

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра радиотехнических систем

***ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ
СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ***

Методические указания

к лабораторной работе по курсу «Радиоавтоматика» для студентов специальностей I-39 01 01 «Радиотехника», I-39 01 02 «Радиоэлектронные системы» и курсу «Автоматика информационных систем» для студентов специальности I-39 01 03 «Радиоинформатика» всех форм обучения

Минск 2005

УДК 681.5 (075.8)
ББК 32.965 я 73
И 88

Составитель:
С.А. Ганкевич

И 88 : **Исследование** нелинейной модели следящей системы: Метод. указ.
к лаб. работе по курсу «Радиоавтоматика» для студ. спец. I-39 01 01
«Радиотехника», I-39 01 02 «Радиоэлектронные системы» и курсу
«Автоматика информационных систем» для студ. спец. I-39 01 03 «Радио-
информатика» всех форм обуч. /Сост. С.А. Ганкевич. – Мн.: БГУИР,
2005. – 24 с.: ил.

В методических указаниях рассмотрены основы теории исследования нелинейных следящих систем методом фазовой плоскости. Приведены примеры использования метода для анализа переходных процессов в нелинейных системах. Даны указания по выполнению лабораторной работы. Приведены вопросы для самопроверки.

УДК 681.5(075.8)
ББК 32.965 я 73

© Ганкевич С.А., составление, 2005
© БГУИР, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы
 2. Краткие теоретические сведения
 3. Описание исследуемых моделей
 4. Порядок выполнения работы
 5. Содержание отчета
 6. Контрольные вопросы
- Литература

Библиотека БГУИР

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучить основы теории метода фазовой плоскости.

1.2. Исследовать процессы в следящих системах с различными видами нелинейностей при действии на входе детерминированных воздействий.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Нелинейной называют систему, описываемую нелинейным дифференциальным уравнением. Обычно система является нелинейной, если в ней имеется одно или несколько звеньев, описываемых нелинейным дифференциальным уравнением или имеющих нелинейную статическую характеристику.

На рис. 1 изображена модель следящей системы с нелинейным чувствительным элементом (дискриминатором). Здесь $\lambda(t)$ – задающее воздействие; $y(t)$ – управляемая величина; $x(t)$ – ошибка сопровождения; $F(x)$ – нелинейная зависимость, в соответствии с которой дискриминатор вырабатывает сигнал управления; $W(p)$ – передаточная функция линейной части системы; $\xi(t)$ – флюктуационная составляющая.

Типичная статическая характеристика дискриминатора изображена на рис. 2. Сигнал на выходе дискриминатора отличен от нуля только в пределах апертуры характеристики, т.е. при выполнении условия $|x| < x_0$. Если это условие выполняется, то процессы в системе будут сходящимися и следящая система осуществляет сопровождение по заданной величине $\lambda(t)$. При невыполнении этого условия ошибка выходит за пределы апертуры характеристики дискриминатора и пропадает сигнал управления. При этом изменяются динамические свойства системы, возможен срыв слежения, возникновение автоколебаний.

Виды нелинейностей. Нелинейным считают такое звено, которое не поддается линеаризации. При этом отказ от учета его нелинейных свойств существенно искажает результаты последующего анализа и делает их неприемлемыми.

Статические нелинейности присущи звеньям, характеристики которых $x_2 = F(x_1)$, где x_1 и x_2 – входная и выходная величины, имеют существенно нелинейную форму. В табл. 1 приведены характеристики и математические модели основных нелинейных элементов. Характеристика (1) соответствует ограниченно линейному звену с насыщением. Такие характеристики имеют, как правило, все усилители. Нелинейность типа насыщения может играть существенную роль при отработке начального рассогласования.

Характеристика (2) соответствует линейному звену с зоной нечувствительности. Появление зоны нечувствительности приводит к тому, что при малых измеряемых ошибках выходной сигнал просто отсутствует. Поэтому установившаяся ошибка может быть любой в пределах зоны $x \leq \Delta$, а отработка при этом происходит не будет.

Криволинейные статические характеристики типа (3) свойственны многим радиотехническим функциональным элементам и встречаются в различного рода дискриминаторах: характеристика (3) соответствует временно-му дискриминатору.

В системах радиоавтоматики часто используют звенья с характеристиками релейного (порогового) типа (4). Их функциональное назначение – изменять скачком выходную величину в момент, когда входная величина переходит некоторый уровень – порог.

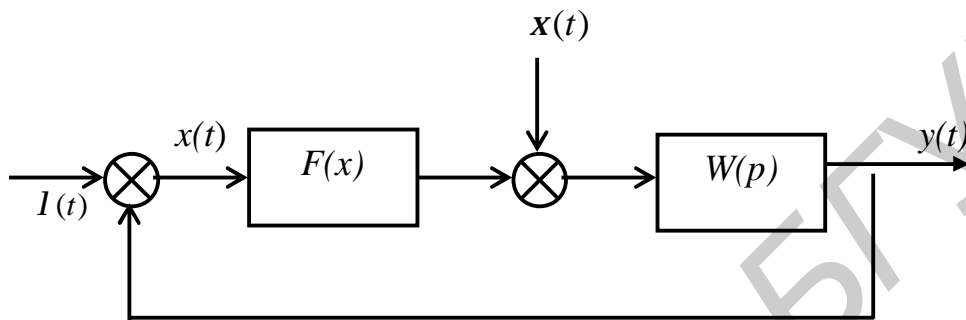


Рис.1. Модель нелинейной следящей системы

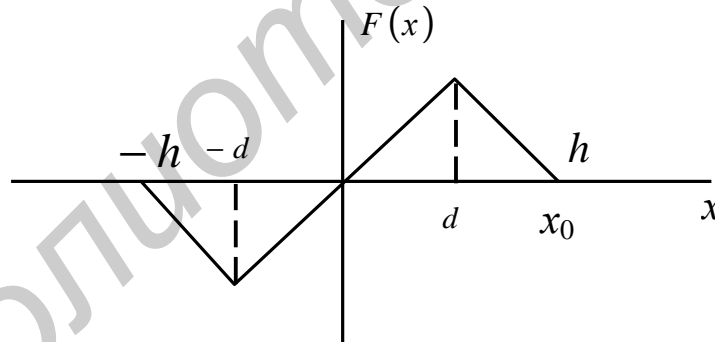
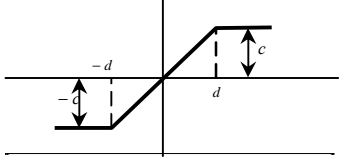
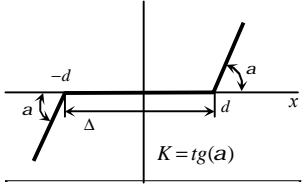
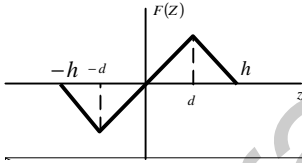
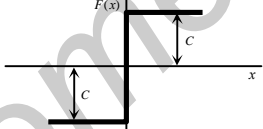


Рис.2. Характеристика дискриминатора

Математические модели нелинейных звеньев

Нелинейная характеристика	Математическая модель
1. Элемент с насыщением 	$F(x) = \begin{cases} -c, & x < -d, \\ \frac{c}{d}x, & x \leq d, \\ c, & x > d. \end{cases}$
2. Элемент с зоной нечувствительности 	$F(x) = \begin{cases} K(x+d), & x < -d, \\ 0, & x \leq d, \\ K(x-d), & x > d. \end{cases}$
3. Временной дискриминатор 	$F(x) = \begin{cases} 0, & x < -h, \\ -\frac{h}{(h-d)}, & h \leq x \leq -d, \\ 0, & x > h, \\ \frac{h}{d}, & x \leq d. \end{cases}$
4. Релейный элемент 	$F(x) = \begin{cases} c, & x > 0, \\ -c, & x < 0. \end{cases}$

Методы исследования нелинейных систем. Анализ нелинейных следящих систем даже при действии только детерминированных возмущений является сложной задачей. Для ее решения разработано большое число методов (прямой метод Ляпунова, кусочно-линейной аппроксимации, статистической и гармонической линеаризации, марковских случайных процессов и т.п.) .

В лабораторной работе анализ нелинейных систем ведется с помощью метода фазовой плоскости. Он применим для нелинейных систем, описываемых дифференциальными уравнениями первого и второго порядка, и состоит в построении на плоскости с координатами исследуемой величины $y(t)$ и ее производной фазовых траекторий системы. Метод позволяет проанализировать поведение системы при любых начальных условиях, выявить возможность возникновения в ней периодических колебаний, оценить устойчивость состояний равновесия.

В качестве примера рассмотрим затухающий колебательный процесс, показанный на рис. 3.

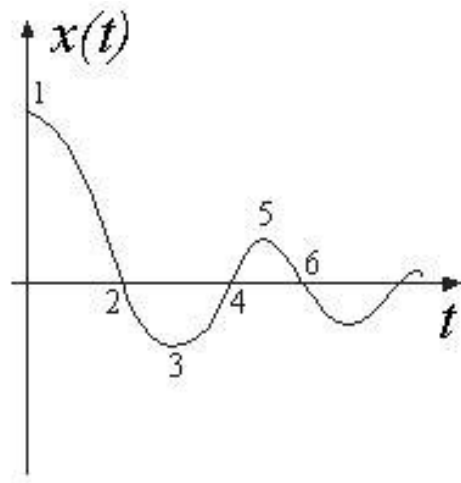


Рис.3. Затухающий колебательный процесс

Цифрами отметим характерные точки кривой и сопоставим их с фазовой траекторией. В точке 1 $x_1(0) = 0, x_2(0) = 0$, поэтому фазовая траектория начинается на положительной полуоси абсцисс (рис.4). В точке 2 $x_1 = 0, x_2 < 0$, поэтому эта точка расположена на отрицательной полуоси абсцисс. В точке 3 $x_1 < 0, x_2(0) = 0$, и на фазовой плоскости она расположена на отрицательной части горизонтальной оси и т.д. В результате для затухающего колебательно-го процесса фазовая траектория имеет вид сходящейся спирали.

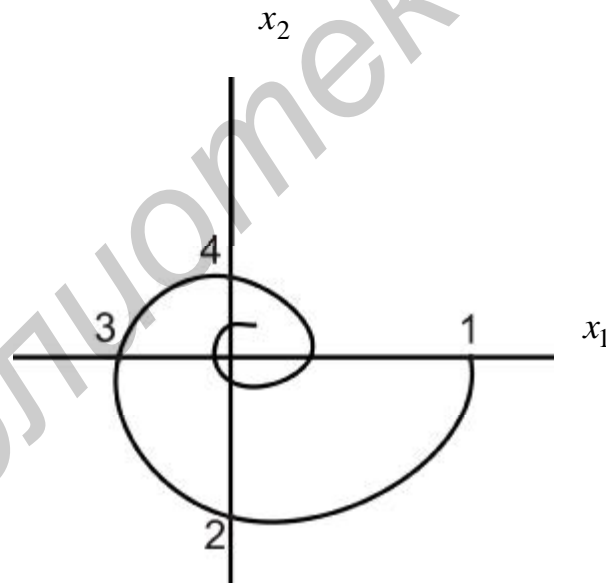


Рис.4. Фазовая траектория затухающего колебательного процесса

Для затухающего монотонного процесса (рис.5, а) фазовая траектория приведена на рис.5, б.

Если в системе возникают периодические колебания, на фазовой плоскости они отображаются в виде замкнутой кривой, называемой предельным циклом. Предельный цикл является устойчивым, если при некоторых откло-

нениях от него фазовая траектория вновь стремится к предельному циклу. При расхождении фазовых траекторий предельный цикл называется неустойчивым.

Построение фазовых траекторий позволяет судить о свойствах нелинейных систем по переходному процессу.

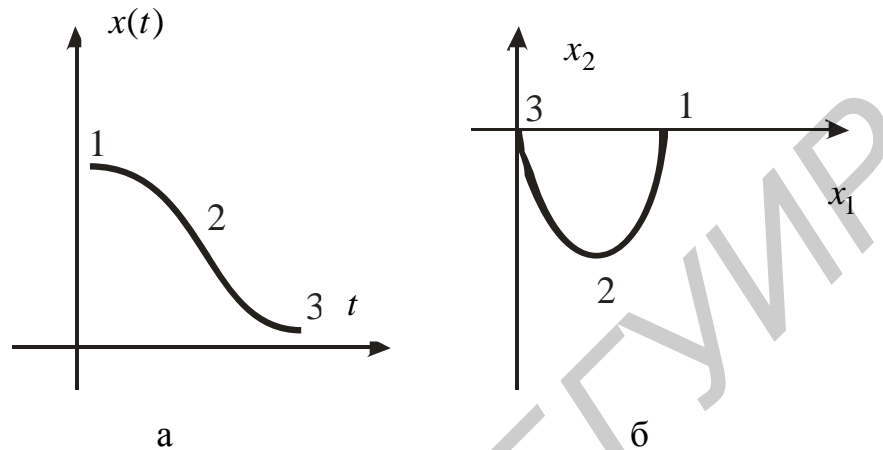


Рис.5. Аперодический процесс и его фазовая траектория

Виды фазовых портретов. Предположим, что поведение следящей системы описывается нелинейным дифференциальным уравнением второго порядка

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = j \left(x, \frac{dx}{dt} \right). \quad (1)$$

Обозначим

$$\begin{aligned} x &= x_1; \\ \frac{dx_1}{dt} &= x_2; \\ \frac{dx_2}{dt} &= j(x_1, x_2). \end{aligned} \quad (2)$$

Состояние системы, описываемой уравнениями (2), определяется в каждый момент времени величинами x_1 и x_2 , т.е. величиной координаты $x = x_1$ и скоростью ее изменения. Это состояние системы можно отобразить точкой на плоскости с координатами (x_1, x_2) , называемой фазовой плоскостью. При изменении состояния системы изображающая точка перемещается на фазовой плоскости по кривым, которые называют фазовыми траекториями. Совокупность фазовых траекторий для различных начальных условий называют фазовым портретом.

Чтобы получить уравнение фазовых траекторий, исключим из (2) время, поделив для этого второе из них на первое:

$$\frac{dx_2}{dx_1} = j(x_1, x_2) / x_2. \quad (3)$$

Его решение $-x_2 = f(x_1)$. Каждой комбинации начальных условий $x_{1н}, x_{2н}$ соответствует свое решение уравнения (3) и своя фазовая траектория. Построение фазового портрета системы обычно начинают с определения его характера вблизи точек равновесия системы, в которых производные $\dot{x}_1 = \dot{x}_2 = 0$. Координаты точек равновесия x_{10}, x_{20} определяются, как следует из (2), равенствами $x_{20} = 0, j(x_{10}, 0) = 0$. Точки равновесия при построении фазового портрета системы называют особыми.

Поведение фазовых траекторий вблизи особых точек зависит от характера корней $s_{1,2}$ соответствующего характеристического уравнения

$$s^2 + 2hs + w_0^2 = 0,$$

где $2h = -(dj / dx_2) |_{\substack{x_1 = x_{10} \\ x_2 = x_{20}}}$,

$$v_0^2 = -(dj / dx_1) |_{\substack{x_1 = x_{10} \\ x_2 = x_{20}}};$$

$(x_1 - x_{10}) = \Delta x$ – отклонение от состояния равновесия.

Если $h > 0$ и $v_0^2 > h^2$, то процесс $\Delta x(t)$ является затухающим гармоническим колебанием:

$$\Delta x(t) = A e^{-ht} \sin(\omega t + y_n), \quad (4)$$

где A и y_n – амплитуда и начальная фаза колебания;

v – его частота, равная

$$\sqrt{w_0^2 - h^2}.$$

Продифференцировав выражение (4) для $\Delta x(t)$ по времени, получим

$$\dot{x}_2(t) = A e^{-ht} [\omega \cos(\omega t + y_n) - h \sin(\omega t + y_n)]. \quad (5)$$

Фазовая траектория, построенная по приведённым выражениям для процессов $\Delta x(t)$ и $\dot{x}_2(t)$, имеет вид скручивающейся спирали (рис. 6), получившей название устойчивый фокус.

При $h > 0$ и $w^2 > h^2$ процесс $\Delta x(t)$ является гармоническим колебанием с нарастающей амплитудой. Особая точка соответствует при этом неустойчивому состоянию равновесия и называется неустойчивым фокусом (рис. 7).

При выполнении условия $0 < w_0^2 < h^2$ корни $s_{1,2}$ действительные и имеют одинаковый знак. Если они отрицательны, то особая точка является устойчивым узлом (рис. 8). Положительным корням $s_{1,2}$ соответствует особая

точка типа неустойчивого узла (рис. 9). При $w_0^2 < 0$ корни $s_{1,2}$ действительные и имеют разные знаки. Особая точка называется седлом (рис. 10).

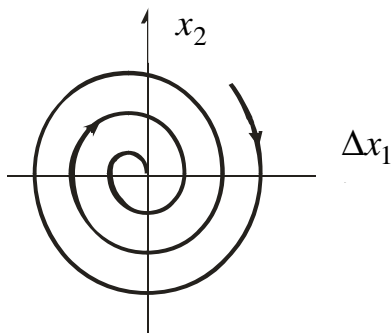


Рис.6. Устойчивый фокус

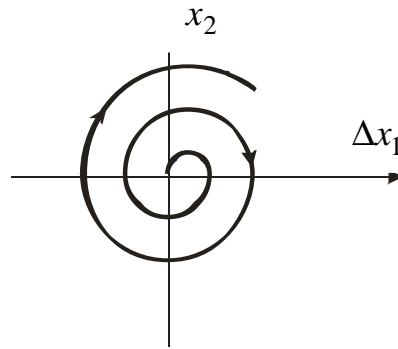


Рис.7. Неустойчивый фокус

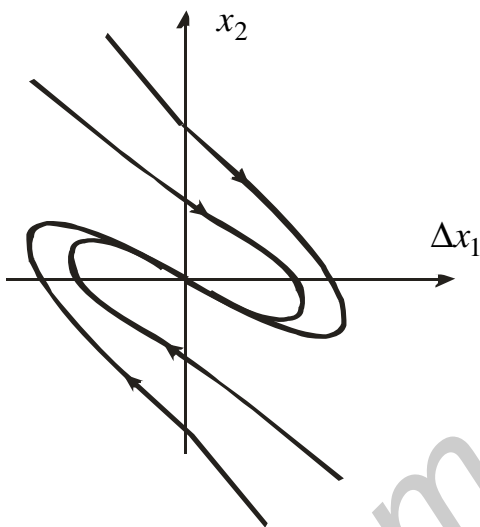


Рис.8. Устойчивый узел

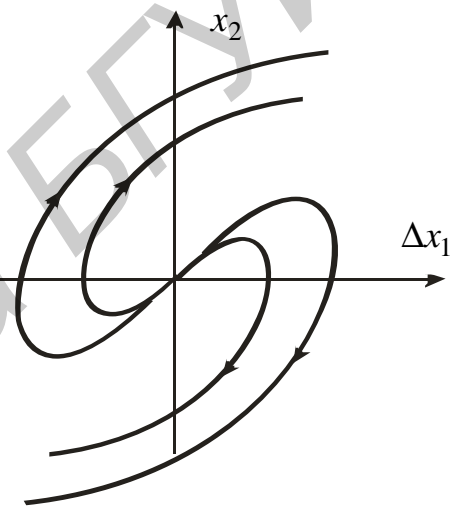


Рис.9. Неустойчивый узел

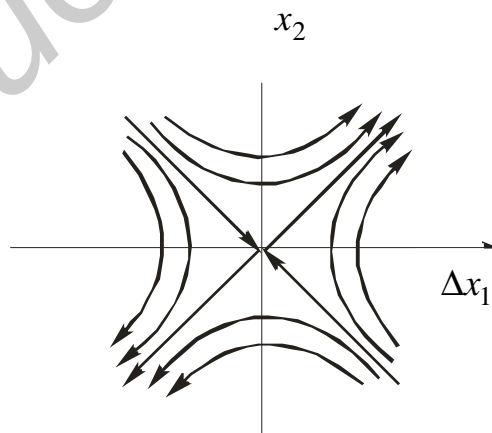


Рис.10. Особая точка типа седла

Примеры качественного анализа

Пример1. Определим условия вхождения в синхронизм системы, представленной структурной схемой (рис.11), если задающее воздействие изменяется по линейному закону $I(t) = at$ и в момент включения системы при $t = 0$ начальная ошибка имеет конечное значение $x(0) = x_0$.

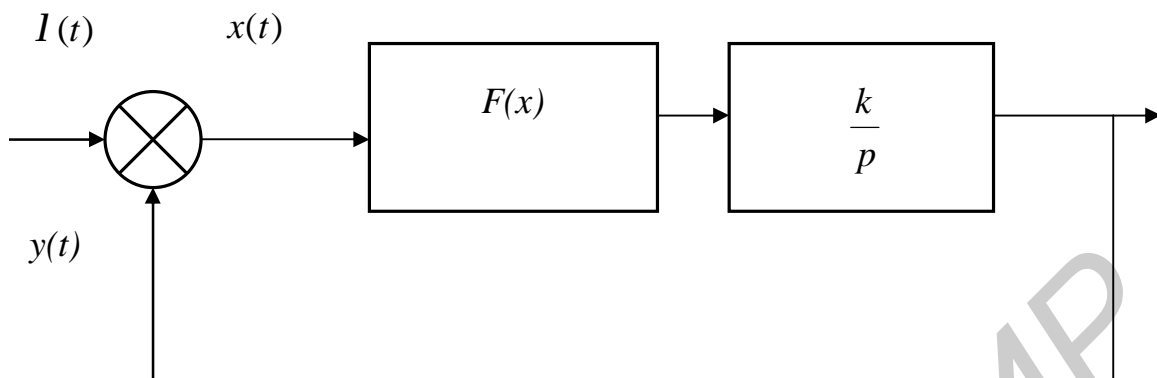


Рис.11. Модель нелинейной системы

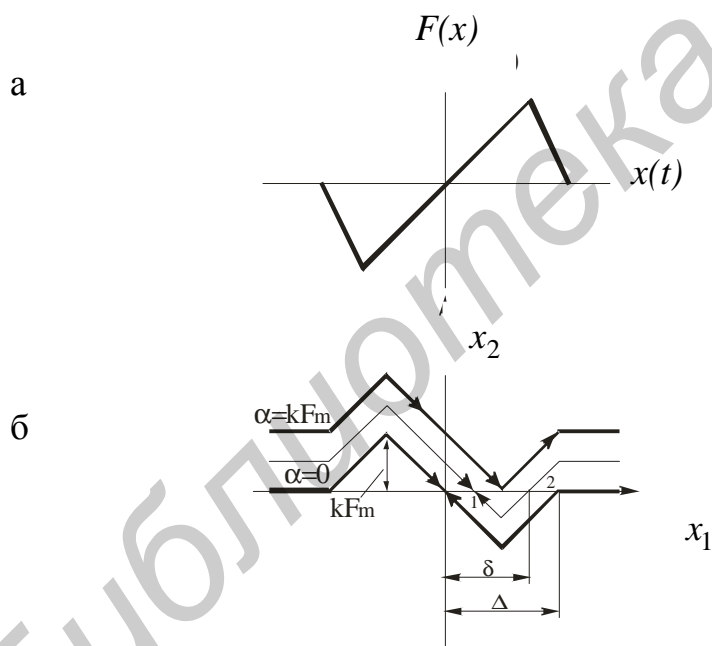


Рис.12. Дискриминационная характеристика (а) и фазовый портрет (б)

Решение: Обозначим ошибку слежения:

$$x(t) = x_1 = I(t) - y(t).$$

Тогда производная этой функции:

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{dI}{dt} - \frac{dy}{dt} = a - \frac{dy}{dt}.$$

Так как в качестве фильтра системы используется интегрирующее звено, то

$$y(t) = k F(x_1)/p.$$

В результате уравнение ошибки примет вид

$$\frac{dx_1}{dt} = a - k F(x_1).$$

Обозначим

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2$$

и, пользуясь уравнением

$$x_2 = a - k F(x_1),$$

построим фазовый портрет системы в координатах (x_1, x_2) для различных значений скорости изменения задающего воздействия a .

При различных значениях a кривая $x_2 = f(x_1)$ перемещается параллельно самой себе. На рис.12 изображено семейство кривых для положительной скорости a . Обозначим максимальное значение функции $F(x) = F_m$. Направление движения изображающей точки обозначим в соответствии с правилом: в верхней полуплоскости – слева направо; в нижней – справа налево. Проанализируем фазовый портрет.

При $a=0$ ошибка слежения $x_1 \rightarrow 0$ при начальных значениях $|x_1(0)| < d$, что следует из направления движений на фазовой траектории. Если $0 < a \leq k F_m$, то x_1 стремится к устойчивой точке 1, если начальное рассогласование $x_1(0)$ меньше величины d , соответствующей точке 2. Когда $x_1(0) > d$, захвата не происходит, так как x_1 неограниченно растет. Если скорость $a > k F_m$, то захвата не будет ни при каких начальных условиях, поскольку нет устойчивых точек на фазовой траектории. Таким образом, условия захвата сигнала, изменяющегося с постоянной скоростью a , состоят в выполнении неравенства $k F_m > a$. При этом область захвата $x(0) < d$. Величина d находится из уравнения $a - k F(d) = 0$. Первый корень этого уравнения соответствует точке 1 устойчивого равновесия, а второй корень, соответствующий точке 2, является искомой величиной d .

Пример 2. Для системы, структурная схема которой изображена на рис. 13, построить фазовый портрет.

Исходные данные: $T_1^2 = 0,5 \text{ с}^2$, $T_2 = 1 \text{ с}$, $k = 1$, $c = 2$.

Решение. Согласно структурной схеме уравнения замкнутой нелинейной системы могут быть записаны в следующем виде:

$$\begin{aligned} (T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)y &= -kc \quad \text{при } y > 0, \\ (T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)y &= kc \quad \text{при } y < 0. \end{aligned}$$

Введем обозначения $y = x_1$, $\frac{dy}{dt} = \frac{dx_1}{dt} = x_2$ и подставим численные значения параметров. Получим

$$\frac{dx_2}{dt} = -2x_2 - 2x_1 - 4 \text{ при } x_1 > 0,$$

$$\frac{dx_2}{dt} = -2x_2 - 2x_1 + 4 \text{ при } x_1 < 0.$$

Для исключения времени поделим полученные уравнения на

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2 .$$

В результате получим

$$\frac{dx_2}{dx_1} = -\frac{2x_2 + 2x_1 + 4}{x_2} \text{ при } x_1 > 0,$$

$$\frac{dx_2}{dx_1} = -\frac{2x_2 + 2x_1 - 4}{x_2} \text{ при } x_1 < 0.$$

Положим в первом уравнении $\frac{dx_2}{dx_1} = m$, а во втором $-\frac{dx_2}{dx_1} = n$ и най-

дем уравнения изоклин:

$$x_2 = -\frac{2x_1 + 4}{m + 2} \text{ при } x_1 > 0,$$

$$x_2 = -\frac{2x_1 + 4}{n + 2} \text{ при } x_1 < 0.$$

По уравнениям для различных значений m и n строим поле изоклин (рис.14). Наклон фазовой траектории к оси абсцисс для каждой изоклины на рис. 14 показан отрезками прямых, проведенных соответственно под углами $\arctg m$ и $\arctg n$. Эти отрезки являются касательными к фазовой траектории.

Как видно из рис.14, при любых начальных условиях изображающая точка стремится к началу координат. Следовательно, исследуемая система устойчива.

$$W(P) = \frac{K}{(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)} .$$

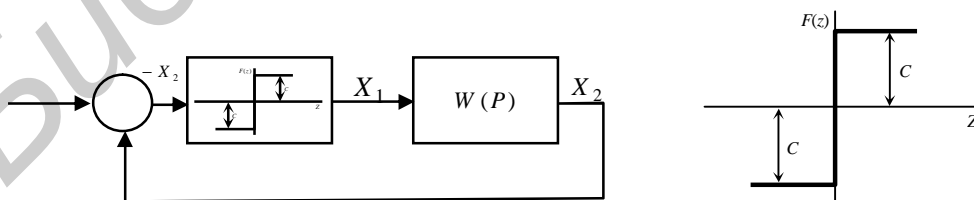


Рис.13. Структурная схема системы и характеристика нелинейного звена

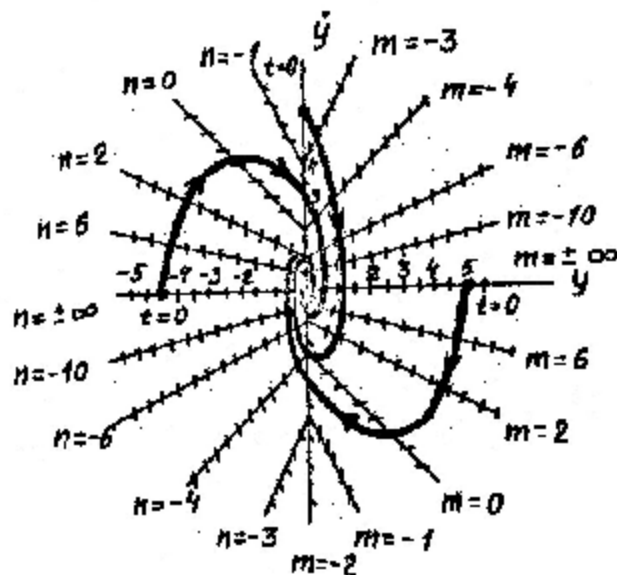


Рис. 14. Поле изоклин и фазовый портрет системы

Прямой метод анализа переходных процессов. В этом методе оценка вырабатывается по реакции системы на типовые детерминированные воздействия: $1(t)$ – единичную функцию (единичный скачок); $t1(t)$ – линейно меняющийся сигнал (скачок скорости). При нулевых начальных условиях отклик системы на единичный скачок называется ее переходной характеристикой и обозначается как $h(t)$. Единичный скачок описывает часто встречающееся и наиболее тяжёлое для отработки воздействие. Переходные процессы подразделяют на следующие основные типы (рис.15):

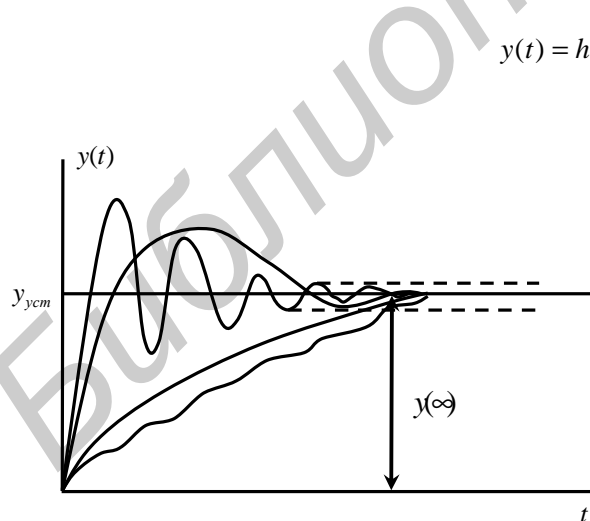


Рис. 15. Типы переходных процессов

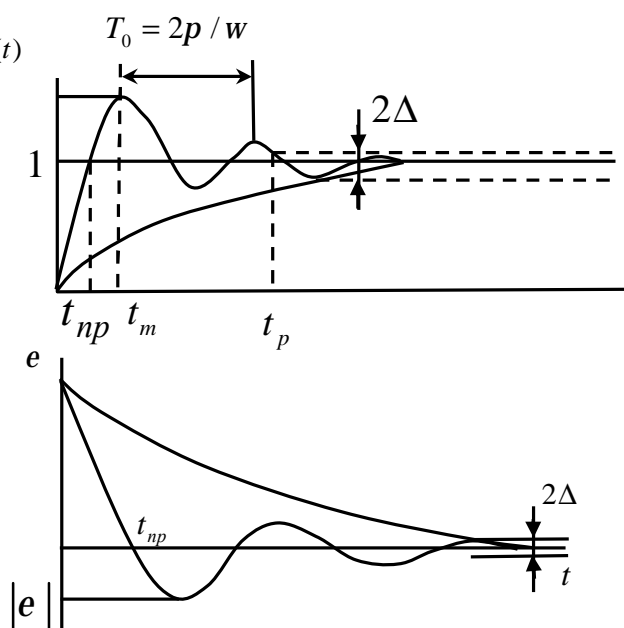


Рис. 16. Переходной процесс для выходного сигнала и сигнала ошибки

- колебательные (кривая 1), характеризующиеся наличием двух и более перерегулирований;

- малоколебательные (кривая 2) с одним перерегулированием;
- без перерегулирования (кривая 3);
- монотонные (кривая 4).

Прямые оценки качества переходного процесса определяют по кривой переходного процесса $y(t) = h(t)$. Эта кривая может быть построена для выходной координаты или для ошибки слежения (рис. 16).

Основными оценками являются:

1. Время регулирования t_p – минимальное время, по истечении которого переходная характеристика будет оставаться близкой к установившемуся значению с требуемой точностью.

2. Перерегулирование H_m – максимальное отклонение переходной характеристики от установившегося значения:

$$H_m = \frac{e_{\max}(t)}{h_{уст}} \cdot 100 \%$$

3. Время достижения первого максимума t_m .

4. Частота колебаний $w = 2\pi T_0$,

где T_0 – период колебаний для колебательных процессов.

5. Время нарастания переходного процесса, t_{nr} – абсцисса первой точки пересечения кривой $h(t)$ с уровнем установившегося значения.

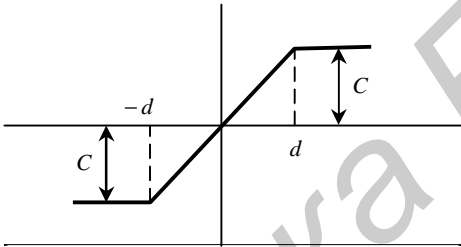
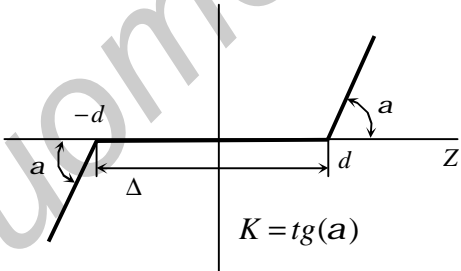
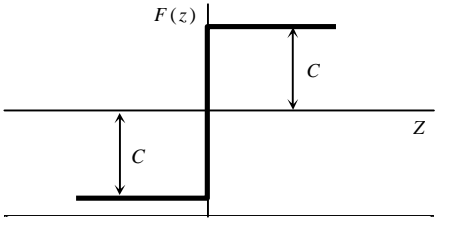
3. ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМЫХ МОДЕЛЕЙ

В лабораторной работе исследуются модели следящих систем (систем фазовой синхронизации), формируемые в системе MATLAB, с типовыми нелинейными характеристиками дискриминаторов $F(x)$ и различными типами фильтров.

В качестве моделей дискриминаторов используются дискриминаторы с характеристиками релейного типа, с зоной нечувствительности и с насыщением (табл. 2).

Таблица 2

Виды используемых нелинейностей

Нелинейная характеристика	Математическая модель
<p>Элемент с насыщением</p> 	$F(x) = \begin{cases} -c, & x < -d; \\ \frac{c}{d} x, & x \leq d; \\ c, & x > d. \end{cases}$
<p>Элемент с зоной нечувствительности</p> 	$F(x) = \begin{cases} K(x+d), & x < -d; \\ 0, & x \leq d; \\ K(x-d), & x > d. \end{cases}$
<p>Релейный элемент</p> 	$F(x) = \begin{cases} c, & x > 0; \\ -c, & x < 0. \end{cases}$

В качестве фильтров используются следующие динамические звенья (табл. 3):

Типы фильтров

Тип фильтра	Передаточная функция
Инерционное звено	$W(p) = \frac{K}{(1+Tp)}$
Колебательное звено	$W(p) = \frac{K}{(T^2 p^2 + 2\alpha Tp + 1)}$
Пропорционально-интегрирующее звено	$W(p) = \frac{K(1+T_1 p)}{(1+T_2 p)}$

Параметры характеристик $F(x)$, коэффициенты усиления и постоянные времени фильтров задаются с клавиатуры. Для этого необходимо привести курсор и два раза щелкнуть левой клавишей мыши по изображению соответствующего динамического звена на модели следящей системы, после чего на экране появится диалоговое окно, позволяющее ввести желаемые параметры.

В компьютерной модели имеется генератор импульсов, который формирует напряжение прямоугольной формы. Амплитуда, длительность и частота следования импульсов на выходе генератора регулируются с клавиатуры. Для открытия диалогового окна также необходимо привести курсор и два раза щелкнуть левой клавишей мыши по изображению генератора.

Для запуска программы моделирования необходимо:

- загрузить систему MATLAB;
- в окне команд CURRENT DIRECTORY выбрать соответствующий адрес расположения командных файлов: D:\RA\HCC;
- если адрес отсутствует, то, нажав кнопку обзора «Browse for folder», выбрать директорию, в которую были помещены файлы программы;
- открыть папку с файлами исследуемых систем, выбрать и открыть соответствующий файл, после чего исследуемая система должна отобразиться графически;
- задать параметры звеньев и испытательного сигнала;
- на инструментальной панели нажать клавишу «Start» или из меню
- «Simulation» выбрать команду «Start».

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Загрузить систему MATLAB.

4.2. Исследовать следящую систему с нелинейным элементом с зоной нечувствительности:

- загрузить модель системы с инерционным звеном;
- задать параметры звеньев системы в соответствии с табл. 4;
- снять осциллограммы $I(t), x(t), F(x), y, \dot{y}$ в контрольных точках схемы и исследовать зависимость параметров переходного и установившегося режимов от коэффициента усиления K , постоянной времени фильтра T и ширины зоны нечувствительности;
- получить и просмотреть на экране фазовый портрет системы, для чего развернуть окно модуля (XY-Graph);
- зарисовать характерные траектории в окрестностях особых точек на фазовой плоскости и зафиксировать характерные изменения фазовых траекторий при изменении параметров звеньев;

Таблица 4

Параметры системы с инерционным звеном

Коэффициент усиления, K	Постоянная времени звена, T, c	Ширина зоны нечувствительности
2; 10; 20	0,06	0,5
20	0,006; 0,06; 0,6	0,5
20	0,06	0,1; 0,5; 1,0

- загрузить модель системы с пропорционально–интегрирующим звеном;
- задать параметры звеньев системы в соответствии с табл. 5;
- снять осциллограммы $I(t), x(t), F(x), y, \dot{y}$ в контрольных точках схемы и исследовать зависимость параметров переходного и установившегося режимов от коэффициента усиления K , постоянных времени фильтра T_1, T_2 и ширины зоны нечувствительности;
- получить и просмотреть на экране фазовый портрет системы, для чего развернуть окно модуля (XY-Graph);
- зарисовать характерные траектории в окрестностях особых точек на фазовой плоскости и зафиксировать характерные изменения фазовых траекторий при изменении параметров звеньев;

Таблица 5

Параметры системы с пропорционально-интегрирующим звеном

Коэффиц. усиления, K	Пост. времени звена, T, c		Ширина зоны нечувствит.
	T_1	T_2	
2; 10; 20	0,01	0,05	0,5
20	0,01; 0,05; 0,1	0,05	0,5
20	0,01	0,005; 0,05; 0,5	0,5
20	0,01	0,05	0,1; 0,5; 1,0

- загрузить модель системы с колебательным звеном;
- задать параметры звеньев системы в соответствии с табл. 6;
- снять осциллограммы $I(t), x(t), F(x), y, \delta$ в контрольных точках схемы и исследовать зависимость параметров переходного и установившегося режимов от коэффициента усиления K , постоянной времени фильтра T , коэффициента затухания x и ширины зоны нечувствительности;
- получить и просмотреть на экране фазовый портрет системы, для чего развернуть окно модуля (XY-Graph);
- зарисовать характерные траектории в окрестностях особых точек на фазовой плоскости и зафиксировать характерные изменения фазовых траекторий при изменении параметров звеньев.

Таблица 6

Параметры системы с колебательным звеном

Коэффиц. усиления, K	Пост. времени звена, T, c	Коэффициент затухания x	Ширина зоны нечувствительности
2; 5; 10; 13	0,1	0,5	0,5
5	0,5; 0,7	0,5	0,5
10	0,1	1; 2; 5	0,5
5	0,1	0,5	0,1; 1,0

4.3. Исследовать следящую систему с нелинейным элементом с насыщением:

- загрузить модель системы с инерционным звеном;
- задать параметры звеньев системы в соответствии с табл. 7;
- снять осциллограммы $I(t), x(t), F(x), y, \delta$ в контрольных точках схемы и исследовать зависимость параметров переходного и установившегося режимов от коэффициента усиления K , постоянной времени фильтра T и уровня насыщения нелинейного звена;
- получить и просмотреть на экране фазовый портрет системы, для чего развернуть окно модуля (XY-Graph);

- зарисовать характерные траектории в окрестностях особых точек на фазовой плоскости и зафиксировать характерные изменения фазовых траекторий при изменении параметров звеньев;

Таблица 7

Параметры системы с инерционным звеном

Коэффициент усиления, K	Пост. времени звена, T, c	Уровни насыщения
5; 10; 50	0,1	0,5
10	0,1; 0,5; 1,0	0,5
10	0,1	0,1; 0,5; 1,0

- загрузить модель системы с пропорционально-интегрирующим звеном;
- задать параметры звеньев системы в соответствии с табл. 8;
- снять осциллограммы $I(t), x(t), F(x), y, \delta$ в контрольных точках схемы и исследовать зависимость параметров переходного и установившегося режимов от коэффициента усиления K , постоянных времени фильтра T_1, T_2 и уровней насыщения нелинейного звена;
- получить и просмотреть на экране фазовый портрет системы, для чего развернуть окно модуля (XY-Graph);
- зарисовать характерные траектории в окрестностях особых точек на фазовой плоскости и зафиксировать характерные изменения фазовых траекторий при изменении параметров звеньев;

Таблица 8

Параметры системы с пропорционально-интегрирующим звеном

Коэффиц. усиления K	Пост. времени звена T, c		Уровни насыщения
	T_1	T_2	
5; 10; 50	0,01	0,05	0,5
20	0,01; 0,05; 0,1	0,05	0,5
20	0,01	0,005; 0,1; 1,0	0,5
20	0,01	0,05	0,1; 0,5; 1,0

- загрузить модель системы с колебательным звеном ;
- задать параметры звеньев системы в соответствии с табл. 9;
- снять осциллограммы $I(t), x(t), F(x), y, \delta$ в контрольных точках схемы и исследовать зависимость параметров переходного и установившегося режимов от коэффициента усиления K , постоянной времени фильтра T и уровней насыщения нелинейного звена;

- получить и просмотреть на экране фазовый портрет системы, для чего развернуть окно модуля (XY-Graph);

- зарисовать характерные траектории в окрестностях особых точек на фазовой плоскости и зафиксировать характерные изменения фазовых траекторий при изменении параметров звеньев.

Таблица 9

Параметры системы с колебательным звеном

Коэффиц. усиления, K	Пост. времени звена, T, c	Коэффиц. затухания x	Уровни насыщения
2; 5; 10; 20	0,1	0,5	0,5
10	0,5; 0,7; 1,0	0,5	0,5
10	0,1	1; 2; 5; 10	0,5
10	0,1	0,5	0,1; 0,5; 1,0

4.4. Исследовать следящую систему с нелинейным элементом релейного типа:

- загрузить модель системы с колебательным звеном ;
- задать параметры звеньев системы в соответствии с табл. 10;
- снять осциллограммы $I(t), x(t), F(x), y, \dot{y}$ в контрольных точках

схемы и исследовать зависимость параметров переходного и установившегося режимов от коэффициента усиления K , постоянной времени фильтра T и уровней насыщения нелинейного звена;

- получить и просмотреть на экране фазовый портрет системы, для чего развернуть окно модуля (XY-Graph);

- зарисовать характерные траектории в окрестностях особых точек на фазовой плоскости и зафиксировать характерные изменения фазовых траекторий при изменении параметров звеньев;

Таблица 10

Параметры системы с колебательным звеном

Коэффиц. усиления, K	Пост. времени звена, T, c	Коэффициент затухания x	Уровни насыщения
2; 5; 10; 20	0,1	0,5	0,5
10	0,5; 0,7; 1,0	0,5	0,5
10	0,1	1; 2; 5; 10	0,5
10	0,1	0,5	0,1; 0,5; 1,0

- установить передаточную функцию звена:

$$W(p) = \frac{20}{0,001s^2 + s + 1};$$

- изменяя частоту генератора прямоугольных импульсов, добиться режима устойчивых биений в системе и исследовать явление скачкообразного резонанса, определив частоты скачкообразного резонанса и измерив период колебаний T_0 .

4.5. Проанализировать полученные результаты в зависимости от характеристики нелинейного звена и параметров линейной части:

- характер переходных процессов;
- количественные оценки качества переходных процессов;
- типы особых точек на фазовой плоскости;
- ошибки слежения в установившемся режиме.

4.6. Сделать выводы.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1. Цель работы.

5.2. Модели исследуемых систем.

5.3. Временные диаграммы.

5.4. Экспериментальные зависимости.

5.5. Выводы и замечания по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чём состоит метод фазовой плоскости?
2. Какими показателями оцениваются характеристики нелинейных следящих систем?
3. Что представляет собой структурная схема следящей системы?
4. Какой элемент называют нелинейным и в чём заключается его влияние на работу следящей системы?
5. Как оценить устойчивость работы системы по фазовому портрету?
6. Какими прямыми показателями качества оцениваются переходные процессы?

ЛИТЕРАТУРА

1. Первачёв С.В. Радиоавтоматика: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1982.
2. Первознанский А.А. Курс теории автоматического управления: Учеб. пособие – М.: Наука, 1986.
3. Исследование динамики нелинейных следящих систем: Метод. указ. к лаб. работе по курсу «Радиоавтоматика» для студ. спец. 39 01 01 «Радиотехника»/Сост. С.Б.Саломатин, В.А.Чердынцев. – Мн.: БГУИР, 1988 – 22с.: ил.
4. Радиоавтоматика: Учеб. пособие / В.А. Бесекерский, А.А. Елисеев, А.В. Небылов и др.; Под ред. В.А. Бесекерского. – М.: Высш. шк., 1958.
5. Яшугин Е.А. Теория нелинейных непрерывных систем автоматического управления в вопросах и ответах: Справ. пособие. – Мн.: Выш.шк., 1986.
6. Дьяконов В.П. Справочник по применению системы РС MATLAB. – М.: Физматлит, 1993.
7. Дьяконов В.П. MATLAB. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2000.
8. Потёмкин В.Г. Система инженерных и научных расчетов MATLAB 5.x. Т. 1 и 2. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 1999.

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ
СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ**

Методические указания
к лабораторной работе по курсу «Радиоавтоматика» для студентов
специальностей I-39 01 01 «Радиотехника», I-39 01 02 «Радиоэлектронные
системы» и курсу «Автоматика информационных систем» для студентов
специальности I-39 01 03 «Радиоинформатика»

Составитель
Ганкевич Сергей Антонович

Редактор Н.В. Гриневич
Корректор Е.Н. Батурчик

Подписано в печать 01.06.2005.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,3.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 200 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,51.
Заказ 227.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0131518 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6