

графопостроитель в виде стандартных таблиц и графиков, готовых для их включения в отчетную документацию.

Библиографический список

1. Системы фазовой синхронизации /Под ред. М.И.Жодзинского. М.:Сов.радио, 1980. 200 с.
2. Белых В.Н., Максаков В.П. Динамика цифровых систем фазовой синхронизации первого и второго порядка //Динамика систем:Междуз. сб. Горький, 1976. Вып. II. С.130-143.
3. Белых В.Н., Максаков В.П. Динамика простейшей дискретной системы фазовой синхронизации //Радиотехника и электроника, 1976. Т.21. № 1. С.2155-2163.
4. Белых В.Н., Максаков В.П. Шумы квантования в цифровых системах управления фазой колебаний //Динамика систем:Междуз.сб. Горький, 1986. С.120-130.
5. Белых В.Н., Максаков В.П. Качественное исследование разрывного отображения цилиндра из теории фазовой синхронизации// Методы качественной теории дифференциальных уравнений:Междуз.сб. Горький, 1982. С.135-149.
6. Максаков В.П., Панченко И.О. Качественное исследование разрывного отображения из теории ЦФС//Методы качественной теории дифференциальных уравнений: Междуз.сб. Горький, 1986. С.81-94.

УДК 62-506.1

В.П.Пономаренко, И.А.Заулин, В.В.Матросов

О РАЗРАБОТКЕ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ ПО ЗАДЕРЖКЕ

(г. Горький)

Система синхронизации по задержке (ССЗ) является оптимальным устройством следящей оценки задержки во времени двух коррелированных сигналов. Происходящее и применение ССЗ связано с широким использованием в системах связи, управления и обработки информации широкополосных шумоподобных сигналов [1]. Вопросы исследования режимов, устойчивости и помехоустойчивости ССЗ представляют зна-

чительный интерес для теории и проектирования этих систем, поскольку главным условием, обеспечивающим их работоспособность, является существование и установление в них стационарного синхронного состояния, в котором управляемая задержка $T^*(t)$ эталонного сигнала, формируемого в ССЗ, воспроизводит с некоторой ошибкой изменение задержки $T_S(t)$ входного (оцениваемого) сигнала. В силу нелинейности ССЗ возникают серьезные трудности их аналитического исследования, что заставляет привлекать при решении конкретных прикладных задач динамики этих систем математическое моделирование с применением ЭВМ. Реализация его требует разработки соответствующего методического, алгоритмического и программного обеспечения. Актуальность такой разработки определяется практическими потребностями в обоснованных рекомендациях по выбору режимов и значений параметров систем, повышении их эффективности, сокращении сроков исследования и проектирования и создании новых устройств на базе ССЗ с улучшенными динамическими характеристиками.

На динамическое поведение ССЗ оказывают существенное влияние структуры цепей управления задержкой T^* , внешние неавтономные воздействия, форма дискриминационной характеристики. В качестве базовой структуры ССЗ рассмотрим широко применяемую астатическую ССЗ с цепью управления первого порядка [1, 2] при отсутствии внешних воздействий и при воздействии на вход двух одинаковых по структуре сигналов, один из которых с амплитудой A_S и задержкой T_S рассматривается как полезный, а другой с амплитудой A_n и задержкой T_n трактуется как сигналподобная помеха. Процессы синхронизации в автономной ССЗ описываются уравнениями [2]

$$\frac{dx}{d\tau} = u - nD(x), \quad \varepsilon \frac{du}{d\tau} = \beta - u - (1-n)D(x). \quad (1)$$

Математической моделью ССЗ при воздействии сигналподобной помехи в случае линейной зависимости задержки T_n от времени является система уравнений [3-5]

$$\frac{dx}{d\tau} = u - n [D(x) + \mu D(x + x_0 + \gamma\tau)], \\ \varepsilon \frac{du}{d\tau} = \beta - u - (1-n) [D(x) + \mu D(x + x_0 + \gamma\tau)]. \quad (2)$$

В уравнениях (1), (2) τ - безразмерное время, x и u - фазовые переменные (x - относительная ошибка слежения за задержкой T_S), β - относительная начальная частотная расстройка,

ε и n - параметры цепи управления (ε - безразмерная постоянная времени, $0 \leq n < 1$), $z = x + x_0 + \gamma \tau$ - относительная ошибка слежения за задержкой T_n , x_0 - начальное рассогласование T_n и T_s , γ - относительная скорость изменения T_n , $\mu = A_n A_s^{-1}$, $D(\cdot)$ - нелинейность ССЗ (дискриминационная характеристика), определяемая в зависимости от типа дискриминатора, например следующими выражениями [7]:

$$D(x) = \begin{cases} -(\beta+x)(\beta-a)^{-1}, & -\beta \leq x \leq -a, \\ xa^{-1}, & -a \leq x \leq a, \\ (\beta-x)(\beta-a)^{-1}, & a \leq x \leq \beta, \\ 0, & |x| > \beta \end{cases} \quad (3)$$

или

$$D(x) = \begin{cases} -(\beta+x)^2(\beta-a)^{-2}, & -\beta \leq x \leq -a, \\ -x^2 a^{-2}, & -a \leq x \leq 0, \\ x^2 a^{-2}, & 0 \leq x \leq a, \\ -(\beta-x)^2(\beta-a)^{-2}, & a \leq x \leq \beta, \\ 0, & |x| > \beta, \end{cases} \quad (4)$$

в которых a и β - параметры нелинейности ($0 < a < \beta$, a - величина x , при которой $D(x) = 1$, 2β - ширина рабочей области $\Omega_x: \{-\beta < x < \beta\}$). Особенностью модели (2) является то, что в области $|z| > 2$ она превращается в автономную систему (I), а в области $|x| > 2$ заменой $\tau_1 = \tau \mu$, $\varepsilon_1 = \varepsilon \mu$, $u_1 = (u + \gamma) \mu^{-1}$, $\beta_1 = (\beta + \gamma) \mu^{-1}$ приводится к виду системы (I) для переменных z , u_1 и параметров β_1 , ε_1 . В случае $\varepsilon = 0$ из уравнений (2) получаем модель безинерционной ССЗ в виде системы уравнений для ошибок x и z

$$\frac{dx}{d\tau} = \beta - D(x) - \mu D(z), \quad \frac{dz}{d\tau} = \beta + \gamma - D(x) - \mu D(z). \quad (5)$$

Автономная ССЗ в процессе установления синхронизации может находиться [2] в режиме синхронизма I_S , в котором ССЗ осуществляет слежение за задержкой T_s при ее изменении, или в состоянии проскальзывания рабочей области без установления режима I_S . Режим I_S определяется устойчивым состоянием равновесия $A_1(x_S, \eta\beta)$ модели (I). Основными динамическими характеристиками, определяющими качество синхронизации ССЗ, являются: точность слежения, область захвата D_S в режим I_S , время T_S установления режима I_S . Точность слежения характеризуется величиной ошибки задержки x_S в

режиме I_S . Область захвата определяется такими значениями параметров β , ε , n , при которых для всех начальных значений x и u из заданной области θ_0 в системе устанавливается режим I_S . Время T_S определяется временем движения изображающей точки на фазовой плоскости (x, u) по траекториям модели (I) из области θ_0 до достижения заданной малой окрестности устойчивого состояния равновесия A_1 .

ССЗ при воздействии сигналподобной помехи может иметь стационарные синхронные режимы двух типов [3-6]: режим I_S слежения за задержкой полезного сигнала, в котором величина ошибки $x \in \Omega_x$, и режим I_n слежения за задержкой помехи, в котором величина ошибки $z \in \Omega_z : \{-\delta < z < \delta\}$. Кроме режимов I_S и I_n в системе возможно проскальзывание, когда ошибки x и z выходят за пределы областей Ω_x и Ω_z соответственно. Режим I_S определяется устойчивой особой ограниченной траекторией L_S систем (2) и (5), расположенной при $-\infty < \tau < \infty$ в области Ω_x , режиму I_n соответствует устойчивая особая ограниченная траектория L_n систем (2) и (5), расположенная при $-\infty < \tau < \infty$ в области Ω_z . С режимом слежения I_S связано понятие области сохранения слежения θ_S в случае воздействия помехи на "захваченную" ССЗ, область θ_S определяется значениями параметров β , n , ε , γ , μ , при которых у системы (2) и (5) существует траектория L_S . Для значений параметров вне области θ_S наступает срыв слежения, сопровождающийся проскальзыванием или переходом в режим I_n . С процессом установления режима I_S в случае одновременного воздействия сигнала и помехи связано понятие области захвата θ_S , определяемой значениями параметров, при которых при заданных начальных условиях в ССЗ устанавливается режим I_S . Так как начальная ошибка $z \in [-\delta, \delta]$ в этом случае является случайной величиной, то возникает постановка задачи о вероятностях захвата ρ_S и ρ_n в режимы I_S и I_n . Области θ_S и θ_n и вероятности захвата ρ_S и ρ_n являются динамическими характеристиками помехоустойчивости ССЗ.

Величина ошибки x_S , характеризующая точность слежения автономной ССЗ, определяется минимальным по модулю корнем уравнения $\beta - D(x) = 0$. Значения параметров, определяющие границу области захвата D_S , находятся из условия совпадения на фазовой плоскости (x, u) сепаратрисы седла системы (I) с полупрямой начальных условий $L_0 : \{u = \beta, x = -\beta \cdot \text{sign} \beta\}$. Алгоритм вычисления этих значений параметров строится аналогично [8] на основе численного

интегрирования системы (1), Вычисление времени τ_S основано на методике [9] определения времени переходного процесса с заданной вероятностью.

Алгоритмы определения области G_S неавтономных моделей (2) и (5) предусматривают [10] численное построение решения S_0 с начальными условиями $x=x_S, z=-b \operatorname{sign} \gamma, u=n\beta$ в случае системы (2) или $x=x_S, z=-b \operatorname{sign} \gamma$ в случае системы (5) и анализ взаимного расположения траектории S_0 и области притяжения $\Pi(A_1)$ устойчивого состояния равновесия A_1 системы (1). Вычисление области захвата G_S основывается [10] на нахождении вероятности захвата p_S и определении таких значений параметров, при которых величина p_S не менее заданного значения $p^* (0 < p^* < 1)$. Нахождение вероятностей захвата p_S и p_n в модели (1) проводится путем построения траекторий системы из N равномерно расположенных точек на отрезке начальных условий $L_{01} : \{x = -b \operatorname{sign} \beta, -b < x < b, u = \beta + n \mu D(z)\}$ и определения числа N_1 траекторий, попавших в область $|z| > b$ в окрестность устойчивого состояния равновесия A_1 системы (1), и числа N_2 траекторий, попавших в область $|x| > b$ в окрестность устойчивого состояния равновесия B_1 системы (1), записанной для переменных x, u_1 и параметров β, E_1 ; величины отношений N_1/N и N_2/N принимаются за оценки вероятностей p_S и p_n соответственно. Нахождение p_S и p_n в модели (5) для значений $|b| < 1, \gamma > 0$ основано на построении траекторий S_1 с начальными условиями $x=x_0, z=b$ и с начальными условиями $x=-b, z=z_0$ (x_0 и z_0 - координаты неустойчивого состояния равновесия системы (1)), определении на отрезке $L_{02} : \{x = -b \operatorname{sign} \beta, -b < x < b\}$ интервалов Δ_S и Δ_n значений z , принадлежащих областям притяжения режимов I_S и I_n соответственно, и вычисления величин $\Delta_S/4b$ и $\Delta_n/4b$, принимаемых за оценки вероятностей p_S и p_n .

Математические модели (1), (2), (5), динамические характеристики систем и алгоритмы их вычисления определяют структуру комплекса программ, позволяющего использовать ЭВМ для моделирования ССЗ. Комплекс программ содержит программные модули, реализующие алгоритмы определения динамических характеристик автономной и неавтономных моделей ССЗ, и позволяет получать количественные зависимости между параметрами моделей (1), (2), (5), по которым можно оценить точность, быстродействие, устойчивость и помехоустойчивость ССЗ, проанализировать влияние параметров и формы нелинейнос-

ти $D(x)$ на динамические характеристики, выяснить направление изменения значений параметров систем для достижения требуемых характеристик систем.

Программы комплекса используются в качестве функциональных подсистем в АСНИ "Автомат" и "Автоматика", предназначенных для автоматизации научных исследований широкого класса типовых систем фазовой синхронизации и ориентированных на ЕС ЭВМ. Взаимодействие исследователя с программами комплекса реализуется здесь с помощью управляющей системы, осуществляющей ввод необходимых значений параметров систем, контроль за соблюдением допустимых диапазонов их изменения и выдачу результатов эксперимента, а также организующей нужную последовательность функционирования программных модулей в соответствии с исследуемой моделью ССЗ и решаемой задачей по вычислению динамических характеристик. С использованием этих подсистем в АСНИ "Автомат" и "Автоматика" проведен математический эксперимент по определению и анализу зависимости от параметров динамических характеристик ССЗ, в результате которого получен ряд новых данных о свойствах и поведении систем (например, установлена сложная зависимость областей θ_S и C_S от параметров ε , γ , n) [6].

Возможности программ комплекса позволяют использовать АСНИ "Автомат" и "Автоматика" при проведении исследований динамики ССЗ, при выполнении расчетных работ, в учебном процессе при обучении студентов методам математического моделирования нелинейных систем управления. Тематика научных исследований ССЗ и содержание учебно-исследовательских и лабораторных работ включает изучение различных видов движений в системах, анализ условий их существования и установления в зависимости от параметров и начальных условий, определение основных характеристик стационарных синхронных режимов, вычисление и исследование динамических характеристик, получение рекомендаций по выбору режимов и параметров для проектирования следящих измерителей на основе ССЗ.

Модульная структура подсистем позволяет расширять их по мере появления новых моделей и динамических характеристик ССЗ.

Библиографический список

1. Баракин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. - М.: Радио и связь, 1985.

2. Белистина Л.Н., Пономаренко В.П., Шалфеев В.Д. О динамике системы слежения за задержкой бинарного псевдослучайного сигнала// Известия ВУЗ МВССО СССР, Радиопизика, 1970. Т.13. № II, С.1669-1676.

3. Пономаренко В.П. О режимах работы слежения за задержкой с малоинерционной цепью управления при действии уводящего сигнала// Радиотехника и электроника. 1978. Т.23. № 10. С.2141-2149.

4. Пономаренко В.П. Исследование срыва слежения в системе синхронизации псевдослучайного сигнала при воздействии уводящей помехи//Радиотехника. 1979. Т.34. № 9. С.74-77.

5. Пономаренко В.П., Кивелева К.Г. Исследование влияния подобной помехи на динамику системы синхронизации псевдослучайного сигнала//Известия ВУЗ МВССО СССР. Радиопизика. 1979. Т.22. № 8. С.969-978.

6. Заулин И.А., Пономаренко В.П. Анализ процессов срыва слежения и захвата в системе синхронизации по задержке при воздействии структурной помехи//Радиотехника. 1986. № 4. С.34-37.

7. Тузов Г.И. Статистическая теория приема сложных сигналов. М.:Сов.радио, 1977.

8. Кивелева К.Г. Численное определение полосы захвата систем ФАП с фильтрами первого порядка //Фазовая синхронизация/Под ред. В.В.Шахгильдяна и Л.Н.Белистиной.-М.:Связь, 1975. Гл.10. С.238-245

9. Бельх В.Н., Кивелева К.Г., Фрайман Л.А. Динамические характеристики поисковой системы ФАПЧ с фильтром первого порядка//Фазовая синхронизация/Под ред. В.В.Шахгильдяна и Л.Н.Белистиной. М.: Связь, 1975. Гл.20. С.245-256.

10. Пономаренко В.П., Заулин И.А., Матросов В.В. Моделирование нелинейной системы синхронизации:Методические указания к выполнению учебно-исследовательской работы с использованием АСНИ "Автоматика" Изд-во Горьковского ун-та, Горький, 1983.

УДК 681.3.06

Н.И.Лободин, Н.Б.Лиховидова, Г.П.Озерова

ЭКРАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ САДОЛЛ

(г. Воронеж)

СУБД САДОЛЛ - это методоориентированная система, предназначенная для экранного конструирования и сопровождения данных табличного вида.