

№ 1100

МИСиС

---

Д.Г. Крутогин

# **Элементы и устройства магнитоэлектроники**

Лабораторный практикум

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

№ 1100

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ СТАЛИ  
И СПЛАВОВ

МИСиС



Кафедра технологии материалов электроники

Д.Г. Крутогин

# **Элементы и устройства магнитоэлектроники**

Лабораторный практикум

Рекомендовано редакционно-издательским  
советом университета

2-е издание, переработанное и дополненное

Москва Издательство «УЧЕБА» 2008

УДК 621.38  
К84

Рецензент  
канд. физ.-мат. наук, доц. *М.Д. Малинкович*

**Крутогин Д.Г.**  
К84      Элементы и устройства магнитоэлектроники: Лаб. практикум. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСиС, 2008. – 81 с.

Лабораторный практикум по курсу «Элементы и устройства магнитоэлектроники» имеет целью обеспечить формирование у студентов навыков радиофизических методов определения магнитных параметров ферритовых материалов, обработки экспериментальных результатов с использованием компьютера, численного моделирования зависимости динамических параметров ферритов от напряженности и частоты магнитного поля.

По сравнению с предыдущим практикумом предусмотрены возможности индивидуализации и усложнения задач лабораторных работ, использования более современных измерительных приборов, дополнительные задания метрологического характера по оценке точности и анализу источников погрешностей измерений.

Предназначен для студентов, обучающихся по специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника».

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
Методические указания к выполнению лабораторных работ .....	4
Лабораторная работа 1. Измерение коэффициента отражения и прямых потерь ферритовых приборов сверхвысоких частот .....	7
Лабораторная работа 2. Исследование и моделирование явлений ферромагнитного резонанса в намагниченных ферритах .....	20
Лабораторная работа 3. Исследование и моделирование магнитных спектров ферритов .....	34
Лабораторная работа 4. Изучение компонент тензора магнитной и комплексной диэлектрической проницаемости ферритов .....	50
Лабораторная работа 5. Измерение магнитных потерь в ферритах при высокой индукции переменного магнитного поля .....	64
Лабораторная работа 6. Исследование зависимости коэффициента отражения феррита от химического состава и толщины слоя .....	73

## **Введение**

Лабораторный практикум по специальному курсу «Элементы и устройства магнитоэлектроники» имеет целью сформировать у студентов навыки измерения электромагнитных параметров ферритовых материалов и элементов, магнитной и диэлектрической проницаемости и потерь на радиочастотах и СВЧ, параметров ферромагнитного резонанса.

Обработка результатов некоторых работ ориентирована на использование ПЭВМ, при этом студентам может быть предложено провести компьютерное моделирование зависимости измеренного параметра от частоты поля или намагниченности феррита.

В настоящем варианте лабораторного практикума по сравнению с предыдущим расширено число лабораторных работ, отобраны наиболее эффективные и наглядные схемы измерительных установок.

Индивидуализация задач практикума обеспечивается набором образцов различных типоразмеров и марок ферритов, возможностью изменения условий эксперимента (частота сигнала, напряженности поля, температура, амплитуда сигнала и т.д.). В лабораторных работах 2–4 студенты получают для измерений индивидуальные образцы. В работах 1 и 5 задания индивидуализированы за счет изменения частоты или смены ферритового прибора.

Проблемные ситуации студент анализирует в работах 1, 3 и 6, где ставится задача сохранения высокой точности измерения при снижении чувствительности прибора в узле стоячей волны. В работах 2, 4, 5 проблемная ситуация связана с выбором критерия приемлемости образца или его положения в измерительной системе для сохранения достаточной чувствительности.

Лабораторные работы выполняются в спецлаборатории, на готовых измерительных стендах, бригадами по два человека в течение двух учебных часов, из которых время непосредственного эксперимента составляет 35...50 мин.

### **Методические указания к выполнению лабораторных работ**

1. Лабораторное занятие включает процедуру допуска к проведению работы, выполнение эксперимента, представление результатов и защиту оформленной работы. Допуск, предъявление результатов выполненной работы и защита проводятся индивидуально.

2. Оформление лабораторной работы и выполнение расчетных заданий осуществляются во время самостоятельной работы студентов.

3. Конспект лабораторной работы, необходимый для допуска к ней, должен включать: цель работы, блок-схему установки и кратко изложенный принцип ее работы, основные расчетные формулы, требования к образцам, в том числе сведения об их форме и размерах, таблицы для регистрации результатов.

4. Допуск проводится преподавателем в виде короткого опроса. Ориентировочный перечень контрольных вопросов приведен в описании каждой работы.

5. Эксперимент проводится под контролем лаборанта или преподавателя.

6. Перед проведением экспериментов необходимо ознакомиться с общими и дополнительными указаниями по безопасности труда по каждой работе. Эти указания следует неукоснительно выполнять.

Далее следует действовать в полном соответствии с указаниями раздела каждой лабораторной работы «Порядок проведения работы», обращаясь к лаборанту или преподавателю в случае, если желаемый результат не достигнут.

7. Заканчивать эксперимент и выключать измерительные установки следует *только после* предъявления преподавателю записанных результатов эксперимента, в противном случае восстановить или повторить результаты можно только после длительного прогрева измерительных приборов.

8. Общие указания по охране труда при выполнении лабораторных работ по курсу «Элементы и устройства магнитоэлектроники»:

- все установки работают от сети напряжением 220 В;
- к проведению работы допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Инструктаж проводится на первом лабораторном занятии для всей группы;
- студентам запрещается проводить ремонт или вскрывать генераторы, индикаторы, блоки питания и другие приборы;
- при неисправности электрической схемы и приборов следует прекратить работу, обесточить установку и сообщить об этом преподавателю;
- при появлении дыма, искрения, запаха горячей изоляции следует немедленно отключить установку от сети и сообщить об этом преподавателю;
- дополнительные указания по охране труда, если они необходимы, приводятся в описании лабораторных работ.

9. Указания по обработке результатов и форме их представления приведены в описаниях лабораторных работ. Следует при всех измерениях и обработке данных максимально использовать точность измерений, обеспечиваемую приборами.

Указания по порядку обращения к ЭВМ для выполнения расчетной части лабораторных работ студенты получают у преподавателя после выполнения соответствующей работы.

10. Защита работы проводится после соответствующего оформления. Форма защиты – собеседование с преподавателем. Список ориентировочных вопросов для защиты работы приводится в описании каждой из работ.

11. Защита всех работ, предусмотренных учебным планом дисциплины, является основанием для получения зачета по данному курсу.

## Лабораторная работа 1

### ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ И ПРЯМЫХ ПОТЕРЬ ФЕРРИТОВЫХ ПРИБОРОВ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

(2 часа)

#### 1.1 Цель работы

Освоить основные СВЧ приборы и сформировать навыки измерения коэффициента стоячей волны напряжений, коэффициента отражения и прямых потерь в СВЧ ферритовых приборах.

#### 1.2. Теоретическое введение

Электромагнитные волны с длиной от 1 м до 0,1 мм образуют сверхвысокочастотный диапазон (СВЧ). В этом диапазоне работают многие радиотехнические средства навигации, обнаружения, сверхдальней, в том числе космической, радиосвязи, радиоастрономические приборы. Радиотехника СВЧ имеет ряд особенностей, отличающих её от радиотехники низких частот. Длина волны СВЧ, как правило, сравнима с размерами передающей линии. При этом двухпроводная линия передачи, характерная для низких частот, становится эффективным излучателем и по этой причине потери энергии из двухпроводной линии весьма велики. В СВЧ радиотехнике применяются закрытые передающие линии: коаксиальная, полосковая или волноводная (рис. 1.1).

В коаксиальной и симметричной полосковой линиях распространяется поперечная электромагнитная волна, в которой электрическая и магнитная составляющие электромагнитного поля ортогональны направлению распространения волны. Волны такого типа называются НЕ-волнами (прежнее обозначение ТЕМ).

В волноводах тип волны определяется конфигурацией и размерами волновода, условиями возбуждения, параметрами среды, заполняющей волновод и т.д. Размеры волноводов простых конфигураций (круглые и прямоугольные трубы) унифицированы. В частности, для трехсантиметрового диапазона СВЧ наиболее употребительным является прямоугольный волновод с размерами  $23 \times 10$  мм.