

Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
Профиль «Промышленная электроника»
РПД Б1.В.02 «Магнитные элементы электронных устройств»



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора
по учебно-методической работе
филиала ФГБОУ ВО
«НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
В.В. Рожков
«26» 08 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Магнитные элементы электронных устройств**
(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

Направление подготовки (специальность): 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль: «Промышленная электроника»

Уровень высшего образования: бакалавриат

Нормативный срок обучения: 4 года

Форма обучения: очная

Год набора: 2020

Смоленск

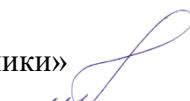
Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»
Профиль «Промышленная электроника»
РПД Б1.В.02 «Магнитные элементы электронных устройств»



Программа составлена с учетом ФГОС ВО по направлению подготовки / специальности 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», утвержденного приказом Минобрнауки России от «19» сентября 2017 г. № 927

Программу составил:

Доцент кафедры
«Электроники и микропроцессорной техники»
Канд. техн. наук, доцент



подпись


Амелина Марина Аркадьевна
ФИО

«24» июня 2020 г.

Программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры «Электроники и микропроцессорной техники»

«25» июня 2020 г., протокол № 7

Заведующий кафедрой «Электроники и микропроцессорной техники»:



подпись

Якименко Игорь Владимирович
ФИО

«02» июля 2020 г.

РПД адаптирована для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

**Ответственный в филиале по работе
с ЛОВЗ и инвалидами**



подпись

Зуева Елена Владимировна
ФИО

«02» июля 2020 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью является подготовка обучающихся к научно-исследовательской и проектно-конструкторской деятельности по направлению бакалавриата 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» посредством обеспечения этапов формирования компетенций, предусмотренных ФГОС, в части представленных ниже знаний, умений и навыков.

Задачи: изучение понятийного аппарата дисциплины, основных теоретических положений и методов, привитие навыков применения теоретических знаний для решения практических задач.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина Б1.В.02 «Магнитные элементы электронных устройств» относится к вариативной части программы, формируемой участниками образовательных отношений.

Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами: Б2.В.01(У) «Ознакомительная практика»; Б1.О.16 «Математическое моделирование электронных цепей».

Перечень последующих дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной дисциплиной: Б1.В.06 «Схемотехника линейных устройств»; Б1.В.12 «Средства отображения информации»; Б1.В.ДВ.03.01 «Антенны и техника СВЧ»; Б1.В.ДВ.03.02 «Схемотехника СВЧ»; Б2.В.03(Н) «Научно-исследовательская работа»; Б3.01 «Подготовка к защите и защита выпускной квалификационной работы»; ФТД.02 «Наноэлектроника».

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины направлено на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки:

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения
ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1.1 Строит простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	Знает: Как строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств, и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, содержащих магнитные элементы. Умеет: Строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, содержащих магнитные элементы. Владеет: Методами построения простейших физических и математических моделей приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, содержащих магнитные элементы.
	ПК-1.2 Использует стандартные	Знает: Как использовать стандартные

	программные средства компьютерного моделирования	программные средства компьютерного моделирования схем и устройств, содержащих в своем составе магнитные элементы. Умеет: использовать стандартные программные средства компьютерного моделирования схем и устройств, содержащих в своем составе магнитные элементы. Владеет: Методами использования стандартных программных средств компьютерного моделирования схем и устройств, содержащих в своем составе магнитные элементы.
--	--	--

Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
 Профиль «Промышленная электроника»
 РПД Б1.В.02 «Магнитные элементы электронных устройств»



4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Структура дисциплины:

Индекс	Наименование	Форма контроля							з.е.		Итого акад.часов						Курс 2																		
		Экз а мен	Заче т	Заче т с оц.	К П	КР	Реф е рат	РГ Р	Экспе р тное	Фак т	Часо в в з.е.	Экспе р тное	По план у	Контак т часы	СР	Кон т роль	Сем. 3						Сем. 4												
																	з.е.	Ит ого	Лек	Лаб	Пр	КР П	СР	Ко нт роль	з. е.	Итого	Лек	Лаб	Пр	КР П	СР	Кон т роль			
Б1.В.02	Магнитные элементы электронных устройств			4			4	4	4	36	144	144	34	101	9													4	144	18	16			101	9

ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Виды промежуточной аттестации (виды контроля):

Экз — экзамен;

ЗаО — зачет с оценкой;

За — зачет;

Виды работ:

Контакт. — контактная работа обучающихся с преподавателем;

Лек. — лекционные занятия;

Лаб. — лабораторные работы;

Пр. — практические занятия;

КРП — курсовая работа (курсовой проект);

РГР — расчетно-графическая работа (реферат);

СР — самостоятельная работа студентов;

з.е. — объем дисциплины в зачетных единицах.

Содержание дисциплины:

№	Наименование видов занятий и тематик, содержание
1	<p>лекционные занятия 9 шт. по 2 часа (18 час.):</p> <p>Тема 1. Функции магнитных компонентов в узлах электронных устройств. 1.1 Основные функции магнитных компонентов в устройствах силовой электроники: накопление энергии в магнитном поле МЭ, формирование высоковольтных импульсов напряжения, подавление пульсаций выпрямленного напряжения, преобразование уровней переменных токов и напряжений, гальваническая развязка, измерение токов и напряжений.</p> <p>Тема 2. Основные сведения о теории магнетизма и магнитных материалах. 1.2 Теория магнетизма в применении к магнитным материалам. Магнитные величины, единицы магнитных величин. Магнитные свойства веществ: диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Основные свойства ферромагнетиков: доменная структура, процессы перемагничивания.</p> <p>Тема 3. Гистерезис, статические параметры ферромагнетиков. 1.3 Явление гистерезиса. Статические параметры ферромагнетиков. Влияние воздушного зазора на магнитные характеристики сердечников.</p> <p>Тема 4. Потери в ферромагнетиках при перемагничивании. 1.4 Динамические характеристики ферромагнетиков. Динамические потери в ферромагнетике. Явление вихревых токов в сердечнике.</p> <p>Тема 5. Магнитные материалы. Их классификация и основные свойства. 1.5 Основные группы магнитных материалов: магнитотвердые и магнитомягкие. Магнитомягкие материалы для высокочастотных магнитных полей: пермаллои, аморфные металлы, ферриты, магнитодиэлектрики.</p> <p>Тема 6. Сердечники электромагнитных устройств. 1.6 Классификация сердечников МЭ по конструктивному исполнению. Основные геометрические параметры сердечника, определяющие свойства МЭ. Выполнение немагнитного зазора в МЭ.</p> <p>Тема 7. Обмотки электромагнитных устройств. 1.7 Конструктивное выполнение обмоток МЭ. Типы обмоточных проводов. Обмотки высокочастотных магнитных элементов.</p> <p>Тема 8. Высокочастотные дроссели и трансформаторы. 1.8 Классификация режимов работы трансформатора в устройствах промышленной электроники. Схема замещения сердечника с обмотками (различных уровней сложности). Импульсные трансформаторы, измерительные трансформаторы – датчики тока.</p> <p>Тема 9. Математические модели магнитных компонентов. 1.9 Гистерезистная математическая модель МЭ. Трансформаторы двухтактных и однотактных схем. Перемагничивание сердечника двуполярными и однополярными импульсами напряжения. Аварийный режим работы импульсного трансформатора.</p>
2	<p>лабораторные работы 4 шт. по 4 часа (16 час.):</p> <p>2.1 Исследование вариантов использования магнитных компонентов в узлах электронных устройств (с использованием моделирования в среде программы схемотехнического моделирования Micro-Cap).</p> <p>2.2 Исследование влияния гистерезиса на режимы работы магнитного компонента.</p> <p>2.3 Особенности использования высокочастотных дросселей и трансформаторов.</p> <p>2.4 Исследование вариантов построения модели высокочастотного трансформатора по экспериментальным данным.</p>
3	<p>практические занятия 0 шт. по 2 часа (0 час.):</p> <p>–</p>
4	<p>Расчетно-графическая работа «Расчет и моделирование электрических цепей с магнитными</p>

компонентами»	
5	самостоятельная работа студентов: час.
	5.1. Изучение материалов лекций 18
	5.2. Подготовка к практическим занятиям –
	5.3. Подготовка к лабораторным работам 16
	5.4. Расчетно-графическая работа 18
	5.5. Самостоятельная работа 49
	5.5.1 Функции МЭ — получение заданной индуктивности участка цепи, создание реактивного сопротивления в цепи переменного тока, формирование линейно-нарастающего тока, подавление высокочастотных составляющих сигналов, подавление импульсных помех, согласование каскадов электронных устройств.
	5.5.2 Способы моделирования перемагничивания ферромагнитных сердечников в программах схемотехнического моделирования Micro-Cap, LTspice, ORCAD; методики построения модели МЭ, включающего обмотку на замкнутом ферромагнитном сердечнике.
	5.5.3 Статические потери в ферромагнетиках при перемагничивании, их зависимость от частоты перемагничивания; расчет статических потерь при моделировании МЭ в среде программ схемотехнического анализа.
	5.5.4 Потери в проводах обмоток на высокой частоте, определение суммарных потерь в сердечнике (статических и динамических).
	5.5.5 Магнитомягкие материалы для постоянных и низкочастотных магнитных полей; петли гистерезиса различных магнитных материалов; сравнительная характеристика магнитных материалов.
	5.5.6 Основные магнитные компоненты — катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы; их конструктивное исполнение и обозначения на принципиальных электрических схемах.
	5.5.7 Основные геометрические параметры ферритовых сердечников различного конструктивного исполнения; расчет длины средней линии и площади поперечного сечения, типы зарубежных ферритовых сердечников.
	5.5.8 Искажения формы выходного импульса трансформатора.
	5.5.9 Работа трансформатора на вентильную нагрузку.
	5.5.10 Эффект вытеснения тока в проводнике обмотки на высоких частотах (скин-эффект). Методы борьбы с этим эффектом
	5.5.11 Эффект вытеснения тока в соседних обмотках на высоких частотах (эффект близости). Методы борьбы с этим эффектом.
	5.5.12 ЧИП-индуктивности и планарные трансформаторы. Их основные параметры.
	5.5.13 Цепи восстановления исходного магнитного состояния сердечника. Восстановление исходного магнитного состояния сердечника при однополярном перемагничивании. Разновидности цепей восстановления.
	Всего: 101
	5.6. Подготовка к зачету 9

Текущий контроль: Письменный контрольный опрос по изученному теоретическому материалу и полученным практическим навыкам проводится на лабораторных занятиях.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

№	Виды учебных занятий	Образовательные технологии
---	----------------------	----------------------------

п/п		
1.	Лекции	Классическая (традиционная, информационная) лекция Интерактивная лекция (лекция-визуализация). Индивидуальные и групповые консультации по дисциплине.
2.	Лабораторная работа	Технология выполнения лабораторных заданий индивидуально. Технология выполнения лабораторных заданий в малой группе (в бригаде). Допуск к лабораторной работе.
3.	Самостоятельная работа студентов (внеаудиторная)	Информационно-коммуникационные технологии (доступ к ЭИОС филиала, к ЭБС филиала, доступ к информационно-методическим материалам по дисциплине).
4.	Контроль (промежуточная аттестация: зачет или экзамен)	Технология устного опроса.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Форма промежуточной аттестации по настоящей дисциплине — зачет с оценкой.

Перечень вопросов к зачету

Вопросы по теории

1. Методика электрического и конструктивного расчета сетевого трансформатора.
2. Методика электрического и конструктивного расчета импульсного трансформатора.
3. Как определяется перепад индукции ΔB в сетевых трансформаторах, в двухтактных и одноконтурных преобразовательных устройствах?
4. Как определяется напряженность магнитного поля H в сердечнике трансформатора?
5. Почему с увеличением частоты сети (коммутации ключей преобразовательного устройства) улучшаются массогабаритные показатели трансформатора?
6. Как определить индуктивность катушки с замкнутым сердечником без зазора?
7. Как определить индуктивность катушки с замкнутым сердечником с немагнитным зазором протяженностью δ и длиной средней силовой магнитной линии l_{cp} ?
8. Как влияет вихревые токи на работу магнитного элемента (сердечника с обмоткой)?
9. Какие конструктивные меры при изготовлении магнитного элемента предпринимают для борьбы с вихревыми токами?
10. Как влияет поверхностный эффект (skin effect) на работу магнитного элемента (сердечника с обмоткой)?
11. Какие конструктивные меры при изготовлении магнитного элемента предпринимают для борьбы со скин-эффектом?
12. Как влияет эффект близости (proximity effect) на работу магнитного элемента (сердечника с обмоткой)?
13. Какие конструктивные меры при изготовлении магнитного элемента предпринимают для борьбы с эффектом близости?
14. От каких факторов зависят потери в магнитном материале при перемагничивании его в переменных полях?

15. Почему для ВЧ трансформаторов обмотку рекомендуется наматывать не одним толстым проводом, а несколькими тонкими?
16. В каком сердечнике потери на перемагничивание будут больше: в сердечнике, набранном (навитом) из толстых листов (ленты) или в сердечнике — из тонких листов (ленты)?
17. Почему в трансформаторах для сети 50 Гц не применяются ферриты?
18. Почему ВЧ трансформаторы не делают в диапазоне частот 5...20 кГц?
19. Как изменяются (и изменяются ли вообще) потери в стальном сердечнике с увеличением температуры?
20. Как изменяются (и изменяются ли вообще) потери в обмотках трансформатора с увеличением температуры?
21. Как изменяется коэффициент заполнения сталью сечения магнитопровода с увеличением толщины листа (ленты) трансформаторной стали?
22. Почему при нахождении мощности нагрузки габаритная мощность вторичной обмотки делится на 1.48?
23. В каких случаях и зачем используется выполнение обмотки двойным проводом (бифилярно)?
24. На какой параметр трансформатора влияет индуктивность намагничивания трансформатора?
25. Какое влияние оказывает на работу трансформатора индуктивность рассеяния?
26. Почему в преобразовательных устройствах и сетевых трансформаторах стараются уменьшить ток намагничивания?
27. Где при выполнении расчетного задания вы рассчитывали и учитывали величину тока намагничивания?
28. При каком условии потери в сердечнике трансформатора больше: на холостом ходе или при максимальной нагрузке?
29. Какая из обмоток сетевого трансформатора подвергается нагреву на холостом ходу?
30. Почему на холостом ходу течет ток через первичную обмотку трансформатора, а через вторичную не течет?
31. Где лучше условия охлаждения сердечника трансформатора — в броневом или стержневом трансформаторе?
32. Где лучше условия охлаждения обмоток трансформатора — в броневом или стержневом трансформаторе?
33. Почему не распространены сетевые тороидальные трансформаторы?

Типовые практические задания

1. Объясните результаты частотного анализа интегрирующей и дифференцирующей RL-цепочек.
2. Нарисуйте схемы интегрирующей и дифференцирующей RL-цепей.
3. В качестве какого фильтра (нижних частот, верхних частот, полосового, заграждающего) может быть использована интегрирующая RL-цепочка?
4. В качестве какого фильтра (нижних частот, верхних частот, полосового, заграждающего) может быть использована дифференцирующая RL-цепочка?
5. Как определить частоту среза (спад на 3 дБ или в $\sqrt{2}$ раз) интегрирующей цепочки, если известны величины резистора и индуктивности?
6. Как определить частоту среза (спад на 3 дБ или в $\sqrt{2}$ раз) дифференцирующей цепочки, если известны величины резистора и индуктивности?

7. Нарисуйте схему дифференцирующей RL-цепи. Выведите выражение для ее модуля коэффициента передачи в частотной области (зависящего от частоты f).
8. Нарисуйте схему интегрирующей RL-цепи. Выведите выражение для ее модуля коэффициента передачи в частотной области (зависящего от частоты f).
9. Как по параметрам модели магнитного материала найти приближенное значение относительной магнитной проницаемости μ ?
10. Как по параметрам модели магнитного сердечника и связанной с ним катушки найти приближенное значение индуктивности катушки с магнитным сердечником?
11. Как построить предельную симметричную петлю гистерезиса заданного магнитного материала с помощью программы MICRO-CAP в системе СИ?
12. Как построить предельную симметричную петлю гистерезиса заданного магнитного материала с помощью программы MICRO-CAP в системе СГС?
13. Как с помощью программы MICRO-CAP построить семейство частных симметричных циклов перемагничивания сердечника?
14. Как с помощью программы MICRO-CAP построить частный несимметричный цикл перемагничивания сердечника?
15. Объясните форму тока в линейной индуктивности при подаче на неё напряжения в виде симметричных двуполярных импульсов (меандр). Как изменится картина тока при подаче однополярных прямоугольных импульсов?
16. Объясните форму тока в нелинейной индуктивности при подаче на неё напряжения в виде симметричных двуполярных импульсов (меандр). Почему форма тока изменяется при изменении амплитуды двуполярного меандра?
17. Объясните форму напряжения на линейной катушке при подключении к ней источника импульсов треугольного тока.
18. Как изменить систему единиц вывода петли гистерезиса магнитного материала в программе MODEL? Какие возможны системы единиц для магнитного материала в программе MODEL?
19. Как изменить систему единиц вывода магнитной индукции B , напряженности магнитного поля H при моделировании переходных процессов в программе MICRO-CAP?
20. Какие точки на петле гистерезиса относятся к регионам 1, 2, 3 согласно идентификации, принятой в программе MODEL.
21. Как запустить оптимизацию модельных параметров в программе MODEL?
22. Как сделать оптимизированную модель доступной из схемного редактора программы MICRO-CAP?
23. Какого вида нестационарные процессы будут происходить при передаче периодической последовательности прямоугольных однополярных импульсов через импульсный трансформатор на основе линейного сердечника. Как при этом будет изменяться ток намагничивания I_μ трансформатора?
24. Какого вида нестационарные процессы будут происходить при передаче периодической последовательности прямоугольных однополярных импульсов через импульсный трансформатор на основе нелинейного сердечника. Как при этом будет изменяться ток намагничивания I_μ трансформатора?
25. Почему при проектировании реального импульсного трансформатора необходимо проводить проверку величины перепада индукции ΔB . Если предположить что сердечник линеен, то нужна ли такая проверка?
26. Какие особенности имеет режим Cursor Mode внутри режима анализа программы MICRO-CAP.

27. Как влияет немагнитный зазор на характеристику перемагничивания ферромагнитного сердечника?
28. Что представляет собой эквивалентная магнитная проницаемость сердечника с зазором, как она определяется?
29. В каких случаях может понадобиться введение зазора в магнитный сердечник при проектировании импульсного трансформатора?
30. Как определить индуктивность намагничивания трансформатора при перемагничивании его сердечника по частному несимметричному циклу?
31. Как определить индуктивность намагничивания трансформатора при перемагничивании его сердечника по частному несимметричному циклу с помощью программы MICRO-CAP?
32. Как определить среднее значение индуктивности намагничивания трансформатора при перемагничивании его сердечника по петле гистерезиса с помощью программы MICRO-CAP?
33. Как вывести на график зависимость тока намагничивания трансформатора от времени?

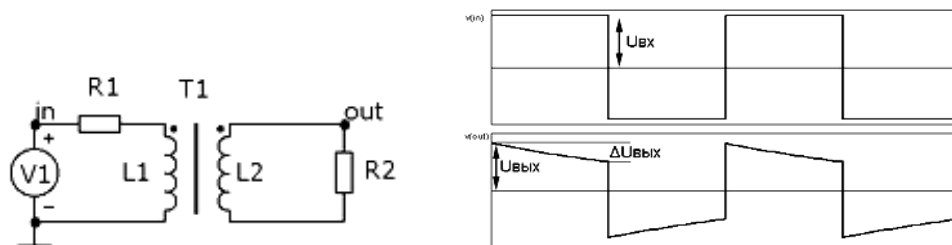
ЗАДАНИЕ НА РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКУЮ РАБОТУ

«Расчет и моделирование электрических цепей с магнитными компонентами»

На выполнение РГР отводится 18 часов самостоятельной работы студента. В качестве задания на РГР задается расчет и имитационное компьютерное моделирование несложной электрической цепи, содержащей магнитный (в том числе и магнитосвязанный) элемент: расчет фильтра; интегрирующей, дифференцирующей цепи; трансформатора, передающего импульсы с искажениями не более заданных; конструктивный расчет дросселя на заданную индуктивность и энергоёмкость; конструктивный расчет сетевого трансформатора. Выполненный расчет проверяется моделированием в среде программы Micro-Cap с использованием моделей магнитных элементов различного уровня сложности, в том числе и нелинейной гистерезисной.

Пример задания на расчетно-графическую работу

Рассчитать параметры импульсного трансформатора, предназначенного для передачи прямоугольных импульсов заданной частоты f . Искажения вершины не должны превышать заданные значения $\Delta U_{\text{вых}}$. Емкостью обмоток следует пренебречь.



Для трансформатора T1:

1. Рассчитать индуктивность первичной обмотки трансформатора.
2. Рассчитать индуктивность вторичной обмотки трансформатора.
3. Проверить полученные результаты путем моделирования в Micro-Cap при использовании трансформатора с линейным сердечником.
4. Рассчитать конструктивные параметры трансформатора (число витков, диаметр провода) для обеспечения полученной ранее индуктивности и заданного тока при использовании кольцевого ферритового сердечника из материала M2500HM2. Плотность

тока считать равной 5А/мм^2 , магнитную проницаемость считать неизменной и равной 2500.

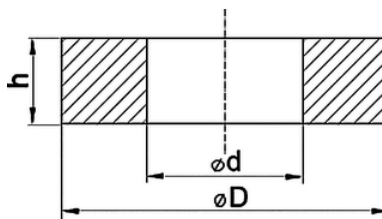
5. Проверить возможность изготовления трансформатора с полученными параметрами. В случае невозможности изготовления трансформатора повторить расчет для ферритового кольца большего типоразмера. Предельное заполнение окна сердечника принять равным 0.4.

6. Проверить полученные результаты путем моделирования в Micro-Cap при использовании трансформатора с нелинейным сердечником из материала M2500HM2 ($M_S=390.689711\text{К}$ $A=54.009657$ $C=9.832682\text{М}$ $K=17.92692$).

Варианты

Номер в журнале	Uвх, В	Uвых, В	$\Delta U_{\text{вых}}, В$	R1, Ом	R2, Ом	f, кГц
1	10	10	0.1	1	100	1
2	20	10	1	1	100	5
3	30	30	0.3	1	100	10
4	40	20	1	1	100	50
5	50	25	1	1	100	100
6	10	5	0.1	2	200	100
7	20	10	0.1	2	200	50
8	30	15	1	2	200	10
9	40	20	1	2	200	5
10	50	25	1	2	200	1
11	10	25	0.2	1.5	400	1
12	20	20	2	1.5	400	5
13	30	15	0.6	1.5	400	10
14	40	10	0.1	1.5	400	50
15	50	5	0.1	1.5	400	100
16	10	25	1	1.5	400	100
17	20	20	1	1.5	400	50
18	30	30	1	1.5	400	10
19	40	10	0.2	1.5	400	5
20	50	10	0.2	1.5	400	1
21	10	10	0.2	0.5	150	1
22	20	10	0.2	0.5	150	5
23	30	30	0.3	0.5	150	10
24	40	20	0.1	0.5	150	50
25	50	25	0.1	0.5	150	100

Типоразмеры кольцевых сердечников



Типоразмер сердечника	II класс			Масса сердечника г, не более
	D	d	h	
K4.0x2.5x1.2	4.0±0.20	2.5±0.20	1.2±0.2	0.05
K5.0x3.0x1.5	5.0±0.20	3.0±0.20	1.5±0.2	0.10
K7.0x4.0x2.0	7.0±0.25	4.0±0.20	2.0±0.2	0.30
K10.0x6.0x3.0	10.0±0.40	6.0±0.30	3.0±0.3	0.80
K10.0x6.0x4.5	10.0±0.40	6.0±0.30	4.5±0.4	1.20
K12.0x5.0x5.5	12.0±0.50	5.0±0.40	5.5±0.4	2.60
K12.0x8.0x3.0	12.0±0.50	8.0±0.40	3.0±0.3	1.12
K16.0x10.0x4.5	16.0±0.50	10.0±0.40	4.5±0.4	3.00
K17.5x8.2x5.0	17.5±0.70	8.2±0.40	5.0±0.4	4.90
K20.0x10.0x5.0	20.0±0.60	10.0±0.40	5.0±0.4	6.10
K20.0x12.0x6.0	20.0±0.60	12.0±0.40	6.0±0.4	6.50
K28.0x16.0x9.0	28.0±0.80	16.0±0.60	9.0±0.5	19.00
K31.0x18.5x7.0	31.0±0.90	18.5±0.70	7.0±0.5	18.00
K38.0x24.0x7.0	38.0±1.00	24.0±0.80	7.0±0.5	24.40
K40.0x25.0x11	40.0±1.20	25.0±0.80	11.0±0.6	43.00
K45.0x28.0x8.0	45.0±1.20	28.0±0.80	8.0±0.5	44.00

К45.0x28.0x12	45.0±1.20	28.0±0.80	12.0±0.6	66.00
---------------	-----------	-----------	----------	-------

Справочные данные. Параметры моточного провода

Номинальный диаметр провода по меди, мм	Сечение провода по меди, мм ²	Диаметр провода с изоляцией, мм		Сопротивление 1 м провода при 20° С, Ом	Допустимый ток при плотности 2А/мм ² , А
		ПЭВ-1	ПЭВ-2		
0,02	0,00031	0,027	-	61,5	0,0006
0,025	0,00051	0,034	-	37,16	0,001
0,03	0,00071	0,041	-	24,7	0,0014
0,032	0,0008	0,043	-	22,4	0,0016
0,04	0,0013	0,055	-	13,9	0,0026
0,05	0,00196	0,062	0,08	9,169	0,004
0,06	0,00283	0,075	0,09,	6,367	0,0057
0,063	0,0031	0,078	0,09	4,677	0,0063
0,07	0,00385	0,084	0,092	4,677	0,0071
0,071	0,00396	0,088	0,095	4,71	0,0078
0,08	0,00503	0,095	0,105	3,63	0,0101
0,09	0,00636	0,105	0,12	2,86	0,0127
0,1	0,00785	0,122	0,13	2,291	0,0157
0,112	0,0099	0,134	0,14	1,895	0,021
0,12	0,0113	0,144	0,15	1,591	0,0226
0,125	0,0122	0,149	0,155	1,4	0,0248
0,13	0,0133	0,155	0,16	1,32	0,0266
0,14	0,0154	0,165	0,17	1,14	0,0308
0,15	0,01767	0,176	0,19	0,99	0,0354
0,16	0,02011	0,187	0,2	0,873	0,0402
0,17	0,0227	0,197	0,21	0,773	0,0454
0,18	0,02545	0,21	0,22	0,688	0,051
0,19	0,02835	0,22	0,23	0,618	0,0568
0,2	0,03142	0,23	0,24	0,558	0,0628
0,21	0,03464	0,24	0,25	0,507	0,0692
0,224	0,0394	0,256	0,27	0,445	0,079
0,236	0,0437	0,26	0,285	0,402	0,0875
0,25	0,04909	0,284	0,3	0,357	0,0982
0,265	0,0552	0,305	0,315	0,318	0,111
0,28	0,0615	0,315	0,33	0,285	0,124
0,3	0,0708	0,34	0,35	0,248	0,143
0,315	0,078	0,35	0,365	0,225	0,158
0,335	0,0885	0,375	0,385	0,198	0,179
0,355	0,099	0,395	0,414	0,177	0,2
0,38	0,1134	0,42	0,44	0,155	0,226
0,4	0,126	0,44	0,46	0,14	0,251
0,425	0,142	0,465	0,485	0,124	0,283
0,45	0,16	0,49	0,51	0,11	0,319
0,475	0,177	0,525	0,545	0,099	0,353
0,5	0,196	0,55	0,57	0,09	0,392
0,53	0,2206	0,58	0,6	0,0795	0,441
0,56	0,247	0,61	0,63	0,071	0,494
0,6	0,283	0,65	0,67	0,062	0,566
0,63	0,313	0,68	0,7	0,056	0,626
0,67	0,352	0,72	0,75	0,05	0,704
0,71	0,398	0,76	0,79	0,044	0,797
0,75	0,441	0,81	0,84	0,039	0,884
0,8	0,503	0,86	0,89	0,035	1
0,85	0,567	0,91	0,94	0,031	1,13
0,9	0,636	0,96	0,99	0,0275	1,27

0,93	0,6793	0,99	1,02	0,0253	1,33
0,95	0,712	1,01	1,04	0,0248	1,42
1	0,7854	1,07	1,1	0,0224	1,57

В филиале используется система с традиционной шкалой оценок — «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», «зачтено», «не зачтено» (далее — пятибалльная система).

Применяемые критерии оценивания по дисциплинам (в соответствии с инструктивным письмом НИУ МЭИ от 14 мая 2012 года № И-23):

Оценка по дисциплине	Критерии оценки результатов обучения по дисциплине
«отлично»/ «зачтено (отлично)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; проявившему творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответившему не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины, правильно выполнившему практическое задание. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне — «эталонный».
«хорошо»/ «зачтено (хорошо)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющему предусмотренные задания, усвоившему основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнивший практическое задание, но допустивший при этом непринципиальные ошибки. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне — «продвинутый».
«удовлетворительно»/ «зачтено (удовлетворительно)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющемуся с выполнением заданий, знакомому с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившему погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий, но обладающему необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившему практическое задание, но по указанию преподавателя выполнившему другие практические задания из того же раздела дисциплины. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне — «пороговый».
«неудовлетворительно» / не зачтено	Выставляется обучающемуся, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении заданий, не ответившему на все вопросы билета и дополнительные вопросы и неправильно выполнившему практическое задание (неправильное выполнение только практического задания не является однозначной причиной для выставления оценки «неудовлетворительно»). Как правило, оценка

	<p>«неудовлетворительно ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Оценка по дисциплине выставляются обучающемуся с учётом результатов текущего контроля.</p> <p>Компетенции на уровне «пороговый», закреплённые за дисциплиной, не сформированы.</p>
--	--

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебное и учебно-лабораторное оборудование

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; демонстрационным оборудованием: персональным компьютером (ноутбуком); переносным (стационарным) проектором.

Учебная аудитория для лабораторных работ, выполняемых в компьютерном классе, оснащенная:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; персональными компьютерами.

Для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине используется помещение для самостоятельной работы обучающихся, оснащенное:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; персональными компьютерами с подключением к сети «Интернет» и доступом в ЭИОС филиала.

Программное обеспечение: Micro-Cap, LTSpice.

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

для слепых и слабовидящих:

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением, или могут быть заменены устным ответом;
- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;
- для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;
- письменные задания оформляются увеличенным шрифтом;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

для глухих и слабослышащих:

- лекции оформляются в виде электронного документа;
- письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
- экзамен и зачёт проводятся в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.

для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере;
- используется специальная учебная аудитория для лиц с ЛОВЗ – ауд. 106 главного учебного корпуса по адресу 214013, г. Смоленск, Энергетический пр-д, д.1, здание энергетического института (основной корпус).

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения предусматривается использование технических средств, необходимых в связи с индивидуальными особенностями обучающихся. Эти средства могут быть предоставлены филиалом, или могут использоваться собственные технические средства.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

для слепых и слабовидящих:

- в печатной форме увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

для глухих и слабослышащих:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.

для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература.

1. Сорокин, В. С. Материалы и элементы электронной техники. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники : учебное пособие / В. С. Сорокин, Б. Л. Антипов, Н. П. Лазарева. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 384 с. — ISBN 978-5-8114-2002-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/71735> (дата обращения: 03.02.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. С.А. Амелин, М.А. Амелина, [Магнитные элементы электронных устройств](#). Учебное пособие по курсу «Магнитные элементы электронных устройств» [Текст]: Учебное пособие (Рекомендовано УМО вузов РФ по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению 210100 «Электроника и микроэлектроника» и

специальности 210106 «Промышленная электроника»). – Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2011. – 192 с. (25 экз. в библиотеке).

3. Амелина, М. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10: учебное пособие для вузов / М. А. Амелина, С. А. Амелин. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 632 с. — ISBN 978-5-8114-6995-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153923> (дата обращения: 03.02.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительная литература.

1. Мелешин, В. И. Транзисторная преобразовательная техника : монография / В. И. Мелешин. — Москва : Техносфера, 2005. — 632 с. — ISBN 5-94836-051-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/73537> (дата обращения: 03.02.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Список авторских методических разработок.

1. Развернутый конспект лекций: [МЭЭУ_Лекции_Амелин.pdf](#).
2. Демонстрационные слайды лекций: [МЭЭУ_Slides_Amelin.pdf](#).
3. Основные формулы для расчета магнитных компонентов: [Основные формулы.pdf](#).
4. Учебное пособие по дисциплине: [MEEU_posobie_Ameliny_4.pdf](#)
5. Описания и методические указания для лабораторных работ: [МЭЭУ_Пр_Амелина.pdf](#)
6. Содержание расчётно-графической работы: [МЭЭУ_РЗ_2010_Амелин.pdf](#)
7. Методические рекомендации по выполнению РГР: [МЭЭУ_РЗ_указания.pdf](#)
8. Архив схем Micro-Cap, иллюстрирующих моделирование электронных устройств с МЭ: [МЭЭУ_схемы.rar](#)

Все авторские методические материалы размещены в облачном хранилище по открытой ссылке:

<https://drive.google.com/drive/folders/1PHUtq865RS9LoJEM4Y3PLcSZwmKGmNGB?usp=sharing>

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Номер изменения	Номера страниц				Всего страниц в документе	Наименование и № документа, вводящего изменения	Подпись, Ф.И.О. внесшего изменения в данный экземпляр	Дата внесения изменения в данный экземпляр	Дата введения изменения
	измененных	замененных	новых	аннулированных					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10