МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Ректор
_____Рулевский В.М.
«18» _____02_____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**
Направление подготовки / специальность: **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Промышленная электроника и микропроцессорная техника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Факультет электронной техники (ФЭТ)**
Кафедра: **Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)**
Курс: **2**
Семестр: **3**
Учебный план набора 2022 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	3 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	18	18	часов
Практические занятия	16	16	часов
Лабораторные занятия	16	16	часов
Самостоятельная работа	58	58	часов
Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	144	144	часов
	4	4	з.е.

Формы промежуточной аттестация	Семестр
Экзамен	3

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сенченко П.В.
Должность: Проректор по УР
Дата подписания: 18.02.2022
Уникальный программный ключ:
a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Томск

Согласована на портале № 65983

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. Привить студенту нелинейный подход к анализу преобразователей электрической энергии, расширить понятия, термины и инструменты теории автоматического управления на импульсно-модуляционные системы, содержащие кусочно непрерывные функции в своей математической модели.

1.2. Задачи дисциплины

1. Научиться создавать математические и имитационные (САПР) модели полупроводниковых преобразователей электрической энергии с импульсно-модуляционным управлением, включающие кусочно-линейные функции.
2. Освоить навыки параметрического анализа и синтеза полупроводниковых преобразователей с ШИМ, ознакомиться с терминами теории катастроф и бифуркационного анализа.
3. Освоить теорию устойчивости для нелинейных систем, познакомиться с бифуркационными явлениями, их классификацией, с теорией странных аттракторов, сценариями бифуркационных переходов, механизмом построения бифуркационных диаграмм и областей притяжения нелинейных динамических режимов.
4. Освоить методы сопоставления параметров устойчивости режимов и границ бифуркационных областей с величиной внешних возмущений, научиться делать выводы о вероятности аварийного режима работы преобразователя и об оценке его последствий.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.
Модуль дисциплин: Модуль профессиональной подготовки (major).
Индекс дисциплины: Б1.В.01.08.
Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):
Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Универсальные компетенции		
-	-	-
Общепрофессиональные компетенции		
-	-	-
Профессиональные компетенции		

Согласована на портале № 65983

ПК-1. Способен самостоятельно разрабатывать модели исследуемых процессов, электронных схем, приборов и устройств электронной техники	ПК-1.1. Знает основные факты, базовые концепции, принципы, модели и методы в области силовых цепей; источники стандартов в областях электробезопастност и и коммуникационных протоколов; современные базовые технологии прямого цифрового управления	Знает основные факты, касающиеся силовых и информационных цепей, имеет взгляд на импульсно-модуляционные преобразователи и систему прямого цифрового управления ими как на нелинейную замкнутую систему.
	ПК-1.2. Умеет проводить имитационное моделирование устройств силовой электроники на современных САПР типа «Spice»; производить настройку программного обеспечения верхнего уровня; пользоваться средствами измерения показателей качества электроэнергии	Умеет проводить имитационное моделирование устройств силовой электроники на современных Spice-ориентированных САПР, производить настройку цепей управления с целью выполнения заданных показателей качества электроэнергии.
	ПК-1.3. Владеет информацией о тенденциях и перспективах развития современных и инструментальных средств для решения практических и общенаучных задач в собласти силовой электроники	Владеет информацией о тенденциях и перспективах развития современных и инструментальных средств для решения практических и общенаучных задач в области силовой электроники с точки зрения теории устойчивости, бифуркационного анализа и теории катастроф.

Согласована на портале № 65983

ПК-6. Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	ПК-6.1. Знает современные средства и методы организации и проведения экспериментальных исследований	Знает современные средства и методы моделирования, проведения численных экспериментов и методику проведения натурных испытаний.
	ПК-6.2. Умеет организовывать и проводить экспериментальные исследования с применением современных средств и методов	Умеет организовывать и проводить экспериментальные исследования импульсно-модуляционных приборов с учетом нелинейной динамики их функционирования, умеет настраивать систему управления преобразователя.
	ПК-6.3. Владеет навыками применения современных средств и методов организации и проведения экспериментальных исследований	Владеет навыками применения современных приборов, средств и методов организации и проведения экспериментальных исследований, имеет расширенный взгляд на многомерное пространство параметров прибора и позицию рабочей точки в пространстве областей притяжения динамических режимов прибора.
ПК-11. Способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований	ПК-11.1. Знает принципы подготовки технических заданий на современные электронные устройства	Знает принципы подготовки технических заданий на современные электронные устройства импульсно-модуляционного типа
	ПК-11.2. Умеет разрабатывать приборы и системы электронной техники	Умеет разрабатывать приборы и системы электронной техники с учетом заданных технических требований, имеет представление о том, на что и как (с точки зрения устойчивости нелинейных систем) влияют параметры прибора.
	ПК-11.3. Владеет навыками разработки рабочей топологии и плана технологии монтажа и сборки электронной компонентной базы изделий микро- и наноэлектроники	Владеет навыками разработки электрических схем импульсно-модуляционных преобразователей и выбора электронной компонентной базы для них, способен разводить печатные платы и составлять монтажные планы.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		3 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	50	50
Лекционные занятия	18	18
Практические занятия	16	16
Лабораторные занятия	16	16

Согласована на портале № 65983

Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	58	58
Подготовка к тестированию	22	22
Выполнение индивидуального задания	20	20
Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	16	16
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость (в часах)	144	144
Общая трудоемкость (в з.е.)	4	4

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Названия разделов (тем) дисциплины	Лек. зан., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб.	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
3 семестр						
1 Особенности импульсно-модуляционных полупроводниковых преобразователей	2	2	-	6	10	ПК-1, ПК-11, ПК-6
2 Моделирование силовой цепи импульсно-модуляционного преобразователя энергии	2	4	4	12	22	ПК-1, ПК-11, ПК-6
3 Математическая модель замкнутой системы управления преобразователя	4	4	4	12	24	ПК-1, ПК-11, ПК-6
4 Проведение математического и/или имитационного моделирования	4	4	4	12	24	ПК-1, ПК-11, ПК-6
5 Построение карт динамических режимов и бифуркационных диаграмм	4	2	-	8	14	ПК-1, ПК-11, ПК-6
6 Построение областей притяжения и анализ нелинейной динамики	2	-	4	8	14	ПК-1, ПК-11, ПК-6
Итого за семестр	18	16	16	58	108	
Итого	18	16	16	58	108	

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)	Трудоемкость (лекционные занятия), ч	Формируемые компетенции
3 семестр			

Согласована на портале № 65983

1 Особенности импульсно-модуляционных полупроводниковых преобразователей	Знакомство с нелинейными особенностями импульсно-модуляционных полупроводниковых преобразователей, понятие бифуркаци, нелинейные (и неединственные) режимы работы силовой цепи, бифуркационная диаграмма, области притяжения, аттракторы, теория катастроф.	2	ПК-1, ПК-6, ПК-11
	Итого	2	
2 Моделирование силовой цепи импульсно-модуляционного преобразователя энергии	Алгоритм проведения бифуркационного анализа. Построение математической модели силовой цепи преобразователя энергии. Имитационная (САПР) модель импульсно-модуляционного преобразователя в разомкнутом виде. Нелинейные особенности модели. Неединственность решения.	2	ПК-1, ПК-6, ПК-11
	Итого	2	
3 Математическая модель замкнутой системы управления преобразователя	Коммутационно-разрывные функции, описывающие математическую модель системы управления импульсно-модуляционных полупроводниковых преобразователей. Математическая модель замкнутой системы управления преобразователя. Аппаратная и программная реализация системы управления.	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11
	Итого	4	
4 Проведение математического и/или имитационного моделирования	Проведение вычислительных экспериментов по расчету математической модели и сравнение полученных решений с результатами имитационного (САПР) моделирования. Проведение вычислительных экспериментов при вариации основных параметров модели, подход к бифуркационным явлениям. Переходный процесс и установившийся режим преобразователя. Построение бифуркационной диаграммы.	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11
	Итого	4	

Согласована на портале № 65983

5 Построение карт динамических режимов и бифуркационных диаграмм	Выявление всех (по возможности) динамических режимов работы импульсно-модуляционного полупроводникового преобразователя электрической энергии. Анализ устойчивости (Ляпунов) динамического режима работы преобразователя. Понятие устойчивости режима (а не системы!). Построение областей устойчивости режима. Построение карт динамических режимов и бифуркационных диаграмм.	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11
	Итого	4	
6 Построение областей притяжения и анализ нелинейной динамики	Анализ полученных бифуркационных диаграмм. Построение областей устойчивости и областей притяжения режимов в пространстве параметров модели. Нелинейный взгляд на динамику преобразователя "в целом".	2	ПК-1, ПК-6, ПК-11
	Итого	2	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
3 семестр			
1 Особенности импульсно-модуляционных полупроводниковых преобразователей	Получение индивидуального задания по моделированию и анализу нелинейного импульсно-модуляционного полупроводникового преобразователя электрической энергии. Формулирование параметров преобразователя в зависимости от назначения прибора. Составление ТЗ.	2	ПК-1, ПК-6, ПК-11
	Итого	2	
2 Моделирование силовой цепи импульсно-модуляционного преобразователя энергии	Построение математической модели силовой цепи импульсно-модуляционного преобразователя энергии в соответствии с ИЗ в разомкнутом виде. Рассмотрение предполагаемых нелинейных особенностей модели.	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11
	Итого	4	

Согласована на портале № 65983

3 Математическая модель замкнутой системы управления преобразователя	Составление коммутационно-разрывных функций, математически описывающих заданный в ИЗ тип системы управления импульсно-модуляционным полупроводниковым преобразователем.	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11
	Итого	4	
4 Проведение математического и/или имитационного моделирования	Проведение вычислительных экспериментов по расчету математической модели и сравнение полученных решений с результатами имитационного (САПР) моделирования. Проведение вычислительных экспериментов при вариации основных параметров модели. Построение графиков переходных процессов, выявление установившихся режимов работы преобразователя. Построение бифуркационной диаграммы.	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11
	Итого	4	
5 Построение карт динамических режимов и бифуркационных диаграмм	Выявление всех (по возможности) динамических режимов работы импульсно-модуляционного полупроводникового преобразователя электрической энергии. Построение областей устойчивости режима. Построение карт динамических режимов и бифуркационных диаграмм.	2	ПК-1, ПК-6, ПК-11
	Итого	2	
Итого за семестр		16	
Итого		16	

5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
3 семестр			
2 Моделирование силовой цепи импульсно-модуляционного преобразователя энергии	Построение имитационной (САПР) модели силовой цепи преобразователя энергии (в соответствии с ИЗ) в разомкнутом виде. Изменение параметров цепи. Неединственность решения.	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11
	Итого	4	

Согласована на портале № 65983

3 Математическая модель замкнутой системы управления преобразователя	Импульсные источники сигнала, описывающие симуляционную функцию (ШИМ) системы управления импульсно-модуляционного полупроводникового преобразователя. Аппаратная и программная реализация системы управления.	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11
	Итого	4	
4 Проведение математического и/или имитационного моделирования	Проведение вычислительных экспериментов по расчету имитационной (САПР) модели и сравнение полученных решений с результатами математического моделирования. Проведение вычислительных экспериментов при вариации основных параметров модели, подход к бифуркационным явлениям. Переходный процесс и установившийся режим преобразователя.	4	ПК-1, ПК-11
	Итого	4	
6 Построение областей притяжения и анализ нелинейной динамики	Анализ полученных бифуркационных диаграмм. Построение областей устойчивости и областей притяжения режимов в пространстве параметров модели. Нелинейный взгляд на динамику преобразователя "в целом".	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11
	Итого	4	
Итого за семестр		16	
Итого		16	

5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
3 семестр				

Согласована на портале № 65983

1 Особенности импульсно-модуляционных полупроводниковых преобразователей	Подготовка к тестированию	2	ПК-1, ПК-6, ПК-11	Тестирование
	Выполнение индивидуального задания	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11	Индивидуальное задание
	Итого	6		
2 Моделирование силовой цепи импульсно-модуляционного преобразователя энергии	Подготовка к тестированию	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11	Тестирование
	Выполнение индивидуального задания	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11	Индивидуальное задание
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11	Лабораторная работа
	Итого	12		
3 Математическая модель замкнутой системы управления преобразователя	Подготовка к тестированию	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11	Тестирование
	Выполнение индивидуального задания	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11	Индивидуальное задание
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11	Лабораторная работа
	Итого	12		
4 Проведение математического и/или имитационного моделирования	Подготовка к тестированию	4	ПК-1, ПК-11	Тестирование
	Выполнение индивидуального задания	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11	Индивидуальное задание
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	4	ПК-1, ПК-11	Лабораторная работа
	Итого	12		
5 Построение карт динамических режимов и бифуркационных диаграмм	Подготовка к тестированию	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11	Тестирование
	Выполнение индивидуального задания	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11	Индивидуальное задание
	Итого	8		
6 Построение областей притяжения и анализ нелинейной динамики	Подготовка к тестированию	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11	Тестирование
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	4	ПК-1, ПК-6, ПК-11	Лабораторная работа
	Итого	8		

Согласована на портале № 65983

Итого за семестр		58		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		94		

5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности				Формы контроля
	Лек. зан.	Прак. зан.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ПК-1	+	+	+	+	Индивидуальное задание, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен
ПК-6	+	+	+	+	Индивидуальное задание, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен
ПК-11	+	+	+	+	Индивидуальное задание, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен

6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

Формы контроля	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
3 семестр				
Индивидуальное задание	8	8	8	24
Лабораторная работа	8	8	8	24
Тестирование	8	8	6	22
Экзамен				30
Итого максимум за период	24	24	22	100
Нарастающим итогом	24	48	70	100

6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Баллы на дату текущего контроля	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК	2

6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

Согласована на портале № 65983

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 – 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 – 89	B (очень хорошо)
	75 – 84	C (хорошо)
	70 – 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 – 69	
	60 – 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература

1. Теоретические основы электротехники. Часть 2. Переходные и статические режимы в линейных и нелинейных цепях. Электромагнитное поле: Учебное пособие / Е. Б. Шандарова, А. В. Шутенков, В. М. Дмитриев, Т. В. Ганджа - 2015. 237 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5377.

2. Алдошин, Г. Т. Теория линейных и нелинейных колебаний : учебное пособие / Г. Т. Алдошин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 320 с. — ISBN 978-5-8114-1460-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/211076.

7.2. Дополнительная литература

1. Юмагулов, М. Г. Введение в нелинейную динамику: теория, приложения, модели / М. Г. Юмагулов. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 368 с. — ISBN 978-5-8114-9792-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/230366.

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Пригоровский, А. Л. Сборник задач по теории колебаний, устойчивости движения и элементам качественной теории дифференциальных уравнений : учебно-методическое пособие / А. Л. Пригоровский, В. М. Сандалов, А. А. Ширяева. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, [б. г.]. — Часть 1 — 2019. — 33 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/144964.

2. Пригоровский, А. Л. Сборник задач по теории колебаний, устойчивости движения и элементам качественной теории дифференциальных уравнений : учебно-методическое пособие / А. Л. Пригоровский, В. М. Сандалов, А. А. Ширяева. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020 — Часть 2 — 2020. — 42 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/191904.

7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

Согласована на портале № 65983

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Лаборатория компьютерных сетей и промышленной автоматизации / Лаборатория (ГПО) / Компьютерный класс: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ); 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 338 ауд.

Описание имеющегося оборудования:
- Персональные компьютеры (13 шт.);
- Стенды «Промышленная электроника» Деконт-182 (7 шт.);
- Комплект имитаторов сигналов(7 шт.);
- Коммутатор 3COM SuperStackSwitch 4226T;
- Коммутатор 3COM SuperStack-3 Switch 3226;
- Коммутационный шкаф с патч-панелями;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:
- ASIMEC;
- AVR Code Vision 3.31Evaluation;
- Far Manager;
- Google Chrome;
- LTspice 4;
- LibreOffice;
- Mathworks Matlab;
- Mozilla Firefox;
- Visual Studio;
- Windows XP;

8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Лаборатория компьютерных сетей и промышленной автоматизации / Лаборатория (ГПО) / Компьютерный класс: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ); 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 338 ауд.

Описание имеющегося оборудования:
- Персональные компьютеры (13 шт.);

Согласована на портале № 65983

- Стенды «Промышленная электроника» Деконт-182 (7 шт.);
- Комплект имитаторов сигналов(7 шт.);
- Коммутатор 3COM SuperStackSwitch 4226T;
- Коммутатор 3COM SuperStack-3 Switch 3226;
- Коммутационный шкаф с патч-панелями;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:
- ASIMEC;
- AVR Code Vision 3.31Evaluation;
- Far Manager;
- Google Chrome;
- LTspice 4;
- LibreOffice;
- Mathworks Matlab;
- Mozilla Firefox;
- PTC Mathcad 13, 14;
- Visual Studio;
- Windows XP;

8.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:
- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 209 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:
- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:
- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

8.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для

Согласована на портале № 65983

людей с инвалидностью.

9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 Особенности импульсно-модуляционных полупроводниковых преобразователей	ПК-1, ПК-11, ПК-6	Индивидуальное задание	Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
2 Моделирование силовой цепи импульсно-модуляционного преобразователя энергии	ПК-1, ПК-11, ПК-6	Индивидуальное задание	Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
3 Математическая модель замкнутой системы управления преобразователя	ПК-1, ПК-11, ПК-6	Индивидуальное задание	Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
4 Проведение математического и/или имитационного моделирования	ПК-1, ПК-11, ПК-6	Индивидуальное задание	Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Согласована на портале № 65983

5 Построение карт динамических режимов и бифуркационных диаграмм	ПК-1, ПК-11, ПК-6	Индивидуальное задание	Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
6 Построение областей притяжения и анализ нелинейной динамики	ПК-1, ПК-11, ПК-6	Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

Оценка	Баллы за ОМ	Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения		
		знать	уметь	владеть
2 (неудовлетворительно)	< 60% от максимальной суммы баллов	отсутствие знаний или фрагментарные знания	отсутствие умений или частично освоенное умение	отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков
3 (удовлетворительно)	от 60% до 69% от максимальной суммы баллов	общие, но не структурированные знания	в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение	в целом успешное, но не систематическое применение навыков
4 (хорошо)	от 70% до 89% от максимальной суммы баллов	сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков
5 (отлично)	≥ 90% от максимальной суммы баллов	сформированные систематические знания	сформированное умение	успешное и систематическое применение навыков

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

Оценка	Формулировка требований к степени компетенции

Согласована на портале № 65983

2 (неудовлетворительно)	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне **ориентирования**, представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения.
3 (удовлетворительно)	Знать и уметь на **репродуктивном** уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на **аналитическом** уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения.
5 (отлично)	Знать, уметь, владеть на **системном** уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.

9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

1. К какому классу динамических систем относятся импульсно-модуляционные полупроводниковые преобразователи электрической энергии?
   a) нелинейные системы автоматического управления;
   b) катастрофические системы;
   c) линейные динамические системы;
   d) неустойчивые динамические системы;
   e) устойчивые динамические системы.
2. Теория устойчивости Ляпунова подходит для анализа устойчивости нелинейных математических моделей?
   a) подходит;
   b) подходит только для линейных систем;
   c) подходит для кусочно-непрерывных систем;
   d) не подходит.
3. На каком основном понятии базируется теория устойчивости Ляпунова?
   a) бифуркации;
   b) мультипликаторы;
   c) годографы;
   d) преобразование Лапласа;
   e) Ряды Фурье.
4. Применимо ли для импульсных систем преобразования энергии понятие "устойчивость системы"?
   a) да, по теории Ляпунова;
   b) только условная устойчивость;
   c) нет, устойчивость применима только к "режиму работы" преобразователя;
   d) только для линейной модели.
5. В каком пространстве строится бифуркационная диаграмма?
   a) в фазовом пространстве системы;
   b) в евклидовом пространстве;
   c) в пространстве параметров модели;
   d) в гильбертовом пространстве.
6. Является ли решение математической модели, описывающей импульсно-модуляционный

Согласована на портале № 65983

преобразователь, единственным?
a) нет;
b) только для линейной системы;
c) да;
d) если определитель матрицы системы не нулевой.

7. Как связана импульсная последовательность ШИМ с динамическим режимом работы преобразователя?
a) она однозначно задает режим работы преобразователя;
b) не связана;
c) она определяется видом коммутационно-разрывной функции;
d) она задается формой бифуркационной диаграммы.
8. Что такое бифуркация?
a) изменение формы режима работы системы при изменении какого-то её параметра;
b) предельный аттрактор динамического режима;
c) изменение импульсной последовательности ШИМ режима;
d) раздавленная в прошлом бабочка.
9. Области притяжения режима связаны каким-либо образом с понятием "аттрактор"?
a) они оба располагаются в одном пространстве;
b) никак не связаны;
c) аттрактор и есть режим этой области притяжения;
d) аттрактор определяет сценарий перехода между режимами.
10. Как теория катастроф связана с теорией бифуркаций?
a) через соотношение энергии, высвобождающейся при аварии преобразователя;
b) обе они описывают динамику нелинейных систем;
c) эти теории не связаны;
d) у этих теорий один автор.

9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Класс импульсно-модуляционных полупроводниковых преобразователей электрической энергии, его особенности с точки зрения бифуркационного анализа.
2. Теория устойчивости Ляпунова. Взгляд на линейную и нелинейную математическую модель системы.
3. Теория устойчивости Ляпунова. Мультипликаторы Ляпунова. Критерии устойчивости для линейных систем с точки зрения нелинейной динамики.
4. Нелинейность математических моделей импульсно-модуляционных систем преобразования энергии. Виды нелинейностей, какие особенности динамики они влекут.
5. Параметрический синтез. Пространство параметров системы. Рабочая точка, рабочая область. Понятие бифуркации.
6. Бифуркация, нелинейные (и не единственные) режимы работы импульсно-модуляционной системы.
7. Бифуркационная диаграмма, не единственность режимов работы импульсного преобразователя энергии. Импульсная последовательность, коммутационно-разрывные функции.
8. Области притяжения режима, аттракторы, основные идеи теории катастроф в приложении к динамике импульсного преобразователя.
9. Алгоритм проведения бифуркационного анализа. Построение математической модели силовой цепи преобразователя энергии в разомкнутом виде.
10. Имитационная (САПР) модель импульсно-модуляционного преобразователя в разомкнутом виде.
11. Коммутационно-разрывные функции, описывающие математическую модель системы управления импульсно-модуляционных полупроводниковых преобразователей.
12. Аппаратная и программная реализация системы управления.
13. Проведение вычислительных экспериментов при вариации основных параметров модели, подход к бифуркационным явлениям.
14. Переходный процесс и установившийся режим преобразователя. Построение бифуркационной диаграммы - картина динамических режимов "в целом".
15. Разложение сигнала произвольной формы (в том числе и кусочно-гладкого) в ряд Фурье.

Согласована на портале № 65983

Коэффициенты ряда Фурье, сумма и интеграл Фурье. Спектр сигнала.
16. Преобразование Лапласа. Передаточные функции из теории автоматического управления. Линейные и нелинейные системы.
17. Анализ устойчивости (Ляпунов) динамического режима работы преобразователя. Понятие устойчивости режима (а не системы!). Мультипликаторы Ляпунова.
18. Построение областей устойчивости режима. Чем и почему этот подход отличается от критериев устойчивости из линейной ТАУ. Построение карт динамических режимов и бифуркационных диаграмм.

9.1.3. Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий

1. Непосредственный однотактный преобразователь напряжения с ШИМ понижающего типа
2. Непосредственный однотактныйпреобразователь напряжения с ШИМ повышающего типа
3. Непосредственный однотактный преобразователь напряжения с ШИМ инвертирующего типа
4. Непосредственный однотактный преобразователь напряжения с ШИМ по схеме Кука
5. Непосредственный однотактный преобразователь напряжения с ШИМ двунаправленный
6. Непосредственный однотактный преобразователь напряжения с ШИМ по схеме ZETA
7. Непосредственный однотактный преобразователь напряжения с ШИМ по схеме SEPIC
8. Входной неуправляемый выпрямитель с фильтром нижних частот
9. Входной неуправляемый выпрямитель с высоковольтным фильтром
10. Прямоходовый преобразователь напряжения
11. Обратноходовый преобразователь напряжения
12. Автономный инвертор напряжения
13. Трансформатор напряжения с учетом индуктивности намагничивания и индуктивности рассеивания
14. Биполярный транзистор, включенный по схеме с общим эмиттером
15. Биполярный транзистор, включенный по схеме с общей базой
16. Усилитель по схеме с общим эмиттером на биполярном транзисторе
17. Усилитель по схеме эмиттерный повторитель на базе биполярного транзистора
18. Усилительная схема общий исток на полевом транзисторе
19. Усилительная схема общий сток на полевом транзисторе
20. Автономный инвертор тока

9.1.4. Темы лабораторных работ

1. Построение имитационной (САПР) модели силовой цепи преобразователя энергии (в соответствии с ИЗ) в разомкнутом виде. Изменение параметров цепи. Неединственность решения.
2. Импульсные источники сигнала, описывающие симуляционную функцию (ШИМ) системы управления импульсно-модуляционного полупроводникового преобразователя. Аппаратная и программная реализация системы управления.
3. Проведение вычислительных экспериментов по расчету имитационной (САПР) модели и сравнение полученных решений с результатами математического моделирования. Проведение вычислительных экспериментов при вариации основных параметров модели, подход к бифуркационным явлениям. Переходный процесс и установившийся режим преобразователя.
4. Анализ полученных бифуркационных диаграмм. Построение областей устойчивости и областей притяжения режимов в пространстве параметров модели. Нелинейный взгляд на динамику преобразователя "в целом".

9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком

Согласована на портале № 65983

учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

9.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки

9.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

– в печатной форме;

– в печатной форме с увеличенным шрифтом;

– в форме электронного документа;

– методом чтения ассистентом задания вслух;

Согласована на портале № 65983

– предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

– письменно на бумаге;

– набор ответов на компьютере;

– набор ответов с использованием услуг ассистента;

– представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 65983

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ПрЭ
протокол № 15 от «28» 10 2021 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ПрЭ	С.Г. Михальченко	Согласовано, 706957f1-d2eb-4f94-b533-6139893cfd5a
Заведующий обеспечивающей каф. ПрЭ	С.Г. Михальченко	Согласовано, 706957f1-d2eb-4f94-b533-6139893cfd5a
Начальник учебного управления	Е.В. Саврук	Согласовано, fa63922b-1fce-4a6a-845d-9ce7670b004c

ЭКСПЕРТЫ:

Профессор, каф. ПрЭ	Н.С. Легостаев	Согласовано, 6332ca5f-c16e-4579-bbc4-ee49773dfd8d
Доцент, каф. ПрЭ	Д.О. Пахмурин	Согласовано, ce9e048a-2a49-44a0-b2ab-bc9421935400

РАЗРАБОТАНО:

Заведующий кафедрой промышленной электроники (ПрЭ), каф. ПрЭ	С.Г. Михальченко	Разработано, 706957f1-d2eb-4f94-b533-6139893cfd5a

Согласована на портале № 65983