

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Саратовского филиала  
Института радиотехники электроники

им. В.А.Котельникова РАН

Д-р физ-мат. наук, профессор

 Ю.А. Филимонов

«07» февраля 2023 г.



### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Саратовского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук на диссертационную работу Аринушкина Павла Алексеевича «Эффекты синхронизации в неоднородных сетях фазовых осцилляторов с инерцией», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – радиофизика

Диссертационная работа Аринушкина П.А. посвящена исследованию динамики и эффектов синхронизации в сетях неидентичных фазовых осцилляторов с инерцией. Изучение динамики сетей фазовых осцилляторов, в том числе процессов образования кластеров, химерных и уединенных состояний, полной и частичной синхронизации кластерных структур, влияния на наблюдаемые режимы и синхронизацию внешних воздействий и неидентичности элементов сети является актуальной задачей радиофизики и нелинейной динамики. Учет инерционности осцилляторов приводит к более разнообразной пространственно-временной динамике сети и расширяет степень общности полученных результатов. Интерес к сетям фазовых осцилляторов связан с широким распространением фазовых моделей в радиофизике, механике, оптике, нейродинамике и других научных дисциплинах. В частности, ансамбли фазовых осцилляторов широко применяются при моделировании функционирования энергосетей. Исследование таких моделей позволяет решить задачи повышения устойчивости функционирования энергосетей и достижения синхронизации генераторов сети. С точки зрения развития теоретических вопросов нелинейной динамики представляет интерес исследование особенностей взаимодействия сетей фазовых

осцилляторов с инерцией в режиме сложных пространственных структур, таких как химеры и уединенные состояния. С учетом вышесказанного, актуальность и важность темы диссертации, а также ее соответствие специальности не вызывают сомнений.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения. Во введении обоснована актуальность работы, ее научная новизна и практическая значимость, а также сформулирована цель работы и приведены основные выводы и положения, выносимые на защиту. В первой главе диссертационной работы рассмотрены примеры простейших энергосетей с различным количеством узлов. С помощью метода эффективной сети осуществлен переход к модельным уравнениям, в которых генераторы сети описываются уравнениями фазовых осцилляторов с инерцией. Для случая, когда один из узлов сети отличается по параметрам от остальных узлов, построены карты режимов на плоскости управляющих параметров и определены область синхронизации всех узлов, область несинхронного поведения и область, в которой, в зависимости от начальных условий может наблюдаться как синхронный, так и несинхронный режим. Рассмотрено влияние инерционности узлов сети и вариации реактивной мощности одного из узлов на границы областей различных режимов.

Во второй главе диссертационной работы исследована устойчивость синхронного режима энергосети по отношению к внешним импульсным и шумовым воздействиям, а также к разрыву некоторых связей между узлами энергосети. Рассмотрено влияние нелинейной диссипации фазовых осцилляторов на устойчивость синхронного режима. Показано, что введение в систему нелинейной диссипации может предотвратить асинхронное поведение генераторов и повысить устойчивость сети к внезапным возмущениям. Кроме того, наличие нелинейной диссипации позволяет уменьшить девиацию мгновенной частоты генератора, подверженного воздействию шума.

Третья глава диссертационной работы посвящена исследованию сложных пространственно-временных структур в двухслойной сети фазовых осцилляторов с инерцией с нелокальным характером внутрислойных связей. Показано, что при некотором пороговом значении межслойной связи, наблюдается синхронизация слоев в режиме химерных и уединенных состояний. Показан захват средних частот вращений попарно взаимодействующих осцилляторов в двух слоях сети при наличии частотной расстройки, установлено влияние на синхронизацию фазового сдвига в межслойной связи.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.



Представленные в диссертационной работе результаты обладают существенной научной новизной. В частности,

- установлено, что в сети фазовых осцилляторов с инерцией, моделирующих работу энергосети, увеличение коэффициента инерции приводит к асинхронному режиму работы сети;
- показана позитивная роль нелинейной диссипации фазовых осцилляторов, описывающих узлы энергосети, и установлено, что нелинейная диссипация позволяет повысить устойчивость сети к возмущениям и расширить области фазовой синхронизации;
- впервые обнаружен эффект синхронизации средних частот попарно взаимодействующих фазовых осцилляторов с инерцией в двухслойной мультиплексной сети с частотной расстройкой слоев в режимах со сложными пространственно-временными структурами.

Научная и практическая значимость результатов диссертационной работы определяется тем, что в ней рассмотрены особенности коллективной динамики и эффекты синхронизации важного с теоретической и практической точек зрения класса колебательных систем — фазовых осцилляторов с инерцией, которые широко используются в моделях функционирования энергетических сетей. Результаты проведенных исследований расширяют существующие представления о динамике сетей фазовых осцилляторов с инерцией и наблюдающихся в них эффектах частичной и полной синхронизации вращательных движений и сложных пространственных структур. Полученные результаты могут оказаться полезными для моделирования работы энергосетей и анализа возможностей стабилизации в них синхронного режима.

Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации подтверждается воспроизводимостью полученных результатов и их согласованностью между собой, а также с известными представлениями и результатами, полученными другими авторами.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1) В первой главе работы недостаточно подробно описан переход от энергосети с кольцевой топологией к эффективной сети с глобальными связями. Не указаны ограничения метода эффективной сети, связанные с тем, что при пересчете параметров связи не учитываются частотные характеристики потребителей и выходных цепей генераторов. Было бы желательно пояснить, какие из результатов, полученных при

используемых в модели упрощениях, сохраняются для реальных энергосетей с более сложной топологией и динамикой.

2) Недостаточно проиллюстрированы динамические режимы, возникающие в исследованной модели энергосети при вариации параметров ансамбля осцилляторов. Возможны ли в данной системе многочастотные квазипериодические режимы и динамический хаос?

3) В третьей главе диссертационной работы следовало более подробно рассмотреть различные пространственно-временные режимы в мультиплексной сети фазовых осцилляторов с инерцией. Наблюдается ли в исследуемой сети хаотическое поведение осцилляторов? Было бы уместно привести результаты расчета спектра показателей Ляпунова.

Несмотря на отмеченные недостатки, в целом диссертационная работа производит положительное впечатление. Работа выглядит единым, цельным произведением, развивающим современные представления о сложных пространственно-временных структурах в неоднородных сетях фазовых осцилляторов с инерцией. Автореферат правильно отражает ее содержание.

Работа представляет собой законченное научное исследование, в котором содержится решение задачи, имеющей существенное значение для радиофизики. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научно-исследовательских организациях (Институт радиотехники и электроники РАН, Институт прикладной физики РАН), а также в Саратовском, Нижегородском, Московском и Томском университетах, ведущих подготовку студентов по радиофизическим направлениям.

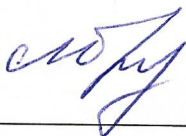
Результаты диссертации достаточно полно представлены публикациями в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах, входящих в перечень ВАК для публикации основных материалов кандидатских и докторских диссертаций, неоднократно докладывались на международных и российских научных конференциях.

Диссертационная работа Аринушкина Павла Алексеевича удовлетворяет всем требованиям пп. 9-11, 13-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а автор работы заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – радиофизика.



Диссертационная работа была заслушана и обсуждена на заседании Ученого совета Саратовского филиала Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН 1 февраля 2023 года (протокол № 1).

Доктор физико-математических наук,  
доцент, профессор РАН,  
главный научный сотрудник  
Саратовского филиала Института радиотехники  
и электроники им. В.А. Котельникова РАН



Прохоров Михаил Дмитриевич

Кандидат физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник  
Саратовского филиала Института радиотехники  
и электроники им. В.А. Котельникова РАН



Сатаев Игорь Рустамович

Подписи Прохорова М.Д. и Сатаева И.Р. заверяю  
Зам. директора СФ ИРЭ  
им. В.А. Котельникова РАН, к.ф.-м.н.



Д.В. Фатеев

Реквизиты организации:

Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова  
Российской академии наук

Российская Федерация, 410019, г. Саратов, ул. Зеленая 38

Тел.: +7(8452) 272401

Электронная почта: [infosbireras@gmail.com](mailto:infosbireras@gmail.com)

Сайт: <http://www.cplire.ru/rus/sfire/index.html>