

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Владимирский государственный университет**  
**имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
**(ВлГУ)**



УТВЕРЖДАЮ  
 Проректор по образовательной  
 деятельности

А.А.Панфилов  
 09 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**"Микроволновые генераторы и усилители" (МВГУ)**  
 (наименование дисциплины)

Направление подготовки 11.04.01 «Радиотехника»

Профиль/программа подготовки \_\_\_\_\_

Уровень высшего образования Магистратура

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма контроля (экз./зачет)
2	2/72	18	-	18	36	Зачет
Итого	2/72	18	-	18	36	Зачет

Владимир 2016

*Мол*

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины "Микроволновые генераторы и усилители" (МВГУ) являются:

1. Подготовка в области физики работы генераторов и усилителей радиосигналов в микроволновом диапазоне.
2. Формирование практических навыков работы с электронными приборами СВЧ.

Дисциплина "Микроволновые генераторы и усилители" обеспечивает подготовку специалиста в области разработки, производства и эксплуатации радиотехнических средств СВЧ. Излагаются физические основы работы широко используемых и перспективных электронных приборов СВЧ. Рассматриваются принципы действия, основные характеристики и области применения микроволновых приборов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина "Микроволновые генераторы и усилители" относится к базовым дисциплинам: Код – Б1.Б7

### *Взаимосвязь с другими дисциплинами*

Дисциплина МВГУ основывается на знании "Высшей математики", "Физики", "Теории электромагнитного поля", "Радиотехнических цепей и сигналов", "Технической электродинамики и антенн" и является базой для изучения "Устройств формирования сигналов", "Устройств приема и обработки сигнала", "Радиотехнических систем" и других специальных дисциплин.

После изучения дисциплины студенты должны: понимать физические основы работы и знать возможности разных типов приборов, уметь правильно выбрать наиболее подходящий для конкретного радиотехнического устройства, приобрести навыки работы с наиболее распространенными электронными приборами СВЧ.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен обладать следующими общепрофессиональными и профессиональными компетенциями (ОПК):

- способностью понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения (ОПК-1);
- готовностью применять современные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторско-технологической документации (ОПК-4)

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

### **Знать:**

- физические основы работы микроволновых электронных приборов СВЧ;
- основные параметры и характеристики современных приборов СВЧ.
- области применения микроволновых электронных приборов;
- перспективы развития микроволновой электроники.

### **Уметь:**

- выбирать приборы СВЧ для конкретных задач применения;
- проводить экспериментальные исследования микроволновых приборов.

### **Владеть:**

- способностью обоснованно, с учетом заданных требований, выбирать электронные приборы СВЧ при построении радиотехнических устройств, систем и комплексов.



#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, \_72\_ часа.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточн. аттестации
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП / КР		
1	Цели преподавания и содержание дисциплины	2	1	2				2		1 (50%)	
			2					2			
2	Классификация и возможности приборов СВЧ		3	2				2		1 (50%)	
			4					2			
3	Колебательные системы электронных приборов СВЧ		5	2				2		1 (50%)	Рейтинг-контроль 1
			6					2			
4	Приборы с электростатическим управлением		7	2				2		1 (50%)	
			8					2			
5	Приборы типа «О»		9	2		4		2		3 (50%)	
			10					2			
6	Приборы типа «М»		11	2		4		2		3 (50%)	Рейтинг-контроль 2
			12					2			
7	Полупроводниковые приборы СВЧ		13	2		4		2		3 (50%)	
			14					2			
8	Диоды Ганна		15	2		4		2		3 (50%)	
			16					2			
9	Лавинно-пролетные диоды		17	2		2		2		2 (50%)	Рейтинг-контроль 3
			18					2			
Всего				18		18		36		18 (50%)	ЗАЧЕТ

#### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

##### 1.1. Активные и интерактивные формы обучения

С целью формирования и развития профессиональных навыков в учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой: (лабораторные работы, контрольные аудиторные работы,

индивидуальные СРС). Объем занятий, проводимых в интерактивных формах, составляет 18 часов.

## **5.2. Самостоятельная работа магистрантов**

Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов включает закрепление теоретического материала и подготовку к выполнению лабораторных. Основа самостоятельной работы - изучение литературы по рекомендованным источникам и конспекту лекций и письменное выполнение заданий самоподготовки к каждой лабораторной работе.

Изучив дисциплину, студент должен научиться подбирать электронные приборы СВЧ для решения конкретных задач. Поэтому в типовых СРС студентам предложены упрощенные структурные схемы радиотехнических систем и устройств, для которых необходимо обоснованно выбрать электронные приборы СВЧ.

### **Задание для СРС**

1. Выбрать типы электронных приборов СВЧ для системы связи в схемах возбудителей, умножителей частоты, усилителей мощности, усилителей промежуточной частоты, маломощных усилителей, гетеродинов.

2. Обосновать выбор путем сравнения вариантов конфигурации конкретных систем и устройств с индивидуальными параметрами. Оценить недостатки применения других приборов.

Расчетно-проектные работы и контрольные задания могут быть индивидуальные исследовательские по темам:

1) составление аналитических обзоров литературы, написание рефератов, переводы научно-технической литературы по вопросам работы и применения электронных приборов СВЧ;

2) разработка лабораторных макетов для испытаний электронных приборов СВЧ.

## **5.3. Мультимедийные технологии обучения**

Все лекционные занятия проводятся в виде презентаций в мультимедийной аудитории с использованием компьютерного проектора и представлением от 25 до 40 слайдов по каждой лекции.

Магистрантам предоставляется компьютерный курс лекций и описания всех лабораторных работ. Компьютерные технологии используются для оформления лабораторных работ.

## **5.4. Рейтинговая система обучения**

Рейтинг-контроль проводится три раза за семестр. Он предполагает оценку суммарных баллов по следующим составляющим: активность на контрольных занятиях; качество выполнения домашних рейтинговых заданий и лабораторных работ.

# **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

## **6.1. Список вопросов к зачету**

1. Особенности диапазона СВЧ, его роль в развитии радиоэлектроники.
2. Классификация и возможности приборов микроволновой электроники (узкополосные и широкополосные усилители и генераторы, умножители частоты, мощные и маломощные приборы).
3. Основы электроники СВЧ: Уравнение движения зарядов. Уравнение скорости электронов в потенциальном электрическом поле. Время пролета электронов. Угол пролета электронов. Пространственно-временные диаграммы движения электронов. Наведенный ток.
4. Колебательные системы электронных приборов СВЧ. Резонаторы.
5. Замедляющие системы. Дисперсия, пространственные гармоники прямые и обратные.



6. Физика работы приборов типа "О" с кратковременными взаимодействием электронного потока с полем СВЧ, энергообмен.
7. Физика работы приборов типа "О" с длительным взаимодействием, энергообмен.
8. Физика работы электронных приборов типа "М", энергообмен.
9. Двухрезонаторный усилительный клистрон, его принцип действия (энергообмен). Основные параметры и области применения.
10. Умножительные клистроны, устройство и энергообмен. Основные параметры и области применения.
11. Многорезонансный усилительный клистрон, его устройство и принцип действия (энергообмен). Основные параметры и области применения.
12. Отражательный клистрон, его устройство и принцип действия (энергообмен). Условия самовозбуждения. Зоны генерации. Электронная перестройка частоты. Основные параметры и области применения.
13. Устройство и принцип действия (энергообмен) усилительной лампы бегущей волны (ЛБВ). Основные параметры и характеристики ЛБВ. Области применения.
14. Генераторы на ЛОВО. Устройство и принцип действия (энергообмен). Параметры и характеристики, области применения.
15. Усилители на ЛОВО. Устройство и принцип действия (энергообмен). Параметры и характеристики, области применения.
16. Лампа бегущей волны типа "М". Устройство и принцип действия (энергообмен). Параметры и характеристики.
17. Лампа обратной волны типа "М". Устройство и принцип действия (энергообмен). Параметры и характеристики.
18. Многорезонаторные магнетроны, устройство и принцип действия (энергообмен). Параметры и характеристики. Области применения приборов типа "М".
19. Физика работы генератора на диоде Ганна (ГДГ). Области применения ГДГ.
20. Лавинно-пролетные диоды (ЛПД). Физические процессы в ЛПД. Области применения. Возможности и области применения.
21. Диодные усилители проходного и отражательного типов. Возможности и области применения.

### 6.2. Задачи к зачету (N – номер по списку группы)

1. Какой частоте соответствует длина волны в воздухе N см? Каковы примерные размеры прямоугольного резонатора для этой частоты?
2. Какой длине волны в воздухе соответствует частота N ГГц? Каковы примерные размеры коаксиального резонатора для этой частоты?
3. Вычислите скорость электрона, приобретенную им в потенциальном электрическом поле при  $U=N$  кВ. Какую часть от скорости света она составляет?
4. Пусть  $U=N$  кВ. Во сколько раз необходимо уменьшить  $V\Phi$  по сравнению со скоростью ЭМП в свободном пространстве, чтобы обеспечить условие горячего синхронизма?
5. Пусть  $U=2N$  кВ. Во сколько раз необходимо уменьшить  $V\Phi$  по сравнению со скоростью ЭМП в свободном пространстве, чтобы обеспечить условие холодного синхронизма?
6. Чему равны время и угол пролета, а также коэффициент взаимодействия при нулевой начальной скорости электрона, если  $F=N$  ГГц, расстояние между электродами (катод – сетка) 3 мм и  $U=N$  кВ?
7. Частота  $F=N/2$  ГГц. Чему равны время и угол пролета электрона между электродами (сетка – сетка) с зазором 5 мм, если он предварительно ускорен напряжением  $U=N$  кВ? Какова величина коэффициента взаимодействия?
8. Каковы габариты маломощного ОК для  $F=N/2$  ГГц?
9. Каковы габариты маломощного ПК с 5 резонаторами для  $F=N$  ГГц?
10. Какой должна быть полная длина ЗС, если вдоль нее укладывается 30 длин волн на частоте  $F=N$  ГГц при  $K_{зам}=10$ ?
11. Какими должны быть диаметр и шаг квазиоднородной ЗС, если  $F=N$  ГГц  $K_{зам}=10$ ?



12. Обоснуйте выбор напряжения питания и расстояния между сетками резонаторов ПК для  $F=N$  ГГц.
13. Какой нужен коэффициент замедления фазовой скорости в ЛБВО для  $U=N/2$  кВ?
14. Какой должна быть полная длина ЗС ЛБВО, если вдоль нее укладывается 20 длин волн на частоте  $F=N$  ГГц при  $K_{зам}=5$ ?
15. Какой должна быть длина окружности и КЗАМ 8-резонаторной ЗС для  $F=N$  ГГц и  $U=3 + N/2$  кВ?
16. Оцените габариты 8-резонаторного магнетрона без магнита и с магнитом для  $F=N$  ГГц.
17. Чему равна скорость движения домена, и какова частота колебаний в пролетном режиме дл
18. я образца  $L=3N$  мкм?
19. Каковы габариты ЛОВО для  $F=N$  ГГц?
20. Каковы габариты ГДГ для  $F=N$  ГГц?
21. Каковы габариты генератора на ЛПД для  $F=N$  ГГц?
22. Каковы габариты ЛОВМ для  $F=N$  ГГц?

### **6.3. Вопросы для рейтинг-контроля**

#### **Рейтинг-контроль 1**

1. Какие приборы СВЧ работают только в усилительном режиме?
2. Какие приборы СВЧ работают как в генераторы и усилители?
3. Какие приборы СВЧ работают только в генераторном режиме?
4. Какие приборы СВЧ работают как широкополосные генераторы?
5. Какие приборы СВЧ работают как широкополосные усилители?
6. Какие приборы СВЧ работают в умножительном режиме?
7. Какие приборы СВЧ работают как узкополосные генераторы?
8. Какие приборы СВЧ работают как узкополосные усилители?
9. Приведите примеры использования приборов СВЧ.
10. Каковы преимущества диапазона СВЧ?
11. Каковы проблемы освоения диапазона СВЧ?

#### **Рейтинг-контроль 2**

12. Как в ОК энергия питания преобразуется в колебательную энергию?
13. Как в ЛБВО и ЛОВО энергия питания преобразуется в колебательную энергию?
14. Поясните принцип геометрического замедления в ЗС.
15. Поясните работу ЗС типа цепочка резонаторов.
16. Что такое пространственные гармоники, и каковы их особенности?
17. Почему в центре зоны генерации ОК мощность максимальна?
18. Поясните частотную характеристику ОК?
19. Почему генерируемая мощность ОК неодинакова в разных зонах?
20. Поясните принцип действия ЛБВО (энергообмен).
21. Поясните характеристику взаимодействия ЛБВО.
22. Поясните АЧХ ЛБВО и ее неравномерность.

#### **Рейтинг-контроль 3**

23. Поясните возникновение автогенерации и энергообмен в ЛОВО.
24. Поясните амплитудную характеристику ЛБВМ.
25. Поясните энергообмен в ЛОВМ.
26. Поясните изменение частоты колебаний от ускоряющего напряжения ЛОВМ.
27. Как возникает отрицательная дифференциальная проводимость ДГ?
28. Как образуется домен, и что он собой представляет?
29. Поясните пролетный режим работы ГДГ.
30. Поясните работу ГДГ в режиме с задержкой образования домена.
31. Каковы основные отличия работы и параметров ЛПД с разной структурой?
32. Поясните режим IMPATT.
33. Поясните TRAPATT режим.

~~1 Вопрос сре~~

См. пп 5, 2

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная

1. Библиотека электронных компонентов. Выпуск 7: ВЧ и СВЧ компоненты фирмы MITSUBISHI ELECTRIC [Электронный ресурс] / В.В. Фриск - М. : ДМК Пресс, 2016. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785878350464.html>
2. Повышение выходной мощности усилителей радиопередающих устройств [Электронный ресурс] / Титов А.А. - М. : Горячая линия - Телеком, 2013. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991203494.html>
3. Линейные индукционные ускорители для релятивистских СВЧ-приборов [Электронный ресурс] / Винтизенко И.И. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113786.html>

### Дополнительная

1. Устройства формирования СВЧ-сигналов и их компоненты [Электронный ресурс] : учеб.пособ. / Л.А. Белов - М. : Издательский дом МЭИ, 2010. – 320 с. <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383004975.html>
2. Виноградов А.Ю., Кабетов Р.В., Сомов А.М. Устройства СВЧ и малогабаритные антенны [Электронный ресурс] : Учебное пособие для вузов / Под ред. А.М. Сомова. - М. : Горячая линия - Телеком, 2012. -440 с. <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991202558.html>
3. Все о радиолампах [Электронный ресурс] / Гендин Г.С. - 2-е изд., испр. - М. : Горячая линия - Телеком, 2014. - (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1283). - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991203913.html>

### Отечественные журналы:

- Радиотехника;
- Радиотехника и электроника;
- Приборы и техника эксперимента;
- Цифровая обработка сигналов.

### Реферативные журналы:

- Радиотехника;
- Электроника.

### Зарубежные журналы:

- IEEE Transactions on Communications;
- IEEE Transactions on Signal Processing;
- IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement.

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

- кафедральные мультимедийные средства (ауд. 301-3 и 335-3);
- слайды по всем лекциям (от 25 до 40 слайдов по каждой лекции);
- оборудование специализированной лаборатории (506-3);
- компьютеры со специализированным программным обеспечением виртуальных СВЧ приборов.

### Примечания:

1. Общее число подготовленных слайдов более 120, они ежегодно редактируются и модернизируются в соответствии с развитием технической и методической базы.
2. Общее число компьютеров в лаборатории 506-3 со специализированным программным обеспечением составляет 7 единиц.



Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению по направлению «Радиотехника».

Рабочую программу составил  
профессор каф. РТ и РС А.Д. Поздняков  
(ФИО, подпись)

Рецензент: ген. директор ВКБ «Радиосвязь» к.т.н. А.Е. Богданов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РТ и РС

Протокол № 1 от 09.16 года

Заведующий кафедрой О.Р. Никитин  
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления «РАДИОТЕХНИКА»

Протокол № 1 от 2.09.16 года

Председатель комиссии зав. кафедрой РТ и РС О.Р. Никитин  
(ФИО, подпись)

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Рабочая программа одобрена на 15/16 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 1.09.15 года

Заведующий кафедрой О.Р. Никитин

Рабочая программа одобрена на 16/17 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 1.09.16 года

Заведующий кафедрой О.Р. Никитин

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ О.Р. Никитин