



Настоящая программа базируется на следующих дисциплинах: теория колебаний, теория волн, статистическая радиофизика, принципы усиления, генерации и управления сигналами, антенны и распространение радиоволн, выделение сигналов на фоне помех.

## **Перечень вопросов по темам:**

### **1. Теория колебаний.**

1.1. Линейные колебательные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабонелинейные колебательные системы.

1.2. Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем.

1.3. Воздействие гармонического сигнала на автоколебательные системы. Синхронизация. Явления затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты.

1.4. Аналитические и качественные методы теории нелинейных колебаний. Анализ возможных движений и бифуркаций в фазовом пространстве: метод малого параметра, метод Ван-дер-Поля, метод Крылова—Боголюбова.

1.5. Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания.

1.6. Автоколебательные системы с двумя и более степенями свободы. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.

1.7. Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Параметрические усилители и генераторы. Деление частоты.

1.8. Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Собственные функции системы (моды). Разложение вынужденных колебаний по системе собственных функций.

### **2. Теория волн.**

2.1. Плоские однородные и неоднородные волны. Плоские акустические волны в вязкой теплопроводящей среде, упругие продольные и поперечные волны в твердом теле, электромагнитные волны в среде с проводимостью. Поток энергии. Поляризация.

2.2. Распространение сигнала в диспергирующей среде. Простейшие физические модели диспергирующих сред. Волновой пакет в первом и втором приближении теории дисперсии. Фазовая и групповая скорости. Параболическое уравнение для огибающей.

2.3. Свойства электромагнитных волн в анизотропных средах. Оптические кристаллы, уравнение Френеля, обыкновенная и необыкновенная волны.

2.4. Волны в периодических структурах. Механические цепочки, акустические и оптические фононы. Полосы пропускания и непрозрачности. Электрические цепочки, сплошная среда со слабыми периодическими неоднородностями. Связанные волны.

2.5. Приближение геометрической оптики. Уравнения эйконала. Дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах.

2.6. Электромагнитные волны в металлических волноводах. Диэлектрические волноводы, световоды. Линзовые линии и открытые резонаторы.

2.7. Метод Кирхгофа в теории дифракции. Функции Грина. Условия излучения. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера.

### **3. Статистическая радиофизика.**

3.1. Случайные величины и процессы, способы их описания. Стационарный случайный процесс. Статистическое усреднение и усреднение во времени. Эргодичность. Измерение вероятностей и средних значений.

3.2. Корреляционные и спектральные характеристики стационарных случайных процессов. Теорема Винера—Хинчина. Белый шум и другие примеры спектров и корреляционных функций.

3.3. Модели случайных процессов: гауссовский процесс, узкополосный стационарный шум, импульсные случайные процессы, дробовой шум.

3.4. Отклик линейной системы на шумовые воздействия; функция Грина, интеграл Дюамеля. Действие шума на колебательный контур, фильтрация шума. Нелинейные преобразования (умножения частоты и амплитудное детектирование узкополосного шума).

3.5. Марковские и диффузионные процессы.

3.6. Броуновское движение. Флуктуационно-диссипационная теорема. Тепловой шум; классический и квантовый варианты формулы Найквиста. Тепловое излучение абсолютно черного тела.

3.7. Случайные поля. Пространственная и временная когерентность. Дифракция случайных волн. Теорема Ван Циттерта—Цернике. Дифракция регулярной волны на случайном фазовом экране. Тепловое электромагнитное поле. Теорема взаимности.

### **4. Принципы усиления, генерации и управления сигналами.**

4.1. Принцип работы, устройство и параметры лазеров (примеры: гелий-неоновый лазер, лазер на рубине, полупроводниковый лазер).

4.2. Оптические резонаторы. Резонатор Фабри—Перо, конфокальный и концентрический резонаторы. Неустойчивый резонатор. Продольные и поперечные типы колебаний. Спектр частот и расходимость излучения. Добротность.

4.3. Режимы работы лазеров: непрерывный режим генерации, режим модуляции добротности резонатора, режим синхронизации мод.

4.4. Волноводы, длинные линии и резонаторы. Критическая частота и критическая длина волновода. *TE*-, *TM*- и *ТЕМ*-волны. Диэлектрические волноводы. Периодические структуры и замедляющие системы. Волновое сопротивление.

4.5. Усилители СВЧ-диапазона (резонаторный, бегущей волны). Полоса пропускания усилителя бегущей волны.

4.6. Генерация волн в СВЧ-диапазоне. Принцип работы и устройство лампы бегущей и обратной волны, магнетрона и клистрона. Отрицательное дифференциальное сопротивление и генераторы СВЧ на полевых транзисторах, туннельных диодах, диодах Ганна и лавиннопролетных диодах. Эффект Джозефсона.

4.7. Взаимодействие волн пространственного заряда с акустическим полем, акустоэлектрический эффект. Принципы работы акустоэлектронных устройств (усилители ультразвука, линии задержки, фильтры, конвольверы, запоминающие устройства).

## **5. Антенны и распространение радиоволн.**

5.1. Вибратор Герца. Ближняя и дальняя зоны. Диаграмма направленности. Коэффициент усиления и коэффициент рассеяния антенны. Антенны для ДВ, СВ, и СВЧ-диапазонов. Параболическая антенна. Фазированные антенные решетки. Эффективная площадь и шумовая температура приемной антенны.

5.2. Геометрическое и дифракционное приближения при анализе распространения радиоволн. Влияние неровностей земной поверхности. Земные и тропосферные радиоволны. Рассеяние и поглощение радиоволн в тропосфере. Эффект «замирания». Тропосферный волновод. Распространение радиоволн в ионосфере. Дисперсия и поглощение радиоволн в ионосферной плазме. Ионосферная рефракция. Ход лучей в подводном звуковом канале и тропосферном радиоволноводе.

## **6. Выделение сигналов на фоне помех.**

6.1. Задачи оптимального приема сигнала. Апостериорная плотность вероятности. Функция правдоподобия. Статистическая проверка гипотез. Критерии Байеса, Неймана—Пирсона и Вальда проверки гипотез.

6.2. Априорные сведения о сигнале и шуме. Наблюдение и сообщение. Задачи интерполяции, фильтрации и экстраполяции.

6.3. Линейная фильтрация Колмогорова—Винера на основе минимизации дисперсии ошибки. Принцип ортогональности ошибки и наблюдения. Реализуемые линейные фильтры и уравнение Винера-Хопфа. Выделение сигнала из шума. Согласованный фильтр.

6.4. Линейный фильтр Калмана—Бьюси. Стохастические уравнения

для модели сообщения и шума. Дифференциальные уравнения фильтра. Уравнение для апостериорной информации в форме уравнения Риккати. Сравнение фильтрации методом Колмогорова—Винера и Калмана—Бьюси.

#### **Список основных рекомендованных источников.**

7. Карлов П. В., Кириченко П. А. Колебания, волны, структуры. - М.: Физматлит, 2001.
8. Виноградова М. Б., Руденко О. В., Сухоруков А. П. Теория волн. - М.: Наука, 1990.
9. Рабинович М. И., Трубецков Д. И. Основы теории колебаний и волн. - М.: Наука, 1987.
10. Цейтлин Н. М. Антенная техника и радиоастрономия. - М.: Радио и связь, 1976.
11. Тихонов В. И., Харисов В. Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. - М.: Радио и связь, 1991.
12. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. - М.: Мир, 1987.
13. Кайно Г. Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов. - М.: Мир, 1990.
14. Устройства СВЧ и антенны / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов, Л. И. Пономарёв. - М.: Радиотехника, 2008. - 384 с.
15. Неганов В. А., Яровой Г. П. Теория и применение устройств СВЧ. - М.: Радио и связь, 2006.

#### **Список дополнительных рекомендованных источников.**

1. Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э. Теория колебаний. - М.: Наука, 1981.
2. Мигулин В. В., Медведев В. И., Мустель Е. Р., Парыгин В. Н. Основы теории колебаний. - М.: Наука, 1988.
3. Заславский Г. М., Сагдеев Р. З. Введение в нелинейную физику: От маятника до турбулентности и хаоса. - М.: Наука, 1988.
4. Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. - М.: Наука, 1974.
5. Рытов С. М. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 1: Случайные процессы. - М.: Наука, 1976.
6. Рытов С. М., Кравцов Ю. А., Татарский В. И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 2: Случайные поля. - М.: Наука, 1978.
7. Гауер Дж. Оптические системы связи. - М.: Радио и связь, 1989.
8. Балакший В. П., Парыгин В. Н., Чирков Л. Е. Физические основы акустооптики. - М.: Радио и связь, 1985.
9. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров. - М.: Мир, 1981.
10. Вайнштейн Л. А., Солнцев В. А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. - М.: Сов. радио, 1973.
11. Зверев В. А. Радиооптика. - М.: Сов. радио, 1975.

12. Фейнберг Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. - М.: Наука. 1999.

13. Черный Ф. Б. Распространение радиоволн. - М.: Сов. радио, 1972. - 464 с.

14. Неганов В. А., Осипов О. В., Раевский С. Б., Яровой Г. П. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебник / Под ред. В. А. Неганова и С. Б. Раевского. Изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Радиотехника. 2009.

Составители программы:

Б. А. Беляев, д-р техн. наук, профессор,

Ю. П. Саломатов, канд. техн. наук, доцент.

Программа соответствует паспорту номенклатуры специальностей научных работников.



