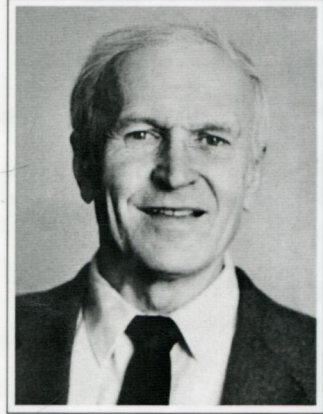


Р. Л. Стратонович

Выдающийся физик-теоретик,
один из создателей
теории стохастических
дифференциальных уравнений

Лауреат Ломоносовской премии
и Государственных премий
СССР и России

**Избранные вопросы
ТЕОРИИ
ФЛЮКТУАЦИЙ
В
РАДИОТЕХНИКЕ**

Радиотехника



URSS

Р. Л. Стратонович

**ИЗБРАННЫЕ
ВОПРОСЫ
ТЕОРИИ ФЛЮКТУАЦИЙ
В РАДИОТЕХНИКЕ**

Под редакцией
доктора физико-математических наук, профессора
Ю. Л. Климонтовича

Издание второе



URSS
МОСКВА

ББК 22.311 22.317 22.318 22.336 32.84 32.85

Стратонович Руслан Леонтьевич

Избранные вопросы теории флуктуаций в радиотехнике / Под ред.
Ю. Л. Климонтовича. Изд. 2-е. — М.: ЛЕНАНД, 2021. — 560 с. (Классика
инженерной мысли: радиотехника.)

Книга посвящена рассмотрению ряда новых актуальных проблем теории флуктуационных процессов в радиотехнических устройствах.

Вначале излагается необходимый математический аппарат. Применительно к радиотехническим задачам разработан и систематически используется аппарат процессов Маркова. При обзоре методов исследования обсуждаются условия их применимости и эффективность.

В книге рассмотрена в основном теория нелинейных преобразований флуктуационных и полезных сигналов, воздействие шума на электронное реле и теория работы автоколебательных систем при наличии флуктуаций.

Книга предназначена для научных работников, аспирантов и инженеров, работающих в области радиотехники и электроники. Частично она может быть использована также физиками и математиками, интересующимися теорией случайных процессов.

ООО «ЛЕНАНД».

117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, д. 11А, стр. 11.

Формат 60×90/16. Печ. л. 35. Зак. № 162620.

Отпечатано в АО «Т 8 Издательские Технологии».

109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5.

ISBN 978–5–9710–8299–6

© ЛЕНАНД, 2021

29648 ID 267324



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к первому изданию	3
Глава 1. Математический аппарат для исследования флюктуационных процессов	7
§ 1. Случайная функция и ее статистические характеристики	7
1. Способы описания случайной величины	7
2. Корреляции между случайными величинами	13
3. Случайная функция и способы ее описания	18
§ 2. Стационарный случайный процесс и спектральная интенсивность	23
1. Основные понятия	23
2. Вычисление спектральной плотности при помощи преобразования Лапласа	28
3. Случайный спектр и его связь со спектральной интенсивностью	29
4. Усреднение стационарных случайных процессов по времени	33
5. Парные корреляции нескольких случайных процессов	37
§ 3. Гауссовы и негауссовы случайные процессы. Квази-моментные функции	40
1. Нормальная случайная функция и ее плотности распределения	40
2. Условные корреляционные функции нормального процесса	44
3. Негауссов случайный процесс и квази моментные функции	47
§ 4. Процессы Маркова и родственные им случайные процессы	53
1. Определение процесса Маркова и стохастическое уравнение	53
2. Дельта-коррелированные случайные функции	58
3. Уравнение Фоккера—Планка и уравнение Колмогорова	59
4. Решение уравнения Фоккера—Планка	63
5. Многомерное уравнение Фоккера—Планка	72
6. Задачи, связанные с достижением границ	76
7. Замена реального случайного процесса процессом Маркова. Частный случай	80

8. Замена реального случайного процесса процессом Маркова. Общий случай	86
9. Система уравнений для нескольких случайных процессов	96
10. Нормальные процессы Маркова	100
11. Флюктуационное уравнение второго порядка и решение двумерного уравнения Фоккера—Планка в частных случаях	104
12. Переход от процесса Маркова к сглаженному процессу	118
§ 5. Нестационарные случайные процессы	122
1. Процессы с медленными нестационарными изменениями	122
2. Процессы установления	123
3. Процессы со стационарными приращениями	124
4. Периодически нестационарные случайные процессы	130
§ 6. Системы случайных точек и связанные с ними случайные функции	133
1. Способы описания системы случайных точек	133
2. Случайные функции, построенные на основе системы случайных точек	140
3. Точки, распределенные по закону Пуассона. Дробовой шум	143
4. Системы случайных точек, полностью определяемые первыми двумя моментами	147
5. Спектральная плотность последовательности импульсов	150
§ 7. Узкополосные случайные процессы	164
1. Эквивалентность узкополосной случайной функции двум медленно меняющимся процессам	164
2. Узкополосные случайные процессы, определяемые дифференциальными уравнениями	172
3. Амплитуда и фаза узкополосного процесса. Релеевские флюктуации	177
4. Квазирелеевский флюктуационный процесс	183
глава 2. Преобразование флюктуаций и полезного сигнала нелинейными радиотехническими элементами	187
§ 8. Методы анализа безынерционных нелинейных преобразований	187
1. Преобразование плотностей вероятности	189
2. Моментные функции при полиномиальном преобразовании	192
3. Моментные функции при кусочно-разрывных преобразованиях. Прямой метод	201
4. Вычисление моментных функций при экспоненциальном преобразовании. Метод Райса	212
§ 9. Методы анализа инерционных нелинейных преобразований. Детектирование случайных сигналов	222

1. Воздействие узкополосного процесса на детектор. Метод огибающей	224
2. Метод малой нелинейности	234
3. Метод уравнивания Фоккера—Планка	240
4. Детектирование гармонического сигнала и шума с малым временем корреляции	244
5. Случай промежуточных времен корреляции	248
Глава 3. Выбросы случайной функции и воздействие шума на электронное реле	263
§ 10. Среднее число выбросов случайной функции	264
1. Число выбросов плавно меняющегося случайного процесса	264
2. Среднее число серий выбросов для процессов Маркова	267
3. Примеры применения формулы, определяющей частоту повторения серий	276
§ 11. Длительность выбросов случайных процессов Маркова	279
1. Число выбросов марковского процесса с длительностью, превышающей фиксированную величину	280
2. Примеры	285
3. Ненормированная плотность распределения выбросов по длительности	293
4. Связь распределения выбросов по длительности с корреляционной функцией ограниченного процесса	295
5. Выбросы сглаженного процесса	299
§ 12. Воздействие плавно меняющихся флюктуаций на реле с высоким уровнем срабатывания	301
1. Распределение выбросов гладких флюктуаций по длительности	302
2. Другие методы исследования выбросов плавных флюктуаций	310
3. Площадь выбросов над уровнем срабатывания	319
4. Воздействие импульсных сигналов и флюктуационных помех на электронное реле. Время нечувствительности	324
5. Нестабильность момента срабатывания реле, вызванная прибавлением флюктуаций к полезному импульсу	331
Глава 4. Нелинейные автоколебания при наличии флюктуаций	337
§ 13. Основные уравнения, описывающие работу генератора при наличии флюктуаций	337
1. Предварительные замечания	337
2. Пример автоколебательной системы. Ламповый генератор	340
3. Уравнения в стандартной форме и упрощенные уравнения	347

4. Упрощение флюктуационных членов	355
§ 14. Методы решения упрощенных уравнений	363
1. Флюктуации амплитуды как процесс Маркова. Уравнение Фоккера—Планка	363
2. Метод линеаризации	370
3. Квазистатистический метод	376
4. Таблица применимости различных методов	382
§ 15. Влияние собственных флюктуаций на работу генератора	385
1. Малая интенсивность дробовых флюктуаций и линеаризованное уравнение	386
2. Дробовые флюктуации в пренебрежении периодическими изменениями анодного тока	392
3. Периодическая нестационарность дробового шума	399
4. О влиянии флюктуаций амплитуды на диффузию фазы	403
§ 16. Воздействие интенсивных внешних флюктуаций на генератор	406
1. Флюктуации фазы при подаче шума на колебательный контур	407
2. Воздействие шума на сетку генератора. Разброс амплитуды	415
3. Корреляционная функция амплитуды и спектральная плотность	423
§ 17. Влияние медленных флюктуаций и техническая нестабильность частоты	428
1. Уравнения, описывающие автоколебания при флюктуациях анодного напряжения	430
2. Корреляционная функция и спектр сигнала при гауссовых флюктуациях частоты	434
3. Влияние фликкер-шума лампы на частоту	438
4. Случай больших независимых приращений фазы	441
5. Малые независимые фазовые приращения	445
6. Модуляция автоколебаний шумом	450
§ 18. Синхронизация генератора при наличии помех	456
1. Основные уравнения. Малые отклонения от синхронного режима в приближении линеаризации	457
2. Стационарное распределение фазы и средняя частота	468
3. Большие отклонения фазы и диффузия числа колебаний	479
4. Случай большого синхронизирующего воздействия	490
§ 19. Параметрические колебания	502
1. Линейные параметрические колебания. Основные уравнения	504
2. Узкополосные колебания параметров, близкие к гармоническим	507
3. Быстрые флюктуации параметров. Применение стохастических методов	511
	557

4. Одновременное присутствие как гармонического, так и флюктуационного параметрического воздействия	517
5. Плотность распределения амплитуды. Влияние нелинейности	526
6. Двухконтурные параметрические системы. Параметрические усилители	529
Приложение	545
Принятые обозначения	546
Л и т е р а т у р а	548
Предметный указатель	550