

Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»  
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  
« 25 » 08 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
Магнитные элементы электронных устройств**  
(наименование дисциплины)

Направление подготовки (специальность): **11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»**

Профиль: **«Промышленная электроника»**

Уровень высшего образования: **бакалавриат**

Нормативный срок обучения: **4 года 11 месяцев**

Форма обучения: **заочная**

Год набора: **2021**

Смоленск

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

**Программу составил:**

доцент

«Электроники и микропроцессорной техники»

канд. техн. наук, доцент

  
подпись

Амелина Марина Аркадьевна  
ФИО

«24» июня 2021 г.

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

«25» июня 2021 г., протокол № 11

**Заведующий кафедрой «Электроники и микропроцессорной техники»:**

  
подпись

Якименко Игорь Владимирович  
ФИО

«02» июля 2021 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 2021 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.

Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами: Б2.В.01(У) «Ознакомительная практика», Б1.В.06 «Схемотехника линейных устройств».

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

## 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	<b>Знает:</b> Как строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств, и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, содержащих магнитные элементы. <b>Умеет:</b> Строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, содержащих магнитные элементы. <b>Владеет:</b> 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 программные средства компьютерного моделирования	<p><b>Знает:</b> Как использовать стандартные программные средства компьютерного моделирования схем и устройств, содержащих в своем составе магнитные элементы.</p> <p><b>Умеет:</b> использовать стандартные программные средства компьютерного моделирования схем и устройств, содержащих в своем составе магнитные элементы.</p> <p><b>Владеет:</b> Методами использования стандартных программных средств компьютерного моделирования схем и устройств, содержащих в своем составе магнитные элементы.</p>
--	--	--

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 4									
		Экзамен	Зачет	Зачет с оц.	КР	Контр.	Реферат	РГР	Экспертное	Факт.	Часов в з.е.		Экспертное	По плану	Контакт. часы	СР	Контроль	Сессия 3									
												з.е. на курсе						Итого	Лек.	Лаб.	ПР	КРП	СР	Контроль	Формы контр.		
Б1.В.02	Магнитные элементы электронных устройств			4				4	3	3	36	108	108	8	96	4	3	108	4	4			96	4	ог		

##### 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	Лекционные занятия 2 шт. по 2 часа (4 час.): 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. 1.2 . Основные сведения о теории магнетизма и магнитных материалах. 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										
2	Лабораторные работы 1 шт. по 4 часа (4 час.): 2.1 Исследование вариантов использования магнитных компонентов в узлах электронных устройств (с использованием моделирования в среде программы схемотехнического моделирования Micro-Cap).										
3	Расчетно-графическая работа «Расчет и моделирование электрических цепей с магнитными компонентами».										
4	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 80%;">Самостоятельная работа студентов:</td> <td style="text-align: right;">час.</td> </tr> <tr> <td>4.1. Изучение материалов лекций</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> <tr> <td>4.2 Подготовка к лабораторным работам</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> <tr> <td>4.3 Расчетно-графическая работа</td> <td style="text-align: right;">16</td> </tr> <tr> <td>4.4 Самостоятельное изучение материалов дисциплины</td> <td style="text-align: right;">72</td> </tr> </table> <p>1. Функции магнитных элементов — 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.</p> <p>2. Основные магнитные компоненты — катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы; их конструктивное исполнение и обозначения на принципиальных электрических схемах.</p> <p>3. Гистерезис, статические параметры ферромагнетиков. Явление гистерезиса. Статические параметры ферромагнетиков. Влияние воздушного зазора на магнитные характеристики сердечников.</p> <p>4. Потери в ферромагнетиках при перемагничивании. Статические потери в ферромагнетиках при перемагничивании, их зависимость от частоты перемагничивания; расчет статических потерь при моделировании МЭ в среде программ схемотехнического анализа.</p> <p>5. Динамические характеристики ферромагнетиков. Динамические потери в ферромагнетике. Явление вихревых токов в сердечнике. Определение суммарных потерь в сердечнике (статических и динамических).</p> <p>6. Потери в проводах обмоток на высокой частоте. Скин-эффект, эффект близости.</p> <p>7. Магнитные материалы. Их классификация и основные свойства. Основные группы магнитных материалов: магнитотвердые и магнитомягкие.</p> <p>8. Магнитомягкие материалы для высокочастотных магнитных полей: пермаллой, аморфные металлы, ферриты, магнитодиэлектрики.</p> <p>9. Магнитомягкие материалы для постоянных и низкочастотных магнитных полей; петли гистерезиса различных магнитных материалов; сравнительная</p>	Самостоятельная работа студентов:	час.	4.1. Изучение материалов лекций	4	4.2 Подготовка к лабораторным работам	4	4.3 Расчетно-графическая работа	16	4.4 Самостоятельное изучение материалов дисциплины	72
Самостоятельная работа студентов:	час.										
4.1. Изучение материалов лекций	4										
4.2 Подготовка к лабораторным работам	4										
4.3 Расчетно-графическая работа	16										
4.4 Самостоятельное изучение материалов дисциплины	72										

	<p>характеристика магнитных материалов.</p> <p>10. Сердечники электромагнитных устройств. Классификация сердечников МЭ по конструктивному исполнению. Основные геометрические параметры сердечника, определяющие свойства МЭ. Выполнение немагнитного зазора в МЭ.</p> <p>11. Основные геометрические параметры ферритовых сердечников различного конструктивного исполнения; расчет длины средней линии и площади поперечного сечения, типы зарубежных ферритовых сердечников.</p> <p>12. Обмотки электромагнитных устройств. Конструктивное выполнение обмоток МЭ. Типы обмоточных проводов. Обмотки высокочастотных магнитных элементов.</p> <p>13. Высокочастотные дроссели и трансформаторы. Классификация режимов работы трансформатора в устройствах промышленной электроники. Схема замещения сердечника с обмотками (различных уровней сложности).</p> <p>14. Импульсные трансформаторы, измерительные трансформаторы – датчики тока.</p> <p>15. Искажения формы выходного импульса трансформатора.</p> <p>16. Работа трансформатора на вентильную нагрузку. Работа трансформатора при однополярном перемагничивании.</p> <p>17. Трансформаторы двухтактных и однотактных схем. Перемагничивание сердечника двуполярными и однополярными импульсами напряжения. Аварийный режим работы импульсного трансформатора</p> <p>17. Цепи восстановления исходного магнитного состояния сердечника. Восстановление исходного магнитного состояния сердечника при однополярном перемагничивании. Разновидности цепей восстановления.</p> <p>18. ЧИП-индуктивности и планарные трансформаторы. Их основные параметры.</p> <p>19. Математические модели магнитных компонентов. Гистерезистная математическая модель МЭ.</p> <p>20. Способы моделирования перемагничивания ферромагнитных сердечников в программах схемотехнического моделирования Micro-Cap, LTspice, ORCAD; методики построения модели МЭ, включающего обмотку на замкнутом ферромагнитном сердечнике.</p>	
	<b>Всего:</b>	<b>96</b>
	5.5. Подготовка к зачету	4

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

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

№ п/п	Виды учебных занятий	Образовательные технологии
1.	Лекции	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).
3.	Контроль (промежуточная аттестация: зачет или экзамен)	Технология устного опроса.

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

1. Единицы измерения магнитодвижущей силы, магнитного потока, магнитной индукции, напряженности магнитного поля, намагниченности вещества.
2. Аналоги величин магнитных цепей: магнитного потока  $\Phi$ , магнитодвижущей силы  $F$ , индукции магнитного поля  $B$  в электрических цепях.
3. Магнитная постоянная  $\mu_0$  и магнитная проницаемость  $\mu$ , их физический смысл.
4. Магнитная восприимчивость вещества  $\chi$ . Ее связь с относительной магнитной проницаемостью  $\mu$ . Магнитная восприимчивость диамагнетиков, ферромагнетиков и парамагнетиков.
5. Ферромагнетики, парамагнетики, диамагнетики. Их магнитные свойства, использование в изделиях электронной техники.
6. Точка Кюри ферромагнитного материала.
7. Связь магнитной индукции в веществе  $B$ , напряженности магнитного поля  $H$  и намагниченности  $J$ .
8. Определение кривой начального намагничивания, основной кривой намагничивания, безгистерезисной кривой намагничивания, средней кривой намагничивания.
9. Поведение доменов ферромагнитного материала в сильных и слабых магнитных полях.
10. Гистерезисные зависимости индукции  $B(H)$  и намагниченности  $J(H)$  от напряженности магнитного поля  $H$ . Ход зависимостей при разных напряженностях магнитного поля  $H$ . Симметричная и несимметричная петли. Характерные точки симметричной петли гистерезиса.
11. Свойства материалов с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ). ППГ, коэффициент прямоугольности.
12. Определение нормальной, начальной, дифференциальной магнитной проницаемостей.
13. Зависимость нормальной и дифференциальной магнитной проницаемостей от индукции магнитного поля в ферромагнетике.
14. Магнитотвердые и магнитомягкие материалы, их петли гистерезиса, их использование в электронных устройствах.
15. От чего и как зависят потери на перемагничивание в магнитном материале?
16. Как зависит площадь петли гистерезиса от частоты при наличии и отсутствии явлений вихревых токов и (или) магнитной вязкости?
17. Как зависит мощность потерь на перемагничивание от частоты при наличии и отсутствии явлений вихревых токов и (или) магнитной вязкости.
18. От каких факторов зависит динамическая петля гистерезиса? Уравнение динамического процесса перемагничивания ферромагнетика.
19. Моделирует ли модель Джилса-Атертона динамические петли гистерезиса?
20. Физический смысл параметров модели Джилса-Атертона.
21. Зависимость потерь на вихревые токи от частоты
22. Зависимость потерь на последствие (магнитную вязкость) от частоты.
23. Зависимость величины вихревого тока от удельного сопротивления материала, толщины листа сердечника, частоты перемагничивающего поля, магнитной проницаемости.
24. Электротехнические стали, пермаллои, пермендюрты, ферриты, магнитодиэлектрики. Их химический состав, основные свойства, применение для изготовления различных магнитных компонентов (на различный частотный диапазон и др.).
25. Броневые, стержневые, кольцевые сердечники из сталей. Броневые, кольцевые и Ш-образные



- сердечники из феррита.
26. Определение одноименных выводов многообмоточного магнитного компонента.
  27. Магнитная проницаемость формы  $m$  в магнитном сердечнике с зазором.
  28. Зависимость индукции в замкнутом ферромагнитном сердечнике, формы петли гистерезиса, наклона петли гистерезиса, индуктивности катушки, намотанной на нем от наличия (отсутствия) немагнитного зазора.
  29. От каких факторов и как зависит индуктивность катушки, намотанной на замкнутом тороидальном сердечнике из ферромагнитного материала.
  30. Уравнение магнитосвязанной цепи (трансформатора) с учетом принятых за положительное направлений токов и напряжений и обозначенных одноименных концов обмоток.
  31. Паразитные параметры трансформаторов. Способы уменьшения паразитных емкостей. Способы уменьшения паразитных индуктивностей рассеяния.
  32. Приведение параметров и величин вторичной обмотки трансформатора к первичной.
  33. Процессы, происходящие в цепи с идеальной катушкой индуктивности, при подключении к ней периодического импульсного источника тока (напряжения) треугольной (прямоугольной) формы. Форма напряжения (тока) на (в) катушке.
  34. Форма напряжения и тока на ключевых элементах двухтактного автономного инвертора напряжения.
  35. Форма кривой изменения магнитного потока, пронизывающего сердечник трансформатора, и тока намагничивания трансформатора при работе двухтактного автономного инвертора напряжения.
  36. Форма кривой изменения магнитного потока, пронизывающего сердечник трансформатора, и тока намагничивания трансформатора при работе двухтактного мостового преобразователя постоянного напряжения.
  37. Форма петли гистерезиса перемагничивания сердечника трансформатора в двухтактных преобразовательных устройствах.
  38. Определение КПД трансформатора, при условии, что  $P$  — полная мощность нагрузок,  $P_T$  — полная мощность потерь?
  39. Вид совмещенных зависимостей потерь в сердечнике ( $P_c$ ) и потерь в обмотке ( $P_o$ ) трансформатора в двухтактных схемах
  40. Зависимость сечения проводов обмотки трансформатора от частоты преобразования.
  41. Формуле расчета потерь в сердечнике трансформатора 2-хтактного преобразовательного устройства?
  42. Условие из которого выбирается сердечник минимального размера ( $P_{max}$  — максимальная мощность, передаваемая трансформатором,  $P$  — заданная выходная мощность).
  43. Расчет диаметра провода (активной медной части и вместе с изоляцией) исходя из коэффициента заполнения провода медью  $\lambda_{II}$  и площади токоведущего сечения  $q$ .
  44. Дополнительные потери в проводах на высокой частоте. Понятия скин-эффекта и эффекта близости, их влияние на работу магнитных элементов. Способы ослабления указанных эффектов.
  45. Область частот, на которых в основном применяются ферриты для построения импульсных трансформаторов.
  46. Какие размеры указываются в обозначении кольцевых сердечников?
  47. Какую марку провода следует применять в зависимости от рабочих напряжений на обмотках трансформатора?
  48. Напряжения на нагрузке, ключе, обмотках в однотактной схеме без вентильной нагрузки, величина перенапряжения на ключе, после его размыкания.
  49. Законы изменения токов в обмотках, и тока намагничивания в однотактной схеме без вентильной нагрузки и цепей восстановления состояния сердечника.
  50. Дифференциальные уравнения, описывающие процессы в однотактной схеме без вентильной нагрузки и цепей восстановления, на этапе замкнутого и разомкнутого состояния ключа.
  51. Условия работоспособности однотактных схем.
  52. Напряжения на нагрузке, ключе, обмотках в однотактной схеме с резистивной цепью восстановления магнитного состояния сердечника. Величина напряжения на ключе в первый момент

- после его размыкания.
53. Законы изменения токов в обмотках и тока намагничивания в одноконтурной схеме с резистивной цепью восстановления.
  54. Дифференциальные уравнения, описывающие процессы в одноконтурной схеме с резистивной цепью восстановления на различных интервалах состояния ключевого элемента.
  55. Время восстановления одноконтурной схемы с резистивной цепью восстановления. Условия работоспособности схемы.
  56. Напряжения на нагрузке, ключе, обмотках в одноконтурной схеме со стабилизирующей цепью восстановления. Среднее значение тока через диод цепи восстановления.
  57. Законы изменения токов в обмотках и тока намагничивания в одноконтурной схеме со стабилизирующей цепью восстановления.
  58. Дифференциальные уравнения, описывающие процессы в одноконтурной схеме со стабилизирующей цепью восстановления на различных интервалах состояния ключевого элемента.
  59. Время восстановления одноконтурной схемы со стабилизирующей цепью восстановления. Условия работоспособности схемы.
  60. Напряжения на нагрузке, ключе, обмотках в одноконтурной схеме с трансформаторной цепью восстановления.
  61. Законы изменения токов в обмотках и тока намагничивания в одноконтурной схеме с трансформаторной цепью восстановления.
  62. Дифференциальные уравнения, описывающие процессы в одноконтурной схеме с трансформаторной цепью восстановления на различных интервалах состояния ключевого элемента.
  63. Время восстановления одноконтурной схемы с трансформаторной цепью восстановления. Условия работоспособности схемы.
  64. В какой из одноконтурных схем с цепями восстановления магнитного состояния сердечника коэффициент полезного действия при преобразовании энергии первичного источника в энергию, выделяющуюся на нагрузке, выше?
  65. Какие параметры импульсного трансформатора влияют на передачу фронта, среза, вершины импульса?
  66. Как уменьшить спад вершины трансформируемого импульса?
  67. От каких параметров импульсного трансформатора зависит амплитуда выброса при передаче фронта (среза) импульса?
  68. Чему равна длительность стадии восстановления при передаче через импульсный трансформатор импульса напряжения?
  69. Форма напряжения на выходе импульсного трансформатора при подаче на его вход идеального прямоугольного импульса напряжения длительностью  $t_u$ .
  70. Форма напряжения на выходе измерительного импульсного трансформатора (трансформатора тока) при воздействии на его вход идеального прямоугольного импульса тока длительностью  $t_u$ .
  71. Измерительная схема из двух трансформаторов для измерения разнополярных импульсов. Форма напряжения на выходе схемы. Работа цепей восстановления.

#### 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  $\mu$ ?
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  $I_m$  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  $I_m$  трансформатора?
25. Почему при проектировании реального импульсного трансформатора необходимо проводить проверку величины перепада индукции  $\Delta B$ . 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?

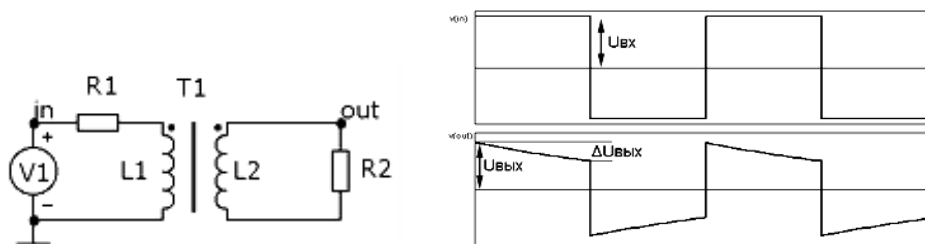
### ЗАДАНИЕ НА РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКУЮ РАБОТУ

«Расчет и моделирование электрических цепей с магнитными компонентами»

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  $5 \text{ А/мм}^2$ , 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 ( $M_S=390.689711 \text{ К А}=54.009657 \text{ С}=9.832682 \text{ М К}=17.92692$ ).

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
----------------------	--

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



## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Учебное и учебно-лабораторное оборудование

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного 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.

## 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 измене- ния	Номера страниц				Всего страниц в документе	Наименование и № документа, вводящего изменения	Подпись, Ф.И.О. внесшего изме- нения в данный экземпляр	Дата внесения изме- нения в данный экземпляр	Дата введения изменения
	изме- ненных	замене- ных	новых	аннулиро- ванных					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10