

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Куркина Семена Андреевича

на диссертацию Корнеева Ивана Александровича «Колебания и бифуркации в системах с мемристивными элементами», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Идея двухполосника, обладающего памятью и названного мемристором, была предложена в 1971 г. Л. Чуа. С тех пор появились реальные устройства, обладающие мемристивными свойствами. Применение мемристивных устройств открывает новые перспективы в развитии вычислительной техники и технологий обработки сигналов. Использование мемристоров может быть очень перспективным для создания новых типов запоминающих устройств и компьютеров. Изучаются возможности использования мемристоров в качестве искусственных синапсов в искусственных нейронных сетях. Возможности широкого практического применения мемристивных элементов вызывают интерес к изучению разных аспектов их функционирования. Несмотря на существенные достижения в области создания реальных мемристивных устройств, особенности динамики систем, содержащих такие устройства ещё сравнительно слабо изучены. Исследование такого нового класса радиофизических систем, как мемристивные системы (т.е. системы, содержащие мемристоры в качестве элементов схемы), можно отнести к области теории нелинейных колебаний. Подобные исследования представляют собой новую и актуальную задачу в области радиофизики и нелинейной динамики.

Диссертация И.А. Корнеева посвящена ряду проблем, связанных с изучением особенностей поведения мемристивных систем. Исследуются как мемристивные системы, содержащие мемристоры в качестве элементов схемы, так и классические системы нелинейной динамики, взаимодействующие посредством мемристивных связей. Структура диссертационной работы является ясной и логичной. В первой главе диссертации исследуется одна из базовых моделей мемристивной системы, представляющая собой простой радиофизический генератор с колебательным контуром, содержащим нелинейный активный элемент и мемристивную проводимость. Изучаются особенности поведения и бифуркации возникновения колебаний в предложенной модели мемристивного генератора. Показано, что в случае мемристора с идеальной памятью в фазовом пространстве системы существует линия равновесий, что приводит к особенностям поведения системы. Притягивающее предельное множество системы состоит из поверхности, образованной непрерывным множеством замкнутых кривых и отрезками линии равновесий. Такая структура притягивающего предельного множества определяет зависимость установившегося режима от начального состояния системы, а также наличие бифуркаций «без параметра», которые возникают при изменении начальных

условий. В зависимости от характеристики мемристора и активного элемента с отрицательной проводимостью в системе наблюдаются бифуркации возникновения колебаний разного характера, которые впервые детально проанализированы и описаны.

Во второй главе работы исследуется вынужденная и взаимная синхронизация мемристивных систем на примере описанного в первой главе мемристивного генератора. Кроме того, во второй главе исследуются обычные автоколебательные системы с мемристивной связью – мемристивно-связанные периодические и хаотические автогенераторы. Как в случае синхронизации мемристивных генераторов, так и в случае мемристивно связанных систем устанавливается зависимость эффектов синхронизации от начального состояния мемристоров. Показано, что в случае периодических колебаний данная особенность исчезает, если мемристор является «неидеальным», т.е. обладает конечным временем памяти. Однако в случае синхронизации хаотических колебаний в мемристивно-связанных генераторах зависимость порога синхронизации от начального состояния мемристоров сохраняется и в случае, когда мемристоры не являются строго идеальными.

Третья глава диссертации посвящена исследованию ансамблей мемристивно-связанных автогенераторов и возбудимых осцилляторов. В качестве элементов ансамбля используются генераторы ван дер Поля и осцилляторы ФитцХью-Нагумо, моделирующие динамику нейронов. Исследуются бегущие волны в ансамблях с мемристивной связью. Установлено, что форма пространственного профиля волны зависит от начальных состояний мемристоров связи. Более того, для ансамбля нейронов ФитцХью-Нагумо с возбудимой динамикой показано, что начальное состояние мемристоров связи существенным образом влияет не только на форму импульсов, но и на скорость их распространения в пространстве. Эта зависимость сохраняется и в случае, когда мемристоры имеют конечную, но достаточно длительную память. В этой же главе на примере сети логистических отображений, рассматривается возможность синхронизации сложных пространственных структур при мемристивном взаимодействии слоев.

К достоинствам работы относится использование разнообразных инструментов для исследования динамики нелинейных систем. Это и численное моделирование с применением специально разработанных программ, и использование аналоговых устройств для проведения натуральных экспериментов, и применение приближенных теоретических методов квазигармонического анализа колебаний. Сочетание различных методов, при хорошем соответствии результатов, дает возможность сделать из проведенных исследований обоснованные и достоверные выводы.

В работе получен ряд важных научных результатов. Наиболее интересными, на мой взгляд, являются результаты, демонстрирующие зависимость эффектов синхронизации от начальных условий, в частности, от начальных значений переменных, управляющих мемристорами. Важно также то, что в диссертации рассмотрено влияние неидеального характера

мемристивных элементов на динамику мемристивных систем и эффекты синхронизации. Интересным представляется тот факт, что «память» о начальном состоянии мемристоров связи в некоторых случаях сохраняется, даже если мемристоры связи обладают конечной во времени памятью. Такое свойство наблюдается в случае синхронизации хаоса и сложных пространственных структур. В некоторой степени оно наблюдается и в кольце нейронов ФитцХью-Нагумо в возбуждимом режиме.

В целом диссертация И.А. Корнеева представляет собой законченную научно-квалификационную работу, посвященную решению актуальной задачи радиофизики и нелинейной динамики. Достоверность результатов диссертационной работы и личный вклад автора не вызывают сомнений. Основные научные результаты являются новыми, оригинальными, что также подтверждается их хорошей опубликованностью в отечественных и зарубежных высокорейтинговых журналах.


В то же время работа не лишена некоторых недостатков, которые отражены в следующих замечаниях:

1. Характеристики мемристора, рассмотренные в работе (кусочно-линейная и кубическая), далеки от характеристик реальных мемристоров. На мой взгляд, выбор более реалистичной характеристики был бы интересен в рамках данной работы.
2. В работе переменная, управляющая состоянием мемристора, принимает как положительные, так и отрицательные значения. Если в реальных устройствах в качестве такой управляющей переменной выступает, например, толщина некоторого слоя, то какой смысл имеют отрицательные значения?
3. При исследовании мемристивных систем в первой главе работы было бы полезно не ограничиваться только одной базовой моделью мемристивного генератора. В том же хаотическом генераторе с инерционной нелинейностью Анищенко-Астахова логично перейти от цепочки инерционной нелинейности к цепочке мемристивной обратной связи.
4. Анализ взаимной синхронизации мемристивных генераторов не является достаточно полным, по сравнению с анализом вынужденной синхронизации. Было бы желательно и в этом случае использовать квазигармонический анализ и фазовое приближение.
5. При описании волновых процессов в кольце возбуждимых нейронов ФитцХью-Нагумо показано, что мемристивные свойства системы (зависимость частоты колебаний от начального состояния мемристоров связи) сохраняется при значении параметра забывания 0.0001. Это достаточно маленькая величина, которая соответствует очень длительному времени установления для переменной, задающей состояние мемристора. Возможно, наблюдаемая в численном эксперименте зависимость является результатом того, что система не достигла установившегося режима?

Тем не менее, указанные недостатки ни в коей мере не снижают общего положительного впечатления о работе. Таким образом, по степени обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, их достоверности и новизне, актуальности выбранной темы исследования, значимости полученных результатов, диссертация И.А. Корнеева удовлетворяет всем требованиям пп. 9-11, 13-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Официальный оппонент

Профессор лаборатории нейронауки и когнитивных технологий центра технологий компонентов робототехники и мехатроники АНО ВО «Университет Иннополис», доктор физико-математических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ)



Куркин Семен Андреевич

« 28 » 09 2021 г.

Автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис»
Адрес: 420500, г. Иннополис, ул. Университетская, д.1
Телефон: +7 (843) 203-92-53
e-mail: university@innopolis.ru

Подпись д.ф.-м.н. Куркина Семена Андреевича удостоверяю.
Директор по развитию и кадровой политике
АНО ВО «Университет Иннополис»


« 28 » 09 2021 г.



Валиев Радик Фларитович