

Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»
Профиль «Промышленная электроника»
РПД Б1.В.10 «Преобразовательная техника»



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

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора
по учебно-методической работе
филиала ФГБОУ ВО
«НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
В.В. Рожков
« 25 » 08 20 18 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Преобразовательная техника**

(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

Направление подготовки (специальность): 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Профиль: «Промышленная электроника»

Уровень высшего образования: бакалавриат

Нормативный срок обучения: 4 года

Форма обучения: очная

Год набора: 2018

Смоленск

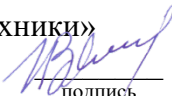
Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»
Профиль «Промышленная электроника»
РПД Б1.В.10 «Преобразовательная техника»



Программа составлена с учетом ФГОС ВО по направлению подготовки / специальности 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», утвержденного приказом Минобрнауки России от «19» сентября 2017 г. № 927

Программу составил:

Заведующий кафедрой
«Электроники и микропроцессорной техники»
д-р техн. наук, доцент


подпись


Якименко Игорь Владимирович
ФИО

«25» июня 2018 г.

Программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры «Электроники и микропроцессорной техники»

«27» июня 2018 г., протокол № 11

Зам. заведующего кафедрой «Электроника и микропроцессорная техника»:


подпись

к.т.н., доцент Л.Л. Лямец
ФИО

«02» июля 2018 г.

РПД адаптирована для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

**Ответственный в филиале по работе
с ЛОВЗ и инвалидами**


подпись

Зуева Елена Владимировна
ФИО

«02» июля 2018 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью является подготовка обучающихся к научно-исследовательской деятельности по направлению бакалавриата 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» посредством обеспечения этапов формирования компетенций, предусмотренных ФГОС, в части представленных ниже знаний, умений и навыков.

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

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина Б1.В.10 «Преобразовательная техника» относится к вариативной части программы.

Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами: Б1.В.01 «Технические измерения в электронике», Б1.В.03 «Теория планирования эксперимента и анализ данных», Б1.В.05 «Высокочастотные электронные устройства», Б2.В.02(П) «Технологическая (проектно-технологическая) практика».

Перечень дисциплин, знания, умения и навыки, которых формируются параллельно с данной дисциплиной: Б1.В.08 «Силовые полупроводниковые приборы и интеллектуальные модули», Б1.В.09 «Основы микропроцессорной техники», Б1.В.ДВ.04.01 «Сигнальные процессоры», Б1.В.ДВ.04.02 «Программируемые логические схемы», Б2.В.03(Н) «Научно-исследовательская работа».

Перечень последующих дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной дисциплиной: Б3.01 «Подготовка к защите и защита выпускной квалификационной работы».

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины направлено на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки:

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения
ПК-2 Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок	ПК-2.1 Аргументировано выбирает эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	Знает: Как аргументировано выбирать эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет: Аргументировано выбирать эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Владет: Методами аргументированного выбора эффективной методики

<p>электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>		<p>экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>
	<p>ПК-2.2 Реализует на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>	<p>Знает: Как реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет: Реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Владет: Методами реализации на практике эффективной методики экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>

*Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
Профиль «Промышленная электроника»
РПД Б1.В.10 «Преобразовательная техника»*





4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Структура дисциплины:

Индекс	Наименование	Форма контроля						з.е.		Часов в з.е.	Итого акад. часов						Курс 4														
		Экзамен	Зачет	Зачет с оц.	КП	Реферат	РГР	Экспертное	Факт		Экспертное	По плану	Контакт часы	СР	Контроль	Сем. 7						Сем. 8									
																з.е.	Итого	Лек	Лаб	Пр	КРП	СР	Контроль	з.е.	Итого	Лек	Лаб	Пр	КРП	СР	Контроль
Б1.В.10	Преобразовательная техника	8		7	8		7	10	10	36	360	360	116	199	45	4	144	18	34	16		67	9	6	216	20	20		8	132	36

ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Виды промежуточной аттестации (виды контроля):

Экз — экзамен;

ЗаО — зачет с оценкой;

За — зачет;

Виды работ:

Контакт. — контактная работа обучающихся с преподавателем;

Лек. — лекционные занятия;

Лаб. — лабораторные работы;

Пр. — практические занятия;

КРП — курсовая работа (курсовой проект);

РГР — расчетно-графическая работа (реферат);

СР — самостоятельная работа студентов;

з.е. — объем дисциплины в зачетных единицах.

Содержание дисциплины (7 семестр):

№	Наименование видов занятий и тематик, содержание
1	лекционные занятия 9 шт. по 2 часа (18 часов): Тема 1. Импульсные регуляторы постоянного напряжения. 1.1 Регулятор первого типа (понижающий), второго типа (повышающий), третьего типа (инвертирующий). Принцип работы, временные диаграммы. Регулировочные и внешние характеристики импульсных преобразователей с непосредственной связью. Последовательно-параллельный преобразователь, конвертеры Кука и SEPIC. 1.2 Метод усреднения в пространстве состояний. Построение непрерывной модели импульсного преобразователя. Тема 2. Синтез систем управления импульсных регуляторов напряжения. 1.3 Ручная и машинная линеаризации непрерывной модели импульсного преобразователя. Передаточные характеристики импульсного преобразователя как объекта управления. 1.4 Система управления по выходному напряжению. Двухконтурные системы управления. Тема 3. Однофазные неуправляемые выпрямители. 1.5 Однополупериодная схема выпрямления с различными видами нагрузок. Двухполупериодный и мостовой выпрямители с различными видами нагрузок. 1.6 Умножители напряжения: удвоитель напряжения, параллельная и последовательная схемы умножения. Тема 4. Многофазные выпрямители. 1.7 Трехфазный выпрямитель со средней точкой. Трехфазный мостовой выпрямитель. Тема 5. Управляемые выпрямители. 1.8 Мостовой управляемый выпрямитель с полным числом управляемых вентилей. Мостовой управляемый выпрямитель с неполным числом управляемых вентилей. Тема 6. Инверторы. 1.9 Автономные инверторы. Инверторы, ведомые сетью.
2	лабораторные работы 8 шт. по 4 часа, 1 шт. по 2 часа (34 часа): 2.1 Исследование импульсного регулятора (4 часа). 2.2 Синтез системы управления по выходному напряжению (4 часа). 2.3 Синтез системы управления по среднему и пиковому току (4 часа). 2.4 Умножители постоянного напряжения (4 часа). 2.5 Трехфазный мостовой выпрямитель (4 часа). 2.6 Трехфазный нулевой выпрямитель (4 часа). 2.7 Управляемый выпрямитель (4 часа). 2.8 Автономный инвертор напряжения (4 часа). 2.9 Автономный инвертор тока (2 часа).
3	практические занятия 8 шт. по 2 часа (16 часов): 3.1 Построение регулировочных и внешних характеристик импульсных преобразователей с непосредственной связью. 3.2 Метод усреднения в пространстве состояний. 3.3 Построение непрерывной модели импульсного преобразователя. 3.4 Ручная и машинная линеаризации непрерывной модели импульсного преобразователя. 3.5 Передаточные характеристики импульсного преобразователя как объекта управления. 3.6 Построение логарифмических частотных характеристик по заданной передаточной функции. 3.7 Расчет параметров силового контура импульсных преобразователей. 3.8 Синтез систем управления импульсных преобразователей.
4	расчетно-графическая работа «Проектирование импульсного регулятора с непосредственной связью».
5	самостоятельная работа студентов: час.

5.1. Изучение материалов лекций	16
5.2. Подготовка к практическим занятиям	16
5.3. Подготовка к лабораторным работам	16
5.4. Расчетно-графическая работа	19
Всего:	67
5.5. Подготовка к зачету	18

Содержание дисциплины (8 семестр):

№	Наименование видов занятий и тематик, содержание												
1	лекционные занятия 10 шт. по 2 часа (20 часов): Тема 1. Однотактные преобразователи с гальванической развязкой. 1.1 Обратногоходовой и прямоходовой преобразователи. 1.2 Способы размагничивания трансформатора прямоходового преобразователя. 1.3 Методика расчета высокочастотных импульсных трансформаторов для источников питания. Тема 2. Двухтактные преобразователи с гальванической развязкой. 1.4 Преобразователь со средней точкой первичной обмотки, полумостовой и мостовой преобразователи. 1.5 Особенности перемагничивания трансформатора двухтактного преобразователя. Расчет выходного дросселя двухтактных преобразователей. Тема 3. Драйверы управления ключами. 1.6 Трансформаторные и бестрансформаторные драйверы. Особенности управления ключом верхнего уровня. 1.7 Реализация драйверов для управления IGBT-транзисторами. Тема 4. Многоканальные преобразователи. 1.8 Реализация нескольких каналов выходного напряжения на примере однотактного преобразователя. Тема 5. Влияние вентильных преобразователей на питающую сеть. 1.9 Корректоры коэффициента мощности. 1.10 Системы управления корректорами коэффициента мощности по пиковому и среднему току.												
2	лабораторные работы 5 шт. по 4 часа (20 часов): 2.1 Исследование обратногоходового преобразователя. 2.2 Исследование двухтактного преобразователя. 2.3 Исследование процессов коммутации силовых ключей. 2.4 Исследование перекрестного влияния каналов в схеме многоканального импульсного преобразователя. 2.5 Исследование повышающего импульсного регулятора.												
3	практические занятия отсутствуют.												
4	курсовой проект (8 часов).												
5	самостоятельная работа студентов: <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">5.1. Изучение материалов лекций</td> <td style="text-align: right;">44</td> </tr> <tr> <td>5.2. Подготовка к практическим занятиям</td> <td style="text-align: right;">-</td> </tr> <tr> <td>5.3. Подготовка к лабораторным работам</td> <td style="text-align: right;">44</td> </tr> <tr> <td>5.4. Курсовой проект</td> <td style="text-align: right;">44</td> </tr> <tr> <td>Всего:</td> <td style="text-align: right;">132</td> </tr> <tr> <td>5.5. Подготовка к экзамену</td> <td style="text-align: right;">36</td> </tr> </table>	5.1. Изучение материалов лекций	44	5.2. Подготовка к практическим занятиям	-	5.3. Подготовка к лабораторным работам	44	5.4. Курсовой проект	44	Всего:	132	5.5. Подготовка к экзамену	36
5.1. Изучение материалов лекций	44												
5.2. Подготовка к практическим занятиям	-												
5.3. Подготовка к лабораторным работам	44												
5.4. Курсовой проект	44												
Всего:	132												
5.5. Подготовка к экзамену	36												

Текущий контроль: Письменный контрольный опрос по изученному теоретическому материалу и полученным практическим навыкам проводится на практических и лабораторных занятиях.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

№ п/п	Виды учебных занятий	Образовательные технологии
1.	Лекции	Интерактивная лекция (лекция-визуализация). Индивидуальные и групповые консультации по дисциплине.
2.	Практические занятия	Технология обучения на основе решения задач и выполнения упражнений.
3.	Лабораторная работа	Технология выполнения лабораторных заданий индивидуально. Технология выполнения лабораторных заданий в малой группе (в бригаде). Допуск к лабораторной работе.
4.	Консультации по курсовой работе (курсовому проекту)	Индивидуальные и групповые консультации.
5.	Самостоятельная работа студентов (внеаудиторная)	Информационно-коммуникационные технологии (доступ к ЭИОС филиала, к ЭБС филиала, доступ к информационно-методическим материалам по дисциплине).
6.	Контроль (промежуточная аттестация: зачет или экзамен)	Технология устного опроса.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Форма промежуточной аттестации по настоящей дисциплине за 7 семестр – зачет с оценкой.

Перечень вопросов к зачету с оценкой

1. Понижающий регулятор. Принцип работы, внешняя и регулировочная характеристики.
2. Повышающий регулятор. Принцип работы, внешняя и регулировочная характеристики.
3. Инвертирующий регулятор. Принцип работы, внешняя и регулировочная характеристики.
4. Последовательно-параллельный регулятор. Принцип работы, внешняя и регулировочная характеристики.
5. Система управления dc-dc преобразователя с обратной связью по напряжению. Структурная схема, принцип работы.
6. Система управления dc-dc преобразователя с обратной связью по пиковому току. Структурная схема, принцип работы.
7. Система управления dc-dc преобразователя с обратной связью по среднему току. Структурная схема, принцип работы.
8. Однофазный однополупериодный выпрямитель с активной и активно-емкостной нагрузками. Принцип работы, временные диаграммы.

9. Однофазный однополупериодный выпрямитель с активной и активно-индуктивной нагрузками. Принцип работы, временные диаграммы.
10. Однофазный неуправляемый двухполупериодный выпрямитель со средней точкой с активной и активно-емкостной нагрузками. Принцип работы, временные диаграммы.
11. Однофазный управляемый двухполупериодный выпрямитель со средней точкой с активной нагрузкой. Принцип работы, временные диаграммы.
12. Умножители напряжения: удвоитель напряжения, параллельная и последовательная схемы умножения.
13. Трехфазный выпрямитель со средней точкой. Принцип работы, временные диаграммы, внешняя характеристика.
14. Трехфазный мостовой выпрямитель. Принцип работы, временные диаграммы, внешняя характеристика.
15. Автономные инверторы: мостовой, полумостовой, со средней точкой.
16. Ведомые сетью инверторы.

Форма промежуточной аттестации по настоящей дисциплине за 8 семестр – экзамен.

Перечень вопросов к экзамену

1. Однотактный обратногоходовой преобразователь. Принцип работы, временные диаграммы.
2. Однотактный прямоходовой преобразователь. Принцип работы, временные диаграммы.
3. Схемы защиты прямоходового преобразователя от перенапряжений.
4. «Косой мост». Принцип работы, временные диаграммы, особенности включения вторичной обмотки.
5. Двухтактный преобразователь со средней точкой первичной обмотки трансформатора.
6. Двухтактный мостовой преобразователь.
7. Двухтактный полумостовой преобразователь.
8. Трансформаторные и бестрансформаторные драйверы управления ключами. Особенности управления ключом верхнего уровня. Реализация драйверов для управления IGBT-транзисторами.
9. Влияние импульсных преобразователей на питающую сеть. Коэффициент мощности, коэффициент гармонических искажений.
10. Повышающий корректор коэффициента мощности. Принцип работы, временные диаграммы.
11. Повышающе-понижающий корректор коэффициента мощности. Принцип работы, временные диаграммы.
12. Системы управления корректорами коэффициента мощности. Структурные схемы, принцип работы.

Типовые задачи

Тема 1. Импульсные регуляторы постоянного напряжения.

1.1 Построить непрерывную модель понижающего регулятора с непосредственной связью в режиме непрерывного тока дросселя.

Тема 2. Синтез систем управления импульсных регуляторов напряжения.

2.1 Провести ручную линеаризацию усредненной системы уравнений импульсного регулятора в окрестности стационарного режима. Получить в аналитическом виде

передаточные характеристики «коэффициент заполнения – ток дросселя», «ток дросселя – выходное напряжение», коэффициент заполнения – выходное напряжение».

2.2 Определить частоты расположения нулей и полюсов заданной передаточной функции импульсного регулятора:

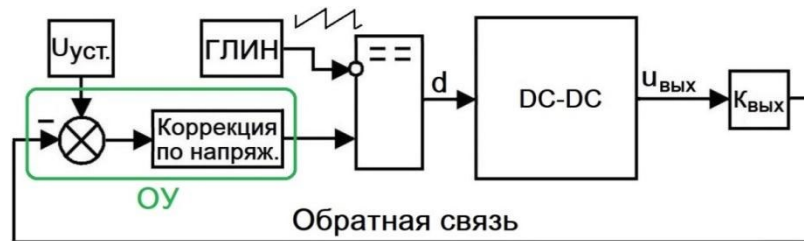
$$f(p) = \frac{0.01 \cdot p + 1.4 \cdot 10^4}{p + 760}$$

2.3 Построить асимптотические логарифмические частотные характеристики по заданной передаточной функции:

$$f(p) = \frac{5.4 \cdot 10^4 \cdot p + 7.7 \cdot 10^7}{p^2 + 3338 \cdot p + 1.3 \cdot 10^8}$$

2.4 Определить запасы устойчивости по амплитуде и фазе для импульсного преобразователя, охваченного отрицательной обратной связью по выходному напряжению. Выходное напряжение преобразователя равно 15 В, коэффициент $K_{\text{вых}}$ равен 2.5/15, напряжение на выходе ГЛИН нарастает от 0 до 3 В. Передаточная характеристика «коэффициент заполнения – выходное напряжение» преобразователя имеет вид:

$$f(p) = \frac{1.9 \cdot 10^4 \cdot p + 8.1 \cdot 10^9}{p^2 + 2834 \cdot p + 4.5 \cdot 10^8}$$



Структурная схема замкнутой системы управления dc-dc-преобразователем с обратной связью по напряжению

Тема 3. Однофазные неуправляемые выпрямители.

3.1 Рассчитать среднее значение выпрямленного напряжения однофазного неуправляемого выпрямителя в различных случаях:

а. мостовая схема выпрямления, активная нагрузка, действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора равно 24 В;

б. схема выпрямления с выводом нуля трансформатора, активная нагрузка, действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора равно 36 В;

в. схема выпрямления с выводом нуля трансформатора, активно-индуктивная нагрузка (выпрямленный ток непрерывен), действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора равно 48 В;

г. мостовая схема выпрямления, выпрямитель питается от сети ~220В/50Гц без трансформатора, активно-емкостная нагрузка, емкость конденсатора 470 мкФ, сопротивление нагрузки 100 Ом.

Тема 4. Многофазные выпрямители.

4.1 Определить действующее значение тока в линейных проводах симметричной трехфазной цепи по схеме треугольник для следующих значений параметров: $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$, $R_{\text{ф}} = 20 \text{ Ом}$. Построить векторную диаграмму фазных и линейных токов.

Тема 5. Управляемые выпрямители.

5.1 Вычислите действующее значение фазных токов и коэффициент мощности в схеме трехфазного мостового выпрямителя с R-нагрузкой, если амплитуда входного фазного напряжения равна 250 В, его частота – 50 Гц, сопротивление нагрузки 10 Ом, угол управления 30°.

Тема 6. Инверторы.

6.1 Автономный инвертор напряжения с активно-индуктивной нагрузкой. Входное напряжение инвертора 100 В, индуктивность дросселя 47 мкГн, сопротивление нагрузки 10 Ом, коэффициент заполнения 0.5, частота коммутации 50 Гц. Определить действующее значение и амплитуду основной гармоники напряжения на нагрузке.

Тема 7. Однотактные преобразователи с гальванической развязкой.

7.1 Построить непрерывную модель обратногоходового преобразователя в режиме непрерывного тока индуктивного накопителя.

7.2 Вывести выражение для расчета индуктивности намагничивания обратногоходового преобразователя.

7.3 Построить непрерывную модель прямоходового преобразователя в режиме непрерывного тока индуктивного накопителя.

Тема 8. Двухтактные преобразователи с гальванической развязкой.

8.1 Рассчитать коэффициент трансформации трансформатора двухтактного полумостового преобразователя. Диапазон входного напряжения преобразователя 100-150 В, выходное напряжение 48 В, непрерывный режим работы индуктивного накопителя.

8.2 Рассчитать коэффициент трансформации трансформатора двухтактного преобразователя со средней точкой первичной обмотки. Диапазон входного напряжения преобразователя 100-150 В, выходное напряжение 48 В, непрерывный режим работы индуктивного накопителя.

8.3 Определить максимальное напряжение на ключах двухтактных преобразователей: а) мостового б) полумостового в) со средней точкой первичной обмотки. Диапазон входного напряжения преобразователя 180-250 В, выходное напряжение 96 В, непрерывный режим работы индуктивного накопителя.

Тема 9. Драйверы управления ключами.

9.1 Рассчитать емкость бутстрепного конденсатора бестрансформаторного драйвера IR2181, управляющего МОП-транзистором IRF540. Минимальное напряжение затвор-исток транзистора 10.5 В, ток заряда затвора 0.5 А, ток разряда затвора 2 А, частота коммутации 100 кГц, максимальный коэффициент заполнения импульсов управления 0.45.

Тема 10. Многоканальные преобразователи.

10.1 Рассчитать сопротивления резистивного делителя и сумматора, выполненного на резисторах и реализующего стабилизацию выходного напряжения обратногоходового преобразователя по каналам +5 В, +12 В, -12 В. Гальваническая развязка контура обратной связи по выходному напряжению выполнена на источнике опорного напряжения TL431 и оптроне (PC817). Опорное напряжение TL431 равно 2.5 В, ток катода ИОН в стационарном режиме принять равным 3 мА.

Тема 11. Влияние вентиляльных преобразователей на питающую сеть.

11.1 Рассчитать индуктивность дросселя и емкость конденсатора корректора коэффициента мощности на основе повышающего регулятора в режиме непрерывного тока индуктивного накопителя. Диапазон входного действующего напряжения равен 85-265 В, мощность нагрузки 200 Вт, частота сети 50 Гц, пульсации выходного напряжения 8%.

ЗАДАНИЕ НА РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКУЮ РАБОТУ

«Проектирование импульсного регулятора с непосредственной связью»

Расчет исходных данных РГР осуществляется в соответствии с № группой студента, и зависит от n — порядкового номера студента по журналу успеваемости.

1. Составить систему уравнений, описывающую непрерывную нелинейную модель силового контура в соответствии с номером в журнале.

2. Вывести выражения для расчета индуктивности дросселя, емкости конденсатора и максимального тока ключа. Рассчитать значения для заданного режима работы. Коэффициент пульсаций напряжения на конденсаторе принять равным 1%.

3. Проверить правильность расчета граничного значения дросселя и емкости конденсатора с помощью моделирования в MATLAB: собрать схему импульсного регулятора с разомкнутой системой управления, рассчитать коэффициент заполнения для граничного режима тока дросселя и задать его в блоке Pulse Generator. Подключить блок Pulse Generator к ключу, снять осциллограммы тока дросселя и выходного напряжения в установившемся граничном режиме. Осциллограммы привести в отчете, обязательно должен быть виден масштаб по осям x и y .

4. После проверки правильности расчета граничного значения дросселя и конденсатора выбрать дроссель и конденсатор с необходимыми запасами из стандартного ряда номиналов. Принять запас равным 30%: 20% на разброс параметров и 10% на гарантированную работу в РНТ.

5. Построить непрерывную нелинейную модель преобразователя в MATLAB по уравнениям из п. 1. Коэффициент заполнения представить суммой стационарного и малосигнального значений. Стационарное значение рассчитывается по режиму работы преобразователя (входное напряжение, ток нагрузки и т.д.), малосигнальное возмущение задается с помощью порта Open-loop Input. Снятие отклика системы производится с помощью порта Output Measurement.

Построить ЛЧХ «коэффициент заполнения – выходное напряжение» (если требуется синтезировать систему управления по выходному напряжению) или ЛЧХ «ток дросселя – выходное напряжение» и «коэффициент заполнения – ток дросселя» (если требуется синтезировать систему управления по среднему току).

6. Провести ручную линеаризацию системы уравнений нелинейной модели, рассчитать коэффициенты передаточной функции по управлению для одного из режимов, построить ЛЧХ, сравнить результаты ручной и машинной линеаризации (только для понижающего регулятора).

7. Добавить в непрерывную модель из п. 5 активное сопротивление дросселя и эквивалентное сопротивление конденсатора. Привести на одном графике (для одного из режимов работы) частотные характеристики силового контура с учетом и без учета паразитных сопротивлений, объяснить отличия. Паразитное сопротивление дросселя и ЭПС конденсатора можно определить по каталогу ru.mouser.com. При подборе дросселя следует учитывать ток насыщения дросселя, при подборе конденсатора – ток пульсаций. Желательно выбирать доступные по цене компоненты.

Синтез системы управления импульсного регулятора

8. Синтезировать звено коррекции контура напряжения (тока) при коэффициентах передачи датчика напряжения (тока), указанных в таблице. Привести на одном графике передаточную функцию звена коррекции, ЛЧХ силового контура до коррекции и после, ЛЧХ корректирующего звена для одного из режимов. Проверить работоспособность

ключевой модели преобразователя с замкнутой скорректированной ОС в одном из режимов.

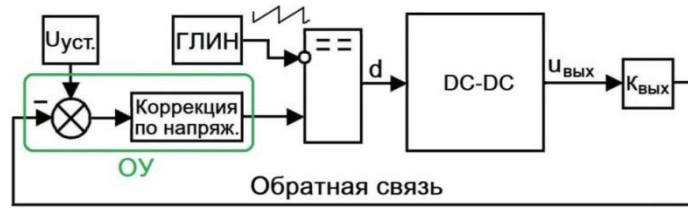


Рисунок 1 – Структурная схема замкнутой системы управления dc-dc-преобразователем с обратной связью по напряжению

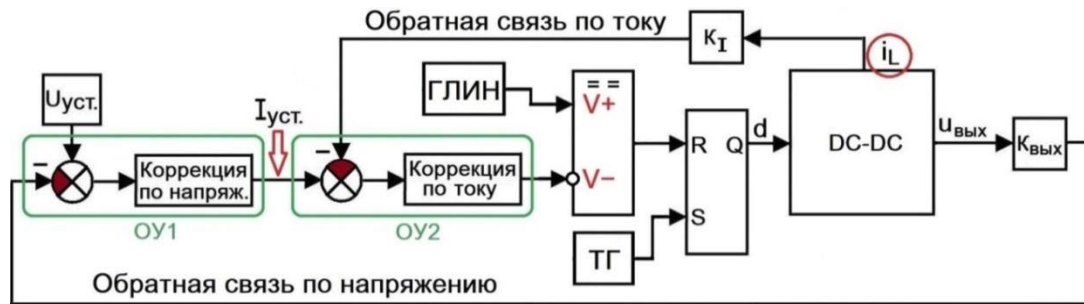


Рисунок 2 – Структурная схема замкнутой системы управления dc-dc-преобразователем с обратной связью по среднему току

9. Обеспечить запас устойчивости по фазе не менее 40 градусов для худшего случая из 4 сочетаний входного напряжения и мощности на выходе преобразователя. Измерить и указать в виде таблицы частоту единичного усиления, запасы по амплитуде и фазе для 4 режимов.

Отличия оценок пунктов 8 и 9: в пункте 8 звено коррекции синтезируется для одного из режимов работы на выбор, работоспособность ключевой модели проверяется только для режима, для которого синтезировалось звено коррекции. В пункте 9 надо синтезировать корректирующее звено с учетом всех 4 режимов.

№	1 преобразователь, система управления, диапазон входного напряжения, выходное напряжение, В	2 преобразователь, система управления, диапазон входного напряжения, выходное напряжение	Диапазон мощности на выходе, Вт	Частота коммутации, кГц	$K_{\text{ВЫХ}}, K_I$	Ампли- туда ГЛИН, В (для СУ по вых. напряже- нию)
1	повышающий, по среднему току, 4-8 15	понижающий, по выходному напряжению, 28-32 15	15-30	80	$2.5/V_{\text{out}}$ 0.1	3
2	последовательно -параллельный, по среднему току, 50-80	понижающий, по выходному напряжению, 21-27 12	25-45	40	$5/V_{\text{out}}$ 0.2	2

	60					
3	последовательно-параллельный, по среднему току, 50-100 80	понижающий, по выходному напряжению, 180-220 150	50-100	45	$4/V_{out}$ 0.3	3
4	повышающий, по среднему току, 40-60 100	понижающий, по выходному напряжению, 80-100 60	100-140	50	$3/V_{out}$ 0.4	1
5	последовательно-параллельный, по среднему току, 12-30 20	понижающий, по выходному напряжению, 18-22 15	25-35	70	$2/V_{out}$ 0.4	5
6	повышающий, по среднему току, 25-35 50	понижающий, по выходному напряжению, 45-50 30	25-35	65	$1/V_{out}$ 0.5	6
7	инвертирующий, по среднему току, 30-50 -42	понижающий, по выходному напряжению, 35-40 20	40-60	60	$2.5/V_{out}$ 0.1	7
8	повышающий, по среднему току, 10-20 35	понижающий, по выходному напряжению, 12-15 8	8-18	100	$0.5/V_{out}$ 0.2	2
9	повышающий, по среднему току, 7-15 25	понижающий, по выходному напряжению, 25-35 18	12-20	150	$3/V_{out}$ 0.2	3
10	инвертирующий, по среднему току, 12-15 -12	понижающий, по выходному напряжению, 10-14 5	5-12	75	$2/V_{out}$ 0.3	5
11	повышающий, по среднему току, 9-16 24	понижающий, по выходному напряжению, 12-15 7	4-15	150	$2.5/V_{out}$ 0.4	7
12	инвертирующий, по среднему току, 19-32 -25	понижающий, по выходному напряжению, 60-80 45	25-65	80	$1/V_{out}$ 0.5	1

13	повышающий, по среднему току, 85-265 400	понижающий, по выходному напряжению, 120-150 90	100-150	75	$2/V_{out}$ 0.2	1.8
14	последовательно -параллельный, по среднему току, 18-24 21	понижающий, по выходному напряжению, 40-50 25	30-50	70	$4/V_{out}$ 0.1	1.8
15	инвертирующий, по среднему току, 48-96 -72	понижающий, по выходному напряжению, 52-60 36	50-80	80	$5/V_{out}$ 0.3	2.8
16	повышающий, по среднему току, 24-36 48	понижающий, по выходному напряжению, 38-48 25	20-35	85	$10/V_{out}$ 0.2	2.4

Критерии оценки выполнения РГР:

Пункты 1-8 для одного из преобразователей: «удовлетворительно».

Пункты 1-9 для одного преобразователя, пункты 1-6 для второго преобразователя:
«хорошо».

Пункты 1-9 для одного преобразователя, пункты 1-9 для второго преобразователя:
«отлично».

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

«Проектирование импульсного преобразователя с гальванической развязкой»

№	Тип преобразователя	Входное и выходное напряжение, В	Диапазон мощности на выходе, Вт	Частота коммутации, кГц
1	косой мост (прямоходовой)	18-23 15	15-22	100
2	косой мост (прямоходовой)	18-24 16	14-23	90
3	прямоходовой	20-24 30	15-25	75
4	одноключевой прямоходовой	50-80 60	100-200	80
5	обратноходовой	48-64 54	50-80	95
6	обратноходовой	15-19 17	17-34	90
7	одноключевой прямоходовой	84-96 78	70-120	90

8	косой мост (обратноходовой)	25-31 31	35-45	125
9	прямоходовой	20-23 30	16-26	80
10	обратноходовой	36-48 42	36-48	90
11	косой мост (обратноходовой)	24-30 30	30-40	120
12	обратноходовой	20-30 27	22-35	120
13	косой мост (обратноходовой)	34-44 40	15-25	150
14	косой мост (прямоходовой)	280-330 54	50-150	80
15	одноключевой прямоходовой	100-120 85	100-150	150
16	обратноходовой	15-20 18	18-36	100

Примечание 1: остальные параметры на усмотрение студента.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать:

1. Расчет параметров импульсного преобразователя. Результаты расчета – диапазон изменения коэффициента заполнения, количество витков и индуктивности первичной и вторичной обмоток, индуктивность дросселя (если есть), емкости входного и выходного конденсаторов.

Примечание 2: при наличии планов по сборке опытного образца рекомендуется использовать следующие сердечники трансформаторов: ETD-29, ETD-34, ETD-39. Если данные варианты сердечников не подходят, требуется изменение частоты коммутации по согласованию с преподавателем.

2. Моделирование преобразователя с разомкнутой системой управления (на идеальный ключ подается сигнал с генератора импульсов). Цель моделирования – проверка правильности расчета параметров силового контура.

3. Выбор оптимальной системы управления. Выбор ШИМ-контроллера, обоснование выбора, основные параметры микросхемы.

4. Составление уравнений непрерывной модели преобразователя. Вывод необходимых для синтеза системы управления передаточных характеристик в аналитическом виде без учета паразитных сопротивлений.

5. Построение непрерывной модели преобразователя в среде моделирования, проверка правильности вывода передаточных характеристик в аналитическом виде. Учет паразитных сопротивлений в непрерывной модели, оценка их влияния на частотные характеристики.

6. Синтез методом асимптотических ЛЧХ корректирующих звеньев с учетом коэффициентов передачи датчика напряжения, датчика тока (если есть), коэффициентов усиления сигналов внутри ШИМ-контроллера.

7. Синтез с помощью программы схемотехнического моделирования корректирующих звеньев с учетом коэффициентов передачи датчика напряжения, датчика тока (если есть), коэффициентов усиления сигналов внутри ШИМ-контроллера. Сопоставление результатов синтеза в п.п. 6 и 7, оценка точности метода асимптотических ЛЧХ.

8. Выбор рабочей точки по постоянному току узла гальванической развязки выходного напряжения.

9. Настройка контуров напряжения и тока в частотной области в соответствии с передаточными функциями корректирующих звеньев, полученных в п. 7.

10. Моделирование преобразователя с замкнутой системой управления и узлом гальванической развязки выходного напряжения.

11. Составление принципиальной схемы и спецификации.

12. Разводка печатной платы.

В филиале используется система с традиционной шкалой оценок — «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», «зачтено», «не зачтено» (далее — пятибалльная система).

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

Оценка по дисциплине	Критерии оценки результатов обучения по дисциплине
«отлично»/ «зачтено (отлично)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему 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; проявившему 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 практическое задание. Оценка по дисциплине выставляются обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне — «эталонный».
«хорошо»/ «зачтено (хорошо)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющему предусмотренные задания, усвоившему основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнивший практическое задание, но допустивший при этом непринципиальные ошибки. Оценка по дисциплине выставляются обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне — «продвинутый».
«удовлетворительно»/ «зачтено (удовлетворительно)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющемуся с выполнением заданий, знакомому с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившему погрешность в ответе на

	<p>теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий, но обладающему необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившему практическое задание, но по указанию преподавателя выполнившему другие практические задания из того же раздела дисциплины..</p> <p>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне — «пороговый».</p>
«неудовлетворительно» / не зачтено	<p>Выставляется обучающемуся, 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 дисциплине. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля.</p> <p>Компетенции на уровне «пороговый», закреплённые за дисциплиной, не сформированы.</p>

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебное и учебно-лабораторное оборудование

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; демонстрационным оборудованием: персональным компьютером (ноутбуком); переносным (стационарным) проектором.

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; демонстрационным оборудованием: персональным компьютером (ноутбуком); переносным (стационарным) проектором.

Учебная аудитория для лабораторных работ, выполняемых в компьютерном классе, оснащенная:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; персональными компьютерами.

Для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине используется помещение для самостоятельной работы обучающихся, оснащенное:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; персональными компьютерами с подключением к сети «Интернет» и доступом в ЭИОС филиала.

Программное обеспечение: Matlab, MathCad, Micro-Cap.

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

для слепых и слабовидящих:

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением, или могут быть заменены устным ответом;
- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;
- для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;
- письменные задания оформляются увеличенным шрифтом;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

для глухих и слабослышащих:

- лекции оформляются в виде электронного документа;
- письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
- экзамен и зачёт проводятся в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.

для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере;
- используется специальная учебная аудитория для лиц с ЛОВЗ – ауд. 106 главного учебного корпуса по адресу 214013, г. Смоленск, Энергетический пр-д, д.1, здание энергетического института (основной корпус).

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения предусматривается использование технических средств, необходимых в связи с индивидуальными особенностями обучающихся. Эти средства могут быть предоставлены филиалом, или могут использоваться собственные технические средства.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к **информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет** для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

для слепых и слабовидящих:

- в печатной форме увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;

- в форме аудиофайла.
- для глухих и слабослышащих:**
- в печатной форме;
- в форме электронного документа.
- для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**
- в печатной форме;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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.
2. *Воронин, П. А.* Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005.
3. Электрические и электронные аппараты: учебник и практикум для академического бакалавриата / под ред. П. А. Курбатова. – М.: Издательство Юрайт, 2016.
4. Справочник по силовой электронике / Ю.К. Розанов, П.А. Воронин, С.Е. Рывкин, Е.Е. Чаплыгин; под ред. Ю.К. Розанова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014.
5. *Мелешин В.И., Овчинников Д.А.* Управление транзисторными преобразователями электроэнергии. – М.: Техносфера, 2011.

Дополнительная литература.

1. *Анучин, А.С.* Системы управления электроприводов: учебник для вузов / А. С. Анучин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015.
2. *Бурман, А. П.* Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем: учеб. пособие / А. П. Бурман, Ю. К. Розанов, Ю. Г. Шакарян. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
3. *Зиновьев, Г.С.* Основы силовой электроники. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003.
4. *Черных, И. В.* Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008.
5. *Герман-Галкин, С. Г.* Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink: учебник. – СПб.: Издательство «Лань», 2013.

Список авторских методических разработок.

Авторские методические разработки расположены по ссылке:
<https://drive.google.com/drive/folders/1fgDEZcyYh8jWaQftdIPSJZavIuDFhRN0?usp=sharing>

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Номер изменения	Номера страниц				Всего страниц в документе	Наименование и № документа, вводящего изменения	Подпись, Ф.И.О. внесшего изменения в данный экземпляр	Дата внесения изменения в данный экземпляр	Дата введения изменения
	измененных	замененных	новых	аннулированных					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10