

VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКОЛА
“ХАОТИЧЕСКИЕ АВТОКОЛЕБАНИЯ И ОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУР”
ХАОС-2007

МАТЕРИАЛЫ ШКОЛЫ

Организаторы:

Саратовский государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского, факультет нелинейных процессов,
Саратовский филиал Института радиотехники
и электроники РАН,
Научно-образовательный центр нелинейной динамики
и биофизики Саратовского госуниверситета.

При поддержке:

Российского фонда фундаментальных исследований

9 – 14 октября 2007

С А Р А Т О В

внешнего воздействия, через синхронизацию генератора цепочки можно осуществлять переходы между мультистабильными состояниями распределенной автоколебательной системы.

1. V.I. Nekorkin, V.A. Makarov, M.G. Velarde. Spatial disorder and waves in a ring chain of bistable oscillators. *Int. J. of Bifurcation and Chaos* **6** (1996), N10, 1845.
2. А.В. Шабунин, А.А. Акопов, В.В. Астахов, Т.Е. Вадивасова. Бегущие волны в дискретной ангармонической автоколебательной среде. *Известия вузов - Прикладная нелинейная динамика* **13** (2005) N4, с. 37.

Критическое поведение систем связанных осцилляторов Рёсслера

Кузнецов А.П., Паксютов В.И.

СФ ИРЭ РАН, Саратов

Класс моделей, состоящий из двух связанных осцилляторов, является интересным для изучения с точки зрения особенностей устройства пространства параметров. К таким особенностям относятся объекты в пространстве параметров, имеющие различную коразмерность. Так, помимо поверхностей, имеющих коразмерность один, на которых происходят бифуркации седло-узел, бифуркации Андронова-Хопфа и удвоения периода, и линий их пересечений, имеющих коразмерность два, существуют точки с коразмерностью 3 и выше. Эти точки в свою очередь располагаются друг относительно друга в соответствии с определенными характерными закономерностями и их последовательность может сходиться к критическим точкам. Осциллятор Рёсслера демонстрирует удвоения периода колебаний при вариации управляющих параметров. Соответственно, на плоскости двух управляющих параметров системы двух связанных осцилляторов Рёсслера имеются линии удвоения периода, пересекающиеся с линиями других бифуркаций. Это создает возможность для появления различных критических точек.

В настоящей работе показано, что на плоскости управляющих параметров диссипативно связанных осцилляторов Рёсслера должны существовать критические точки С-типа на границе диагональной ветви области синхронизации [1]. Бесконечно малым изменением параметров системы из критической точки С-типа можно попасть в области периодического, квазипериодического или хаотического поведения системы. Устройство плоскости управляющих параметров связанных осцилляторов Рёсслера симметрично относительно диагонали, и соответственно существуют как минимум две точки С-типа. В окрестности терминальных точек, последовательность которых сходится к критическим точкам С-типа существуют области сосуществования двух периодических режимов колебаний, ограниченные линиями касательных бифуркаций и субкритической бифуркации удвоения периода.

Исследование модели, состоящей из двух связанных осцилляторов Рёсслера с однонаправленной диссипативной связью, показывает, что плоскость управляющих параметров такой системы не является симметричной, и это создает возможность для бикритической динамики системы, то есть появления бикритической точки на плоскости параметров [2]. Бикритический тип поведения реализуется, когда подбором параметров обе связанные подсистемы одновременно достигают порога хаоса. При изменении параметров связи наблюдается сближение критической точки С-типа и бикритической точки.

В настоящей работе была предпринята попытка наблюдения явлений скейлинга в окрестности критических точек С-типа и бикритической точки для системы однонаправленно связанных осцилляторов Рёсслера.

1. А.П.Кузнецов, В.И.Паксютов, Динамика двух неидентичных связанных автоколебательных систем с удвоениями периода на примере осцилляторов Рёсслера, *Изв. вузов ПНД*, т.14, №2, (2006), С. 3-15.
2. С.П.Кузнецов, Динамический хаос, М.: Физматлит, 2001.

Новый метод оценки суммарного процента фазовой синхронизации ритмов сердечно-сосудистой системы

Рубан Е.И., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д., Караваев А.С., Гриднев В.И., Киселев А.Р.

СарГУ, Саратов

Проведено исследование фазовой синхронизации между двумя контурами симпатической барорефлекторной регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы человека: контура, модулирующего частоту

сердечных сокращений, и контура, участвующего в управлении тонусом артериальных сосудов. На основе анализа предложенной нами ранее интегральной численной меры фазовой синхронизованности сигналов — суммарного процента фазовой синхронизации S , было показано наличие фазовой синхронизации между этими подсистемами [1]. Обнаружено, что величина S у пациентов, перенесших инфаркт миокарда, возрастает в ходе успешного проведения лечебно-реабилитационных мероприятий, приближаясь к значениям, типичным для здоровых людей, что свидетельствует о перспективности предложенной меры для задач медицинской диагностики. Важным этапом расчета значения суммарного процента фазовой синхронизации сигналов является автоматический поиск участков синхронизации по временному ряду разности фаз исследуемых сигналов.

В работе на основе анализа суррогатных данных сопоставляются два метода автоматического поиска участков фазовой синхронизованности по экспериментальным рядам: метод, основанный на контроле величины производной разности фаз исследуемых сигналов, и новый метод, в основе которого лежит анализ динамики кусочно-линейной аппроксимации разности фаз в скользящем окне. Методы сопоставлялись при исследовании синхронизованности между регуляторными подсистемами в сердечно-сосудистой системе пяти здоровых испытуемых. Для обоих методов осуществлялся подбор оптимальных значений параметров, позволяющих получить статистически наиболее значимые результаты. Оценка статистической значимости результатов осуществлялась с помощью анализа ансамбля суррогатных данных, приготовленных из исходных временных рядов с сохранением спектра мощности исследуемых сигналов.

В результате проведенных исследований установлено, что при использовании нового метода автоматического поиска участков фазовой синхронизации сигналов, основанного на анализе временной динамики кусочно-линейной аппроксимации их разности фаз, статистическая значимость оценки величины суммарного процента фазовой синхронизации S существенно выше, чем при использовании ранее разработанных методов. Подобраны параметры метода, позволяющие точно идентифицировать синхронные участки в автоматическом режиме, что может быть использовано при медицинской диагностике состояния сердечно-сосудистой системы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты № 07-02-00747 и № 07-02-00589 и фонда некоммерческих программ "Династия".

1. А.Р. Киселев и др., *Физиология человека* **33** (2007) С. 69-75.

Синхронизация автогенератора с запаздыванием внешним гармоническим сигналом

Рыскин Н.М., Усачева С.А.

СарГУ, Саратов

На сегодняшний день в нелинейной динамике на передний план выходит изучение явления синхронизации [1], причем особый интерес вызывает изучение различных вопросов, связанных с синхронизацией в распределенных системах. Важным классом распределенных систем являются системы с запаздывающей обратной связью (ЗОС), которые демонстрируют разнообразные режимы сложной динамики, включая хаотическую, и встречаются в самых разных областях физики.

Целью настоящей работы является изучение характерных свойств вынужденной синхронизации в системах с запаздыванием при воздействии внешнего гармонического сигнала. Для решения этой задачи целесообразно выбрать достаточно простую модельную систему, которая демонстрировала бы основные особенности динамики, присущие системам с ЗОС.

В настоящей работе исследуется модель автогенератора с кубичной нелинейностью

$$\dot{A} + \gamma A = \alpha e^{i\theta} (1 - |A(t-1)|^2) A(t-1) + F e^{i\omega t}, \quad (1)$$

где A — медленно меняющаяся амплитуда колебаний, α — параметр, характеризующий степень неравновесности, γ — параметр, отвечающий за диссипацию, θ — набег фазы за время прохода сигнала по цепи обратной связи, F и ω — амплитуда и частота внешнего сигнала. В автономном случае ($F = 0$) динамика системы (1) хорошо изучена [2]. В отсутствие запаздывания уравнение (1) переходит в известное укороченное уравнение Ван дер Поля, для которого картина синхронизации также исследована весьма подробно (см., например, [3]).

В настоящей работе представлены результаты аналитического исследования и численного моделирования синхронизации в системе (1). Прежде всего, была изучена ситуация, когда автономный генератор