

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Решетовой Ольги Олеговны «Динамические режимы моделей осцилляторов с гистерезисными нелинейностями», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18– математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность исследования

При моделировании динамики многих технических систем фундаментальную роль играют различные модели осцилляторов, в частности гармонический осциллятор и осциллятор Ван-дер-Поля. Указанные модели описать колебательные процессы, а также позволяют моделировать разнообразные периодические движения в ряде радиотехнических систем, например, для триодного генератора и генератора на туннельном диоде. Упомянутые модели также находят применение в разнообразных приложениях в робототехнике, в частности, в модели поворачивающегося робота и т.д.

Одним из фундаментальных свойств нелинейных систем является синхронизация, а системы связанных осцилляторов Ван-дер-Поля является известным эталоном для реализации данного явления. Этот эффект оказался наблюдаемым в системах различной природы таких, как радиотехнические и электронные устройства, лазеры, а также в ряде механических систем. Другое название рассматриваемого явления – "захват частоты", что отвечает изменению частоты автоколебаний под действием внешней силы. Результаты в этой области получены лишь для моделей систем с функциональными нелинейностями. При этом, вопросы возникновения и описания автоколебаний в системах с операторными, и, в частности, с гистерезисными нелинейностями, рассматривалась лишь в небольшом количестве работ.

Представляется, что изучение хаотических режимов и исследование вопросов их стабилизации в нелинейных колебательных системах является одним из перспективных направлений нелинейной динамики в настоящий момент. Следует отметить, что рассматриваемые в работе системы, а именно система осцилляторов Ван-дер-Поля, находящаяся под воздействием внешней гармонической силы, способны демонстрировать различные динамические режимы (периодический, почти периодический, хаотический). Управление подобными системами ранее опиралось на классические методы (принцип обратной связи, параметрический). Представленный в работе метод, основанный на диссипирующем свойстве гистерезисных звеньев, на мой взгляд, является одним из перспективных направлений управления хаотической динамикой. Таким образом, считаю, что тема рецензируемой квалификационной работы является актуальной.

Научная новизна диссертации

Выделю основные результаты работы, представляющие, по моему мнению, научную новизну.

1. Первый из них связан с идентификацией динамических режимов колебательных систем, отличительной особенностью которых, является наличие гистерезисных нелинейностей, позволяющих расширить карту динамических режимов исследуемых систем.
2. Второй - это разработка метода синхронизации систем осцилляторов Ван-дер-Поля в условиях гистерезисного воздействия, позволяющего реализовать заданный динамический режим - хаотический, периодический, квазипериодический, и отличающийся от всех существующих.
3. Наконец третий - комплекс программ для организации вычислительного эксперимента с целью реализации математических

моделей колебательных систем (систем осцилляторов Ван-дер-Поля) с гистерезисными нелинейностями.

Представленные результаты, по моему мнению, в полной мере соответствуют паспорту специальности 05.13.18, могут служить основой для решения задач синхронизации, регуляризации и управления хаотическими режимами в колебательных системах с гистерезисными блоками.

Теоретическая и практическая значимость диссертации

Методы и алгоритмы, представленные в работе напрямую применимы к решению задач исследования динамики моделей колебательных систем в части идентификации режимов движения в зависимости от системных параметров. Особо отмечу результаты работы, связанные с управлением хаотической динамикой, основанные на принципиально новом подходе, а именно, использовании диссипирующих свойств гистерезисных звеньев. Действительно, на аппаратном уровне, гистерезисные блоки легко реализуемы и могут быть встроены в реальные технические, электромеханические системы для обеспечения желаемых режимов динамики. Очевидно, что эти же результаты будут полезны при моделировании роботизированных систем, поскольку обеспечение устойчивости движения – первостепенной важности задача при проектировании и разработке соответствующих технических систем. В теоретических и прикладных исследованиях также могут оказаться полезными новые методы идентификации режимов динамики, основанные на вычислении ляпуновских показателей в системах с негладкими нелинейностями. В современных моделях технических систем настройка управляющих воздействий связана с использованием, в том числе, блоков с негладкими и разрывными характеристиками, поэтому предложенный в работе метод может оказаться востребованным. Таким образом, полученные соискателем результаты имеют четкую практическую направленность.

Общая характеристика диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Список публикаций диссертанта по теме диссертации насчитывает 27 печатных работ, одна из которых из списка, рекомендованного ВАК, восемь работ из библиографической базы данных SCOPUS. Кроме того имеется информация о зарегистрированном комплексе программ, в котором реализованы алгоритмы расчета основных динамических характеристик систем, описывающих осциллятор и системы связанных осцилляторов Ван-дер-Поля с учетом гистерезисных нелинейностей. Автореферат в должной степени отвечает содержанию диссертации.

Первая глава носит обзорный характер, в ней приводится подробный обзор литературы, посвященной тематике исследования. Также в главе описываются математические модели гистерезиса, в рамках двух подходов: операторного и феноменологического.

Во второй главе рассматриваются модифицированные математические модели гармонического осциллятора с гистерезисным звеном. На основе применения классического метода малого параметра исследуются динамические особенности таких систем, а также вопрос о синхронизации в автоколебательных системах.

Изучению модифицированных математических моделей осцилляторов Ван-дер-Поля посвящена третья глава. Предложен метод, позволяющий получить аналитическое решение системы, а также решить вопрос о синхронизации осцилляторов. В главе приводится алгоритм для определения динамических режимов в системах с гистерезисными нелинейностями, основанный на модифицированном методе вычисления ляпуновских показателей. А также решается вопрос о регуляризации хаотических режимов в рассматриваемых системах.

В четвертой главе предлагается еще одна модификация математической модели осциллятора Ван-дер-Поля с гистерезисным блоком, главной

особенностью которой является возникновение хаотического поведения в системе без внешнего воздействия. С применением численных методов исследуется динамика предложенной модели и выполняется сравнительный анализ с результатами, полученными для классического осциллятора Ван-дер-Поля. С использованием метода малого параметра были получены приближенные аналитические решения для описанной модели, при условии наличия и отсутствия вынуждающей силы.

В главах 2-4 диссертационной работы, представляющих основные результаты аналитических исследований по указанным выше задачам, представлено большое количество иллюстративных материалов, помогающих освоению теоретического материала. Представление такого материала было бы невозможным без разработки программного обеспечения, реализующего соответствующие методы и алгоритмы. Именно вопросам построения весьма нетривиального программного обеспечения посвящена пятая глава, в которой приводится реализация алгоритма вычисления решения дифференциальных уравнений с гистерезисной нелинейностью формализованной феноменологической моделью Боука-Вена, а также реализация численного решения для математической модели осциллятора Ван-дер-Поля с операторной нелинейностью.

В итоге хочу отметить, что диссертация выполнена на высоком научном уровне, имеет практическую направленность. Методы исследований вполне адекватны поставленным задачам. Поставленные в работе цели были достигнуты.

Замечания по диссертационной работе

1. В четвертой главе автор не приводит физически обоснованных подтверждений справедливости рассматриваемой модели. Ссылка на внешнюю аналогию уравнениям классического осциллятора Ван-дер-Поля не вполне убедительна. Следовало бы привести

соответствующую электрическую схему, описываемую уравнением (4.1).

2. Во второй главе автор использует известный 0-1 тест для идентификации динамических режимов моделей осцилляторов с гистерезисными блоками. При этом описание теста отсутствует, ровно как отсутствуют ссылки на работы, где этот тест описан, что затрудняет проверку результатов работы.
3. В диссертации используются различные обозначения для одного и того же преобразователя ПреЙзаха: в первой и второй главах формы этого оператора не совпадают, что затрудняет понимание работы.
4. Наличие девяти (!) знаков после запятой (стр. 64, 73, 76) в значениях ляпуновских показателей не вполне оправдано – как автор справедливо пишет, они вычисляются приближенными методами и такая точность, как мне кажется, не может быть достигнута.

Указанные выше недостатки не влияют на общую положительную оценку работы. Результаты, представленные автором, в полной мере отвечают уровню кандидатской диссертации.

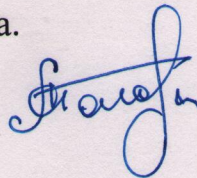
Заключительная оценка диссертации

Диссертация Решетовой Ольги Олеговны представляет собой законченную научную квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной научной задачи анализа колебательных систем (на примере гармонического осциллятора и систем осцилляторов Ван-дер-Поля) с гистерезисными нелинейностями с точки зрения решения задач синхронизации, регуляризации и управления хаотических режимов, а также стабилизации и управления. Работа удовлетворяет требованиям Положения (в редакции, утвержденной правительством РФ от 24 сентября 2013 г. № 842) "О порядке присуждения ученых степеней", к кандидатским диссертациям, а её

автор, заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Доктор физико-математических наук,
заведующий лабораторией управления и навигации
механико-математического факультета
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования "Московский государственный
университет имени М.В.Ломоносова.

23.04.2022



/Голован А.А.

(495) 9395933 моб. тел (916) 6555184, aagolovan@yandex.ru

Адрес: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д.1, механико-математический факультет

Подпись Голована А.А заверяю

Декан механико-математического факультета,

Чл.-корр РАН



А.И. Шафаревич