

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Промышленная электроника и микропроцессорная техника

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ПРЯМОЕ ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ**  
**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ**


Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.09
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 5;
Часов (всего) по учебному плану:	180 часов
Лекции	3 семестр - 32 часа;
Практические занятия	3 семестр - 48 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	3 семестр - 99,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	3 семестр - 0,3 часа;

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Рашитов П.А.
	Идентификатор	R66e8dfb1-RashitovPA-1953162c

(подпись)

П.А. Рашитов

(расшифровка  
подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Рашитов П.А.
	Идентификатор	R66e8dfb1-RashitovPA-1953162c

(подпись)

П.А. Рашитов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Асташев М.Г.
	Идентификатор	R7a29e524-AstashevMG-0583186

(подпись)

М.Г. Асташев

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение и освоение математических основ и методик анализа и разработки цифровых систем управления полупроводниковыми преобразователями

### Задачи дисциплины

- изучение математических основ анализа дискретных цифровых систем;
- изучение элементной базы и технических решений цифровых систем управления;
- освоение методик расчета и синтеза цифровых систем управления полупроводниковыми преобразователями.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен проводить и сопровождать работы по проектированию устройств электроники и нанoeлектроники в соответствии с требованиями технического задания	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Умеет использовать алгоритмы решения исследовательских задач, компьютерного моделирования и верификации моделей элементов, узлов и блоков электронного устройства	знать: - математические методы описания дискретных цифровых систем.  уметь: - анализировать дискретные системы, рассчитывать динамические свойства, в том числе с помощью численного моделирования.
ПК-1 Способен проводить и сопровождать работы по проектированию устройств электроники и нанoeлектроники в соответствии с требованиями технического задания	ИД-3 <sub>ПК-1</sub> Умеет анализировать, исследовать и разрабатывать схемы узлов и блоков устройства электроники и нанoeлектроники на основе технического задания	уметь: - использовать современные микроконтроллеры как элементную базу систем автоматического регулирования; - синтезировать систему автоматического управления на основе требований к статическим и динамическим характеристикам полупроводникового преобразователя.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Промышленная электроника и микропроцессорная техника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Математические основы анализа дискретных цифровых систем	44	3	8	-	12	-	-	-	-	-	24	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Основы теории дискретных (импульсных) систем <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 190-223
1.1	Математические основы анализа дискретных цифровых систем	44		8	-	12	-	-	-	-	-	24	-	
2	Аппаратная реализация цифровых систем управления с обратной связью	32		4	-	4	-	-	-	-	-	24	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Современные семейства микроконтроллеров: RISK-ядро, периферия, специализированные семейства микроконтроллеров для цифровых систем управления преобразователями и электроприводом <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 305-327
2.1	Аппаратная реализация цифровых систем управления с обратной связью	32		4	-	4	-	-	-	-	-	24	-	
3	Полупроводниковый преобразователь как объект управления	22		4	-	8	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Датчики напряжения и тока в составе петли обратной связи. Современные типы датчиков тока <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 233-254
3.1	Полупроводниковый преобразователь как объект управления	22		4	-	8	-	-	-	-	-	10	-	
4	Анализ системы управления и силовой части	43.7		8	-	14	-	-	-	-	-	21.7	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Анализ системы управления и силовой части.

4.1	Анализ системы управления и силовой части	43.7	8	-	14	-	-	-	-	-	21.7	-	Методы аналитического расчета статических и динамических характеристик. Численное моделирование <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 30-45, 57-65
5	Синтез цифровой системы управления заданного полупроводникового преобразователя	38	8	-	10	-	-	-	-	-	20	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Требования к преобразователю как к источнику стабилизированного напряжения или тока. Параметры серийно выпускаемых преобразователей
5.1	Синтез цифровой системы управления заданного полупроводникового преобразователя	38	8	-	10	-	-	-	-	-	20	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 404-419 [2], стр. 362-393
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>48</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>99.7</b>	<b>-</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>48</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>99.7</b>	<b>-</b>	

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### 1. Математические основы анализа дискретных цифровых систем

##### 1.1. Математические основы анализа дискретных цифровых систем

Дискретные системы - определение, основные понятия. Разностные уравнения. Импульсная характеристика. z-преобразование. Передаточная функция звена, частотные характеристики. Критерии устойчивости.

#### 2. Аппаратная реализация цифровых систем управления с обратной связью

##### 2.1. Аппаратная реализация цифровых систем управления с обратной связью

Микроконтроллер: ядро, шина адреса, шина данных. Периферия микроконтроллера: АЦП, ЦАП, таймер и блок ШИМ. Формирование импульсов управления с использованием модуля ШИМ: комплиментарный сигнал, мертвое время. АЦП в режиме сканирования входов, организация измерения сигнала с помощью прерываний..

#### 3. Полупроводниковый преобразователь как объект управления

##### 3.1. Полупроводниковый преобразователь как объект управления

Метод усреднения, примеры применения для типовых преобразователей постоянного напряжения. Анализ на основе разностных моделей: примеры применения для типовых преобразователей постоянного напряжения..

#### 4. Анализ системы управления и силовой части

##### 4.1. Анализ системы управления и силовой части

Описание системы аналитическими методами: решение системы уравнений, полученных методом усреднения, решение системы уравнений, полученных на основе разностных уравнений. Использование современных сред численного схемотехнического моделирования. Использование численных усредненных моделей преобразователя. Использование численных имитационных моделей преобразователя. Моделирование работы микроконтроллера и периферии..

#### 5. Синтез цифровой системы управления заданного полупроводникового преобразователя

##### 5.1. Синтез цифровой системы управления заданного полупроводникового преобразователя

Статические характеристики. Статический расчет (синтез) системы управления. Динамический расчет: качество переходных процессов, быстродействие, реакция на возмущение напряжения питания и тока нагрузки, устойчивость. Моделирование системы в среде численного схемотехнического моделирования..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Параметрический синтез системы управления. Динамические характеристики;
2. Задачи проектирования системы управления;
3. Анализ преобразователя с регулированием по току. Анализ преобразователя с пропорционально-интегральным и токовым регулированием;
4. Анализ преобразователя с пропорционально-интегро-дифференциальное регулированием. Динамический анализ в режиме малого сигнала;
5. Анализ преобразователя с пропорционально-интегро-дифференциальное

- регулированием. Анализ установившегося режима (статический анализ);
6. Анализ преобразователя с пропорционально-интегральным регулированием. Динамический анализ в режиме малого сигнала;
  7. Анализ преобразователя с пропорционально-интегральным регулированием. Анализ установившегося режима (статический анализ);
  8. Особенности частотных характеристик преобразователей, построенных по различным схемам. Анализ устойчивости систем управления преобразователями. Применение среды численного схемотехнического моделирования;
  9. Анализ частотных характеристик преобразователя второго рода по усредненной модели. Применение среды численного схемотехнического моделирования;
  10. Анализ частотных характеристик преобразователя второго рода по разностной модели;
  11. Параметрический синтез системы управления. Статический коэффициент усиления;
  12. Применение микроконтроллера в составе цифровой системы управления. Подпрограммы обработки прерываний для управления модулем таймера в режиме ЧИМ;
  13. Применение микроконтроллера в составе цифровой системы управления. Использование прерываний;
  14. Анализ установившегося режима преобразователя второго рода по усредненной модели. Применение среды численного схемотехнического моделирования;
  15. Анализ установившегося режима преобразователя второго рода по разностной модели;
  16. Анализ установившегося режима преобразователя по имитационной модели в среде численного схемотехнического моделирования;
  17. Анализ установившегося режима преобразователя по усредненной модели в среде численного схемотехнического моделирования;
  18. Анализ работы преобразователя по усредненной модели. Динамический анализ в режиме малого сигнала;
  19. Анализ работы преобразователя по усредненной модели. Анализ установившегося режима (статический анализ);
  20. Анализ работы преобразователя по разностной модели. Динамический анализ в режиме малого сигнала. Применение среды численного схемотехнического моделирования;
  21. Применение микроконтроллера в составе цифровой системы управления. Подпрограммы обработки прерываний для управления модулем ШИМ;
  22. Применение микроконтроллера в составе цифровой системы управления. Подпрограммы обработки прерываний для обработки результатов измерения АЦП;
  23. Анализ работы преобразователя по разностной модели. Анализ установившегося режима (статический анализ).

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### Текущий контроль (ТК)

1. Расчет передаточных функций и частотных характеристик
2. Пример программного кода, реализующего запуск и считывание результатов измерений АЦП. Пример программного кода, реализующего запуск и формирование импульсов с помощью блока ШИМ

3. Полупроводниковый преобразователь как объект управления. Получение передаточной функции силовой части. Примеры решения задач
4. Анализ системы преобразователь-система управления. Составление и решение системы уравнений методом усреднения и на основе разностных уравнений
5. Этапы разработки системы управления. Выбор элементной базы

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены



### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)					Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	
<b>Знать:</b>							
математические методы описания дискретных цифровых систем	ИД-2ПК-1	+					Контрольная работа/Контрольная работа 1. Частотные характеристики дискретной системы
<b>Уметь:</b>							
анализировать дискретные системы, рассчитывать динамические свойства, в том числе с помощью численного моделирования	ИД-2ПК-1			+	+		Контрольная работа/Контрольная работа №3. Расчет характеристик цифровой системы автоматического управления
синтезировать систему автоматического управления на основе требований к статическим и динамическим характеристикам полупроводникового преобразователя	ИД-3ПК-1					+	Контрольная работа/Контрольная работа №4. Параметрический синтез цифровой системы управления преобразователя
использовать современные микроконтроллеры как элементную базу систем автоматического регулирования	ИД-3ПК-1		+				Контрольная работа/Контрольная работа 2. Применение микроконтроллеров в составе системы автоматического регулирования

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**3 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Контрольная работа №4. Параметрический синтез цифровой системы управления преобразователя (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа 1. Частотные характеристики дискретной системы (Контрольная работа)
2. Контрольная работа 2. Применение микроконтроллеров в составе системы автоматического регулирования (Контрольная работа)
3. Контрольная работа №3. Расчет характеристик цифровой системы автоматического управления (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №3)*

Оценка за освоение дисциплины выставляется в соответствии с положением о балльно-рейтинговой структуре НИУ "МЭИ".

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Розанов Ю. К., Воронин П. А., Рывкин С. Е., Чаплыгин Е. Е.- "Справочник по силовой электронике", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2014 - (474 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72289](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72289);
2. Мелешин, В. И. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии / В. И. Мелешин, Д. А. Овчинников . – М. : Техносфера, 2011 . – 576 с. – (Мир радиоэлектроники) . - ISBN 978-5-94836-260-1 ..

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. SimInTech.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-305, Учебная аудитория	парта со скамьей, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-305, Учебная аудитория	парта со скамьей, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-305, Учебная аудитория	парта со скамьей, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Е-324/1, Преподавательская каф. "Пром.эл."	стол, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-324/5, Методический кабинет каф. "Пром.эл."	парта, стул, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная передвижная, ноутбук

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Прямое цифровое управление полупроводниковыми преобразователями

(название дисциплины)

#### 3 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Контрольная работа 1. Частотные характеристики дискретной системы (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа 2. Применение микроконтроллеров в составе системы автоматического регулирования (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольная работа №3. Расчет характеристик цифровой системы автоматического управления (Контрольная работа)
- КМ-4 Контрольная работа №4. Параметрический синтез цифровой системы управления преобразователя (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Математические основы анализа дискретных цифровых систем					
1.1	Математические основы анализа дискретных цифровых систем		+			
2	Аппаратная реализация цифровых систем управления с обратной связью					
2.1	Аппаратная реализация цифровых систем управления с обратной связью			+		
3	Полупроводниковый преобразователь как объект управления					
3.1	Полупроводниковый преобразователь как объект управления				+	
4	Анализ системы управления и силовой части					
4.1	Анализ системы управления и силовой части				+	
5	Синтез цифровой системы управления заданного полупроводникового преобразователя					
5.1	Синтез цифровой системы управления заданного полупроводникового преобразователя					+
Вес КМ, %:			20	20	30	30