

Содержание

Предисловие	9
Введение	11
ГЛАВА 1. НАЧАЛО ПРОЦЕССА. ОБНАРУЖЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ. ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ	19
1.1. Введение	19
1.2. Генерация хаоса в вакуумных приборах	20
1.3. Микрополосковые генераторы хаоса	23
1.4. Моделирование генераторов хаоса	26
ГЛАВА 2. РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С СОБСТВЕННОЙ СЛОЖНОЙ ДИНАМИКОЙ И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ ...	32
2.1. Введение	32
2.2. Кольцевые радиофизические системы	34
2.3. Теоретические предпосылки исследования сложной динамики физических систем	40
2.4. Методы компьютерного моделирования	42
2.5. Экспериментальные методы исследования. Обработка данных	45
ГЛАВА 3. ХАОТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА КОЛЬЦЕВЫХ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ПОЛУТОРА СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ	47
3.1. Введение	47
3.2. Динамика автогенератора с инерционным запаздыванием первого порядка	48
3.3. Теоретическое и численное исследование влияния асимметрии на динамику кольцевого автогенератора	70
3.4. Экспериментальное исследование автогенератора с асимметричной характеристикой нелинейного элемента	83
ГЛАВА 4. ДИНАМИЧЕСКИЙ ХАОС В КОЛЬЦЕВЫХ СИСТЕМАХ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ЧИСЛОМ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ	95
4.1. Введение	95
4.2. Странные аттракторы в кольцевых автоколебательных системах с аperiodическими звеньями	96



4.3. Динамика модели с 2,5 степенями свободы и симметричной характеристикой нелинейного элемента.....	98
4.4. Явление затягивания и переключения мод в системе с 2,5 степенями свободы.....	114
4.5. Развитие странных аттракторов с ростом надкритичности. Фазовые переходы «хаос—гиперхаос».....	119
4.6. Динамика модели с 3,5 степенями свободы. Хаос на основе двух- и трехчастотных колебаний.....	123
4.7. Экспериментальное исследование системы с 2,5 степенями свободы и асимметричной характеристикой нелинейного элемента.....	125

ГЛАВА 5. ПРЕЦИЗИОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ХАОСА..... 135

5.1. Введение.....	135
5.2. Понятие хаотического синхронного отклика.....	136
5.3. Примеры декомпозиции автоколебательных систем.....	138
5.4. Оценка качества хаотического синхронного отклика.....	141
5.5. Устойчивость отклика. Явление «on—off»-перемежаемости.....	142
5.6. Критерий прецизионности генераторов.....	146
5.7. Структура прецизионных генераторов хаоса.....	147
5.8. Генератор хаоса с 1,5 степенями свободы.....	149
5.9. Генератор хаоса с 2,5 степенями свободы.....	158

ГЛАВА 6. СИНТЕЗ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ЗАДАННЫМ СПЕКТРОМ МОЩНОСТИ..... 166

6.1. Введение.....	166
6.2. Модель автоколебательной системы (АКС).....	166
6.3. АКС с числами $n = 1, m = 0$	168
6.4. АКС с числами $n = 2, m = 0$	171
6.5. АКС с числами $n = 1, m = 1$	173
6.6. Динамические характеристики хаотических сигналов с заданными спектральными характеристиками.....	174

ГЛАВА 7. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА БАЗЕ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С МАЛЫМ ЧИСЛОМ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ..... 177

7.1. Введение.....	177
7.2. Базовые модели низкоразмерных автоколебательных систем на основе твердотельных активных элементов.....	177
7.3. Автоколебательная система с 1,5 степенями свободы.....	180
7.4. Автоколебательная система с 2,5 степенями свободы.....	182

7.5. Задача формирования спектральных характеристик сигналов в низкоразмерных автоколебательных системах	189
7.6. Спектральные характеристики автоколебательной системы с 1,5 степенями свободы	190
7.7. Спектральные характеристики автоколебательной системы с 2,5 степенями свободы	195
7.8. Автоколебательная система с 2,5 степенями свободы с экспоненциальной характеристикой активного элемента	199
7.9. Влияние размерности автоколебательной системы на спектральные свойства хаотических сигналов.....	203
7.10. Генерация хаотических колебаний с более сложными формами спектра мощности	205

ГЛАВА 8. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ХАОСА МИКРОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

8.1. Введение	208
8.2. Принципы построения имитационных моделей для хаотических систем микроволнового диапазона	210
8.3. Средства моделирования	211
8.4. Модель твердотельного источника хаоса дециметрового диапазона.....	213
8.5. Экспериментальный макет твердотельного источника хаоса дециметрового диапазона	223
8.6. Модель твердотельного источника хаоса сантиметрового диапазона	227
8.7. Экспериментальный макет твердотельного источника хаоса сантиметрового диапазона.....	228
8.8. Сравнение расчетных и экспериментальных результатов.....	230

ГЛАВА 9. ГЕНЕРАЦИЯ ХАОТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ.....

9.1. Введение	232
9.2. Модель неавтономной автоколебательной системы с 2,5 степенями свободы	233
9.3. Динамика низкоразмерной модели автоколебательной системы при внешнем гармоническом воздействии	235
9.4. Динамика низкоразмерной модели автоколебательной системы при периодическом воздействии видеоимпульсами.....	237
9.5. Генерация сложных идентичных импульсов	239
9.6. Модель неавтономной автоколебательной системы с сосредоточенными параметрами	240
9.7. Моделирование автоколебательной системы с сосредоточенными параметрами под внешним управляющим воздействием.....	241

9.8. Идентичность импульсов.....	244
9.9. Экспериментальный макет.....	245
9.10. Генерация импульсов. Эксперимент.....	246

ГЛАВА 10. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ХАОСА

МИКРОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА.....	249
10.1. Введение.....	249
10.2. Динамика некоторых простых автоколебательных систем с сосредоточенными параметрами при учете эквивалентной схемы корпуса транзистора.....	249
10.3. Источник хаоса микроволнового диапазона с одним источником питания. Моделирование без учета топологии платы.....	256
10.4. Источник хаоса микроволнового диапазона с одним источником питания. Моделирование с учетом топологии платы.....	258
10.5. Экспериментальное исследование твердотельного источника хаоса микроволнового диапазона с одним питанием.....	260
10.6. Источник хаоса микроволнового диапазона с одним источником питания с печатными индуктивностями.....	262
10.7. Экспериментальное исследование динамических режимов твердотельного источника хаоса микроволнового диапазона с одним источником питания с печатными индуктивностями.....	267
10.8. Экспериментальное исследование зависимости спектральных характеристик сигнала от значений параметров системы.....	271

ГЛАВА 11. ГЕНЕРАЦИЯ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

В АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА.....	275
11.1. Введение.....	275
11.2. Модель автоколебательной системы с полевым транзистором в качестве активного элемента.....	275
11.3. Генерация хаоса на высоких частотах при заданной крутизне характеристики транзистора.....	279
11.4. Моделирование с учетом реальных характеристик транзистора.....	281

ГЛАВА 12. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

ХАОСА МИКРОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА В ВИДЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ.....	285
12.1. Введение.....	285
12.2. Моделирование твердотельных источников хаоса микроволнового диапазона в виде интегральных микросхем на основе кремний-германиевой технологии.....	286

12.3. Экспериментальная реализация твердотельного источника хаоса микроволнового диапазона в виде интегральной микросхемы на основе кремний-германиевой технологии	293
ГЛАВА 13. РАСПРЕДЕЛЕННАЯ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА С ТРЕМЯ АКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ	294
13.1. Введение.....	294
13.2. Структура автоколебательной системы	294
13.3. Экспериментальное исследование системы.....	295
13.4. Модель распределённой системы	299
13.5. Исследование бифуркационных явлений	302
ГЛАВА 14. СИСТЕМА НА СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ.....	309
14.1. Введение.....	309
14.2. Переход от системы с распределёнными элементами к структуре на сосредоточенных элементах	309
14.3. Динамика основных режимов колебаний	315
14.4. Экспериментальное исследование системы.....	320
14.5. Изменение спектральных и энергетических свойств колебаний при вариации количества активных элементов в кольце обратной связи.....	324
14.6. Управление спектром автоколебаний	326
ГЛАВА 15. ГЕНЕРАЦИЯ ХАОСА В СИСТЕМЕ НА КМОП-СТРУКТУРЕ....	330
15.1. Введение.....	330
15.2. Структура и модель системы	331
15.3. Исследование динамических свойств системы.....	334
15.4. Управление диапазоном частот спектра мощности колебаний	338
15.5. Влияние длины канала КМОП-структуры на частотные и энергетические характеристики хаотических колебаний.....	340
15.6. Эксперимент	344
Процесс разработки экспериментального макета.....	344
Исследование экспериментального макета.....	348
ГЛАВА 16. ГЕНЕРАЦИЯ ХАОТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ МИКРОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА В СИСТЕМЕ НА КМОП-СТРУКТУРЕ.....	351
16.1. Введение.....	351
16.2. Динамика системы при работе в импульсном режиме	351
16.3. Экспериментальное подтверждение возможности генерации хаотических импульсов	357

ГЛАВА 17. ГЕНЕРАТОРЫ ХАОСА СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ В МИКРОПОЛОСКОВОМ ИСПОЛНЕНИИ	359
17.1 Введение.....	359
17.2 Описание конструкции генератора и его динамических режимов	359
17.3. Низкочастотное периодическое воздействие на СВЧ-генератор.....	366
ГЛАВА 18. ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ИХ АНАЛИЗ.....	369
18.1 Введение.....	369
18.2. Динамика нелинейного осциллятора с p — n -переходом при внешнем гармоническом воздействии. Численный эксперимент.....	369
18.3. Экспериментальное исследование физической модели нелинейного осциллятора	377
18.4. Нелинейный осциллятор при внешнем гармоническом воздействии и постоянном смещении на p — n -переходе	383
18.5. Низкочастотная модель генератора с варактором	386
ГЛАВА 19. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ МИКРОВОЛНОВОГО ХАОСА ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ	391
Литература	397
Предметный указатель	418