

Учебная программа

Дисциплины «Современные проблемы радиофизики»

«Квантовая радиотехника»

Автор программы Кисляков А.Г.

Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Введение

Общие представления о проблемах классической физики при измерениях физических величин, а также при возникновении квантовых явлений. Физические парадоксы, возникающие в классической радиотехнике (парадокс Бриллюэна, УФ катастрофа, парадокс Шеннона и др.). Примеры устройств, работающих на квантовых явлениях (контакт Джозефсона, квазичастичный преобразователь частоты, квантовый парамагнитный усилитель и др.) Стандарты физических величин, использующие квантовые явления (стандарты частоты, напряжения, сопротивления и др.).

Раздел 2. Фундаментальные пределы в точности измерений физических величин

Стандартные квантовые пределы (СКП). Принцип и примеры косвенных измерений. Квантовое невозмущающее измерение и вопросы его реализуемости. Измерение импульса и координаты материального тела, а также энергии гармонического осциллятора

Раздел 3. О параметрах некоторых радиотехнических устройств

Идеальный радиометр. Фундаментальный предел шумовой температуры усилителя. Фундаментальный предел чувствительности при измерениях интенсивности тепловых излучений. Достижимые параметры резистивных преобразователей частоты. Квазичастичные преобразователь частоты и детектор. Квантовый предел эффективности детектирования. Явление «одноэлектроники» и перспективы его использования. Квантовый магнитометр («сквид»). Понятие «кванта» магнитного потока. Чувствительность сквида в гистерезисном и безгистерезисном режимах. Квантовый эффект Холла и стандарт сопротивления. Стабильность частоты автогенератора. Ее ограничения в связи с СКП энергия-время. Стандарты частоты и перспективы их улучшения.

Раздел 4. Предельная пропускная способность канала связи

Количество информации и энтропия. Парадокс Шеннона. Матрица плотности и описание потоков фотонов. Идеальный фотонный канал связи. Разрешение парадокса Шеннона. Узкополосный канал связи, оптимальная частота носителя информации. Когерентный канал. Минимальная энергия, необходимая для передачи единицы информации. Формула Бриллюэна. Каналы с шумами, оптимальные спектры сигнала.

Раздел 5. Квантово-механическое описание равновесных флуктуаций (ФДТ)

Парадокс Бриллюэна. Классический подход в описании флуктуаций в физических системах. Метод Ланжевена (символические уравнения). Квантово-механическое описание флуктуаций физических величин на основе микроскопических уравнений. Понятие обобщенной восприимчивости. Флуктуационно-диссипационная теорема. Описание тепловых флуктуаций в сложных системах. Теорема Каллена-Вэлтона для сложных электрических цепей.

Раздел 6. Стандарты физических величин на основе квантовых явлений

Стандарты частоты на основе квантовых генераторов. Стандарт напряжения на основе эффекта Джозефсона. Понятие кванта магнитного потока. Предельная эффективность детектирования электромагнитных волн. Стандарт сопротивления на базе эффекта Холла, проблема уточнения постоянной тонкой структуры.

Раздел 7. Предел время-частотного разрешения при анализе нестационарных сигналов.

Линейные методы анализа нестационарных сигналов (текущий и мгновенный спектры, «скользящий» Фурье-спектр). Представление нестационарных сигналов на основе аналитического сигнала. Понятия огибающей, мгновенной фазы, мгновенной частоты. Методы анализа на основе аналитического сигнала: функция Рихачека, функция неопределенности Вудворда-Девиса и др. Преобразование Вигнера-Вилля. Примеры применения метода Вигнера-Вилля в физических экспериментах.

Раздел 8. Квантовый эффект Холла

Физические условия возникновения квантового эффекта Холла. Зависимость его от формы и структуры полупроводникового образца. Применение эффекта Холла, связь холловского сопротивления и постоянной тонкой структуры.

Раздел 9. Одноэлектроника.

Эффект кулоновской блокады и туннелирование электронов через разрыв проводника. Возникновение одноэлектронных колебаний и их частота. Сравнение с джозефсоновской и блоховской частотами. Использование одноэлектроники в радиоэлектронных системах.

Рекомендуемая литература

а) основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. – М.: Физматгиз. 1962.
2. Брагинский В.Б. Физические эксперименты с пробными телами. – М.: Наука, 1970.
3. Воронцов Ю.И. Теория и методы макроскопических измерений. – М.: Наука, 1989.
4. Воронцов Ю.И. // УФН, 1994, Т.164, С.89-104.
5. Файн В.М. Квантовая радиофизика. – М.: Сов. Радио, 1972.
6. Митюгов В.В. Физические основы теории информации. – М.: Сов. Радио, 1976.
7. М.Л. Левин, С.М.Рытов. Теория равновесных тепловых флуктуаций в электродинамике. М.: Наука, 1967.
8. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н. Радиотелескопы и радиометры. – М.: ГИФМЛ, 1972.
9. Лихарев К.К., Ульрих Б.Т. Системы с джозефсоновскими контактами. – М.: Изд. МГУ, 1978.
10. Лихарев К.К., Клаесон Е. Одноэлектроника. // В мире науки. 1992, № 8, с.42-48. Флетчер П. // Электроника, 1993, № 17, с.1.
11. Квантовая метрология и фундаментальные константы. Сб. статей. / Пер. с англ. под ред. Р.Н.Фаустова и В.П.Шелеста. – М.: МИР, 1981.
12. Кисляков А.Г. Главы квантовой радиотехники. Учебное пособие. – Изд. ННГУ, 1997, 90

б) дополнительная литература:

1. А.Г.Кисляков, В.А.Разин, Н.М.Цейтлин. Введение в радиоастрономию. Учебник для студентов ВУЗов, обучающихся по специальности "Радиофизика и электроника". Часть I. Основы радиоастрономии. Изд. ННГУ и фирмы "Физматлит" (Москва). 1995. 212 с.
2. А.Г.Кисляков. Предельная чувствительность радиометров и вопросы ее реализации. Учебное пособие. Изд. ГГУ. Горький, 1988.
3. Saleh A.A.M. Theory of resistive mixers. Cambridge, MA. MIT Press, 1971.
4. Archer J.W. // Proc. of the IEEE, 1985, V.73, PP.109-130.
5. Solymar L. Superconductive Tunneling and Applications. – N.Y.: Wiley, 1972.
6. Richards P.L., Quing Hu. // Proc. of IEEE, 1989, V.77, P.1235.
7. Klitzing K., Dorda G., Pepper M. // Phys.Rev.Lett., 1980, V.45, P.494.

Контрольные вопросы

1. В чем заключаются парадоксы классической физики: парадокс Бриллюэна, ультрафиолетовая катастрофа, парадокс Шеннона?
2. Приведите примеры радиотехнических устройств, работающих на основе квантово-механических явлений.
3. Поясните принцип квантового невозмущающего измерения.
4. Дайте определение «идеального» радиометра.

5. Как зависит чувствительность радиометра от количества типов колебаний излучения в его ВЧ тракте?
6. Чему равна минимальная шумовая температура усилителя?
7. В чем отличие детекторного радиометра от радиометра с услителем на входе?
8. Предельная эффективность детектирования э/м колебаний.
9. Формула для кванта магнитного потока.
10. Какой эффект используется в стандарте напряжения? В стандарте сопротивления?
11. Чем ограничивается предельная пропускная способность канала связи при условии, что носителем информации является электромагнитная волна?
12. Объясните связь энтропии и информационной емкости сигнала.
13. Как разрешается парадокс Бриллюэна (ФДТ)?
14. Дайте определение предельного разрешения на плоскости энергия-время при анализе нестационарных сигналов.
15. Изложите принцип преобразования Вигнера-Вилля.
16. Сформулируйте физические условия реализации квантового эффекта Холла.
17. Приведите формулу для холловского сопротивления.
18. Каково метрологическое значение квантового эффекта Холла?
19. Опишите эффект кулоновской блокады.
20. Приведите формулу для частоты одноэлектронных колебаний.
21. Каковы физические условия возникновения одноэлектронных явлений?
22. Опишите принципиальную схему одноэлектронного транзистора.
23. Принцип работы одноэлектронного термометра.
24. Другие применения одноэлектроники в радиотехнических системах.