

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Программа спецкурса  
Лектор – профессор В.П. Митрофанов  
V курс, 9-й семестр (36 час)

Анализируются различные аспекты проблемы достижения максимальной чувствительности в физических измерениях. Рассматриваются основные виды шумов в электронных приборах и цепях, их прохождение через линейные и нелинейные системы. Наряду с классическими, специальное внимание уделяется квантовым шумам, проявляющимся в высокочастотных или высокочастотных системах. Рассмотрены неклассические состояния оптического излучения и возможности их использования в измерительных системах. Изложены основные положения теории фильтрации и обнаружения слабых сигналов, методы обработки сигналов и их выделения из шумов.

Случайные процессы. Их описание и статистические характеристики. Вычисление и измерение автокорреляционных функций и спектральных плотностей случайных процессов. Выбросы случайных процессов. Пересечение порога гауссовским случайным процессом.

Последовательность случайных импульсов. Теоремы Кемпбелла. Дробовой шум. Формула Шоттки для спектральной плотности дробового шума. Подавление дробового шума. Дробовой шум в мезоскопических структурах. Субпуассоновский дробовой шум. Измерение дробового шума как средство исследования электронных процессов в физических системах.

Квантовый шум и его природа. Квантовый шум в оптических системах. Шумы фотодетектора. Статистика фотоотсчетов для различных видов оптического излучения. Формула Мандела. Неклассические состояния оптического излучения и возможности их использования в измерительных системах.

Флуктуационно-диссипационная теорема (ФДТ). Ее применение в различных физических системах. Применение ФДТ к распределенным системам. Особенности теплового шума в высокочастотных колебательных системах. Квантовое поведение макроскопического осциллятора.

Шумы в активных системах. Коэффициент шума усилителя. Оптимальная шумовая температура усилителя. Согласование по шуму. Квантовый предел шума линейного усилителя. Измерение коэффициента шума.

Совместное воздействие сигнала и шума на линейную систему. Отношение сигнал-шум. Фильтрация. Обнаружение сигналов. Оптимальный фильтр.

Восстановление сигнала из шума. Критерий минимума среднеквадратичной ошибки. Фильтрация Винера-Колмогорова. Фильтр Калмана.

Спектральный анализ. Дискретное преобразование Фурье и быстрое преобразование Фурье. Оптический спектральный анализатор.

Нелинейные преобразования шумов. Амплитудное детектирование. Отношение сигнал-шум на выходе квадратичного детектора для малого и большого сигнала.

Структурные схемы систем обработки слабых сигналов. Синхронное детектирование. Принцип действия радиометра и его чувствительность.

Цифровая обработка сигналов. Дискретизация и восстановление сигналов. Аналого-цифровые преобразователи. Оценки шумов квантования. Автоматизированные измерительные системы.

#### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. С.А. Ахманов, Ю.Е. Дьяков, А.С. Чиркин Введение в статистическую радиофизику и оптику. М., Наука, 1981.
2. М. Букингем, Шумы в электронных приборах и системах. М., Мир, 1986.
3. Д.Н. Клышко, Физические основы квантовой электроники. М., Наука, 1986.
4. Б.И. Шахтарин, Случайные процессы в радиотехнике. М., Радио и связь, 2000.
5. Ж. Макс, Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. М., Мир, 1983.
6. К.Б. Клаассен, Основы измерений, электронные методы и приборы в измерительной технике. М., 2000.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ya. M. Blanter, M. Buttiker, Shot noise in mesoscopic conductors, Phys.Rep. 336,1,2000.
2. H. Haus. Electromagnetic noise and quantum optical measurements, Springer, 2000.
3. C. Beenakker and C. Schonenberger, Quantum Shot Noise, Physics Today, 37, May2003.
4. C. H. Henry and R.F. Kazarinov, Quantum noise in photonics, Rev. Mod. Phys., 68, 801, 1996.
5. Yu. Levin, Internal thermal noise in the LIGO test masses: a direct approach, Phys.Rev.D 57, 659, 1998.