

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о подписи:
ФИО: Вишневский Дмитрий Александрович
Должность: Ректор
Дата подписания: 30.04.2025 11:55:50
Уникальный программный ключ:
03474917c4d012283e5ad186e4f8a6e70bffc057

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ДонГТУ»)

Факультет информационных технологий и автоматизации
производственных процессов
Кафедра электроники и радиофизики



УТВЕРЖДАЮ
И. о. проректора по учебной работе

Д.В. Мулов

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Системы управления устройствами силовой электроники
(наименование дисциплины)

2.4.1 Теоретическая и прикладная электротехника
(шифры научных специальностей, наименование научных специальностей)

Квалификация _____
Форма обучения очная

Алчевск, 2024

1 Цели и задачи изучения дисциплины

Цель дисциплины. Целью освоения дисциплины является дать аспирантам углублённые знания и сформировать у слушателей научный подход к решению проблемы управления различными устройствами силовой электроники (УСЭ).

Задачи изучения дисциплины:

- ознакомление с современными концепциями и принципами построения систем управления УСЭ;
- приобретение профессиональных знаний о современных аппаратных средствах, применяемых для создания систем управления УСЭ;
- приобретение опыта алгоритмизации задач управления устройствами силовой электроники;
- освоение средств программирования и отладки современных микропроцессоров и приобретение опыта применения их для построения систем управления УСЭ.

2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Логико-структурный анализ дисциплины: дисциплина «Системы управления устройствами силовой электроники» относится к элективным дисциплинам Блока 2 «Образовательный компонент» образовательной программы, направлена на повышение компетенций обучающихся по всем специальностям подготовки научных и научно-педагогических кадров в ФГБОУ ВО «ДонГТУ».

Дисциплина реализуется кафедрой электроники и радиофизики.

Основывается на базе дисциплин, изученных в результате освоения предшествующих программ бакалавриата, специалитета и магистратуры.

Является основой для изучения следующих дисциплин: Педагогическая практика, производственная практика (научно-исследовательская работа), Научная деятельность аспиранта, направленная на выполнение диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, Подготовка публикаций и (или) заявок на патенты на изобретения, полезные модели, а также направлена на формирование компетенций по способности использовать знания в различных сферах жизнедеятельности, способности к изучению и анализу исследовательской деятельности, способности к научно-методическому сопровождению исследовательской деятельности, способности к ведению преподавательской деятельности.

Дисциплина читается на 1 курсе, во 2 семестре. Форма промежуточной аттестации – дифференцированный зачет.

3 Объём и виды занятий по дисциплине

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (36 ч.), практические (36 ч.) занятия и самостоятельная работа (72 ч.).

Самостоятельная работа аспиранта включает проработку материалов лекций, подготовку к практическим занятиям, текущему контролю, выполнение индивидуального задания, самостоятельное изучение материала и подготовку к зачету.

При организации внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине используются формы и распределение бюджета времени на самостоятельную работу аспиранта в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Распределение бюджета времени на самостоятельную работу аспиранта

Вид учебной работы	Всего ак.ч.	Ак.ч. по семестрам
		2
Аудиторная работа, в том числе:	72	72
Лекции (Л)	36	36
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	-	-
Курсовая работа/курсовой проект	-	-
Самостоятельная работа аспирантов, в том числе:	72	72
Подготовка к лекциям	8	8
Подготовка к лабораторным работам	-	-
Подготовка к практическим занятиям / семинарам	36	36
Выполнение курсовой работы / проекта	-	-
Расчетно-графическая работа (РГР)	-	-
Реферат (индивидуальное задание)	-	-
Домашнее задание	16	16
Подготовка к контрольной работе	-	-
Подготовка к коллоквиуму	-	-
Аналитический информационный поиск	-	-
Работа в библиотеке	4	4
Подготовка к зачету	8	8
Промежуточная аттестация – диф. зачет (Дз)	Дз	Дз
Общая трудоемкость дисциплины		
	ак.ч.	144
	з.е.	4

4 Содержание дисциплины

Дисциплина разбита на 4 темы:

- тема 1 (Методы и системы управления вентильными преобразователями);
- тема 2 (Аналоговая и цифровая элементарная база систем управления);
- тема 3 (Микроконтроллеры в системах управления устройствами силовой электроники);
- тема 4 (Нечеткое управление и нейронные сети).

Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
1	Методы и системы управления вентильными преобразователями	Требования к системам управления. Структура СУ. Многоканальные и одноканальные системы управления. Особенности управления короткими импульсами. Управление преобразователями с ШИР.	8	Моделирование системы одноканального управления инвертором. Моделирование системы управления преобразователем с ШИМ	8	–	–
2	Аналоговая и цифровая элементарная база систем управления	Основы проектирование аналоговых и цифровых узлов и устройств. Логические функции и их реализация. Основные узлы и блоки цифровых устройств управления. Цифровые автоматы, типы и реализация.	10	Синтез устройства управления УСЭ на основе конечных автоматов. Освоение системы программирования и отладки микропроцессорной системы MPLAB.	10	–	–
3	Микроконтроллеры в системах управления устройствами силовой электроники	Современные микроконтроллеры: структура и организация. Аппаратные ресурсы. Система команд. Программирование микроконтроллеров. Алгоритмизация задач управления	10	Разработка программ управления УСЭ и их отладка в MPLAB	10	–	–

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
		устройствами силовой электроники. Средства отладки и программирования микроконтроллеров.					
4	Нечеткое управление и нейронные сети	Нечеткие множества. Структура систем нечеткого управления.	8	Реализация системы управления на основе ПЛИС 1	8	–	–
Всего аудиторных часов			36		36	–	

5 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

5.1 Критерии оценивания

В соответствии с Положением о кредитно-модульной системе организации образовательного процесса ФГБОУ ВО «ДонГТУ» (https://dontu.ru/images/structure/license_certificate/polog_kred_modul.pdf) при оценивании сформированности компетенций по дисциплине используется 100-балльная шкала.

Всего по текущей работе аспирант может набрать 100 баллов, в том числе:

- за выполнение практического задания согласно таблице 2 рабочей программы (по выбору аспиранта) – всего 40 баллов;
- за выполнение домашнего задания – всего 60 баллов.

Дифференцированный зачет проставляется автоматически, если аспирант набрал в течении курса не менее 60 баллов и отчитался за каждую контрольную точку. Минимальное количество баллов по каждому из видов текущей работы составляет 60% от максимального.

Дифференцированный зачет по дисциплине «Системы управления устройствами силовой электроники» проводится по результатам работы за курс. В случае, если полученная сумма баллов не устраивает аспиранта, во время промежуточной аттестации аспирант имеет право повысить итоговую оценку в форме устного собеседования.

Шкала оценивания знаний при проведении промежуточной аттестации приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Шкала оценивания знаний

Сумма баллов за все виды учебной деятельности	Оценка по национальной шкале зачёт/экзамен
1-59	Не зачтено/неудовлетворительно
60-73	Зачтено/удовлетворительно
74-89	Зачтено/хорошо
90-100	Зачтено/отлично

5.2 Домашнее задание

Домашнее задание №1:

- 1) Приведите силовую схему импульсного регулятора постоянного напряжения (ИРПН) в соответствии с данными таблицы 4.

- 2) Рассчитайте и выберите элементы схемы.
- 3) Предложите схему системы управления таким ИРПН.
- 4) Опишите принцип действия этих схем, иллюстрируя ответ временными диаграммами токов и напряжений.

Таблица 4

Номер варианта	1, 21	2, 22	3, 7, 23	4,10, 24	5, 25	11, 16	12, 17	9,13, 18	8,14, 19	6,15, 20
Тип ИРПН	I	II	III	IV	V	VI	I	III	VII	IV
Входное напряжение, В; $\pm 10\%$	100	200	24	400	100	36	24	12	50	200
Выходное напряжение, В	60	400	24	200	36	100	12	24	12	110
Номинальный выходной ток, А	10	0,5	5	63	10	2	25	12	12	50
Коэффициент пульсации выходного напряжения	Не более 5%									

Примечания: I – понижающий ИРПН; II – повышающий ИРПН;
 III – инвертирующий ИРПН; IV – многофазный понижающий ИРПН; V – прямоходовой одноктактный ИРПН; VI – обратходовой одноктактный ИРПН;
 VII – реверсивный ИРПН.

Домашнее задание №2:

1) Для трехфазного мостового АИН, выполненного на полностью управляемых ключах, предложите алгоритм управления, позволяющий сформировать на полупериоде однополярную кривую выходного напряжения способом широтно-импульсной модуляции.

2) Приведите функциональную схему системы управления, которая реализует этот алгоритм.

3) Опишите принцип действия СУ и силовой схемы АИН, иллюстрируя ответ временными диаграммами напряжений. Диаграммы фазного и линейного напряжений на нагрузке обязательны (см. табл. 5).

4) Проведите приближенный анализ гармонического состава линейного напряжения на нагрузке при $\alpha=10$ эл. град.

Таблица 5

Номер варианта	1, 11	2, 12	3, 13	4, 14	5, 15	6,16, 25	7,17, 21	8,18, 22	9,19, 23	10,20, 24
Количество импульсов в кривой линейного напряжения	4	8	12	8	4	6	8	12	4	12

Домашнее задание №3:

- 1) Опишите принцип действия трехфазного АИТ и соответствующий способ регулирования (стабилизации) его выходного напряжения.
- 2) Данный приведены в таблице 6
- 3) Ответ иллюстрируйте временными и векторными диаграммами.

Таблица 6

Номер варианта	1, 5, 8, 12, 15, 19, 22	2, 7, 9, 14, 16, 21, 23	3, 6, 10, 13, 17, 20, 24	4, 11, 18, 25
Регулирование (стабилизацию) выходного напряжения выполнить с помощью	Обратного неуправляемого выпрямителя	Индуктивно-тиристорного компенсатора	Обратного управляемого выпрямителя	Перемены напряжения питания

Домашнее задание №4:

- 1) Выберите тип АИР который, по вашему мнению, более всего удовлетворяет заданным условиям.
- 2) Изобразите его силовую схему, рассчитайте и выберите элементы этой схемы.
- 3) Кратко опишите область применения и принцип действия, иллюстрируя ответ временными диаграммами токов и напряжений.
- 4) Приведите схему систему управления такого инвертора (без системы автоматического регулирования).

Таблица 7

Номер варианта	1,12	2, 13, 23	3, 14, 24	4,15, 25	5, 16	6, 17	7, 18	8, 19	9, 20	10,21	11,22
Выходная частота,кГц	0.5	1.2	1.0	0.8	2.0	1.5	1.4	0.5	0.8	0.6	1.0
S, кВА	0.400	0.500	0.800	1.0	0.400	0.500	0.800	1.0	0.400	0.500	0.800
Пределы изменения выходной мощности	75-125 %										
cosφ	0.5	0.6	0.7	0.8	0.7	0.6	0.5	0.75	0.85	0.4	0.5

5.3 Темы рефератов

Тема 1. Общие свойства импульсных систем

1. Импульсная модуляция.
2. Идеальные и реальные параметры импульсов.

3. Основные отличительные характеристики полупроводниковых источников питания.

4. основные критерии оценки качества сигналов с импульсной модуляцией.

Тема 2. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ)

1. Методы реализации и разновидности ШИМ, ее свойства.
2. Интегральные характеристики ШИМ.
3. Спектральные характеристики ШИМ.
4. Методы реализации и разновидности АИМ, ее свойства.

Тема 3. Особенности управления резонансными преобразователями

1. Частотная модуляция (ЧМ)
2. Фазовая модуляция (ФМ)
3. Плотностно-импульсная модуляция (ПИМ)

Тема 4. Многозонная импульсная модуляция (МИМ).

1. Методы реализации и разновидности МИМ.
2. Основные характеристики воспроизведения сигналов в системах с МИМ.
3. Прохождение сигналов с импульсной модуляцией через фильтрующие цепи.

5.4 Перечень вопросов и заданий для подготовки к дифференцированному зачету

- 1) Какой метод аналого-цифрового преобразования является наиболее быстродействующим?
- 2) Что такое функционально полный логический базис?
- 3) Образуют ли элементы И-НЕ(ИЛИ-НЕ) функционально полный базис?
- 4) Объясните функции дешифраторов и мультиплексоров. Нарисуйте схему 3-х канального дешифратора на элементах И, ИЛИ.
- 5) Постройте схему 3-х канального мультиплексора на элементах И-НЕ.
- 6) Чем отличается D-триггер от JK-триггера?
- 7) Изобразите схему байтного регистра на RS-триггерах.
- 8) Изобразите схему байтного счетчика и поясните как он функционирует.
- 9) Чем отличается автомат Мура от автомата Милли?
- 10) Синтезируйте схему 6-канального конечного автомата,

вырабатывающего последовательность импульсов для управления 3-х фазным мостовым инвертором.

- 11) Что такое “гонки” в автоматах и как устранить такое явление?
- 12) Что такое RISC-архитектура микроконтроллеров?
- 13) Как организована память данных и память программ в PIC-микроконтроллерах?
- 14) Какие основные функции выполняют регистры специальных функций в PIC-микроконтроллерах?
- 15) Назначение и функции портов ввода-вывода информации?
- 16) Чем объясняется необходимость мультиплексирования большинства контактов ввода-вывода в микроконтроллерах?
- 17) Зачем нужны таймеры?
- 18) Какие применяются меры защиты микроконтроллеров, работающих в условиях сильных электромагнитных полей?
- 19) Каким образом осуществляется гальваническая развязка системы управления от силовой схемы вентильного преобразователя?
- 20) По какому признаку различают систему управления с “узкими” и “широкими” импульсами?
- 21) Каким образом за счет системы управления инвертором напряжения обеспечиваются формирование практически синусоидального тока нагрузки?
- 22) Из каких блоков состоит синхронная многоканальная “вертикальная” система управления?
- 23) В чем преимущество одноканальной системы управления перед многоканальной?
- 24) В чем особенности управления реверсивным вентильным преобразователем на тиристорах?
- 25) В чем особенности управления узким импульсом трехфазным мостовым выпрямителем?
- 26) Какие особенности у следящих систем управления широтно-импульсными преобразователями?
- 27) Какие типы преобразователей могут быть построены на основе инвертора напряжения с ШИМ?
- 28) Зачем частота коммутации в инверторе напряжения с ШИМ моделируется по случайному закону?
- 29) Когда рационально применение системы управления с нечеткой логикой?
- 30) Что определяет функция принадлежности?

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1 Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Негадаев, В. А. Силовая электроника : учеб. пособие / В. А. Негадаев; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. — Кемерово, 2020. — 125 с. — URL: <https://obuchalka.org/20211019137602/silovaya-elektronika-negadaev-v-a-2020.html> (дата обращения: 30.08.2024).

2. Фролов, В. Я. Устройства силовой электроники и преобразовательной техники с разомкнутыми и замкнутыми системами управления в среде Matlab — Simulink: учебное пособие / В.Я. Фролов, В. В. Смородинов. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 332 с. — ISBN 978-5-8114-2583-9. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212921> (дата обращения: 30.08.2024).

3. Розанов, Ю. К. Силовая электроника : учебник и практикум для вузов / Ю. К. Розанов, М. Г. Лепанов ; под редакцией Ю. К. Розанова. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 206 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-9440-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/489539> (дата обращения 30.08.2024 г.)

Дополнительная литература

1. Харасов, Х.К. Энергосберегающая энергетическая электроника: учебное пособие / Х.К. Харасов, В.П. Мартынов – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – 49 с. URL: https://lib.susu.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000564839&dtype=F&etype=.pdf (дата обращения: 30.08.2024).

2. Забродин, Ю.С. Промышленная электроника: учебник для студ. энерг. и электротехн. спец. вузов / Ю.С. Забродин. М.: Высшая шк., 1982. – 496 с.

3. Попков, О.З. Основы преобразовательной техники : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнология" / О.З. Попков. 3-е изд., стер. М.: МЭИ, 2010. – 200 с.

4. Розанов, Ю.К. Основы силовой преобразовательной техники: учебник для техникумов / Ю.К. Розанов. М.: Энергия, 1979. – 392 с.

5. Руденко, В.С. Основы преобразовательной техники: учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. "Промышленная электроника" / В.С. Руденко, В.И. Сенько, И.М. Чиженко. 2-е изд., перераб.и доп. М.: Высшая шк., 1980. – 424 с.

6.2 Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Научная библиотека ДонГТУ: официальный сайт. — Алчевск. — URL: library.dstu.education. — Текст: электронный.
2. Научно-техническая библиотека БГТУ им. Шухова: официальный сайт. — Белгород. — URL: <http://ntb.bstu.ru/jirbis2/>. — Текст: электронный.
3. Консультант студента : электронно-библиотечная система. — Москва. — URL: <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. — Текст: электронный.
4. Университетская библиотека онлайн: электронно-библиотечная система. — URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red. — Текст: электронный.
5. IPR BOOKS : электронно-библиотечная система. — Красногорск. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/>. — Текст: электронный.
6. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования <http://www.fgosvo.ru/>
7. Сайт Национального фонда профессиональных квалификаций (НФПК) <http://univer.ntf.ru/p82aa1.html>
8. Сайт Проекта 5/100 <https://5top100.ru/>
9. Сайт опорных университетов <http://опорныйуниверситет.рф/>
10. Сайты ведущих университетов РФ

7 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническая база обеспечивает проведение всех видов деятельности в процессе обучения, соответствует требованиям ФГТ ВО.

Материально-техническое обеспечение представлено в таблице 8.

Таблица 8 – Материально-техническое обеспечение

Наименование оборудованных учебных кабинетов	Адрес (местоположение) учебных кабинетов
<p>Специальные помещения: <i>Лаборатории силовой электроники и автоматизированных систем управления</i> Агрегат ТЕРЧ-200/23АН-1-2УХ-Ч1-82 (1 шт.); Электропривод ЭКТ2Д (1 шт.); Генератор сигналов Г-36А (6 шт.); Прибор Л2-56А – измеритель характеристик п/п приборов малой и большой мощности (1 шт.); Прибор для исследования АЧХ (1 шт.); Вольтметр универсальный В7-35 (7 шт.); Осциллограф С1-93 (6 шт.); Осциллограф С1-83 (1 шт.); Универсальный исследовательский лабораторный стенд (7 шт.); Приборы измер. К4822 (6 шт.).</p>	<p>ауд. <u>211</u> корп. <u>3</u></p>
<p><i>Компьютерного класса</i> ПТК AMD AthlonX2 255 (4 шт.); С/б Sempron 140 2.71 (1 шт.), монитор Hanns'g (1 шт.); ПТК Intel Celeron E3300 2,5 ГГц (3 шт.); ПТК AMD Athlon 64×2 360 (1 шт.); ПТК AMD Athlon (1 шт.); ПТК Intel Celeron 1.60 GHz (1 шт.); ПТК AMD Athlon 64×2 5200+ (1 шт.); ПТК IntelCore 2Duo E7500 (1 шт.); лабораторная мебель: столы, стулья для студентов (по количеству обучающихся), рабочее место преподавателя.</p>	<p>ауд. <u>207</u> корп. <u>3</u></p>

Лист согласования рабочей программы дисциплины

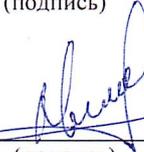
Разработал

доцент кафедры ЭР

(должность)


(подпись)А.М. Афанасьев

(Ф.И.О.)

И.о. зав. кафедрой
электроники и радиофизики
(подпись)А.М. Афанасьев

(Ф.И.О.)

Протокол № 1 заседания кафедры
электроники и радиофизики от 30.08 2024 г.

Согласовано

Заведующий аспирантурой


(подпись)М.А. Филатов

(Ф.И.О.)

Начальник учебно-методического центра


(подпись)О.А. Коваленко

(Ф.И.О.)

Лист изменений и дополнений

Номер изменения, дата внесения изменения, номер страницы для внесения изменений	
ДО ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ:	ПОСЛЕ ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ:
Основание:	
Подпись лица, ответственного за внесение изменений	