

Отчет о научно-исследовательской стажировке

1. ФИО докторанта PhD: Бекназаров Нурсултан Бекназарович
2. Место стажировки: г. Курск, Российская Федерация
3. Вуз: Юго-Западный государственный университет
4. Факультет: фундаментальной и прикладной информатики (ФФиПИ)
5. Сроки прохождения стажировки: Начало: 20.06.2025 г.
Окончание: 04.07.2025 г.

Введение

Актуальность темы исследования. Сегодня глобальный сдвиг энергетической парадигмы в сторону безуглеродных технологий в связи с экологическими и энергетическими проблемами сделал задачу управления ключевыми преобразователями энергии постоянного тока в энергию переменного тока крайне актуальной.

Как известно, такие преобразователи преимущественно базируются на двух видах синусоидальной широтно-импульсной модуляции (ШИМ) – однополярной (unipolar) и двухполярной (bipolar). Примерами рассматриваемого класса преобразователей являются управляемые инверторы автономных фотоэлектрических установок преобразования солнечной энергии, систем энергообеспечения и гарантированного электропитания вычислительной техники, медицинского оборудования, охранных систем; регулируемых электроприводов для промышленных установок и электрического транспорта, мобильных мехатронных и робототехнических систем.

В последнее время возрос интерес и к методам гистерезисного или релейного управления. Это обусловлено тем, что такие системы просты в реализации, поскольку для этого требуются только релейные элементы и, как следствие высокая надежность. Кроме того, выбором стратегии релейного/частотно-импульсного управления удастся снизить гармонические искажения и коммутационные потери энергии в преобразователях.

Классический метод гистерезисного управления, называемый ещё двухуровневым, реализует аналог синусоидальной двухполярной ШИМ. Хорошо известно, что однополярная ШИМ позволяет снизить коэффициент гармонических искажений и коммутационные потери силовых транзисторов.

Нам удалось реализовать аналог синусоидальной однополярной модуляции с частотно-импульсным управлением, построенный на базе релейных автоматических систем. Такая стратегия относится к многоуровневному управлению. При этом, достигаются показатели качества управления, свойственные как синусоидальной однополярной ШИМ, так и классическому гистерезисному управлению.

Математические модели рассматриваемый класса систем автоматического управления представляют собой неавтономные дифференциальные уравнения с разрывной правой частью и разрывные отображения окружности на себя или кольца. Математического аппарата для бифуркационного анализа этого класса математических моделей пока ещё не создано, вследствие этого, динамические свойства данного типа преобразователей практически не изучены.

Поэтому математическое моделирование нелинейных явлений в релейных системах с внешним периодическим возбуждением методами современной теории бифуркаций разрывных отображений и дифференциальных уравнений с разрывной правой частью, в целях определения областей пространства параметров и стратегии управления, обеспечивающие устойчивые управляемые колебания с заданными динамическими характеристиками, является актуальной задачей.

Степень разработанности.

Начальный этап развития теории релейных систем относится ко времени становления теории автоматического управления. Первым теоретическим исследованием регулятора релейного типа была работа Вышнеградский И. А. О регуляторах непрямого действия. Изв. СПб. Практ. технол. инст. 1878. С. 1-48. (одного из основателей теории автоматического управления)

Цели и задачи.

Создание математического аппарата для изучения нелинейных явлений в разрывных отображениях, описывающих поведение преобразователей энергии постоянного тока в энергию переменного тока с частотно-импульсным управлением.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Создание математических моделей частотно-импульсных систем с внешним периодическим воздействием в форме неавтономных дифференциальных уравнений с разрывной правой частью и разрывных отображений окружности или кольца. Сначала необходимо создать математический аппарат получения из таких неавтономных векторных полей первого и второго порядков разрывных отображений.

2. Изучить свойства таких отображений, включающие: симметрию, необратимость, число разрывов и т.д. Аналитически получить точки разрывов из условия касания решений неавтономного уравнения порога переключения релейного элемента. Экспериментальные исследования на установке релейных и частотно-импульсных в систем, реализующие указанные ранее стратегии управления, которые подтверждают адекватность полученных моделей. В качестве экспериментального образца взять преобразователь энергии постоянного тока в энергию переменного тока (мостовой инвертор), на котором реализовать релейное и частотно-импульсное управления.

3. С помощью полученного семейства разрывных одномерных и двумерных отображений изучить бифуркационную структуру в пространстве параметров с упором на ту область, где отображения являются разрывными.

В области параметров, где отображения гладкие, бифуркационная структура является типичной. Границу, раздирающую эти области, ожидаем получить аналитически. Заметим, что полученные двумерные разрывные отображения – это своеобразные аналоги известного отображения кольца, где разрыв – фиктивный. Задачи изучения его свойств решаются нами впервые.

Ожидаемые результаты состоят в следующем:

1. Поскольку как одномерные, так и двумерные разрывные отображения получаются неявно, то требуется разработать алгоритмы численно-аналитического построения отображения первого возвращения.
2. Точки разрывов определяются как прообразы точек касания решений дифференциальных уравнений порогов переключения релейного элемента, а образы точек разрывов определяют размеры поглощающей области, причем на динамику влияют границы этой области, только в случае, когда она является инвариантной.
3. Результаты исследований в этой работе будут включать систематизированные методы бифуркационного анализа, сценарии и свойства усложнения колебаний, связанные с бифуркациями граничного столкновения, свойства и бифуркационные структуры разрывных отображений в пространстве параметров. Эти результаты являются общими для рассматриваемого класса негладких отображений, независимо от того, какое физическое явление или систему они описывают. Следовательно, применимы и для других областей приложений теории бифуркаций негладких систем.

Основная часть

Тема диссертационного исследования:

«Анализ и управление вынужденными колебаниями релейных автоматических систем»

Цель и задачи научно-исследовательской стажировки	Мероприятия для достижения цели и задач научно-исследовательской стажировки	Сроки выполнения	Достигнутый результат
1	2	3	4
<p><i>Цель исследования:</i></p> <p><i>Задачи исследования:</i></p> <p><i>1. Создание математических моделей релейных систем с внешним</i></p>	1		Черновой вариант диссертационной работы

периодическим воздействием в форме неавтономных дифференциальных уравнений с разрывной правой частью и разрывных отображений окружности или кольца. Сначала необходимо создать математический аппарат получения из таких неавтономных векторных полей первого и второго порядков разрывных отображений.

2. Изучить свойства таких отображений, включающие: симметрию, необратимость, число разрывов и т.д. Аналитически получить точки разрывов из условия касания решений неавтономного уравнения порога переключения релейного элемента. Экспериментальные исследования на установке релейных и частотно-импульсных в систем, реализующие указанные ранее стратегии управления, которые подтверждают адекватность полученных моделей. В качестве экспериментального образца взять преобразователь энергии постоянного тока в энергию переменного тока (мостовой инвертор), на котором реализовать релейное и частотно-импульсное управления.

3. С помощью полученного семейства разрывных одномерных и двумерных отображений изучить бифуркационную структуру в пространстве параметров с упором на ту область, где отображения являются разрывными. В области параметров, где отображения гладкие, бифуркационная структура является типичной. Границу, разделяющую эти области, ожидаем получить аналитически. Заметим, что полученные двумерные разрывные отображения – это своеобразные аналоги известного отображения кольца, где разрыв – фиктивный. Задачи изучения его свойств решается нами впервые.

Заключение

Краткие выводы по научно-исследовательской стажировке:

- 1) Изучение специализированного пакета прикладных программ по нелинейной динамике Ant 4.666.
- 2) Разработка программных модулей математических моделей с дискретным временем частотно-импульсных систем. Инсталляция программных модулей пакет Ant 4.666, тестирование и отладка их.
- 3) Выполнение численных расчетов для публикации в трудах международной конференции ICDEA – 2024 в книге издательства Springer, индексируемых в Scopus и Web of Science.
- 4) Изготовление установки системы управления с частотно-импульсной модуляцией, монтаж, настройка и изготовление технической документаций. Проведение экспериментов для публикации, указанной в пункте 3.

Место научно-исследовательской стажировки: г. Курск, Российская Федерация. Юго-Западный государственный университет. Факультет фундаментальной и прикладной информатики (ФФиПИ).

Руководитель научно-исследовательской стажировки

кандидат технических наук, доцент Жолдошов Толкунбек Мамытович

(ФИО)

Научный руководитель / консультант

доктор технических наук, профессор Жусубалиев Жаныбай Турсунбаевич

(ФИО)

Жусубалиев Н.Т.
30 июня 2025.

« _____ » 20 _____ г.



Жусубалиев Н.Т.
Жусубалиев Н.Т.