

Лабораторная работа № 1

Решение алгебраических и дифференциальных уравнений средствами MathCAD

1. Цель работы. Изучить способы применения solve-блока системы MathCAD для решения как алгебраических уравнений, так и обыкновенных дифференциальных уравнений, а также оптимизационных задач.

2. Краткие теоретические сведения

2.1. Решение алгебраических уравнений

Для решения различных математических задач (решение систем алгебраических уравнений, дифференциальных уравнений, оптимизационных задач) в MathCAD используется так называемый solve-блок, в котором формулируется решаемая задача.

Начнем рассмотрение использования solve-блоков с простого примера: решим квадратное уравнение $x^2 - 2 = 0$. Соответствующий документ MathCAD приведен на рис. 2.1.

Given

$$x^2 - 2 = 0$$

$$\text{Find}(x) \rightarrow (\sqrt{2} \quad -\sqrt{2})$$

Рис. 2.1. Решение уравнения в среде MathCAD

Solve-блок начинается с ключевого слова Given. В следующей строке записано рассматриваемое уравнение. Следует обратить внимание, что в записи уравнения используется не операция вычисления (=), а логическое равенство (выделяется жирным шрифтом). Для ввода логического равенства используется комбинация клавиш Ctrl-= или соответствующая кнопка (значок) панели «Boolean Toolbar».

Для решения уравнения использована функция Find, которая применяется для решения уравнений и их систем. Аргументами Find являются переменные задачи: Find(x,y,z).

На рис. 2.1 уравнение решено символьно, т.е. решение уравнения точное. Очень небольшое число уравнений имеет символьное решение.

Дополним задачу условием $x \geq 0$, т.е. найдем только положительный корень уравнения.

Соответствующий документ приведен на рис. 2.2.

Given

$$x^2 - 2 = 0 \quad x \geq 0$$

$$\text{Find}(x) \rightarrow \sqrt{2}$$

Рис. 2.2. Решение уравнения с дополнительным условием

Как видно из рис. 2.2 solve-блок был дополнен одним условием.

Для задания неравенств в solve-блоке могут быть использованы операции $>$ (больше), $<$ (меньше), \geq (больше или равно), \leq (меньше или равно). Первые две операции вводятся нажатием соответствующих кнопок на клавиатуре. Для ввода последних двух операций можно использовать комбинации клавиш Ctrl-9 и Ctrl-0 соответственно или кнопки панели «Boolean Toolbar».

Как уже было сказано далеко не каждая задача может быть решена символьно. К такому уравнению относится, например, уравнение $x^5 + x^2 - 2 = 0$. Решение указанного уравнения приведено на рис. 2.3.

$\begin{array}{l} \text{Given} \\ x^5 + x^2 - 2 = 0 \\ \text{Find}(x) \rightarrow \\ \text{a)} \end{array}$	$\begin{array}{l} x := 0 \\ \text{Given} \\ x^5 + x^2 - 2 = 0 \\ \text{Find}(x) = 1 \\ \text{б)} \end{array}$
---	---

Рис. 2.3. Решения уравнения $x^5 + x^2 - 2 = 0$
а) символьное, б) численное

На рис. 2.3 в символьном решении вызов функции Find выделен красным цветом, так как пакет MathCAD не смог найти символьное решение задачи.

В численном решении перед solve-блоком добавилась строка $x:=0$. Она необходима, т.к. численным методам решения задач требуется задание некоторого начального приближения к решению. В ряде задач полученный ответ сильно зависит от выбора начального приближения, например, задавая разные начальные приближения можно найти разные корни алгебраического уравнения.

Решение систем уравнений выполняется аналогично одиночному уравнению. В solve-блок записываются все уравнения системы. Решение системы уравнений

$$\begin{cases} x_1^2 + x_2^2 + 2 = 0, \\ x_1 + x_2 + 1 = 0; \end{cases}$$

показано на рис. 2.4.

$$\begin{array}{l} x1 := 0 \quad x2 := 0 \\ \text{Given} \\ x1^2 + x2^2 - 2 = 0 \quad x1 + x2 + 1 = 0 \\ \text{Find}(x1, x2) = \begin{pmatrix} -1.366 \\ 0.366 \end{pmatrix} \end{array}$$

Рис. 2.4. Пример решения системы уравнений

2.2. Решение оптимизационных задач

Для решения оптимизационных задач в MathCAD предусмотрено 2 функции: Minimize и Maximize для решения задач на минимум и максимум соответственно.

Формат вызова функций: Minimize(f, x1, x2), где f – целевая функция, x1, x2 – перечень ее переменных.

Пример решения оптимизационной задачи

$$\bar{x}^* = \arg \min_{\bar{x} \in R^3} (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - 4x_1 - 8x_2 - 12x_3 + 100)$$

приведен на рис. 2.5.

В случае пустого solve-блока (а указанная выше задача является задачей безусловной оптимизации, т.е. нет никаких дополнительных ограничений) ключевое слово Given можно не указывать, а сразу вызывать функцию Minimize.

$$\begin{aligned} x1 &:= 0 & x2 &:= 0 & x3 &:= 0 \\ f(x1, x2, x3) &:= x1^2 + x2^2 + x3^2 - 4 \cdot x1 - 8 \cdot x2 - 12 \cdot x3 + 100 \\ \text{Given} \\ \text{Minimize}(f, x1, x2, x3) &= \begin{pmatrix} 2 \\ 4 \\ 6 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Рис. 2.5. Пример решения оптимизационной задачи

2.3. Решение дифференциальных уравнений

При исследовании и проектировании систем автоматического управления (САУ) особое место среди прочих математических задач занимает решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Это объясняется тем, что САУ представляют собой сугубо динамические системы, и исследователя (проектировщика) интересуют в них не статические состояния, а протекающие в них процессы, движения, характеризующиеся изменениями каких-то величин с течением времени. Именно обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ) являются наиболее подходящим математическим аппаратом для описания движения САУ. Поэтому всякое исследование САУ всегда явно или неявно связано с решением дифференциальных уравнений.

Рассмотрим решение обыкновенных дифференциальных уравнений с использованием решающего Odesolve-блока, который является аналогом ранее использованного solve-блока. Подчеркнем, что внутри данного решающего блока дифференциальное уравнение записывается в традиционной форме, а не в нормальной форме - форме Коши.

В качестве примера рассмотрим решение ОДУ

$$10^{-6} \ddot{x}(t) + 2 \cdot 10^{-4} \dot{x}(t) + x(t) = \sin(t),$$

которым описывается колебательное звено с параметрами $T = 10^{-3}$, $\xi = 0.1$, $K = 1$ при синусоидальном входном сигнале.

В решающем *Odesolve*-блоке это дифференциальное уравнение записывается в классической математической форме с добавлением начальных условий – см. рис. 2.6.

$$\begin{array}{lll} T := 0.001 & \xi := 0.1 & K := 1 \\ \text{Given} & x(0) = 1 & x'(0) = 0 \end{array}$$

$$T^2 \cdot x''(t) + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot x'(t) + x(t) = K \cdot \sin(t) \qquad x := \text{Odesolve}(t, 4, 100)$$

Рис. 2.6. Пример решения задачи Коши

После такого присвоения переменная x стала именем функции одного действительного аргумента, определённой на отрезке $[0; 4]$, которая является решением содержащейся в решающем блоке задачи Коши. Например, можно вывести значение этой функции в желаемый момент времени:

$$x(0) = 1 \qquad x(0.01) = 0.696$$

Для того чтобы в решающем блоке ввести символ дифференцирования - штрих, надо нажать <Ctrl>+F7.

Аргументами *Odesolve* являются: имя свободной переменной, конечное значение (правая граница) интервала решения и необязательный параметр – количество шагов в решении, который косвенно управляет величиной шага интегрирования.

Заметим, что изображать производную штрихом можно только внутри решающего блока, вне него этот символ не работает. Там надо пользоваться обычным символом дифференцирования с панели «Calculus»:

$$y(t) := \frac{d}{dt} x(t) \qquad y(0) = 0$$

Внутри решающего блока, впрочем, тоже можно использовать обычный символ дифференцирования MathCAD, но только не в начальных условиях:

$$\begin{array}{lll} \text{Given} & x'(0) = 0 & x(0) = 1 \end{array}$$

$$T^2 \cdot \frac{d^2}{dt^2} x(t) + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) + x(t) = K \cdot \sin(t) \qquad y := \text{Odesolve}(t, 4, 1000)$$

Решающий блок лишь формирует обращение к конкретным сольверам (решающим процедурам). При этом выбирать тип сольвера можно лишь в контекстном меню (щелчок правой кнопкой мыши на слово *Odesolve*), причём доступны три варианта: **fixed** (постоянный шаг), **adaptive** (с выбором шага) и **stiff** (для жёстких ОДУ).

Для того чтобы построить графики полученных решений, нет нужды формировать векторы абсцисс и ординат, достаточно поставить имя определённой ранее переменной на ось абсцисс и функцию от этой переменной - на ось ординат:

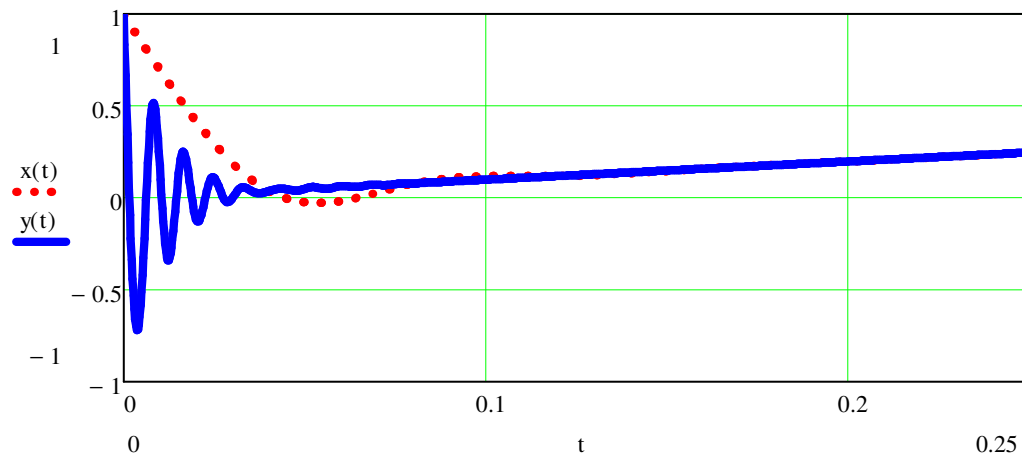


Рис. 2.7. Пример решения задачи Коши

Два графика на последнем рисунке изображают решение одной и той же системы одним и тем же (адаптивным) методом, но с разным количеством шагов. Графики совсем непохожи вначале переходного процесса и практически сливаются после 0.1 секунды. Серьёзные отличия вначале процесса – не ошибка решения, а следствие выбора слишком малого количества точек на процессе (слишком большого шага при выдаче результата): для процесса x вычисляется 100 точек, а остальные при необходимости интерполируются; для процесса y рассчитано 1000 точек. Нетрудно убедиться, что в моменты времени, кратные 0.04 (шаг по времени для x) графики совпадают.

Решающий блок может содержать и систему дифференциальных уравнений не обязательно первого порядка. Должны выполняться только два условия – достаточное количество начальных условий и линейность каждого ОДУ относительно старшей производной. Для того чтобы *Odesolve* возвратила вектор – функцию, первым её аргументом должен быть вектор с именами переменных, которые должны быть вычислены.

Given

$$x(0) = 1 \quad x'(0) = 0 \quad z(0) = 1 \quad z'(t) = x(t)$$

$$T^2 \cdot x''(t) + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot x'(t) + x(t) = \sin(10 \cdot t) \quad \mathbf{y1} := \text{Odesolve} \left[\begin{bmatrix} z \\ x \end{bmatrix}, t, 2 \right]$$

Теперь $y1$ – вектор, содержащий в качестве элементов две функции. Для того чтобы как-то воспользоваться этими функциями, надо присвоить их каким-то **другим именам:**

$$y1_0 = \text{function} \quad z1 := \mathbf{y1}_0 \quad z2 := y1_1$$

$$z1(0.1) = 1.046 \quad z2(0.1) = 0.84$$

Проще, да и правильнее, слева от *Odesolve* также использовать вектор соответствующей размерности. Пример, приведённый ниже, содержит одно уравнение третьего порядка и одно – первого:

$$\text{Given} \quad x(0) = 1 \quad x'(0) = 0 \quad x''(0) = 0 \quad z(0) = 1$$

$$2 \cdot x'''(t) + T^2 \cdot x''(t) + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot x'(t) + x(t) = \sin(t)$$

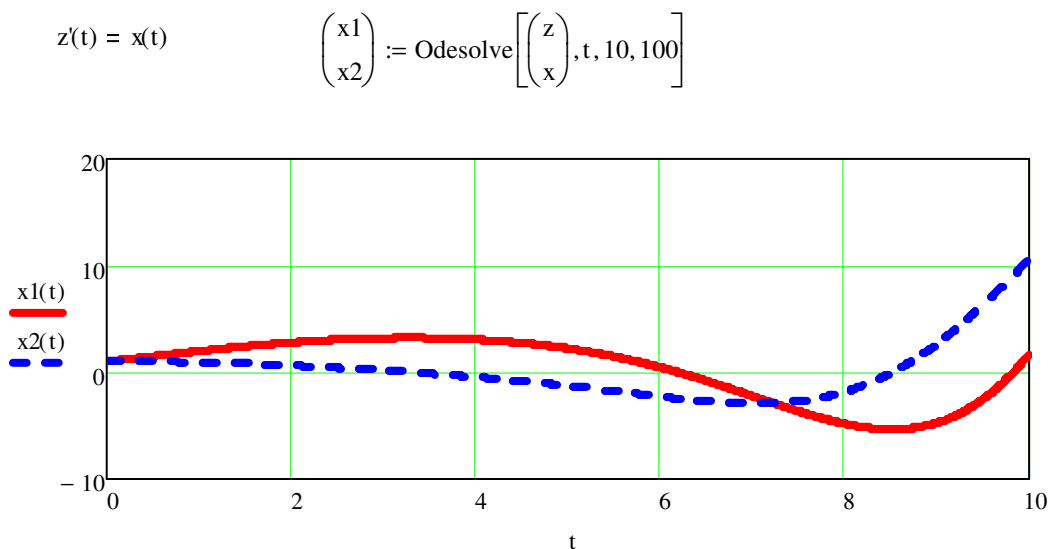


Рис. 2.8. Пример решения задачи ОДУ

Нередко возникает потребность получить не только решение ОДУ старшего порядка, но и его производную (производные). Казалось бы, достаточно добавить к вектору выходных функций соответствующий символ x' , но MathCAD этого не допускает. Он требует, чтобы размерность выходного вектора строго равнялась количеству дифференциальных уравнений в решающем блоке.

3. Задания и порядок проведения исследований

3.1. Создать текстовый блок, содержащий название работы, номер варианта, ФИО студента, отформатировать текст в соответствии с образцом, приведенном на рис. 2.9.

Лабораторная работа №2 Решение алгебраических и дифференциальных уравнений средствами MathCAD

Выполнил:	студент гр. 111111 Иванов И.И.
Вариант:	N
Дата:	16.02.2016 г.

Рис. 2.9. Образец форматирования текста

3.2. Решить систему уравнений из таблицы 2.1. с использованием функции Find численно и символично.

3.3. Решить численно оптимизационную задачу на минимизацию целевой функции в заданной области с использованием функции Minimize. Целевые функции и области для поиска минимумов приведены в таблице 2.2.

3.4. Решить однородное дифференциальное уравнение, соответствующее передаточной функции $W(s) = \frac{k}{(T_{01}s + 1)(T_{02}s + 1)}$ системы управления с параметрами, указанными в таблице 2.3. ОДУ решить при начальных условиях

1) $x(0)=1, \quad x'(0)=1.5;$ 2) $x(0)=1, \quad x'(0)=-1.5.$ Построить графики переходных процессов системы.

Таблица 2.1. Системы уравнений

№	Система уравнений	№	Система уравнений
1	$\begin{cases} x_1^2 + x_2^2 - 4 = 0, \\ 3x_1 + 4x_2 - 1 = 0; \end{cases}$	16	$\begin{cases} x_1^2 - x_2^2 - 4x_1 + 6x_2 - 16 = 0, \\ x_2 - 5 + x_1^2 = 0; \end{cases}$
2	$\begin{cases} e^{x_1 x_2} + 4x_2^2 - 16 = 0, \\ x_1 + x_2 - 1 = 0; \end{cases}$	17	$\begin{cases} 5x_1^2 + 4x_1 x_2 + x_2^2 - 16x_1 - 12x_2 - 17 = 0, \\ x_1^2 + x_2^2 - 3 = 0; \end{cases}$
3	$\begin{cases} x_1 + x_2 - 2 = 0, \\ 5x_1^2 + 4x_1 x_2 + x_2^2 + x_2 - 16 = 0; \end{cases}$	18	$\begin{cases} x_1^2 + x_2^2 - x_1 x_2 + x_1 - 2x_2 - 18 = 0, \\ x_1 + x_2 - 5 = 0; \end{cases}$
4	$\begin{cases} x_1^2 + 12x_1 x_2 + 2x_2^2 - 3 = 0; \\ 4x_1^2 + x_2^2 - 25 = 0; \end{cases}$	19	$\begin{cases} x_1^4 + x_2^2 - 4x_1 x_2 - 16 = 0, \\ 2x_1 + 7x_2 - 15 = 0; \end{cases}$
5	$\begin{cases} x_1^2 + x_2^2 - 6 = 0, \\ x_1 + x_2 - 1 = 0; \end{cases}$	20	$\begin{cases} x_1^3 + 2x_2 + x_1 x_2 - 19 = 0, \\ 2x_1 + 7x_2 + 15 = 0; \end{cases}$
6	$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 2 = 0, \\ x_1^2 + x_2^2 - 1 = 0; \end{cases}$	21	$\begin{cases} x_1^3 x_2 + 2x_2^2 x_1 + x_1 x_2 - 12 = 0, \\ 3x_1 + 17x_2 + 19 = 0; \end{cases}$
7	$\begin{cases} 2x_1^2 - 6x_1 - 6x_2 - 17 = 0, \\ 5x_1 + x_2 - 1 = 0; \end{cases}$	22	$\begin{cases} 5x_1^3 - x_2 + 3x_1 x_2 + 2 = 0, \\ x_1^2 - x_2 - 4 = 0; \end{cases}$
8	$\begin{cases} x_1 x_2 - 3 = 0, \\ x_1^2 - x_2^2 - 2 = 0; \end{cases}$	23	$\begin{cases} 7x_1^4 + x_2 x_1 + 9x_1^2 x_2 - 17 = 0, \\ 3x_1^4 - 3x_2 - 14 = 0; \end{cases}$
9	$\begin{cases} -x_1^3 + x_2^3 - x_2 + x_1 - 5 = 0, \\ x_1 + x_2 - 1 = 0; \end{cases}$	24	$\begin{cases} x_1 e^{x_1} - (1 + e^{x_1}) \sin x_2 - 9 = 0; \\ x_1 + x_2 - 3 = 0; \end{cases}$
10	$\begin{cases} 19x_2^3 + x_1 + 3x_1^2 - x_2 - 17 = 0, \\ x_1 + 5x_2 + 6 = 0; \end{cases}$	25	$\begin{cases} x_1^2 - x_2^2 - 4x_1 + 6x_2 - 15 = 0, \\ x_1^2 - x_2 - 3 = 0; \end{cases}$
11	$\begin{cases} 9x_1^3 + x_2^3 + 3x_1^2 - x_2 = 0, \\ x_1^3 + 1 = 0; \end{cases}$	26	$\begin{cases} 3x_1 x_2 + x_1^2 x_2 + x_1 x_2^2 + 17 = 0, \\ x_1 + x_2^2 - 3 = 0; \end{cases}$
12	$\begin{cases} 3x_2^3 + 13x_1^2 + 3x_2^2 - 13 = 0, \\ x_1^2 + x_2^2 - 1 = 0; \end{cases}$	27	$\begin{cases} 19x_2^3 + x_1 + 3x_1^2 - x_2 - 15 = 0, \\ 19x_1 + 11x_2 - 3 = 0; \end{cases}$
13	$\begin{cases} 7x_1^3 + x_2^2 x_1 + 9x_1^2 x_2 - 19 = 0, \\ x_1 + x_2 - 1 = 0; \end{cases}$	28	$\begin{cases} -x_1^3 + x_2^3 - x_2 + x_1 - 15 = 0, \\ x_1^2 + x_2 - 7 = 0; \end{cases}$
14	$\begin{cases} x_1^3 - 13x_2^2 + 9x_1 x_2 - x_2 + x_1 - 9 = 0, \\ 2x_1 + 5x_2 - 1 = 0; \end{cases}$	29	$\begin{cases} -x_1 x_2 + \frac{50}{x_1} + \frac{20}{x_2} - 3 = 0, \\ x_1 + x_2 - 56 = 0; \end{cases}$
15	$\begin{cases} x_1^2 + 3x_2^2 + 7x_1 x_2 - x_2 + x_1 = 0, \\ x_1^2 + x_2 - x_1 - 2 = 0; \end{cases}$	30	$\begin{cases} -13x_1^2 - 11x_2^2 x_1 - 2x_2^2 + 17 = 0, \\ x_1 + x_2 - 56 = 0; \end{cases}$

Таблица 2.2. Целевые функции

№	Целевая функция и область поиска	№	Целевая функция
1	$f(x_1, x_2) = x_1^3 + 13x_2^2 - 9x_1 - x_2$ $x_1 \in [-10; 10] \quad x_2 \in [-3; 3]$	16	$f(x_1, x_2) = 7x_1^4 + x_2x_1 + 9x_1^2x_2$ $x_1 \in [-3; 5] \quad x_2 \in [-1; 5]$
2	$f(x_1, x_2) = x_1^2 + 25x_2^2 + x_1x_2 - 5x_2 + x_1$ $x_1 \in [-3; 3] \quad x_2 \in [-10; 10]$	17	$f(x_1, x_2) = 5x_1^3 + x_2 + 3x_1x_2$ $x_1 \in [-2; 2] \quad x_2 \in [-3; 3]$
3	$f(x_1, x_2) = 17x_1^4 - 9x_1x_2 - x_1^2 + x_2^2 + 17$ $x_1 \in [-10; 10] \quad x_2 \in [-3; 3]$	18	$f(x_1, x_2) = 4x_1^2 + x_2^2 - 12x_1x_2 - 3x_1$ $x_1 \in [-10; 10] \quad x_2 \in [-3; 3]$
4	$f(x_1, x_2) = -17x_1^3 + 19x_1^2x_2 + x_1 - x_2 - 17$ $x_1 \in [-3; 3] \quad x_2 \in [-10; 10]$	19	$f(x_1, x_2) = x_1^3x_2 + 2x_2^2x_1 + x_1x_2$ $x_1 \in [-1; 10] \quad x_2 \in [-2; 6]$
5	$f(x_1, x_2) = 13x_1^3 - 11x_2x_1 + x_1 + 21$ $x_1 \in [-10; 10] \quad x_2 \in [-3; 3]$	20	$f(x_1, x_2) = x_1^3 + 2x_2 + x_1x_2$ $x_1 \in [-1; 10] \quad x_2 \in [-2; 6]$
6	$f(x_1, x_2) = 13x_1^2 + x_2^2x_1 + 2x_2^2 + x_1 - 17$ $x_1 \in [-3; 3] \quad x_2 \in [-10; 10]$	21	$f(x_1, x_2) = x_1x_2^2 + x_1^2x_2 - 3x_1^2 - 3x_2^2$ $x_1 \in [-10; 10] \quad x_2 \in [-2; 5]$
7	$f(x_1, x_2) = x_1^2 + x_2^2 + 2x_2 + 2x_1 + 7$ $x_1 \in [-10; 10] \quad x_2 \in [-3; 3]$	22	$f(x_1, x_2) = x_1e^{x_1} - (1 + e^{x_1})\sin x_2$ $x_1 \in [-10; 10] \quad x_2 \in [-2; 5]$
8	$f(x_1, x_2) = x_1^3 + x_2^2 - 2x_2 - 2x_1 + 7$ $x_1 \in [-3; 3] \quad x_2 \in [-10; 10]$	23	$f(x_1, x_2) = x_1^4 + x_2^2 - 4x_1x_2$ $x_1 \in [-10; 10] \quad x_2 \in [-3; 3]$
9	$f(x_1, x_2) = 2x_1^4 + x_2^4 - x_2 + x_1$ $x_1 \in [-10; 10] \quad x_2 \in [-3; 3]$	24	$f(x_1, x_2) = 3x_1x_2 - x_1^2x_2 - x_1x_2^2$ $x_1 \in [-10; 10] \quad x_2 \in [-3; 3]$
10	$f(x_1, x_2) = -x_1^3 + x_2^3 - x_2 + x_1$ $x_1 \in [-10; 10] \quad x_2 \in [-3; 3]$	25	$f(x_1, x_2) = x_1^3 + x_2^3 - 3x_1x_2$ $x_1 \in [1; 5] \quad x_2 \in [-2; 3]$
11	$f(x_1, x_2) = 19x_2^3 + x_1 + 3x_1^2 - x_2$ $x_1 \in [-2; 2] \quad x_2 \in [-5; 5]$	26	$f(x_1, x_2) = x_1^2 + x_2^2 + x_1x_2 - x_1$ $x_1 \in [-2; 5] \quad x_2 \in [-2; 3]$
12	$f(x_1, x_2) = 9x_1^3 + x_2^3 + 3x_1^2 - x_2$ $x_1 \in [-2; 3] \quad x_2 \in [-6; -9]$	27	$f(x_1, x_2) = x_1^2 + x_2^2 - x_1x_2 + x_1 - 2x_2$ $x_1 \in [-2; 5] \quad x_2 \in [-2; 3]$
13	$f(x_1, x_2) = 3x_2^3 + 13x_1^2 + 3x_2^2$ $x_1 \in [-1; 1] \quad x_2 \in [-2; 2]$	28	$f(x_1, x_2) = 5x_1^2 + 4x_1x_2 + x_2^2 - 16x_1 - 12x_2$ $x_1 \in [-3; 3] \quad x_2 \in [-2; 1]$
14	$f(x_1, x_2) = 3x_1^5 + x_2^2x_1 + 11x_1^2x_2 + x_1^3$ $x_1 \in [-1; 1] \quad x_2 \in [-2; 2]$	29	$f(x_1, x_2) = x_1^2 - x_2^2 - 4x_1 + 6x_2$ $x_1 \in [-3; 3] \quad x_2 \in [-10; 1]$
15	$f(x_1, x_2) = 7x_1^5 + x_2^2x_1 + 9x_1^2x_2$ $x_1 \in [1; 5] \quad x_2 \in [-1; 1]$	30	$f(x_1, x_2) = x_1x_2 + \frac{50}{x_1} + \frac{20}{x_2}$ $x_1 \in [-3; 10] \quad x_2 \in [-10; 10]$

Таблица 2.3. Параметры передаточных функций

Вариант	k	T_{01}	T_{02}
1	1	0,5	0,1
2	2	0,25	0,5
3	3	0,1	0,25
4	1	0,25	0,2
5	1	0,25	1
6	2	0,05	0,25
7	4	0,08	0,24
8	4	0,5	0,1
9	2	0,5	0,25
10	3	1	0,5
11	3	0,5	0,05
12	1.5	0,25	0,2
13	2	0,75	0,01
14	5	0,45	0,1
15	3	0,9	0,05
16	2.5	0,36	0,67
17	1.5	0,34	0,52
18	4	0,8	0,2
19	4.5	0,7	0,12
20	3.5	0,3	0,95
21	5	0,1	0,6
22	4	0,8	0,3
23	1	0,65	0,5
24	2	0,45	0,55
25	4	0,72	0,35

4. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе формируется как листинг из MachCAD выполнения указанных пунктов в порядке исследования с добавлением от руки выводов по работе, формулируемых на основе графиков и числовых данных полученных в ходе исследований.

5. Контрольные вопросы

1. Пояснить ввод уравнений и неравенств в блоке Given; указать различие действия операторов «= \Rightarrow » и «= $=$ ».
2. Пояснить выполнение в пакете Mathcad аналитического и численного способов решения алгебраического уравнения, указать их принципиальное различие.
3. Указать каким образом выбирается начальное приближение при численном решении алгебраического уравнения.
4. Пояснить смысл входных параметров в решающем *Odesolve*-блоке.

5. Указать особенности использования *Odesolve*-блока при решении систем дифференциальных уравнений в отличие от решения одного уравнения.

Библиографический список

1. Дьяконов В.П. Mathcad 11/12/13 в математике: справочник / В.П. Дьяконов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 958с.
2. Макаров Н.Н., Феофилов С.В. Применение пакета Mathcad в анализе и синтезе систем автоматического управления. Уч. пособие. – Тула, Изд-во ТулГУ, 2006. – 170 с.
3. Капалин В.И. Шаповалова Н.Е. Линейные системы управления в системе компьютерной математики Mathcad. Уч. пособие. – М. Изд-во Перо, 2013. – 132 с.