

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
МАГНИТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.03
Трудоемкость в зачетных единицах:	1 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	1 семестр - 16 часов;
Практические занятия	1 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	1 семестр - 59,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Контрольная работа Расчетно-графическая работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	1 семестр - 0,3 часа;

Москва 2024

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Асташев М.Г.
	Идентификатор	R7a29e524-AstashevMG-05831867

М.Г. Асташев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

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

П.А. Рашитов

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Асташев М.Г.
	Идентификатор	R7a29e524-AstashevMG-05831867

М.Г. Асташев

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение методов анализа режимов работы и принципов проектирования магнитных элементов электронных устройств

Задачи дисциплины

- изучение основных типов магнитных элементов, используемых в составе электронных устройств, и принципов их работы;
- освоение методов анализа режимов работы и электромагнитных процессов, протекающих в магнитных элементах в составе полупроводниковых преобразователей электрической энергии;
- изучение основных свойств и характеристик промышленно выпускаемых магнитных материалов;
- приобретение навыков по проектированию магнитных элементов в составе полупроводниковых преобразователей электрической энергии.

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-1 _{ПК-1} Знает современный технологический базис и технические решения и осуществляет выбор на основе технических требований к устройствам электроники и нанoeлектроники	знать: - свойства современных магнитных материалов и типы магнитопроводов; современные подходы к проектированию магнитных элементов электронных устройств. уметь: - осуществлять обоснованный выбор магнитопроводов при проектировании магнитных элементов; проектировать магнитные элементы электронных устройств.
ПК-1 Способен проводить и сопровождать работы по проектированию устройств электроники и нанoeлектроники в соответствии с требованиями технического задания	ИД-2 _{ПК-1} Умеет использовать алгоритмы решения исследовательских задач, компьютерного моделирования и верификации моделей элементов, узлов и блоков электронного устройства	знать: - принципы анализа электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях и подходы к построению моделей магнитных элементов. уметь: - проводить исследование и расчёт электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях с магнитными элементами; разрабатывать имитационные и аналитические модели магнитных элементов электронных устройств.

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 микроэлектроника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать свойства и характеристики базовых пассивных и полупроводниковых компонентов электронных схем
- знать базовые подходы к анализу электронных цепей
- уметь проводить расчёт электрических цепей, содержащих электронные компоненты

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 3 зачетных единицы, 108 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	Классификация магнитных элементов электронных устройств, физические величины, законы и соотношения теории магнитного поля	15	1	2	-	5	-	-	-	-	-	8	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Классификация магнитных элементов электронных устройств, физические величины, законы и соотношения теории магнитного поля." Студентам необходимо изучить единицы измерения основных магнитных величин в системах СИ и СГСМ и коэффициенты связи между ними.</p> <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Классификация магнитных элементов электронных устройств, физические величины, законы и соотношения теории магнитного поля.". Студентам необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач, провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: - рассчитать напряженность магнитного поля в сердечнике при его заданной геометрии, магнитной проницаемости, числе витков и токе обмотки магнитного материала; - рассчитать индукцию магнитного поля в сердечнике при его заданной геометрии,</p>
1.1	Классификация магнитных элементов электронных устройств	7		1	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
1.2	Основные физические величины, законы и соотношения теории магнитного поля	8		1	-	3	-	-	-	-	-	4	-	

													магнитной проницаемости, числе витков и токе обмотки магнитного материала; - рассчитать магнитные поток в сердечнике при его заданной геометрии, магнитной проницаемости, числе витков и токе обмотки магнитного материала. <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Классификация магнитных элементов электронных устройств, физические величины, законы и соотношения теории магнитного поля."
2	Сердечники магнитных элементов электронных устройств	21	2	-	5	-	-	-	-	-	14	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Сердечники магнитных элементов электронных устройств." Изучение студентами базовых конструкций сердечников магнитных элементов электронных устройств по справочным материалам.
2.1	Назначение и классификация сердечников	9	1	-	2	-	-	-	-	-	6	-	
2.2	Ферромагнитные материалы сердечников магнитных элементов	12	1	-	3	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Сердечники магнитных элементов электронных устройств."
3	Анализ электронных схем с магнитными элементами	24	6	-	10	-	-	-	-	-	8	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Анализ электронных схем с магнитными элементами." Студенты изучают применение электротехнической аналогии при анализе процессов в сложных многообмоточных магнитных материалах.
3.1	Особенности работы магнитных элементов в составе полупроводниковых преобразователей	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
3.2	Немагнитные зазоры в сердечниках магнитных материалов	8	2	-	4	-	-	-	-	-	2	-	<u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Анализ электронных схем с магнитными"
3.3	Базовые подходы к анализу электронных	10	2	-	4	-	-	-	-	-	4	-	

	схем с магнитными элементами													<p>элементами" материалу. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. Пример домашнего задания: - Выполнить расчёт токов и напряжений во всех узлах и ветвях мостового инвертора напряжения, нагруженного на первичную обмотку двухобмоточного трансформатора. Параметры сердечника и числа витков обмоток трансформатора заданы. Вторичная обмотка трансформатора подключена к резистору. Сопротивление резистора дано. Построить временные диаграммы напряженности магнитного поля в сердечнике, магнитной индукции, магнитного потока, тока первичной и вторичной обмоток трансформатора и их напряжений. - Выполнить расчёт токов и напряжений во всех узлах и ветвях полумостового инвертора напряжения, нагруженного на первичную обмотку двухобмоточного трансформатора. Параметры сердечника и числа витков обмоток трансформатора заданы. Вторичная обмотка трансформатора подключена к резистору через двухполупериодный мостовой выпрямитель. Диоды выпрямителя считать идеальными. Сопротивление резистора дано. Построить временные диаграммы напряженности магнитного поля в сердечнике, магнитной индукции, магнитного потока, тока первичной и вторичной обмоток трансформатора и их напряжений.</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Анализ электронных схем с магнитными элементами."</p>
4	Проектирование	30		6	-	12	-	-	-	-	-	12	-	<u>Самостоятельное изучение</u>

	Всего за семестр	108.0		16	-	32	-	-	-	-	0.3	42	17.7	
	Итого за семестр	108.0		16	-	32	-	-	-	0.3	42	17.7	59.7	

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. Классификация магнитных элементов электронных устройств, физические величины, законы и соотношения теории магнитного поля

1.1. Классификация магнитных элементов электронных устройств

Назначение магнитных элементов электронных устройств. Основные типы магнитных элементов электронных устройств. Требования, предъявляемые к магнитным элементам электронных устройств.

1.2. Основные физические величины, законы и соотношения теории магнитного поля

Основные физические величины теории магнитного поля: магнитная индукция, напряженность магнитного поля, магнитный поток и потокосцепление. Закон полного тока в вакууме и веществе. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Правило Ленца.

2. Сердечники магнитных элементов электронных устройств

2.1. Назначение и классификация сердечников

Функции сердечников в магнитных элементах. Типы сердечников. Справочные параметры сердечников и их использование при анализе и проектировании магнитных элементов.

2.2. Ферромагнитные материалы сердечников магнитных элементов

Кривая намагничивания магнитного материала. Магнитная проницаемость. Основные параметры материала сердечника и критерии их выбора. Справочные параметры магнитных материалов. Современные классы и типы магнитных материалов.

3. Анализ электронных схем с магнитными элементами

3.1. Особенности работы магнитных элементов в составе полупроводниковых преобразователей

Вольт-секундные интегралы и их выравнивание. Насыщение материала сердечника магнитного элемента: скорость развития процесса и последствия. Условия выключения силовых полупроводниковых ключей двухтактных и однотактных преобразователей. Требования и рекомендации по выбору режима работы магнитного материала.

3.2. Немагнитные зазоры в сердечниках магнитных материалов

Понятие немагнитного зазора и причины их введения в магнитные сердечники. Оценка влияния толщины немагнитного зазора на относительную магнитную проницаемость сердечника. Влияние толщины немагнитного зазора на кривую намагничивания магнитного материала: вычисление остаточной индукции.

3.3. Базовые подходы к анализу электронных схем с магнитными элементами

Анализ электронных схем в реакторах. Анализ двухтактных электронных схем с трансформатором. Анализ однотактных электронных схем с трансформатором.

4. Проектирование реакторов и трансформаторов

4.1. Проектирование сглаживающего дросселя

Описание методики проектирования сглаживающего дросселя. Пример проектирования сглаживающего дросселя.

4.2. Проектирование реактора переменного тока

Описание методики проектирования реактора переменного тока. Пример проектирования реактора переменного тока.

4.3. Проектирование трансформатора

Описание методики проектирования трансформатора. Пример проектирования трансформатора.

3.3. Темы практических занятий

1. Расчёт параметров и режимов работы двухобмоточного магнитного элемента на тороидальном сердечнике;
2. Проектирование трансформаторов;
3. Специальные вопросы проектирования магнитных элементов: скин-эффект и эффект "близости";
4. Проектирование реакторов переменного тока;
5. КТ №1 Тест: "Основные физические величины, законы и соотношения теории магнитного поля";
6. Расчёт параметров и режимов работы однообмоточного магнитного элемента на тороидальном сердечнике;
7. Определение параметров типовых сердечников магнитных элементов электронных устройств с использованием справочных данных;
8. КТ №2 Тест: "Сердечники магнитных элементов электронных устройств";
9. Расчёт режима работы сердечника МЭЭУ;
10. Разработка математических моделей магнитных элементов электронных устройств;
11. Анализ электронных схем с магнитными элементами;
12. КТ №3 Контрольная работа: "Анализ электронных схем с магнитными элементами";
13. Обзор примера выполнения расчётного задания;
14. Проектирование дросселей с подмагничиванием.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Классификация магнитных элементов электронных устройств, физические величины, законы и соотношения теории магнитного поля"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Сердечники магнитных элементов электронных устройств"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Анализ электронных схем с магнитными элементами"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Проектирование реакторов и трансформаторов"

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	
Знать:						
свойства современных магнитных материалов и типы магнитопроводов; современные подходы к проектированию магнитных элементов электронных устройств	ИД-1 _{ПК-1}		+			Тестирование/Магнитные материалы сердечников магнитных элементов
принципы анализа электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях и подходы к построению моделей магнитных элементов	ИД-2 _{ПК-1}	+				Тестирование/Физические величины, законы и соотношения теории магнитного поля
Уметь:						
осуществлять обоснованный выбор магнитопроводов при проектировании магнитных элементов; проектировать магнитные элементы электронных устройств	ИД-1 _{ПК-1}				+	Расчетно-графическая работа/Защита расчетного задания №1 "Проектирование многообмоточного магнитного элемента"
проводить исследование и расчёт электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях с магнитными элементами; разрабатывать имитационные и аналитические модели магнитных элементов электронных устройств	ИД-2 _{ПК-1}			+		Контрольная работа/Анализ электронных схем с магнитным элементом

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

1 семестр

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Магнитные материалы сердечников магнитных элементов (Тестирование)
2. Физические величины, законы и соотношения теории магнитного поля (Тестирование)

Форма реализации: Защита задания

1. Защита расчетного задания №1 "Проектирование многообмоточного магнитного элемента" (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Анализ электронных схем с магнитным элементом (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №1)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих

В диплом выставляется оценка за 1 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Глебов, Б. А. Процессы перемагничивания ферромагнетиков и их моделирование : учебное пособие по курсу "Магнитные элементы электронных устройств" по направлению "Электроника и наноэлектроника" / Б. А. Глебов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2015 . – 48 с. - ISBN 978-5-7046-1678-8 .

<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=7697>;

2. И. В. Савельев- "Курс общей физики", (Изд. 4-е, перераб.), Издательство: "Наука", Москва, 1970 - (505 с.)

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=477374>;

3. Мелешин, В. И. Транзисторная преобразовательная техника / В. И. Мелешин . – М. : Техносфера, 2006 . – 632 с. – (Мир электроники) . - ISBN 5-948360-51-2 ..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

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
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/>
11. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	С-201, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	С-201, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	С-201, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, 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

Магнитные элементы электронных устройств

(название дисциплины)

1 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Физические величины, законы и соотношения теории магнитного поля (Тестирование)
 КМ-2 Магнитные материалы сердечников магнитных элементов (Тестирование)
 КМ-3 Анализ электронных схем с магнитным элементом (Контрольная работа)
 КМ-4 Защита расчетного задания №1 "Проектирование многообмоточного магнитного элемента" (Расчетно-графическая 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	Классификация магнитных элементов электронных устройств, физические величины, законы и соотношения теории магнитного поля					
1.1	Классификация магнитных элементов электронных устройств		+			
1.2	Основные физические величины, законы и соотношения теории магнитного поля		+			
2	Сердечники магнитных элементов электронных устройств					
2.1	Назначение и классификация сердечников			+		
2.2	Ферромагнитные материалы сердечников магнитных элементов			+		
3	Анализ электронных схем с магнитными элементами					
3.1	Особенности работы магнитных элементов в составе полупроводниковых преобразователей				+	
3.2	Немагнитные зазоры в сердечниках магнитных материалов				+	
3.3	Базовые подходы к анализу электронных схем с магнитными элементами				+	
4	Проектирование реакторов и трансформаторов					
4.1	Проектирование сглаживающего дросселя					+
4.2	Проектирование ректора переменного тока					+
4.3	Проектирование трансформатора					+

	Bec KM, %:	15	15	25	45
--	------------	----	----	----	----