

ОТЗЫВ

официального оппонента Осипова Григория Владимировича
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

Ансамбли ротаторов (фазовых систем): фазовых осцилляторов первого и второго порядка, маятников представляют собой важный объект исследований в теории нелинейных колебаний, поскольку служат моделями многих реальных систем, таких как: ансамбли квазигармонических автогенераторов (в приближении фазовой динамики), ансамбли взаимодействующих маятников, системы фазовой автоподстройки частоты, массивы связанных контактов Джозефсона, ансамбли возбудимых нейронов и др. Ансамбли ротаторов могут демонстрировать сложные динамические режимы и пространственные структуры, эффекты глобальной и кластерной синхронизации частот и фаз. В ансамблях фазовых осцилляторов впервые был обнаружен и исследован такой интересный режим, как химерные состояния. Исследование ансамблей и сетей ротаторов представляет большой интерес с точки зрения развития концепций нелинейной динамики и, в частности, развития теории синхронизации в сложных системах.

Одним из важных направлений, в котором нашли применение ансамбли ротаторов, является моделирование работы энергосетей. Узлы энергосети (источники и потребители) во многих случаях могут быть представлены в виде фазовых осцилляторов второго порядка (фазовых осцилляторов с инерцией). Применительно к моделированию работы энергосистемы наиболее важной проблемой является обеспечение устойчивого синхронного режима работы всех генераторов сети в условиях возможных отклонений параметров отдельных узлов, наличия внешних возмущений и разрывов отдельных связей. Имеется довольно много работ по исследованию моделей энергосетей, причем со сложной топологией, имитирующей топологию реальных сетей. Однако связь между параметрами узлов сети, представляемых фазовыми осцилляторами и

параметрами генераторов и потребителей чаще всего не устанавливается. Слабо исследовано влияние неоднородности узлов и различных воздействий на условия существования синхронного режима. В этом смысле представляет интерес исследование даже простых схем энергосети, которые можно свести к ансамблю фазовых осцилляторов, параметры которого могут быть выражены через параметры исходной системы.

В диссертационной работе П.А. Аринушкина рассматриваются системы взаимодействующих фазовых осцилляторов с инерцией (фазовый осциллятор второго порядка). Одна из таких является моделью простой энергосети с кольцевой топологией, а вторая представляет собой двухслойную мультиплексную сеть фазовых осцилляторов, не связанную непосредственно с моделированием реальной системы, но представляющую интерес в качестве одной из базовых моделей нелинейной динамики. Основным методом исследования в диссертационной работе было численное моделирование динамики исследуемых систем, для чего диссертантом были созданы специальные программы. Диссертация включает три главы, две первые из которых посвящены исследованию модели энергосети, а в третьей главе изучается двухслойная мультиплексная сеть фазовых осцилляторов. На основании изложенного выше, можно заключить, что в диссертационной работе рассматривается круг актуальных научных проблем, имеющих также и прикладное значение, а проблематика исследования, в соответствии с классификацией ВАК, относится к направлению 1.3.4 – «радиофизика».

Модель исследуемой энергосети с кольцевой топологией сводится к ансамблю глобально связанных фазовых осцилляторов с инерцией, описывающих только генераторы, в то время как потребители исключаются из рассмотрения с помощью определенных упрощающих преобразований, известных из литературы. В результате этих преобразований меняется топология рассматриваемой системы, однако параметры модели выражаются через параметры исходной сети. При этом, в работе в качестве управляющих параметров используются параметры исходной сети. Рассматривается неоднородный ансамбль, один из узлов которого отличается от других. На плоскости выбранных параметров построены карты режимов и выделены области синхронного, асинхронного и «бистабильного» поведения. В последнем случае, в зависимости от начальных условий, могут быть реализованы как синхронные, так и асинхронные режимы функционирования. Рассмотрено влияние на

синхронный режим внешних воздействий в форме периодических импульсов и случайных сигналов, приложенных к одному из узлов сети, а также влияние разрыва некоторых связей выбранного узла. Предложен механизм стабилизации синхронного режима, основанный на использовании влияния нелинейной диссипации фазовых осцилляторов. В ходе исследования модели энергосети был получен ряд новых интересных и важных результатов, среди которых можно отметить выявление таких эффектов, как

- влияние параметров инерции генераторов, в зависимости от которых при одних и тех же значениях активной мощности возможны различные режимы поведения сети,
- влияние реактивной мощности одного из генераторов на режимы функционирования сети, которая негативно влияет на устойчивость синхронного режима,
- стабилизация синхронного поведения неоднородной сети при вариации параметров, за счет нелинейной диссипации осцилляторов.

Двухслойная сеть фазовых осцилляторов с инерцией, которая исследуется в третьей главе диссертации, характеризуется кольцевой топологией слоев, нелокальной внутрислойной связью и попарной связью осцилляторов, принадлежащих двум слоям. В отсутствие межслойного взаимодействия в каждом из слоев, в зависимости от параметров, могут быть реализованы химерные структуры и уединенные состояния. В работе исследуется синхронизация сложных структур, установившихся в невзаимодействующих слоях, при введении межслойной связи. рассматривается случай идентичных слоев и слоев, характеризующихся частотной расстройкой, определяется влияние фазового сдвига межслойной связи на эффекты синхронизации. В рамках данной задачи в работе были также получены новые результаты, которые представляют интерес. Среди них можно отметить

- эффект полной синхронизации первоначально различающихся структур в двух идентичных слоях, который имеет место аналогичным образом как для химер, так и для режима уединенных состояний,
- эффект частотной синхронизации слоев сети при наличии расстройки. В результате частотной синхронизации происходит установление идентичных распределений средних частот вращений элементов в двух слоях, хотя при этом может сохраняться фазовый сдвиг

осцилляторов. Показано, что частотная синхронизация имеет место как в случае химерных исходных структур, так и в случае структур с различными уединенными состояниями, а также в случае, когда изначальные структуры в двух слоях носят разный характер.

Таким образом, результаты работы являются важными для понимания особенностей частотной и фазовой синхронизации в ансамблях и сетях систем с цилиндрическим фазовым пространством, а также для развития подходов к моделированию энергетических сетей. Они могут быть использованы в работе научных коллективов, занимающихся проблемами радиофизики и нелинейной динамики в таких организациях, как ИРЭ РАН, ИПФ РАН, СГУ, СГТУ, ННГУ, МГУ и др. а также применяться в учебном процессе при разработке новых курсов и практикумов. Автореферат полно и точно отражает содержание работы.

В то же время, можно отметить определенные недостатки, имеющиеся в работе:

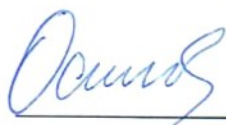
1. В проведенном исследовании не применялись аналитические методы. Хотя в рамках решаемых задач применение аналитических методов затруднено, однако возможно было бы их частичное использование, например, можно было бы исследовать устойчивость синхронного режима энергосети.
2. Не исследованы бифуркационные механизмы разрушения (установления) синхронного режима.
3. Хотелось бы получить более подробное описание различных режимов функционирования ансамбля, моделирующего работу энергосети, включая расчет различных характеристик, таких как спектры мощности и ляпуновские показатели.
4. Предыдущее замечание касается также и динамики осцилляторов в двухслойной мультиплексной сети и её эволюции при изменении параметров межслойной связи.
5. Для двухслойной сети фазовых осцилляторов было бы важно рассмотреть вопрос о том, насколько сильно наблюдаемые эффекты синхронизации, включая пороговые значения коэффициентов связи и влияние фазового сдвига, зависят от исходных состояний слоев сети.

Указанные недостатки не снижают в целом положительного впечатления о работе. Диссертационная работа П.А. Аринушкина свидетельствует о высокой квалификации её автора. В работе решаются

актуальные научные задачи в области радиофизики и нелинейной динамики. Полученные результаты являются новыми и научно значимыми. Они вносят заметный вклад в понимание особенностей поведения и эффектов синхронизации такого важного класса динамических систем, как ансамбли фазовых осцилляторов с инерцией. Диссертация П.А. Аринушкина представляет собой законченное оригинальное научное исследование, соответствующее специальности 1.3.4. – «радиофизика», которое 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. Считаю, что автор диссертации, Павел Алексеевич Аринушкин достоин присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – «радиофизика».

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук по специальности (01.04.03) «Радиофизика», заведующий кафедрой теории управления и динамики систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород



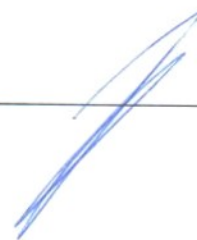
Осипов Григорий Владимирович

«3» февраля 2023 г.

Почтовый адрес: 603950, г. Нижний Новгород, проспект Гагарина, 23, телефон: +7(831) 462-33-57, e-mail: grigori.osipov@itmm.unn.ru

Подпись Осипова Г.В. заверяю

Проректор по научной работе



/Иванченко М.В./