

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

«Флуктуационные характеристики источников колебаний»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.4.1

Всего: 108 часов

Семестр 7 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 овладение методами и средствами исследования воздействия собственных шумов компонентов источников почти гармонических колебаний, применяемых в радиотехнических системах, на спектральные характеристики формируемых колебаний, и способами построения источников колебаний с минимальными уровнями их фазовых и амплитудных шумов.

**Задачами** дисциплины являются:

- изучение основных источников собственных шумов автогенераторов и механизмов их влияния на флуктуации фазы и амплитуды первичных источников автоколебаний;
- изучение влияния параметров первичных источников колебаний на спектральные характеристики и уровни фазовых шумов
- изучение механизмов преобразования фазовых и амплитудных флуктуаций в неавтономных каскадах многокаскадных источниках колебаний и способов оптимизации структур таких источников колебаний по критерию минимума фазовых шумов на их выходах.

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 исследованию новых физических процессов и явлений, позволяющих повысить эффективность радиотехнических устройств (ПК-11);
- способность к теоретическому решению задач синтеза и анализа радиоэлектронных устройств и их исследования методами моделирования (ПК-12);
- способность к разработке устройств генерирования, усиления, модуляции и преобразования радиосигналов в радиосредствах различного назначения (ПК-13);

### **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);

- способами исследования новых физических процессов и явлений, позволяющих повысить эффективность радиотехнических устройств (ПК-11).

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

### *1. Требования к флуктуационным характеристикам радиотехнических систем*

Характеристики систем связи, навигации и радиолокации, на которые оказывают существенное влияние флуктуации фазы (фазовые шумы) источников колебаний, используемых при формировании и обработке сигналов. Требования к фазовым шумам источников опорных и выходных колебаний в радиопередающих устройствах и в гетеродинах радиоприёмных устройств. Стандарты, используемые при описании характеристик, и способы формулировки требований к фазовым шумам

### *2. Колебания, близкие к гармоническим*

Понятие о почти гармонических колебаниях и их основных характеристиках. Описание почти гармонических колебаний во временной и спектральной областях. Описание флуктуаций амплитуды, фазы и частоты в спектральной области. Форма и ширина спектральной линии колебания. Реальные СПМ флуктуаций частоты и форма спектральной линии. Типовые спектральные характеристики флуктуаций фазы, частоты и амплитуды колебаний. Статистические оценки средней частоты колебаний и ее нестабильности. «Двухотсчетная» дисперсия и дисперсия Аллена.

### *3. Источники шумов в биполярных и полевых транзисторах*

Естественные и технические источники шумов. Шумы типа  $1/f$ . Шумовые эквивалентные схемы транзисторов. Способы описания, измерения характеристик источников шумов в транзисторах. – 15 часов.

### *4. Фазовые и амплитудные шумы неавтономных функциональных узлов*

Шумы радиотехнических устройств (усилителей, умножителей частоты, делителей частоты). Естественные ФМ и АМ шумы усилителей и умножителей частоты. ФМ и АМ шумы типа  $1/f$ . Преобразование колебаний с флуктуирующими амплитудой и фазой усилителями, умножителями и делителями частоты. Суммарные ФМ и АМ шумы.

### *5. Фазовые шумы одноконтурного LC-автогенератора.*

Расчёт и исследование ФМ и АМ шумов методом укороченных

символических уравнений. Упрощенные методы описания фазовых шумов в автогенераторах. Квазистатическая модель. Модель Лисона. ФМ и АМ шумы автогенераторов, управляемых по частоте напряжением.

#### *6. Расчёт шумовых характеристик*

Методы расчета ФМ и АМ шумов в автогенераторах с кварцем. Механизмы снижения уровней ФМ шумов в источниках колебаний с кварцевой стабилизацией частоты.

#### *7. Малошумящие источники колебаний*

Основы построения малошумящих перестраиваемых автогенераторных модулей.

### **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

7 семестр – дифференцированный зачет.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. На какие показатели качества радиолокационных систем влияют фазовые шумы источников колебаний?
2. Почему спектральные характеристики фазовых шумов входят в число важнейших характеристик большинства источников колебаний, а аналогичные характеристики амплитудных шумов приводятся лишь в исключительных случаях?
3. Как влияет добротность колебательного контура автогенератора на уровень его фазовых шумов?
4. Как связана форма спектральной линии автогенератора со спектральной плотностью мощности его фазовых шумов?
5. Изобразите и поясните малосигнальную эквивалентную схему биполярного транзистора с источниками вносимых им естественных шумов.
6. Изобразите и поясните малосигнальную эквивалентную схему биполярного транзистора с источниками вносимых им шумов типа  $1/f$ .
7. Изобразите и поясните малосигнальную эквивалентную схему полевого транзистора с источниками вносимых им естественных шумов.
8. Как изменится уровень фазовых шумов колебания после умножения его частоты на два, т.е. на выходе идеального умножителя частоты?

9. Как изменится уровень фазовых шумов колебания после деления его частоты на два при помощи не вносящего дополнительных шумов делителя частоты?
10. Перечислите способы формирования колебаний дециметрового диапазона волн с минимальными уровнями фазовых шумов.

### **Вопросы, включенные в билеты для проведения зачетов**

1. Приведите схему автогенератора, построенного на биполярном транзисторе (БТ) по схеме Клаппа. Методом укороченных символических уравнений рассчитайте спектральную плотность мощности (СПМ) естественных фазовых и амплитудных шумов на выходе автогенератора. При расчете считайте, что БТ безинерционный. Укажите основные методы снижения СПМ естественных фазовых шумов автогенераторов.
2. Приведите схему автогенератора, построенного на полевом транзисторе по схеме Клаппа. Поясните метод расчета спектральной плотности мощности (СПМ) естественных фазовых и амплитудных шумов на выходе автогенератора. При расчете считайте, что ПТ безинерционный. Укажите основные методы снижения СПМ естественных фазовых шумов автогенераторов.
3. Приведите схему автогенератора с кварцевым резонатором в контуре, построенного на биполярном транзисторе (БТ). Поясните метод расчета спектральной плотности мощности (СПМ) естественных фазовых и амплитудных шумов на выходе автогенератора. Как параметры кварцевого резонатора влияют на уровни СПМ естественных фазовых шумов автогенераторов.
4. Изобразите схему автогенератора, управляемого по частоте напряжением. Укажите основные источники шумов в таком автогенераторе.
5. Изобразите схему резонансного усилителя с дифференциальным включением биполярных транзисторов. Поясните влияние дифференциального включения транзисторов на уровни шумов типа  $1/f$ .

### **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

#### **а) основная литература**

1. Генерирование колебаний и формирование радиосигналов : Учебное пособие \ В.Н.Кулешов, Н.Н.Удалов, В.М.Богачев и др.;Под ред. В.Н.Кулешова и Н.Н.Удалова.- М.: Изд дом МЭИ, 2008.-416 с.

2. Белов Л.А. Формирование стабильных частот и сигналов.- М.: Изд.центр «Академия»,2005.-224 с.

3. Евтянов С.И. Избранные статьи. / Сост. В.Н.Кулешов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 304 с.

**б) дополнительная литература**

4. Жалуд В., Кулешов В.Н. Шумы в полупроводниковых устройствах. – М.: Сов.радио, 1977.