

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

 Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

Направленность (специальность) 05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Методы и средства формирования сигналов СВЧ»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.2.2

Всего: 108 часов,

Семестр 3 в том числе

6 часов – контактная работа
84 часов – самостоятельная работа,
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 г. № 876 и паспорта специальности 05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является изучение методов и средств формирования радиосигналов сверхвысокочастотного диапазона.

Задачами дисциплины являются:

– изучение свойств выходных и модуляционных каскадов радиопередающих устройств СВЧ диапазона на вакуумных и полупроводниковых приборах;

– ознакомление с научными основами методов формирования радиосигналов СВЧ диапазона;

– изучение основ построения средств формирования радиосигналов СВЧ диапазона различного назначения и различной мощности.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- способность к разработке устройств генерирования, усиления, модуляции и преобразования радиосигналов в радиосредствах различного назначения (ПК-13);

- способность к синтезу и анализу новых типов сигналов с различными видами модуляции. (ПК-14).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать **следующие результаты образования:**

знать:

- новые методы исследования и способы их применения в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);

уметь:

- - критически анализировать и оценивать современные научные достижения, генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- разрабатывать устройства генерирования, усиления, модуляции и преобразования радиосигналов в радиосредствах различного назначения (ПК-13);

владеть:

- культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способностью к синтезу и анализу новых типов сигналов с различными видами модуляции. (ПК-14).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Виды СВЧ сигналов, используемых в радиотехнических системах, и устройств их формирования

Основные виды радиотехнических систем, в которых используются радиосигналы диапазона СВЧ, и диапазоны их рабочих частот. Виды модуляции, применяемые в радиотехнических системах различного назначения. Типовые технические требования к СВЧ сигналам и устройствам их формирования. Классификация устройств формирования сигналов (УФС), используемых в основных видах радиотехнических систем. Типовые функциональные

схемы. Цели, задачи и общие алгоритмы проектирования УФС и их функциональных узлов.

2. Выходные каскады устройств формирования СВЧ сигналов на вакуумных электронных приборах

Типовые технические требования к выходным каскадам УФС СВЧ, для выполнения которых целесообразно использовать вакуумные электронные приборы СВЧ. Общие достоинства и недостатки этих приборов. Усилители мощности на вакуумных электронных приборах СВЧ. Выходные каскады УФС СВЧ на пролётных клистронах: принцип действия, частотные и амплитудные характеристики, методы повышения энергетической эффективности и расширения полосы пропускания. Выходные каскады УФС СВЧ на ЛБВ типа О: принцип действия, частотные и амплитудные характеристики, методы повышения КПД и снижения интермодуляционных искажений. Применение в выходных каскадах ЛБВ магнетронного типа. Платинотрон в режиме амплитрона и стабилитрона. Автогенераторы на вакуумных электронных приборах СВЧ. Лампы обратной волны типа О. Модуляционные и регулировочные характеристики. Генераторные приборы СВЧ магнетронного типа. Многорезонаторный магнетрон. Рабочие и нагрузочные характеристики магнетрона. Эффект длинной линии. Устройство и принцип действия митрона и ЛОВ магнетронного типа.

3. Выходные каскады устройств формирования СВЧ сигналов на полупроводниковых приборах

Эквивалентные схемы биполярных и полевых транзисторов СВЧ. Интегральные и гибридно-интегральные схемы транзисторных генераторов СВЧ. Типичные рабочие режимы транзисторных усилителей СВЧ диапазона. Электрический и конструктивный расчёт транзисторных усилителей СВЧ. Широкополосные усилители мощности на СВЧ транзисторах. Амплитудные характеристики транзисторного усилителя мощности СВЧ диапазона. Схемы сложения мощностей.

4. Возбудители СВЧ радиопередатчиков

Основные требования к возбудителям СВЧ радиопередатчиков: пределы изменения рабочих частот, шаг сетки частот, кратковременная и долгосрочная стабильность рабочей частоты, скорость переключения рабочих частот сетки, максимально допустимые уровни фазовых шумов и побочных дискретных составляющих в спектрах выходных колебаний. Цифровые синтезаторы частот и синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты в качестве возбудителя СВЧ радиопередатчика.

Основные функциональные схемы возбудителей. Схемы автогенераторов со стабилизацией частоты коаксиальными керамическими резонаторами. Опорные генераторы с кварцевой стабилизацией частоты и со стабилизацией по квантовым стандартам частоты.

5. Методы и устройства модуляции колебаний

Основные виды модуляции, используемые в УФС СВЧ: импульсная, частотная, фазовая, импульсно-кодовая, квадратурная амплитудная манипуляция. Цифровые методы модуляции. Основные структурные схемы аналоговых модуляторов и их характеристики. Методы расчёта модуляторов. Статические и динамические модуляционные характеристики. Балансные схемы переноса спектров информационных сигналов вверх с подавлением несущей частоты и зеркальной полосы частот. Методы модуляции с заданными требованиями электромагнитной совместимости по внеполосным модуляционным излучениям.

6. Методы проектирования устройств формирования СВЧ сигналов

Анализ системных требований к УФС СВЧ, выбор основных показателей качества, формулировка ограничений. Построение оптимальной функциональной схемы и формулировка требований к функциональным узлам. Варианты структурных схем в зависимости от назначения, уровня мощности, требований к несущей частоте и занимаемой радиочастотной полосе радиочастот. Выбор схем функциональных узлов, элементной базы и технологии реализации. Методы линеаризации амплитудных и фазо-амплитудных характеристик мощных усилителей. Учёт требований электромагнитной совместимости в усилителях мощности. Проектирование УФС с использованием

сочетания приближённых методов и современных программных пакетов для моделирования функциональных узлов и устройств в целом. Планирование испытаний, изготовление и испытание макетов УФС СВЧ.

7. Заключение

Перспективы совершенствования устройств формирования сигналов СВЧ, а также технологий их проектирования, производства и испытаний.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

3 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Приведите классификацию радиопередатчиков по различным показателям.
2. Поясните назначение и размещение на структурной схеме возбуждителя, промежуточных каскадов модуляции и формирования сигналов СВЧ диапазона, усилителя мощности, синтезатора частот.
3. Поясните принцип действия выходных каскадов УФС на вакуумных электронных приборах СВЧ: пролетных клистронов, лампах бегущей волны. Амплитудные, регулировочные и частотные характеристики.
4. Поясните принцип действия автогенераторов на лампах обратной волны и магнетронах.
5. Изобразите и поясните эквивалентные схемы СВЧ полевых и биполярных транзисторов.
6. Перечислите основные требования к возбуждителям СВЧ радиопередатчиков.
7. Приведите пример функциональной схемы опорного источника колебаний с кварцевой стабилизацией частоты.
8. Приведите пример схемы автогенератора со стабилизацией частоты коаксиальным керамическим резонатором.

9. Приведите пример функциональной схемы опорного источника со стабилизацией частоты по квантовому стандарту.
10. Приведите пример функциональной схемы связного радиопередающего устройства с синтезатором сетки несущих частот и сигналов с фазовой манипуляцией.

Вопросы, включенные в билеты для проведения зачетов

1. Основные требования к радиопередатчику СВЧ связного назначения и его структурная схема.
2. Основные технические требования к радиопередатчику вещательного назначения и его структурная схема
3. Основные технические требования к радиопередающему устройству радиолокационного назначения и его структурная схема.
4. Основные технические требования к радиопередающему устройству СВЧ нагрева и его структурная схема.
5. Принцип действия и основные характеристики усилителя мощности на пролётном клистроне.
6. Принцип действия и основные характеристики усилителя мощности на лампе бегущей волны.
7. Принцип действия, основные характеристики и принципиальная схема транзисторного усилителя мощности.
8. Объясните достоинства и недостатки характеристик усилительного каскада на биполярном СВЧ транзисторе, включённом по схеме с общим эмиттером.
9. В УМ на двухрезонаторном пролётном клистроне $E_p = E_k = 1,2$ кВ, $U_{вх} = 25$ В, $I_0 = 100$ мА, $\tau_0 = 10\pi$, $P_1 = 8$ Вт. Рассчитать $U_{вых}$, $\eta_{э}$, полагая $M_1 = M_2 = 0,8$. Как изменятся $U_{вых}$, $\eta_{э}$, если увеличить $U_{вх}$ в 2 раза ?
10. Методы повышения КПД усилителя мощности на пролётном клистроне.
11. Составить структурную схему усилительно-умножительного модуля, обеспечивающего на частоте 1,5 ГГц $P_n = 30$ Вт при $K_p = 15$ дБ и кратности

умножения 3, если транзисторы выходного каскада отдают в типовом режиме 10 Вт при $K_p = 6$ дБ.

12. Что такое «эффект длинной линии»? Может ли он наблюдаться в транзисторных автогенераторах СВЧ?

13. В 12-резонаторном магнетроне при возбуждении колебания вида π на частоте f_π анодное напряжение $E_{ап} = 10$ кВ. Какой вид колебаний возбудится на частоте $f_n = 1,2 f_\pi$, если здесь (при $V = \text{const} = V_\pi$) $E_a = 14,4$ кВ ?

14. Составить структурную схему трёх последних каскадов транзисторного передатчика с АМ, обеспечивающего в режиме молчания $P_n = 80$ Вт на частоте 400 МГц.

15. Составить структурную схему транзисторного связного передатчика с ЧМ, обеспечивающего $P_n = 150$ Вт на частоте 300 МГц. Как осуществляется ЧМ?

16. Составить структурную схему усилительного модуля, обеспечивающего на частоте 1 ГГц $P_n = 15$ Вт при $K_p = 15$ дБ и коэффициенте умножения частоты в модуле 3, если каждый транзистор выходного каскада отдаёт в типовом режиме 5 Вт при $K_p = 5$ дБ.

17. Сопоставьте типовые технические требования к выходным каскадам средств формирования СВЧ сигналов и к окружающей среде, в которых целесообразно использовать вакуумные, полупроводниковые или комплексированные усилительные приборы.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература:

1. Генерирование колебаний и формирование радиосигналов: учеб. пособие / В. Н. Кулешов, Н. Н. Удалов, В. М. Богачев и др.; под ред. В. Н. Кулешова и Н. Н. Удалова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 416 с.

2. Шахгильдян В. В., Карякин В. Л. Проектирование устройств генерирования и формирования сигналов в системах подвижной радиосвязи: Учеб-

ное пособие для вузов; под ред. В. В. Шахгильдяна. – М. : Солон-Пресс, 2013. – 400 с.

3. Белов Л. А. Устройства формирования СВЧ-сигналов и их компоненты. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 320 с.

4. Электронные устройства СВЧ. В 2 книгах/ Под ред. И.В.Лебедева. М.: Радиотехника, 2008. – 752 с.

5. Базовые лекции по полупроводниковой электронике. Том 2. Твердотельная электроника/ Под ред. В.М. Пролейко. – М.: Техносфера, 2009. – 608с.

6. Ворона В.А. Радиопередающие устройства. Основы теории и расчёта: учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 384 с.

7. Генераторы и усилители СВЧ. Под ред. И.В.Лебедева. М.: Радиотехника, 2005. – 352 с.

б) Дополнительная

8. Генераторы высоких и сверхвысоких частот: Учеб.пособие / О. В. Алексеев, А. А. Головков, А. В. Митрофанов и др. – М.: Высш. школа, 2003. – 326 с.

9. Динамика радиоэлектроники/ Под ред. Ю.И.Борисова.- М.: Техносфера, 2007. – 400 с.