

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
Нижегородского государственного университета
имени Н.И. Лобачевского
д.ф.-м.н., профессор Гурбатов С.Н.



" 11 " сентября 2014 г.

О Т З Ы В

ведущей организации – «Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского», на диссертацию Павлова Александра Сергеевича «Границы возникновения режимов обобщенной и фазовой синхронизации и особенности поведения показателей Ляпунова вблизи этих границ в однонаправлено связанных потоковых системах», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиопизика.

Диссертационная работа Павлова Александра Сергеевича посвящена исследованию особенностей режимов обобщенной и фазовой хаотической синхронизации и поведения показателей Ляпунова вблизи границ этих режимов. Явлению хаотической синхронизации в последнее время уделяется все большее внимание как отечественных, так и зарубежных исследователей, работающих в различных областях современной науки. При этом, наиболее интересными и наименее изученными типами синхронного поведения являются как раз режимы обобщенной и фазовой хаотической синхронизации. Особое внимание в настоящей диссертационной работе уделено исследованию характера расположения границ этих режимов в однонаправлено связанных потоковых системах, демонстрирующих как периодическую, так и хаотическую динамику, а также разработке методов расчета условных показателей Ляпунова по временным рядам. В качестве объектов исследования в диссертационной работе А.С. Павлова выбраны эталонные модели теории колебаний, что позволяет распространить полученные результаты на системы самой различной природы и использовать их для решения прикладных задач. В частности, это делается в работе в части второй главы, посвященной разработке модификации способа скрытой передачи информации на основе обобщенной хаотической синхронизации, обладающей существенными преимуществами по сравнению с известными аналогами, а также в третьей главе, где предложен метод оценки условного нулевого показателя Ляпунова по временной реализации системы. Таким образом, тема диссертационной работы А.С. Павлова является актуальной и практически значимой.

Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы. Диссертационная работа имеет достаточно логично организованную структуру и характеризуется четким и ясным изложением материала.

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулирована цель работы, описаны научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Введение содержит основные положения и результаты, выносимые на защиту, сведения о достоверности и апробации результатов.

Первая глава посвящена исследованию взаимосвязи режимов обобщенной и фазовой синхронизации в однонаправлено связанных потоковых системах, демонстрирующих хаотическую динамику. На примере систем Ресслера и генераторов Кияшко-Пиковского-Рабиновича в этой главе численно получены границы режимов обобщенной и фазовой синхронизации и линии появления/потери фазовой когерентности хаотическим аттрактором ведомой системы, а также исследован характер расположения этих границ при изменении величины расстройки параметров между ними. Показано, что в обеих системах расположение границ возникновения синхронных режимов существенным образом зависит от величины расстройки параметров между ними. В частности, если параметры взаимодействующих систем расстроены достаточно слабо, возникновение фазовой синхронизации предшествует установлению обобщенной синхронизации в исследуемых системах. В данном случае возникновение фазовой синхронизации обусловлено синхронизацией основной спектральной компоненты ведомой системы, а обобщенная синхронизация возникает за счет синхронизации основной спектральной компоненты и ее субгармоник. В случае относительно большой расстройки фазовая синхронизация оказывается, наоборот, сильнее обобщенной синхронизации. Возникновение обобщенной синхронизации в данном случае связано с синхронизацией двух спектральных компонент, соответствующих собственным частотам ведущей и ведомой систем, а возникновение/разрушение фазовой синхронизации происходит через появление/потерю фазовой когерентности хаотическим аттрактором ведомой системы.

В то же самое время, обнаружено, что для двух однонаправлено связанных генераторов Кияшко-Пиковского-Рабиновича в случае относительно больших значений расстройки собственных частот возникновение обобщенной синхронизации может происходить по сценарию, характерному для относительно слабых значений расстройки: в этом случае режим фазовой синхронизации реализуется также по сценарию захвата частот, однако, в отличие от случая слабых расстроек, его разрушение сопровождается потерей фазовой когерентности хаотическим аттрактором ведомой системы. Аналогичное поведение наблюдается и для двух однонаправлено связанных осцилляторов Ресслера в определенном диапазоне значений параметра расстройки, в роли которого выступает степень когерентности аттрактора ведущей системы.

Во **второй главе** диссертационной работы рассмотрено поведение однонаправлено связанных систем (осцилляторов Ресслера, генераторов Кияшко-Пиковского-Рабиновича) в том случае, когда ведущая система по-прежнему находится в хаотическом режиме, а ведомая система демонстрирует сложнопериодическое поведение. Показано, что в таком случае также возможно возникновение режимов фазовой и обобщенной синхронизации, при этом характер расположения границ меняется существенным образом по сравнению со случаем двух однонаправлено связанных хаотических систем, рассмотренных в первой главе диссертационной работы. В частности, порог возникновения обобщенной хаотической синхронизации в данном случае сдвигается в сторону меньших значений параметра связи, если в ведомой системе не возбуждается собственная хаотическая динамика, как это имеет место в системах Ресслера. Если же возбуждение хаотической динамики ведомой системы имеет место быть (как это происходит, например, в генераторах Кияшко-Пиковского-Рабиновича), поведение границы обобщенной синхронизации качественно аналогично последнему в случае двух однонаправлено связанных хаотических систем.

Установлена возможность практического применения обобщенной синхронизации в случае воздействия внешнего хаотического сигнала на систему с периодической динамикой для скрытой передачи информации. Путем численной реализации этого способа в случае использования систем Ресслера в качестве генераторов передающего и

принимаящего устройств показано, что этот способ обладает принципиальными достоинствами по сравнению с известными аналогами, в том числе основанными на режиме обобщенной синхронизации хаотических колебаний. Показано, что предложенный способ скрытой передачи данных позволяет ликвидировать проблему нестабильности системы связи при неидентичности управляющих параметров взаимодействующих систем, а также повысить устойчивость к шумам и качество передачи информации.

В **третьей главе** диссертационной работы изучено поведение показателей Ляпунова при установлении режимов обобщенной и фазовой хаотической синхронизации. Особое внимание уделено разработке методов оценки условных (старшего и нулевого) показателей Ляпунова по временным рядам в закритической области значений параметра связи. Подобные методы позволяют определить степень синхронности режима, установившегося в системе, что, как отмечалось выше, говорит об их практической значимости. Для оценки величины старшего показателя Ляпунова разработана модификация метода вспомогательной системы, в то время как для расчета нулевого показателя Ляпунова предложен подход, основанный на аппроксимации распределения разности фаз взаимодействующих систем распределением, полученным для квадратичного отображения, находящегося под действием шума. Показано, что оба метода позволяют достаточно точно определить величину искомого показателя Ляпунова, что свидетельствует о возможности их применения к временным рядам, порождаемым системами различной природы.

Основные результаты работы и выводы компактно сформулированы в **заключении**. Анализируя их, можно выделить следующие наиболее интересные моменты:

- обнаружены особенности в расположении границ обобщенной и фазовой синхронизации в системе двух однонаправлено связанных генераторов Кияшко-Пиковского-Рабиновича в определенном диапазоне значений параметров частотной расстройки;

- предложена модификация способа скрытой передачи информации на основе обобщенной синхронизации в случае воздействия внешнего хаотического сигнала на периодическую систему, выявлены его принципиальные достоинства по сравнению с известными аналогами;

- разработан метод оценки величины условного нулевого показателя Ляпунова в закритической области значений управляющего параметра по временной реализации системы, позволяющий определить степень режима фазовой синхронизации, установившегося в системе.

Достоверность результатов и выводов диссертационной работы основывается на соответствии аналитических оценок и результатов численного моделирования, использовании апробированных численных методов решений обыкновенных дифференциальных уравнений и отсутствием противоречий с известными в литературе данными.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Характеристики трансформации спектрального состава сигнала с ведомой системы, введенные в первой главе диссертационной работы, получены по спектрам мощности этой системы (рисунки 1.3, 1.5, 1.8, 1.9, 1.12), в то время как на рисунках 1.2, 1.6, 1.10, 1.11 приведены фурье-спектры той же системы. Было бы более разумно, если бы на последних рисунках были приведены спектры мощности.
2. Во второй главе диссертационной работы не проводится сравнение предложенного способа скрытой передачи информации с известными аналогами (за исключением его прототипа, основанного на использовании обобщенной синхронизации

хаотических колебаний). Было бы полезно, если бы такое сравнение было приведено в диссертационной работе.

3. Во второй главе диссертационной работы при проверке работоспособности предложенного способа скрытой передачи информации в качестве генераторов передающего и принимающего устройств использовались однонаправлено связанные системы Ресслера. Возникает вопрос, будет ли работать предложенный метод скрытой передачи данных в случае использования других генераторов в передающем и принимающем устройствах и как повлияет их выбор на эффективность рассмотренного способа скрытой передачи информации.

В тоже время, отмеченные недостатки не снижают общей оценки диссертационной работы А.С. Павлова, которая выполнена на высоком уровне.

Заключение

Диссертационная работа А.С. Павлова является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную для радиофизики и нелинейной динамики тему. Диссертация соответствует специальности 01.04.03 – радиофизика.

По результатам диссертационной работы опубликовано 4 статьи в центральных реферируемых отечественных и зарубежных научных журналах, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук: «Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика», «Журнал технической физики», «Письма в Журнал технической физики» (2 статьи). Работа прошла хорошую апробацию на отечественных и международных научных конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научных исследованиях в Институте прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород), Институте радиотехники и электроники РАН (г. Москва), Московском, Нижегородском, Воронежском, Томском, Саратовском, Ростовском университетах, а также могут быть рекомендованы к внедрению в учебный процесс в МГУ, ННГУ, МФТИ, СГУ, ВГУ, СГТУ, МИЭМ, ТГУ и других вузах, ведущих подготовку специалистов в области радиофизики.

С учетом вышесказанного можно полагать, что диссертационная работа Александра Сергеевича Павлова вносит актуальный вклад в развитие теории и приложений хаотической синхронизации как одного из разделов современной радиофизики и нелинейной теории колебаний и удовлетворяет требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а сам диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Отзыв составил

Матросов Валерий Владимирович, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой теории колебаний и автоматического регулирования радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского, почтовый адрес: 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, корп.1, к.435, тел. +7 9023046073, e-mail: matrosov@rf.unn.ru

Отзыв составлен и утвержден на заседании кафедры теории колебаний и автоматического регулирования радиофизического факультета ННГУ имени Н.И. Лобачевского (протокол № 2 от 10 сентября 2014 года).

Зав. кафедрой теории колебаний и
автоматического регулирования, профессор, д.ф.-м.н.



В.В. Матросов

Секретарь кафедры



Г.А. Баженова