

**ДИНАМИЧЕСКИЙ ХАОС В ФАЗОВЫХ СИСТЕМАХ**

Учебное пособие

В.В. Матросов, В.Д. Шалфеев

© В.В. Матросов, В.Д. Шалфеев, 2007

© Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского, 2007

Нижний Новгород, 2007. 258 с.

ISBN 978-591326-022-3

Представлены результаты теоретического исследования и компьютерного моделирования явлений коллективной динамики малых ансамблей связанных генераторов с фазовым управлением. Показано, что такой ансамбль может служить эффективным источником хаотически модулированных колебаний с центральной частотой, стабилизированной по опорной частоте. Рассмотрены различные варианты синхронизации хаотически модулированных колебаний неидентичных источников. Обсуждается возможность использования хаотически модулированных колебаний для решения задач передачи информации.

Пособие предназначено для студентов старших курсов и аспирантов, специализирующихся в области радиофизики, прикладной математики, математического моделирования.

Оглавление**Предисловие****Введение. Динамический хаос и передача информации****Глава 1. Нелинейная динамика фазовой системы**

1.1. Математические модели. 1.2. Динамические режимы и характеристики. 1.3. Фазовая система с фильтром первого порядка. 1.4. Фазовая система с фильтром второго порядка. 1.4.1. Система с фильтром типа $[0/2]$ в случае нулевой начальной частотной расстройки. 1.4.2. Влияние начальной частотной расстройки. 1.4.3. Фазовая система с фильтром типа $[2/2]$. 1.4.4. Влияние нелинейности фазового дискриминатора. 1.5. Области генерации автомодуляционных режимов. 1.6. Характеристики режимов автомодуляции. 1.7. Выводы.

Глава 2. Каскадное соединение двух фазовых систем

2.1. Математические модели ансамбля. 2.2. Классификация динамических режимов. 2.3. Динамика связанных систем. 2.3.1. Случай малоинерционных цепей управления. 2.3.2. Влияние параметров фильтров. 2.4. Влияние связей на

динамику ансамбля. 2.4.1. Синхронные режимы. 2.4.2. Автоколебательные режимы. 2.5. Динамика ансамбля с фильтрами первого порядка. 2.5.1. Бифуркационная диаграмма. 2.5.2. Влияние параметров связей. 2.5.3. Возбуждение хаоса. 2.6. Случай фильтров второго порядка. 2.6.1. Возбуждение хаотических колебаний. 2.6.2. Области хаотических колебаний. 2.6.3. Автомодуляционные колебания. 2.7. Экспериментальное исследование хаоса.

Глава 3. Особенности динамики трех каскадно связанных фазовых систем

3.1. Математические модели и динамические режимы. 3.2. Синхронные режимы. 3.3. Регулярные квазисинхронные режимы. 3.4. Бифуркационные переходы к хаотическим колебаниям. 3.4.1. Переход к хаосу через каскад удвоенный периода предельного цикла. 3.4.2. Переход к хаосу через перемежаемость. 3.4.3. Бифуркация тор–хаос. 3.4.4. Переход к хаосу через удвоение инвариантных торов. 3.4.5. Хаос при введении дополнительных связей. 3.5. Асинхронные режимы. 3.6. Анализ структуры пространства параметров. 3.6.1. Малоинерционные цепи управления. 3.6.2. Учет неидентичных дополнительных связей. 3.6.3. Ансамбль с инерционными цепями управления.

Глава 4. Параллельное соединение фазовых систем

4.1. Математические модели и динамические режимы. 4.2. Ансамбль с малоинерционными цепями управления. 4.2.1. Случай слабых связей. 4.2.2. Случай сильных связей. 4.3. Влияние параметров фильтров. 4.3.1. Случай фильтров первого порядка. 4.3.2. Случай фильтров второго порядка. 4.4. Области генерации автомодуляционных режимов. Ансамбль с фильтрами первого порядка. 4.4.1. Ансамбль с фильтрами второго порядка.

Глава 5. Синхронизация хаотических колебаний

5.1. Синхронизация хаотически модулированных колебаний фазовых систем. 5.2. Области синхронизации хаотически модулированных колебаний. 5.3. Синхронизация хаотически модулированных колебаний в ансамблях.

Глава 6. Моделирование передачи информации

6.1. Передача бинарного сигнала. 6.2. Передача непрерывного сигнала.

Заключение

Список литературы

Приложение. Цветные иллюстрации

Предисловие

Бурное развитие новых информационных технологий – неотъемлемый признак нашего времени. Цель настоящего учебного пособия – познакомить студентов радиофизического факультета ННГУ с одним из наиболее перспективных направлений развития современных коммуникационных систем – систем передачи информации, основанных на использовании динамического хаоса (хаотических колебаний). Эта идея появилась менее 20 лет назад и оказалась весьма привлекательной, в частности, для использования в беспроводных сверхширокополосных системах связи. Открытие явления хаотической синхронизации, хаотического синхронного отклика, успехи в создании ряда модельных схем для демонстрации передачи сообщений на

основе хаотических сигналов показали перспективность дальнейших работ по созданию коммуникационных систем с использованием динамического хаоса. Однако оптимистический настрой начала 90-х годов стал быстро таять, натолкнувшись на серьезные ограничения в развитии новой технологии (в частности, слабую помехоустойчивость систем связи к искажениям в канале и к неполной идентичности параметров передатчика и приемника), что фактически поставило под сомнение перспективу реализации в ближайшее время конкурентоспособных систем когерентного приема на основе хаотических сигналов. Тем не менее, сейчас становится ясным, что такие перспективы могут быть вполне реальными. Авторы пособия предлагают для этой цели использовать не хаотические, а хаотически модулированные сигналы со стабилизированной центральной частотой. В пособии обсуждаются способы надежной генерации таких сигналов в ансамбле фазовых систем (систем фазовой автоподстройки частоты), варианты схем для их синхронизации и пути построения систем передачи информации на основе хаотически модулированных сигналов. В пособии использованы публикации авторов, часть результатов публикуется впервые.

Формирование этой тематики и многие результаты были получены под влиянием и при взаимодействии с исследовательскими группами по динамическому хаосу Института радиотехники и электроники РАН, Института прикладной физики РАН, Научно-исследовательского института прикладной математики и кибернетики ННГУ, Московского энергетического института (технического университета), Московского технического университета связи и информатики, Саратовского государственного университета, Калифорнийского университета (Беркли, Сан Диего), Потсдамского университета, Миланского университета.