Приложение 3 РПД Б1.В.ОД.7

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора
филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
в г. Смоленске
по учебно-методической работе
_____ В.В. Рожков
«__» _____ 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

СИЛОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДУЛИ

(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль подготовки: Промышленная электроника

Уровень высшего образования: бакалавриат

Нормативный срок обучения: 4 года

Смоленск – 2016 г.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Целью освоения дисциплины является подготовка обучающихся к проектно-конструкторской, научно-исследовательской деятельности по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника посредством обеспечения этапов формирования компетенций, предусмотренных ФГОС, в части представленных ниже знаний, умений и навыков.

Задачами дисциплины является изучение понятийного аппарата дисциплины, основных теоретических положений и методов, привитие навыков применения теоретических знаний для решения практических задач.

Дисциплина направлена на формирование следующей общепрофессиональной компетенции:

- ОПК-1 «способности представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики».

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- Отличительные особенности ключевых преобразовательных устройств; типовые схемы сопряжения силовых узлов с управляющими микросхемами;
- основные приемы борьбы с высокочастотными импульсными помехами; способы повышения надежности ключевых преобразователей и способы уменьшения динамических потерь в ключах.

Уметь:

- Читать принципиальные схемы ключевых источников питания радиоэлектронной аппаратуры; рассчитывать узлы и блоки:
- проектировать высокочастотные импульсные источники питания на заданные параметры;

Владеть:

- навыками дискуссии по профессиональной тематике в области ключевых источников питания радиоэлектронной аппаратуры;
- способностью совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень;
- методами проектирования современных источников питания радиоэлектронной аппаратуры с заданными характеристиками.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к вариативной части обязательных дисциплин В.ОД.7. цикла Б1 основной образовательной программы подготовки бакалавров по профилю «Промышленная электроника», направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника».

В соответствии с учебным планом по направлению «Электроника и наноэлектоника» дисциплина «Силовые полупроводниковые приборы и интеллектуальные модули» базируется на следующих дисциплинах:

Б1.Б.4 «Химия»;

Б1.Б.5 «Материалы и компоненты электронной техники»;

Б1.Б.6 «Высшая математика»;

Б1.Б.7 «Физика»;
Б1.Б.8 «Физические основы электроники»;
Б1.Б.10 «Теоретические основы электротехники»;
Б1.В.ОД.1 «Цифровая обработка сигналов».

Знания, умения и навыки, полученные студентами в процессе изучения дисциплины, являются базой для изучения следующих дисциплин:

Б2.У.1 «Практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности»;

3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Аудиторная работа

Цикл:	Вариативная часть	Семестр
Часть цикла:	Обязательные дисциплины	
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.В.ОД.7	
Часов (всего) по учебному плану:	180	7 семестр
Трудоемкость в зачетных единицах (ЗЕТ)	5.0	7 семестр
Лекции (ЗЕТ, часов)	0.5, 18	7 семестр
Практические занятия (ЗЕТ, часов)	-	7 семестр
Лабораторные работы (ЗЕТ, часов)	1.0, 36	7 семестр
Объем самостоятельной работы по учебному плану (ЗЕТ, часов всего)	2.25, 81	7 семестр
Расчетно-графическая работа, контроль (ЗЕТ, часов) *Плюс к СРС*	0.44, 16	7 семестр
Экзамен (ЗЕТ, часов) *Плюс к СРС*	1.0, 36	7 семестр

Самостоятельная работа студентов

Вид работ	Трудоёмкость, ЗЕТ, час
Изучение материалов лекций (лк)	0.33, 12
Подготовка к практическим занятиям (пз)	
Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ (лаб)	0.5, 18
Выполнение расчетно-графической работы (реферата)	0.5, 18
Выполнение курсовой работы	
Самостоятельное изучение дополнительных материалов дисциплины (СРС)	0.5, 18
Подготовка к контрольным работам	0.17, 7
Подготовка к тестированию	0.22, 8
Подготовка к зачету	
Всего:	2.25, 81
Подготовка к экзамену *Плюс к СРС*	1.0, 36

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

№ п/п	Темы дисциплины	Всего часов на тему	Виды учебной занятий, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость (в часах)				
			лк	пр	лаб	СРС	в т.ч. интеракт.
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
1	**Тема 1. Сравнительная характеристика линейных и импульсных источников питания. Общая характеристика преобразователей. Однотактные преобразователи.**	11	2	-	4	5	
2	**Тема 2. Двухтактные преобразователи. Эффективность использования ключевых транзисторов в различных схемах преобразователей.**	13	2	-	4	7	
3	**Тема 3. Структурные схемы многоканальных источников питания. Способы регулирования выходного напряжения импульсного преобразователя.**	10	2	-	4	4	
4	**Тема 4. Системы запуска сетевых преобразователей. Сопряжение системы управления с силовым ключом.**	12	2	-	4	6	1
5	**Тема 5. Системы управления импульсных преобразователей. Особенности работы датчика тока ключа.**	10	2	-	4	4	4
6	**Тема 6. Особенности работы обратноходового преобразователя при перегрузках.**	10	2	-	4	4	
7	**Тема 7. Особенности практических схем преобразователей. Способы борьбы с помехами.**	12	2	-	4	6	1
8	**Тема 8. КПД. Динамические и статические потери в ключах. Квазирезонансные преобразователи.**	10	2	-	4	4	
9	**Тема 9. Надежность. Область безопасных режимов. Защита преобразователей от перегрузки по току и мощности.**	14	2	-	4	8	4
всего 180 часов по видам учебных занятий (включая 45 часов на подготовку к экзамену и контроль СРС)			**18**	**-**	**36**	**48**	**10**

Содержание по видам учебных занятий

Тема 1. Сравнительная характеристика линейных и импульсных источников питания. Общая характеристика преобразователей. Однотактные преобразователи.

Лекция 1. Сравнительная характеристика линейных и импульсных источников питания (ИП) радиоэлектронной аппаратуры. Общая характеристика преобразователей импульсных ИП. Классификация. Однотактный обратноходовой преобразователь. Однотактный преоб-

разователь с размагничивающей обмоткой. Однотактный сдвоенный преобразователь (косой мост).

Лабораторная работа №1. Исследование импульсных регуляторов с непосредственной связью.

Самостоятельная работа 1. Однотактные преобразователи с непосредственной связью (3 часа). Подготовка к лабораторной работе №1 (2 часа). Всего к теме 1 – 5 часов.

Текущий контроль – проверка выполнения и защита лабораторной работы №1.

Тема 2. Двухтактные преобразователи. Эффективность использования ключевых транзисторов в различных схемах преобразователей.

Лекция 2. Двухтактные преобразователи (с выводом нуля трансформатора, полумостовой, мостовой). Сквозные токи. Анализ свойств полумостового транзисторного инвертора. Отличительные особенности других схем двухтактных преобразователей по сравнению с полумостовым. Несимметрия выходного сигнала. Основные статические соотношения. Эффективность использования ключевых транзисторов в различных схемах преобразователей. Расчет мощностей преобразователей.

Лабораторная работа №2. Двухтактные преобразователи напряжения с ШИМ.

Самостоятельная работа 2. Переходные процессы установления несимметричных колебаний полумостового инвертора (3 часа). Эффективность использования магнитной системы в различных схемах преобразователей (2 часа). Подготовка к лабораторной работе №2 (2 часа). Всего к теме 2 – 7 часов.

Текущий контроль – письменный "экспресс-опрос" на лекции, проверка выполнения и защита лабораторной работы №2.

Тема 3. Структурные схемы многоканальных источников питания. Способы регулирования выходного напряжения импульсного преобразователя.

Лекция 3. Способы регулирования выходного напряжения импульсного преобразователя. Особенности ШИМ двухтактных преобразователей. Частотная и фазовая модуляция с синусоидальным преобразованием мощности. Резонансный и квазирезонансный преобразователи.

Лабораторная работа №3. Многоканальный импульсный преобразователь – стабилизатор.

Самостоятельная работа 3. Структурные схемы многоканальных источников питания (2 часа). Подготовка к лабораторной работе №3 (2 часа). Всего к теме 3 –4 часа.

Текущий контроль – письменный "экспресс-опрос" на лекции, проверка выполнения и защита лабораторной работы №3.

Тема 4. Системы запуска сетевых преобразователей. Сопряжение системы управления с силовым ключом.

Лекция 4. Системы запуска сетевых преобразователей. Сопряжение системы управления с силовым ключом. Пропорционально-токовое управление. Алгоритмический и импульсный запуск. Мягкое самовозбуждение. Бестрансформаторные драйверы. Микросхемы IR2101 и IRS2104(S).

Лабораторная работа №4. Исследование динамических свойств релейного стабилизатора постоянного напряжения.

Самостоятельная работа 4. Изучение материалов лекций 1-3 (4 часа). Подготовка к лабораторной работе №4 (2 часа). Всего к теме 4 – 6 часов.

Текущий контроль – контрольная работа по типовым силовым контурам импульсных преобразователей (темы 1-3), проверка выполнения и защита лабораторной работы №4.

Тема 5. Системы управления импульсных преобразователей. Особенности работы датчика тока ключа.

Лекция 5. Системы управления импульсных преобразователей. Широтно-импульсные модуляторы 1-го и 2-го рода. ШИМ-контроллеры TL494 (1114ЕУ4) и PWR-SMP210

(1033ЕУ9). Амплитудно-широтно-импульсный модулятор (АШИМ). Микросхемы UC3842/44 (1033ЕУ10/11).

Лабораторная работа №5. Исследование релейной системы управления обратноходового "косого моста".

Самостоятельная работа 5. Особенности работы датчика тока ключа, маскирование переднего фронта, разновидности датчиков тока (2 часа). Подготовка к лабораторной работе №5 (2 часа). Всего к теме 5 – 4 часа.

Текущий контроль – письменный "экспресс-опрос" на лекции, проверка выполнения и защита лабораторной работы №5.

Тема 6. Особенности работы обратноходового преобразователя при перегрузках.

Лекция 6. Преобразователь с пропуском стартовых импульсов при перегрузках и плавным выходом на режим. Микросхемы UC3823 (1156ЕУ3) и UC3825 (1156ЕУ2). Параметрический АШИМ (ПАШИМ). Однотактные контроллеры TDA4600/01 (1033ЕУ1 /UA01.4601), TDA4605 (1033ЕУ2).

Лабораторная работа №6. Исследование однотактного сдвоенного обратноходового преобразователя.

Самостоятельная работа 6. Микросхемы Tiny Switch, TOP Switch и Link Switch фирмы Power Integrations для сетевых импульсных ИП (2 часа). Подготовка к лабораторной работе №6 (2 часа). Всего к теме 6 – 4 часа.

Текущий контроль – письменный "экспресс-опрос" на лекции, проверка выполнения и защита лабораторной работы №6.

Тема 7. Особенности практических схем преобразователей. Способы борьбы с помехами.

Лекция 7. Особенности практических схем преобразователей. Способы борьбы с помехами. Подавление помех по месту их зарождения. Демпфирующие цепочки. Подавление помех на этапе распространения. Помехоподавляющие фильтры, экраны.

Лабораторная работа №7. Исследование однотактного сдвоенного прямоходового преобразователя.

Самостоятельная работа 7. Изучение материалов лекций 4, 5 и 6 (4 часа). Подготовка к лабораторной работе №6 (2 часа). Всего к теме 7 –6 часов.

Текущий контроль – контрольная работа по типовым системам управления импульсных преобразователей (темы 4-6), проверка выполнения и защита лабораторной работы №7.

Тема 8. КПД. Динамические и статические потери в ключах. Квазирезонансные преобразователи.

Лекция 8. КПД. Динамические и статические потери в ключах. Способы уменьшения динамических потерь. Емкостная компенсация индуктивной составляющей тока нагрузки.

Лабораторная работа №8. Исследование работы однотактного сдвоенного обратноходового преобразователя в режиме двойной модуляции.

Самостоятельная работа 8. Квазирезонансный преобразователь на микросхеме TEA1507 (2 часа). Подготовка к лабораторной работе №8 (2 часа). Всего к теме 8 – 4 часа.

Текущий контроль – письменный "экспресс-опрос" на лекции, проверка выполнения и защита лабораторной работы №8.

Тема 9. Надежность. Область безопасных режимов. Защита преобразователей от перегрузки по току и мощности. Общая характеристика демпфирующих цепей.

Лекция 9. Надежность. Область безопасных режимов ключевого транзистора. Схемы формирования траектории переключения транзистора. Защита преобразователей от перегрузки по току и мощности. Защита от перенапряжений. Общая характеристика демпфирующих цепей.

Лабораторная работа 9. Исследование активного выпрямителя.

Самостоятельная работа 9. Расширение области безопасных режимов, каскод (2 часа). Изучение материалов лекций 7, 8 и 9 (4 часа). Подготовка к лабораторной работе №9 (2 часа). Всего к теме 9 – 8 часов

Текущий контроль – письменный "экспресс-опрос" на лекции, проверка выполнения и защита лабораторной работы №9.

Контрольные работы по темам 1-3 и 4-6 (2 часа) проводятся в интерактивной форме с использованием сети Интернет.

Лабораторные работы №5 и №9 (8 часов) проводятся в интерактивной форме в программе Matlab/Simulink в рамках работающей информационной сети.

Промежуточная аттестация по дисциплине: экзамен

Изучение дисциплины заканчивается экзаменом. Экзамен проводится в соответствии с Положением о зачетной и экзаменационной сессиях в НИУ МЭИ и инструктивным письмом от 14.05.2012 г. № 21-23.

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся на кафедральном сайте размещены: конспект лекций по курсу, демонстрационные слайды лекций, описания практических занятий и лабораторных работ, а также теоретические и методические материалы. Доступ к этим материалам возможен с любых компьютеров, подключенных к сети Интернет (адрес сайта http://www.eimt.ru/bakalavriat/ecm)

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

6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования

При освоении дисциплины формируются: общепрофессиональная компетенции ОПК-1.

Указанная компетенция формируются в соответствии со следующими этапами:

1. Формирование теоретических знаний, предусмотренных компетенциями (лекционные занятия, самостоятельная работа студентов).
2. Приобретение и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями (лабораторные работы, выполнение расчетно-графической работы, самостоятельная работа студентов).
3. Закрепление теоретических знаний, умений и практических навыков, предусмотренных компетенциями, в ходе защит лабораторных работ, а также решения конкретных технических задач на в ходе выполнение расчетно-графической работы, успешной сдачи экзамена.

6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описания шкал оценивания

Сформированность компетенции в рамках освоения данной дисциплины оценивается по трехуровневой шкале:

- пороговый уровень является обязательным для всех обучающихся по завершении освоения дисциплины;
- продвинутый уровень характеризуется превышением минимальных характеристик сформированности компетенции по завершении освоения дисциплины;
- эталонный уровень характеризуется максимально возможной выраженностью компетенции и является важным качественным ориентиром для самосовершенствования.

При достаточном качестве освоения более 80% приведенных знаний, умений и навыков преподаватель оценивает освоение данной компетенции в рамках настоящей дисциплины на эталонном уровне, при освоении более 60% приведенных знаний, умений и навыков – на продвину-

том, при освоении более 40% приведенных знаний, умений и навыков - на пороговом уровне. В противном случае компетенция в рамках настоящей дисциплины считается неосвоенной.

Уровень сформированности каждой компетенции на различных этапах ее формирования в процессе освоения данной дисциплины оценивается в ходе текущего контроля успеваемости и представлен различными видами оценочных средств.

Для оценки сформированности в рамках данной дисциплины компетенции ОПК-1 «способности представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики» преподавателем оценивается содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, контрольным работам, расчетно-графической работе. Учитываются также ответы студента на вопросы по соответствующим видам занятий при текущем контроле – защитах лабораторных работ, контрольных опросах, защите расчетно-графической работы.

Принимается во внимание **знание** обучающимися:

Отличительных особенностей ключевых преобразовательных устройств; типовых схем сопряжения силовых узлов с управляющими микросхемами; основных приемов борьбы с высокочастотными импульсными помехами; способов повышения надежности ключевых преобразователей и способов уменьшения динамических потерь в ключах.

наличие **умения:**

Читать принципиальные схемы ключевых источников питания радиоэлектронной аппаратуры; рассчитывать узлы и блоки: проектировать высокочастотные импульсные источники питания на заданные параметры;

присутствия **навыков:**

дискуссии по профессиональной тематике в области ключевых источников питания радиоэлектронной аппаратуры; проектирования ключевых источников питания с заданными характеристиками.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции ОПК-1 «способности представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики» в процессе тестирования (письменного экспресс-опроса), как формы текущего контроля:

41% – 59% правильных ответов соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе её формирования; 60% – 79% – продвинутому уровню; 80% – 90% – эталонному уровню.

Примерный перечень вопросов для тестирования:

1. Какой из перечисленных преобразователей наиболее **часто** используется для питания РЭА? 1Т пр.х, 1Т обр.х, Сдв.1Т пр.х, Сдв.1Т обр.х, 2Т «0», 2Т «М/2», 2Т «М».
2. В каких из перечисленных преобразователей напряжение на ключевых транзисторах **ограничено** питающим? 1Т пр.х, 1Т обр.х, Сдв.1Т пр.х, Сдв.1Т обр.х, 2Т «0», 2Т «М/2», 2Т «М».
3. Какие из перечисленных преобразователей **неработоспособны** без демпфирующих цепей, ограничивающих **выброс** напряжения на ключах? 1Т пр.х, 1Т обр.х, Сдв.1Т пр.х, Сдв.1Т обр.х, 2Т «0», 2Т «М/2», 2Т «М»
4. В каких из перечисленных преобразователей **не бывает** сквозных токов перекрытия **транзистор-транзистор**? 1Т пр.х, 1Т обр.х, Сдв.1Т пр.х, Сдв.1Т обр.х, 2Т «0», 2Т «М/2», 2Т «М».
5. При каких режимах ключевые транзисторы используются **наиболее** эффективно?

РНТ, **граничный** РНТ/РПТ, **РПТ**.

6. В каких из перечисленных преобразователей **ключевые** транзисторы используются **наиболее** эффективно? 1Т пр.х, 1Т обр.х, Сдв.1Т пр.х, Сдв.1Т обр.х, 2Т «0», 2Т «М/2», 2Т «М», Рег 1типа, Рег 2 типа, Рег 3 типа.
7. Какие из перечисленных преобразователей **не могут** работать с **фазо-импульсной** модуляцией? 1Т пр.х, 1Т обр.х, Сдв.1Т пр.х, Сдв.1Т обр.х, 2Т «0», 2Т «М/2», 2Т «М».
8. Многоканальный импульсный блок питания. **Основной** канал и канал стабилизированный по **сети** имеют **одинаковое** выходное **напряжение** 15В, и **одинаковый** номинальный **ток** 0,5А.

а. У какого канала **меньше** выходное **сопротивление**?
б. У какого канала **выше** уровень **ВЧ** помех?
в. У какого канала **выше** коэффициент **стабилизации?**
г. У какого канала **меньше КПД**?

Варианты ответов: У основного, У стаб. по сети, Одинаково, Недостаточно данных для ответа.
9. Термин **магнито-транзисторный** ключ МТК применим: только для **биполярных** транзисторов; только для **полевых** транзисторов; и для **тех и** для **других.**
10. Сопряжение ключевого транзистора с системой управления бывает с **непосредственной** связью, с **трансформаторной** развязкой, с **бестрансформаторным** драйвером. К какому типу сопряжения относится **магнито-транзисторный** ключ МТК?
11. 1Т пр.х, 1Т обр.х, Сдв.1Т пр.х, Сдв.1Т обр.х, 2Т «0», 2Т «М/2», 2Т «М», Рег 1типа, Рег 2 типа, Рег 3 типа. Какими из перечисленных преобразователей может управлять ШИМ контроллер:

а. TL494 (1114ЕУ4)? **б. TDA4600** (1033ЕУ1)? **в. UC3825**? **г. MC34063**?

12. 1Т пр.х, 1Т обр.х, Сдв.1Т пр.х, Сдв.1Т обр.х, 2Т «0», 2Т «М/2», 2Т «М».

а. К какому из перечисленных типов преобразователей относятся микросхемы Tiny Switch и TOP Switch?
б. Какие из преобразователей **могут** работать с резистивными датчиками тока?
в. Какие из перечисленных преобразователей **могут** работать в режиме АШИМ?
г. Какие из перечисленных преобразователей **могут** работать в режиме ПАШИМ?

13. Двухтактный преобразователь управляется контроллером TL494 (1114ЕУ4). При **увеличении** напряжения **питания** Udc, напряжение **опорного** источника (Vref)**:**

увеличится (↑), **уменьшится** (↓), **не изменится** (=)?

14. При **увеличении** мощности **(↑ Рн)** в нагрузке **частота (fп)** работы преобразователя на микросхеме **TDA4605: увеличится** (↑), **уменьшится** (↓), **не изменится** (=)?
15. При **прямоугольной** или **треугольной** форме тока **выше** уровень ВЧ помех? Уровень помех **одинаковый.**
16. При **синусоидальной** или **трапециидальной** форме напряжения **выше** уровень ВЧ помех? Уровень помех **одинаковый.**
17. У **резонансного** или **квазирезонансного** преобразователей **меньше** уровень ВЧ помех? Уровень помех **одинаковый.**
18. ВЧ инвертор работает на **активную** (активно-**индуктивную**) нагрузку. **Динамические** потери в ключах / **Статические** потери в ключах**:**

увеличатся (↑), **уменьшатся** (↓), **не изменятся** (=)**:**

а. При **уменьшении** времени переключения ключей (↓ $t_{перекл}$)?
б. При **увеличении** частоты преобразования (↑**fп**)**?**
в. При **увеличении** напряжения питания (Udc) и неизменной **мощности** преобразования**?**
г. При **увеличении** тока нагрузки **(↑ Iн)?**

19. Потери в RCD демпфирующей цепи (схеме формирования траектории выключения)**:**

увеличатся (↑), **уменьшатся** (↓), **не изменятся** (=)**:**

а. При уменьшении / увеличении **частоты** преобразования (**fп**)**?**
б. При уменьшении / увеличении **резистора** (**Rд**)**?**

в. При уменьшении / увеличении **ёмкости** конденсатора **(Ск)?**

г. При **увеличении** тока нагрузки **(Iн)?**

д. При уменьшении / увеличении времени **переключения** ключа ($t_{перекл}$) при замене транзистора?

20. Емкостная **компенсация** индуктивной составляющей тока нагрузки. При установке **оптимальной** ёмкости **«Ско» КПД** преобразователя**:**

увеличится (↑), **уменьшится** (↓), **не изменится** (=)?

21. При уменьшении / увеличении времени переключения ($t_{перекл}$) **динамическая (статическая)** область безопасных режимов **ОБР** ключевого транзистора**:**

увеличивается (↑), **уменьшается** (↓), **не изменяется** (=)**?**

Примерный перечень вопросов контрольных работ:

1. Какие преобразователи **неработоспособны** без демпфирующих цепей, ограничивающих выброс напряжения на ключах?
2. Однотактный **обратноходовой** конвертор работает в **РНТ**. Какими причинами вызывается выброс в импульсе тока ключа?

3. Двухтактный конвертор работает в **РПТ** при $\gamma \to 0{,}5$. Какими причинами вызывается выброс в импульсе **тока** ключа?
4. Перечислить типы преобразователей, у которых напряжение на запертом ключе **ограничено** питающим.
5. Какими основными причинами вызывается несимметрия выходного напряжения двухтактного М/2 инвертора?
6. Почему в **полумостовом** преобразователе нежелательно совмещать емкостной **делитель** и конденсатор **Cd** сетевого выпрямителя?
7. **Алгоритмический** запуск. Перечислить основные **этапы** процесса запуска.
8. **П**очему **подпитка** от работающего преобразователя при алгоритмическом запуске чаще делается на **прямом** ходу?
9. **Асинхронный** запуск с **мягким** самовозбуждением. Перечислить основные **этапы** процесса запуска.
10. Асинхронный **импульсный** запуск. Перечислить основные **этапы** процесса запуска 2т М/2 преобразователя.
11. Зачем в практических схемах импульсных преобразователей ключевой транзистор обычно **выкл**ючают с **макс**имальной быстротой, а **вкл**ючают **не очень** быстро?
12. Нарисовать форму **выходного** напряжения / управляющего сигнала ключа при **релейно-пакетной** модуляции?
13. Нарисовать форму **напряжения** на выходе **двухтактного квазирезонансного** преобразователя.
14. Какие характерные **признаки** у ШИМ **1-го** рода / ШИМ **2-го** рода?
15. ШИМ-контроллер **TL494** (1114ЕУ4) в своём составе содержит **2 усилителя** рассогласования. Зачем?
16. ШИМ-контроллер **TL494** (1114ЕУ4) в своём составе содержит **2 выходных** транзистора. Зачем?
17. В чём состоит **неуниверсальность** АШИМ?
18. **Сравнительная** характеристика резистивных и трансформаторных датчиков тока.
19. «**Маскирование** переднего фронта». Что обозначает данный **термин**?
20. Какой датчик тока используется в микросхемах Tiny Switch и TOP Switch?
21. Зачем нужен "Плавный **выход** на режим" при **включении** импульсного источника питания?
22. Нарисовать (выбрать из приведенных) схему универсального **однозвенного** фильтра для подавления несимметричной (токовой) и симметричной (по напряжению) составляющих помехи.

23. Как устраняется **магнитная / электрическая** составляющая электромагнитного поля помехи?
24. Зачем в **сильноточных** преобразователях **свивают** в пары провода с ВЧ токами?
25. Нарисовать **траекторию** переключения ключа при **активной / индуктивной / емкостной** реакции нагрузки. Указать, что по осям и **подписать** траектории включения и выключения.
26. Для чего в двухтактных ШИМ-контроллерах устанавливается формирователь "мёртвого времени"?
27. Как устраняют **сквозные** токи в двухтактных преобразователях?
28. Нарисовать область безопасных режимов **ОБР** ключевого транзистора.
29. При подключении RCD демпфирующей цепи **динамические** потери в ключе заметно уменьшаются, но **увеличения** КПД преобразователя не происходит. Почему?
30. RCD демпфирующую цепь иногда заменяют на простую **RC** демпфирующую цепь. Когда такая замена возможна?
31. Как осуществляется расширение **динамической / статической** ОБР ключевого транзистора?
32. Нарисовать **каскодный** ключ.
33. Для чего устанавливается отсекающий **диод** в цепь **эмиттера** биполярного ключевого транзистора?
34. Преобразователь выполнен на **силовой** микросхеме, в состав которой входят и система управления, и ключевой транзистор. Как такой преобразователь защищают от перегрузки по **мощности**?
35. Как защищают преобразователь от **коротких**, самоустраняющихся перегрузок по току?
36. Как защищают преобразователь от **перенапряжений** в сети?

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции ОПК-1 «способности представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики» в процессе защиты лабораторных работ, как формы текущего контроля. Студенту при защите лабораторных работ задается 2 вопроса из следующего примерного перечня**:**

1. Нарисовать (выбрать из приведенных) структурную схему исследуемого преобразователя**.**
2. Нарисовать (выбрать из приведенных) осциллограммы напряжений и токов в характерных точках схемы для режимов прерывистых и непрерывных токов.
3. Нарисовать (выбрать из приведенных) входную, передаточную, внешнюю, регулировочную и т.д. характеристику. Указать параметры (символы) по осям координат характеристик.
4. Рассчитать параметры (входное / выходное сопротивление, коэффициент стабилизации и т.п.) по приведенной характеристике или по заданным числовым данным.
5. Нарисовать (выбрать из приведенных) схему опыта для измерения заданных параметров (входное / выходное сопротивление, коэффициент стабилизации коэффициент пульсаций и т.п.).
6. Указать источники погрешности в измерительных схемах.
7. Объяснить причины расхождения экспериментальных и теоретических характеристик и осциллограмм.

1. Меры безопасности при работе в лаборатории "Энергетической электроники"**.**
2. Первая помощь при поражении электрическим током.
3. Правила внутреннего распорядка при работе в лаборатории "Энергетической электроники".
4. Требования к оформлению отчета по лабораторной работе.
5. Основные способы "защиты от дурака", используемые в лабораторных стендах.
6. Основные приемы работы с цифровым осциллографом и измерительными приборами.
7. В чем состоит цель выполнения данной лабораторной работы?

Полный ответ на один вопрос, частичный ответ на два вопроса соответствуют пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, полный ответ на один,

и частичный ответ на второй – продвинутому уровню; при полном ответе на два вопроса – эталонному уровню.

Сформированность уровня компетенции не ниже порогового является основанием для допуска обучающегося к промежуточной аттестации по дисциплине «Силовые полупроводниковые приборы и интеллектуальные модули».

Формой промежуточной аттестации по данной дисциплине является экзамен, оцениваемый по принятой в НИУ «МЭИ» четырехбалльной системе: "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно".

Экзамен проводится в устной форме.

Критерии оценивания (в соответствии с инструктивным письмом НИУ МЭИ от 14 мая 2012 года № И-23):

Оценки «отлично» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; проявивший творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответившему не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины, правильно выполнившему практические задание.

Оценки «хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющий предусмотренные задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнившему практические задание, но допустившему при этом непринципиальные ошибки.

Оценки «удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением заданий, знакомы с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившим погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий, но обладающий необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившему практическое задание, но по указанию преподавателя выполнившим другие практические задания из того же раздела дисциплины.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении заданий, не ответившему на все вопросы билета и дополнительные вопросы и неправильно выполнившему практическое задание (неправильное выполнение только практического задания не является однозначной причиной для выставления оценки «неудовлетворительно»). Как правило, оценка «неудовлетворительно ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплины (формирования и развития компетенций, закреплённых за данной дисциплиной). Оценка «неудовлетворительно» выставляется также, если студент: после начала экзамена отказался его сдавать или нарушил правила сдачи экзамена (списывал, подсказывал, обманом пытался получить более высокую оценку и т.д.

В зачетную книжку студента и приложению к диплому выносится оценка экзамена по дисциплине за 7 семестр.

6.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Вопросы по формированию и развитию теоретических знаний,
предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной
(примеры вопросов по материалам лекций и самостоятельной работы студентов):

Введение. Сравнительная характеристика линейных и импульсных источников питания (ИП) радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Общая характеристика преобразователей импульсных ИП. Классификация.

1. Однотактные преобразователи.

1.1. Однотактные преобразователи с непосредственной связью (импульсные регуляторы 1-го, 2-го и 3-го типа, корректоры коэффициента мощности (ККМ)) (*Самост. проработка*).

1.2. Однотактный обратноходовой преобразователь. Режимы прерывистых и непрерывных токов (РПТ и РНТ). Сквозные токи в РНТ.

2. Двухтактные преобразователи (с выводом нуля трансформатора, полумостовой, мостовой). Сквозные токи в РНТ и РПТ.

2.1. Анализ свойств полумостового транзисторного инвертора.

2.1.1. Переходные процессы установления несимметричных колебаний (*Самост. проработка*).

2.2. Отличительные особенности других схем двухтактных преобразователей по сравнению с полумостовым.

2.2.1. Эффективность использования магнитной системы в различных схемах преобразователей (*Самост. проработка*).

3. Структурные схемы многоканальных источников питания (*Самост. проработка*).

4. Способы регулирования выходного напряжения импульсного преобразователя.

4.1. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Примеры реализации.

5. Системы запуска сетевых преобразователей.

6. Сопряжение системы управления с силовым ключом. С непосредственной связью. С трансформаторной развязкой. Пропорционально-токовое управление.

7. Системы управления импульсных преобразователей.

7.1. Широтно-импульсные модуляторы 1-го и 2-го рода.

8. Особенности работы датчика тока ключа, маскирование переднего фронта, разновидности датчиков тока (*Самост. проработка*).

9. Особенности работы обратноходового преобразователя при перегрузках.

9.1. Преобразователь с пропуском стартовых импульсов при перегрузках и плавным выходом на режим.

10. Микросхемы Tiny Switch, TOP Switch и Link Switch фирмы Power Integrations для сетевых импульсных ИП (*Самост. проработка*).

11. Особенности практических схем преобразователей. Способы борьбы с помехами.

12. КПД. Динамические и статические потери в ключах.

13. Квазирезонансный преобразователь на микросхеме TEA1507 (*Самост. проработка*).

14. Надежность. Область безопасных режимов ключевого транзистора.

15. Расширение области безопасных режимов, каскод (*Самост. проработка*).

Вопросы по приобретению и развитие практических умений,
предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной
(примеры вопросов к защите лабораторных работ)

1. Однотактные преобразователи с непосредственной связью. Принцип работы и характеристики импульсных регуляторов 1-го, 2-го и 3-го типа.
2. Однотактный преобразователь с размагничивающей обмоткой (прямоходовой). Полумостовой прямоходовой преобразователь, совмещённый с ККМ. Принцип работы и характеристики.
3. Комбинированный однотактный преобразователь. Комбинированный инвертор тока, совмещённый с ККМ. Принцип работы и характеристики.
4. Однотактный сдвоенный преобразователь (Косой мост). Принцип работы и характеристики.
5. Особенности работы обратноходового косого моста в режиме двойной модуляции. Характеристики преобразователя.
6. Принцип работы и характеристики двухтактных преобразователей: с выводом нуля трансформатора, полумостового и мостового.
7. Несимметрия выходного сигнала. Основные статические соотношения.
8. Эффективность использования ключевых транзисторов в различных схемах преобразователей. Расчет мощностей преобразователей.
9. Особенности ШИМ двухтактных преобразователей.
10. Частотная модуляция (ЧМ) и фазовая модуляция (ФМ) с синусоидальным преобразованием мощности. Резонансный и квазирезонансный преобразователи.
11. Алгоритмический запуск. Импульсный запуск. Мягкое самовозбуждение.
12. Бестрансформаторные драйверы. Микросхемы IR2101 и IRS2104(S).
13. ШИМ-контроллеры TL494 (1114ЕУ4) и PWR-SMP210 (1033ЕУ9).
14. Амплитудно-широтно-импульсный модулятор (АШИМ). Микросхемы UC3842/44 (1033ЕУ10/11).
15. Микросхемы UC3823 (1156ЕУ3) и UC3825 (1156ЕУ2).
16. Параметрический АШИМ (ПАШИМ). Однотактные контроллеры TDA4600/01 (1033ЕУ1 /UA01.4601), TDA4605 (1033ЕУ2).
17. Подавление помех по месту их зарождения. Демпфирующие цепочки.
18. Подавление помех на этапе распространения. Помехоподавляющие фильтры, экраны.
19. Способы уменьшения динамических потерь.
20. Емкостная компенсация индуктивной составляющей тока нагрузки.
21. Схемы формирования траектории переключения транзистора.
22. Защита преобразователей от перегрузки по току и мощности. Защита от перенапряжений.

Вопросы по закреплению теоретических знаний, умений и практических навыков,
предусмотренных компетенциями (вопросы к практической части экзаменационного билета – "Чтение незнакомой принципиальной схемы серийного импульсного блока питания")

1 Отметить на схеме питающее напряжение Udc, цепи защиты от перенапряжений, цепи ограничения броска пускового тока.
2 Охарактеризовать нагрузки (основной канал, каналы стабилизацией по сети, каналы с дополнительными стабилизаторами, число каналов, структурная схема многоканального преобразователя).
3 Отметить на схеме ключевые транзисторы и первичную обмотку силового трансформатора.
4 Указать тип преобразователя: 1т (1т Сдв.) – Пр. Х. или Обр. Х; 2т («0», М, М/2); ККМ; Совмещ. с ККМ и т. д.
5 Питание системы управления (СУ) при включении преобразователя и в установившемся режиме, алгоритм выхода на режим.

6 Сопряжение СУ с ключевыми транзисторами.
7 Найти и охарактеризовать датчик тока: натуральный (резистивный, трансформаторный, холла, отвод от канала полевого транзистора и т. д.) или параметрический имитатор.
8 Отметить цепи стабилизации и вход усилителя рассогласования.
9 Охарактеризовать тип модуляции (ШИМ 1Р, ШИМ 2Р, АШИМ, ПАШИМ, ЧИМ, ФИМ, релейная и т. п.).
10 Отметить экраны; помехоподавляющие фильтры и указать их назначение.
11 Для всех демпфирующих цепей указать их назначение.

6.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедуры оценивания знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций, изложены в методических рекомендациях по изучению дисциплины «Силовые полупроводниковые приборы и интеллектуальные модули», в которые входят методические рекомендации по выполнению заданий на самостоятельную работу, выполнению и защите лабораторных работ, методические рекомендации по выполнению расчетно-графической работы.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Розанов Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчинский, А.А. Кваснюк. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 632 с. (35 экземпляров в библиотеке, №7724).
2. Давиденко, Ю.Н. Современная схемотехника в освещении… 2008 г. (10 экземпляров в библиотеке, №8028).
3. Мелешин В.И., Овчинников Д.А. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии. Москва: Техносфера, 2011. 575 с. (6 экземпляров в библиотеке, №9945).

б) дополнительная литература

1. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники. Учебник для вузов - Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2004 (25 экземпляров в библиотеке, №5194).
2. С. Рама Редди. Основы силовой электроники/ пер. с англ. М.: Техносфера, 2006.- 288 с. (2 экземпляра в библиотеке, №6221).
3. Интегральные микросхемы: Микросхемы для импульсных источников питания и их применение. 2-е изд., испр. и доп.– М.: Издательский дом «Додека-XX1», 2001.– 608 с. (1 экземпляр в библиотеке, №3945).

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» необходимых для освоения дисциплины

1. WWW.elecond.ru – ОАО Элеконд. Конденсаторы. Справочные материалы.
2. Амелина М. А., Амелин С. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 632с: ил. – (ЭБС Лань)

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Дисциплина предусматривает лекции один раз в две недели, четырехчасовые лабораторные работы один раз в две недели. Изучение курса завершается экзаменом.

Успешное изучение курса требует активной работы на лабораторных работах, выполнения всех учебных заданий преподавателя, самостоятельной работы, ознакомления с основной и дополнительной литературой.

Лабораторные работы составляют важную часть профессиональной подготовки студентов. Они направлены на экспериментальное подтверждение теоретических положений и формирование учебных и профессиональных практических умений.

Выполнение студентами лабораторных работ направлено на:

обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплин;

формирование необходимых профессиональных умений и навыков;

Дисциплины, по которым планируются лабораторные работы и их объемы, определяются рабочими учебными планами.

Методические указания по проведению лабораторных работ разрабатываются на срок действия РПД (ПП) и включают:

- заглавие, в котором указывается вид работы (лабораторная), ее порядковый номер, объем в часах и наименование;
- цель работы;
- предмет и содержание работы;
- оборудование, технические средства, инструмент;
- порядок (последовательность) выполнения работы;
- правила техники безопасности и охраны труда по данной работе (по необходимости);
- общие правила к оформлению работы;
- контрольные вопросы и задания;
- список литературы (по необходимости).

Содержание лабораторных работ фиксируется в РПД в разделе 4 настоящей программы.

При планировании лабораторных работ следует учитывать, что наряду с ведущей целью - подтверждением теоретических положений - в ходе выполнения заданий у студентов формируются практические умения и навыки обращения с лабораторным оборудованием, аппаратурой и пр., которые могут составлять часть профессиональной практической подготовки, а также исследовательские умения (наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимости, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследование, оформлять результаты).

Состав заданий для лабораторной работы должен быть спланирован с таким расчетом, чтобы за отведенное время они могли быть качественно выполнены большинством студентов.

Необходимыми структурными элементами лабораторной работы, помимо самостоятельной деятельности студентов, являются инструктаж, проводимый преподавателем, а также организация обсуждения итогов выполнения лабораторной работы.

Выполнению лабораторных работ предшествует проверка знаний студентов – их теоретической готовности к выполнению задания.

Порядок проведения **лабораторных работ** в целом совпадает с порядком проведения практических занятий. Помимо собственно выполнения работы для каждой лабораторной работы предусмотрена процедура защиты, в ходе которой преподаватель проводит устный или письменный опрос студентов для контроля понимания выполненных ими измерений, правильной интерпретации полученных результатов и усвоения ими основных теоретических и практических знаний по теме занятия.

При подготовке к **экзамену** в дополнение к изучению конспектов лекций, учебных пособий и слайдов, необходимо пользоваться учебной литературой, рекомендованной к настоящей программе. При подготовке к экзамену нужно изучить теорию: определения всех понятий и подходы к оцениванию до состояния понимания материала и самостоятельно решить по нескольку типовых

задач из каждой темы. При решении задач всегда необходимо уметь качественно интерпретировать итог решения.

Самостоятельная работа студентов (СРС) по дисциплине играет важную роль в ходе всего учебного процесса. Методические материалы и рекомендации для обеспечения СРС готовятся преподавателем и выдаются студенту.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

При проведении **лабораторных работ** предполагается использование ПЭВМ и свободно распространяемых демонстрационных версий программ.

Во время **самостоятельной работы** и **подготовке к экзамену** студенты могут пользоваться учебной и методической литературой, размещенной на кафедральном сайте.

Для **консультаций** по непонятным вопросам дисциплины, лабораторных работ студенты могут использовать средства электронной почты.

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Лекции по данной дисциплине проводятся в аудитории Б-312, оснащенной мультимедийной техникой (проектор, интерактивный экран, компьютер/ноутбук).

Лабораторные работы по данной дисциплине проводятся также в аудитории Б-312 (лаборатории энергетической электроники), оснащенной десятью специализированными стендами (20 посадочных мест).

Автор канд. техн. наук, доцент *Ширяев А.О.*

Зав. кафедрой ЭиМТ
д-р техн. наук, доцент *Якименко И.В.*

Программа утверждена на заседании кафедры ЭиМТ филиала МЭИ в г. Смоленске от 12.10.2016 года, протокол №2.