I\_{к.max}>I\_{н.эд}$$

– максимальному напряжению коллектор-эммитер Uкэ.mах

$$U\_{кэ.max}>U\_{max.пр.}$$

Расчетные значения

$I\_{к.max}=K\_{8}I\_{н.эд},$(12)

где К8 - коэффициент запаса транзистора по току;

 К8 = 1 ÷ 2.

$U\_{кэ.max}=К\_{9}U\_{max.пр.},$ (13)

где К9 - коэффициент запаса транзистора по напряжению;

 К9 = 1.5 ÷ 2.5.

Выбираем транзистор.Проверяем тепловые режимы работы транзистора.

Для этого рассчитываем рассеиваемую мощность на коллекторе транзистора

$$Р\_{к.РАСЧ.}<Р\_{к.},$$

где Рк.РАСЧ. - расчетное значение рассеиваемой мощности на

коллекторе;

 Рк - рассчитываемая мощность на коллекторе выбранного

 транзистора.

$Р\_{к.РАСЧ.}=∆ Р\_{нас.}+∆ Р\_{отс.}+∆ Р\_{упр.}+∆ Р\_{ком.},$ (14)

где Δ Рнас. - потери мощности в режиме насыщения;

 Δ Ротс. - потери мощности в режиме отсечки;

 Δ Рупр. - потери мощности на управление;

 Δ Рком. - потери мощности на коммутацию.

$∆ Р\_{НАС.}=U\_{КЭ.НАС.}×I\_{Н.ЭД},$ (15)

где UКЭ.НАС. – напряжение насыщения коллектора-эммитора.

$∆ P\_{ОТС.}=U\_{max.пр.}×I\_{к.э.отс.},$ (16)

где Iк.э.отс. = 0.1…2mA – ток отсечки на коллектор- эммитор.

$∆ Р\_{упр}=U\_{Б.э.}×I\_{Б.э.},$ (17)

где UБ.э. = 0.1…1В - напряжение база-эммитор;

 IБ.э. - ток база-эммитор.

$Δ Р\_{ком}= \frac{I\_{Н.эд} × U\_{мaх.np.}×f × \left(t\_{вкл}+ t\_{выкл}\right)}{3}$, (18)

где f - частота работы ШИП(400-1000Гц);

 tвкл - время включения транзистора;

 tвыкл - время выключения транзистора.

**Общие сведения для решения задач 2-5**

Данная задача относится к расчету выпрямителей переменного тока, собранных на полупроводниковых диодах. При решении задачи следует помнить, что основными параметрами полупроводниковых диодов являются допустимый ток Iдоп, на который рассчитан данный диод, и обратное напряжение Uобр., которое выдерживает диод без пробоя в непроводящий период.

При составлении реальной схемы выпрямителя задаются значениями мощности потребителя Pd (Вт), получающего питание от данного выпрямителя, и выпрямленным напряжением Ud (В), при котором работает потребитель постоянного тока. Ток потребителя Id = Pd/Ud. Сравнивая ток потребителя с допустимым током диода Iдоп, выбирают диоды для схемы выпрямителя. Для однополупериодного выпрямителя ток через диод равен току потребителя, т. е. надо соблюдать условие

Iдоп ≥ Id. Длядвухполупериодной и мостовой схем выпрямления ток через диод равен половине тока потребителя, т. е. следует соблюдать условие Iдоп ≥ 0,5 Id. Для трехфазного выпрямителя ток через диод составляет треть тока потребителя, следовательно, необходимо, чтобы Iдоп ≥ 1/3 Id.

Напряжение, действующее на диод в непроводящий период Ub, также зависит от той схемы выпрямления, которая применяется в конкретном случае. Так, для однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей Ub = πUd = 3,14Ud, для мостового выпрямителя Ub = πUd/2= 1,57Ud, а для трехфазного выпрямителя Ub = 2,1Ud. При выборе диода, следовательно, должно соблюдаться условие Uобр ≥ Ub.

Рассмотрим примеры составления схем выпрямителей.

**Пример 2**

Составьте схему мостового выпрямителя, применив один из четырех диодов: Д218, Д222, КД202Н, Д215Б. Мощность потребителя Рd = 300 Вт, напряжение потребителя Ud = 200 В.

Решение:

Выбираем из таблицы 7 параметры заданных диодов.

Таблица 7 – Параметры диодов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Типдиода | Iдоп, А | Uобр, В | Типдиода | Iдоп, А | Uобр, В |
| Д7Г | 0,3 | 200 | Д231 | 10 | 300 |
| Д205 | 0,4 | 400 | Д231Б |  5 | 300 |
| Д207 | 0,1 | 200 | Д232 | 10 | 400 |
| Д209 | 0,1 | 400 | Д232Б |  5 | 400 |
| Д210 | 0,1 | 500 | Д233 | 10 | 500 |
| Д211 | 0,1 | 600 | Д233Б |  5 | 500 |
| Д214 |  5 | 100 | Д234Б |  5 | 600 |
| Д214А |  10 | 100 | Д242 |  5 | 100 |
| Д214Б |  2 | 100 | Д242А | 10 | 100 |
| Д215 |  5 | 200 | Д242Б |  2 | 100 |
| Д215А |  10 | 200 | Д243 |  5 | 200 |
| Д215Б |  2 | 200 | Д243А | 10 | 200 |
| Д217 | 0,1 | 800 | 243Б |  2 | 200 |
| Д218 | 0,1 |  1000 | Д244 |  5 |  50 |
| Д221 | 0,4 | 400 | Д244А | 10 |  50 |
| Д222 | 0,4 | 600 | Д244Б |  2 |  50 |
| Д224 |  5 |  50 | Д302 |  1 | 200 |
| Д224А |  10 |  50 | Д303 |  3 | 150 |

Продолжение таблицы 7

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Типдиода | Iдоп, А | Uобр, В | Типдиода | Iдоп, А | Uобр, В |
| Д224Б |  2 |  50 | Д304 |  3 | 100 |
| Д226 | 0,3 | 400 | Д305 |  6 |  50 |
| Д226А | 0,3 | 300 | КД202А |  3 |  50 |
| КД202Н |  1 | 500 |  |  |  |

Ток потребителя:

 Id = Pd/Ud = 300/200 = 1,5 А (19)

Напряжение, действующее на диод в непроводящий период для мостовой схемы выпрямителя: Ub = 1,57Ud = 1,57×200 = 314 В.

Uобр > Ub > 314 B. Этим условиям удовлетворяет диод КД202Н:

Выбираем диод из условий: Iдоп ≥ 0,5Id = 0,5×1,5 = 0,75 А.

$$I\_{доп}=1,0>0,75 А; U\_{обр}=500>314 А$$

Диоды Д218 и Д222 удовлетворяют условию по напряжению, так как 1000 В и 600 В больше 314 В, но не подходят по допустимому току, так как 0,1 А и 0,4 А меньше 0,75 А. Диод 215 Б, наоборот, подходит по допустимому току, так как 2 А > 0,75 А, но не подходит по обратному напряжению, так как 200 В < 314 В.

Составляем схему мостового выпрямителя (рисунок 1). В этой схеме каждый из диодов КД202Н имеет параметры: Iдоп = 1 А; Uобр = 500 В.



 Рисунок 1 Рисунок 2

**Пример 3**

Для питания постоянным током потребителя мощностью Рd = 250 Вт при напряжении Ud = 100 В необходимо собрать схему двухполупериодного выпрямителя, использовав стандартные диоды типа Д243Б.

Решение:

Выписываем из таблицы 7 параметры диода Д243Б

$$I\_{доп}=2 A; U\_{обр}=200 В$$

Ток потребителя:

$I\_{d}=P\_{d}/U\_{d}=300/20=15 А$ (20)

Напряжение, действующее на диод в непроводящий период:

$U\_{b}=3,14 U\_{d}=3,14×100=314 B$ (21)

Проверяем диод по параметрам Iдоп и Uобр. Для данной схемы диод должен удовлетворять условиям Uобр > Ub и Iдоп > 0,5I. В данном случае первое условие не соблюдается, так как 200В < 314 В, т. е.Uобр < Ub. Второе условие выполняется, так как 0,5 Id = 0,5 × 2,5 А = 1,25 А < 2 А.

Составляем схему выпрямителя. Чтобы выполнялось условие необходимо два диода соединить последовательно, тогда Uобр = 200 В × 2 = 400 В > 314 В. Полная схема выпрямителя приведена на рисунке 2.



 Рисунок 3 Рисунок 4

**Пример 4**

Для питания постоянным током потребителя мощностью Рd = 300 Вт при напряжении Ud = 20 В необходимо собрать схему однополупериодного выпрямителя, использовав имеющиеся стандартные диоды Д242 А.

Решение:

Выписываем из таблицы 7 параметры диода Д242 А.

$$I\_{доп}=10 A; U\_{обр}=100 B$$

Определяем ток потребителя:

$I\_{d}=P\_{d}/U\_{d}=300/20=15 A$ (22)

Определяем напряжение, действующее на диод в непроводящий период:

$U\_{b}=3,14 U\_{d}=3,14×100=314 B$ (23)

Проверяем диод по параметрам Iдоп и Uобр. Для данной схемы диод должен удовлетворять условиям Uобр > Ub, Iдоп > Id. В данном случае второе условие не соблюдается, так как 10 А < 15 А, т.е. Iдоп < Id. Первое условие выполняется, так как 100 В > 63 В.

Составляем схему выпрямителя. Чтобы выполнялось условие

Iдоп > Id, надо два диода соединить параллельно, тогда Iдоп = 2×10 = 20 А; 20 А > 15 А. Полная схема выпрямителя приведена на рисунке 3.

**Пример 5**

Для составления схемы трехфазного выпрямителя на трех диодах заданы диоды Д243. Выпрямитель должен питать потребитель с Ud = 150 В. Определите допустимую мощность потребителя и поясните порядок составления схемы выпрямителя.

Решение:

Выбираем из таблицы 7 параметры диода Д243:

$$I\_{доп}=5 A; U\_{обр}=200 B$$

Допустимая мощность потребителя. Для трехфазного выпрямителя: Iдоп ≥ 1/3 Id, т.е. Рd = 3Ud Iдоп = 3 × 150 B × 5 A = 2250 Вт. Следовательно, для данного выпрямителя: Рd ≥ 2250 Вт.

Напряжение, действующее на диод в непроводящий период:

$U\_{b}=2,1× U\_{d}=2,1×150=315 B$ (24)

Составляем схему выпрямителя. Проверяем диод по условию Uобр > Ub В данном случае это условие не выполняется, так как 200 В < 315 В. Чтобы условие выполнялось, необходимо в каждом плече два диода соединить последовательно, тогда Uобр = 200 В × 2 = 400 В, 400 В > 315 В.

Полная схема выпрямителя приведена на рисунке 4.

Таблица 8 – Варианты заданий на домашнюю контрольную работу по учебной дисциплине «Силовая

преобразовательная техника»

|  |  |
| --- | --- |
| Предпоследняя цифра шифра | Последняя цифра шифра |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 | 1,2,**10,11** | 1,3, **12,13** | 1,4,**14,15** | 1,5, **16,17** | 1,3,**18,19** | 1,2,**20,21** | 1, 4,**22,23** | 1, 5,**24,25** | 1, 4,**26,27** | 1, 2,**28,29** |
| 1 | 1, 3,**30,31** | 1, 5,**32,33** | 1, 2,**34,35** | 1, 3,**36,37** | 1, 4,**38,39** | 1, 5,**40,1** | 1, 4,**2, 3** | 1, 2,**4, 5** | 1, 3,**6, 7** | 1, 2,**8, 9** |
| 2 | 1, 3,**11,21** | 1, 4, **12,22** | 1, 5,**13,23** | 1, 4,**14,24** | 1,2,**15,25** | 1,3,**26,16** | 1,2,**17,27** | 1,4,**18,28** | 1,5,**19,29** | 1,2,**20,30** |
| 3 | 1,4,**1,31** | 1,3,**2,32** | 1,2,**3,33** | 1,5,**4,34** | 1,3,**5,35** | 1,4,**6,36** | 1,2,**7,37** | 1,3,**8,38** | 1,5,**9,39** | 1,4,**10,40** |
| 4 | 1,3,**1,40** | 1,2,**2,39** | 1,5,**3,38** | 1,4,**4,37** | 1,2,**5,36** | 1,3,**6,35** | 1,5,**7,34** | 1,4,**8,33** | 1,3,**9,32** | 1,2,**10,31** |
| 5 | 1,5,**11,30** | 1,4,**12,29** | 1,3,**13,28** | 1,2,**14,27** | 1,5,**15,26** | 1,4,**16,25** | 1,3,**17,24** | 1,2,**18,23** | 1,3,**19,22** | 1,4,**20,21** |
| 6 | 1,5,**11,21** | 1,2,**12,22** | 1,3,**13,23** | 1,4,**14,24** | 1,5,**15,25** | 1,2,**16,26** | 1,3,**17,27** | 1,4,**18,28** | 1,5,**19,29** | 1,2,**20,30** |
| 7 | 1,3,**5,26** | 1,5,**1,33** | 1,4,**6,21** | 1,2,**10,35** | 1,3,**11,27** | 1,4,**20,38** | 1,2,**16,40** | 1,3,**3,19** | 1,5,**7,24** | 1,3,**9,39** |
| 8 | 1,4,**15,36** | 1,2,**8,32** | 1,3,**4,26** | 1,5,**19,23** | 1,2,**25,40** | 1,3,**33,27** | 1,4,**8,24** | 1,5,**16,30** | 1,2,**12,39** | 1,4,**16,20** |
| 9 | 1,3,**9,21** | 1,5,**11,25** | 1,4,**14,29** | 1,3,**19,27** | 1,2,**21,30** | 1,5,**11,36** | 1,3,**19,21** | 1,4,**8,12** | 1,5,**10,18** | 1,2,**5,39** |

Примечание - Жирным шрифтом выделены теоретические вопросы.