

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

А. Л. Голстик

(подпись)

06.07.2015

(дата утверждения)

Регистрационный № УД-1702/уч.

ЭЛЕКТРОНИКА СВЧ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-31 04 02 Радиофизика**

2015 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-31 04 02 – 2013 Радиофизика и учебных планов Белорусского государственного университета № G31-164/уч. 2013г.; № G31и-189/уч. 2013г.

СОСТАВИТЕЛИ:

А.С.Рудницкий, профессор кафедры радиофизики и цифровых медиатехнологий Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой радиофизики и цифровых медиатехнологий Белорусского государственного университета
(протокол № 4 от 20 октября 2015 года);

Учебно-методической комиссией факультета радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета
(протокол № 3 от 17 ноября 2015 года).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа дисциплины «Электроника СВЧ» разработана для студентов специальности 1-31 04 02 Радиофизика в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-31 04 02 – 2013 и учебных планов БГУ № G31-164/уч. 2013г.; № G31и-189/уч. 2013г.

Электроника СВЧ – область науки и техники, в рамках которой изучаются и используются явления взаимодействия заряженных частиц с электромагнитным излучением сверхвысокочастотного диапазона.

Цель преподавания дисциплины - овладение знаниями в области СВЧ электроники и приобретение навыков работы с электронными СВЧ приборами.

Задачи изучения дисциплины:

- изучить различного типа процессы взаимодействия заряженных частиц с электромагнитными полями;
- познакомиться с принципами работы, конструкцией, элементами теории и характеристиками электронных приборов и устройств СВЧ различного назначения, использующих указанные процессы.

Для успешного усвоения дисциплины необходимы знания по высшей математике, общей и теоретической физике, основам радиоэлектроники, теории колебаний и волн.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

знать:

- основные уравнения СВЧ электроники;
- физические процессы, протекающие в электронных СВЧ приборах с различными типами взаимодействия электронов с СВЧ полем;
- устройство, принципы работы, характеристики и области применения генераторов, усилителей и умножителей частоты;

уметь:

- анализировать процессы взаимодействия электронов с СВЧ полем;
- проводить теоретические и экспериментальные исследования в области электроники СВЧ;
- решать задачи по разработке и оптимизации СВЧ устройств.

Учебная программа предусматривает для изучения дисциплины общее количество часов – 140, из них аудиторной работы – 68 ч., в том числе лекционных – 34 ч., лабораторных – 34 ч.

Дисциплина преподается в 6 семестре 3 курса для студентов дневной формы получения высшего образования.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение.

Цель и задачи курса. СВЧ диапазон и его особенности. Классификация электронных приборов СВЧ. Применение электронных приборов СВЧ в различных областях науки и техники. Проблемы развития электроники СВЧ.

Тема 2. Узкополосные колебательные системы СВЧ диапазона.

Собственные типы колебаний объемных резонаторов. Добротности резонаторов. Резонансная кривая и ширина резонансной кривой собственного колебания. Тороидальный резонатор. Вынужденные электромагнитные колебания в объемном резонаторе. Способы возбуждения резонаторов и селекции типов колебаний. Условия резонанса. Открытые резонаторы.

Тема 3. Взаимодействие заряженных частиц с электромагнитным полем.

Основные уравнения электроники СВЧ и приближенные методы их решения. Энергетические особенности движения электронов в электромагнитном поле. Законы сохранения. Отбор энергии от электронов в приборах СВЧ. Электронный коэффициент полезного действия. Полный и наведенный токи. Наведенный ток в цепи вакуумного зазора с промодулированным по объемной плотности заряда электронным пучком. Коэффициент взаимодействия электронов с СВЧ полем и угол пролета электронов.

Тема 4. Физические процессы в приборах СВЧ с кратковременным взаимодействием модулированного электронного потока с электромагнитным полем.

Устройство и принцип работы усилителя на двухрезонаторном пролетном клистроне. Исследование физических процессов в двухрезонаторном клистроне. Ускорение электронов. Модуляция электронного потока по скорости. Группирование электронов в трубке дрейфа. Пространственно-временная диаграмма. Уравнение и параметр группирования. Конвекционный ток в двухрезонаторном пролетном клистроне. Мощность возбуждаемых колебаний в выходном резонаторе и электронный коэффициент полезного действия. Оптимальное значение параметра группирования. Коэффициент усиления, амплитудная характеристика и полоса пропускания усилителя на двухрезонаторном клистроне. Многорезонаторные пролетные клистроны.

Умножители частоты и генераторы на двухрезонаторном пролетном клистроне.

Отражательный клистрон. Устройство и принцип работы. Анализ процессов в отражательном клистроне. Пространственно-временная диаграмма. Зоны генерации. Эквивалентные схемы и электронная проводимость. Мощность и частота генерируемых колебаний. Электронная и механическая перестройки частоты генерируемых колебаний. Характеристики и параметры клистронов и области их применения.

Тема 5. Длительное взаимодействие электронов с полем бегущей волны в СВЧ приборах типа О.

Условия синхронизма. Замедляющие системы электронных СВЧ приборов. Характеристики пространственных гармоник. Прямые и обратные гармоники. Устройство и принцип работы усилителя на лампе бегущей волны типа О (ЛБВО). Линейная теория ЛБВО. Дисперсионное уравнение. Структура поля в замедляющей системе с электронным пучком. Коэффициент усиления и частотная характеристика ЛБВО. Электронный коэффициент полезного действия ЛБВО и способы его повышения. Амплитудная характеристика, источники и способы понижения шумов ЛБВО. Применение ЛБВО.

Лампа обратной волны типа О (ЛОВО). Условие самовозбуждения. Частота и перестройка частоты генерируемых колебаний. Параметры и характеристики, применение ЛОВО.

Тема 6. Взаимодействие электронного потока с полем СВЧ в скрещенных постоянных электрическом и магнитном полях.

Электронные приборы типа М. Движение электронов в перекрещивающихся электрическом и магнитном полях. Устройство магнетрона. Статический режим работы магнетрона. Свойства колебательной системы магнетрона: виды колебаний, структура поля, частота колебаний. Стабилизация рабочего вида колебаний. Взаимодействие электронов с СВЧ полем в магнетроне. Динамический режим работы магнетрона. Дрейфовое приближение. Электронный коэффициент полезного действия и другие характеристики, применение магнетронов. Принципы работы ламп обратной и бегущей волны типа М, планитрона.

Тема 7. Перспективные типы взаимодействия электронов с электромагнитным полем в СВЧ приборах.

Приборы с циклотронным резонансом. Лазеры на свободных электронах. Приборы с дифракционным излучением. Устройства твердотельной СВЧ электроники.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Материальное обеспечение занятия	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Введение (2 ч.)	2							
1.1	СВЧ диапазон и его особенности. Классификация и применение электронных приборов СВЧ. Проблемы развития электроники СВЧ.	2							
2.	Узкополосные колебательные системы СВЧ диапазона (10 ч.)	4			6				
2.1	СТК объемных резонаторов. Добротности резонаторов. Резонансная кривая и ширина резонансной кривой собственного колебания.	2			6			Метод. указ. к лаб. раб.	Отчет. Контр. вопросы
2.2	Тороидальный резонатор. Вынужденные электромагнитные колебания в объемном резонаторе. Способы возбуждения резонаторов и селекции типов колебаний. Открытые резонаторы.	2							
3.	Взаимодействие заряженных частиц с электромагнитным полем (4 ч.)	4							
3.1	Основные уравнения электроники СВЧ и приближенные методы их решения.	2							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.2	Отбор энергии от электронов в приборах СВЧ. Электронный коэффициент полезного действия. Полный и наведенный токи. Коэффициент взаимодействия электронов с СВЧ полем и угол пролета электронов.	2							
4.	Физические процессы в приборах СВЧ с кратковременным взаимодействием модулированного электронного потока с электромагнитным полем (20 ч.)	10			10				
4.1	Устройство и принцип работы усилителя на двухрезонаторном пролетном клистроне.	2							
4.2	Основные характеристики двухрезонаторного пролетного клистрона.	2							
4.3	Умножители частоты и генераторы на пролетном клистроне. Многорезонаторные клистроны.	2							
4.4	Отражательный клистрон: устройство и принцип работы. Анализ процессов в отражательном клистроне.	2			6			Метод. указ. к лаб.раб.	Отчет. Контр. вопросы
4.5	Эквивалентные схемы и электронная проводимость. Мощность и частота генерируемых колебаний. Электронная и механическая перестройки частоты генерируемых колебаний. Характеристики и параметры клистронов и области их применения.	2			4			Метод. указ. к лаб.раб.	Отчет. Контр. вопросы
5.	Длительное взаимодействие электронов с полем бегущей волны в СВЧ приборах типа О (20 ч.)	8			12				
5.1	Замедляющие системы электронных СВЧ приборов. Прямые и обратные гармоники, их характеристики. Устройство и принцип работы усилителя на лампе бегущей волны типа О (ЛБВО).	2							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.2	Линейная теория ЛБВО. Вывод и решение дисперсионного уравнения.	2							
5.3	Коэффициент усиления и частотная характеристика ЛБВО. Электронный коэффициент полезного действия ЛБВО и способы его повышения. Амплитудная характеристика, источники и способы понижения шумов ЛБВО. Применение ЛБВО.	2			6			Метод. указ. к лаб. раб.	Отчет. Контр. вопросы
5.4	Лампа обратной волны типа О (ЛОВО). Перестройка частоты генерируемых колебаний. Параметры и характеристики, применение ЛОВО	2			6			Метод. указ. к лаб. раб.	Отчет. Контр. вопросы
6.	Взаимодействие электронного потока с полем СВЧ в скрещенных постоянных электрическом и магнитном полях (10 ч.)	4			6				
6.1	Электронные приборы типа М. Движение электронов в перекрещивающихся электрическом и магнитном полях. Устройство магнетрона. Статический режим работы магнетрона.	2			6			Метод. указ. к лаб. раб.	Отчет. Контр. вопросы
6.2	Взаимодействие электронов с СВЧ полем в магнетроне. Динамический режим работы магнетрона. Электронный коэффициент полезного действия и другие характеристики, применение магнетронов.	2							
7.	Перспективные типы взаимодействия электронов с электромагнитным полем в СВЧ приборах (2 ч.)	2							
7.1	Гирорезонансное взаимодействие электронов и поля. ЛСЭ. Генераторы дифракционного излучения. Устройства твердотельной электроники.	2							

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Список рекомендуемой литературы

Основная

1. Федоров, Н.Д. Электронные приборы СВЧ и квантовые приборы / Н.Д. Федоров. М.: Атомиздат, 1979. 285 с.
2. Андрушко, Л.М. Электронные и квантовые приборы СВЧ / Л.М. Андрушко, В.М. Бурмистенко. М.: Связь, 1974. 203 с.
3. Андрушко, Л.М. Электронные и квантовые приборы СВЧ / Л.М. Андрушко, Н.Д. Федоров. М.: Радио и связь, 1981. 208 с.
4. Лебедев, И.В. Техника и приборы сверхвысоких частот. 2-е изд. Т. 2 / И.В. Лебедев. М.: Высшая школа, 1972. 375 с.
5. Рычков, Ю.М. Электронные приборы сверхвысоких частот: учебное пособие / Ю.М. Рычков. Гродно: ГрГУ, 2002. 103 с.

Дополнительная

6. Трубецков, Д.И. Лекции по СВЧ электронике для физиков. в 2 т. Т.1 / Д.И. Трубецков, А.Е. Хромов. М.: Физматлит, 2004. 496 с.
7. Левитский, С.М. Вакуумная и твердотельная электроника СВЧ / С.М. Левитский, С.В. Кошечкина. Киев: Вища школа, 1986. 315 с.
8. Электронные приборы сверхвысоких частот. Учебное пособие для радиофизических и радиотехнических факультетов и специальностей вузов. 2-е изд. перераб. и доп. / Под ред. В.Н. Шевчика и М.А. Григорьева. Изд-во Саратов. ун-та, 1980. 416 с.
9. Электронные приборы СВЧ / Под ред. В.М. Березина. М.: Высш. шк., 1985. 296 с.
10. Маршалл, Т. Лазеры на свободных электронах / Т. Маршалл. М.: Мир, 1987. 354 с.
11. Вайнштейн, Л.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике / Л.А. Вайнштейн, В.А. Солнцев. М.: Сов. радио, 1973. 399 с.

Примерный перечень лабораторных работ

- Исследование колебательных систем микроволнового диапазона.
- Исследование отражательного клистрона.
- Способы перестройки частоты генерации.
- Исследование работы магнетрона.
- Исследование лампы бегущей волны.
- Исследование лампы обратной волны.

Методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка по дисциплине формируется на основе экзаменационной оценки и оценки текущего контроля. Весовой коэффициент экзаменационной оценки - 0,7; весовой коэффициент текущей успеваемости - 0,3. Оценка текущего контроля формируется на основании оценок отчетов по лабораторному практикуму и результатов тестирования с равными весовыми коэффициентами.

