

**Министерство образования Республики Беларусь  
Учебно-методическое объединение по естественнонаучному образованию**

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый заместитель Министра образования  
Республики Беларусь

*В. А. Агюгуш*

*30.11.2016*

Регистрационный № *1206*



**СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКА**

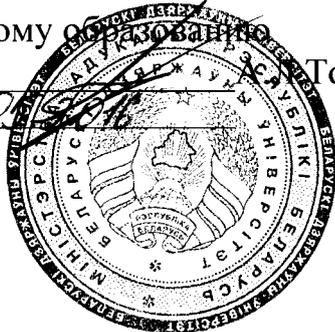
**Типовая учебная программа по учебной дисциплине для специальности  
1-31 04 03 Физическая электроника**

**СОГЛАСОВАНО**

Председатель Учебно-методического  
объединения по естественно-  
научному образованию

*Толстик*

*17.09.2016*



**СОГЛАСОВАНО**

Начальник Управления высшего  
образования Министерства  
образования Республики Беларусь

*С.А. Касперович*

*03.11.2016*

Проректор по научно-методической  
работе Государственного учреждения  
образования «Республиканский  
институт высшей школы»

*И.В.Титович*

нормоконтролер

*А.А. Демисевич*

*13.09.2016*



Минск 2016

## **СОСТАВИТЕЛИ:**

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

## **РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**Кафедра электроники** учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»;

**М.А. Вилькоцкий**, профессор кафедры информатики и методики преподавания информатики учреждения образования «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка», доктор технических наук, профессор.

## **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:**

Кафедрой радиофизики и цифровых медиатехнологий Белорусского государственного университета  
(протокол № 8 от 16 февраля 2016 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета  
(протокол № 4 от 14 марта 2016 г.);

Секцией по специальностям 1-31 04 02 «Радиофизика», 1-31 04 03 «Физическая электроника», 1-31 04 04 «Аэрокосмические радиоэлектронные и информационные системы и технологии», 1-31 80 07 «Радиофизика», 1-31 80 08 «Физическая электроника», 1-31 80 15 «Электрофизика, электрофизические установки» научно-методического совета по физике учебно-методического объединения по естественнонаучному образованию  
(протокол № 1 от 23 февраля 2016 г.)

Ответственный за редакцию и выпуск: А.С.Рудницкий

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Типовая учебная программа по дисциплине «СВЧ - электроника» разработана в соответствии с требованиями образовательного стандарта по специальности 1-31 04 03 «Физическая электроника».

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

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

Задачи дисциплины:

- изучить различного типа процессы взаимодействия заряженных частиц с электромагнитными полями;

- ознакомить с принципами работы и характеристиками электронных приборов и устройств СВЧ различного назначения.

Для успешного усвоения дисциплины необходимы знания по дисциплинам «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Общая физика», «Методы математической физики», «Основы радиоэлектроники».

В результате изучения учебной дисциплины обучающийся должен:

**знать:**

- физические процессы, протекающие в электронных СВЧ-приборах с различными типами взаимодействия электронов с СВЧ-полем;

- устройство, принципы работы, характеристики и области применения СВЧ-генераторов, усилителей и умножителей частоты;

**уметь:**

- анализировать процессы взаимодействия электронов с СВЧ-полем в различного типа приборах;

- решать задачи по разработке и оптимизации СВЧ-устройств;

**владеть:**

- методами расчета базовых характеристик устройств СВЧ-электроники.

Освоение типовой учебной программы по учебной дисциплине «СВЧ-электроника» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

- АК-4. Уметь работать самостоятельно.

- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).

- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

- ПК-4. Проводить математическое моделирование физических процессов, приборов и устройств.

Программа рассчитана на 76 часов, из них аудиторных – 62 (примерное распределение по видам занятий: лекции – 34 часа, лабораторные занятия – 28.

### ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование раздела, темы	Лекции	Лабораторные занятия	Всего
1.	Введение	2	-	2
2.	Узкополосные колебательные системы СВЧ-диапазона.	4	6	10
3.	Взаимодействие заряженных частиц с электромагнитным полем.	4	-	4
4.	Физические процессы в приборах СВЧ с кратковременным взаимодействием модулированного электронного потока с электромагнитным полем.	8	6	14
5.	Длительное взаимодействие электронов с полем бегущей волны в СВЧ-приборах типа О.	8	6	14
6.	Взаимодействие электронного потока с полем СВЧ в скрещенных постоянных электрическом и магнитном полях.	4	6	10
7.	Перспективные типы взаимодействия электронов с электромагнитным полем в СВЧ-приборах.	4	4	8
	<b>Итого</b>	<b>34</b>	<b>28</b>	<b>62</b>

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### **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.**

Типы клистронов. 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.

## **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.

6. Приборы физической электроники: Учеб. пособие/ А.И. Астайкин, Л.В. Воронина, А.Ф. Липатов, В.Б. Профе; под ред. А. И. Астайкина. – М.: Высш. шк., 2008. - 229 с.

7. <http://elib.bsu.by/handle/12345678/147735>.

#### **Дополнительная**

8. 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.

9. Левитский, С.М. Вакуумная и твердотельная электроника СВЧ/ С.М. Левитский, С.В. Кошева. Киев: Вища школа, 1986. - 315 с.

10. 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.

11. Электронные приборы СВЧ/ Под ред. В.М. Березина. М.: Высш. шк., 1985. - 296 с.

12. Маршалл, Т. Лазеры на свободных электронах/ Т. Маршалл. М.: Мир, 1987. - 354 с.

13. 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.

Исследование устройств твердотельной электроники.

Исследование работы магнетрона.

Исследование лампы бегущей волны.

Исследование лампы обратной волны.

#### **Перечень рекомендуемых средств диагностики**

- Тесты по отдельным разделам дисциплины
- Письменные отчеты по лабораторным работам
- Зачет по лабораторному практикуму
- Письменные контрольные работы по лекционному курсу
- Письменный либо устный экзамен по лекционному курсу

#### **Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов включает подготовку к выполнению лабораторных работ и отчета по ним, а также подготовку к рейтинговому тестированию и экзамену.