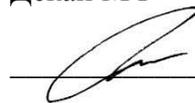


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Мореходный факультет

Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

УТВЕРЖДАЮ
Декан МФ



/С.Ю. Труднев/

«23» октября 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Физические основы электроники»

по направлению подготовки
13.03.02 «Энергетика и электротехника»
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»
квалификация: бакалавр

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 02.10.2024 г., протокол № 2

Составитель рабочей программы
Старший преподаватель кафедры «ЭУЭС»



Рогожников А.О.

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

1. Цели и задачи учебной дисциплины

Целью преподавания дисциплины «Физические основы микроэлектроники» является подготовка инженеров, умеющих грамотно эксплуатировать устройства на основе полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

Предметом данного курса является изучение, как с качественной, так и с количественной стороны электромагнитных явлений и процессов, происходящих в различных электротехнических устройствах.

2. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих *компетенций*:

1. Способен осуществлять безопасное техническое использование, техническое обслуживание, диагностирование и ремонт судового электрооборудования и средств автоматики в соответствии с международными и национальными требованиями (ПК-1).

Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, представлены в таблице.

| Код компетенции | Планируемые результаты освоения образовательной программы | Код и наименования индикатора достижения компетенции | Планируемый результат обучения по дисциплине | Код показателя освоения |
|-----------------|--|---|---|-------------------------|
| ПК-1 | Способен производить оценку технического состояния электрооборудования | ИД-1 _{ПК-1} . Знает устройство (конструкцию) электрооборудования и устройств автоматики ИД-2 _{ПК-1} . Знает гребные электрические установки судов, электродвигатели и системы управления ИД-3 _{ПК-1} . Знает высоковольтные технологии, включая специальный тип высоковольтных систем и опасности, связанные с рабочим напряжением более 1000 вольт ИД-4 _{ПК-1} . Умеет анализировать параметры технического состояния электрооборудования ИД-5 _{ПК-1} . Умеет работать с технической документацией по эксплуатации электрооборудования и автоматики | Знать: – устройство, принцип действия и техникоэксплуатационные характеристики отдельных элементов и системы в целом; – физические процессы и свойства судовой электроэнергетической системы в статических и динамических режимах работы; – принципы управления и автоматизации судовой электроэнергетической системы; – организацию технической эксплуатации, технического обслуживания и ремонта судовой электроэнергетической системы; – основы безопасной эксплуатации и требования Регистра, предъявляемые к судовой электроэнергетической системе и ее элементам. | З(ПК-1)1 |
| | | | | З(ПК-1)2 |
| | | | | З(ПК-1)3 |
| | | | | З(ПК-1)4 |
| | | | | З(ПК-1)5 |
| | | | Уметь: – выбирать состав действующих технических средств и режим работы судовой электроэнергетической системы в зависимости от производственной необходимости и режима работы судна; – оценивать режим работы и техническое состояние работающих элементов электроэнергетической системы по контрольным параметрам и косвенным характеристикам их работы; – управлять процессом работы судовой электроэнергетической системы в ручном и автоматическом режиме; | У(ПК-1)1 |
| | | | | У(ПК-1)2 |
| | | | | У(ПК-1)3 |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | – осуществлять поиск и устранение неисправностей, организовывать техническое обслуживание и ремонт элементов судовой электроэнергетической системы. | У(ПК-1)4 |
| | | | Владеть: – эксплуатацией судовой электроэнергетической системы и ее элементов; – управлением режимами работы судовой электроэнергетической системы; – построением и чтением электрических схем; – использованием технической документации и ведением судовой эксплуатационной документации. | В(ПК-1)1 В(ПК-1)2 В(ПК-1)3 В(ПК-1)4 |

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физические основы электроники» (ФОЭ) относится к части, формируемой участниками образовательных отношений в структуре основной профессиональной образовательной программы, обеспечивает подготовку курсантов и студентов в области техники, базирующуюся на изучении физических явлений в полупроводниках, диэлектриках, вакууме, газе, плазме и т.д. Дисциплина «Физические основы электроники» относится к циклу специальных дисциплин. Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах: «Высшая математика», «Физика», «Теоретические основы электротехники», «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника».

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении дисциплин: «Микропроцессорные системы управления», «Автоматизация СЭС».

4. Содержание дисциплины

4.1. Тематический план дисциплины заочной формы обучения

| Наименование разделов и тем | Всего часов | Аудиторные занятия | Контактная работа по видам учебных занятий | | | Самостоятельная работа | Формы текущего контроля | Итоговый контроль знаний |
|--|-------------|--------------------|--|----------------------|---------------------|------------------------|---|--------------------------|
| | | | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Введение | 20 | 1 | 1 | | | 19 | Конспект лекций по темам, защита отчета по ПР | |
| Интегральные микросхемы. Общие сведения | 22 | 3 | 1 | 2 | | 19 | | |
| Элементы полупроводниковых ИМС | 24 | 5 | 2 | 3 | | 19 | | |
| Элементы гибридных ИМС | 22 | 3 | 1 | 2 | | 19 | | |
| Элементы функциональной микроэлектроники | 24 | 5 | 2 | 3 | | 19 | | |
| Сведения по надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем | 23 | 3 | 1 | 2 | | 20 | | |
| Контрольная работа | | | | | | | Защита | |
| Экзамен | 9 | | | | | | Опрос | 9 |
| Всего | 144 | 20 | 8 | 12 | | 115 | | 9 |

4.2. Содержание дисциплины

Тема 1. Введение

Лекция

Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы развития электроники. Задачи и принципы микроэлектроники. Полупроводниковые приборы как основные функциональные элементы микроэлектроники.

Практическое занятие

Изучение электрофизических свойств электронно-дырочного перехода, в том числе при изменении температуры

Тема 2. Интегральные микросхемы. Общие сведения

Лекция

Основные задачи микроэлектроники. Принцип интеграции. Понятия: интегральная микросхема (ИМС), элемент и компонент ИМС. Классификация ИМС по конструктивно-технологическому и функциональному признакам. Полупроводниковые и гибридные, цифровые и аналоговые ИМС. Основные параметры ИМС.

Практическое занятие

Ознакомление со значениями параметров полупроводниковых материалов и их размерностями. Исследование поверхностной проводимости полупроводников

Тема 3. Элементы полупроводниковых ИМС

Лекция

Основы планарной технологии. Сущность группового метода. Процессы эпитаксии, формирования диэлектрических покрытий, литографии, получение легированных слоев. Методы изоляции элементов, способы их коммутации. Элементы биполярных ИМС. Особенности структуры и топологии транзисторов в интегральном исполнении: эпитаксиально-планарный и изопланарный. Многоэмиттерный и многоколлекторный транзисторы. Диодное включение транзисторных структур. Резисторы и конденсаторы биполярных ИМС. Элементы МДП ИМС. Особенности интегральных МДП транзисторов. Транзисторы с самосовмещенными затворами. МДП конденсаторы и резистивные элементы. Элементы МДП СБИС: принцип масштабирования, комплементарные структуры, вертикальные МДП транзисторы, структуры "кремний на диэлектрике". Элементы ИМС на основе арсенида галлия. Сравнительная характеристика кремния и арсенида галлия как материалов микроэлектроники. Разновидности интегральных транзисторов на арсениде галлия. Особенности элементов со структурой металл-полупроводник и гетеропереходом. Элементная база и особенности структуры цифровых БИС и СБИС.

Практическое занятие

Изучение режимов работы МДП-транзистора, в том числе с индуцированным затвором и изолированным затвором

Тема 4. Элементы гибридных ИМС

Лекция

Основы пленочной технологии. Методы изготовления пленочных элементов. Пленочные резисторы, конденсаторы, индуктивные элементы. Стабилизация и подгонка параметров элементов. Основные типы навесных компонентов, техника их монтажа. Особенности гибридных БИС. Конструкция многослойных коммутационных плат.

Практическое занятие

Изучение режимов работы биполярного транзистора

Тема 5. Элементы функциональной микроэлектроники

Лекция

Задачи и принципы функциональной микроэлектроники. Физическая интеграция. Основные направления функциональной микроэлектроники. Элементы оптоэлектроники. Характеристика и особенности оптической связи. Разновидности оптронов, их структура и основные свойства. Оптоэлектронные ИМС и интегральная оптика. Элементы магнитооптики. Магнитные эффекты в тонких магнитных пленках. Цилиндрические магнитные домены. Управление движением ЦМД. Принципы построения запоминающих и логических элементов на ЦМД. Элементы криоэлектроники. Практическая значимость явления сверхпроводимости. Туннельные эффекты Джозефсона: принцип действия, основные свойства, применение. Основы акустоэлектроники. Пьезоэлектрический эффект.

Объемные и поверхностные акустические волны. Пьезорезонаторы. Устройства на поверхностных акустических волнах: принцип действия, основные свойства, применение.

Практическое занятие

Изучение режимов работы тиристора, симистора, JBT – транзистора

Тема 6. Сведения по надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем

Лекция

Основные положения и понятия теории надежности. Интенсивность отказов, вероятность безотказной работы. Показатели надежности. Постепенные и катастрофические отказы, причины отказов полупроводниковых приборов и ИМС. Надежность элементов ИМС в целом. Испытания на надежность. Пути повышения качества и надежности ИМС.

Практическое занятие

Расчет электрофизических характеристик полупроводниковых структур по индивидуальному заданию

5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся

5.1. Внеаудиторная самостоятельная работа курсантов / студентов

Основными формами самостоятельной работы студентов при освоении дисциплины являются: проработка вопросов, выносимых на самостоятельное изучение, изучение основной и дополнительной литературы, конспектирование материалов, подготовка к практическим, подготовка к промежуточной аттестации.

Студентам заочной формы обучения необходимо параллельно с изучением теории выполнить контрольную работу. Во время экзаменационно-лабораторной сессии защитить контрольную работу и сдать экзамен по дисциплине.

Контрольная работа выполняется по разделу цифровая микросхемотехника для закрепления учебного материала по изучению работы цифровых микросхем на базе ТТЛ и МОП структурах.

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Физические основы электроники» представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Вопросы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (экзамен)

1. Классификация электронных приборов и устройств.
2. Электропроводность твердых тел
3. Собственные и примесные полупроводники
4. Электронно-дырочный переход. Полупроводниковые диоды
5. Типы диодов, их параметры, свойства, применение
6. Полевые транзисторы. Классификация, устройство, принцип действия
7. Биполярные транзисторы. Устройство, принцип действия. Схемы включения (ОЭ, ОБ, ОК); характеристики
8. МОП – структуры, МДП – специального назначения, свойства, применение.
9. Тиристоры. Основные параметры и их ориентировочные значения.

10. Электровакuumные приборы. Устройство, принцип работы
11. Основные типы ЭВП. Электронно-лучевые трубки. Классификация, применение
12. Газоразрядные приборы. Устройство, принцип работы.
13. Основные типы ГРП. Классификация, применение
14. Усилители электрических сигналов. Общие сведения, принцип действия усилителя
15. Искажение сигналов в усилителях (линейные и нелинейные), способы их определения
16. Способы включения транзисторов в усилителях. Основные свойства усилителей с включением транзисторов по схеме ОЭ, ОБ и ОК
17. Обратная связь в усилителях. Основные свойства усилителей с включением транзисторов по схеме ОИ, ОЗи ОС
18. Обратная связь в усилителях. Положительная и отрицательная обратная связи, их влияние на характеристики и параметры усилителей
19. Дифференциальные усилители. Основные параметры, схемы соединения с источником сигнала и с нагрузкой
20. Характеристики схем на операционных усилителях
21. Инвертирующий, неинвертирующий и дифференциальный усилители на О
22. Применение ОУ в судовой аппаратуре. Характеристики схем на операционных усилителях
23. Инвертирующий, неинвертирующий и дифференциальный усилители на ОУ. Применение ОУ в судовой аппаратуре
24. Работа транзисторов в ключевом режиме
25. Схема транзисторного ключа с общим эмиттером
26. Логические функции. Основные формулы и законы булевой алгебры.
27. Функционально-полная система логических элементов. Минимизация переключательных функций.
28. Триггеры. Общие сведения о цифровых автоматах
29. Классификация триггеров. D-триггеры, R-S-триггеры, J-K-триггеры. Триггеры с динамическим управлением. Т-триггеры.
30. Классификация счётчиков. Асинхронные и синхронные счётчики. Счётчики с последовательным и параллельным переносом. Суммирующие и вычитающие счетчики.
31. Шифраторы
32. Дешифраторы. Схемные решения Сумматоры и полусумматоры. Схемные решения. Область применения

7. Рекомендуемая литература

7.1. Основная литература

1. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник, 2004г., 709 стр., Москва(25экз);
2. Бондарь И.М. Электротехника и электроника: учеб. пособие, 2005., Москва(6экз);

7.2. Дополнительная литература

1. Акулов Ю. И. Основы электроники и судовая электроавтоматика. Учебник для вузов. Москва. – 1973. - 328с(11экз);
2. Харченко В.М. Основы электроника. Учеб. пособие для техникумов. – 1982г. – 352с(11экз).

7.3. Методическое обеспечение:

3. Швецов В.А. Физические основы электроники : программа курса, методические указания к изучению дисциплины и контрольные задания для студентов специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» очной и заочной форм обучения / В.А. Швецов. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2013. – 37 с.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Электронно-библиотечная система «eLibrary»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elibrary.ru>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Рекомендации по освоению лекционного материала, подготовке к лекциям Лекции являются основным видом учебных занятий в высшем учебном заведении. В ходе лекционного курса проводится изложение современных научных взглядов и освещение основных проблем изучаемой области знаний. Значительную часть теоретических знаний студент должен получать самостоятельно из рекомендованных основных и дополнительных информационных источников (учебников, Интернет-ресурсов, электронной образовательной среды университета). В тетради для конспектов лекций должны быть поля, где по ходу конспектирования делаются необходимые пометки. В конспектах рекомендуется применять сокращения слов, что ускоряет запись. Вопросы, возникшие в ходе лекций, рекомендуется делать на полях и после окончания лекции обратиться за разъяснениями к преподавателю. После окончания лекции рекомендуется перечитать записи, внести поправки и дополнения на полях. Конспекты лекций рекомендуется использовать при подготовке к практическим занятиям и лабораторным работам, экзамену, контрольным тестам, коллоквиумам, при выполнении самостоятельных заданий.

Рекомендации по подготовке к практическим занятиям. Для подготовки к практическим занятиям необходимо заранее ознакомиться с перечнем вопросов, которые будут рассмотрены на занятии, рекомендуемой основной и дополнительной литературы. Необходимо прочитать соответствующие разделы из основной и дополнительной литературы, рекомендованной преподавателем, выделить основные понятия и процессы, их закономерности и движущие силы и взаимные связи. При подготовке к занятию не нужно заучивать учебный материал. На практических занятиях нужно выяснять у преподавателя ответы на интересующие или затруднительные вопросы, высказывать и аргументировать свое мнение.

Рекомендации по организации самостоятельной работы. Самостоятельная работа включает изучение учебной литературы, поиск информации в сети Интернет, подготовку к практическим занятиям, экзамену, выполнение самостоятельных практических заданий (рефератов, расчетно-графических заданий/работ, оформление отчетов по лабораторным работам и практическим заданиям, решение задач, изучение теоретического материала, вынесенного на самостоятельное изучение, изучение отдельных функций прикладного программного обеспечения и т.д.).

Подготовка к экзамену. При подготовке к экзамену большую роль играют правильно подготовленные заранее записи и конспекты. В этом случае остается лишь повторить пройденный материал, учесть, что было пропущено, восполнить пробелы, закрепить ранее изученный материал. В ходе самостоятельной подготовки к экзамену при анализе имеющегося теоретического и практического материала курсанту (студенту) также рекомендуется проводить постановку различного рода задач по изучаемой теме, что поможет в дальнейшем выявлять критерии принятия тех или иных решений, причины совершения определенного рода ошибок. При ответе на вопросы, поставленные в ходе самостоятельной подготовки, обучающийся вырабатывает в себе способность логически мыслить, искать в анализе событий причинно-следственные связи.

10 Курсовой проект (работа)

Выполнение курсового проекта (работы) не предусмотрено учебным планом.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационно-справочных систем

11.1 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса

1. электронные образовательные ресурсы, представленные в п. 6 и 7 данной рабочей программы;
2. использование слайд-презентаций;
3. интерактивное общение с обучающимися и консультирование посредством электронной почты.

11.2. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса

При освоении дисциплины используется лицензионное программное обеспечение:

1. текстовый редактор Microsoft Word;
2. электронные таблицы Microsoft Excel;
3. презентационный редактор Microsoft Power Point;

12. Материально-техническое обеспечение дисциплины

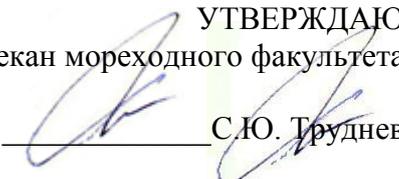
1. для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, самостоятельной работы учебная аудитория № 3-411 с комплектом учебной мебели на 32 посадочных места;
2. доска аудиторная;
3. комплект лекций по темам курса «Физические основы электроники»;
4. мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор);
5. лабораторные стенды.
6. кодоскоп;
7. комплект слайдов для кодоскопа;
8. Пакет прикладных программ MATLAB
9. Пакет прикладных программ ELEKTRONIC WORKBENCH
10. Пакет прикладных программ MULTISIM

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Факультет МОРЕХОДНЫЙ

Кафедра «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ»

УТВЕРЖДАЮ
Декан мореходного факультета


С.Ю. Труднев

«23» октября 2024 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДИСЦИПЛИНЫ

«Физические основы электроники»

по направлению подготовки
13.03.02 «Энергетика и электротехника»
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»
квалификация: бакалавр

Петропавловск-Камчатский
2024

Фонд оценочных средств дисциплины составлен на основании ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 23.10.2024 г., протокол № 2.

Составитель фонда оценочных средств
Старший преподаватель кафедры «ЭУЭС»


_____ (подпись)

Рогожников А.О.
(ФИО.)

Фонд оценочных средств рассмотрен на заседании кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов»

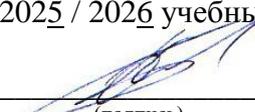
«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

АКТУАЛЬНО НА

2025 / 2026 учебный год


_____ (подпись)

Белов О.А.
(ФИО. зав.кафедрой)

2026 / 2027 учебный год

_____ (подпись)

_____ (ФИО. зав.кафедрой)

2027 / 2028 учебный год

_____ (подпись)

_____ (ФИО. зав.кафедрой)

2028 / 2029 учебный год

_____ (подпись)

_____ (ФИО. зав.кафедрой)

2029 / 2030 учебный год

_____ (подпись)

_____ (ФИО. зав.кафедрой)

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации студентов по дисциплине «**Физические основы электроники**» представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

1. паспорт фонда оценочных средств по дисциплине;
2. перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
3. описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание их шкал оценивания;
4. методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.

После освоения теоретического материала и выполнения практических работ студент **должен**:

Знать: физические основы работы, характеристики, параметры и эквивалентные схемы электронных приборов, их назначение, классификацию, маркировку, основные конструкторско-технологические и эксплуатационные параметры; типовые схемотехнические решения электронных устройств, применяемых в судовых устройствах электрооборудования, а также электрохозяйств береговых предприятий и учреждений.

Уметь: использовать электронные приборы для построения электронных устройств; определять параметры и характеристики электрических устройств.

Владеть навыками: эксплуатации электроизмерительных приборов с соблюдением ТБ; сборки электрических схем.

1 Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине «Физические основы электроники»

| № | Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Код контролируемой компетенции (или ее части) | Наименование оценочного средства |
|---|--|---|--|
| 1 | Введение | ПК-1 | Контроль СРС, защита практических и лабораторных работ |
| 2 | Интегральные микросхемы. Общие сведения | | |
| 3 | Элементы полупроводниковых ИМС | | |
| 4 | Элементы гибридных ИМС | | |
| 5 | Элементы функциональной микроэлектроники | | |
| 6 | Сведения по надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем | | |

2 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

| № п/п | Код контролируемой компетенции | Наименование контролируемой компетенции | Наименование дисциплины формирующей компетенцию | Этапы формирования компетенции (курсы) | | | | |
|-------|--------------------------------|--|---|--|---|---|---|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | ПК-1 | Способен производить оценку технического состояния электрооборудования | Введение в специальность | 1 | | | | |
| | | | Судовые информационно-измерительные системы | | | 3 | | |
| | | | Теоретические основы электротехники | | 2 | | | |
| | | | Производственная практика | | | 3 | | |
| | | | Электроизмерительная и контрольная аппаратура | | | 3 | | |
| | | | Физические основы электротехники | | | | 3 | |
| | | | Судовые электрические, электр аппараты и устройства | | | | 3 | |

| | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|---|--|--|
| | | | Элементы и функциональные устройства судовой автоматики | | | 3 | | |
|--|--|--|--|--|--|---|--|--|

3 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание их шкал оценивания

Контроль поэтапного формирования результатов освоения дисциплины *для студентов заочной формы обучения* осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации в ходе выполнения заданий на практических занятиях, выполнении заданий, вынесенных на самостоятельную работу (СР), выполнении контрольной работы, а также при сдаче экзамена.

Критерии выставления оценок за практическую работу

Оценка **«отлично»** выставляется, если студент показал глубокие знания и понимание программного материала по теме практической работы, умело увязывает лекционный материал с практикой, грамотно и логично строит ответ на контрольные вопросы.

Оценка **«хорошо»** выставляется, если студент твердо знает программный материал по теме практической работы, грамотно его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на контрольные вопросы. Правильно применяет полученные знания при решении практических вопросов.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если студент имеет знания только основного материала по поставленным контрольным вопросам, но не усвоил его деталей, для принятия правильного решения требует наводящих вопросов, допускает отдельные неточности или недостаточно четко излагает учебный материал по теме практической работы.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если студент допускает грубые ошибки в ответе на контрольные вопросы, не может применять полученные знания на практике.

Критерии выставления оценок за самостоятельную работу

Оценка **«отлично»** выставляется, если студент показал глубину проработки темы самостоятельной работы, умело привязывает материал к области практического применения и показал высокий уровень освоения изложенного материала.

Оценка **«хорошо»** выставляется, если студент показал глубину проработки темы самостоятельной работы, умело привязывает материал к области практического применения, показал достаточно высокий уровень освоения изложенного материала, однако при оформлении конспекта допускает немногочисленные ошибки в схемах радиотехнических цепей и при выводах основных выражений.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если студент показал глубину проработки темы самостоятельной работы, показал удовлетворительный уровень освоения изложенного материала, однако не увязывает изложенный материал с областью практического применения, при оформлении конспекта допускает грубые ошибки в схемах радиотехнических цепей и при выводах основных выражений.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если студент провел поверхностное изучение темы самостоятельной работы, показал неудовлетворительный уровень освоения изложенного материала, не увязывает изложенный материал с областью практического применения, при оформлении конспекта допускает грубые ошибки в схемах радиотехнических цепей и при выводах основных выражений.

Критерии выставления оценок за курсовую, контрольную работу (РГР)

Оценка **«отлично»** выставляется, если студент свободно увязывает принятые им способы решения поставленных задач с теоретическими положениями, легко ориентируется в написанном им тексте, работа оформлена технически грамотно.

Оценка **«хорошо»** выставляется, если студент может обосновать применённые способы решения задач, но может допускать мелкие ошибки, свободно понимает, как их можно исправить, работа оформлена в основном технически грамотно.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если студент увязывает принятые им способы решения поставленных задач с теоретическими положениями посредством наводящих вопросов, иногда с затруднениями понимает, как можно исправить мелкие ошибки, имеются погрешности в оформлении работы.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если выясняется, что студент выполнил курсовую работу (контрольную работу или РГР) формально, без понимания принципов решения поставленных задач, не ориентируется в написанном им тексте, при защите не понимает, как исправить допущенные ошибки.

Студент не сдавший РГР, контрольные, а также не выполнивший практические работы до зачета не допускается.

Критерии оценки знаний, умений и навыков на экзамене / зачете

Оценка студенту на зачете может быть выставлена по текущим оценкам приобретенных практических навыков в ходе прохождения практики и при наличии конспекта вопросов, отданных на самостоятельное изучение **при условии отсутствия пропусков занятий без уважительной причины.**

При несоблюдении данных условий студент дополнительно проходит собеседование по теоретическим вопросам. В случае несогласия студента с выставляемой оценкой по результатам выполнения практических заданий в семестре ему предоставляется шанс повысить данную оценку посредством теоретических вопросов.

По результатам собеседования студенту выставляется оценка:

«отлично», если студент показал глубокие знания и понимание программного материала по поставленному вопросу, умело увязывает его с практикой, грамотно и отлично строит ответ, быстро принимает оптимальные решения при решении практических вопросов и задач, безусловно владеет правилами работы с контрольно-измерительной аппаратурой;

«хорошо», если студент твердо знает программный материал, грамотно его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет полученные знания при решении практических вопросов и задач, владеет приемами работы с контрольно-измерительной аппаратурой;

«удовлетворительно», если студент имеет знания только основного материала по поставленному вопросу, но не усвоил деталей, требует в отдельных случаях наводящего вопроса для принятия правильного решения, допускает отдельные неточности и недостаточно четко выполняет правила работы с контрольно-измерительной аппаратурой;

«неудовлетворительно», если студент допускает грубые ошибки в ответе на поставленный вопрос, не может применить полученные знания на практике, неуверенно работает с контрольно-измерительной аппаратурой.

Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации

1. Полупроводниковые приборы как основные функциональные элементы микроэлектроники.
2. Полупроводниковые и гибридные, цифровые и аналоговые ИМС. Основные параметры ИМС.
3. Основы планарной технологии
4. Особенности структуры и топологии транзисторов в интегральном исполнении.

5. Диодное включение транзисторных структур.
6. Резисторы и конденсаторы биполярных ИМС.
7. МДП конденсаторы и резистивные элементы.
8. Элементы МДП СБИС.
9. Основы пленочной технологии.
10. Задачи и принципы функциональной микроэлектроники.
11. Основные направления функциональной микроэлектроники.
12. Элементы оптоэлектроники.
13. Характеристика и особенности оптической связи.
14. Разновидности оптронов, их структура и основные свойства.
15. Оптоэлектронные ИМС и интегральная оптика.
16. Элементы магнитооптики.
17. Магнитные эффекты в тонких магнитных пленках.
18. Цилиндрические магнитные домены. Управление движением ЦМД. Принципы построения запоминающих и логических элементов на ЦМД.
19. Элементы криоэлектроники. Практическая значимость явления сверхпроводимости.
20. Туннельные эффекты Джозефсона: принцип действия, основные свойства, применение.
21. Основы акустоэлектроники. Пьезоэлектрический эффект.
22. Объемные и поверхностные акустические волны. Пьезорезонаторы.
23. Устройства на поверхностных акустических волнах: принцип действия, основные свойства, применение.
24. Основные положения и понятия теории надежности.
25. Интенсивность отказов, вероятность безотказной работы. Показатели надежности.
26. Постепенные и катастрофические отказы, причины отказов полупроводниковых приборов и ИМС. Надежность элементов ИМС в целом.
27. Испытания на надежность. Пути повышения качества и надежности ИМС.

Темы практических занятий

1. Изучение электрофизических свойств электронно-дырочного перехода, в том числе при изменении температуры
2. Ознакомление со значениями параметров полупроводниковых материалов и их размерностями. Исследование поверхностной проводимости полупроводников
3. Изучение режимов работы МДП-транзистора, в том числе с индуцированным затвором и изолированным затвором
4. Изучение режимов работы биполярного транзистора
5. Изучение режимов работы тиристора, симистора, JBT – транзистора
6. Расчет электрофизических характеристик полупроводниковых структур по индивидуальному заданию

Методические указания по написанию РЕФЕРАТА

С целью закрепления учебного материала и более детальной проработки отдельных вопросов студенты выполняют реферат по одной из предложенных тем. Тема и сроки выполнения реферата согласовываются с преподавателем.

При выполнении реферата отрабатываются навыки по систематизации, закреплению и расширению теоретических и практических знаний по специальности и применение этих знаний при решении конкретных прикладных задач. Также развиваются навыки работы с учебной, научной литературой и нормативно-технической документацией.

Объем реферата составляет 15-25 страниц формата А-4 и включает в себя титульный лист, содержание, введение, основную часть, заключение и список использованной литературы и электронных источников. Основная часть включает в себя 2-3 главы, которые в свою очередь могут делиться на параграфы и пункты.

Документ должен быть набран на компьютере и отпечатан на принтере с использованием современных текстовых и, если необходимо, графических редакторов на одной стороне листа (без рамки) белой бумаги формата А4. Размеры полей: левое - 30 мм, правое - 15 мм, верхнее - 20 мм и нижнее - 20 мм. Рекомендуемое расстояние между строками (базовое) – полтора интервала.

Таблицы, рисунки, чертежи, схемы, графики, фотографии как в тексте, так и в приложении должны быть выполнены на стандартных листах формата А4 (при больших схемах допускается использовать сложенный лист формата А3). Подписи и пояснения к рисункам должны быть на лицевой стороне.

Нумерация страниц документа, включая приложения, должна быть сквозная по всему тексту (все без исключения листы документа должны быть пронумерованы). Номера страниц проставляются в правом верхнем углу без точки. На титульном листе номер страницы не ставится, а только подразумевается (первая страница).

Текст основной части документа разделяют на главы, параграфы и пункты. Главы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами и записанные с абзацного отступа. Параграфы должны иметь нумерацию в пределах каждой главы, пункты – в пределах каждого параграфа. Номер пункта состоит из номеров главы, параграфа и пункта, разделенных точками. Точка после номера главы, параграфа и пункта не ставится.

Главы, параграфы, пункты должны иметь заголовки. Заголовки печатаются с абзацного отступа, без точки в конце, не подчеркивая. Перенос слов в заголовках не допускается. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Слова, "Глава", "Параграф", "Пункт" не печатаются ни в оглавлении, ни в заголовках основной части.

Для набора текста использовать следующие стили форматирования:

– **заголовки первого уровня** (главы, введение, заключение, список литературы, приложения)

Шрифт: Arial, 16 пт, полужирный, все прописные, Отступ: Слева 0,9 см, Первая строка 0 см, По центру, интервал Перед: 12 пт, После 6 пт, Не отрывать от следующего.

– **заголовки второго уровня** (параграфы)

Шрифт: Arial, 14 пт, полужирный, курсив, Отступ: Слева 0,9 см, Первая строка 0 см, По центру, интервал Перед: 12 пт, После 6 пт, Не отрывать от следующего.

Если заголовок параграфа следует непосредственно после заголовка главы, то используется интервал Перед: 0 пт.

– **заголовки третьего уровня** (пункты)

Шрифт: Arial, 14 пт, курсив, Отступ: Слева 0,9 см, Первая строка 0 см, По центру, интервал Перед: 12 пт, После 6 пт, Не отрывать от следующего.

– **текст пояснительной записки**

Шрифт: Times New Roman, 14 пт, Отступ: Первая строка: 0,9 см, По ширине, Междустрочный интервал: полуторный, Запрет висячих строк.

– **формулы**

Отступ: Первая строка: 0,9 см, По центру.

Подготовка и работа над рефератом состоит из следующих основных этапов:

– выбор и согласование темы реферата;

– разработка общей структуры реферата;

– сбор и анализ материала по теме реферата;

– проработка структуры реферата и формирование основной части;

– оформление реферата и предъявление его на кафедру для рецензирования;

– защита реферата.

Реферат представляется преподавателю в установленные сроки и определяется даты защиты. Защита реферата осуществляется в виде собеседования по теме реферата.

4 Методические материалы определяющие, процедуры оценивания знаний, умений, навыков и или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Оценка знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций по дисциплине проводятся в форме текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

Текущий контроль проводится в течение сессии с целью определения уровня усвоения обучающимися знаний, формирования умений и навыков, своевременного выявления преподавателем недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по её корректировке, а так же для совершенствования методики обучения, организации учебной работы и оказания индивидуальной помощи обучающемуся.

Промежуточная и итоговая аттестации по дисциплине проводится в виде контрольного опроса. За знания, умения и навыки, приобретенные обучающимися в период их обучения, выставляются оценки: «ОТЛИЧНО», «ХОРОШО», «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО», «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО».

Для оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в университете применяется система оценки качества освоения образовательной программы.

Оценка проводится при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций обучающихся.

Процедура оценивания – порядок действий при подготовке и проведении аттестационных испытаний и формировании оценки.

Аттестационные испытания проводятся ведущим преподавателем по данной дисциплине. Присутствие посторонних лиц в ходе проведения аттестационных испытаний без разрешения ректора или проректора не допускается (за исключением работников университета, выполняющих контролирующие функции в соответствии со своими должностными обязанностями). В случае отсутствия ведущего преподавателя аттестационные испытания проводятся преподавателем, назначенным письменным распоряжением заведующим кафедрой.

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, допускаются на аттестационные испытания в сопровождении ассистентов-сопровождающих.

– Во время аттестационных испытаний обучающиеся могут пользоваться программой учебной дисциплины, а также с разрешения преподавателя справочной и нормативной литературой, калькуляторами.

–Время подготовки ответа при сдаче зачета/экзамена в устной форме должно составлять не менее 20/30 минут соответственно, (по желанию обучающегося ответ может быть досрочным). Время ответа – не более 15 минут.

–Оценка результатов устного аттестационного испытания объявляется обучающимся в день его проведения. При проведении письменных аттестационных испытаний или компьютерного тестирования – в день их проведения или не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

–Результаты выполнения аттестационных испытаний, проводимых в письменной форме, форме итоговой контрольной работы или компьютерного тестирования, должны быть объявлены обучающимся и выставлены в зачётные книжки не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Камчатский государственный технический университет»

Мореходный факультет

Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Методические указания к практической работе
студентов,
обучающихся по направлению подготовки 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»
профиль «Электрооборудование и
автоматика судов»
заочной формы обучения

Петропавловск-Камчатский

Рогожников Алексей Олегович, старший преподаватель кафедры ЭУЭС

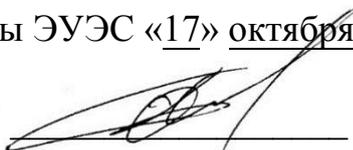
Физические основы электротехники: методические указания к практической работе по дисциплине для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» заочной формы обучения / А.О. Рогожников – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2024. – с.55

Методические указания к практической работе составлены в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов», утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 28 февраля 2018 г. № 144 (уровень бакалавриат).

Обсуждены:

на заседании кафедры ЭУЭС «17» октября 2024 г., протокол № 4

Зав. кафедрой ЭУЭС



О.А. Белов

Методические указания к практической работе по дисциплине «Физические основы электротехники» рассмотрены и утверждены на заседании УМС протокол № 2 от «02» октября 2024 г.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Практическая работа студентов (ПРС) по дисциплине «Физические основы электротехники» является важной составляющей частью подготовки студентов по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» и выполняется в соответствии с ФГОС ВО. Основной целью ПРС является:

- развитие навыков ведения самостоятельной работы;
- приобретение опыта систематизации полученных результатов исследований, формулировку новых выводов и предложений как результатов выполнения работы;
- развитие умения использовать научно-техническую литературу и нормативно-методические материалы в практической деятельности;
- приобретение опыта публичной защиты результатов самостоятельной работы.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» изучение дисциплины «Физические основы электротехники» направлено на формирование у выпускника следующих компетенций:

- способность производить оценку технического состояния электрооборудования (ПК-1).

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- нормальные, аварийные, послеаварийные и ремонтные режимы работы отдельных воздушных и кабельных линий электропередачи, допустимые перегрузки по току и температурам воздушных и кабельных линий электропередачи;
- марки, конструктивное исполнение кабелей; основы трудового законодательства Российской Федерации в объеме, необходимом для выполнения трудовых обязанностей;
- передовой производственный опыт организации эксплуатации и ремонта линий электропередачи;
- порядок сдачи в ремонт и приемки из ремонта кабельных линий электропередачи;
- правила пользования инструментом и приспособлениями, применяемыми при ремонте и монтаже энергетического оборудования;
- правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: техническое обслуживание и ремонт силовых кабелей; технические характеристики, конструктивные особенности основного оборудования и сооружений воздушных и кабельных линий.

1.3. В результате изучения дисциплины студент должен уметь:

- вести техническую и отчетную документацию;
- выявлять дефекты на кабельных линиях электропередачи;
- применять справочные материалы, анализировать научно-техническую информацию в области эксплуатации кабельных линий электропередачи;
- применять автоматизированные системы мониторинга и диагностики кабельных линий;
- работать с текстовыми редакторами, электронными таблицами, электронной почтой и браузерами, специализированными компьютерными программами.

1.4. В результате изучения дисциплины студент должен владеть:

- навыками подготовки, согласования и передачи исполнителям ремонта утвержденных дефектных ведомостей, проектов проведения работ, карт организации труда и технологической ремонтной документации, необходимой для производства работ на закрепленном оборудовании;
- подготовки статистической отчетности в соответствии с утвержденным перечнем;
- проведения тренировок, занятий по отработке действий персонала при чрезвычайных ситуациях, обучению безопасным приемам и методам труда, и оказанию первой помощи пострадавшим;
- сбора и анализа информации об отказах новой техники и электрооборудования.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Практикум включает задания к выполнению контрольных, расчетно-графических работ (РГЗ) по курсу Физические основы электроники и методы их решения.

Практикум представляет материалы и рекомендации по самостоятельной работе по курсу Физические основы электроники.

Студенты различных специальностей выполняют необходимое количество контрольных работ (РГЗ), в строгом соответствии с указанием преподавателя, который определяет:

- сроки представления работ,
- перечень задач и этапов, выполняемых в течение семестра.

Каждый студент выполняет один из N вариантов, предлагаемых в соответствующем задании. Номер варианта выбирается по указанию преподавателя или по двум последним цифрам шифра зачетной книжки (для заочников).

Для повышения понимания, степени усвоения материала и проверки решения каждая задача решается поэтапно и имеет пример решения.

Студентам предлагается по мере решения индивидуального варианта сверять свои действия с решенным примером.

В конце решения каждой задачи должна быть приведена таблица с окончательными ответами к каждому пункту этапа решения.

Требования к оформлению и содержанию пояснительной записки РГЗ

Пояснительная записка к контрольной работе предоставляется в распечатанном виде на ксероксной бумаге формата А4 (набранным в текстовом редакторе MicrosoftWord, шрифт 14 TimesNewRoman, абзац сопровождается отступом в 1,0 см; печатать через 1,5 интервала). Поля: верхнее –2,3 см, нижнее .2,3 см, правое –2,3 см, левое –2,3 см. Допускается выполнение пояснительной записки рукописным способом чернилами или шариковой ручкой (черного, синего или фиолетового цвета).

Комбинирование разных способов выполнения и разных шрифтов не допускается. Содержание пояснительной записки разделяют на разделы, подразделы и при необходимости на пункты. Заголовки разделов должны быть выделены: расстояние между заголовком и последующим текстом делается 1,0 см.

Содержание:

2.1. При решении задачи, приведенной в перечне задач, необходимых для решения в течение семестра в Пояснительной записке (далее, Записка) первоначально приводятся: полное условие (текст) поставленной задачи, исходная схема, номер варианта, задание варианта (данные для расчета), краткая запись задачи и т.п.

Номер варианта выбирается по последним двум цифрам зачетной книжки. Решение задачи начинается с расчетной схемы, включающей в себя указание на положительные направления токов и напряжений, обозначений потенциалов узлов и т.п.

Все схемы должны быть выполнены аккуратно, в крупном масштабе, при помощи чертежных элементов на обычных листах тетради или миллиметровой бумаги, вклеиваемой в записку.

При вычерчивании схемы (под линейку) необходимо пользоваться соответствующими ГОСТами. Условные обозначения элементов схемы, как правило, располагаются над элементами или справа от них.

– Расчеты следует проводить поэтапно, в соответствии с предлагаемым алгоритмом (по пунктам таблицы этапа), не пропуская каждый пункт и выделяя каждый этап (пункт) соответствующим номером и подзаголовком, например: расчет переходного процесса в цепи классическим способом, составление характеристического уравнения и т.д. Каждый пункт должен сопровождаться пояснением, например: - из выражения... следует...; производим расчет ...

се уравнения и формулы следует записывать в общем виде, затем производить подстановку числовых значений, приводя все промежуточные вычисления.

Запись окончательного ответа без промежуточных значений не допускается. Любая физическая величина должна быть приведена со своей размерностью (в СИ или производных единицах).

Все параметры, постоянные, переменные, входящие в используемые формулы, рисунки и схемы должны быть подробно описаны, включая их размерности.

В тексте не допускаются сокращения слов, кроме общепринятых.

В том случае, когда производится расчет промежуточной схемы, то эта часть схемы должна быть приведена перед началом расчета.

Промежуточные результаты расчетов и конечный результат (с точностью до второй-третьей значащей цифры) необходимо приводить в отдельных строках и выделять из общего текста.

Графические зависимости (графики) следует строить на миллиметровой бумаге в масштабе, выбранном в соответствии с ГОСТом.

При построении графиков следует по осям координат наносить равномерные шкалы, указывать величины, откладываемые по осям и единицы их измерения. Весь график в целом и отдельные кривые, показываемый на нем, должны иметь названия. Если на графике приведено несколько функций, то они подписываются и поясняются.

Для графиков, построенных по точкам, составляют и приводят таблицу, в которой приведены все числовые значения (до третьей значащей цифры). Таблица должна иметь название и располагаться рядом с графиком.

При построении графиков в формате Excel выполняются все требования п. 2.10. Допускается представление таблиц и графиков в формате Excel, моделей схем и осциллограмм в формате Workbench, Matlab, вклеенных в пояснительную записку.

Все математические расчеты, схемы, графики, которые получены в ходе расчета РГЗ, должны сопровождаться текстом, который объясняет те или иные преобразования и формулы, выбор масштабов и т.п.

Экаторные и топографические диаграммы токов и напряжений, требуемые в условии задачи, должны быть построены в соответствии с выбранным масштабом осей с помощью линейки и транспортира.

Каждая задача Записки должна заканчиваться выводами и приведением таблицы, в которой в полной мере, но лаконично, описаны все искомые параметры и элементы, заданные в алгоритме задания.

В том случае, когда рекомендуется использование какой-либо инженерной программы, необходимо приложить напечатанные схемы, результаты исследования, временные диаграммы и т.п. к пояснительной записке.

Пояснительная записка сдается в сроки, определяемые графиком учебного процесса.

осле проверки, материалы РГЗ защищаются лично учащимся в сроки, определяемые графиком учебного процесса.

ащита РГЗ предполагает безусловное понимание теоретического материала, умение оперативно производить вычисления по этапам, предлагаемым в пособии.

РАЗДЕЛ 1 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ И ИХ КОМПЛЕКСЫ

Практическая работа №1

Исследование характеристик аналоговых фильтров

ель работы

- изучение частотных характеристик аналоговых фильтров;
- аналитические исследования аналоговых фильтров в пакетах ControlSystemToolbox; □ «экспериментальные» исследования аналоговых фильтров в пакете Simulink.

Таб.1.1 Исходные данные

| № п/п | Граничная частота пропускания | Граничная частота задержания | Макси-мально допустимое подавление сигнала в полосе пропускания | Максимально допустимое подавление сигнала в полосе задержания | Интервал дискретности | Верхняя полоса частот |
|-------|-------------------------------|------------------------------|---|---|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | T_{Π} | |
| | | | | | | |

раткая теория

Фильтр – это устройство или программа, которая обеспечивает частотно зависимые преобразования входного сигнала. Для фильтра низких частот устройства или программы должны обеспечивать отсутствие амплитудных искажений входного сигнала в области частот от 0 до некоторой заданной ω_c и эффективное подавление частот, которые превышают граничную частоту ω_c .

Аналоговый фильтр может быть представлен непрерывной передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{M(s)}{N(s)}$$

где $Y(s)$, $X(s)$ – изображение по Лапласу выходного и входного сигналов фильтра, соответственно; $M(s)$, $N(s)$ – полиномы числителя и знаменателя передаточной функции.

В качестве основных характеристик фильтра обычно принимают характеристику затухания $A(\omega)$, которая является величиной, обратной модулю частотной передаточной функции, и измеряется в децибелах

$$A(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)|$$

Фазовую характеристику $Q(\omega)$

$$Q(\omega) = \arg(W(j\omega))$$

и характеристику групповой задержки τ

$$\tau = -\frac{dQ(\omega)}{d\omega}$$

Функцию

$$L(s^2) = 10 \lg \frac{|W(s)|^2}{|W(j\omega)|^2}$$

называют функцией затухания.

Идеальный фильтр низких частот (ФНЧ) пропускает только низкочастотные составляющие. Его характеристика затухания имеет вид, приведенный на рис. 1.1.

Рис.1.1 Частотные характеристики затухания идеального ФНЧ

Диапазон частот от 0 до ω_c называется полосой пропускания, остальной частотный диапазон – полосой задерживания. Граница между этими полосами ω_c называется частотой среза. В реальных фильтрах переход от частоты пропускания к частоте задерживания происходит плавно (рис.1.2).

Рис.1.2 Частотные характеристики затухания реального ФНЧ

На рис.1.2 показаны контрольные точки ФНЧ, которые используются при его проектировании:

- граничная частота пропускания;
- максимально допустимое подавление сигнала в полосе пропускания, дБ; R_s – минимальное допустимое подавление сигнала в полосе задерживания, дБ.

В этой программе (Matlab) последовательно исследуются три фильтра Баттерворта, имеющие одинаковые частоты пропускания W_p и задерживания R_p и полосы задерживания R_s .

Параметры W_p , W_s , R_p , R_s определяют частоту среза W_n и порядок фильтров Баттерворта n . Причем, чем ближе частотные характеристики реального

фильтра приближаются к частотным характеристикам идеального фильтра, тем больше величина n .

Таким образом, порядок фильтра будет увеличиваться при увеличении протяженности горизонтального участка в полосе пропускания (уменьшением (увеличение R_s) или при уменьшении частотного диапазона между W_r и W_s .

В первом варианте допустимо уменьшение амплитуды в конце полосы пропускания в два раза, что определяет величину R_p

$$40 \cdot \lg(18/2) = 40 \cdot (\lg(18/2)) = 38.1 \text{ дБ}$$

Во втором варианте ФНЧ в полосе пропускания имеет более плоскую характеристику и допустимое уменьшение амплитуды на частоте среза составляет 20 %

$$40 \cdot \lg(18/14.4) = 3.9 \text{ дБ}$$

В третьем варианте проектируемого фильтра повышены требования к подавлению сигнала в полосе задержки (сигнал уменьшается в 400 раз)

$$40 \cdot \lg(18/400) = -53.9 \text{ дБ}$$

Приведенные выше теоретические положения рассмотрены в программе 1.

Программа 1

```
н
а
л
о
г
[n,Wn]=buttord(Wr,Ws,Rp,Rs,'s');
[E,p,k]=buttap(n);
[b,a]=zp2tf(z,p,k);
h=tf([b],[a]);
```

фильтры Баттерворта с более жестокими требованиями: в полосе пропускания уменьшено максимально допустимое подавление. Для его проектирования изменяем значения

```
л
Wr=18;
Ws=48;
Rp=3.9;
Rs=40;
[n2,Wn2]=buttord(Wr,Ws,Rp,Rs,'s');
[E,p,k]=buttap(n2);
[b2,a2]=zp2tf(z,p,k);
h2=tf([b2],[a2]);
```

Т
роектирование фильтра Баттерворта с более жестокими требованиями: в полосе пропускания увеличено максимально допустимое подавление. Для его проектирования

в
о
т
а

изменяем значения $R_s=54$.

```
Wt=18;  
Ws=48;  
Rp=3.9;  
Rs=54;  
[n3,Wn2]=buttord(Wt,Ws,Rp,Rs,'s');  
[z,p,k]=buttap(n3);  
  
[b3,a3]=zp2tf(z,p,k);  
h3=tf([b3],[a3]);
```

остроения фигуры 1: ЛАЧХ фильтров Баттерворд. Результат представлен на

Рис.1.3

```
figure(1);  
bode(h,h2,h3),grid on  
t=0.2;  
hd=c2d(h, t);  
h2d=c2d(h2, t);  
h3d=c2d(h3, t);
```

Рис.1.3 ЛАЧХ фильтров Баттерворта (1-фильтр первого порядка (-50 дБ/дек); 2-второго порядка (-100 дБ/дек); 3-третьего порядка (-150 дБ/дек))

остроение фигуры 2: Логарифмические характеристики непрерывного и дискретного ФНЧ первого порядка. Результат представлен на Рис.1.4.

```
bode (h, hd), grid on;
```

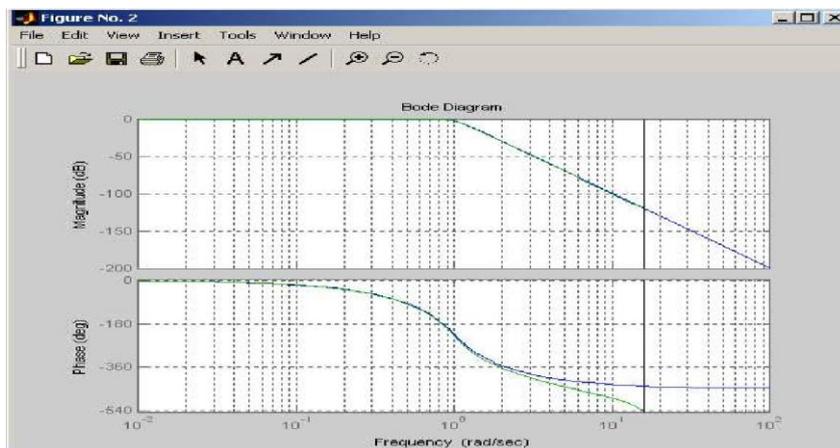


Рис.1.4. Логарифмические характеристики непрерывного и дискретного ФНЧ первого порядка для $T_p=0,2$ с (1- непрерывный фильтр; 2- дискретный фильтр)

строение фигуры 3: Логарифмические характеристики непрерывного и дискретного ФНЧ второго порядка. Результат представлен на Рис.1.5

```
bode (h2, h2d), grid on;
```

Рис.1.5 Логарифмические характеристики непрерывного и дискретного ФНЧ второго порядка для $T_p=0,2c$ (1- непрерывный фильтр; 2- дискретный фильтр)

строение фигуры 4: Логарифмические характеристики непрерывного и дискретного ФНЧ третьего порядка. Результат представлен на Рис.1.6

```
figure (4); bode (h3,  
h3d), grid on; t=0.05;  
hd=c2d(h, t);  
h2d=c2d(h2, t);  
h3d=c2d(h3, t);
```

Рис.1.6 Логарифмические характеристики непрерывного и дискретного ФНЧ третьего порядка для $T_p=0,2c$ (1- непрерывный фильтр; 2- дискретный фильтр)

строение фигуры 5: Логарифмические характеристики непрерывного и дискретного ФНЧ первого порядка. Результат представлен на Рис.1.7

```
bode (h, hd), grid on;
```

Рис.1.7 Логарифмические характеристики непрерывного и дискретного ФНЧ первого порядка для $T_p=0,05c$ (1- непрерывный фильтр; 2- дискретный фильтр)

строение фигуры 6: Логарифмические характеристики непрерывного и дискретного ФНЧ второго порядка для $T_p=0,05c$. Результат представлен на Рис.1.8

figure (6);
bode (h2, h2d), grid on;

Рис.1.8 Логарифмические характеристики непрерывного и дискретного ФНЧ второго порядка для $T_n=0,05c$. (1- непрерывный фильтр; 2- дискретный фильтр)

Логарифмические характеристики непрерывного и дискретного ФНЧ третьего порядка для $T_n=0,05c$ Результат представлен на Рис.1.9

figure (7);
bode (h3, h3d), grid on;

Рис.1.9 Логарифмические характеристики непрерывного и дискретного ФНЧ третьего порядка для $T_n=0,05c$ (1- непрерывный фильтр; 2- дискретный фильтр)

Анализ графиков показывает, что уменьшение T_n приводит к увеличению границы частотного диапазона $\omega_B \approx 3,14/0,05 \approx 62,8p/c$ и приближению частотных характеристик дискретных фильтров к частотным характеристикам аналоговых фильтров. Причем, наблюдаемые отличия частотных характеристик происходит при значительных ослаблениях выходного сигнала (-35-110)дБ.

По полиномам числителя и знаменателя передаточной функции ФНЧ команда `lp2lp` определяет передаточные функции ФНЧ с новыми частотами среза:

где, b , a – коэффициенты исходного фильтра низких частот; W_0 – желаемая частота среза проектируемого фильтра; b_1 , a_1 – коэффициенты спроектированного фильтра с новыми частотами среза.

В Программе 2 приведены примеры определения передаточных функций ФНЧ (фильтра Баттерворта) для трех частот среза. Командой `buttar` определяют нули, пояса и коэффициенты усиления Баттерворта заданного порядка n . Команда `zp2tf` преобразует математическую модель ФНЧ: от информации заданной нулями, полосами и коэффициентами усиления, к информации представленной передаточными функциями.

Программа 2
11. Фильтра Баттерворта для трех частот среза.

$wf=0.18;$

```

ws=0.48;
rp=4;
rs=40;
[n1,wc1]=buttord(wr,ws,rp,rs) .
[z1,p1,k1]=butter(n1);
[b1,a1]=zp2tf(z1,p1,k1);
h1=tf([b1],[a1])
w1=10;
[b10,a10]=1p21p(b1,a1,w1)
w2=100;
[b100,a100]=1p21p(b1,a1,w2)
q1=tf([b10],[a10])
q2=tf([b100],[a100])

```

12. Построение фигуры 8: Логарифмические характеристики непрерывного ФНЧ второго порядка для разных частот среза. Результат представлен на Рис.1.10

```

figure(1)
bode(h1,g',q1,k',q2,r'), grid on

```

Рис. 1.10 Логарифмические характеристики непрерывного ФНЧ второго порядка для разных частот среза (1 – частота 1 р/с.; 2 – частота среза 10 р/с; 3 – частота среза 100 р/с.)

По передаточным функциям, определенным в программе 2, в пакете Simulink представлены структурные схемы непрерывных и дискретных фильтров нижних частот (Приложение 1).

Практическая работа №2

Проектирование дискретных фильтров по аналоговому эквиваленту

ель работы

- изучение и проверка путем моделирования эффективности методик расчета дискретных фильтров по аналоговым эквивалентам, частотные характеристики которых определяют требования к дискретным фильтрам;
- получить навыки в расчете дискретных фильтров на основе аппроксимации Эйлера;
- получить навыки в расчете дискретных фильтров на основе инвариантного преобразования импульсной переходной функции;
- получить навыки в расчете дискретных фильтров на основе билинейного преобразователя;

- получить навыки в расчете дискретных фильтров с использованием пакета MatLAB.

Таб.2.1 Исходные данные

| № п/п | Граничная частота пропускания | Граничная частота задержания | Макси-мально допустимое подавление сигнала в полосе пропускания | Максимально допустимое подавление сигнала в полосе задержания | Интервал дискретности | Верхняя полоса частот |
|-------|-------------------------------|------------------------------|---|---|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | T_p | |
| | | | | | | |

раткая теория

Существует несколько подходов к проектированию цифровых фильтров. Один из распространенных состоит в следующем:

пределяют передаточную функцию аналогового фильтра $H(s)$, которая удовлетворяет требованиям частотной обработки сигналов, т.е. заданы интервалы частот задерживания и частот пропускания, заданы допустимые величины амплитудных искажений сигналов в полосе пропускания и задерживания.

о заданной передаточной функции $H(s)$ определяют дискретную передаточную функцию фильтра $H(z)$, которая удовлетворяет требованиям, предъявленным к фильтру

Переход от $H(s)$ к $H(z)$ можно осуществить тремя путями:

- аппроксимацией Эйлера;
- инвариантным преобразованием импульсной переходной функции;
- с помощью билинейного преобразования.

При аппроксимации Эйлера исходные данные аналогового фильтра могут быть заданы в двух модификациях: через дифференциальные уравнения или через передаточные функции.

Приведенные выше теоретические положения рассмотрены в программе 1.

Программа 1

1. Передаточная функция непрерывного фильтра.

```
h=tf ([2], [1,3,3]);
Tp=0.1;
hd=c2d (h, Tp);
```

```

k=2;          s=(1-z^-
1)/Tp;      hs=k/(s^2+3*s+3);
hs1=simplify (hs);

```

2. Построение фигуры 1: Логарифмические характеристики фильтров при разных методах аппроксимации. Результат представлен на Рис.2.1

```

Tp=0.01;

syms z s;
k=2;
s=(1-z^-1)/Tp;
hs2=k/(s^2+3*s+3);
hs2=simplify (hs2);

```

Рис.2.1 Логарифмические характеристики фильтров (1-аналоговый; 2-дискретный (команда c2d); 3- дискретный (аппроксимация Эйлера))

3. Построение фигуры 2: Логарифмические характеристики фильтров при разных интервалах дискретности. Результат представлен на Рис. 2.2

```

figure (2);
bode (h, dd, dd2), grid on;

```

Рис.2.2 Логарифмические характеристики фильтров (1-аналоговый; 2-дискретный при $T_{\Pi}=0,1$ с.; 3- дискретный при $T_{\Pi}=0,01$ с.)

Из Рис.2.2 следует, что при $T_{\Pi}=0,1$ наблюдается различие, особенно в фазовых характеристиках, в области рабочих частот. Под рабочими будем понимать частоты, на которых ослабление сигнала не превышает -40дБ. При уменьшении T_{Π} ($T_{\Pi}=0,01$) диапазон рабочих частот расширился и можно утверждать, что различие между частотными характеристиками аналоговых и дискретных фильтров наблюдается при значительном ослаблении сигналов (свыше -40дБ).

1. Определение параметров цифровых фильтров по их аналоговому прототипу.
Построение фигуры 3: Логарифмические характеристики фильтров. Результат
представлен на Рис.2.3

```
h=tf ([2], [1,3,3]);  
Tp=0.1;  
hd=c2d (h, Tp);  
[n,d,t]=impinvar(n,d,10)  
f=(filt([0,0.1722],[1,-1.7236,0.7408],0.1)*Tp)  
bode (h,hd,f), grid on
```

Рис.2.3 Логарифмические характеристики фильтров (1 – аналоговый; 2 – дискретный
(процедуры `impinvar`); 3 – дискретный (процедурой `c2d`))

Программа 3

1. Определение параметров цифрового фильтра на основе билинейного преобразования. Построение фигуры 4: Логарифмические характеристики фильтров. Результат представлен на Рис.2.4

```
h=tf ([2], [1,3,3]);  
syms z s  
k=2;  
Tp=0.1;  
s=(2/Tp)*(1-z^-1)/(1+z^-1);  
hs=2/(s^2+3*s+3);  
hs1=simplify (hs);  
hs2=filt ([1,2,1], [1,-794/463,343/463], Tp)*(2/463);  
[n, d, t]=tfdata (h, 'v')  
[nd,dd]=bilinear(n,d,10)  
Tp=0.1;  
hdt=c2d (h,Tp, 'TUSTIN') hdv=filt (nd,dd,Tp) bode(h,hdv,hs2), grid on
```

Рис.2.4 Логарифмические характеристики фильтров (1 – аналоговых; 2 – дискретных
(процедуры билинейного преобразования); 3 – дискретный (процедуры `c2d`))

Результаты расчетов этой программы приведены на Рис.2.4, из которого следует, что графики частотных характеристик, полученные с помощью процедуры `bilinear` и `c2d` равнозначны, но в `c2d` исходные данные задаются в более компактном виде. Её целесообразно использовать при расчете цифровых фильтров методом билинейной аппроксимации.

Практическая работа №3
 Проектирование дискретных фильтров методом частотной
 выборки

1. Цель работы

- зучить связи между Z - передаточными функциями и дискретными преобразованиями Фурье, описывающими дискретные последовательности;
- олучить навыки расчета дискретных фильтров методом частотной выборки;
- олучить представление о расчете дискретных фильтров методом взвешивания (применением окон);
- олучить навыки в расчете дискретных фильтров с использованием пакета

Таб.3.1 Исходные данные

| № п/п | Граничная частота пропускания | Граничная частота задержания | Макси-мально допустимое подавление сигнала в полосе пропускания | Максимально допустимое подавление сигнала в полосе задержания | Интервал дискретности | Верхняя полоса частот |
|-------|-------------------------------|------------------------------|---|---|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | T_{Π} | |
| | | | | | | |

Известно, что непрерывные колебания $x(t)$ могут быть представлены дискретными отсчетами $x(nT_{\Pi})$, к которым применимо Z -преобразование, определяемое соотношением

$X(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_{\Pi}) z^{-n}$

и

В это же время к дискретной последовательности $x(nT_{\Pi})$ применимо и

$X_F(e^{j\theta}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_{\Pi}) e^{-jn\theta}$

Преобразование Фурье $X_F(e^{j\theta})$

□

j

θ

θ

где, □ - угол между действительной осью плоскости Z и точкой на окружности единичного радиуса. Причем, функция $X_F(e^{j\theta})$ зависит от двух параметров: ω - круговой частоты (непрерывная переменная) и k - номер

гармоники (дискретная переменная). Поэтому функцию $X_F(e^{j\theta})$ на интервале частот между двумя гармониками можно представить непрерывной кривой.

Определение Z-передаточной функции $H(z)$ цифрового фильтра по заданным частотным характеристикам (коэффициентам Фурье) называется методом частотной выборки, при разработке которого использованы следующие соотношения:

связь между периодическими дискретными последовательностями и их Z-преобразованиями;

связь между коэффициентами дискретного преобразования Фурье и Z-передаточными функциями;

определение Z-передаточной функции проектируемого цифрового фильтра по его частотным характеристикам, заданным коэффициентами дискретного преобразования Фурье.

n□□□

Приведенные выше теоретические положения рассмотрены в программе 1.

Программа 3.1

определения параметров КИХ-фильтров для N □ 12,16,32 .

```
f=[0,0.166,0.166,1];  
m=[1,1,0,0];  
b=fir2(12,f,m)  
[h,w]=freqz(b,1,512);
```

строение фигуры 1: АЧХ фильтра при N=12. Результат представлен на Рис. 3.1

```
figure(1)  
plot(f,m,w/pi,abs(h))  
b1=fir2(16,f,m)
```

остроение фигуры 2: АЧХ фильтра при $N=16$. Результат представлен на Рис. 3.1

```
figure(2)
plot(f,m,w/pi,abs(h),f,m,w/pi,abs(h1))
b2=fir2(32,f,m)
```

остроение фигуры 3: АЧХ фильтра при $N=32$. Результат представлен на Рис. 3.1

```
figure(3)
plot(f,m,w/pi,abs(h),f,m,w/pi,abs(h1),f,m,w/pi,abs(h2)),grid on
```

Рис.3.1 АЧХ фильтров спроектированные с использованием окна Хэмминга (1 - идеальная характеристика фильтра, 2 - реальная ($N = 32$), 3 - реальная ($N = 16$), 4 - реальная ($N = 12$))

Сигналы на входе цифровых фильтров представлены на Рис.3.2.

Рис.3.2. Осциллограммы сигналов на выходе цифровых фильтров (1 - метод частотной выборки, 2 - использование окна Хэмминга)

Приведенные осциллограммы показали, что выходные сигналы соответствуют теоретическим положениям.

Практическая работа №4

Расчет цифровых фильтров в пакете MatLab с учетом квантования

1. Цель работы:

- зучение возможностей проектирования цифровых фильтров с помощью пакета fdatool из библиотеке FilterDesing;
- олучение навыков проектирования цифровых фильтров;
- зучение характеристик цифровых фильтров, у которых все операции над данными выполняются с машинной точностью;
- зучение характеристик цифровых фильтров с учетом квантования по уровню.

Исходные данные

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

2. Проектирование цифровых фильтров с помощью пакета FilterDesing

Главное окно программы fdatool из библиотеки FilterDesing показано на рис.4.1.

Оно появляется на экране после загрузки программы, вызываемой набранным именем:

Рис.4.1. Главное окно программы fdatool

Из рис.4.1 видно, что главное окно включает несколько областей для ввода и вывода необходимой информации. Рассмотрим эти области в последовательности, которая применяется при разработке фильтра. Прежде всего, разработчик должен сделать выбор между фильтрами с бесконечными и конечными импульсными характеристиками (IIR или FIR), который подтверждается соответствующим флажком в области

DesignMethod. При активном окне FIR можно вызвать ниспадающее меню, которое предлагает несколько вариантов проектирования фильтров. По умолчанию программа предлагает фильтр Equiripple (фильтр с равномерными пульсациями). Проектирование фильтров с помощью окон (Window), делает активным подменю Window, выбор которого активизирует область Window, в ниспадающем меню которого появляются наиболее распространенные типы окон. По умолчанию программа fdatool предлагает окно Кайзера

После того, как выбран тип импульсной характеристики фильтра и метод его проектирования, задаём тип фильтра – область FilterType. Программа fdatool предлагает следующие типы фильтров:

- Lowpass (нижних частот);
- ighpass (высоких частот);
- andpass (полосовой фильтр);
- andstop (режекторный фильтр);

Область Filtertype имеет еще ниспадающее меню, в котором расположены специализированные цифровые цепи:

- ifferentiator (дифференциатор);
- ilbertTransformer (преобразователи Гильберта);
- Multiband (многополосный фильтр) и т.д.

При выборе типа фильтра, например Bandpass, в области FilterSpecification появляется поле, в котором представляем основные характеристики фильтра. В правом нижнем углу расположены области FrequencySpecification и MagnitudeSpecifications (частотные и амплитудные спецификации, соответственно). Первая из них содержит редактируемые окна для ввода значений частоты дискретизации F_s , граничных частот полос задерживания (F_{stop1} F_{stop2}) и граничных частот полос пропускания (F_{pass1} и F_{pass2}), а также единицы измерения частоты (Units) при построении АЧХ. Причем количество граничных частот зависит от типа фильтра, задаваемого в раздел FilterType. Вторая область – MagnitudeSpecification – позволяет задать единицы измерения амплитуды (Units) и ограничений амплитудной характеристики проектируемого фильтра для области пропускания (A_{pass} или W_{pass}) и задерживания (A_{stop} или W_{stop}).

Приведённые данные позволяют задать АЧХ в функции частоты, изменяющейся от

0 до $F_s/2 = F_N$ (F_N - частота Найквиста).

На странице DesignFilter имеется еще одна область - FilterOrder (порядок фильтра), в которой можно либо явно задать порядок фильтра, либо потребовать, чтобы программа автоматически выбрала наименьший порядок в соответствии с введенными характеристиками фильтра.

Для конкретности, спроектируем полосовой фильтр, параметр которого представлен на рис.4.2. В поле FilterSpecifications заданы контуры АЧХ проектируемого фильтра, а в поле FrequencySpecifications и MagnitudeSpecifications требования к фильтру принимают конкретный вид, заданный соответствующими цифрами. Например, из полей FrequencySpecifications и MagnitudeSpecifications следует, что первая полоса задерживания простирается от 0 до 7200 Гц, при ослаблении -80 дБ, а вторая полоса задерживания простирается от 12800 Гц до 24000 Гц при ослаблении -80 дБ. Теперь, когда заданы все характеристики фильтра, можно приступить к его проектированию (нажатие кнопки DesignFilter). В результате выполнения программы на рис.4.3 появиться АЧХ проектируемого фильтра.

Рис.4.2. Параметр проектирующего фильтра, заданные в полях окна программы

Рис.4.3. АЧХ проектируемого фильтра

В области "Текущая информация" (CurrentFilterInformation) отображаются данные, характеризующие проектируемый фильтр (форма представления фильтра, порядок, источник проектирования). В меню Edit имеется подменю ConvertStructure (выбор структуры), вход в которое позволяет рассмотреть различные формы реализации фильтров. Подчеркнем, что появляющаяся

информация не позволяет изменить структуру проектируемого фильтра, которая для FIR- фильтров всегда остается неизменной – прямой формы (DirectformFIR). Выпадающий список подменю ConvertStructure следует интерпретировать как подсказку пользователю, которая указывает, что кроме проектируемой формы фильтра существуют и другие формы.

Меню Analysis делает доступным команды, позволяющие всесторонне охарактеризовать проектирующий фильтр:

- filterSpecifications (спецификация фильтра);
- amplitudeResponse (амплитудно-частотная характеристика); -
- PhaseResponse (фазо-частотная характеристика);
- Magnitude and Phase Response (АЧХ, ФЧХ); - GroupDelay (групповое время задержки);
- impulseResponse (импульсная характеристика);
- stepResponse (переходная характеристика);
- pole/ZeroPlot (полоса и нули);
- filterCoefficients (коэффициенты фильтра);

Для отображения той или иной характеристики фильтра, необходимо выбрать соответствующую команду или нажать одну из кнопок, расположенных вверху главного окна под строкой меню. Меняя тип окна и параметры фильтра, можно создать виртуальные модели различных фильтров и исследования их характеристики.

Программа fdatool имеет команду "Реализация модели" (Realizemodel), создающую mdl файлы проектируемых фильтров.

Таким образом, в вышеприведенном описании представлены последовательности шагов для проектирования FIR фильтра, в котором все операции над данными выполнялись с машинной точностью.

Рис.4.4. Амплитудно-частотные характеристики фильтра-прототипа и квантованного фильтра с конечной импульсной характеристикой

Теперь проанализируем, что произойдет при учете квантования и при учете изменения формата, в котором определяются коэффициенты передаточной функции. В правой части окна имеются кнопки, управляющие разделом Quantization. Установим параметры квантования (SetQuantizationParameters). В главном окне появится новое поле, содержащее кнопку TurnQuantizationOn (возвращение к квантованным коэффициентам). Для запуска процедуры расчета фильтра с квантованными коэффициентами установим флажок, запустив тем самым расчет квантованного фильтра с параметрами квантования, заданными по умолчанию. Из рис.4.4 следует, что АЧХ представленных фильтров (кривая 1 и кривая 2) имеют незначительные отличия, что характерно для цифровых фильтров с конечной импульсной характеристикой (FIR фильтры).

Используя те же исходные данные (рис.4.2), спроектируем цифровой фильтр с бесконечной импульсной характеристикой (IIR фильтр). Для примера, на рис.4.5 (синяя линия) представлен полосовой фильтр Баттерворта. В области CurrentFilterInformation указано, что этот фильтр реализован передаточной функцией 30 порядка, которая в программе fdatool представлена прямой формой, состоящей из 15 секций второго порядка. Вход в подменю ConvertStructure из меню File дает представление о структурах, которые могут быть использованы при реализации IIR фильтров. Эту информацию следует считать справочной, так как программа fdatool при проектировании IIR фильтров реализует их единственным способом – в виде прямой формы 2, состоящей из секций второго порядка (Directform II second-order sections). Принципиальную схему этого фильтра можно сохранить в mdl файле, вызвав команду RealizeMode.

Рассмотрим, как изменятся характеристики и параметры фильтра, если коэффициенты фильтра будут задаваться с ограниченной точностью и параметрами квантования, заданными по умолчанию. После перехода к окну расчета цифрового фильтра с учетом квантования появится новое поле, содержащее кнопку TurnQuantization. Для запуска процесса расчета с квантовыми коэффициентами, установим флажок, запустим тем самым расчет. Данные расчета приведены на рис.4.5.

Рис.4.5. АЧХ исходного (Reference) и квантованного (Quantized) фильтров

При сравнении кривых на рис.4.5 видно, что учет квантования значительно изменил АЧХ нового цифрового фильтра.

Свойства квантованных фильтров зависят от многих факторов: формата данных, реализации операций, выбора арифметики и формы (структуры) представления фильтра. В рассматриваемом пакете, как было указано выше, нет возможности исследовать характеристики фильтров при разных структурах. В рассматриваемом пакете фильтр с бесконечной импульсной характеристикой (IIR фильтр) реализуется блочной структурой, как менее чувствительной к изменению значений коэффициентов.

Как было указано, учет квантования по уровню делает систему нелинейной, что усложняет задачу. Однако масштабирование коэффициентов, исключение переполнения разрядной сетки и другие приемы, связанные с нормализацией коэффициентов фильтра, значительно уменьшают ошибки квантования. Не вдаваясь в рассмотрение этих сложных вопросов, укажем, что fdatool имеет подпрограмму “Optimization”, команды которой приведены на рис.4.6.

Рис.4.6. Команды подпрограммы Optimization

Сделав активными процедуры, поставив флажки, можно приблизить характеристики квантованного фильтра к фильтру-прототипу (рис.4.7).

Рис.4.7. АЧХ фильтра прототипа и фильтра с учетом квантования, после использования подпрограммы Optimization

После исключения переполнения и нормализации коэффициентов числителя и знаменателя АЧХ квантованного фильтра приблизилась к прототипу (рис.4.7) за счет введения процедур оптимизации:

– А

d

j

u

масштабный коэффициент задавался числами, равными степени 2).

that (таким же образом нормализованы коэффициенты знаменателя).

с

РАЗДЕЛ 2 МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ИХ

е

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ БАЗА

f

Резкое повышение регулировочных свойств АД (асинхронный двигатель) стало возможным с разработкой тиристорных схем управления. На судах применяют следующие способы управления тиристорным приводом:

і

частотно; параметрическое регулирование в цепи статора; широтно-импульсное регулирование в цепи ротора; регулирование путем введения в цепь ротора АД добавочной ЭДС.

О

Основным видом регулирования ЭП (электропривод) переменного тока является частотный. Частотное регулирование, пуск и торможение – это наиболее экономичные методы управления АД. Этот способ осуществляется благодаря тиристорным преобразователям частоты, которые при этом виде регулирования должны преобразовывать напряжение сети промышленной частоты в напряжение другой частоты, причем его амплитуда, частота и фаза должны изменяться в широком диапазоне. Частота – это временной параметр переменного напряжения, определяющий, по существу, интервалы времени, через которые изменяется знак этого напряжения. В ТПЧ (тиристорный преобразователь частоты) это достигается включением и отключением тиристоров в функции времени по такому закону, который обеспечивал бы подключение источника энергии к нагрузке (двигатель) с задаваемой частотой смены знака среднего значения напряжения на этом выходе.

Выделяют 2 основных класса ТПЧ:

h

s

u

с

h

t

h

a

– с промежуточным звеном постоянного тока;

t

S

u

с

h

t

h

a

- с непосредственной связью питающей сети и цепей нагрузки (в литературе иногда называются преобразователями с неявно выраженным звеном постоянного тока).

Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока

В ТПЧ с промежуточным звеном (рисунок 5.1) переменное напряжение U_1 с частотой поступает на вход выпрямителя В. Выпрямленное напряжение сглаживается фильтром Φ и поступает на вход автономного инвертора АИ, имеющего выходное напряжение U_2 с частотой f_2 . В этих ТПЧ частота выходного напряжения не зависит от частоты питающей сети и может быть как больше, так и меньше этой частоты. Основным узлом в ТПЧ данного типа является автономный или независимый инвертор, который преобразует выпрямленное напряжение в 3-фазное напряжение регулируемой частоты.

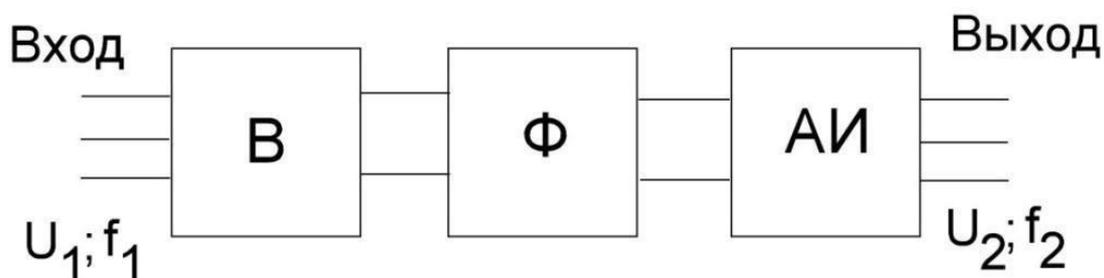


Рис.5.1 Структурная схема тиристорного преобразователя частоты

По характеру протекающих в схеме электромагнитных процессов автономные инверторы подразделяют на инверторы тока и инверторы напряжения. Такое разделение инверторов условно.

В цепь постоянного тока первого инвертора включен реактор L с большой индуктивностью. Благодаря этому в интервале между коммутациями тиристоров $VS 1 — VS 4$ ток в реакторе практически остается неизменным по значению. В этом случае тиристоры $VS 1 - VS 4$ изменяют только направление (но не значение) тока в нагрузке, так что последняя, питается как бы от источника тока, что и нашло отражение в названии – инвертор тока. Форма напряжения при неизменном значении тока зависит от характера нагрузки. Перевод выпрямителя в режим регулируемого источника тока при работе на автономный инвертор тока обычно достигается или путем включения сглаживающего реактора очень большой индуктивности, или посредством охвата выпрямителя сильной отрицательной обратной связью по току при одновременном использовании сглаживающего реактора. В регулируемом ЭП наиболее целесообразен второй способ, обеспечивающий

приемлемые массогабаритные показатели ТПЧ и его достаточно высокое быстродействие.

Автономный инвертор напряжения – это инвертор, форма напряжения на выходе которого определяется только порядком переключения тиристорov инвертора, а форма тока зависит от характера нагрузки. В схеме АИН источник подключен непосредственно к тиристорам VS1 — VS4, которые периодически с изменением полярности подключают это напряжение к нагрузке. При неизменном угле управления источник напряжения подает на нагрузку постоянное по значению напряжение. Соответственно, инвертор получил название автономного инвертора напряжения. Включение тиристорov VS1, VS2 или VS3, VS4 изменяет только полярность напряжения. Ток АИН переменный по значению, и его изменение зависит от характера нагрузки. При работе автономного инвертора напряжения на АД, являющимся активно-индуктивной нагрузкой, должна быть обеспечена возможность обмена реактивной энергией между АД и источником напряжения. Это достигается включением параллельно входу инвертора конденсатора большой емкости, а также параллельно схеме автономного инвертора напряжения подключается обратный выпрямитель с диодами VD1

Несмотря на большое разнообразие 3-фазных тиристорных инверторов, все они строятся на основе одной и той же принципиальной схемы, изображенной на рисунке 5.2.

Рис. 5.2 Трехфазный тиристорный инвертор: а) схема б) диаграмма тока и ЭДС

Преобразование постоянного напряжения в напряжение переменного тока необходимой частоты осуществляется переключением с заданной частотой и определенной последовательностью тиристорov в плечах моста. Открытие и закрытие тиристорov определяется последовательностью импульсов, поступающих из схемы управления на их управляющие электроды. Это достигается в схеме управления с помощью задающего генератора. В качестве задающего генератора обычно используется релаксационный RC генератор, выходной сигнал которого подается на вход схемы логики. Последняя формирует импульсы требуемой формы и распределяет их между управляющими и коммутирующими цепями тиристорov.

Наибольшее распространение получили ТПЧ с широтно-импульсным регулированием, при этом на входе инвертора используется неуправляемый выпрямитель. Переменная выходная ЭДС формируется из ряда прямоугольных напряжений, которые образуются при высокочастотной коммутации пары тиристорov каждой фазы (VS1 и VS4, VS3 и VS6, VS5 и

VS2 на рисунок 5.2, а). В автономном инверторе с широтно-импульсной модуляцией нет поочередного переключения тока нагрузки с тиристора анодной на тиристор катодной группы и наоборот. Здесь тиристор анодной группы, осуществляя ряд коммутаций, пропускает положительную полуволну тока нагрузки, и лишь при изменении направления тока вступает в работу тиристор катодной группы, Регулирование частоты выходных напряжений ТПЧ осуществляется системой управления инвертором (рисунок 5.3).

Рис.5.3 Структурная схема управления инвертором

Схема включает в свой состав: задающий генератор частоты ЗГ, преобразующий аналоговый сигнал управления $U_y f_{\text{в}}$ колебания прямоугольной формы с частотой $U_{\text{Г}}$; распределитель импульсов РИ, преобразующий колебания ЗГ в синхронизированную по частоте и фазе трехфазную систему импульсов и распределяющий импульсы по шести каналам управления тиристорами VS1-VS6 инвертора; формирователь управляющего импульса ФИ, формирующий импульс управления тиристором по длительности, форме и мощности (в зависимости от схемных решений ФИ может быть как самостоятельным элементом, так и входить в состав РИ).

В качестве ЗГ преобразователя обычно используется генератор прямоугольных напряжений. Его выходное напряжение имеет форму 2-х полярных прямоугольных колебаний, частота которых пропорциональна управляющему напряжению. Распределитель импульсов может быть построен на основе кольцевых коммутаторов, диодных матриц и схем совпадений. Независимо от принципа построения РИ всех видов функционально работают одинаково. На шести выходных каналах РИ по числу тиристоров в автономном инверторе выделяются узкие синхронизирующие импульсы. Возникая в каждый полупериод ЗГ, импульсы передаются поочередно па выходные каналы 1, 2... 6; 1, 2... 6 и т.д. Полученные синхронизирующие импульсы усиливаются и расширяются с помощью формирователей импульсов, т. е. сигналы приобретают параметры, необходимые для надежного открывания тиристоров инвертора. Таким образом, формирователь импульсов представляет собой усилительное звено. Включение и отключение тиристоров требует специальных мер. Например, при отключении необходимо обеспечить спадание протекающего через него тока до нуля и задержку подачи прямого напряжения. В автономных инверторах отсутствие сетевого напряжения (или переменного напряжения каких-либо других источников) приводит к необходимости использовать

принудительную конденсаторную коммутацию. При принудительной коммутации в АИ коммутирующие цепи воздействуют на работу схемы только в требуемый момент, т. е. во время коммутационного процесса. Для запираания тиристора с помощью конденсатора подается импульс обратного тока, а затем к его электродам прикладывается обратное напряжение на то время, которое необходимо для восстановления запирающих свойств в прямом направлении. Этот способ известен под названием импульсной коммутации и применим при широком диапазоне изменения выходной частоты.

Достоинства

Достоинством ТПЧ со звеном постоянного тока является возможность регулирования частоты в направлении как вверх, так и вниз от частоты питающей сети переменного тока. Верхний предел изменения частоты ограничивается максимально допустимой скоростью АД и максимально допустимой частотой коммутации вентиляей. Нижний предел частоты ограничивается дискретностью вращения векторов напряжения и тока инвертора, приводящей к неравномерности вращения АД. Однако ТПЧ с широтноимпульсным инвертором напряжения, имеющие близкий к синусоиде ток и напряжение, способны обеспечить большой диапазон снижения скорости АД.

Недостатки

Недостатком рассмотренных ТПЧ является сложность, поскольку они состоят из двух устройств: выпрямителя и инвертора с искусственной коммутацией тиристоров. Два включенных последовательно устройства обуславливают 2-х кратное преобразование энергии, что приводит к снижению КПД преобразователя.

Практическая работа 5

Расчет оборудования полупроводникового преобразователя с широтно - импульсной модуляцией

Задание на работу:

Разработать блок преобразователя частоты с приведенными ниже параметрами, для чего:

- выполнить электрический и конструктивный расчёт силового трансформатора
- выбрать и обосновать тип выпрямительного устройства.
- выбрать и обосновать тип сглаживающего фильтра.
- выбрать элементы: диоды (вентили), транзисторы, трансформатор, другие необходимые элементы;
- выполнить расчет элементов схемы;

- выполнить электрический и конструктивный расчёт инвертора.
- произвести расчет защитной аппаратуры.
- построить механические характеристики заданного электродвигателя при частотном управлении.

Варианты заданий на работу

(вариант выбирается по порядковому номеру в группе или дается преподавателем)

| Порядковый номер в группе | Тип электродвигателя | Мощность, кВт |
|---------------------------|----------------------|---------------|
| | 4A80A4OM2 | |
| | 4A71B4OM2 | |
| | 4A80B4OM2 | |
| | 4A90L4OM2 | |
| | 4A100S4 | |
| | 4A100L4 | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | A112MA6 | |
| | A112MB6 | |
| | A132S6 | |
| | A132M6 | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Данные для расчета:

номинальная мощность соответствует мощности грузового крана класса Р

(кВт)

диапазон выходных частот от 0,5 до 512 Гц,

частота питающей сети $f_c = 50$ Гц,

диапазон регулируемого напряжения от 0 до $U_{пит.сети}$, 5) $U_{вх} = 380$

$U_{вх} \approx 20\% = U_{пит.сети}$.

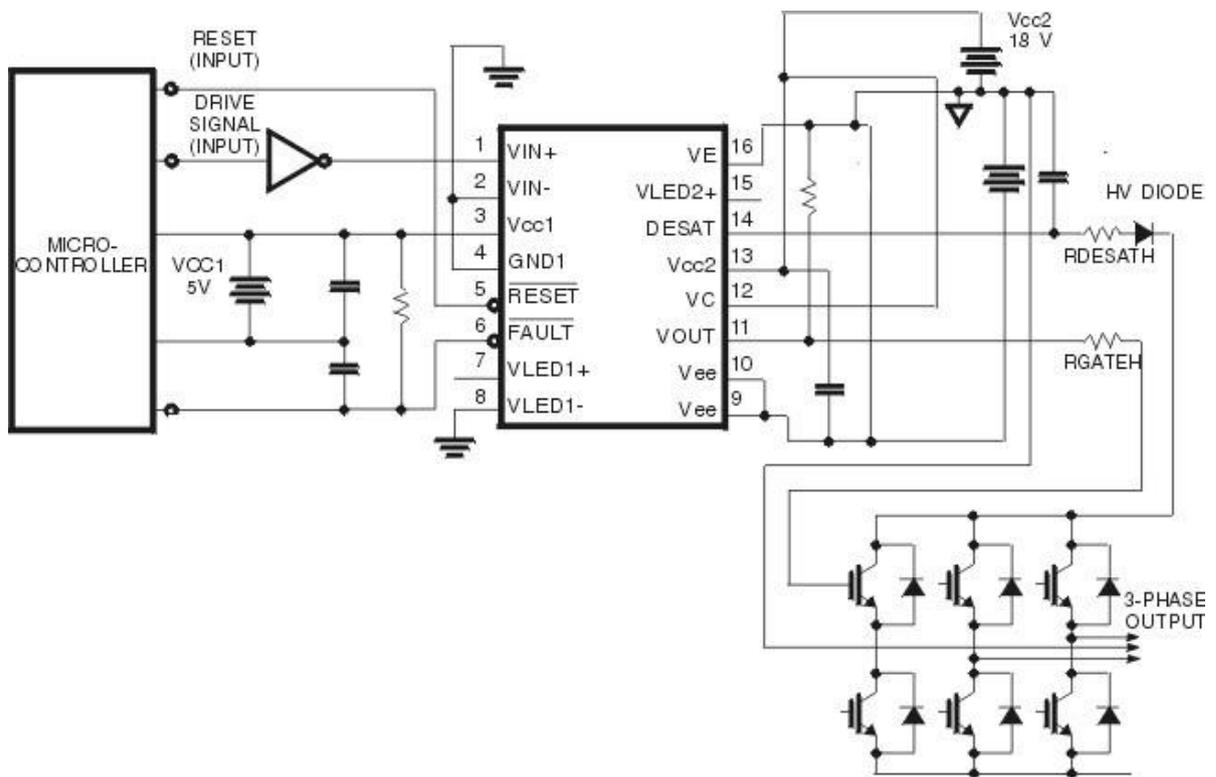


Рис.5.4 Частотный преобразователь для испытаний электродвигателей

Методические указания по расчету:

Выбор транзисторов и диодов

Для расчета согласующего устройства коэффициент мощности принимаем $\cos\varphi_1 =$

Максимальный ток через ключи инвертора определяется из выражения:

$$I_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot n \cdot 3 \cdot U_{\text{л}}$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность двигателя, Вт;

$k_1 = 1,2 - 1,5$ – коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимой для обеспечения динамики ЭП;

$k_2 = 1,1 - 1,2$ – коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока; $\eta_{\text{ном}}$ – номинальный КПД двигателя;

$U_{\text{л}}$ – линейное напряжение двигателя, В.

Ключи IGBT выбираются с постоянным (номинальным) током коллектора

2

стат.

По справочнику выбираем модули IGBT фирмы Toshiba третьего поколения типа CM80DY-11H на напряжение 1000 В со следующими параметрами:

Таблица 5.1 Электрические характеристики модулей IGBT фирмы Toshiba

| Предельные параметры | |
|----------------------|--|
|----------------------|--|

| | |
|--|--|
| Максимальное напряжение коллектор – эмиттер U_{CES} , В | |
| 2. Максимальный ток коллектора I_c , А | |
| 3. Максимальная рассеиваемая мощность P_c , Вт | |
| Электрические параметры | |
| 1. Типовое U_{CES} во включенном состоянии $U_{CE(sat)}$, В | |
| Максимальное U_{CES} во включенном состоянии $U_{CE(sat)}$, В | |
| 3. Входная емкость C_{ies} , нФ | |
| 4. Выходная емкость C_{oes} , нФ | |
| 5. Емкость обратной связи (проходная) C_{res} , нФ | |
| 6. Время задержки включения $t_{d(on)}$, нс | |
| 7. Время нарастания t_r , нс | |
| 8. Время задержки выключения $t_{d(off)}$, нс | |
| 9. Время спада t_f , нс | |
| Обратный диод | |
| 1. Прямое падение напряжения на обр. диоде транзистора U_f , В | |
| 2. Время восстановления обр. диода при выключении t_{rr} , нс | |
| Тепловые и механические характеристики | |
| 1. Тепловое сопротивление корпус – охладитель $R_{th(c-f)}$, $^{\circ}C/W$ | |
| 2. Тепловое сопротивление переход-корпус IGBT $R_{th(j-c)}$, $^{\circ}C/W$ | |
| 3. Тепловое сопротивление переход-корпус диода $R_{th(j-c)}$, $^{\circ}C/W$ | |
| 4. Масса, г | |

Расчет потерь в инверторе

Расчет потерь в инверторе при ШИМ формировании синусоидального тока на выходе заключается в определении составляющих потерь IGBT в проводящем состоянии и при коммутации, а также потерь обратного диода.

1) Потери в IGBT в проводящем состоянии:

□

где $I_{cp} = I_{cmax} / k_1 = 80 / 1,4 = 57,1$ А – максимальная амплитуда тока на входе инвертора,

А;

$\rho / T \approx 0,96$ – максимальная скважность;

$\cos\theta \approx \cos\varphi$ – коэффициент мощности;

□ прямое падение напряжения на IGBT в насыщенном состоянии при I_{cp} и

1

8

потери IGBT при коммутации:

□

$$P_{sw} = \frac{1}{2} (I_{cp} U_{ce} (t_{c(on)} + t_{c(off)}) f_{sw} \quad (3)$$

D

□

c

o

s

□

где $t_{c(on)}$, $t_{c(pff)}$ – продолжительность переходных процессов по цепи коллектора IGBT на открывание $t_{c(on)}$ и закрывание $t_{c(pff)}$ транзистора, с (типичное значение $t_{c(on)} = 0,3 - 0,4$ мкс; $t_{c(pff)} = 0,6 - 0,7$ мкс);

– напряжение на коллекторе IGBT, В (коммутируемое напряжение, равное напряжению звена постоянного тока для системы АИН - ШИМ); f_{sw} – частота коммутаций ключей, Гц (частота ШИМ), обычно от 5000 до 15000 Гц

(принимается $f_{sw} = 10^4$ Гц).

уммарные потери IGBT:

$$= 22,82 + 22,6 = 45,42 \text{ Вт}$$

потери диода в проводящем состоянии:

□

где $I_{ep} = I_{cp}$ – максимальная амплитуда тока через обратный диод, А;

□ прямое падение напряжения на диоде (в проводящем состоянии) при I_{ep} , В.

Потери при восстановлении запирающих свойств диода:

□

□

□

где I_{rr} – амплитуда обратного тока через диод, А ($I_{rr} \approx I_{cp}$);

□ продолжительность импульса обратного тока, с (типичное значение 0,2 мкс).

□

с уммарные потери диода:

о

с результирующие потери в IGBT с обратным диодом:

□

□ Найденные результирующие потери являются основой для теплового расчета инвертора, в ходе которого определяются тип и геометрические размеры необходимого охладителя, а также проверяется тепловой режим работы кристаллов IGBT и обратного диода.

Тепловой расчет инвертора

1) Максимально допустимое переходное сопротивление охладитель - окружающая среда $R_{th(f-a)}$, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, в расчете на одну пару IGBT/FWD (транзистор/обратный диод):

где $T_a = 45 - 50$ $^{\circ}\text{C}$ – температура охлаждающего воздуха;

$T_c = 90 - 110$ $^{\circ}\text{C}$ – температура теплопроводящей пластины;

(

f

□

□

P_T – суммарная мощность, Вт, рассеиваемая одной парой IGBT/FWD;
 – термическое переходное сопротивление корпус
 – поверхность теплопроводящей пластины модуля в расчете на одну пару IGBT/FWD, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

температура кристалла IGBT, $^{\circ}\text{C}$, определяется по формуле:

где $R_{th(j-c)}$ – термическое переходное сопротивление кристалл – корпус для IGBT части модуля, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

При этом должно выполняться условие $T_{ja} < 125^{\circ}\text{C}$.

температура кристалла обратного диода FWD, $^{\circ}\text{C}$:

где $R_{th(j-c)d}$ – термическое переходное сопротивление кристалл – корпус для FWD части модуля, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$. При этом должно выполняться условие $T_{jd} < 125$

Расчет выпрямителя Выбор выпрямительного модуля Среднее выпрямленное напряжение:

где $k_{с.н}$ – коэффициент схемы для номинальной нагрузки ($k_{с.н} = 1,5$ – для мостовой трехфазной схемы).

Максимальное значение среднего выпрямленного

тока: $I_{сmax}$

$$I_{сmax} = \frac{3\sqrt{3} U_n \cos \varphi}{n P_T}$$

где n – количество пар IGBT/FWD в инверторе.

Максимальный рабочий ток диода:

где $k_{сc} = 1,045$ для мостовой трехфазной схемы при оптимальных параметрах Гобразного LC-фильтра, установленного на выходе выпрямителя. Максимальное обратное напряжение диода:

где $k_c \geq 1,1$ – коэффициент допустимого повышения напряжения сети; $k_{з.н} \geq 1,15$ – коэффициент запаса по напряжению;

$\Delta U_n \approx 100 - 150 \text{ В}$ – запас на коммутационные выбросы напряжения в звене постоянного тока.

Диоды выбираются по постоянному рабочему току (не менее I_{vm}) и по классу напряжения (не менее $U_{vm}/100$).

Например, выбираем диодный модуль типа AM300HA-30F

Таблица 5.2

Электрические характеристики диодного модуля

| | |
|---|---------|
| Средний прямой ток $I_{пр.ср.}$, А | |
| Ударный прямой ток $I_{пр.уд.}$, кА | |
| Повторяющийся импульс обратного напряжения $U_{обр.мах.}$, В | до 2000 |

Тепловой расчет выпрямителя

Расчет потерь в выпрямителе для установившегося режима работы электропривода ($I_d = I_{dm}/k_1$):

где $k_{cs} = 0,577$ - для мостовой трехфазной схемы;

R_{cs} - динамическое сопротивление полупроводникового прибора в проводящем состоянии, Ом;

U_{50} - прямое падение напряжения, В, на полупроводниковом приборе при токе 50 мА

$U_{dm}/k_1 \leq 1$ В для диода); m_v - число полупроводниковых приборов в схеме.

Максимальное допустимое переходное сопротивление охладитель - окружающая среда в расчете на выпрямитель:

$$T_a + R_{th(c-f)} \cdot P_{th} \leq T_{jD} \quad (16) \quad R_{th(f-a)} \leq \frac{T_{jD} - T_a}{P_{th}}$$

где $R_{th(c-f)}$ - термическое переходное сопротивление корпус - поверхность теплопроводящей пластины модуля, °С/Вт.

Температура кристалла определяется по формуле:

где n_D - количество полупроводниковых приборов в модуле;

$R_{th(c-k)}$ - термическое переходное сопротивление корпус - кристалл для одного полупроводникового прибора модуля, °С/Вт. Необходимо, чтобы выполнялось условие $T_{jD} < 140$ °С.

Расчет параметров радиатора Предварительный выбор радиатора.

Для выпрямителя и на каждую фазу двигателя устанавливаем отдельный охладитель. Всего будет 4 охладителя. Их общее суммарное переходное сопротивление охладитель - окружающая среда:

$$R_{th(f-a)} = R_{th(f-a)1} + 3 \cdot R_{th(f-a)2} \quad (18)$$

К примеру, предварительно принимаем охладитель типа Т – 173 с габаритными размерами профиля $b = 0,26$ м, $h = 0,1$ м, расстояние между ребрами $c = 0,011$ м. Количество ребер: $m = b/c = 0,26/0,011 = 23,6 \approx 24$. Расчет длины радиатора 1) Площадь охладителя, участвующая в излучении тепла:

$$= 2,7 \cdot d$$

где d, b, h – габаритные размеры профиля, м;

n – количество охладителей.

F_{conv} – площадь данного охладителя, участвующая в конвекции:

F_{rad}

$R_{th(f-a)}$

где m – число ребер.

$R_{th(f-a)}$ – переходное сопротивление излучению тепла:

$$R_{th(f-a)} = \frac{1}{n \cdot F_{rad} \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot (T_c^2 + T_a^2) \cdot (T_c + T_a)}$$

n

F_{rad}

ϵ

σ

T_c

T_a

где $T_c = 370$ К – температура поверхности охладителя;

$T_a = 320$ К – температура окружающей среды;

$\Delta T = T_c - T_a = 50$ К;

ϵ – коэффициент излучения поверхности ($\epsilon = 0,8$ для алюминия).

$R_{th(f-a)}$ – переходное температурное сопротивление теплопередачи конвекцией:

m

h

F_{red}

T

F_{red}

где F_{red} – коэффициент ухудшения теплоотдачи (конвекции). График зависимости F_{red} от расстояния между ребрами дан на рис. 56.37 [1].

F_{red}

T

$$F_{red} = \frac{1}{1 + 0,022 \cdot d^{0,25}}$$

б) Переходное температурное сопротивление охладитель – окружающая среда при естественном охлаждении:

R_{Qconv}

Следовательно, имеем следующую

зависимость:

$$R_{Qconv} \propto d^{0,25}$$

А где А, В, С – коэффициенты, полученные при подстановке (21) и (22) в (23).

$$R_{th(f-a)} = 0,0548 \cdot d^{-0,25} + 0,022 \cdot d^{-0,25} \cdot f^{0,25} + 0,0012 \cdot d^{-0,25} \cdot f^{0,25}$$

(d)

(

C

для различных значений d рассчитываем зависимость (24), результаты расчета сведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Результаты расчетов для различных длин охладителя

| | | | | | | |
|---------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| d, м | | | | | | |
| R _{th(f-a)} , 0C/Вт | | | | | | |

По полученным значениям строим график зависимости R_{th(f-a)} от d (рис 5.5).

R_{th(f-a)}, C/Вт

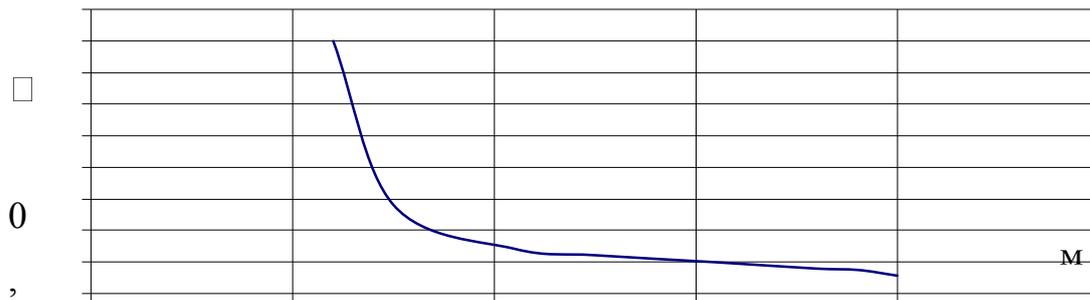


Рис.5.5 График зависимости R_{th(f-a)} = f(d)

например, выбираем длину охладителя d так, чтобы температурное сопротивление было не более расчетного значения для всех приборов, установленных на охладителе: d = 0,025 м при R_{th(f-a)} =

) коэффициент пульсаций на входе

d где m – пульсность схемы выпрямления (m = 6 для трехфазной мостовой схемы).

Принимаем LC-фильтр.

параметр сглаживания LC-фильтра:

(

0

5

$$(2 \cdot m f_s)$$

4

8

где $S = q_{1\text{вх}}/q_{1\text{вых}} = 10$ – коэффициент сглаживания по первой гармонике (значения коэффициента сглаживания S лежат в диапазоне от 3 до 12); f_s – частота сети, Гц.

Индуктивность дросселя LC-фильтра для обеспечения коэффициента мощности на входе выпрямителя $K_M = 0,95$ определяется из следующих условий:

$$2 \pi f_s L_d I_d$$

где $I_d = I_{dm}/k_1$ – номинальный средний ток звена постоянного тока.

Емкость конденсаторов, необходимая для протекания реактивного тока нагрузки инвертора, находится из выражения:

$$3 \pi I_{sm1} \sin 2\varphi_1 \frac{1}{\omega}$$

$$2 \pi U_d f_{sw} q_1$$

где $I_{sm1} = I_{cmax}$ – амплитудное значение тока в фазе двигателя, А;
 φ_1 – угол сдвига между первой гармоникой фазного напряжения и фазного тока ($\varphi_1 = \pi/2$

, где α – угол коммутации неуправляемого выпрямителя); q_1 – коэффициент пульсаций; f_{sw} – частота ШИМ, Гц.

Рассчитываем емкость конденсатора C_{01} и сравниваем с емкостью C_{03} :

Для практической реализации фильтра используют конденсаторы с наибольшим значением емкости C_{01} .

Амплитуда тока, протекающего через конденсаторы фильтра на частоте пульсаций выпрямленного тока (по первой гармонике):

где $q_{1\text{вых}} = q_{1\text{вх}}/S$ – коэффициент пульсаций на выходе фильтра.

В зависимости от значения C_{01} и амплитуды тока формируется батарея конденсаторов с емкостью $C_{01} = 1785$ мкФ и более, допустимым по амплитуде током $I_{C0m} = 1,0$ А и более и напряжением 800 В и более для трехфазной мостовой схемы.

Используем конденсаторы типа КС2 – 0,38 – 36 – 3У3 с номинальными параметрами: $U_{ном} = 380$ В, $C_{ном} = 800$ мкФ, $Q = 36$ квар.

Для получения емкости $C_{01} = 5\ 200$ мкФ собираем батарею из 5 пар конденсаторов, соединенных между собой параллельно. В каждой паре по 2 последовательно соединенных конденсатора для увеличения напряжения.

Расчет демпфирующей цепи

Так как IGBT коммутируются с высокой скоростью, то напряжение быстро возрастает, особенно при запираии транзистора, и может достигнуть критического значения, способного вызвать пробой либо коллектора, либо затвора транзистора. Чтобы минимизировать превышение напряжения (перенапряжение) и предотвратить аварию IGBT, требуется установка демпфирующей цепи.

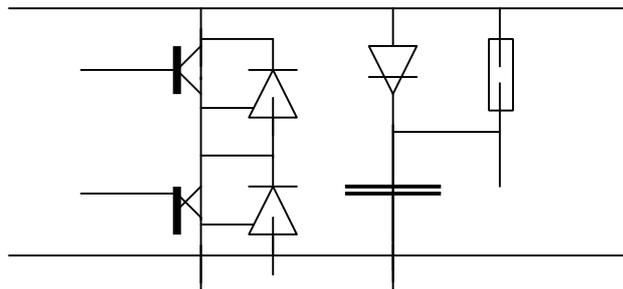


Рис.5.6 Схема демпфирующей цепи

Выбираем следующую схему демпфирующей цепи, обладающую особенностями: а) малое число элементов, б) низкие потери мощности, в) подходит для конденсаторов средней и малой емкости.

Емкость конденсатора демпфирующей цепи определяется напряжением второго броска $\Delta U'$, который не должен превышать 25 В. Выражение для расчета емкости представляется в виде:

$C \approx L_1 \cdot (I_C / \Delta U')^2$, (30) где L_1 – индуктивность проводов между электролитическим конденсатором и IGBT-модулем (значение L_1 должно быть 50 нГн или менее); $I_C = I_{cmax}$ – отключаемый ток.

Выбираем для демпфирующей цепи конденсатор с хорошими высокочастотными характеристиками, малой собственной индуктивностью, высокими импульсными токами и малым тангенсом угла потерь типа К78 – 2 емкостью $C = 1,5$ мкФ.

Выбор сопротивления резистора производится из условия минимума колебаний тока коллектора при включении IGBT:

где L_{sn} – индуктивность цепей снаббера, Гн (10 нГн или менее); C – емкость снаббера, Ф.

Требуемая мощность резистора снаббера:

где ΔU – перенапряжение, В, которое не должно превышать 60 В.

R

□

P

К примеру, выбираем для снаббера резистор штампованный ленточный типа ЛФ10 с номинальным сопротивлением при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ $R = 0,2 \text{ Ом}$ и продолжительным допустимым током $I_{\text{доп}} = 140 \text{ А}$.

действительная мощность резистора снаббера:

$$P = I_{\text{доп}}^2 \cdot R$$

ок, протекающий через диод снаббера, импульсный. Он почти равен отключаемому току коллектора $I_{\text{сmax}}$ и длится до 1 мкс.

Отношение максимума тока через демпфирующую цепь к среднему около (20 - 50) $\square 1$, диод должен быть высокочастотным со временем восстановления запирающих свойств $t_{\text{гг}} = 0,3 \text{ мкс}$ и менее. Из электротехнического справочника выбираем быстросовосстанавливающийся диод.

Пример частотного преобразователя с широтно-импульсной модуляцией приведен в таблице 2.4.

На основании приведенных расчетов составляем таблицу блоков, из которых будет состоять частотный преобразователь

Таблица 2.4 – Частотный преобразователь с широтно-импульсной модуляцией (пример)

| Наименование устройства | количество |
|---|------------|
| Модули IGBT фирмы Toshiba CM80DY-11H | |
| Диодный модуль типа AM300HA-30F | |
| Охладитель типа T – 172 | |
| Конденсатор типа KC2 – 0,38 – 36 – 3УЗ | 6 пар |
| быстросовосстанавливающийся диод типа ВЧ – 210. | |

РАЗДЕЛ 3 ЗАДАЧИ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ТЕМАМ ЛЕКЦИЙ

Задачи по теме «Основные свойства и характеристики полупроводников»
 $= 0.4 \text{ эВ}$. Температурная чувствительность $\square_3 = 8 \square 10^{-4} \text{ эВ}/\square\text{C}$. Определить

электростатический потенциал \square_E при температуре $100 \square\text{C}$, считая, что энергия дна зоны проводимости не зависит от температуры.

Известно, что электростатический потенциал кремния $\square_E = 0.995 \text{ эВ}$ при температуре 373 К . Найти его электрохимический потенциал, если концентрация дырок – 10^{18} м^{-3} , а концентрация собственных носителей 10^{13} м^{-3} .

Вычислить положение уровня Ферми относительно дна зоны проводимости при $T = 400 \text{ К}$ для кремния, содержащего $5 \square 10^{16}$ атомов в 1 см^3 .

Вычислить положение уровня Ферми относительно дна зоны проводимости при температуре $T = 300 \text{ К}$ для германия, содержащего 10^{17} атомов сурьмы и $5 \square 10^{16}$ атомов индия в 1 см^3 .

В образце германия содержится 10^{23} м^{-3} атомов сурьмы. Полагая, что при комнатной температуре (27°C) все атомы сурьмы ионизированы, определить плотности электронов n и дырок p . Считать, что плотности электронов определяются только донорными центрами. По этим данным вычислить удельное сопротивление образца при комнатной температуре, если подвижности электронов и дырок соответственно равны $0,38$ и $0,18 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{сек}$. Вычислить концентрации собственных и примесных, носителей тока в германии, содержащем $5 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ атомов мышьяка, при комнатной температуре. Энергия ионизации атомов мышьяка $E_d = 0,015 \text{ эВ}$. Эффективные плотности уровней в зонах проводимости и валентной соответственно $N_c = 1,04 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$, $N_v = 6,1 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$.

Определить концентрацию электронов и дырок при температуре 300 К : а) в собственном кремниевом полупроводнике; б) в кристалле кремния, содержащем $5 \cdot 10^{17}$ атомов сурьмы в 1 см^3 . Энергия ионизации атомов сурьмы $E_d = 0,01 \text{ эВ}$.

Удельное сопротивление собственного германия при 27°C составляет $0,47 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Полагая, что подвижности электронов и дырок соответственно равны $0,38$ и $0,18 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, вычислить плотности носителей тока при 27°C .

Вычислить среднюю скорость дрейфа электронов и дырок в германии при комнатной температуре в поле напряженности 1000 В/м . Подвижности электронов и дырок принять соответственно $0,38 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ и $0,18 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

Найти среднюю диффузионную длину электрона при комнатной температуре ($T = 300 \text{ К}$) в кристалле германия n-типа, если подвижность электронов $\mu_n = 3900 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, а время жизни носителей тока $\tau_n = 100 \text{ мкс}$.

Подвижности электронов и дырок в монокристалле кремния при комнатной температуре (300 К) соответственно равны $0,18$ и $0,04 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Найти коэффициенты диффузии электронов и дырок при этой температуре.

В

ы

Значения времени жизни электронов в образце германия при 300 К составляет $2 \cdot 10^{-4} \text{ с}$. Вычислить среднюю диффузионную длину. При решении воспользоваться величиной $D_n = 99 \text{ см}^2/\text{с}$.

и

Определить среднюю скорость дрейфа электронов и дырок в германии при комнатной температуре (27°C), если к образцу приложено внешнее электрическое поле напряженностью $E_1 = 10 \text{ В/м}$, $E_2 = 100 \text{ В/м}$, $E_3 = 1000 \text{ В/м}$.

Подвижности электронов и дырок в монокристалле кремния при $T = 300 \text{ К}$

н

а

ч

е

н

и

соответственно равны 1400 и 500 $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Найти коэффициенты диффузии электронов и дырок при этой температуре.

Определить концентрацию носителей заряда в кристаллах, если измерения коэффициента Холла дали следующие величины:

$$= 2 \cdot 10^3 \text{ см}^3/\text{К}; R_2 = 3.1 \cdot 10^2 \text{ см}^3/\text{К}; R_3 = 6.2 \text{ см}^3/\text{К}.$$

Удельное сопротивление монокристалла кремния р-типа при комнатной температуре (27 $^\circ\text{C}$) составляет $9 \cdot 10^4 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Рассчитайте значение коэффициента Холла, если подвижность дырок $\mu_p = 0.04 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

Образец германия n-типа толщиной 1 мм с концентрацией электронов 10^{20} м^{-3} помещен в магнитное поле с индукцией 0.1 Вб/м². Определить величину ЭДС Холла при токе 1 мА, протекающем через образец.

Удельная проводимость и коэффициент Холла арсенида индия соответственно равны $4 \cdot 10^2 \text{ 1}/(\text{Ом}\cdot\text{м})$ и $10^{-2} \text{ м}^3/\text{К}$. Считая, что проводимость осуществляется зарядами одного знака, определить их концентрацию и подвижность.

Имеется равновесный образец германия при температуре 400 К. Вычислить концентрацию дырок p и электронов n, если образец легирован атомами сурьмы концентрацией $2,4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$; концентрацию носителей, которая установится после того, как будет проведено легирование индием концентрацией $4,8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

Принять $n_i = 2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

Пластина из германия n-типа имеет удельное сопротивление $\rho = 0.1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и ширину $d = 10^{-2} \text{ см}$. К пластине приложена разность потенциалов $U = 1 \text{ В}$. Вычислить плотность дрейфового тока $j_{др}$, время, которое потребуется для того, чтобы носитель заряда пересек пластину τ и отношение плотностей токов дырок и электронов j_n/j_p . Принять $\mu_n = 3900 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$; $\mu_p = 1900 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$; $n_i = 2.4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

Задачи по теме «Электрические переходы»

Определить контактную разность потенциалов для германиевого p-n-перехода при 20 $^\circ\text{C}$, если известны концентрации донорной и акцепторной примесей, а также собственных носителей, равные соответственно 10^{18} см^{-3} , см^{-3} и $2.5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

Имеется германиевый диод со следующими параметрами: $N_a = 10^{16} \text{ см}^{-3}$;

$$\text{см}^{-3}; S = 10^{-3} \text{ см}^2; D_p = 40 \text{ см}^2/\text{с}; T = 300 \text{ К}; n_i = 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}; L = 10^{-3} \text{ см}.$$

Определить высоту потенциального барьера U_0 и тепловой ток I_0 .

Определить контактную разность потенциалов для германиевого p-n-

перехода при 20°C , если известно $N_a = 10^{13} \text{ см}^{-3}$; $N_d = 10^{15} \text{ см}^{-3}$; $n_i = 2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

Диод типа p-n⁺, изготовленный из кремния, имеет параметры: $L_p = 150 \text{ мкм}$;

$D_n = 20 \text{ см}^2/\text{с}$; $t_n = 0.2 \text{ мкс}$; $S = 2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$. Вычислить значения параметров эквивалентной схемы для малых сигналов: $r_{\text{диф}}$, $C_{\text{диф}}$. Принять $I_0 = 1,2 \text{ мА}$.

Полупроводниковый диод имеет прямой ток 0.8 А при $U_{\text{пр}} = 0.8 \text{ В}$ и $T = 35^\circ\text{C}$. Найти тепловой ток, $r_{\text{диф}}(0.2 \text{ В})$ и $r_{\text{диф}}(0 \text{ В})$. Температурный потенциал ΔT принять равным 0.026 В .

Обратный ток полупроводникового диода при 300 К равен 1 мкА . Определить сопротивление диода постоянному току и его дифференциальное сопротивление при $U_{\text{пр}} = 150 \text{ мВ}$.

Определить теоретическое соотношение для обратных тепловых токов германиевого и кремниевого диодов при 300 К $I_{0 \text{ Ge}} / I_{0 \text{ Si}}$, приняв $N_a = N_d$; $D_p =$

Известно, что тепловой ток I_0 зависит от температуры. Доказать, что Определить во сколько раз изменится I_0 для кремниевого диода по отношению к германиевому, если температура изменится с 25°C до 100°C . происходит, если $E_{\text{крит}} = 250 \text{ кВ/см}$. Вычислить напряжение пробоя при следующих данных: $N_a = 10^{13} \text{ см}^{-3}$; $N_d = 10^{14} \text{ см}^{-3}$; $L_n = 90 \text{ мкм}$; $L_p = 10 \text{ мкм}$, $\epsilon_0 \epsilon_r = 1.062 \cdot 10^{-10} \text{ Ф/см}$.

Имеется кремниевый p-n-переход, находящийся при 300 К : p-область создана легированием атомами бора с концентрацией $N_a = 10^{21} \text{ м}^{-3}$; n-область перехода легирована атомами фосфора с концентрацией $N_d = 10^{20} \text{ м}^{-3}$. Определить высоту потенциального барьера U_0 , если внешнее напряжение $U = 0 \text{ В}$; $n_i = 5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$.

Имеется кремниевый p-n-переход, находящийся при 300 К (собственная концентрация $n_i = 5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$): p-область создана легированием атомами бора с концентрацией $N_a = 10^{21} \text{ м}^{-3}$; n-область перехода легирована атомами фосфора с концентрацией $N_d = 10^{20} \text{ м}^{-3}$. Определить координаты границ обедненной области с каждой стороны перехода, если приложенное напряжение $U = -10 \text{ В}$, $\epsilon_0 \epsilon_r = 1.062 \cdot 10^{-10} \text{ Ф/см}$.

Имеется кремниевый p-n-переход, находящийся при 300 К (собственная концентрация $n_i = 5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$): p-область создана легированием атомами бора с концентрацией $N_a = 10^{21} \text{ м}^{-3}$; n-область перехода легирована атомами фосфора с концентрацией $N_d = 10^{20} \text{ м}^{-3}$. Определить барьерную ёмкость при

напряжении $U = -10\text{В}$, если площадь поперечного сечения перехода $S = 10^{-6}\text{м}^2$

Имеется кремниевый p-n-переход, находящийся при 300 К (собственная концентрация $n_i = 5 \cdot 10^{10}\text{см}^{-3}$): p-область создана легированием атомами бора с концентрацией $N_a = 10^{21}\text{м}^{-3}$; n-область перехода легирована атомами фосфора с концентрацией $N_d = 10^{20}\text{м}^{-3}$. Определить напряжение лавинного пробоя, если $E_{\text{крит}} = 1.5 \cdot 10^7\text{В/м}$.

Вычислить, как изменится барьерная ёмкость варикапа с резким переходом при увеличении модуля напряжения смещения на 1 В, если известно, что при $U = 5\text{В}$ $C_6 = 20\text{пФ}$.

Лавинный пробой в p-n-переходе наступает при напряжении 25 кВ/см, при этом ширина слоя объемного заряда в n-области – 3 мкм, а в p-области – 0.66 мкм. Найти напряжение пробоя и отношение концентраций донорной и акцепторной примесей. 3.2.16. Известны следующие точки вольт-фарадной характеристики варикапа: $C_6(0\text{В})=180\text{пФ}$, $C_6(3\text{В})=68\text{пФ}$, $C_6(6\text{В})=50\text{пФ}$. Определить тип перехода (резкий или плавный). 3.2.17. Нарисовать ВАХ идеального и реального плоскостного диода и объяснить различия.

Объяснить основное отличие плавного перехода от резкого. Определить среднеквадратическое значение напряжения шума в резисторе сопротивлением 100 кОм при температуре окружающей среды $+70^\circ\text{С}$ в полосе частот 10 кГц. Постоянная Больцмана $k = 1.38 \cdot 10^{-23}\text{Дж/К}$.

Решение. Тепловой шум прибора вычисляют по формуле

$$U_{\text{ш}} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot \Delta f \cdot R} = 7.7 \cdot 10^{-6}\text{В}$$

Выбрать необходимый номинал сопротивления резистора номинальной мощностью $P_{\text{ном}} = 0.25\text{Вт}$ из стандартного ряда E24, чтобы при рабочей температуре $+120^\circ\text{С}$ он имел бы сопротивление 130 кОм. Температурный коэффициент сопротивления $\text{ТКС} = 0.001\text{1}/^\circ\text{С}$, номинальная температура резистора $+25^\circ\text{С}$. Определить допустимое напряжение, которое можно приложить к резистору при рабочей температуре и номинальной температурах.

Определить индуктивное сопротивление на частоте 1 МГц катушки (соленоида) диаметром 30 мм и длиной 50 мм, намотанной однослойно виток к витку медным проводом диаметром 1 мм. Определить активное сопротивление катушки, если удельное сопротивление меди $\rho = 0.0175\text{Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$.

Решение. Индуктивность однослойной катушки определяют по эмпирической

$$L = 90 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{l}{N^2} + 10 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{l}{N^2}$$

формуле

где L – индуктивность катушки, мкГн;

l – длина катушки, см; r – радиус

катушки, см;

N – количество витков.

Количество витков определяют исходя из длины катушки и диаметра провода, так как намотка – плотная, виток к витку:

$$N = \frac{l}{d} = 50$$

$$L = \frac{0.3 \cdot 25 \cdot 2500}{9 \cdot 1.5 + 10 \cdot 5} = 388$$

мГн

$$R = 2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{S} = 2438 \text{ Ом}$$

Индуктивное

рассчитывается по

Активное сопротивление

катушки $R = 0.082 \text{ Ом}$

$$= \rho \cdot \frac{l}{S} = 0.0175 \cdot \frac{50 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{1}$$

сопротивление

формуле

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В практикуме описаны частотные характеристики аналоговых фильтров; связи между Z передаточными функциями и дискретными преобразованиями Фурье, описывающие дискретные последовательности; возможность проектирования цифровых фильтров с помощью пакета fdatool из библиотеки FilterDesign; характеристики цифровых фильтров, у которых все операции над данными выполняются с машинной точностью; характеристики цифровых фильтров с учетом квантования по уровню.

Изложенная методика расчета дискретных фильтров по аналоговым эквивалентам. Приведён алгоритм расчета дискретных фильтров на основе аппроксимации Эйлера; алгоритм расчета дискретных фильтров на основе инвариантного преобразования импульсной переходной функции; алгоритм расчета дискретных фильтров на основе билинейного преобразователя; алгоритм расчета дискретных фильтров с использованием пакета MatLab; алгоритм расчета дискретных фильтров методом частотной выборки. Описан порядок расчета и проектирования полупроводниковых приборов в системах с микропроцессорным управлением работой судовых электротехнических приборов, даны задачи и варианты заданий для самостоятельной работы студента. Практикум в полной мере дает возможность для освоения практических навыков студента физических основ электроники.

. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Рекомендации по освоению лекционного материала, подготовке к лекциям.

Лекции являются основным видом учебных занятий в высшем учебном заведении. В ходе лекционного курса проводится изложение современных научных взглядов и освещение основных проблем изучаемой области знаний.

Значительную часть теоретических знаний студент должен получать самостоятельно из рекомендованных основных и дополнительных информационных источников (учебников, Интернет-ресурсов, электронной образовательной среды университета). В тетради для конспектов лекций должны быть поля, где по ходу конспектирования делаются необходимые пометки. В конспектах рекомендуется применять сокращения слов, что ускоряет запись. Вопросы, возникшие в ходе лекций, рекомендуется делать на полях и после окончания лекции обратиться за разъяснениями к преподавателю.

После окончания лекции рекомендуется перечитать записи, внести поправки и дополнения на полях. Конспекты лекций рекомендуется использовать при подготовке к практическим занятиям (лабораторным

работам), экзамену, контрольным тестам, коллоквиумам, при выполнении самостоятельных заданий.

Рекомендации по подготовке к практическим занятиям.

Для подготовки к практическим занятиям необходимо заранее ознакомиться с перечнем вопросов, которые будут рассмотрены на занятии, рекомендуемой основной и дополнительной литературой, содержанием рекомендованных Интернет-ресурсов. Необходимо прочитать соответствующие разделы из основной и дополнительной литературы, рекомендованной преподавателем, выделить основные понятия и процессы, их закономерности и движущие силы, взаимные связи. При подготовке к занятию не нужно заучивать учебный материал. На практических занятиях нужно выяснять у преподавателя ответы на интересующие или затруднительные вопросы, высказывать и аргументировать свое мнение.

Рекомендации по подготовке к лабораторным занятиям.

Целью лабораторного практикума является: ознакомление с устройством, принципом действия и характеристиками машин переменного тока; закрепление теоретических знаний в области машин переменного тока, получение навыков их экспериментального исследования, а также обработки полученных результатов; приобретение навыков чтения и сборки электрических схем, включения и испытания машин переменного тока в различных режимах; приобретение навыков суммирования и обобщения полученных результатов экспериментальных исследований, умения формулировать правильные выводы о работе машины и физических процессах, протекающих в ней.

. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

Арыбин А.А., Сидоров В.Г. Физико-технологические основы электроники. Спб.: Лань, 2001 – 272 с. (1экз. на 1 студента)

Тепаненко И.П. Основы микроэлектроники. Учебное пособие для вузов. М.: Лаборатория базовых знаний, 2003 – 488 с. (1экз. на 1 студента)

Дополнительная литература

Электроника и микропроцессорная техника : учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. 5-е издание, стер. М.: Высшая школа, 2008 – 798с.

Правочник судового электротехника / под ред. Г.И. Китаенко. – Л.: Судостроение, 1980. – 668 с.