

Библиографический список

1. Цыбаков В.А. Ресурсный подход к моделированию объектов машиностроения. //Автоматизация научных исследований. Горький, 1990.
2. Виттих В.А., Цыбаков В.А. Обобщенные ресурсные модели систем "машина - человек - среда" //Проблемы машиностроения и надежности машин. 1990. № 2.
3. Есипов Б.А., Цыбаков В.А. Автоматизированная учебно-исследовательская система "РЕСУРС" для моделирования и системного анализа //Комплексная компьютеризация учебного процесса в высшей школе". Тез. докл. Всесоюз. науч.-метод. конф. /Ленинград. кораблестроительный ин-т. Л., 1989. С. 104.

УДК 62-506.1

Л.Н.Белюстина, В.П.Пономаренко

НИИ прикладной математики и кибернетики
при ИТУ им. Н.И.Лобачевского

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ
И РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ КОЛЕБАНИЙ

Излагаются основные проблемы, связанные с созданием программной системы моделирования класса нелинейных устройств синхронизации колебаний и ее использованием для расчета на ЭЭМ режимов и динамических характеристик этих устройств при проведении научных исследований, в процессе проектирования и в учебном процессе.

Автоматизация научных исследований. Куйбышев, 1990.

Целью данной работы является изложение основных проблем, связанных с созданием системы автоматизации научных исследований нелинейных устройств синхронизации колебаний (условное название системы АСНИ "Автомат-2") и ее использованием для расчета на ЭВМ режимов и динамических характеристик этих устройств.

Современные принципы построения эффективных и высоконадежных систем связи и управления широко используют разнообразные устройства синхронизации (УС). Интерес к УС проявляется как со стороны промышленности и производства (при разработке и проектировании следящих измерителей параметров сигналов и устройств формирования сигналов со стабильными параметрами), так и со стороны научных исследований (при разработке методов и способов управления колебаниями, при реализации алгоритмов оптимального приема радиосигналов). УС являются нелинейными системами управления, содержащими большое число параметров. На поведение УС оказывают существенное влияние начальные условия, структуры цепей управления, формы нелинейных характеристик дискриминаторов, внешние воздействия и изменение параметров систем. Вопросы исследования динамики и устойчивости УС представляют значительный интерес для теории и проектирования систем связи, поскольку главным условием, обеспечивающим их работоспособность, является существование и установление в системах стационарного синхронного состояния. Существенная нелинейность УС, сложность и разнообразие протекающих в них процессов исключают эффективное использование аналитических методов для решения этих вопросов и обуславливают привлечение методов математического моделирования на базе современной вычислительной техники.

АСНИ "Автомат-2" является программной системой, реализующей такое моделирование УС. Актуальность разработки и создания такой системы определяется фундаментальной и прикладной значимостью задач моделирования нелинейной динамики для теории и проектирования радиотехнических систем, использующих разнообразные УС, сложностью структур УС и техническими требованиями к их динамическим характеристикам, трудоемкостью и высокой стоимостью натуральных экспериментов, а также задачами подготовки высококвалифицированных специалистов в области применения средств вычислительной техники при автоматизации научных исследований и проектирования нелинейных систем и процессов управления. Основные проблемы разработки и создания АСНИ "Автомат-2", реализующей теорию и методы исследования нелинейных

устройство синхронизации, состоят в разработке схемы моделирования и постановке задач исследования динамических режимов и динамических характеристик УС, в формировании базы исследуемых УС и базы математических моделей исследуемых УС, в разработке методического, алгоритмического и программного обеспечения.

Процесс моделирования УС включает постановку и решение следующих динамических задач:

определение возможных движений и выделение из них движений, отвечающих стационарным синхронным режимам, и движений, нарушающих устойчивость процесса синхронизации;

определение областей существования и исследование областей притяжения стационарных синхронных режимов;

выделение областей значений параметров, соответствующих установлению режимов синхронизации и слежения при заданных начальных условиях;

определение динамических характеристик, позволяющих оценить эффективность решения исследуемыми УС задач синхронизации и слежения;

оценка влияния параметров исследуемых УС на динамические характеристики;

решение вопросов исключения нежелательных (аномальных) режимов в УС;

проведение расчетов динамических характеристик УС в требуемом диапазоне изменения параметров и анализ результатов.

База исследуемых УС АСНИ "Автомат-2" включает в себя следующие основные типы таких систем в теории и приложениях автоматической синхронизации:

системы фазовой синхронизации (СФС) при учете запаздывания; СФС при учете внешних гармонических воздействий (аддитивного с полезным сигналом и при фазовой модуляции эталонного сигнала);

системы синхронизации псевдослучайного сигнала по задержке во времени (ССЗ);

взаимосвязанные двухпетлевые системы синхронизации (ДСС) псевдослучайных радиосигналов, объединяющие СФС и ССЗ с перекрестными связями;

цифровые СФС (ЦФС) первого порядка при случайных воздействиях;

импульсные СФС (ИСФС) первого и второго порядка.

Сложность и разнообразие рассматриваемых УС не позволяют получить их описание в рамках единой математической модели. База исследуемых моделей АСНИ "Автомат-2" включает 17 математических моделей исследуемых УС. В числе этих моделей:

нелинейная фазовая система дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом (модель СФС с запаздыванием [1]);

нелинейные неавтономные фазовые системы дифференциальных уравнений второго порядка (модели СФС при внешних гармонических воздействиях [2]);

нелинейная система дифференциальных уравнений второго порядка с неперIODической нелинейностью (модель ССЗ с фильтром первого порядка [3]);

нелинейные фазовые системы дифференциальных уравнений второго, третьего и четвертого порядков (модели ДСС с фильтрами первого порядка в цепях управления СФС и ССЗ [4]);

функционально-разностные уравнения относительно плотности распределения вероятностей (модели ИСФС с четырьмя типами цифровых фильтров [5]);

точные отображения окружности и цилиндра в себя (модели ИСФС [6]);

Развитие методического обеспечения АСНИ "Автомат-2" проводилось в направлении разработки регулярных способов и соответствующих им алгоритмов решения поставленных динамических задач моделирования рассматриваемых УС по их математическим моделям. В число базовых теорий, методов и результатов, на которые опирается методическое обеспечение, входят нелинейная теория колебаний, качественная теория и теория бифуркаций динамических систем, метод точечных отображений, вероятностные методы, численные методы исследования динамических систем, результаты качественно-численного исследования нелинейной динамики УС, оценки областей значений параметров с известным однозначным поведением моделей УС.

Программное обеспечение АСНИ "Автомат-2" реализует следующие основные функции системы:

связь с базой исследуемых моделей УС, состоящая в подключении к эксперименту нужной модели и в получении безразмерных величин, характеризующих параметры исследуемой модели (начальные расстройки по частоте и задержке, постоянные времени цепей управления, па-

аметры нелинейностей, внешних воздействий, запаздывания и др.);

управление средствами системы и математическим экспериментом, реализующееся путем формирования и подключения нужной последовательности программных модулей в соответствии с решаемой задачей;

обработка данных и реализация вычислительных процедур по заданным в программах алгоритмам;

моделирование, состоящее в исследовании процессов управления, анализа динамического поведения и определении динамических характеристик УС из базы исследуемых УС по математическим моделям из базы исследуемых моделей УС;

отображение данных, состоящее в визуальном представлении исходных данных, промежуточных и конечных результатов исследований, получаемых в процессе работы системы.

Программное обеспечение включает следующие структурные компоненты: системное наполнение (управляющая и сервисные программы) и функциональное наполнение (комплекс программ, реализующих алгоритмы решения задач динамики исследуемых УС). Комплекс программ системного наполнения, включающий транслирующую и анализирующую программы, программу загрузки и базу данных, обеспечивает управление заданиями в рамках задач исследователя, в том числе выполняет ввод и анализ задания, выбор и запуск отдельных программных модулей функционального наполнения, осуществляет связь с операционной системой и базой данных. Взаимодействие исследователя с программами системы осуществляется посредством входного языка, содержащего операторы постановки задач исследования, вывода и обработки результатов, взаимодействия с базой данных. Словарь ключевых понятий входного языка образован из специфических для данной предметной области понятий, отражающих физическую сущность процессов, протекающих в исследуемых моделях УС; эти понятия близки к профессиональному жаргону специалистов в области теории и проектирования УС.

Структура комплекса программ функционального наполнения определяется классом исследуемых математических моделей и содержанием задач динамики УС. В состав комплекса входит шесть функциональных подсистем (ФП), соответствующих шести типам базовых структур УС, включенных в базу исследуемых УС АСНИ "Автомат-2". Каждая из функциональных подсистем ФП1-ФП6 имеет свое предметное сопровождение (структуры и математические модели УС, теорию, методы, алгоритмы)

и включает головной программный модуль ZJL (J - номер ФП, $J=1,6$, L - номер динамической задачи), подпрограммы набора базовых математических моделей исследуемых УС, подпрограммы, реализующие вычислительные процессы в соответствии с типом исследуемой модели, содержанием решаемой динамической задачи и алгоритмом ее решения, подпрограммы вывода на АИШУ текстовых формулировок решаемых задач, входных значений параметров исследуемых математических моделей и результатов моделирования и вычисления динамических характеристик. Система функциональных модулей подсистем ФП-ФП6 организована таким образом, что головные программные модули ZJL выполняют функции планировщика при решении динамических задач; под контролем управляющей программы модули ZJL формируют цепочки из функциональных программных модулей - исполнителей в соответствии с поставленной исследователем на входе задачей. Функциональные модули - исполнители реализуют методы качественно-численного анализа особенностей фазового портрета исследуемых моделей УС (состояния равновесия, сепаратрис седловых состояний равновесия, периодические движения автономных и неавтономных моделей, отдельные движения, представляющие интерес для конкретной исследуемой модели) и методы определения и вычисления динамических характеристик УС.

АСНИ "Автомат-2" реализована с ориентацией на базовое оборудование ЕС ЭВМ и мини-ЭВМ. Программы функциональных подсистем разработаны на языке Фортран, программы системного наполнения - на языках Фортран и Ассемблер.

При моделировании нелинейной динамики исследуемых УС в АСНИ "Автомат-2" предусматривается решение двух групп динамических задач: расчетные задачи по вычислению и анализу динамических характеристик УС (точности синхронизации и слежения, областей существования режимов синхронизации и слежения и областей захвата, времени установления состояния слежения);

исследовательские задачи, включающие анализ стационарных движений моделей систем и процессов захвата в режим слежения, изучение бифуркаций и параметрических портретов моделей рассматриваемых УС, а также перестроек фазового портрета при пересечении значениями параметров бифуркационных границ.

Первая группа задач предназначена для специалистов в области радиоэлектроники, разрабатывающих устройства синхронизации и сле-

жения на базе структур, составляющих базу исследуемых УС АСНИ "Автомат-2"; способ использования системы - проведение расчетов параметров УС на этапе предпроектных исследований. Вторая группа задач ориентирована на специалистов-исследователей в области динамики систем и процессов управления, прикладной математики, радиоавтоматики, радиофизики и теории колебаний, занимающихся вопросами общей динамики нелинейных систем и процессов, а также на преподавателей и студентов вузов. Для этой категории пользователей представляет интерес и первая группа задач на этапе получения количественных зависимостей между параметрами исследуемых УС.

АСНИ "Автомат-2" составит основу развития лабораторной и учебно-исследовательской базы для обучения студентов вузов по специальностям прикладная математика и радиофизика (при изучении методов исследования математических моделей конкретных нелинейных систем и процессов управления колебаниями) и радиотехническим специальностям (при изучении нелинейных следящих систем радиоавтоматики). Методическое обеспечение АСНИ "Автомат-2" предоставляет широкие возможности для использования системы в учебном процессе по курсам "Теория управления" (разд. "Динамика нелинейных систем управления"), "Дифференциальные уравнения" (разд. "Качественно-численные методы исследования динамических систем"), "Теория колебаний" (разд. "Динамика процессов в нелинейных системах управления колебаниями"), "Радиоавтоматика" (разд. "Анализ нелинейных систем радиоавтоматики"), "Радиотехнические цепи и системы" (разд. "Системы автоматического регулирования в радиоприемных и радиопередающих устройствах"), а также по спецкурсам, посвященным математическому моделированию и автоматизации научных исследований нелинейных процессов в радиоавтоматических системах. Постановка лабораторного практикума на базе АСНИ "Автомат-2" ставит целью закрепление у студентов, специализирующихся в данной предметной области, определенного уровня знаний, отработку навыков качественно-численных исследований математических моделей на примере конкретных моделей УС и навыков моделирования процессов на ЭВМ, а также формирование умения проводить анализ результатов и прогнозирования поведения реальных процессов в системах. Методические указания к выполнению лабораторных и учебно-исследовательских работ разрабатываются на основе описания методического обеспечения с учетом профиля вуза, факультета, кафедры и должны содержать сво-

дения о теории, методике исследования и решения конкретных задач с помощью АСНИ "Автомат-2", методике пользования языком ввода данных.

Кроме учебно-исследовательских и научно-исследовательских задач динамики УС возможна постановка задач по развитию и совершенствованию комплекса программ АСНИ "Автомат-2". Такие задачи возникают в тех случаях, когда появляется надобность в исследовании моделей или динамических характеристик, не включенных в класс моделей и класс динамических характеристик системы. В этих случаях предусматривается привлечение студентов к разработке схем моделирования исследуемых объектов и требуемых для реализации этих схем алгоритмов и программ вычислений с последующим использованием созданного методического и программного обеспечения в АСНИ "Автомат-2".

АСНИ "Автомат-2" создана и введена в опытную эксплуатацию в НИИ прикладной математики и кибернетики при Горьковском государственном университете, используется в учебном процессе на факультете вычислительной математики и кибернетики университета. Система решает практически важную задачу автоматизации научных исследований и расчетов динамических характеристик нелинейных устройств синхронизации колебаний, необходимых для определения режимов и устойчивости УС. Использование системы в процессе выполнения научных исследований и учебном процессе и ее развитие позволяет существенно расширить базу знаний о нелинейной динамике УС и влиянии параметров УС на процессы и динамические характеристики.

Библиографический список

1. Белюстина Л.Н., Киняпина И.С., Филман Л.З. Динамика системы фазовой синхронизации с запаздыванием //Теоретическая электротехника: Республ. межвед. науч. техн. сб. Львов: Выща шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1990. Вып. 48. С. 72-78.

2. Белюстина Л.Н., Кивелева К.Т., Фрайман Л.В. Качественно-численный метод в исследовании трехмерных нелинейных СЭС //Системы фазовой синхронизации /Под ред. В.В.Шахгильдяна, Л.Н.Белюстиной. М.: Радио и связь, 1982. Гл. 2. С. 21-45.

3. Белюстина Л.Н., Пономаренко В.П., Шалфеев В.Д. О динамике системы слежения за задержкой бинарного псевдослучайного сигнала // Изв. вузов. Радиофизика, 1970. Т. 13. № 11. С. 1669.

4. Пономаренко В.П., Панышева Г.Ф. Исследование устойчивости инерционной двухконтурной системы синхронизации псевдослучайного сигнала //Радиотехника и электроника. 1983. Т. 28. № 2. С. 304.
5. Белых В.Н., Максаков В.П. Статистическая динамика цифровой системы фазовой синхронизации первого порядка //Радиотехника и электроника. 1979. Т. 24. № 5. С. 695.
6. Белых В.Н., Лебедева Л.В. Исследование одного отображения окружности //Прикладная математика и механика. 1982. Т. 46. Вып. 5. С. 771.

УДК 621.914.3

Ю.И.Городецкий, Г.А.Дроздова, Н.С.Киняшина,
И.А.Кузнецова, А.М.Преображенская

НИИ прикладной математики и кибернетики
при ГТУ им. Н.И.Лобачевского

ПОДСИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЗАМКНУТЫХ
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Рассмотрен класс типовых моделей, описывающих колебания металлорежущих станков с учетом динамики процесса резания металлов. Приведена методика идентификации параметров указанных математических моделей по экспериментальным данным. Описаны структура и функциональные особенности подсистемы.

Построение математической модели замкнутой динамической системы станка (ЗДСС) относится к одному из наиболее ответственных этапов разработки методов расчета металлорежущих станков на собственные и вынужденные колебания, виброустойчивость и решения задач анализа их динамического качества и оптимизации. При этом, как

Автоматизация научных исследований. Куйбышев, 1990.
