





## **1. Учебный план дисциплины**

Дисциплина "Теория электромагнитного поля" изучается на 3-м курсе.

Общий объем учебных часов – 144, из них:

лекции – 6 ч;

практические занятия – 2 ч;

лабораторные занятия – 8 ч;

самостоятельная работа – 128 ч.

Курсовая работа – 20 ч самостоятельной работы.

Форма контроля – зачет.

## **2. Основные сведения о дисциплине**

### **2.1. Цели освоения дисциплины. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата**

Целью преподавания дисциплины «Теория электромагнитного поля» является формирование знаний студентов направления 162500 по теории электромагнитного стационарного и переменного полей, наблюдаемых в авиационных электро- и радиоустановках в процессе их эксплуатации на воздушных судах (ВС).

Дисциплина «Теория электромагнитного поля» относится к учебным дисциплинам вариативной части математического и естественно-научного цикла основной образовательной программы (далее – ООП) направления подготовки 162500 – Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов, квалификация (степень) – бакалавр-инженер.

Для успешного освоения данной дисциплины студент должен владеть знаниями, умениями и навыками, сформированными при изучении дисциплин «Введение в специальность», «Высшая математика», «Информатика и информационные технологии», «Физика», «Материаловедение», «Электротехника» в частности

знать:

фундаментальные физические законы;

основные понятия электромагнетизма;

понятия и методы математического анализа, линейные и поверхностные интегралы;

свойства материалов: электропроводность, диэлектрическая проницаемость, намагничиваемость;

уметь:

дифференцировать и интегрировать функции;

производить вычисления линейных и поверхностных интегралов;

владеть:

математическими методами работы с векторными и скалярными функциями нескольких переменных;

навыками работы с пакетами прикладных программ.

Освоение дисциплины «Теория электромагнитного поля», которая по учебному плану направления 162500 – Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов изучается на 3-м курсе, необходимо для последующих дисциплин «Моделирование систем и процессов», «Основы электроники», «Электрорадиоизмерения», «Авиационные приборы», «Системы электроснабжения ВС», «Электрифицированное оборудование ВС», «Авиационные электрические машины», «Бортовые радиоэлектронные системы» и формирует соответствующие знания, умения и компетенции, необходимые для изучения этих дисциплин.

## *2.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины*

Процесс изучения дисциплины «Теория электромагнитного поля» направлен на формирование у студентов компетенций

общекультурных:

способность в условиях современного развития науки и техники самостоятельно приобретать новые знания, используя различные формы обучения и информационно-образовательные технологии (ОК-4);

способность к самосовершенствованию, самореализации в изменяющихся условиях и готовность при необходимости менять профиль своей профессиональной деятельности (ОК-5);

владение культурой мышления, способность к обобщению, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-8);

профессиональных:

способность использовать основные законы естественно-научных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-1);

способность применять знания на практике, в том числе владеть научным инструментарием, применяемым в области авиации (ПК-2);

способность проводить измерения и инструментальный контроль при эксплуатации авиационной техники, проводить обработку результатов и оценивать погрешности (ПК-4);

В результате изучения дисциплины «Теория электромагнитного поля» студент должен

знать:

основные определения, физические величины, описывающие электрические и магнитные поля;

фундаментальные законы для электромагнитного поля, уравнения Максвелла;

методы расчета цепей с распределенными параметрами, в том числе бортовых линий передачи данных;

методы анализа процессов при распространении электромагнитных волн в проводящих и непроводящих средах;

уметь:

анализировать и проводить расчет процессов в цепях с распределенными параметрами;

анализировать процессы при распространении электромагнитных волн в проводящих и непроводящих средах;

использовать современные прикладные программы для расчета и моделирования полей;

владеть:

понятийным аппаратом в области электромагнетизма;

навыками практической безопасной работы с оборудованием, содержащим электромагнитные устройства и линии с распределенными параметрами.

### **3. Рекомендуемая литература**

#### **3.1. Основная литература:**

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники // Электромагнитное поле: учебник для бакалавров. – М.: Издательство Юрайт, 2013.

#### **3.2. Дополнительная литература:**

2. Кривенцев В.И. Теория электромагнитного поля. – М.: МГТУ ГА, 2005.

3. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. – Л.: Энергия, 1981.

**3.3. Учебно-методическая литература для проведения практических занятий:**

4. Сборник задач по теоретическим основам электротехники / под ред. Л.А. Бессонова. – М.: Высшая школа, 1988.

**3.3. Учебно-методическая литература для выполнения лабораторных работ:**

5. Артеменко Ю.П. Теория электромагнитного поля: пособие к выполнению лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА, 2013.

#### **3.4. Учебно-методическая литература для выполнения курсовой работы:**

6. Артеменко Ю.П. Теория электромагнитного поля: пособие к выполнению курсовой работы. – М.: МГТУ ГА, 2012.

### **4. Электронные средства информации**

#### **4.1. Электронные носители информации по дисциплине**

Электронные ресурсы библиотеки университета – электронные версии пособий, методических разработок, указаний и рекомендаций по всем видам учебной работы.

Пакеты прикладных программ:

MathCad;

ElectronicsWorkBench;

Multisim.

#### *4.2. Интернет-ресурсы:*

<http://www.favt.ru/> – официальный сайт ФС ВТ;

<http://www.mstuca.ru/> – официальный сайт МГТУ ГА;

<http://www.iqlib.ru/> – электронная библиотечная система;

<http://www.vsyaelektrotehnika.ru/> – удобный справочник по дисциплине «Электротехника»;

<http://www.infosait.ru/> – библиотека стандартов.

#### *5. Электронный адрес кафедры для консультаций:*

etiaeo@mstuca.aero.

#### **6. Структура дисциплины**

Дисциплина «Теория электромагнитного поля» состоит из следующих разделов:

- нелинейные цепи переменного тока;
- цепи с распределенными параметрами;
- электрическое поле неподвижных зарядов;
- электрическое поле постоянного тока в проводящей среде;
- магнитное поле постоянного тока;
- переменное электромагнитное поле.

#### **7. Учебная программа дисциплины**

##### *Раздел 1. Нелинейные цепи переменного тока (2 часа)*

Лекция 1. Понятие нелинейного элемента (НЭ) для цепи переменного тока, инерционные и безынерционные элементы. Возникновение несинусоидальных токов и напряжений в цепи с НЭ. Катушка с ферромагнитным сердечником. Схема замещения и векторная диаграмма катушки, понятие активного и намагничивающего тока. Потери энергии в катушке.

Вопросы для самостоятельной работы по разделу 1.

Явление феррорезонанса, феррорезонанс в последовательной и параллельной цепях, триггерный эффект при изменении тока.

Методические указания к изучению раздела 1.

Литература: [1, с. 449-456].

Основные вопросы раздела 1:

при изучении цепей переменного тока с нелинейными элементами следует уяснить, что является причиной возникновения несинусоидальных токов и напряжений в таких цепях.

Изучая катушку с ферромагнитным сердечником, необходимо понять физический смысл параметров ее схемы замещения и научиться строить векторную диаграмму.

Также важно понять физику явления феррорезонанса в последовательной и параллельной цепях.

Контрольные вопросы к разделу 1:

1. Нелинейные элементы в цепях переменного тока. Классификация и примеры.
2. Покажите, что при приложенном синусоидальном напряжении в цепи с нелинейным элементом протекает несинусоидальный ток.
3. Запишите дифференциальное уравнение катушки со сталью. Объясните физический смысл входящих в него величин.
4. Что такое идеальная катушка? Выведите формулу для действующего значения напряжения на идеальной катушке.
5. Постройте кривую тока  $i(t)$  в обмотке идеальной катушки при приложенном синусоидальном напряжении с учетом гистерезиса.
6. Запишите уравнение катушки в символической форме. Постройте векторную диаграмму и схему замещения катушки со сталью.
7. Что такое угол магнитного запаздывания между током и магнитным потоком в катушке со сталью.
8. Объяснить физику возникновения потерь энергии в катушке со сталью. От чего зависит мощность потерь на гистерезис и вихревые токи?
9. В чем заключается явление феррорезонанса.

## *Раздел 2. Цепи с распределенными параметрами (2 часа)*

Лекция 2. Понятие цепей с распределенными параметрами, однородная длинная линия. Первичные параметры линии, вторичные параметры: волновое сопротивление и постоянная распространения. Особенность линии без потерь. Понятие коэффициента отражения, согласованной и несогласованной нагрузки.

Методические указания к изучению раздела 2.

Литература: [1, с. 350-379].

Основные вопросы раздела 2:

особое внимание следует уделить составлению дифференциальных уравнений для мгновенных значений тока и напряжения в линии и переходу к уравнениям в символической форме.

Необходимо научиться записывать общий вид решения уравнений линии, проводить анализ решения как суммы падающих и отраженных волн и определять постоянные интегрирования через ток и напряжение в конце линии.

Контрольные вопросы к разделу 2:

1. Первичные параметры линии. Дифференциальные уравнения линии для мгновенных значений и в символической форме.
2. Записать решение уравнений линии через постоянные интегрирования. Падающие и отраженные волны в линии.
3. Что такое фазовая скорость и длина волны?

4. Вторичные параметры линии: волновое сопротивление  $Z_v$  и постоянная распространения. Физический смысл постоянной затухания и постоянной фазы.

5. Что такое линия без потерь? Волновое сопротивление и постоянная фазы в линии без потерь.

6. Что такое коэффициент отражения? Определение, выражение через  $Z_v$  и  $Z_n$ .

7. Что называется режимом согласованной нагрузки? Основное свойство этого режима.

8. Режимы холостого хода и короткого замыкания в линии без потерь.

9. Входное сопротивление нагруженной линии без потерь. Вывести формулу.

10. Входное сопротивление линии без потерь при коротком замыкании, холостом ходе и согласованной нагрузке.

11. Согласование линии с помощью короткозамкнутого шлейфа и с помощью четвертьволнового трансформатора.

*Разделы 3-6. Электрическое и магнитное поля. Переменное электромагнитное поле (2 часа)*

Лекция 3. Электростатическое поле в вакууме и веществе. Теорема Гаусса в интегральной и дифференциальной форме. Электрический потенциал. Законы Ома и Кирхгофа в дифференциальной форме. Магнитное поле в вакууме и веществе. Закон полного тока. Система уравнений Максвелла.

Вопросы для самостоятельной работы по разделам 3-6.

Уравнения Лапласа и Пуассона для потенциала, граничные условия на границе диэлектрик-проводник и диэлектрик-диэлектрик.

Уравнение Лапласа для потенциала в поле постоянного тока в проводящей среде, граничные условия на границе проводников с различной удельной проводимостью. Преобразование электрической энергии в тепло в проводящей среде, закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме.

Силовое действие магнитного поля на проводник с током, закон Ампера.

Закон Био-Савара. Принцип непрерывности магнитного поля в интегральной и дифференциальной формах.

Скалярный магнитный потенциал, уравнение Лапласа, граничные условия.

Удельная энергия электрического и магнитного полей, поток электромагнитной энергии, теорема Умова-Пойнтинга.

Уравнения Максвелла в символической форме, их решение для случая плоской волны в проводящей среде. Распространение волн в проводящей среде, глубина проникновения, длина волны и фазовая скорость; электромагнитное экранирование.

Уравнения Максвелла в символической форме, их решение для случая плоской волны в диэлектрике (вакууме). Распространение волн, фазовая скорость, длина волны.

Методические указания к изучению разделов 3-6.

Литература: [1, с. 5-159].

Основные вопросы разделов 3-6:

особое внимание следует уделить пониманию законов, определяющих причинно-следственные связи между электрическими и магнитными явлениями, заключенные в уравнениях электродинамики Максвелла.

Контрольные вопросы к разделам 3-6:

1. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Принцип наложения в электростатическом поле.
2. Электрическое поле в веществе. Теорема Гаусса в интегральной и дифференциальной формах.
3. Определение потенциала. Связь между напряженностью и потенциалом. Свойство потенциальности электростатического поля.
4. Уравнения Пуассона и Лапласа для потенциала в электростатике. Граничные условия.
5. Плотность тока проводимости. Закон Ома в дифференциальной форме.
6. Связь тока и плотности тока. Первый закон Кирхгофа в интегральной и дифференциальной формах.
7. Уравнение Лапласа для потенциала в поле постоянного тока в проводящей среде. Граничные условия.
8. Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме.
9. Магнитное поле постоянного тока. Определение магнитной индукции. Связь индукции и напряженности.
10. Закон полного тока в интегральной и дифференциальной формах.
11. Закон Био-Савара.
12. Магнитный поток. Принцип непрерывности магнитного поля в интегральной и дифференциальной формах.
13. Скалярный магнитный потенциал. Уравнение Лапласа. Граничные условия.
14. Ток смещения. Полный ток. Непрерывность силовых линий полного тока.
15. Уравнения Максвелла в интегральной форме.
16. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме для мгновенных значений.
17. Теорема Умова-Пойтинга.

### **8. Терминология дисциплины (понятийный аппарат)**

Основной понятийный аппарат дисциплины «Теория электромагнитного поля» нормируется государственным стандартом ГОСТ 19880-74. «Электротехника. Основные понятия. Термины и определения».

Некоторые основные понятия:

линия с распределенными параметрами, волновое сопротивление, постоянная распространения, падающая и отраженная волна, коэффициент отражения, согласованная нагрузка;

катушка со стальным сердечником (дроссель), основной магнитный поток, магнитный поток рассеяния, схема замещения, потери энергии, феррорезонанс;

электрический заряд, напряженность электрического поля, электрический потенциал; электрическая индукция (смещение), диэлектрическая проницаемость;

плотность тока проводимости, удельное электрическое сопротивление; магнитная индукция, напряженность магнитного поля, магнитная проницаемость, скалярный магнитный потенциал;

ток смещения, полный ток, явление электромагнитной индукции;

удельная энергия электрического и магнитного полей;

электромагнитные волны.

### **9. Практические занятия, их тематика и объем в часах**

Литература: [4].

**ПЗ 1.** Решение задач по расчету постоянного электрического и магнитного полей (2 часа).

### **10. Лабораторные занятия, их тематика и объем в часах**

Литература: [5].

**ЛР 1.** Исследование катушки с ферромагнитным сердечником (Раздел 1).

Цель и содержание работы – изучить экспериментально явления феррорезонанса в цепи, содержащей катушку с ферромагнитным сердечником, а также свойства феррорезонансных нелинейных цепей переменного тока.

**ЛР 2.** Исследование установившихся процессов в линии с распределенными параметрами (Раздел 2).

Цель и содержание работы – экспериментально проверить возникновение "стоячих" волн напряжения вдоль линии в режимах холостого хода и короткого замыкания, ознакомиться с методами измерения основных параметров линии.

### **11. Курсовая работа, ее характеристика**

Литература: [6].

Тема курсовой работы (КР): «Анализ переходных процессов классическим и операторным методами. Расчет поля заряженных тел»

В ходе самостоятельного выполнения КР студенты приобретают практические навыки анализа и расчета переходных процессов в электрических цепях, а также электрических и магнитных полей.

Общие методические указания, требования к оформлению КР, указания к выбору варианта, примеры выполнения заданий и методические рекомендации к решению содержатся в пособии [6].

Затраты времени на выполнение курсовой работы – 20 часов самостоятельной работы.

## Содержание

1. Учебный план дисциплины.....	3
2. Основные сведения о дисциплине.....	3
3. Рекомендуемая литература.....	5
4. Электронные средства информации.....	5
5. Электронный адрес кафедры для консультаций.....	6
6. Структура дисциплины.....	6
7. Учебная программа дисциплины.....	6
8. Терминология дисциплины (понятийный аппарат).....	10
9. Практические занятия, их тематика и объем в часах.....	10
10. Лабораторные занятия, их тематика и объем в часах.....	10
11. Курсовая работа, ее характеристика.....	10