

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПРИНЯТО

на заседании Приемной комиссии
протокол № 7 от 26.03.2015 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель председателя
Приемной комиссии,
директор по учебной работе,
кандидат философских наук,



М.В. Румянцев

ПРОГРАММА
вступительного испытания в аспирантуру
Направление 13.06.01 «Электро- и теплотехника»
Образовательная программа 05.09.12 «Силовая электроника»

Красноярск- 2015

Введение

Программа составлена на основе образовательной программы по общим математическим и естественнонаучным дисциплинам, и дисциплинам направления «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», связанным с особенностями анализа, синтеза и технического использования силовых полупроводниковых преобразователей и систем их управления и программы - минимум кандидатского экзамена по специальности 05.09.12 – Силовая электроника. Программа разработана на кафедре «Электротехнические комплексы и системы» Политехнического института СФУ.

1. Основные компоненты силовой электроники

1.1 Полупроводниковые приборы.

Полупроводниковый диод, особенности его ВАХ. Температурные свойства параметров и характеристик диода. Разновидности диодов (стабилитроны, диоды Шотки, туннельные диоды).

Биполярный транзистор. Устройство и принцип действия биполярного транзистора. Соотношение между токами электродов транзистора. Характеристики транзистора при включении по схемам с общей базой и общим эмиттером. Уравнения Эберса-Молла для статических ВАХ идеализированного транзистора. Мало сигнальная эквивалентная схема транзистора, влияние температуры, частоты и нагрузки на параметры эквивалентной схемы. Ключевой режим работы биполярного транзистора. Режимы отсечки и насыщения. Анализ переходных процессов в транзисторе методом заряда. Параметрические особенности биполярных транзисторов на большие мощности.

Биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ). Устройство и принцип действия. Схема замещения и ВАХ БТИЗ, электрические и температурные параметры схемы замещения, требования к управляющим сигналам. Особенности использования БТИЗ в технических устройствах и области их безопасной работы. Особенности IGBT и IGCT.

Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом. Устройство, принцип действия и ВАХ. Транзисторы МДП-типа с встроенным и индуцированным каналом. Схемы замещения, параметры и характеристики полевых транзисторов.

Оптоэлектронные пары диод-диод, диод-транзистор. Оптоэлектронные приборы повышенной яркости – светодиоды. Схемы включения оптоэлектронных приборов.

Тиристоры. Структура и физические процессы в тиристорах. ВАХ тиристора. Переходные процессы включения и выключения в не запираемых (одно операционных) тиристорах. Предельные и классификационные параметры тиристоров. Асимметрично запирающие и обратно проводящие тиристоры. Симисторы, фото тиристоры и оптронные тиристоры. Запираемые (двух операционные) тиристоры.

Интегральные и гибридные микросхемы. Схемотехника и конструкция, типовые логические микросхемы. Серия микросхем на биполярных и полевых транзисторах.

1.2 Электромагнитные элементы силовой электроники.

Магнитные материалы и сердечники. Общие свойства магнитных материалов. Гистерезис. Магнитная проницаемость. Сопротивление магнитному потоку. Магнитодвижущая сила и напряженность магнитного поля. Выбор магнитных материалов, влияние воздушного зазора в сердечнике. Аморфное железо и сплавы на основе кобальта. Ленточные разрезные сердечники из электротехнической стали и никелевых сплавов. Ферриты. Порошковые материалы. Порошковое распыленное железо, мо- пермаллой, порошковые материалы на основе сплава железа и никеля, железо-алюминиевый порошковый материал(К_о1 Мц).

Дроссели. Сглаживающие дроссели и дроссели переменного тока.

Трансформаторы. Идеальный трансформатор. Индуктивность намагничивания трансформатора. Индуктивность рассеяния. Основные соотношения для двухобмоточного трансформатора в общем случае. Трансформаторы с несколькими обмотками. Основные соотношения и методика расчета силовых трансформаторов преобразователя. Высокочастотные эффекты в обмотках дросселей и трансформаторов. Скин-эффект в проводнике. Трансформаторы и дроссели с плоскими обмотками.

Конденсаторы с большим зарядом и энергией. Танталовые конденсаторы. Классификация пленочных конденсаторов. Керамические конденсаторы.

Электро- и радио- изделия силовой электроники. Резисторы, варисторы, светодиодные индикаторы.

Коммутационно-защитная аппаратура силовой электроники.

2. Анализ электрических цепей с основными элементами силовой электроники

Электрические цепи и сигналы. Элементы электрических цепей (источники, потребители и накопители энергии), их параметры и характеристики. Электрическая схема и структурный граф цепи. Матрицы сечений и контуров, связь между ними. Коммутационные процессы в электрических цепях. Постоянные и гармонические токи и напряжения. Комплексная форма представления гармонических процессов в электрической цепи. Периодически изменяющиеся токи и напряжения, их разложение на гармонические составляющие. Параметры и характеристики периодических токов и напряжений. Модулированные сигналы и их дискретные частотные спектры. Непериодические токи и напряжения. Интеграл Фурье и непрерывные спектры электрических сигналов. Преобразование Лапласа и операторные изображения сигналов.

Установившиеся и переходные процессы в линейных цепях. Анализ установившихся процессов в резистивных цепях, исходные уравнения, способы их решения и проверки. Законы Кирхгофа, баланс мощностей. Гармо-

нические и периодические режимы в линейных цепях с источниками, накопителями энергии и потребителями. Расчетные схемы с комплексными параметрами элементов. Активная, реактивная и полная мощности электрической цепи, мощность искажения. Законы коммутации и начальные условия, исходные алгебраические и дифференциальные уравнения состояния цепи. Классические методы решения дифференциальных уравнений (вынужденный и свободный процессы в электрической цепи). Операторный метод анализа процессов в электрической цепи. Интегро-дифференциальные уравнения состояния электрической цепи и ее эквивалентная операторная схема. Реакция электрической цепи на возмущение в виде ступенчатой, импульсной и произвольной функций времени. Пространство состояний электрической цепи, формирование систем алгебраических и дифференциальных уравнений состояния электрической цепи, методы аналитических и численных решений уравнений. Математическое моделирование электрических цепей. Фильтрующие устройства в электрических цепях. Четырехполосники и их схемы, уравнения преобразования энергии. Эквивалентная схема активного четырехполосника. Характеристики, параметры и условия согласования пассивного четырехполосника с источником энергии и нагрузкой. Последовательный и параллельный LC-контуры, их резонансные и частотные характеристики. LC-фильтры, их характеристические параметры в полосах пропускания и демпфирования сигналов. Пассивные и активные RC-фильтры, их передаточные функции и частотные характеристики.

3. Электронные цепи

Линейные усилители. Однокаскадные усилители на биполярных и полевых транзисторах. Обратные связи в усилителях, их влияние на параметры и характеристики усилителей. Устойчивость усилителя с обратной связью. Частотные и импульсные характеристики усилителей. Операционные усилители. Использование операционных усилителей в схемах масштабирования, суммирования, дифференцирования и интегрирования электрических сигналов. Активные фильтры на основе операционных усилителей и RC-цепей. Генераторы гармонических колебаний с RC- и LC-цепями.

Диодные ключи, ограничители и фиксаторы уровня напряжения. Транзисторные насыщенные ключи на биполярных транзисторах. Ненасыщенные ключи. Траектория рабочей точки при переключении транзистора. Влияние на траекторию рабочей точки характера нагрузки (R, RL, L, RC). Области безопасной работы. Ключи на полевых транзисторах. Схемотехника ключей на большие мощности. Энергия, рассеиваемая на транзисторах при переключении, основные приемы отвода тепла.

Импульсные схемы и стабилизаторы напряжения. Компараторы, мультивибраторы, мультивибраторы и генераторы линейно изменяющегося напряжения на основе дискретных компонентов, операционных усилителей и логических интегральных схем. Параметрические стабилизаторы напряжения. Регуляторы и стабилизаторы напряжения и тока на полупроводниковых эле-

ментах, работающих в ключевых режимах.

4. Преобразовательная техника

Выпрямители. Основные схемы одно- и трехфазных выпрямителей. Работа однофазных выпрямителей на активно-индуктивную, активно-емкостную нагрузки, на нагрузку, содержащую противо-ЭДС и индуктивность. Режим прерывистого тока. Трехфазный мостовой выпрямитель. Внешняя характеристика выпрямителя при различном числе одновременно работающих вентилях. Несимметричный (полууправляемый) выпрямитель, его регулировочная характеристика. Многофазные схемы выпрямления на основе последовательного или параллельного соединения выпрямителей. Взаимодействие выпрямителя с источником переменного тока. Первичные токи многофазных выпрямителей. Коэффициент мощности источника переменного тока при управляемом и неуправляемом режимах работы выпрямителя. Способы повышения коэффициента мощности. Явление вынужденного подмагничивания трансформатора в одно- и трехфазных трансформаторных выпрямителях, способы устранения эффекта подмагничивания. Влияние анодных индуктивностей на работу выпрямителей.

Инверторы, ведомые сетью, и преобразователи частоты. Переход от выпрямительного режима к инверторному. Электрические процессы в инверторе, ведомом сетью, его регулировочная характеристика. Влияние анодных индуктивностей на работу инвертора, его коэффициент мощности, приемы повышения коэффициента мощности инвертора. Реверсивный преобразователь переменного-постоянного тока. Перекрестная и встречно-параллельная схемы преобразователя. Совместное и раздельное управление преобразователем. Особенности работы преобразователя на активно-индуктивную нагрузку и индуктивную нагрузку с противо - ЭДС. Непосредственный преобразователь частоты. Одно- и многофазная схемы непосредственного преобразователя частоты, особенности его работы на активно-индуктивную нагрузку.

Импульсные преобразователи и регуляторы постоянного напряжения. Импульсные методы регулирования напряжения (тока), широтно- и частотно-импульсное регулирование, метод позиционного слежения. Импульсные регуляторы I, II и III родов, их регулировочные характеристики. Транзисторные преобразователи напряжения с передачей энергии через трансформатор на интервале формирования импульса и во время паузы. Импульсные преобразователи постоянного напряжения на тиристорах с параллельной и последовательной двухступенчатой коммутацией.

Автономные инверторы и преобразователи на их основе. Автономные инверторы тока и напряжения, их сравнительная оценка. Автономный параллельный инвертор как пример инвертора тока, его внешняя характеристика. Стабилизация и регулирование напряжения инвертора тока с помощью индуктивно-тиристорного компенсирующего устройства. Инвертор тока с отсекающими диодами. Одно- и трехфазные напряжения, особенности их

работы на активно-индуктивную нагрузку, роль отсекающих диодов. Инвертор напряжения с одноступенчатой (прямой) коммутацией (схема Мак-Муррея-Бедфорда). Инвертор напряжения с двухступенчатой (непрямой) коммутацией. Электрические процессы в коммутационных узлах при параллельной и последовательной коммутации. Преобразователи частоты на основе инверторов напряжения и тока для частотно-управляемого электропривода. Параллельный и последовательный резонансные инверторы, токи и напряжения инверторов при граничном режиме работы и в режиме с паузой. Резонансные инверторы с обратными диодами. Особенности работы тиристоров при принудительной коммутации – отпирание, запираение, коммутационные потери мощности, эффекты, связанные с изменением производных тока и напряжения в период коммутации. Преобразователи напряжения с звеном повышенной частоты. Методы снижения коммутационных потерь в инверторах повышенной частоты – демпфирующие цепи, резонансная и квазирезонансная коммутации. Методы улучшения спектрального состава выходного напряжения инверторов. Многофазные преобразователи со ступенчатой формой выходного напряжения.

5. Системы управления преобразователями.

Обработка информации. Количественная оценка информации. Виды сигналов. Характеристика аналоговых сигналов – спектры и функции распределения. Передача информации модулированными сигналами с гармоническим и импульсным носителями. Кодирование цифровых сигналов, виды цифровых кодов. Понятие о системах счисления, обратном и дополнительном кодах. Кодовые расстояния, избыточное кодирование, коды с обнаружением и исправлением ошибок. Способы цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразований. Преобразователи информации, основанные на последовательном счете, поразрядном уравнивании и считывании. Преобразователи временных интервалов: аналоговый сигнал – интервал, аналоговый сигнал – частота, интервал – код, частота – код.

Основы проектирования цифровых узлов и устройств. Коммутационные логические устройства. Логические функции, способы их описания, их реализации с использованием типовых логических элементов: И, ИЛИ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ. Дешифраторы, мультиплексоры. Арифметические логические устройства - принцип их действия и особенности использования. Основные виды триггеров, построение счетчиков и регистров. Реверсивные счетчики. Емкость счетчика и управление ею. Регистры с последовательным вводом и выводом информации. Автоматы на основе интегральных микросхем. Способы описания состояния автоматов, таблицы переходов и выходов. Кодирование входов, выходов и внутренних состояний автоматов. Противогоночное кодирование. Синтез узлов на основе типовых логических элементов. Виды полупроводниковых запоминающих устройств. Программирование ПЗУ, ОЗУ, РПЗУ. Полупроводниковое запоминающее устройство как многофункциональный логический элемент. Построение автоматов на

основе программируемых ПЗУ с обратными связями.

Микропроцессорная техника систем управления. Программная реализация процедур сбора, вычислительных операций над информацией и управления. Структура микропроцессорной системы, ее составные части. Магистральный способ связи узлов. Магистрали данных, адреса управления. Функционирование микропроцессора при выполнении команд. Машинные циклы, слова состояния процессора. Виды команд. Переходы – выполнение программ, стек, прерывания и обработка прерываний, прямой доступ к памяти. Однокристалльные и разрядно-модульные микропроцессоры, однокристалльные микро-ЭВМ, периферийные устройства микропроцессорных систем (интерфейсы).

Список рекомендованных источников

1. Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинков А.Д. Полупроводниковые приборы. – М.: Высш. Шк., 1981.
2. Челноков В.Е., Евсеев Ю.А. Физические основы работы силовых полупроводниковых приборов. – М.: Энергия, 1975.
3. Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей. Линейные цепи. – М.: Высш. Шк., 1981
4. Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей. Нелинейные цепи. – М.: Высш. Шк., 1977.
5. Толстое Ю.Г., Теврюков А.А. Теория электрических цепей. – М.: Высш. Шк., 1971.
6. Гусев В.Г., Гусев Н.Э.М. Электроника. – М.: Высш. Шк., 1982.
7. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005.
8. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – М. Энергия, 1977.
9. Руденко В.С. Сенько В.И., Чиженко И.М. Основы преобразовательной техники. – М.: Высш. Шк., 1980.
10. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.: Высш. Шк., 1982.
11. Темников Ф.Е., Афонин В.А., Дмитриев В.И. Теоретические основы информационной техники. – М.: Энергия, 1972.
12. Алексеенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника. – М.: Радио и связь, 1982.
13. Микропроцессоры. Кн. 1: Архитектура и проектирование микро-ЭВМ, организация вычислительных процессов. / Под ред. Преснухина. – М.: Высш. Шк., 1986.
14. Бахтияров Г.Д., Малинин В.В., Школин В.П. Аналого-цифровые преобразователи. – М.: Сов. радио, 1980.
15. Микроэлектроника/ И.Е. Ефимов и др. – М.: Высш. Шк., 1987.

Составитель программы:

Иванчура В.И., д-р техн. наук, профессор.

Программа соответствует паспорту номенклатуры специальностей

научных работников.