

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АСНИ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМ ФАЗОВОЙ синхронизации

Системы фазовой синхронизации (СФС), решающие задачи автоматического управления фазой и частотой колебаний, относятся к числу наиболее распространенных систем радиоавтоматики [1]. Широкое использование СФС делает актуальной проблему анализа их динамики с целью определения динамических характеристик систем и выяснения зависимости от параметров систем. В связи с существенной нелинейностью рассматриваемых систем возникает трудности в их аналитическом исследовании, что обуславливает применение методов автоматического моделирования СФС с применением ЭВМ. Одним из способов повышения эффективности такого моделирования [2,3] является создание автоматизируемых программных комплексов, построенных на реализации качественно-численных методов и алгоритмов исследования СФС и определения их динамических характеристик. Методика автоматизированного исследования динамических характеристик СФС основывается на анализе качественных особенностей систем, теоретической основой которого являются результаты [4-6] предварительно проведенного качественного исследования.

В АСНИ "Автомат" и "Автоматика", предназначенных для проведения научных исследований типовых систем фазовой синхронизации, объектом автоматизации являются математические модели СФС с пропорционально-интегрирующим фильтром и СФС при приближенном учете запаздывания. Автоматизируемыми являются процессы вычисления динамических характеристик точности синхронизации, области захвата, времени переходного процесса). Математическими моделями рассматриваемых систем являются следующие [1,6] нелинейные автономные системы двух дифференциальных уравнений второго порядка с цилиндрическим фазовым пространством:

СФС с пропорционально-интегрирующим фильтром

$$\begin{aligned} G &= \{y \pmod{2\pi}, y\}: \\ dy/d\tau &= y; \quad dy/d\tau = \gamma - [1/\sqrt{W} + n\sqrt{W} F_{\varphi}'(y)] y - F(y). \end{aligned} \quad (1)$$

СЭС с интегрирующим фильтром при приближенном учете запаздывания

$$dy/d\tau = y, \quad dy/d\tau = \gamma - a_1^{-1/2} (1 - \epsilon a_1 \cos y) y - \sin y. \quad (2)$$

В системах (1) и (2) y , y - фазовые переменные (ошибка по фазе и частоте), γ - относительная начальная расстройка частот управляемого и эталонного генераторов, W и a_1 - безразмерные постоянные времени фильтра, n - параметр фильтра, ϵ - отношение времени запаздывания к постоянной времени фильтра, $F(y)$ - нормированная на единицу характеристика фазового детектора, являющаяся периодической функцией y с периодом 2π . В системе (1) рассматриваются следующие наиболее типичные виды нелинейности $F(y)$: синусоидальная функция типа $F(y) = \sin^m y$ и кусочно-линейная функция

$$F(y) = \begin{cases} \frac{1}{a} y & , |y| < a \\ \frac{\pi - y}{\pi - b} & , b < y < \pi \\ 1 & , a < y < b \\ -1 & , -b < y < -a \\ -\frac{\pi - y}{\pi - b} & , -\pi < y < -b \end{cases}$$

где $0 < \Delta < a < \pi - \Delta$, $a < b < \pi$, в системе (2) рассматривается только синусоидальная характеристика фазового детектора. Пространством параметров системы (1) является $\Lambda_1 = (\gamma, W, n)$, системы (2) - $\Lambda_2 = (\gamma, a_1, \epsilon)$.

Возможными режимами работы системы фазовой синхронизации являются [1] режим синхронизма и режимы биений. Режим синхронизма характеризуется тем, что частоты управляемого и эталонного генераторов равны и изменения частоты управляемого генератора, вызванные медленными изменениями параметров, полностью компенсируются СЭС. Режим синхронизма определяется устойчивым состоянием равновесия систем (1) и (2) с постоянной величиной ошибки по фазе y и нулевой разностью частот. Режим биений первого рода характеризуется устойчивыми колебаниями около постоянной разности фаз и нулевой разности частот. В фазовом пространстве системы этому режиму соответствует наличие предельного цикла первого рода. Режим биений второго рода, в котором разность фаз y неограниченно возрастает, а разность частот периодически изменяется около некоторого среднего значения, определяется устойчивым предельным циклом второго рода. Рабочими режимами систем (1) и (2) является режим синхронизма.

Для практических задач представляет интерес режим биений первого рода, при котором допускаются небольшие устойчивые колебания около постоянной разности фаз.

В функции АСНИ "Автомат" и "Автоматика" входит решение следующих задач:

- определение точности синхронизации;
- определение возможности наступления синхронизма при заданных значениях параметров;
- определение границ области захвата;
- определение времени переходного процесса к состоянию синхронизма.

Для системы (2), кроме этих задач, решается задача определения области существования режима биений первого рода. Системы (1) и (2) при значениях параметра $\gamma < 1$ имеют два состояния равновесия: $O_1(\varphi_1, \psi_1)$ - устойчивый узел для системы (1) и устойчивый или неустойчивый узел или фокус для системы (2) и $O_2(\varphi_2, \psi_2)$ - седло. Координаты $\varphi_{1,2}, \psi_{1,2}$ этих состояний равновесия определяются из уравнения (3):

$$\dot{\varphi} = 0, \quad \dot{\gamma} - F(\varphi) = 0. \quad (3)$$

Решение задачи о стационарном режиме синхронизма сводится к вычислению значений координат устойчивого состояния равновесия. В системе (2) состояние равновесия O_1 может быть как устойчивым, так и неустойчивым, поэтому возникает задача определения полосы удержания - области значений параметров, при которых состояние равновесия O_1 существует и устойчиво. Полоса удержания определяется бифуркационными кривыми $\dot{\gamma} = 1$ и $a_1 = 1/l\sqrt{1-\gamma^2}$ - смены устойчивости состояния равновесия O_1 . Поведение системы вблизи границы области устойчивости устанавливается с помощью аналитического вычисления первой Ляпуновской величины, знак которой определяет характер смены устойчивости. Граница для системы (2) является "безопасной". При решении задачи определения полосы удержания используется алгоритм численного определения первой Ляпуновской величины в точках бифуркационной кривой смены устойчивости.

Режим синхронизма устанавливается при тех значениях параметров систем (1) и (2), при которых на фазовом цилиндре состояние равновесия O_1 является глобально асимптотически устойчивым. Область значений параметров, при которых система глобально асимптотически устойчива, называется областью захвата системы. Граница области захвата в пространстве параметров системы (1) определяется [4,5]

бифуркациями петли сепаратрисы второго рода, охватывающей цилиндр, седла O_2 и двойного предельного цикла второго рода. Расчет бифуркационных значений параметра γ в зависимости от постоянных времени W (в системе (1)) и a_1 (в системе (2)) производится по алгоритмам построения сепаратрисы седла и нахождения неподвижных точек точечного отображения прямой в прямую [6]. Граница области захвата системы (2) определяется [5] бифуркациями петли сепаратрисы второго рода седла O_2 и смены устойчивости состояния равновесия O_1 .

Для системы (2) практический интерес может представлять область пространства параметров, для которых устанавливается режим биений первого рода. Границы этой области определяются сменой устойчивости состояния равновесия O_1 и бифуркацией петли сепаратрисы первого рода седла O_2 . Бифуркационное значение параметра γ , соответствующее петле первого рода, находится по алгоритму построения сепаратрис седла [6].

Важное значение имеет такая динамическая характеристика, как время переходного процесса к состоянию синхронизма, характеризующая быстрдействие системы. Длительность переходного процесса определяется как число шагов интегрирования по траекториям системы из области допустимых начальных условий до достижения малой окрестности устойчивого состояния равновесия O_1 . В АСНИ "Автомат" и "Автоматика" предусмотрено вычисление среднего, минимального и максимального времен переходного процесса. Для более полного определения временных характеристик используется метод оценки вероятности того, что время переходного процесса будет меньше искомого заданного τ^* [3].

Математические модели (1) и (2) СФС, способы и алгоритмы определения их динамических характеристик определяют структуру функциональных подсистем АСНИ "Автомат" и "Автоматика", содержащих программные модули, реализующие алгоритмы вычисления динамических характеристик моделей (1) и (2). Математическое обеспечение АСНИ написано на языке Фортран-IV и эксплуатируется в операционных системах ДЭС и ОС ЕС ЭВМ. Оно включает пакеты прикладных программ, реализующие алгоритмы определения динамических характеристик непрерывных СФС, разработанные на основе результатов качественно-численного исследования математических моделей. Взаимодействие исследователя с этими подсистемами организуется с помощью управляющей системы, осуществляющей ввод необходимых значений параметров, выдачу результатов эксперимента, а также организующей нужную последовательность функционирования программных модулей подсистем

в соответствии с вычисляемой динамической характеристикой СФС.

С использованием подсистем АСНИ "Автомат" и "Автоматика" проведены исследования процессов синхронизации в СФС по моделям (1) и (2), в результате которых получены новые данные об областях захвата и устойчивости СФС, о влиянии формы характеристики $F(\varphi)$ на динамические характеристики систем. АСНИ "Автомат" и "Автоматика" ориентированы на пользователей-специалистов в области радиотехники, прикладной математики, автоматического управления, выполняющих научные исследования и проектирование систем автоматической синхронизации. Эти программные системы используются в учебном процессе при выполнении лабораторных, курсовых и дипломных работ студентами, обучающимися методам моделирования нелинейных систем управления. Использование АСНИ в учебном процессе возможно в двух следующих направлениях. Во-первых, моделирование с помощью ЭВМ непрерывной системы фазовой синхронизации - в этом направлении могут быть поставлены такие циклы учебно-исследовательских и лабораторных работ: исследование стационарных режимов систем синхронизации, определение полосы захвата, условия появления циклов первого и второго рода, исследование переходных процессов, исследование изменения основных динамических систем в зависимости от параметров системы. Во-вторых, численное исследование бифуркаций в динамических системах маятникового типа второго порядка. В этом направлении могут быть поставлены следующие работы: численное исследование бифуркации, связанной с "петлей" сепаратрисы, численное исследование бифуркации смены устойчивости состояния равновесия типа узел или фокус, численное исследование бифуркации, связанной с двойным предельным циклом второго рода. Приведенный перечень может быть расширен как за счет постановки новых задач, так и за счет расширения типов рассматриваемых моделей.

Библиографический список

1. Шахгильдян В.В., Ляховкин А.А. Системы фазовой автоподстройки частоты. М.:Связь, 1972.- 447 с.
2. Система автоматизации расчетов динамических характеристик типовых систем фазовой синхронизации: Отчет о НИР "Автомат" (заключительный)/НИИ ПМК; Руководители Л.Н.Белюстина, В.Д.Шалфеев; № гр 61054239; Инв. № 0286.0083932. Горький, 1985. 140 с.
3. Расчет динамических характеристик системы фазовой синхронизации при приближенном учете запаздывания и характеристик помехоустойчивости системы синхронизации по задержке при воздействии

структурной помехи: Отчет и НИР "Автоматика" (заключительный)/
ИИИ ПМК; Руководители Л.Н.Белюстина, В.П.Пономаренко; № ГР 0184.
022.498; Инв. № 0285.0069161. Горький, 1985. - 118 с.

4. Белюстина Л.Н., Белых В.Н. Качественное исследование дина-
мической системы на цилиндре //Дифференциальные уравнения. 1973.
Т.9. № 3. С.403-415.

5. Белюстина Л.Н. Исследование нелинейной системы фазовой
автоподстройки частоты //Радиофизика. 1959. Т.II. № 2. С.277-291.

6. Фазовая синхронизация /Под ред. В.В.Шахгильдяна, Л.Н.Бе-
люстиной. М.:Связь, 1985. - 289 с.

УДК 378.1:681.31

Е.П.Калина, А.И.Хмельницкий

ИМИТАЦИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИ ЗАДАНЫХ ОБЪЕКТОВ НА УРОВНЕ РЕАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

(г. Москва)

Имитационное моделирование объектов на уровне реальных сиг-
налов в реальном времени, базирующееся на использовании цифровой
вычислительной техники, требует анализа адекватности процесса мо-
делирования реальному объекту с учетом конкретных параметров ими-
тационного комплекса (ИК) и системы сбора и обработки данных
(ССОД) с целью обоснованного выбора режимов работы имитационного
комплекса.

Пусть ИК состоит из ЭВМ, программа в которой реализует алго-
ритм, "поведения" объекта в некоторой заданной области условий,
и совокупности цифро-аналоговых (ЦАП) и аналого-цифровых
преобразователей (АЦП) для сопряжения с внешней средой на уровне
реальных сигналов. При проведении экспериментов с помощью автома-
тизированной системы научных исследований (АСНИ) ССОД также имеет
в своем составе ЭВМ и устройства сопряжения с объектом (УСО - на-
пример КАМАК), в число которых входят ЦАПы, АЦП и другие функцио-
нальные модули. Состояние реального объекта в произвольный момент
времени для ССОД и экспериментатора представляется совокупностью
измеряемых выходных сигналов объекта - вектор-функцией $\vec{y}_p(t)$.
Предполагается, что ИК реализует идеальную модель объекта и, соот-
ветственно, выходные измеряемые сигналы модели представляют вектор