МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента науки и инноваций
_____ Р. В. Мещеряков
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Математическое моделирование силовых преобразователей

Уровень образования: **высшее образование - подготовка кадров высшей квалификации**
Направление подготовки / специальность: **13.06.01 Электро- и теплотехника**
Направленность (профиль) / специализация: **Силовая электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ПрЭ, Кафедра промышленной электроники**
Курс: **2**
Семестр: **3, 4**
Учебный план набора 2017 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	3 семестр	4 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	18	18	36	часов
2	Практические занятия	18	18	36	часов
3	Всего аудиторных занятий	36	36	72	часов
4	Самостоятельная работа	72	36	108	часов
5	Всего (без экзамена)	108	72	180	часов
6	Общая трудоемкость	108	72	180	часов
		3.0	2.0	5.0	З.Е.

Зачет: 3 семестр
Дифференцированный зачет: 4 семестр

Томск 2018

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шелупанов А.А.
Должность: Ректор
Дата подписания: 31.05.2017
Уникальный программный ключ:
c53e145e-8b20-45aa-9347-a5e4dbb90e8d

Согласована на портале № 36008

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 50 от « 26 » 4 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 13.06.01 Электро- и теплотехника, утвержденного 30.07.2014 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ПрЭ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:
профессор каф. ПрЭ _____ С. Г. Михальченко

Заведующий обеспечивающей каф.
ПрЭ _____ С. Г. Михальченко

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ _____ А. И. Воронин

Заведующий выпускающей каф.
ПрЭ _____ С. Г. Михальченко

Эксперты:

Заведующий аспирантурой _____ Т. Ю. Коротина

Профессор кафедры
промышленной электроники (ПрЭ) _____ Н. С. Легостаев

Согласована на портале № 36008

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины:

– формирование у обучающегося знаний в области математического моделирования устройств силовой электроники и принципов преобразования электрической энергии;

– овладение навыками моделирования, разработки и проведения теоретических и экспериментальных исследований силовых преобразователей электрической энергии, создания новых преобразователей, систем их автоматики, управления и защиты, обладающих высокой энергетической эффективностью, технологичностью, безопасностью в эксплуатации, удовлетворяющих требованиям по защите окружающей среды.

1.2. Задачи дисциплины:

– изучение средств математического моделирования законов преобразования электрической энергии, различных видов модуляции;

– формирование навыков синтеза математических моделей, планирования и проведения численных экспериментов и анализа полученных результатов;

– приобретение опыта интерпретации результатов моделирования и соотнесение их с данными теоретических и экспериментальных исследований силовых преобразователей электрической энергии;

– получение опыта создания новых силовых преобразователей, систем их автоматики, управления и защиты, с повышенными показателями энергоэффективности, технологичности, безопасности и экологичности.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Математическое моделирование силовых преобразователей» (Б1.В.ДВ.1.1) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Информационные и электронные ресурсы в организации научных исследований, Программное и учебно-методическое обеспечение дисциплины, Теория систем и системный анализ.

Последующими дисциплинами являются: Интеллектуальная силовая электроника, Научно-исследовательская деятельность (рассред.), Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена, Подготовка научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени кандидата наук (рассред.), Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности (научная практика), Представление научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации), Силовая электроника.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-4 владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области цифровых систем управления электроэнергетическими потоками.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** (1) методы и средства физического, математического, имитационного и компьютерного моделирования преобразователей электрической энергии; (2) методы структурного и параметрического синтеза с применением средств компьютерного моделирования и сквозного проектирования устройств силовой электроники; (3) численные методы, способы планирования и проведения вычислительного эксперимента, методы верификации результатов, способы интерпретации результатов и соотнесения их с данными физических экспериментальных исследований; (4) методы бифуркационного анализа, представление о динамической устойчивости нелинейных систем преобразования энергии.

– **уметь** (1) синтезировать математические модели физических объектов, в том числе импульсно-модуляционных преобразователей электрической энергии; (2) проводить имитационное и компьютерное моделирование цифровых систем управления потоками энергии в преобразователе; (3) математически описывать различные законы модуляции, управления с учетом методов мягкой коммутации полупроводниковых приборов; (4) планировать численный

Согласована на портале № 36008

эксперимент и исследовать физические объекты посредством имитационного моделирования; (5) верифицировать и интерпретировать результаты и соотносить их с данными физических экспериментальных исследований.

– **владеть** (1) средствами математического описания импульсно-модуляционных преобразователей электрической энергии посредством коммутационно-разрывных функций и модуляционных функций; (2) программными средствами компьютерного моделирования и сквозного проектирования (САПР) электронных схем; (3) методами нелинейной теории автоматического управления, бифуркационного анализа и анализа динамической устойчивости силовых преобразователей; (4) средствами интерпретации полученных данных и анализа результатов.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры	
		3 семестр	4 семестр
Аудиторные занятия (всего)	72	36	36
Лекции	*36*	*18*	*18*
Практические занятия	*36*	*18*	*18*
Самостоятельная работа (всего)	108	72	36
Проработка лекционного материала	*54*	*36*	*18*
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	*54*	*36*	*18*
Всего (без экзамена)	180	108	72
Общая трудоемкость, ч	180	108	72
Зачетные Единицы	5.0	3.0	2.0

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

Названия разделов дисциплины	Лек., ч	Прак. зан., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
3 семестр					
1 Математическая модель импульсно-модуляционного преобразователя в базисе коммутационно-разрывных функций. Этапы синтеза структуры, математическое описание в условиях неопределенности	6	6	24	36	ПК-4
2 Построение решения математической модели импульсно-модуляционного преобразователя на участках непрерывности коммутационной функции. Виды модуляции, математическое описание обратной связи.	6	6	24	36	ПК-4
3 Подходы линейного программирования для существенно нелинейных (жестких) систем. Методы решения экстремальных задач.	6	6	24	36	ПК-4
Итого за семестр	18	18	72	108	

Согласована на портале № 36008

4 семестр					
4 Методы анализа устойчивости (по Ляпунову) нелинейных систем с коммутационно-разрывными функциями. Теория бифуркаций. Теория хаоса.	6	6	12	24	ПК-4
5 Математические основы моделирования переходных процессов в измерительных и управляющих системах. Синтез корректирующих звеньев в условиях нелинейных систем. Методы гармонического анализа.	6	6	12	24	ПК-4
6 Асимптотические методы исследования математических моделей силовых преобразователей электрической энергии.	6	6	12	24	ПК-4
Итого за семестр	18	18	36	72	
Итого	36	36	108	180	

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины (по лекциям)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
3 семестр			
1 Математическая модель импульсно-модуляционного преобразователя в базисе коммутационно-разрывных функций. Этапы синтеза структуры, математическое описание в условиях неопределенности	Термины, определения. Этапы синтеза модели: описание объекта, концептуальная постановка задачи, постановка математической задачи, выбор методов решения, алгоритмизация, проверка адекватности модели. Анализ результатов. Моделирование в условиях неопределенности. Теория нечетких множеств. Стохастические методы - проверка гипотез. Марковские процессы. Хаотизация.	6	ПК-4
	Итого	6	
2 Построение решения математической модели импульсно-модуляционного преобразователя на участках непрерывности коммутационной функции. Виды модуляции, математическое описание обратной связи.	Математическое описание импульсно-модуляционного преобразователя, схема замещения. Построение системы дифференциальных уравнений, описывающих силовую цепь импульсно-модуляционного преобразователя. Математическая модель системы управления. Коммутационные разрывные функции, математическое описание обратной связи. Виды модуляции: широтно-импульсная (ШИМ), амплитудно-импульсная (АИМ), фазово-импульсная (ФИМ), частотно-импульсная (ЧИМ, ЧШИМ), многозонная импульсная модуляция (МИМ) и др. Построение решения СДУ на участках непрерывности коммутационной функции. Алгоритмы поиска и уточнения моментов коммутации. Построение стробоскопического отображения по аналогии с Пуанкаре. Бифуркационная диаграмма.	6	ПК-4

Согласована на портале № 36008

	Итого	6	
3 Подходы линейного программирования для существенно нелинейных (жестких) систем. Методы решения экстремальных задач.	Математическое описание выпуклых множеств в Евклидовом пространстве. Теорема отделимости. Экстремальный анализ, достаточное условие оптимальности. Теорема Лагранжа. Теория линейного программирования, смешанные ограничения. Конечные методы решения задач линейного программирования. Вопросы устойчивости в математическом программировании. Метод штрафных функций. Метод покоординатной (одномерной) минимизации. Релаксационные процессы. Теоремы об оценках. Методы спусков и направлений. Ограничения. Градиентные методы. Метод множителей Лагранжа. Метод модифицированных функций Лагранжа.	6	ПК-4
	Итого	6	
Итого за семестр		18	
4 семестр			
4 Методы анализа устойчивости (по Ляпунову) нелинейных систем с коммутационно-разрывными функциями. Теория бифуркаций. Теория хаоса.	Теория Ляпунова устойчивости движения. Анализ устойчивости для линейных систем (единственное решение). Концепция устойчивости движения для нелинейных систем - множественность решений, устойчивость каждого движения в отдельности. Построение стробоскопического отображения СДУ импульсно-модуляционного преобразователя, по аналогии с Пуанкаре. Алгоритм построения бифуркационной диаграммы. Решение для периодического движения - m-цикла. Построение мультипликаторов Ляпунова для основной матрицы m-цикла. Соотнесение поведения m-цикла и бифуркационных точек. Взаимозависимость решений СДУ между собой, сценарии потери и обретения устойчивости движения, хаотизация.	6	ПК-4
	Итого	6	
5 Математические основы моделирования переходных процессов в измерительных и управляющих системах. Синтез корректирующих звеньев в условиях нелинейных систем. Методы гармонического анализа.	Математические основы моделирования переходных процессов в измерительных и управляющих системах. Синтез корректирующих звеньев в условиях нелинейных систем. Методы гармонического анализа. Спектральный анализ. Полиномиальная и квадратичная (для бигармонического сигнала) аппроксимация ВАХ. Представление выходного сигнала в виде рядов или интегралов Фурье. Тригонометрические ряды, преобразование Фурье, почти периодические функции, ряды Дирихле.	6	ПК-4
	Итого	6	
6 Асимптотические методы исследования математических моделей силовых	Модель разделения движений регулярно возмущенных систем. Теорема Пуанкаре. Разделение движений в модели с малым параметром. Сингулярно возмущенные системы. Теорема Тихонова. Алгоритм	6	ПК-4

Согласована на портале № 36008

преобразователей электрической энергии.	разложения возмущенных систем. Интерпретация результатов моделирования с точки зрения синтеза нормальных структур преобразователя, имеющего единственный устойчивый m-цикл в рабочей области пространства параметров. Построение области нормального движения в пространстве параметров модели. Соотнесение результатов математического моделирования с данными теоретических и экспериментальных исследований силовых преобразователей электрической энергии. Создание нормальных структур силовых преобразователей, систем их автоматики, управления и защиты, с устойчивыми режимами работы и, как следствие, с повышенными показателями энергоэффективности, технологичности, безопасности и экологичности.		
	Итого	6	
Итого за семестр		18	
Итого		36	

5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин					
	1	2	3	4	5	6
Предшествующие дисциплины						
1 Информационные и электронные ресурсы в организации научных исследований	+	+	+	+	+	+
2 Программное и учебно-методическое обеспечение дисциплины	+	+	+		+	
3 Теория систем и системный анализ						+
Последующие дисциплины						
1 Интеллектуальная силовая электроника	+	+	+			+
2 Научно-исследовательская деятельность (рассред.)	+	+	+	+	+	+
3 Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена	+	+	+	+	+	+
4 Подготовка научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени кандидата наук (рассред.)	+	+	+	+	+	+
5 Практика по получению профессиональных умений и опыта	+	+	+	+	+	+

Согласована на портале № 36008

профессиональной деятельности (научная практика)						
6 Представление научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации)	+	+		+	+	+
7 Силовая электроника	+	+	+	+	+	+

5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Компетенции	Виды занятий			Формы контроля
	Лек.	Прак. зан.	Сам. раб.	
ПК-4	+	+	+	Отчет по индивидуальному заданию, Конспект самоподготовки, Тест, Отчет по практическому занятию

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

7. Лабораторные работы

Не предусмотрено РУП.

8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
3 семестр			
1 Математическая модель импульсно-модуляционного преобразователя в базисе коммутационно-разрывных функций. Этапы синтеза структуры, математическое описание в условиях неопределенности	Синтез структуры силового преобразователя импульсно-модуляционного типа по индивидуальному заданию - схема замещения. Задание/ расчет входных и выходных параметров. Построение системы дифференциальных уравнений, описывающих силовую цепь импульсно-модуляционного преобразователя. Математическая модель законов управления коммутационными элементами схемы в виде временных циклов.	6	ПК-4
	Итого	6	
2 Построение решения математической модели импульсно-модуляционного преобразователя на	Математическая модель системы управления силовым преобразователем в базисе коммутационных разрывных функций. Математическое описание обратной связи, выбор и расчет регулятора методами теории автоматического управления для	6	ПК-4

Согласована на портале № 36008

участках непрерывности коммутационной функции. Виды модуляции, математическое описание обратной связи.	линеаризованной модели. Выбор вида модуляции. Построение решения СДУ на участках непрерывности коммутационной функции. Алгоритмы поиска и уточнения моментов коммутации. Построение решения методом установления.		
	Итого	6	
3 Подходы линейного программирования для существенно нелинейных (жестких) систем. Методы решения экстремальных задач.	Приближенное решение системы дифференциальных уравнений с разрывными (коммутационными) функциями методом установления. Бифуркационная диаграмма.Оценка адекватности модели. Построение стробоскопического отображения СДУ импульсно-модуляционного преобразователя, по аналогии с Пуанкаре. Выявление и классификация периодических движений - m-циклов. Алгоритм построения бифуркационной диаграммы.	6	ПК-4
	Итого	6	
Итого за семестр		18	
4 семестр			
4 Методы анализа устойчивости (по Ляпунову) нелинейных систем с коммутационно-разрывными функциями. Теория бифуркаций. Теория хаоса.	Вопрос устойчивости каждого периодического движения в отдельности - m-цикла. Построение мультипликаторов Ляпунова для основной матрицы m-цикла. Соотнесение поведения m-цикла и бифуркационных точек. Взаимозависимость решений СДУ между собой, сценарии потери и обретения устойчивости движения, хаотизация.	6	ПК-4
	Итого	6	
5 Математические основы моделирования переходных процессов в измерительных и управляющих системах. Синтез корректирующих звеньев в условиях нелинейных систем. Методы гармонического анализа.	Моделирование переходных процессов в измерительных и управляющих системах. Синтез корректирующих звеньев в условиях нелинейных систем. Методы гармонического анализа. Спектральный анализ. Адекватность модели. Дрейф характеристик, помехи измерения. Модель динамических погрешностей. Задачи управления.	6	ПК-4
	Итого	6	
6 Асимптотические методы исследования математических моделей силовых преобразователей электрической энергии.	Построение области нормального движения в пространстве параметров модели. Создание нормальных структур силовых преобразователей, систем их автоматики, управления и защиты, с устойчивыми режимами работы и, как следствие, с повышенными показателями энергоэффективности, технологичности, безопасности и экологичности.	6	ПК-4
	Итого	6	
Итого за семестр		18	
Итого		36	

9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Согласована на портале № 36008

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
3 семестр				
1 Математическая модель импульсно-модуляционного преобразователя в базисе коммутационно-разрывных функций. Этапы синтеза структуры, математическое описание в условиях неопределенности	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	12	ПК-4	Конспект самоподготовки, Отчет по индивидуальному заданию, Тест
	Проработка лекционного материала	12		
	Итого	24		
2 Построение решения математической модели импульсно-модуляционного преобразователя на участках непрерывности коммутационной функции. Виды модуляции, математическое описание обратной связи.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	12	ПК-4	Конспект самоподготовки, Отчет по индивидуальному заданию, Тест
	Проработка лекционного материала	12		
	Итого	24		
3 Подходы линейного программирования для существенно нелинейных (жестких) систем. Методы решения экстремальных задач.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	12	ПК-4	Конспект самоподготовки, Отчет по индивидуальному заданию, Тест
	Проработка лекционного материала	12		
	Итого	24		
Итого за семестр		72		
4 семестр				
4 Методы анализа устойчивости (по Ляпунову) нелинейных систем с коммутационно-разрывными функциями. Теория бифуркаций. Теория хаоса.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-4	Конспект самоподготовки, Отчет по индивидуальному заданию, Тест
	Проработка лекционного материала	6		
	Итого	12		
5 Математические основы моделирования переходных процессов в	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-4	Конспект самоподготовки, Отчет по индивидуальному заданию, Тест

Согласована на портале № 36008

измерительных и управляющих системах. Синтез корректирующих звеньев в условиях нелинейных систем. Методы гармонического анализа.	Проработка лекционного материала	6		
	Итого	12		
6 Асимптотические методы исследования математических моделей силовых преобразователей электрической энергии.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-4	Конспект самоподготовки, Отчет по индивидуальному заданию, Тест
	Проработка лекционного материала	6		
	Итого	12		
Итого за семестр		36		
Итого		108		

10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

Рейтинговая система не используется.

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Морозов Виктор Михайлович, Системное моделирование и методы исследования математических моделей / Морозов В.М. - М.: КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 243 с.: 60x90 1/16 ISBN 978-5-906818-32-4 [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=544536 (дата обращения: 12.07.2018).

2. Карманов Владимир Георгиевич, Математическое программирование [Электронный ресурс] : Учебное пособие / В. Г. Карманов. - 6-е изд., испр. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 264 с. - ISBN 978-5-9221-0983-3. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=544747 (дата обращения: 12.07.2018).

3. Учебное пособие «Основы математического моделирования»: Для направления подготовки 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» / Зариковская Н. В. - 2012. 247 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/4601 (дата обращения: 12.07.2018).

12.2. Дополнительная литература

1. Компьютерное моделирование и проектирование [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Саликаев Ю. Р. - 2012. 94 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/2548 (дата обращения: 12.07.2018).

2. Моделирование процессов управления в интеллектуальных измерительных системах / Капля Е.В., Кузеванов В.С., Шевчук В.П. - М. [Электронный ресурс]: Физматлит, 2009. - 512 с. ISBN 978-5-9221-1131-7 - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=544737 (дата обращения: 12.07.2018).

3. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов / Казарян М.Л., Музаев И.Д., Гиоева Е.Г. - М.НИЦ ИНФРА-М, 2018. - 150 с. 60x90 1/16 ISBN 978-5-16-106772-7 - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=972756 (дата обращения: 12.07.2018).

4. Кобелев, Н. Б. Качественная теория больших систем и их имитационное моделирование [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]: пособие для разработчиков имитационных моделей и пользователей / Н. Б. Кобелев. - М. Принт Сервис, 2009. - 85 с. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=414753 (дата обращения: 12.07.2018).

Согласована на портале № 36008

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Математическое моделирование силовых электротехнических устройств [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие для проведения практических занятий и самостоятельной работы / С. Г. Михальченко; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра промышленной электроники – Томск ТУСУР, 2018. – 26 с. прил. – Библиогр. с. 21. - Режим доступа: http://ie.tusur.ru/docs/msg/mmseu_ump.pdf (дата обращения: 12.07.2018).

12.3.2. 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:

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Электронно-библиотечная система ZNANIUM.COM − http://www.znanium.com/
2. Научная электронная библиотека Elibrary.ru http://elibrary.ru/
3. База данных электронных изданий IEEE Xplore https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
4. Информационные, справочные и нормативные базы данных ТУСУР: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh

12.5. Периодические издания

1. IEEE Transactions on Power Electronics // Published by IEEE Power Electronics Society // ISSN: 0885-8993 [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=63 (дата обращения: 01.07.2018).
2. IEEE Transactions on Industrial Electronics // Published by: IEEE Industrial Electronics Society // ISSN: 0278-0046 [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=41 (дата обращения: 01.07.2018).

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

13.1.1. 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 количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Вычислительная лаборатория

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)

Согласована на портале № 36008

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 201б ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Персональные компьютеры (16 шт.);
- Интерактивная доска – «Smart-board» DViT (1 шт.);
- Мультимедийный проектор NEC (1 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Adobe Acrobat Reader
- Asimec
- Far Manager
- Google Chrome
- LTspice 4
- LibreOffice
- Mathworks Matlab
- Mathworks Simulink 6.5
- Maxima
- Microsoft Visio 2013
- Microsoft Visual Studio
- PTC Mathcad13, 14
- STDU viewer 1.6.375
- Texmaker
- WinDjView
- Windows XP

13.1.3. 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, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

13.2. 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 зрениями** предусмотрено использование в

Согласована на портале № 36008

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 людей с инвалидностью.

14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

14.1.1. Тестовые задания

1. Асимптотой математической модели называется
   - линейная модель в пределе приближающаяся к исходной;
   - прямая, стремящаяся к нулю на бесконечности;
   - математическая модель, сходящаяся с течением времени;
   - математическая модель, расходящаяся с течением времени.

2. Эксперимент, в котором задействуются только математические и/или имитационные модели, носит название
   - физического эксперимента;
   - математического эксперимента;
   - технического эксперимента;
   - вычислительного эксперимента.

3. Как называется процесс разбиения объекта или системы на взаимосвязанные элементы и установка характера связей между ними?
   - агрегирование;
   - декомпозиция;
   - идентификация;
   - постановка задачи моделирования.

4. Случайный процесс называется марковским, если:
   - для любого момента времени вероятностные характеристики процесса в будущем не зависят от его состояния в данный момент, а зависят от того, когда и как система пришла в это состояние;
   - для любого момента времени вероятностные характеристики процесса в прошлом зависят только от его состояния в данный момент и не зависят от того, когда и как система пришла в это состояние;
   - для любого момента времени вероятностные характеристики процесса в будущем зависят только от его состояния в данный момент и не зависят от того, когда и как система пришла в это состояние;
   - для будущего момента времени вероятностные характеристики процесса не зависят от его состояния в данный момент стационарный случайный процесс.

5. Процесс поиска значений параметров модели, при которых она адекватно описывает процессы, протекающие в реальном объекте, называется
   - повышением мобильности;
   - повышением быстродействия;
   - повышением адекватности;
   - повышением наглядности.

6. Устройства, осуществляющие измерение текущих значений наблюдаемых переменных, называются
   - измерительные устройства;

Согласована на портале № 36008

- исполнительные устройства;
- управляющие устройства;
- возмущающие устройства.

7. Вид моделирования, предполагающий формирование и решение системы алгебро-дифференциальных уравнений, составленной из компонентных и топологических уравнений, называется
- натурным моделированием;
- математическим моделированием;
- физическим моделированием;
- имитационным моделированием.

8. Градиентные методы поиска экстремума основаны на
- интегрировании ошибки вычислений;
- свойствах дифференциала системы уравнений;
- суммировании ошибки по каждому направлению.

9. Устройства, осуществляющие энергетические воздействия на объект, пропорциональные сигналам устройства управления, носят название
- измерительных устройств;
- исполнительных устройств;
- управляющих устройств;
- возмущающих устройств.

10. Методом Монте-Карло называют:
- численные методы решения математических задач при помощи моделирования дискретных величин;
- аналитический метод решения математических задач при помощи системы дифференциальных уравнений;
- численные методы решения математических задач при помощи моделирования случайных величин;
- аналитический метод решения математических задач при помощи системы алгебраических линейных уравнений.

11. Модулем комплекса программ, осуществляющих интерпретацию модели с графического языка в машинный язык, является
- транслятор;
- вычислитель;
- интерпретатор;
- редактор.

12. Системой массового обслуживания называют:
- системы, предназначенные для решения однотипных задач;
- системы, предназначенные для многоразового использования при решении однотипных задач;
- системы, предназначенные для однократного решения однотипных задач;
- системы, предназначенные для обслуживания облачных потребителей.

13. Почему для линейных систем рассматривается вопрос об устойчивости системы, а для нелинейных – устойчивости состояния (равновесия) системы или режима ее работы? Потому что для линейных систем (в отличие от нелинейных) справедлив принцип
- детерминизма;
- адаптивности;
- суперпозиции.

14. С точки зрения автоматизации систем управления существуют ли различия между терминами «управление» и «передача информации»?
- да, существуют;
- нет, это синонимы.

Согласована на портале № 36008

15. Цель линеаризации математической модели состоит в

- сведении системы к первому порядку;
- получении точного решения системы;
- размыкании обратных связей замкнутой системы;
- методе линейного программирования.

16. Соотношение понятий «оптимизация» и «адаптация» в теории управления состоит в следующем:

- эти понятия являются синонимами;
- термин «оптимизация» является более общим по сравнению с понятием «адаптация»;
- термин «адаптация» является более общим по сравнению с понятием «оптимизация»;
- понятия «адаптация» и «оптимизация» соотносятся также как понятия «цель» и «средство».

17. Что является неотъемлемыми атрибутами задачи линейного экстремального анализа?

- модель, целевая функция, ограничения, выпуклость множества параметров;
- модель, целевая функция, ограничения, начальные условия;
- модель, целевая функция, выпуклость множества параметров;
- модель, ограничения, выпуклость множества параметров, начальные условия.

18. Точное решение математической модели, описывающей динамику нелинейной системы при фиксированных параметрах

- всегда устойчиво;
- никогда не устойчиво;
- система может обладать как устойчивыми, так и неустойчивыми решениями.

19. Принципиальное отличие интеллектуальных систем управления от других типов САУ состоит в следующем:

- ИСУ обладают искусственным интеллектом;
- ИСУ обладают свойством «интеллектуальности в малом»;
- ИСУ обладают свойством «интеллектуальности в большом»;
- внешняя среда для ИСУ является не только источником возмущений, но и источником информации.

20. Бифуркационным называется явление, в котором при изменении параметров системы происходит

- количественное изменение выходных значений сигнала по амплитуде;
- количественное изменение выходных значений сигнала по фазе;
- качественное изменение выходного сигнала по форме (топологии);
- изменение будущего состояния сигнала в зависимости от изменения его в прошлом.

14.1.2. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

1. Моделирование в условиях неопределенности. Приближенные числа. Погрешности арифметических действий.
2. Приближенное решение алгебраических уравнений.
3. Приближенное решение нелинейных уравнений. Оценка адекватности модели.
4. Решение экстремальной задачи на выпуклом множестве в Евклидовом пространстве. Задача линейного программирования. Смешанные ограничения, целевая функция.
5. Модель регулируемой системы. Задача стабилизации из раздела "Численные методы линейной алгебры». Приближенное решение системы нелинейных уравнений.
6. Приближение функций, численное дифференцирование. Адекватность модели. Дрейф характеристик, помехи измерения. Модель динамических погрешностей. Задачи управления.
7. Численное интегрирование, численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений и интегральные уравнения.
8. Модель разделения движений регулярно возмущенных систем. Алгоритм разложения возмущенных систем.

Согласована на портале № 36008

14.1.3. Темы индивидуальных заданий

1. Основные задачи математического моделирования структур силовых преобразователей
2. Основные принципы построения математических моделей электротехнического объекта
3. Методы построения моделей объектов с разрывными функциями в правой части дифференциальных уравнений
4. Основные компоненты алгоритмов функционирования систем управления коммутационными элементами
5. Математическое описание видов импульсной модуляции и коммутационных функций
6. Примеры использования математического моделирования объектов и систем управления в промышленности, научных исследованиях и учебном процессе
7. Алгоритм декомпозиции сложной системы в рамках системного анализа
8. Этапы построения математической модели, сценарий перехода к имитационному эксперименту
9. Математическая модель процесса управления ключами силового преобразователя
10. Нелинейная теория динамической устойчивости решения нелинейной системы уравнений

14.1.4. Вопросы на самоподготовку

- Этапы синтеза модели: описание объекта, концептуальная постановка задачи
- Постановка математической задачи
- Выбор методов решения, алгоритмизация
- Проверка адекватности модели.
- Анализ результатов. Системный анализ.
- Моделирование в условиях неопределенности.
- Теория нечетких множеств.
- Стохастические методы - проверка гипотез.
- Марковские процессы.
- Хаотизация.
- Математическое описание выпуклых множеств в Евклидовом пространстве.
- Теорема отделимости.
- Экстремальный анализ, достаточное условие оптимальности.
- Теорема Лагранжа.
- Теория линейного программирования, смешанные ограничения.
- Конечные методы решения задач линейного программирования.
- Вопросы устойчивости в математическом программировании.
- Метод штрафных функций.
- Метод покоординатной (одномерной) минимизации.
- Релаксационные процессы.
- Теоремы об оценках.
- Методы спусков и направлений.
- Ограничения. Градиентные методы.
- Метод множителей Лагранжа.
- Метод модифицированных функций Лагранжа
- Модели роста, хищник-жертва
- Модели хаотических колебаний
- Аттрактор Лоренца.
- Регулятор. Задачи стабилизации.

Согласована на портале № 36008

- Математические модели измерительной информации. Адекватность модели.
- Дрейф характеристик, помехи измерения.
- Модель динамических погрешностей.
- Модель линеаризации.
- Моделирование измерительной информации в реальном масштабе времени.
- Модель разделения движений регулярно возмущенных систем.
- Теорема Пуанкаре.
- Метод Ван-дер-Поля.
- Методы линеаризации, осреднения.
- Разделение движений в модели с малым параметром.
- Сингулярно возмущенные системы. Теорема Тихонова.
- Алгоритм разложения возмущенных систем.

14.1.5. Зачёт

1. Задачи функционального проектирования управляемых систем преобразования энергии
2. Формализованное представление импульсно-модуляционного преобразователя энергии
3. Структура компьютерной модели управляемых систем преобразования энергии
4. Алгоритм автоматизированного эксперимента над сложными технологическими управляемыми системами
5. Назначение метода коммутационных разрывных функций
6. Методика построения решения системы уравнений, описывающих импульсно-модуляционную систему на участках непрерывности коммутационной функции
7. Алгоритм поиска моментов коммутации
8. Принципы построения импульсной последовательности для разных видов импульсной модуляции
9. Вычислительная модель сложной технологической управляемой системы
10. Принципы построения импульсной последовательности для разных преобразователей
11. Многоуровневая компонентная цепь сложной технологической управляемой системы
12. Методика формирования решения в узлах импульсной последовательности
13. Правила формирования математико-алгоритмических конструкций
14. Принцип, методика построения бифуркационной диаграммы
15. Методы анализа устойчивости решения нелинейного импульсного преобразователя
16. Построение стробоскопического отображения
17. Представление алгоритмов решения задач многовариантного анализа
18. Представление алгоритмов параметрической оптимизации
21. Средства сопряжения многоуровневой компьютерной модели с реальным техническим (технологическим) объектом
19. Теория устойчивости Ляпунова для линейных и нелинейных систем
20. Концепция устойчивости Ляпунова для периодических решений. Устойчивость m-цикла.

14.1.6. Вопросы дифференцированного зачета

1. Алгоритмы моделирования случайных величин.
2. Алгоритм моделирования случайного гауссовского вектора в задаче вычисления многомерного интеграла методом Монте Карло.
3. В чем состоит основная идея математического анализа устойчивости линейных и нелинейных систем?
4. В чем состоит метод описания импульсно-модуляционной системы при помощи коммутационных разрывных функций
5. Математические модели замкнутых следящих систем с нелинейным дискриминатором.
6. Система слежения за временным положением сигнала.
7. Анализу какого явления посвящена теория Ляпунова?

Согласована на портале № 36008

8. Система фазовой автоподстройки частоты.

9. Типы импульсной модуляции и их математические модели.

10. Методы статистической теории проверки гипотез в задаче экспериментальной оценки адекватности математических моделей.

11. Функциональные модели для комплексной огибающей сигнала.

12. Опишите процесс бифуркации сложной динамической системы. Как он связан с теорией устойчивости?

13. Опишите задачу моделирования случайной величины с заданной плотностью распределения вероятностей.

14. Типы математический моделей функциональных блоков силового преобразователя, сигналов и помех.

15. Опишите принципы формирования импульсной последовательности управления силовыми ключами.

16. Объясните свойства марковского случайного сигнала.

17. Запишите соотношения, определяющие математическую модель линейной динамической системы в форме системы разностных уравнений для переменных состояния.

18. Запишите соотношения, определяющие математическую модель линейной динамической системы на основе дискретной аппроксимации соотношения, определяющего связь выхода и входа этой системы во временной области.

19. Опишите механизм потери устойчивости сложной динамической системы.

20. Запишите соотношения, определяющие математическую модель линейной динамической системы на основе дискретной аппроксимации соотношения, определяющего связь выхода и входа этой системы в частотной области.

14.2. 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 14.

Таблица 14 – 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 исходя из состояния обучающегося на момент проверки

14.3. 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 № 36008

– 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 № 36008