

КГУУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГУУ»)

**АКТУАЛИЗИРОВАНО**  
решением ученого совета ИЭЭ  
протокол № 7 от 24.03.2026

УТВЕРЖДАЮ

Директор института  
электроэнергетики и электроники

\_\_\_\_\_ Р.В.Ахметова  
« 30 » мая \_\_\_\_\_ 2023 г.

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.20 Магнитные элементы электронных устройств

Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Квалификация Бакалавр

г. Казань, 2023

Программу разработал(и):

Наименование кафедры	Должность, уч. степень, уч. звание	ФИО разработчика
Промышленная электроника	д. ф.-м. н., профессор	Голенищев-Кутузов А.В.

Согласование	Наименование подразделения	Дата	№ протокола	Подпись
Одобрена	Промышленная электроника	12.05.2023	18	_____ Зав. каф. ПЭ, д.ф.-м.н., проф. Голенищев- Кутузов А.В.
Согласована	Промышленная электроника	12.05.2023	18	_____ Зав. каф. ПЭ, д.ф.-м.н., проф. Голенищев- Кутузов А.В.
Согласована	МВТМ	17.05.2023	10	_____ Зав. каф. МВТМ, д.х.н., доц. Давлетбаев Р.С.
Согласована	Учебно-методический совет ИЭЭ	30.05.2023	8	_____ Директор, к.т.н., доц. Ахметова Р.В.
Одобрена	Ученый совет ИЭЭ	30.05.2023	9	_____ Директор, к.т.н., доц. Ахметова Р.В.

## 1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

*(Цель и задачи освоения дисциплины, соответствующие цели ОП)*

Целью освоения дисциплины «Магнитные элементы электронных устройств» является формирование знаний по использованию различных магнитных материалов и элементов в устройствах электроники и нанoeлектроники.

Задачами дисциплины являются:

изучение принципов построения различных магнитных элементов, применяемых в электронных устройствах;

формирование навыков по использованию магнитных элементов в различных электронных устройствах измерения, управления и автоматизации;

приобретение знаний и навыков выбора магнитных материалов для производства изделий электроники.

Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора
ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК 1.6 Демонстрирует понимание фундаментальных явлений и умеет применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины: Физика, Теория цепей и сигналов, Физические основы электроники, Схемотехника.

Последующие дисциплины: Структура и свойства материалов электроники, Производственная практика (научно-исследовательская работа).

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1. Структура дисциплины

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего ЗЕ	Всего часов	Семестр(ы)
			5
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	4	144	144
КОНТАКТНАЯ РАБОТА*		65	65
АУДИТОРНАЯ РАБОТА	1,38	50	50
Лекции	0,44	16	16
Практические (семинарские) занятия	0,5	18	18
Лабораторные работы	0,44	16	16
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ	2,61	94	94
Проработка учебного материала	1,61	58	58
Курсовой проект	-	-	-
Курсовая работа	-	-	-

Подготовка к промежуточной аттестации	1	36	36	
Промежуточная аттестация:			Э	

### 3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

Разделы дисциплины	Всего часов	Распределение трудоемкости по видам учебной работы				Формы и вид контроля	Индексы индикаторов формируемых компетенций
		лекции	лаб. раб.	пр. зан.	сам. раб.		
Раздел 1	36	6	4	6	20	ТК1	ОПК-1.6 З
Раздел 2	36	6	4	6	20	ТК2	ОПК-1.6 У
Раздел 3	36	4	8	6	18	ТК3	ОПК-1.6 В
<b>Экзамен</b>	36				36		ОПК-1.6 З.У.В
<b>ИТОГО</b>	144	16	16	18	94		

### 3.3. Содержание дисциплины

#### Раздел 1. Электромагнетизм, динамические процессы при перемагничивании ферромагнетиков.

Тема 1.1 Основные соотношения. Единицы измерения магнитных величин. Ферромагнетики. Характеристики намагничивания. Однополярные и двухполярные режимы намагничивания. Динамические процессы при перемагничивании ферромагнетиков. Физические явления, обуславливающие влияние скорости перемагничивания на характеристики ферромагнетиков.

Тема 1.2. Трансформаторы в ключевых режимах. Трансформаторы в ключевых схемах. Однотактный и двухтактный режимы работы трансформатора. Ключевые устройства с двухтактным режимом работы трансформатора. Форма тока первичной обмотки трансформатора при симметричном и несимметричном двухполярном режиме перемагничивания сердечника.

Тема 1.3. Токи напряжения и потери энергии сердечника при двухполярном перемагничивании. Связь между электрическими и магнитными величинами для сердечника с обмотками. Магнитные характеристики сердечника и ее связь с геометрическими параметрами и магнитной характеристикой материала. Выделение энергии в сердечнике при перемагничивании. Разделение потерь на статические и динамические.

#### Раздел 2. Конструктивный расчет трансформатора работающего в двухтактном режиме перемагничивания.

Тема 2.1. Моделирование процессов перемагничивания. Отображение в модели основных особенностей процесса перемагничивания (нелинейность и насыщение, гистерезис, динамические явления). Свойства математической модели. Электрическая модель сердечника. Элементы модели. Электрическая

модель сердечника с множеством обмоток и ее использование при анализе процессов в электрической цепи.

Тема 2.2. Токи намагничивания первичной обмотки трансформатора. Уравнение, связывающее мощность, выделяющуюся в сердечнике трансформатора с его геометрией, числом витков, размещением обмоток и электрическим режимом. Ток намагничивания первичной обмотки трансформатора. Ограничение, накладываемое на число витков первичной обмотки, исходя из относительной величины тока намагничивания. Физическое обоснование существования оптимального числа витков первичной обмотки трансформатора соответствующее минимуму мощности, выделяющейся в трансформаторе. Измерение линейных и угловых перемещений. Измерение линейной и угловой скоростей. Вибрация и акустические колебания.

Тема 2.3. Однотактный режим перемагничивания сердечника трансформатора. Физическое обоснование оценочного алгоритма расчета трансформатора с его оптимизацией по критерию минимума массы, объема, выделяющейся мощности. Грубый оценочный расчет трансформатора. Конструктивный расчет трансформатора, учитывающий реальное размещение обмоток в окне его сердечника. Физическое обоснование возникновения несимметричного цикла намагничивания сердечника трансформатора двухтактной ключевой схемы. Опасность такого режима работы и способы его устранения.

### **Раздел 3. Трансформаторные датчики.**

Тема 3.1 Трансформаторные датчики. Погрешность трансформаторного датчика тока и пути ее уменьшения. Особенности построения трансформаторных датчиков тока в двухтактных ключевых схемах.

Тема 3.2 Магнитные накопители энергии-дрессели и анализ происходящих процессов.

Тема 3.3. Нелинейные магнитные элементы. Магнитный усилитель. Стандартизированные ряды магнитных элементов. Нелинейные магнитные элементы. Использование нелинейности магнитной характеристики на примере неуправляемого магнитного ключа. Использование схемы в качестве датчика постоянного тока. Стандартизированные ряды магнитных элементов, выпускаемых промышленностью.

### **3.4. Тематический план практических занятий**

Занятие 1. Электромагнетизм. Основные соотношения. Уравнения Максвелла.

Занятие 2. Самоиндукция и взаимоиנדукция

Занятие 3. Расчет сердечников, изготовленных из ферромагнитного материала

Занятие 4. Графический метод решения задач

Занятие 5. Законы Кирхгоффа для магнитных цепей

Занятие 6. Графический метод решения задач для разветвленных цепей

Занятие 7. Конструктивный расчет трансформатора

Занятие 8. Расчет магнитного усилителя

Занятие 9. Расчет дросселя

### 3.5. Тематический план лабораторных работ

Лабораторная работа 1. Определение точки Кюри

Лабораторная работа 2. Исследование характеристик магнитных сердечников

Лабораторная работа 3. Исследование работы импульсного трансформатора с полупроводниковым ключом

Лабораторная работа 4. Исследование работы магнитного усилителя

### 3.6. Курсовой проект /курсовая работа

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

## 4. Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено			не зачтено
ОПК-1	ОПК-1.6	знать: основные фундаментальные явления и физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.				
		Знает основные фундаментальные явления и физические законы электричества и	В основном знает фундаментальные явления и физические законы электриче	Знает некоторые фундаментальные явления и физические законы электриче	Не знает основные фундаментальные явления и физические законы электрич	

			магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.	ства и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.	ства и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.	ства и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.
Уметь: применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.						
			Умеет применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.	В основном умеет применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.	Частично умеет применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.	Не умеет применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.
владеть: пониманием фундаментальных явлений и умением применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.						
			В полной мере владеет пониманием фундаментальных явлений и умением применять физические законы электриче	В основном владеет пониманием фундаментальных явлений и умением применять физические законы электриче	Плохо понимает фундаментальные явления и не умеет применять физические законы электриче	Не понимает фундаментальных явлений и не умеет применять физические законы электриче

			ства и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.	ства и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.	решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.	магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.
--	--	--	--	--	--	---

Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре разработчика.

## **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1. Учебно-методическое обеспечение**

#### **5.1.1. Основная литература**

1. Сорокин, В. С. Материалы и элементы электронной техники : учебник для вузов : в 2 томах / В. С. Сорокин, Б. Л. Антипов, Н. П. Лазарева. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022 — Том 2 : Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники. — 2022. — 380 с. — ISBN 978-5-507-44648-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/238514>.

2. Обрусник, В. П. Магнитные элементы электронных устройств : учебное пособие / В. П. Обрусник. — Москва : ТУСУР, 2006. — 61 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/11520>.

#### **5.1.2.Дополнительная литература**

1. Трансформаторы : учебное пособие / А. С. Серебряков. - М. : Издательский дом МЭИ, 2019. - 360 с. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383012437.html>. - ISBN 978-5-383-01243-7. - Текст : электронный.

2. Магнитные элементы электронных устройств : учебное пособие / М.Ф. Садыков. - Казань : КГЭУ, 2004. - 92 с. - 2074. - Текст : непосредственный.



3. Магнитные материалы и элементы : учебник для вузов / А. А. Преображенский, Е. Г. Бишарб. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Высш. шк., 1986. - 352 с. : ил. - Текст : непосредственный.

## 5.2. Информационное обеспечение

### 5.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

№ п/п	Наименование электронных и интернет-ресурсов	Ссылка
1	Электронно-библиотечная система «Лань»	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
2	Электронно-библиотечная система «ibooks.ru»	<a href="https://ibooks.ru/">https://ibooks.ru/</a>
3	Электронно-библиотечная система «book.ru»	<a href="https://www.book.ru/">https://www.book.ru/</a>
4	Энциклопедии, словари, справочники	<a href="http://www.rubricon.com">http://www.rubricon.com</a>
5	Портал "Открытое образование"	<a href="http://npoed.ru">http://npoed.ru</a>

### 5.2.2. Профессиональные базы данных / Информационно-справочные системы

Наименование профессиональных баз данных	Адрес	Режим доступа
Российская национальная библиотека	<a href="http://nlr.ru/">http://nlr.ru/</a>	<a href="http://nlr.ru/">http://nlr.ru/</a>
Единое окно доступа к образовательным ресурсам	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
Web of Science	<a href="https://webofknowledge.com/">https://webofknowledge.com/</a>	<a href="https://webofknowledge.com/">https://webofknowledge.com/</a>
КиберЛенинка	<a href="https://cyberleninka.ru/">B https://cyberleninka.ru/</a>	<a href="https://cyberleninka.ru/">B https://cyberleninka.ru/</a>
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>
Физика и техника полупроводников	<a href="http://journals.ioffe.ru">journals.ioffe.ru</a>	<a href="http://journals.ioffe.ru">journals.ioffe.ru</a>
Журнал технической физики	<a href="http://journals.ioffe.ru">journals.ioffe.ru</a>	<a href="http://journals.ioffe.ru">journals.ioffe.ru</a>

### 5.2.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

Наименование программного обеспечения	Описание	Реквизиты подтверждающих документов
Браузер Chrome	Система поиска информации в сети интернет	Свободная лицензия Неискл. право. Бессрочно
NI Academic Site License – Multisim Teaching Only (Smaii)	Пакет программного обеспечения для графического программирования и проектирования	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2013.39442 Неискл. право. Бессрочно
LabVIEW Professional Development System for Windows	Среда графического программирования и разработки приложений	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2013.39442 Неискл. право. Бессрочно
Adobe Acrobat	Пакет программ	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2013.39442 Неискл. право.

LMS Moodle	ПО для эффективного онлайн-взаимодействия преподавателя и	Свободная лицензия Неискл. право. Бессрочно
------------	---	---

## 6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование вида учебной работы	Наименование учебной аудитории, специализированной лаборатории	Перечень необходимого оборудования и технических средств обучения
Лекции	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), демонстрационное оборудование, учебно-наглядные пособия
Практические занятия	Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран) и др.
Лабораторные работы	Учебная лаборатория А-410	Специализированное лабораторное оборудование по профилю лаборатории: Лабораторный стенд №1 Лабораторный стенд №2 Лабораторный стенд №3 Лабораторный стенд №4
	Компьютерный класс с выходом в Интернет А-405	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), лицензионное программное обеспечение
	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
Самостоятельная работа	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
	Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, экран, мультимедийный проектор, программное обеспечение

## **7. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета [www//kgeu.ru](http://www//kgeu.ru). Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);

- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);

- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;

- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;

- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;

- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;

- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;

- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18

пунктов), тотально озвучивается;

- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

## **8. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися.**

Методическое обеспечение процесса воспитания обучающихся выступает одним из определяющих факторов высокого качества образования. Преподаватель вуза, демонстрируя высокий профессионализм, эрудицию, четкую гражданскую позицию, самодисциплину, творческий подход в решении профессиональных задач, в ходе образовательного процесса способствует формированию гармоничной личности.

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);

- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);

- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

*Гражданское и патриотическое воспитание:*

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;

- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и

интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

*Духовно-нравственное воспитание:*

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

*Культурно-просветительское воспитание:*

- формирование эстетической картины мира;

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- повышение познавательной активности обучающихся.

*Научно-образовательное воспитание:*

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

**Вносимые изменения и утверждения на новый учебный год**

№ п/п	№ раздела внесения изменений	Дата внесения изменений	Содержание изменений	«Согласовано» Зав. каф. реализующей дисциплину	«Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит выпускающая
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					

*Приложение к рабочей  
программе дисциплины*



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГУ»)

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
по дисциплине**

Б1.О.20 Магнитные элементы электронных устройств

Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Квалификация Бакалавр

г. Казань, 2023

Оценочные материалы по дисциплине, предназначены для оценивания результатов обучения на соответствие индикаторам достижения компетенций.

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля (ТК) и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

## 1. Технологическая карта

Семестр 5

Наименование раздела	Формы и вид контроля	Рейтинговые показатели							
		I текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК1	II текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК2	III текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК3	Итого	Промежуточная аттестация
<b>Раздел 1. «Электромагнетизм, динамические процессы при перемагничивании ферромагнетиков».</b>	<b>ТК1</b>	<b>15</b>	<b>0-15</b>					<b>15-20</b>	<b>15-20</b>
Тест или письменный опрос		7							
Защита лабораторной работы		8							
<b>Раздел 2. «Конструктивный расчет трансформатора работающего в двухтактном режиме перемагничивания.»</b>	<b>ТК2</b>			<b>15</b>	<b>0-15</b>			<b>15-20</b>	<b>15-20</b>
Тест или письменный опрос				7					
Защита лабораторной работы				8					
<b>Раздел 3. «Трансформаторные датчики».</b>	<b>ТК3</b>					<b>15</b>	<b>0-15</b>	<b>15-20</b>	<b>15-20</b>
Тест или письменный опрос						7			
Защита лабораторной работы						8			
<b>Промежуточная аттестация (экзамен)</b>	<b>ОМ</b>								<b>0-40</b>
Задание промежуточной аттестации									0-10
В письменной форме по билетам									0-30

## 2. Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:



Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
зачтено			не зачтено			
ОПК-1	ОПК-1.6	<p>знать: основные фундаментальные явления и физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.</p>				
		<p>Знает основные фундаментальные явления и физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.</p>	<p>В основном знает фундаментальные явления и физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.</p>	<p>Знает некоторые фундаментальные явления и физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.</p>	<p>Не знает основные фундаментальные явления и физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.</p>	
		<p>Уметь: применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.</p>				
		<p>Умеет применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением</p>	<p>В основном умеет применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением</p>	<p>Частично умеет применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением</p>	<p>Не умеет применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением</p>	

			и ем математи ческого аппарата.	хники с применен и ем математи ческого аппарата.	применен и ем математи ческого аппарата.	применен и ем математи ческого аппарата.
владеть: пониманием фундаментальных явлений и умением применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.						
			В полной мере владеет понимани ем фундамен тальных явлений и умением применят ь физическ ие законы электриче ства и магнетиз ма при решении типовых задач электроте хники с применен и ем математи ческого аппарата.	В основном владеет понимани ем фундамен тальных явлений и умением применят ь физическ ие законы электриче ства и магнетиз ма при решении типовых задач электроте хники с применен и ем математи ческого аппарата.	Плохо понимает фундамен тальные явления и не умеет применят ь физическ ие законы электриче ства и магнетиз ма при решении типовых задач электроте хники с применен и ем математи ческого аппарата.	Не понимает фундамен тальных явлений и не умеет применят ь физическ ие законы электрич ества и магнетиз ма при решении типовых задач электроте хники с применен и ем математи ческого аппарата.

Оценка **«отлично»** выставляется за выполнение и защиту лабораторных работ в семестре; тестовых заданий; глубокое понимание фундаментальных явлений электричества и магнетизма, полные и содержательные ответы на вопросы билета (теоретическое и практическое задание);

Оценка **«хорошо»** выставляется за выполнение и защиту лабораторных работ в семестре; тестовых заданий, глубокое понимание фундаментальных явлений электричества и магнетизма, ответы на вопросы билета (теоретическое или практическое задание);

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется за выполнение и защиту лабораторных работ в семестре и тестовых заданий;

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется за слабое и неполное выполнение лабораторных работ в семестре и тестовых заданий.

### 3. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Описание оценочного средства
Отчет по лабораторной работе (ОЛР)	Выполнение лабораторной работы, обработка результатов испытаний, измерений, эксперимента. Оформление отчета, защита результатов лабораторной работы по отчету	Перечень заданий и вопросов для защиты лабораторной работы, перечень требований к отчету
Практическое задание (ПЗ)	Средство оценки умения применять полученные теоретические знания в практической ситуации. Задание направлено на оценивание компетенций по дисциплине, содержит четкую инструкцию по выполнению или алгоритм действий	Комплект задач и заданий
Тест (Тест)	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося	Комплект тестовых заданий

### 4. Перечень контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

*Пример задания*

**Для текущего контроля ТК1:**

Проверяемая компетенция: ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности, ОПК-1.6 Демонстрирует понимание фундаментальных явлений и умеет применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата.

**Пример теста**

<i>Вопрос</i>	<i>Варианты ответа</i>
Классификация магнитных элементов на диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики производится по величине:	по магнитной восприимчивости
	по направлению магнитного поля $H$
	по направлению намагниченности $M$
Внешнее проявление диамагнетизма проявляется в том, что они:	диамагнетики выталкиваются из внешнего магнитного поля
	втягиваются
	Никак себя не проявляют
Величина магнитной	больше нуля

восприимчивости у парамагнетиков	
	меньше нуля
	равна нулю

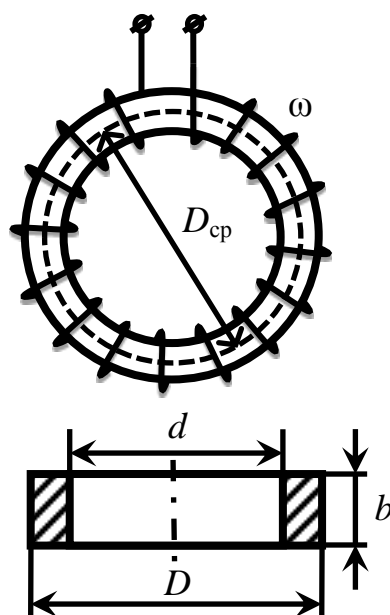
Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре разработчика и содержит 50 тестовых вопросов на каждую компетенцию, из них 20% - закрытого типа, 80% - открытого типа.

Вопросы к комплексному заданию *TK1*

1. Электромагнетизм. Основные соотношения.
2. Магнитные свойства веществ.
3. Основные свойства ферромагнетиков.
4. Гистерезис.
5. Основные параметры ферромагнетиков.
6. Динамические процессы при перемагничивании ферромагнетиков.

Задачи:

1. На кольцевой замкнутый сердечник (рис. 1) равномерно нанесена обмотка с числом витков  $\omega = 200$ . Поперечное сечение кольца прямоугольное. Наружный диаметр кольца  $D = 16$  см, внутренний диаметр  $d = 10$  см, а толщина  $b = 4$  см. Определите ток в обмотке катушки, при котором магнитный поток в сердечнике  $\Phi = 12 \cdot 10^{-4}$  Вб, если материал сердечника: а) дерево, б) литая сталь, в) листовая электротехническая сталь марки Э42. В каждом ли случае будет возможно получение заданного магнитного потока в сердечнике?



2) Определите относительные магнитные проницаемости ( $\mu$ ) и магнитные сопротивления ( $R_m$ ) ферромагнитных сердечников из предыдущей задачи, а также индуктивности их катушек ( $L$ ).

Ответ: для литой стали:  $\mu = 1061$ ,  $R_m = 2,55 \cdot 10^5$  1/Ом·с,  $L = 156,9$  мГн; для стали марки Э42:  $\mu = 1550$ ,  $R_m = 1,74 \cdot 10^5$  1/Ом·с,  $L = 229,9$  мГн.

3) Определите, как изменится индуктивность катушки задачи 1, у которой материал сердечника выполнен из стали Э42, если ток в обмотке ( $I = 1,16$  А) увеличить в два раза.

Ответ: индуктивность уменьшится приблизительно в 2 раза.

4) Определите величины напряженности магнитного поля ( $H$ ), магнитной индукции ( $B$ ), магнитного потока ( $\Phi$ ), магнитной проницаемости ( $\mu$ ), магнитного сопротивления ( $R_m$ ) и индуктивности ( $L$ ) кольцевого сердечника из ферромагнитного материала марки 50НП, если поперечное сечение сердечника  $S = 0,7$  см<sup>2</sup>, а длина его средней линии  $l_{cp} = 15$  см. В равномерно распределенной обмотке сердечника с числом витков  $\omega = 500$  протекает ток  $I = 18$  мА.

Ответ:  $H = 60$  А/м,  $B = 1$  Тл,  $\Phi = 7 \cdot 10^{-5}$  Вб,  $\mu = 13263$ ,  $R_m = 128571$  1/Ом·с,  $L = 1,94$  Гн.

Отчет по лабораторной работе №1.

#### Вопросы к комплексному заданию ТК2

1. Связь между электрическими и магнитными величинами для сердечника с обмотками.
2. Связь между магнитными и электрическими величинами.
3. Токи напряжения и потери энергии сердечника при двуполярном перемагничивании.
4. Конструктивный расчет трансформатора.
5. Возможность минимизации объема трансформатора.
6. Порядок расчета трансформатора двухтактных преобразовательных устройств.

Задачи:

1. В сердечнике из литой стали (рис. 3) необходимо создать магнитную индукцию  $B = 1$  Тл. Число витков равномерно намотанной на сердечник обмотки  $\omega = 200$ , длина средней линии сердечника  $l_{cp} = 69$  см, сечение  $S = 6$  см<sup>2</sup>. Как изменятся ток и магнитное сопротивление магнитопровода, если в сердечнике сделать воздушный зазор  $\delta = 0,5$  мм? Магнитный поток сердечника

должен остаться без изменения. При расчете рассеянием пренебречь и считать поле в воздушном зазоре однородным.

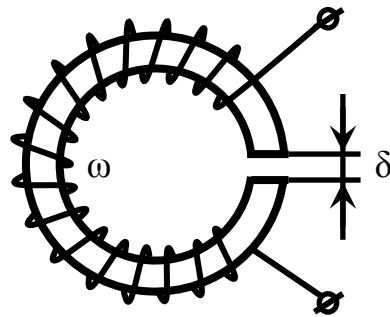


Рис. 3.

2. В воздушном зазоре магнитопровода катушки (рис. 4), набранного из пластин стали Э12, требуется получить индукцию  $B_0 = 1$  Тл. Найдите ток в катушке с числом витков  $\omega = 500$ , если воздушный зазор равен: а)  $\delta_1 = 0,55$  мм, б)  $\delta_2 = 2$  мм. Как изменится индуктивность катушки с увеличением воздушного зазора, если магнитная индукция в зазоре должна оставаться при этом неизменной? При расчете потоком рассеяния пренебречь, магнитное поле в зазоре считать равномерным.. Коэффициент заполнения сталью  $k_{з.с.} = 0,95$ . Размеры даны в миллиметрах.

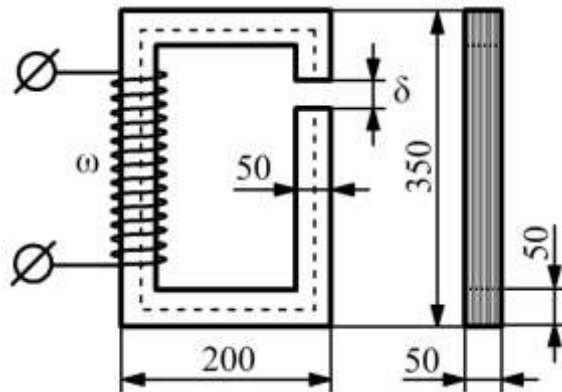


Рис. 4.

Ответ:  $I_1 = 1,8$  А,  $I_2 = 4,12$  А,  $L_1 = 0,66$  Гн,  $L_2 = 0,29$  Гн.

3. Определите ток в обмотке катушки с незамкнутым магнитопроводом (рис. 5, а, б), если заданы длина средней линии  $l_{ср}$ , площадь поперечного сечения сердечника  $S$ , длина воздушного зазора  $\delta$ , число витков обмотки  $\omega$  и величина магнитного потока в зазоре  $\Phi_0$  (табл. 1). При расчете потоком рассеяния пренебречь, магнитное поле в зазоре считать равномерным.

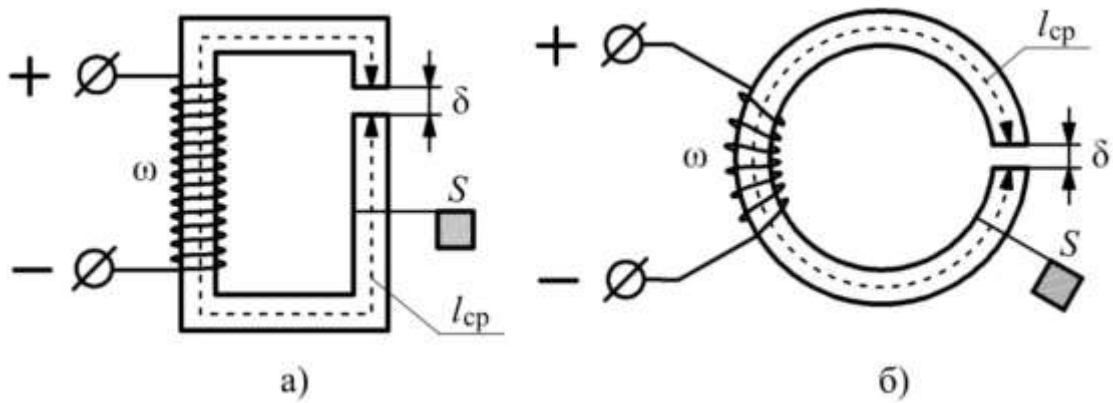


Рис. 5.

Таблица 1.

Вариант	$l_{cp}$ , см	$S$ , см <sup>2</sup>	$\delta$ , см	$\omega$	$\Phi_0$ , Вб	Материал	Рис. 5
1	100	4	0,02	500	$4 \cdot 10^{-4}$	Э42	а
2	70	4	0,05	500	$4 \cdot 10^{-4}$	Э12	а
3	86	25	0,1	400	$30 \cdot 10^{-4}$	50НП	б
4	86	25	0,1	400	$30 \cdot 10^{-4}$	Э31	б

Ответ: 1)  $I = 1,22$  А; 2)  $I = 1,5$  А; 3)  $I = 2,67$  А; 4)  $I = 2,69$  А.

4. В воздушном зазоре магнитопровода катушки (см. рис. 4), набранного из пластин пермаллоя 50НП, требуется получить индукцию  $B_0 = 1,5$  Тл. Найдите ток в катушке с числом витков  $\omega = 750$ , если воздушный зазор равен: а)  $\delta_1 = 1,23$  мм, б)  $\delta_2 = 3,2$  мм. Как изменится индуктивность катушки с увеличением воздушного зазора, если магнитная индукция в зазоре должна оставаться при этом неизменной? При расчете потоком рассеяния пренебречь, магнитное поле в зазоре считать равномерным. Коэффициент заполнения пермаллоем  $k_{з.п.} = 0,95$ . Размеры даны в миллиметрах.

Ответ:  $I_1 = 3,46$  А,  $I_2 = 6,59$  А,  $L_1 = 772$  мГн,  $L_2 = 405$  мГн.

Отчет по лабораторной работе №2.

Вопросы к комплексному заданию ТКЗ

1. Ключевые устройства с двухтактным режимом работы.
2. Потери мощности в элементах конструкции трансформатора.
3. Оптимальный режим перемагничивания сердечника трансформатора.
4. Однотактный режим перемагничивания.
5. Трансформаторные датчики
6. Магнитные параметрические стабилизаторы напряжения.

Задачи:

1. Кольцевой сердечник обмотки с числом витков  $\omega = 800$ , набранный из пластин пермаллоя 79НМ, имеет изменяемый воздушный зазор, в котором необходимо получить индукцию  $B_0 = 0,75$  Тл (рис. 6). Определите величину протекающего в обмотке тока, если воздушный зазор равен: а)  $\delta_1 = 0,66$  мм, б)  $\delta_2 = 3,7$  мм. Как изменится индуктивность обмотки при увеличении воздушного зазора, если магнитная индукция в зазоре должна оставаться при этом неизменной? При расчете потоком рассеяния пренебречь, магнитное поле в зазоре считать равномерным. Коэффициент заполнения пермаллоем  $k_{з.п.} = 0,95$ . Размеры на рисунке 6 даны в сантиметрах.

2. Найдите внутренний диаметр кольцевого замкнутого сердечника из электротехнической стали марки 3411, если известно, что площадь его поперечного сечения  $S = 3,6$  см<sup>2</sup>, а внешний диаметр  $D = 4,5$  см. Магнитный поток, создаваемый в магнитопроводе катушкой с числом витков  $\omega = 1550$ , равен 684 мкВб при токе  $I = 780$  мА.

Ответ:  $d = 3,14$  см.

3. Сколько витков провода в обмотке катушки потребуется для создания магнитного потока  $\Phi = 4,6$  мВб в замкнутом кольцевом сердечнике (рис. 8), выполненном из стали Э42, внутренний диаметр которого  $d = 11$  см, внешний  $D = 17$  см, а толщина  $b = 9,6$  см? В обмотке протекает ток  $I = 2,64$  А.

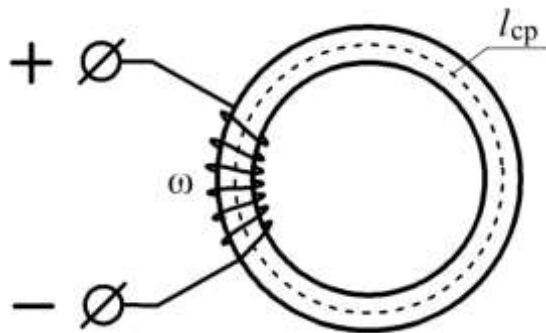


Рис. 8.

Ответ:  $\omega = 1000$ .

4. Сколько витков провода в обмотке катушки потребуется для создания магнитного потока  $\Phi = 656$  мкВб в замкнутом сердечнике стержневого типа, выполненном из пермаллоя 50НП? В обмотке протекает ток  $I = 84$  мА. Параметры сердечника указаны на рисунке 9. Размеры даны в миллиметрах.



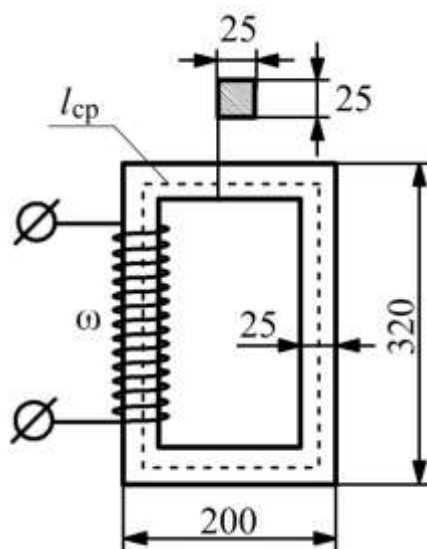


Рис. 9.

Отчет по лабораторной работе №3  
 Отчет по лабораторной работе №4

### ***Перечень требований к отчету***

Лабораторная работа выполняется на компьютере в программной среде Micro-Cap 12 согласно методическим указаниям о выполнении лабораторной работы.

Отчёт по лабораторной работе оформляется индивидуально каждым студентом, выполнившим необходимые эксперименты (независимо от того, выполнялся ли эксперимент индивидуально или в составе группы студентов). Страницы отчёта следует пронумеровать (титульный лист не нумеруется, далее идет страница 2 и т.д.).

Титульный лист отчёта должен содержать фразу: «Отчёт по лабораторной работе «Название работы» по дисциплине «Название дисциплины», чуть ниже: Выполнил студент группы (номер группы) (Фамилия, инициалы)». Внизу листа следует указать текущий год.

Отчёт должен содержать следующие основные разделы:

1. Цель работы.
2. Теоретическая часть.
3. Анализируемые схемы.
4. Результаты (таблицы экспериментальных данных, графики, скриншоты программ).
5. Выводы (основные приобретённые знания о предмете исследования)

**Для промежуточной аттестации:**

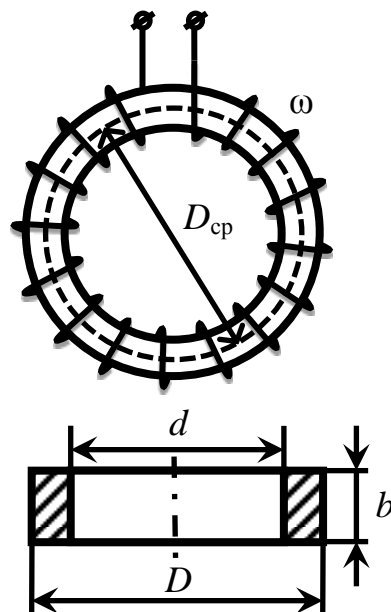
### **Контрольные вопросы для проведения экзамена:**

1. Электромагнетизм. Основные соотношения.
2. Магнитные свойства веществ.

3. Основные свойства ферромагнетиков.
4. Гистерезис.
5. Основные параметры ферромагнетиков.
6. Динамические процессы при перемагничивании ферромагнетиков.
7. Связь между электрическими и магнитными величинами для сердечника с обмотками.
8. Связь между магнитными и электрическими величинами.
9. Токи напряжения и потери энергии сердечника при двуполярном перемагничивании.
10. Конструктивный расчет трансформатора.
11. Возможность минимизации объема трансформатора.
12. Порядок расчета трансформатора двухтактных преобразовательных устройств.
13. Ключевые устройства с двухтактным режимом работы.
14. Потери мощности в элементах конструкции трансформатора.
15. Оптимальный режим перемагничивания сердечника трансформатора.
16. Однотактный режим перемагничивания.
17. Трансформаторные датчики
18. Магнитные параметрические стабилизаторы напряжения.

Задачи:

1. На кольцевой замкнутый сердечник (рис. 1) равномерно нанесена обмотка с числом витков  $\omega = 200$ . Поперечное сечение кольца прямоугольное. Наружный диаметр кольца  $D = 16$  см, внутренний диаметр  $d = 10$  см, а толщина  $b = 4$  см. Определите ток в обмотке катушки, при котором магнитный поток в сердечнике  $\Phi = 12 \cdot 10^{-4}$  Вб, если материал сердечника: а) дерево, б) литая сталь, в) листовая электротехническая сталь марки Э42. В каждом ли случае будет возможно получение заданного магнитного потока в сердечнике?



2) Определите относительные магнитные проницаемости ( $\mu$ ) и магнитные сопротивления ( $R_m$ ) ферромагнитных сердечников из предыдущей задачи, а также индуктивности их катушек ( $L$ ).

Ответ: для литой стали:  $\mu = 1061$ ,  $R_m = 2,55 \cdot 10^5$  1/Ом·с,  $L = 156,9$  мГн; для стали марки Э42:  $\mu = 1550$ ,  $R_m = 1,74 \cdot 10^5$  1/Ом·с,  $L = 229,9$  мГн.

3) Определите, как изменится индуктивность катушки задачи 1, у которой материал сердечника выполнен из стали Э42, если ток в обмотке ( $I = 1,16$  А) увеличить в два раза.

Ответ: индуктивность уменьшится приблизительно в 2 раза.

4) Определите величины напряженности магнитного поля ( $H$ ), магнитной индукции ( $B$ ), магнитного потока ( $\Phi$ ), магнитной проницаемости ( $\mu$ ), магнитного сопротивления ( $R_m$ ) и индуктивности ( $L$ ) кольцевого сердечника из ферромагнитного материала марки 50НП, если поперечное сечение сердечника  $S = 0,7$  см<sup>2</sup>, а длина его средней линии  $l_{cp} = 15$  см. В равномерно распределенной обмотке сердечника с числом витков  $\omega = 500$  протекает ток  $I = 18$  мА.

Ответ:  $H = 60$  А/м,  $B = 1$  Тл,  $\Phi = 7 \cdot 10^{-5}$  Вб,  $\mu = 13263$ ,  $R_m = 128571$  1/Ом·с,  $L = 1,94$  Гн.