



НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ
Системы с запаздыванием, вакуумные микроволновые приборы,
системы взаимодействующих нелинейных волн

*Н.М. Рыскин, А.А. Балякин, Т.В. Дмитриева,
В.Н. Титов, О.С. Хаврошин, А.М. Шигаев*

©LAP LAMBERT Academic Publisher, 2011
ISBN 978-3-8433-0886-1

Изучение нелинейной динамики в распределенных системах радиофизической и электронной природы представляет интерес как для решения многих традиционных практических задач радиоэлектроники (теория переходных процессов, возбуждение паразитных колебаний, усиление и генерация коротких импульсов, усиление сигналов со сложным спектральным составом), так и в связи с новыми перспективами применения хаотических сигналов в системах связи, обработки информации, радиолокации, радиоэлектронного противодействия. Изучение сложного нерегулярного поведения (пространственно-временного хаоса) в таких системах может послужить ключом к решению проблемы возникновения турбулентности. В монографии рассматриваются автоколебательные системы с запаздыванием, модели приборов вакуумной микроволновой электроники, системы параметрически взаимодействующих волн, обсуждается подавление неустойчивостей в таких системах при помощи методов управления хаосом. Книга рассчитана на научных работников, занимающихся исследованием нелинейных явлений в радиофизике, электронике и смежных областях, может быть также полезна аспирантам и студентам старших курсов физических и физико-технических специальностей вузов.

Оглавление

Введение

1. Нелинейная динамика и задачи радиофизики и СВЧ-электроники

- 1.1. Генераторы СВЧ хаотических колебаний: возможности практического применения.
1.1.1. Системы связи. 1.1.2. Обработка информации. 1.1.3. Радиолокация. 1.1.4. Генераторы помех.
1.2. Генераторы СВЧ хаотических колебаний: основные результаты теоретических и экспериментальных исследований. 1.2.1. ЛБВ-генераторы с запаздывающей обратной связью. 1.2.2. Лампы обратной волны. 1.2.3. Нелинейная динамика взаимодействия ЭП-ЭМВ вблизи границы полосы пропускания. 1.2.4. Клистронные автогенераторы с запаздыванием. 1.2.5. Лазеры на свободных электронах.

- 1.3. Другие области применения нестационарной теории. 1.3.1. Паразитное самовозбуждение усилителей. 1.3.2. Усиление и генерация коротких импульсов. 1.3.3. Усиление сигналов со сложным спектральным составом.
- 1.4. Выводы.
- 2. Сложная динамика простых моделей автогенераторов с запаздыванием**
- 2.1. Простая модель автогенератора с кубичной нелинейностью и запаздыванием. 2.1.1. Теоретический анализ. 2.1.2. Результаты численного моделирования. 2.1.3. Приближение трех взаимодействующих мод.
- 2.2. Модель «однорезонаторного клистрона» с запаздыванием. 2.2.1. Режимы стационарной генерации и их устойчивость. 2.2.2. Результаты численного моделирования. 2.2.3. Применение к нестационарной теории отражательного клистрона.
- 2.3. Модель ЛБВ-генератора с узкополосным фильтром в цепи обратной связи: особенности хаотической динамики и использование в схеме передачи информации.
- 2.4. Анализ спектра показателей Ляпунова в системах с запаздыванием. 2.4.1. Методика расчета спектра показателей Ляпунова систем с запаздыванием. 2.4.2. Результаты расчета спектра показателей Ляпунова. 2.4.3. Типичные особенности процедуры расчета спектра показателей Ляпунова.
- 2.5. Выводы.
- 3. Нестационарная теория клистронных автогенераторов с запаздыванием**
- 3.1. Теория двухрезонаторного клистрона-генератора с ЗОС. 3.1.1. Основные уравнения. 3.1.2. Условия самовозбуждения, стационарные режимы и их устойчивость. 3.1.3. Численное моделирование процессов перехода к хаосу. 3.1.4. Влияние сил пространственного заряда. 3.1.5. Применение клистрона-генератора в схеме прямохаотической передачи информации.
- 3.2. Теория многорезонаторного клистрона-генератора. 3.2.1. Основные уравнения. Трехрезонаторный клистрон. 3.2.2. Приближение большого усиления в промежуточных каскадах. 3.2.3. Условия самовозбуждения автоколебаний. 3.2.4. Численное моделирование сложной динамики многорезонаторных клистронов.
- 3.3. Экспериментальное исследование многорезонаторного клистрона-генератора.
- 3.4. Выводы.
- 4. «Тонкая структура» режимов автомодуляции и хаоса в лампе обратной волны**
- 4.1. Основные уравнения нестационарной нелинейной теории ЛОВ. 4.1.1. Уравнения движения. 4.1.2. Уравнение возбуждения. 4.1.3. Переход к уравнениям стационарной теории. 4.1.4. Конечно-разностная схема.
- 4.2. Переход к хаосу в однопараметрической модели ЛОВ.
- 4.3. Нелинейная динамика двухпараметрической модели ЛОВ (нестационарная нелинейная теория ЛОВ при конечных значениях параметра усиления).
- 4.4. Нелинейная динамика релятивистской ЛОВ.
- 4.5. Нелинейная динамика ЛОВ с отражениями. 4.5.1. Условия самовозбуждения. 4.5.2. Численное моделирование. Самовозбуждение и возникновение автомодуляции. 4.5.3. Переход к хаосу при больших отражениях. 4.5.4. Переход к хаосу при слабых отражениях.
- 4.6. Моделирование нелинейной динамики релятивистской ЛОВ при помощи полностью электромагнитного кода MAGIC.
- 4.7. Переход к развитому хаосу в цепочке двух однонаправлено связанных ЛОВ.
- 4.8. Воздействие узкополосного хаотического сигнала на усилитель и генератор обратной волны. 4.8.1. Усложнение хаотического сигнала при прохождении через ЛОВ-усилитель. 4.8.2. Воздействие детерминированного хаотического сигнала на ЛОВ-генератор.
- 4.9. Выводы.
- 5. Нестационарная нелинейная теория ЛБВ-генератора с запаздывающей обратной связью**
- 5.1. Модель и основные уравнения.
- 5.2. Условия самовозбуждения и стационарные режимы генерации.
- 5.3. Возникновение автомодуляции.
- 5.4. Сценарий перехода к хаосу.
- 5.5. Моделирование нелинейной динамики ЛБВ-генератора с замедляющей структурой типа «петляющий волновод». 5.5.1. Постановка задачи. 5.5.2. Линейная нестационарная теория. 5.5.3. Численное моделирование. Режимы стационарной генерации. 5.5.4. Численное моделирование. Режимы автомодуляции и хаоса. 5.5.5. Сопоставление с экспериментом.
- 5.6. Выводы.

6. Сложная динамика в системах, параметрически взаимодействующих

- 6.1. Сложная динамика распределенного параметрического генератора. 6.1.1. Постановка задачи. Основные уравнения. 6.1.2. Условия самовозбуждения. 6.1.3. Стационарные режимы генерации. Теория. 6.1.4. Стационарные режимы генерации. Численное моделирование. 6.1.5. Возникновение автомодуляции. 6.1.6. Переход к хаосу в режиме синхронизации фаз. 6.1.7. Переход к хаосу в центре зоны генерации. Общий случай. 6.1.8. Переход к хаосу вблизи границ зоны генерации.
- 6.2. Сложная динамика параметрического генератора встречной волны. 6.2.1. Условия самовозбуждения и стационарные режимы генерации. 6.2.2. Результаты численного моделирования.
- 6.3. Выводы.

7. Параметрическое взаимодействие электронного потока с полями двух незамедленных электромагнитных волн

- 7.1. Основные уравнения и законы сохранения. 7.1.1. Основные уравнения нестационарной нелинейной теории ЛСЭ-скаттрона. 7.1.2. Приближение малой амплитуды комбинационной волны. 7.1.3. Приближение больших пространственных зарядов. 7.1.4. Законы сохранения. 7.1.5. Численная схема решения нестационарных уравнений ЛСЭ.
- 7.2. Линейная нестационарная теория ЛСЭ-скаттрона: коэффициент усиления усилителя и условия самовозбуждения генератора. 7.2.1. Кинематическая модель без учета пространственного заряда. 7.2.2. Учет влияния пространственного заряда. 7.2.3. Линейная нестационарная теория в случае больших пространственных зарядов.
- 7.3. Автомоуляционная неустойчивость в ЛСЭ-усилителе. 7.3.1. Динамика ЛСЭ-усилителя в приближении малой амплитуды комбинационной волны. 7.3.2. Учет влияния пространственного заряда. 7.3.3. Динамика ЛСЭ-усилителя с учетом нелинейности процессов в электронном потоке.
- 7.4. Нелинейная динамика ЛСЭ-генератора. 7.4.1. Динамика в приближении малой амплитуды комбинационной волны. 7.4.2. Учет влияния пространственного заряда. 7.4.3. Моделирование динамики ЛСЭ-генератора с учетом перегруппировки электронов.
- 7.5. Выводы.

8. Сложная динамика модуляционной неустойчивости в нелинейных средах с дисперсией

- 8.1. Нелинейная динамика МН в окрестности критической частоты. 8.1.1. Нелинейный эффект смены характера МН. Теория. 8.1.2. Численное моделирование нелинейной динамики МН. 8.1.3. Влияние характера МН на эффекты нелинейного туннелирования. 8.1.4. Нелинейная динамика МН в периодической брэгговской структуре.
- 8.2. Нелинейная динамика МН в кольцевом резонаторе. 8.2.1. Условия неустойчивости стационарного режима. 8.2.2. Результаты численного моделирования.
- 8.3. Нелинейная динамика МН при наличии отражений от границ. 8.3.1. Стационарные режимы колебаний и их устойчивость. 8.3.2. Численное моделирование нелинейной динамики одномерного резонатора.
- 8.4. Спектр показателей Ляпунова.
- 8.5. Выводы.

9. Управление хаосом в системах с запаздыванием

- 9.1. Метод управления хаосом.
- 9.2. Подавление автомодуляции в автогенераторе с кубичной нелинейностью и запаздыванием. 9.2.1. Анализ упрощенной модели в виде точечного отображения. 9.2.2. Результаты численного моделирования. 9.2.3. Подавление режимов развитого хаоса и управляемая мультистабильность.
- 9.3. Подавление автомодуляции в двухрезонаторном клистроне с запаздыванием. 9.3.1. Упрощенная модель в виде точечного отображения. 9.3.2. Результаты численного моделирования.
- 9.4. Применение методики управления хаосом для улучшения характеристик усилителей и генераторов на основе лампы бегущей волны. 9.4.1. Подавление автомодуляции в ЛБВ-генераторе. 9.4.2. Применение дополнительной обратной связи для подавления пульсаций коэффициента усиления ЛБВ, вызванных отражениями от границ.
- 9.5. Подавление неустойчивостей в кольцевом резонаторе, содержащем среду с кубичной фазовой нелинейностью. 9.5.1. Модифицированное отображение Икеды. 9.5.2. Приближение низкодобротного резонатора. 9.5.3. Численное моделирование модифицированного отображения Икеды. 9.5.4. Пространственно-временная модель кольцевого резонатора.
- 9.6. Выводы.

Список литературы