

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3
по курсу «Адаптивное и робастное управление»
АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫМ МНОГОМЕРНЫМ
ОБЪЕКТОМ ПО СОСТОЯНИЮ

Вариант № 20

Авторы работы: Кирбаба Д.Д.,

Курчавый В.В.,

Кравченко Д.В.

Группа: R3438

Преподаватель: Парамонов А.В.

“12” октября 2023 г.

Работа выполнена с оценкой ____

Дата защиты “__” _____ 2023 г.

Санкт-Петербург

2023

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы	3
2. Постановка задачи	3
3. Ход работы.....	4
1. Исходные данные	4
2. Эталонная модель	4
3. Исследование неадаптивной системы	5
4. Исследование адаптивной системы	10
4. Выводы.....	26

1. Цель работы

Освоение принципов построения адаптивной системы управления многомерным объектом.

2. Постановка задачи

Дан объект

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + bu, & x(0) \\ y &= Cx,\end{aligned}$$

где $x \in R^n$ – вектор состояния, u – управление, $y \in R$ – регулируемая переменная,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 & \cdots & -a_{n-1} \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ b_0 \end{bmatrix}, C = [1 \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \quad 0],$$

$a_i, i = \overline{0, n-1}$ – неизвестные параметры, b_0 – известный коэффициент.

Задача управления заключается в компенсации параметрической неопределенности объекта и обеспечении следующего целевого равенства:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|x_M(t) - x(t)\| = \lim_{t \rightarrow \infty} \|e(t)\| = 0,$$

где $e = x_M - x$ – вектор ошибки управления, $x_M \in R^n$ – вектор, генерируемый эталонной моделью

$$\begin{aligned}\dot{x}_M &= A_M x_M + b_M g, \\ y_M &= C_M x_M\end{aligned}$$

с задающим воздействием $g(t)$ и матрицами

$$\begin{aligned}A_M &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ -a_{M_0} & -a_{M_1} & -a_{M_2} & \cdots & -a_{M_{n-1}} \end{bmatrix}, b_M = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ a_{M_0} \end{bmatrix}, \\ C_M &= [1 \quad 0 \quad \cdots \quad 0 \quad 0].\end{aligned}$$

Параметры эталонной модели $a_{M_i}, i = \overline{0, n-1}$ строятся на основе метода стандартных характеристических полиномов для обеспечения желаемого качества воспроизведения задающего воздействия $g(t)$.

Отметим, что в задаче имеет место следующее допущение.

Для некоторого n – мерного вектора θ и скаляра κ матрицы A, b, A_M, b_M связаны соотношениями

$$A_M = A + b\theta^T, \quad b = \kappa b_M.$$

3. Ход работы

1. Исходные данные

Матрица A	Коэфф. передачи b_0	Время переходного процесса t_n	Максимальное перерегулирование $\bar{\sigma}, \%$	Сигнал задания $g(t)$
$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -15 & 6 \end{bmatrix}$	2	1.2	0	$7\text{sign}(\cos(0.9t)) + 8$

Таблица 1. Исходные данные (20 вариант).

2. Эталонная модель

Так как модель второго порядка и имеет описанные выше показатели качества, то стандартный полином будет полиномом Ньютона второго порядка.

$$D^*(\lambda) = \lambda^2 + 2\omega_o\lambda + \omega_o^2$$

Пусть $\Delta = 0.05$ ед. от установившейся величины, тогда $t_n^* = 4.75$ с и

$$\omega_o = \frac{4.75}{1.2} = 3.958$$

$$D^*(\lambda) = \lambda^2 + 7.916\lambda + 15.6658\omega_o^2$$

Тогда матрицы эталонной модели:

$$A_M = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -15.6684 & -7.9167 \end{bmatrix}, b_M = \begin{bmatrix} 0 \\ 15.6684 \end{bmatrix},$$

$$C = [1 \quad 0].$$

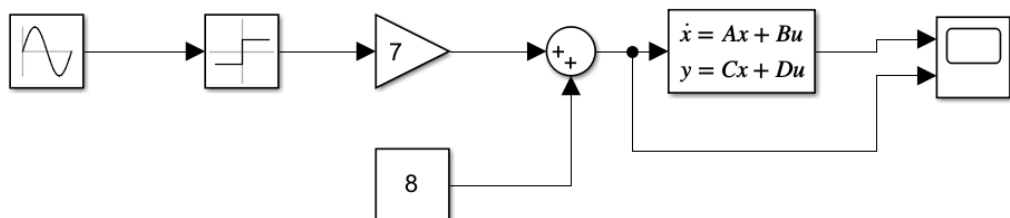


Рисунок 1. Схема моделирования эталонной модели.

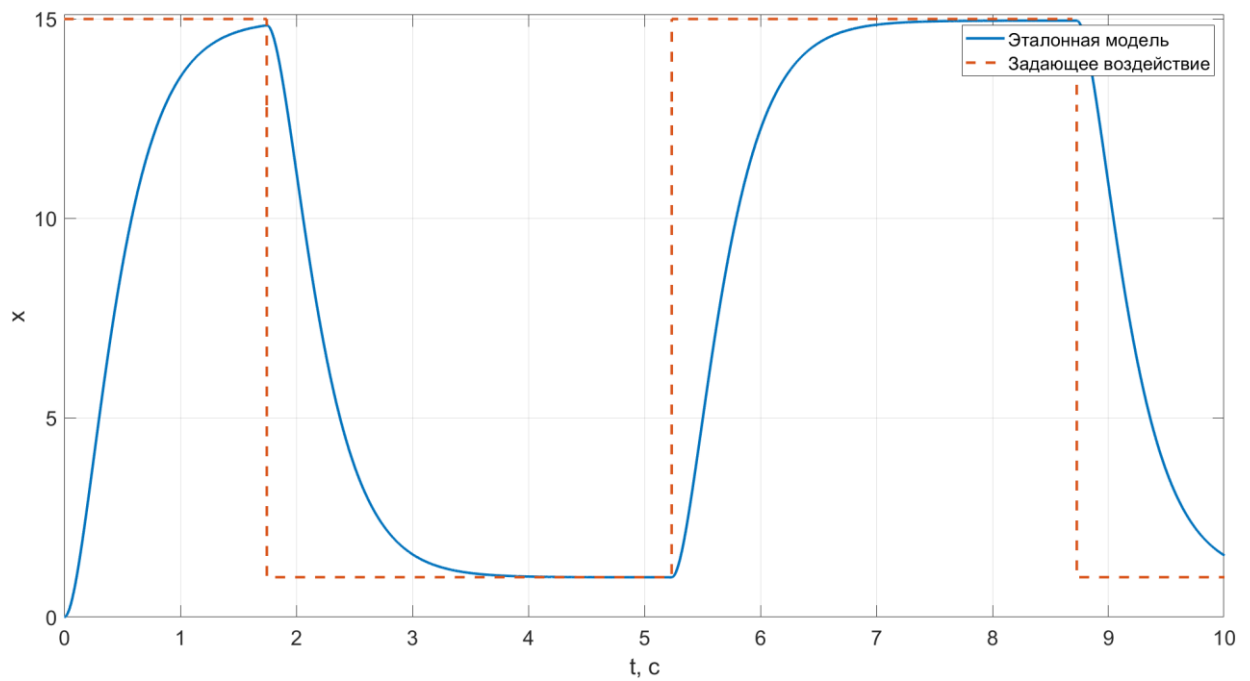


Рисунок 2. Графики задающего воздействия и переходного процесса эталонной модели.

Как видно, перерегулирование = 0 и время переходного процесса примерно равно 1.2 с (примерно, так как при расчете параметров модели мы ставили точность $\Delta = 0.05$ ед. от установившейся величины).

3. Исследование неадаптивной системы

Допустим, что параметры объекта известны, промоделируем систему управления с регулятором

$$u = \theta^T x + \frac{1}{\kappa} g.$$

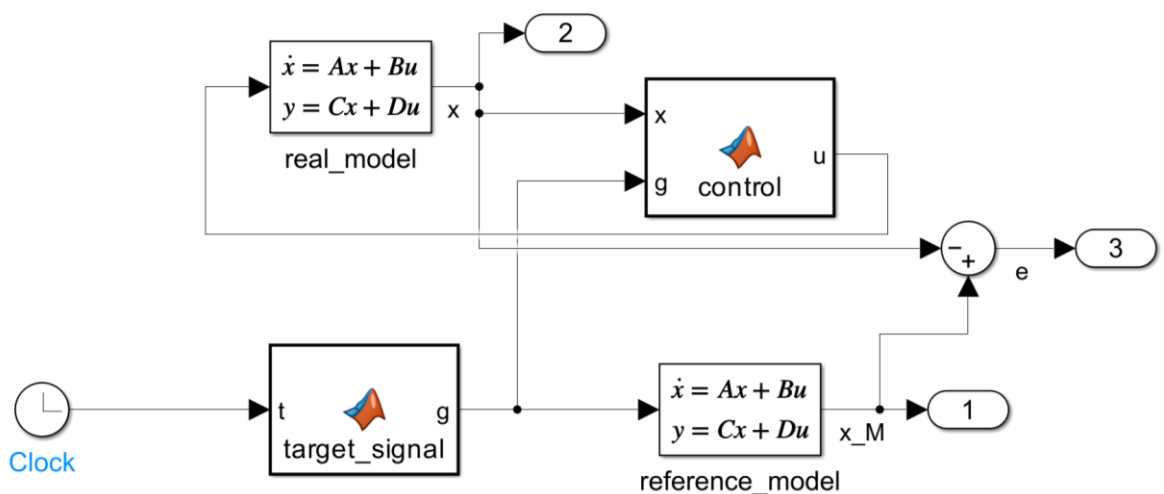


Рисунок 3. Схема моделирования неадаптивной системы.

3.1. Используем расчетные параметры объекта, заложенные в θ_1, θ_2

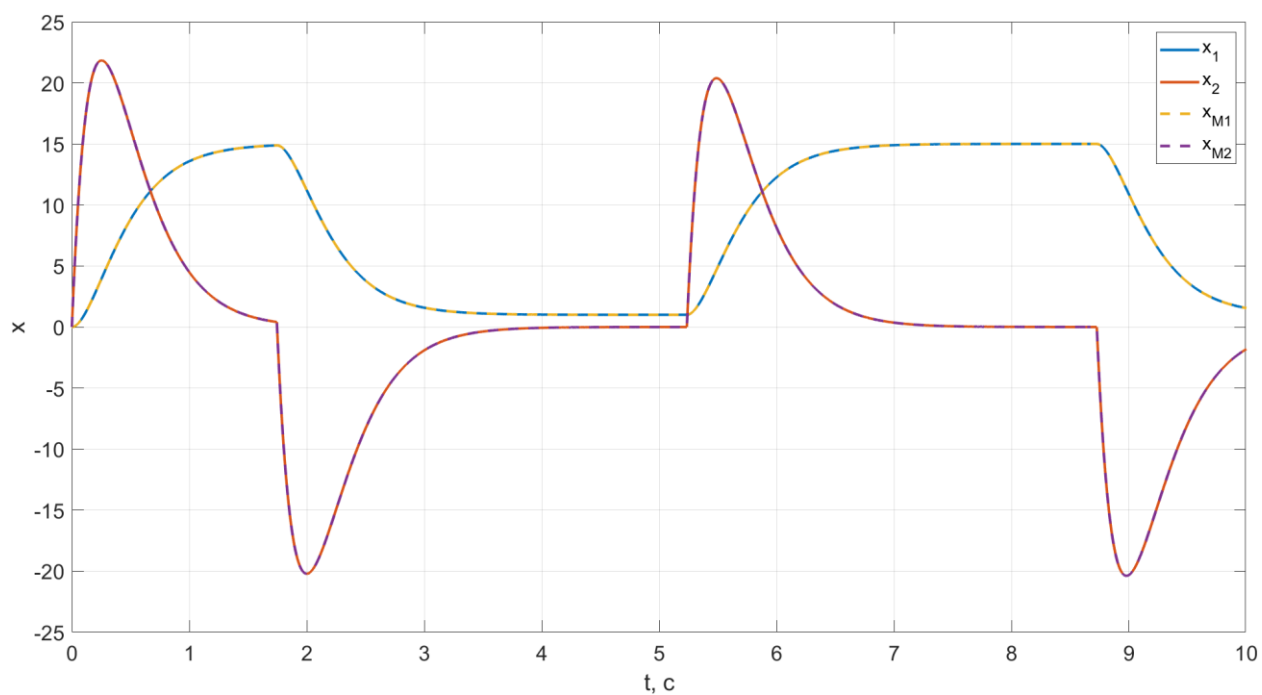


Рисунок 4. Графики переходных процессов при рассчитанных параметрах.

Поведение объекта управления почти сразу соответствует поведению эталонной системы.

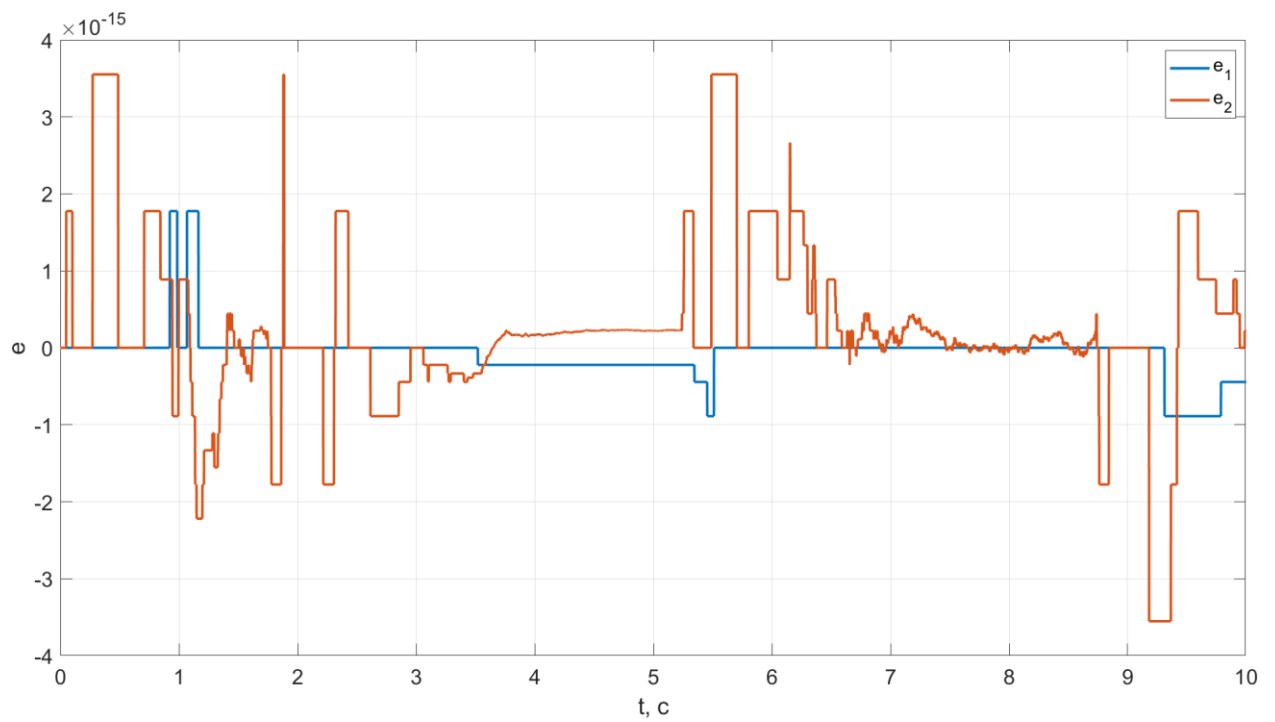


Рисунок 5. Графики покомпонентных ошибок.

Ошибка почти равна нулю во все моменты времени. Так как мы использовали известные параметры объекта управления и нам не приходилось настраивать параметры.

3.2. Изменим параметры, чтобы система не потеряла устойчивость
Пусть

$$\theta_{new} = 0.95 \cdot \theta_{old}.$$

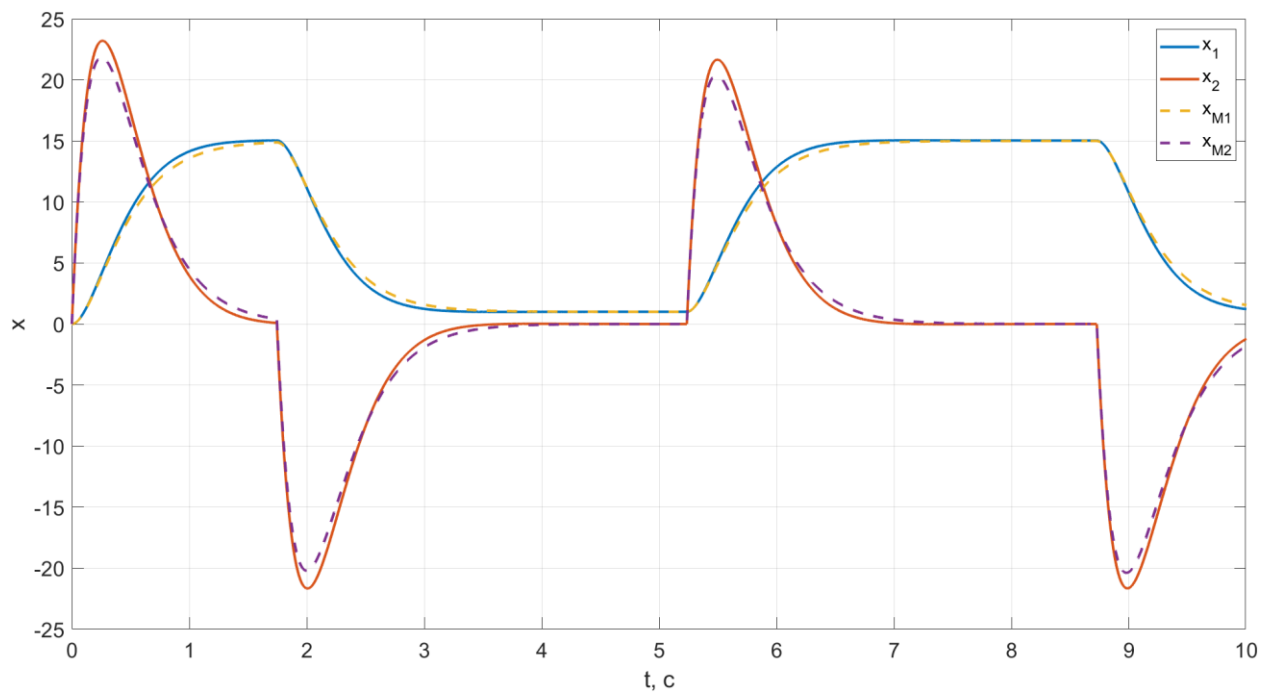


Рисунок 6. Графики переходных процессов при мало измененных параметрах.

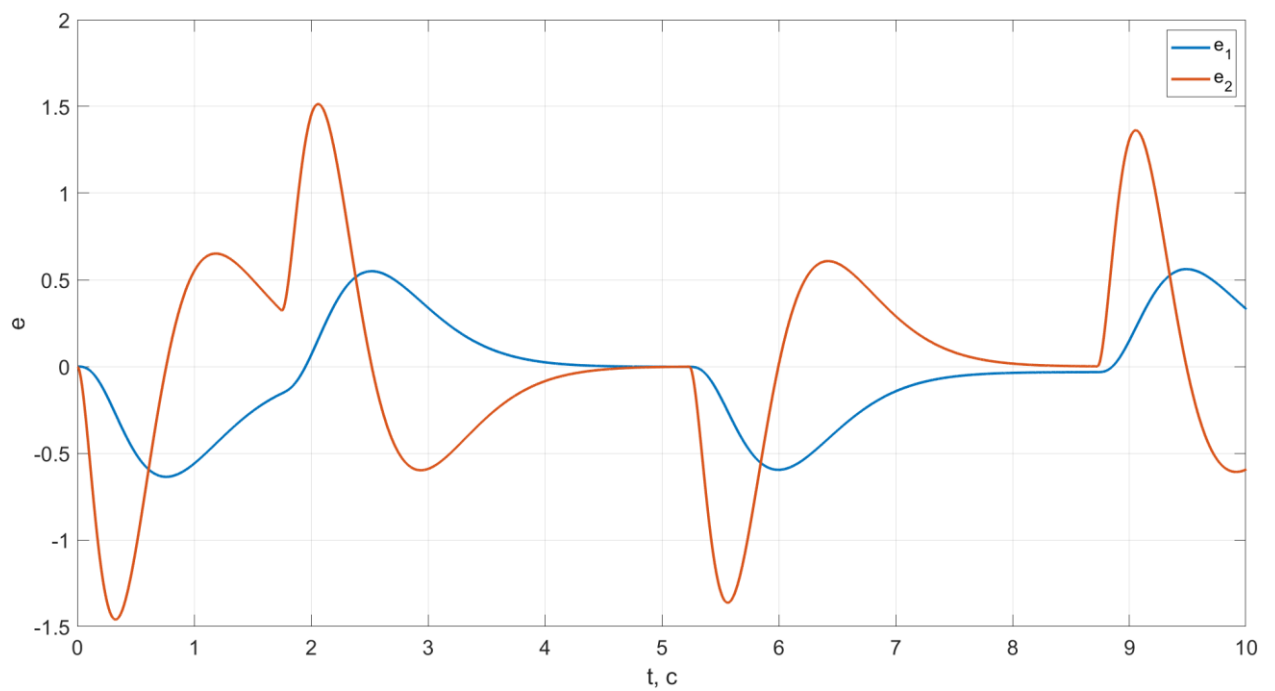


Рисунок 7. Графики покомпонентных ошибок.

Уменьшив параметры на 5%, система осталась устойчивой, однако имеет постоянную ошибку следования за эталонной системой.

3.3. Изменим параметры, чтобы система потеряла устойчивость

Пусть

$$\theta_{new} = \theta_{old} + \begin{bmatrix} 3 \\ 5 \end{bmatrix}$$

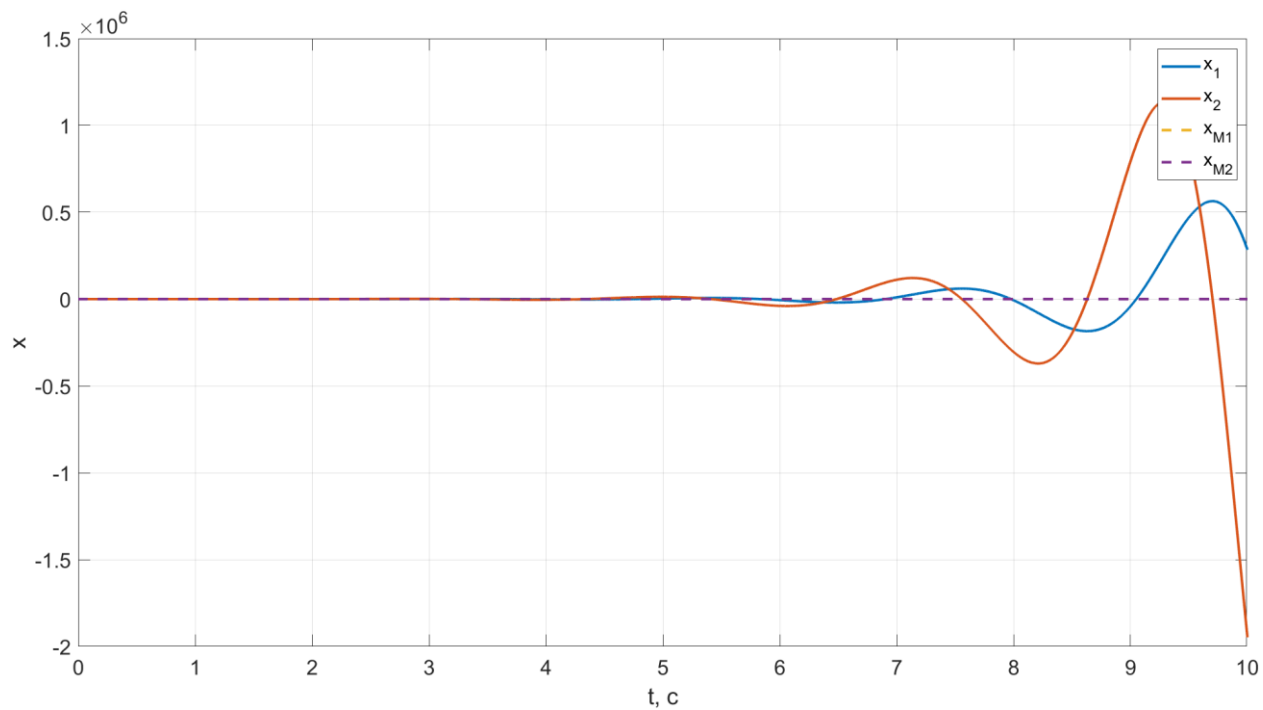


Рисунок 8. Графики переходных процессов при сильно смещенных параметрах.

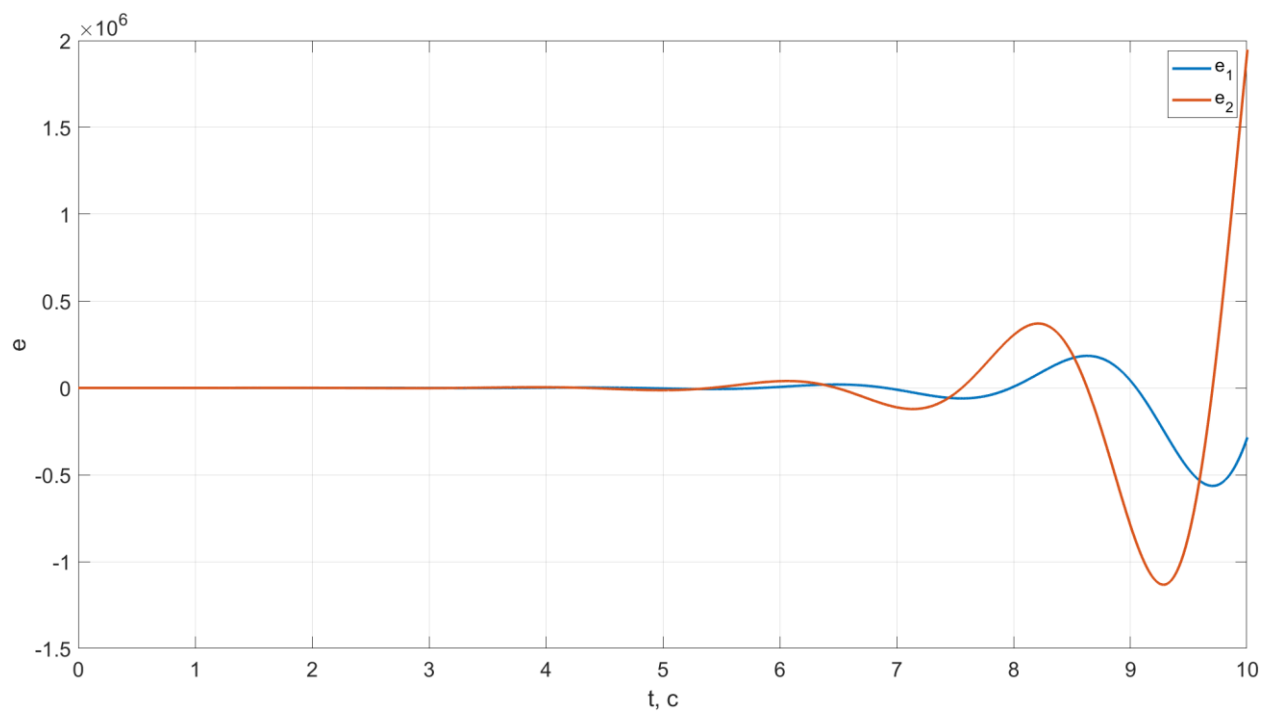


Рисунок 9. Покомпонентные ошибки моделей при сильно смещенных параметрах.

При сильном изменении параметров система становится неустойчивой.

4. Исследование адаптивной системы

Проведем моделирование адаптивной системы управления с регулятором

$$u = \hat{\theta}^T x + \frac{g}{\kappa}$$

и алгоритмом адаптации

$$\dot{\hat{\theta}} = \gamma x b^T P e, \quad \hat{\theta}(0) = 0,$$

где γ — коэффициент адаптации.

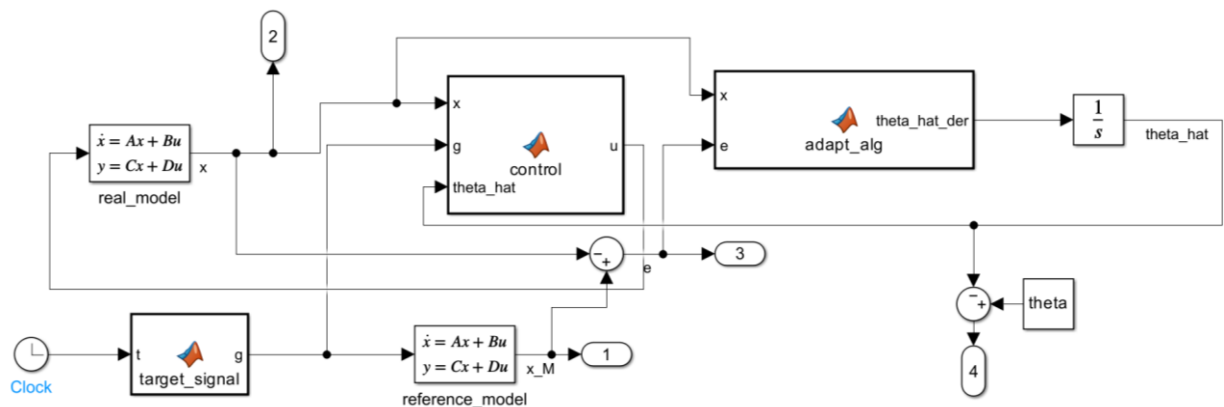


Рисунок 10. Схема моделирования адаптивной системы.

4.1. Эксперименты с фиксированным $\gamma = 1$

4.1.1. Моделирование при расчетных параметрах θ .

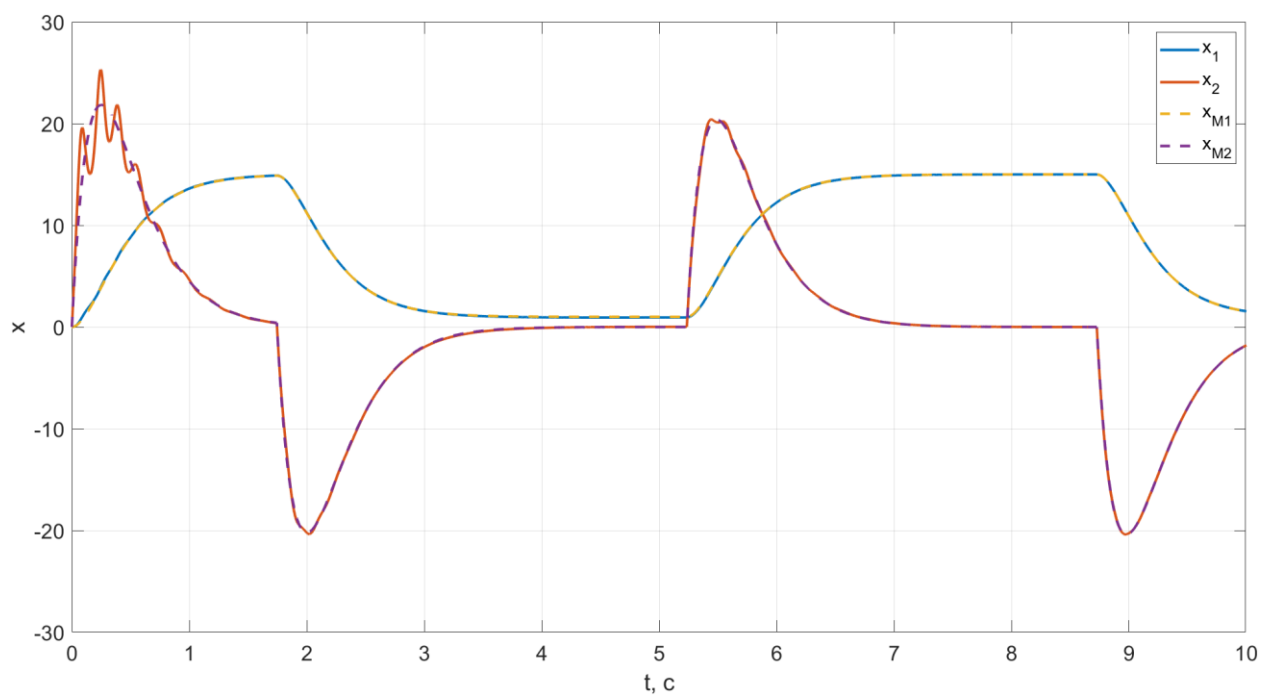


Рисунок 11. Графики переходных процессов.

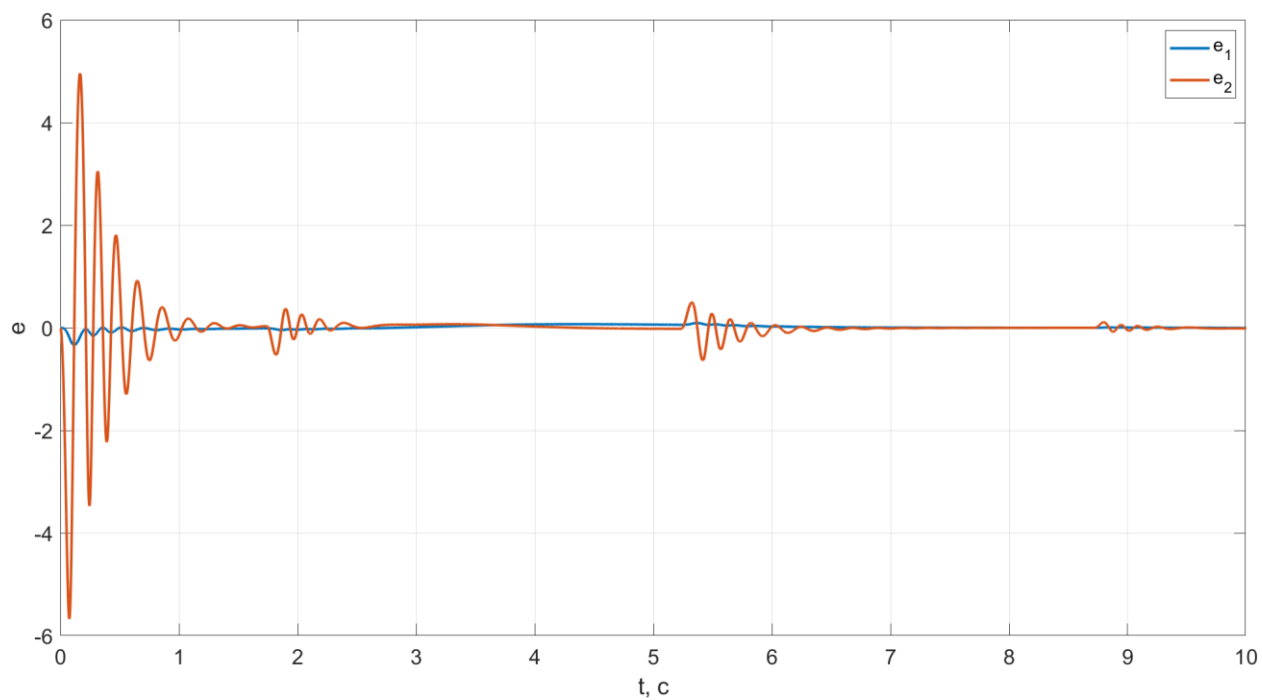


Рисунок 12. Графики ошибок.

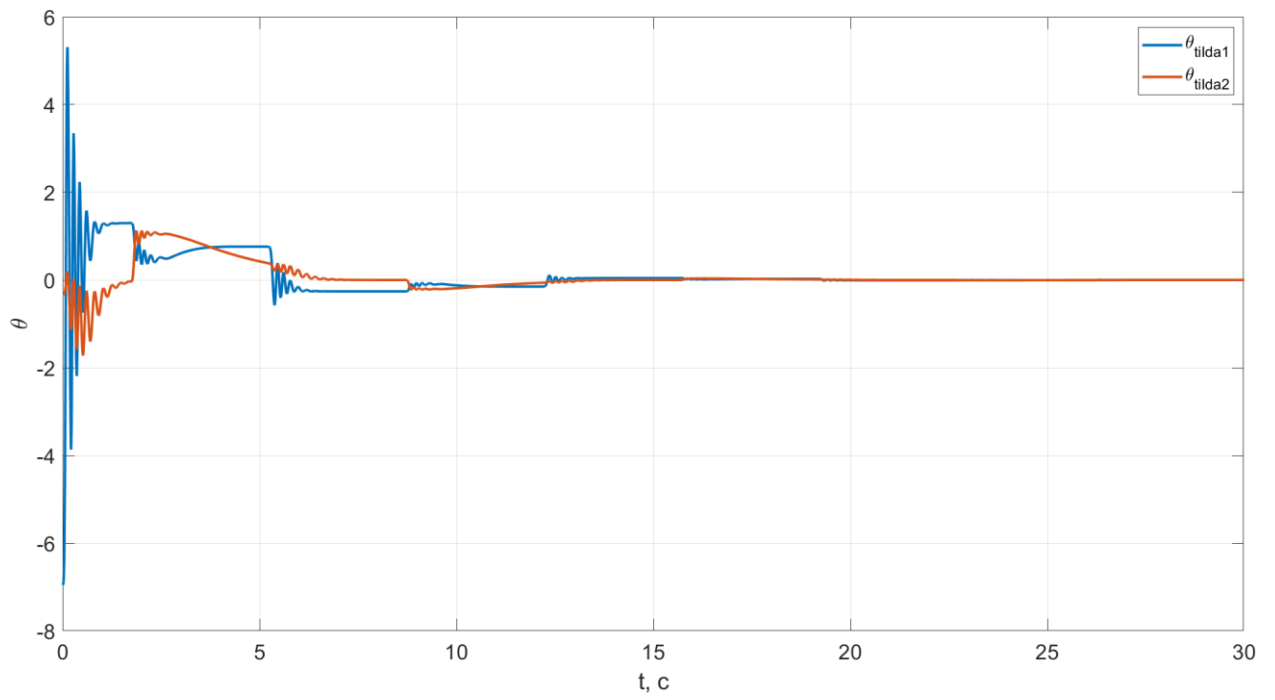


Рисунок 13. Графики параметрических ошибок.

При расчетных параметрах ошибка вектора состояний и параметрическая ошибка сходятся к 0.

4.1.2. Моделирование с измененными параметрами при которых система устойчива.

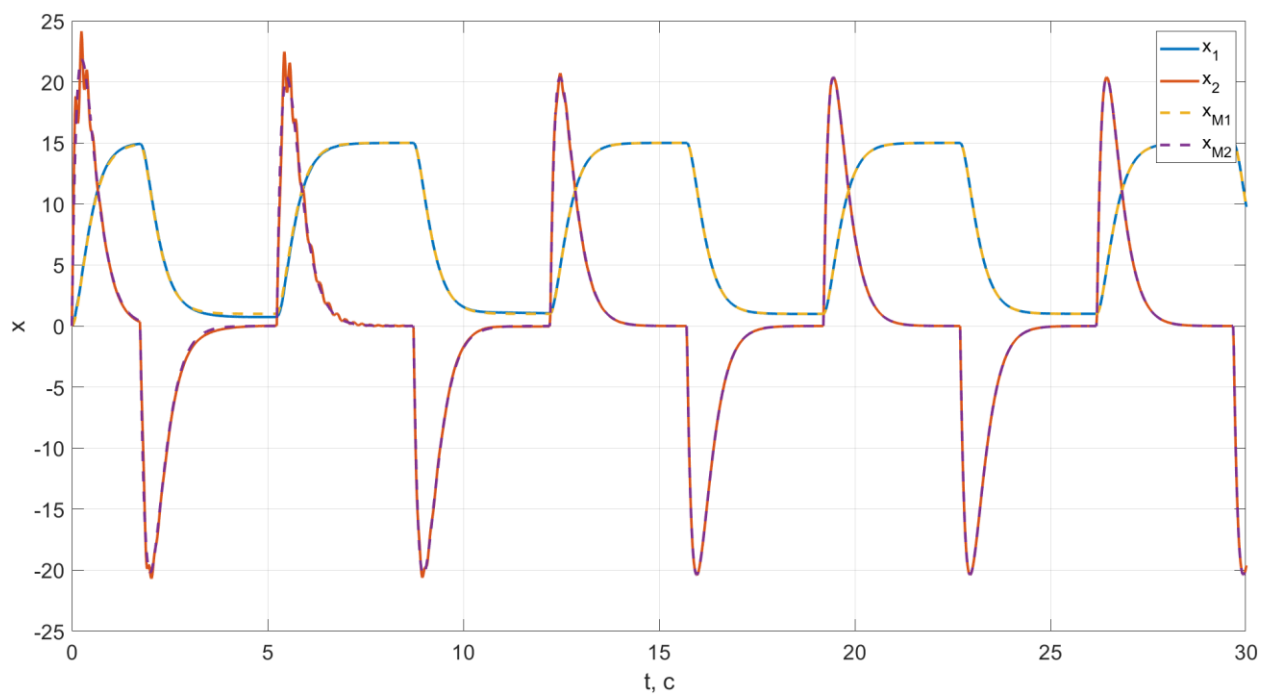


Рисунок 14. Графики компонент переходных процессов.

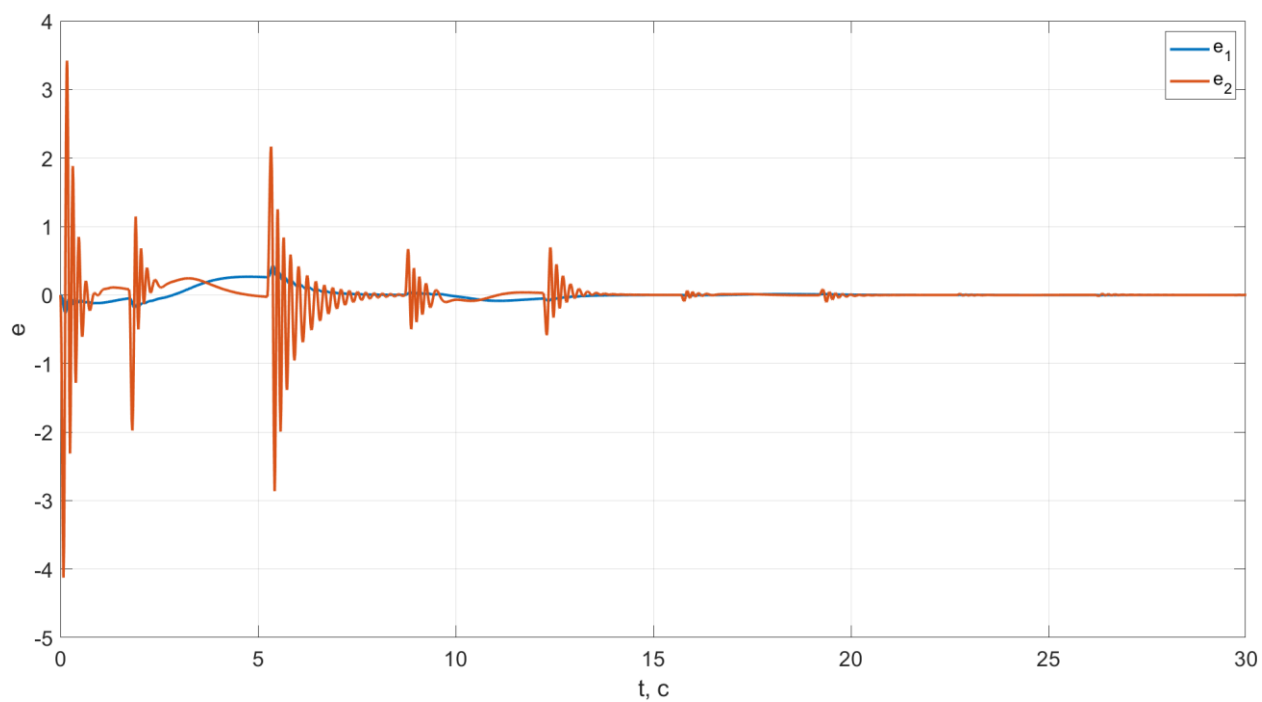


Рисунок 15. Графики ошибок вектора состояний.

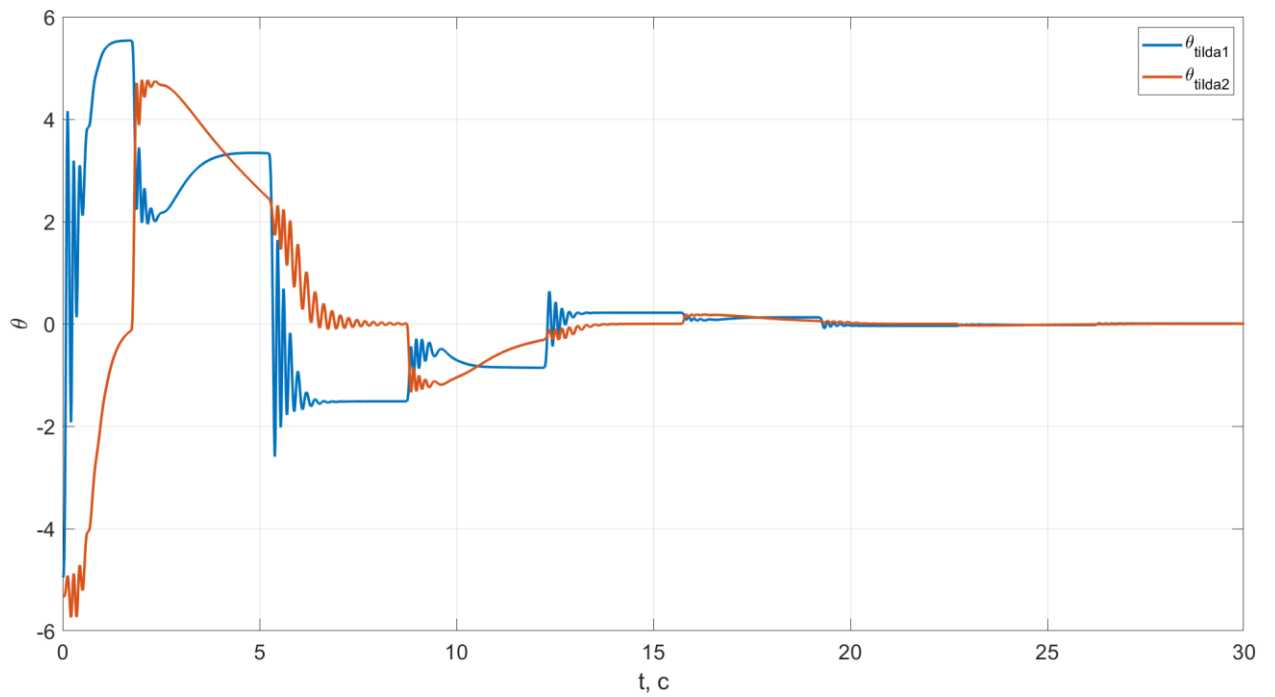


Рисунок 16. Графики параметрических ошибок.

При увеличении отклонения параметров объекта скорость сходимости уменьшилась, однако всё равно установившейся ошибки нет.

4.1.3. Моделирование с сильно измененными параметрами, при которых система неустойчива.

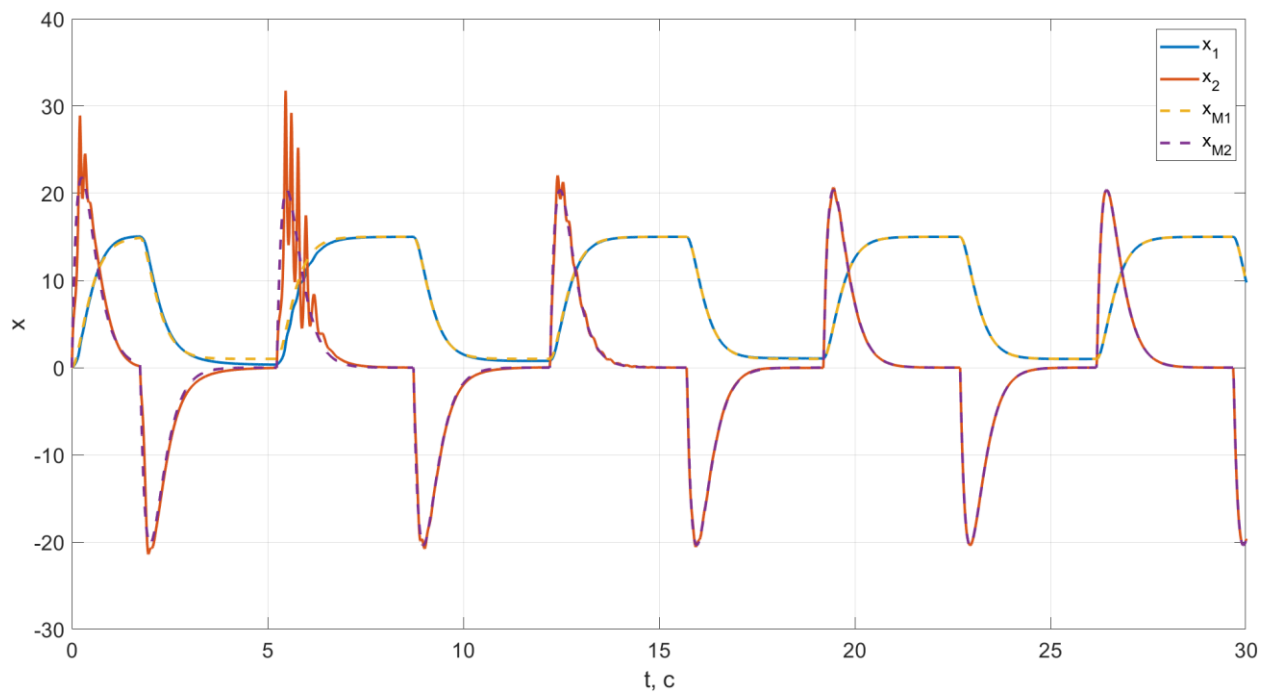


Рисунок 17. Графики переходных процессов.

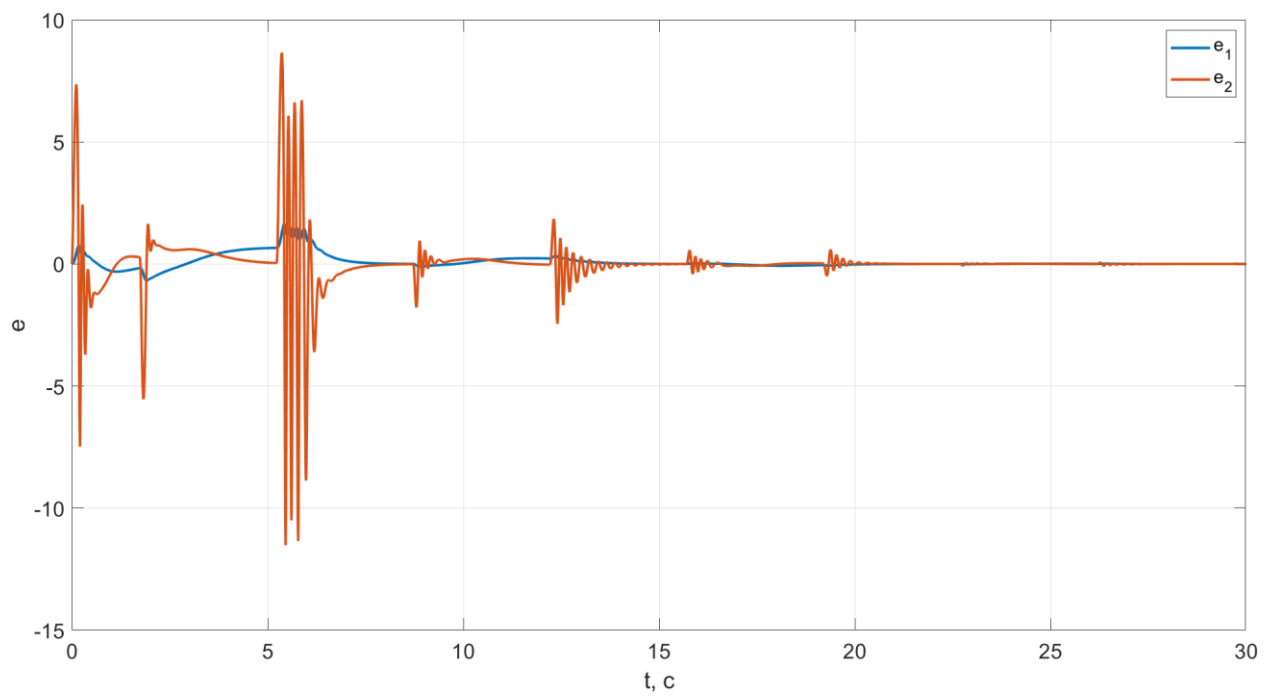


Рисунок 18. Графики ошибки по вектору состояния.

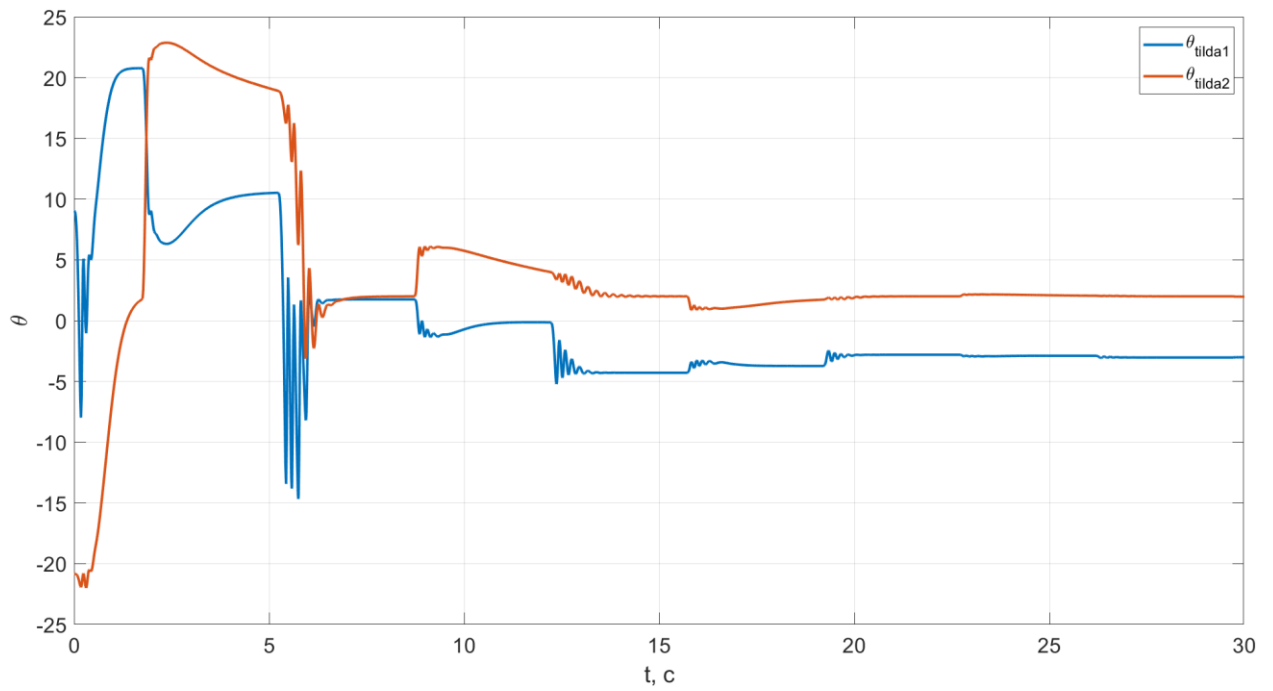


Рисунок 19. Графики параметрической ошибки.

Даже при сильно измененных параметрах объекта управления, адаптивный регулятор с алгоритмом адаптации обеспечивает:

- 1) Ограниченность всех сигналов в замкнутой системе;
- 2) Асимптотическое стремление ошибки e к нулю;
- 3) Ограниченность сигнала $\hat{\theta}$

4.2. Эксперименты с различными γ

4.2.1. Пусть $\gamma = 0.1$

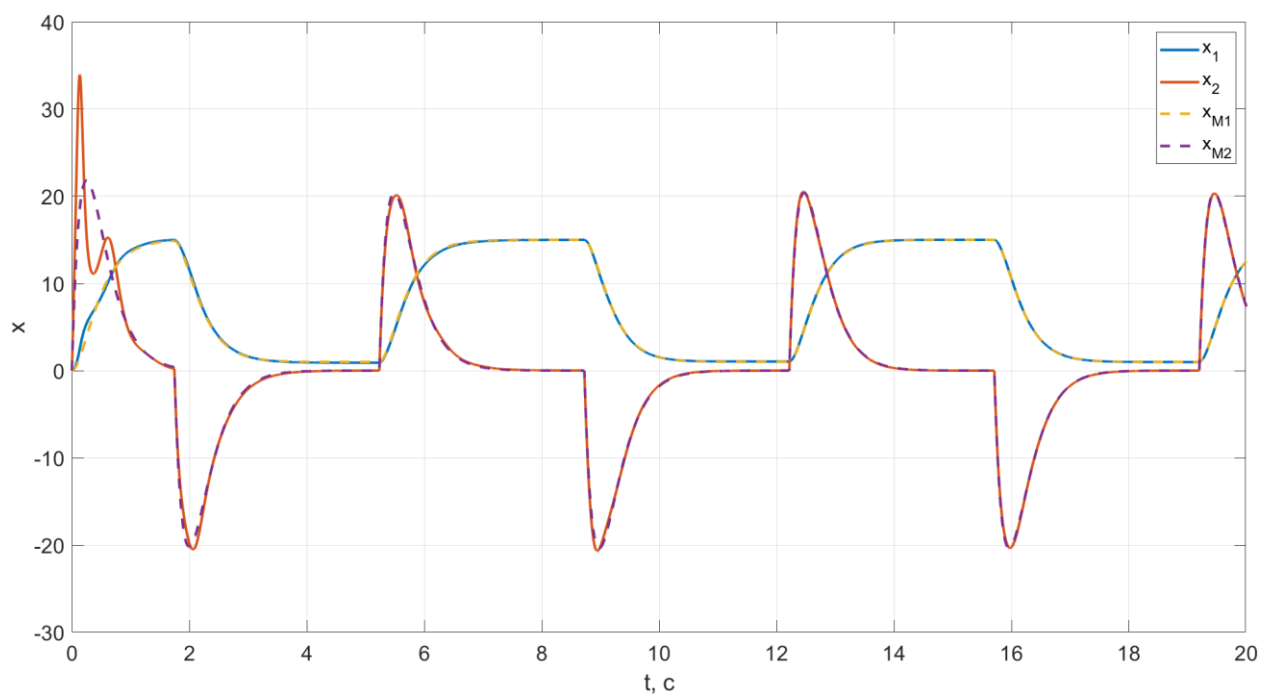


Рисунок 20. Графики переходных процессов.

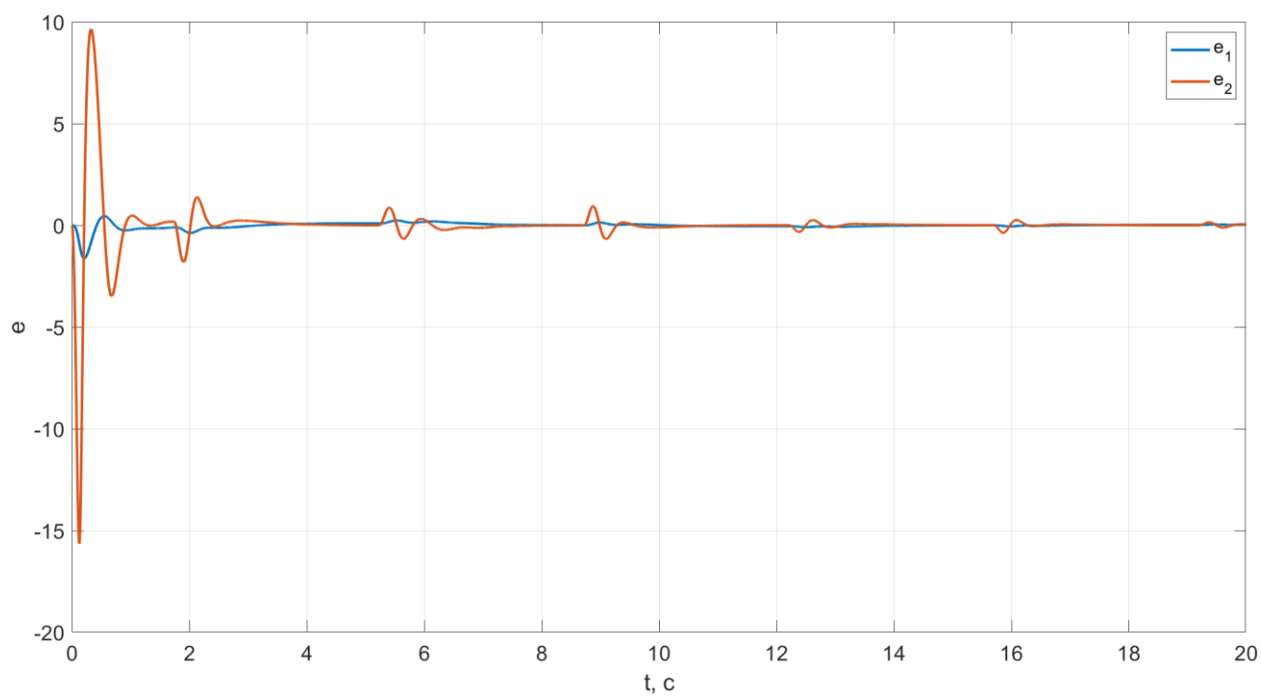


Рисунок 21. Графики ошибок вектора состояний.

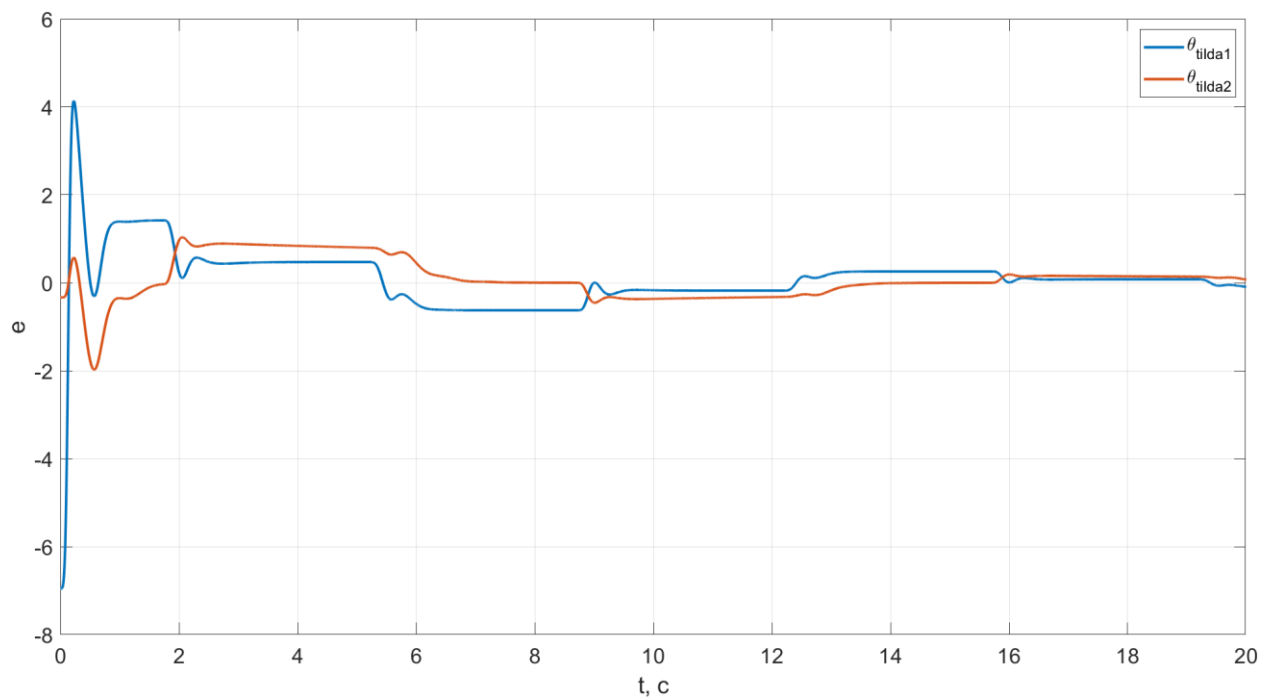


Рисунок 22. Графики параметрических ошибок.

4.2.2. Пусть $\gamma = 5$

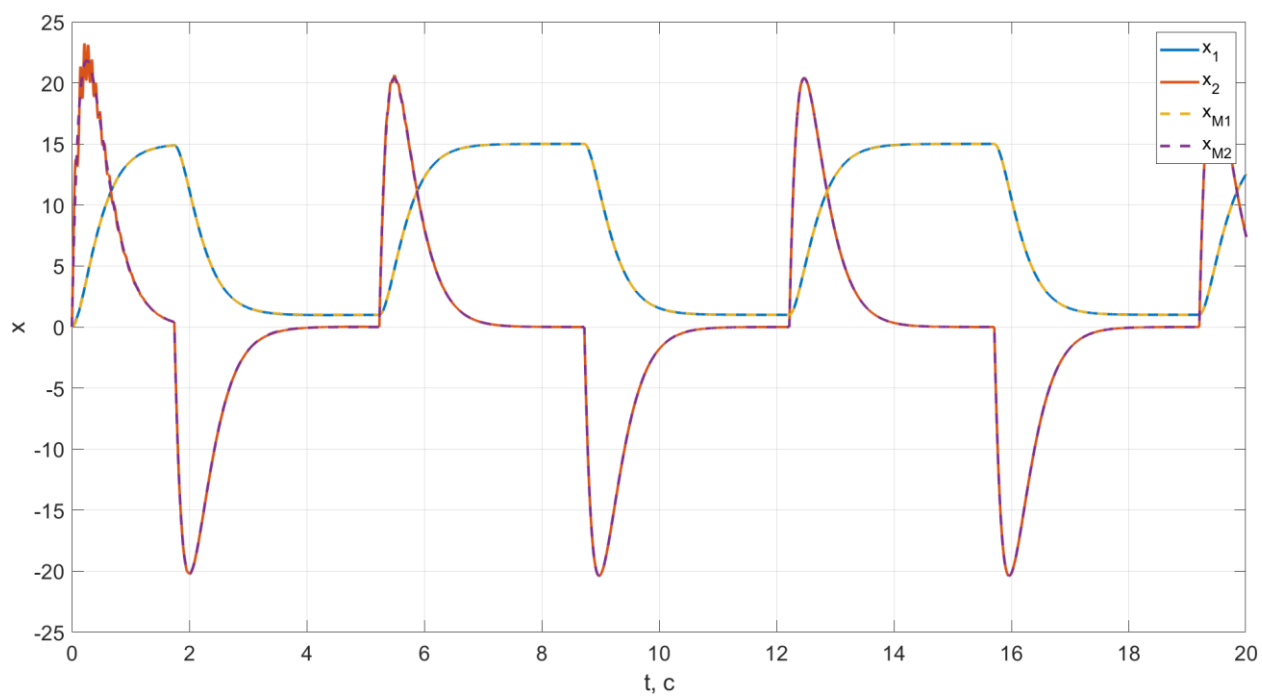


Рисунок 23. Графики переходных процессов.

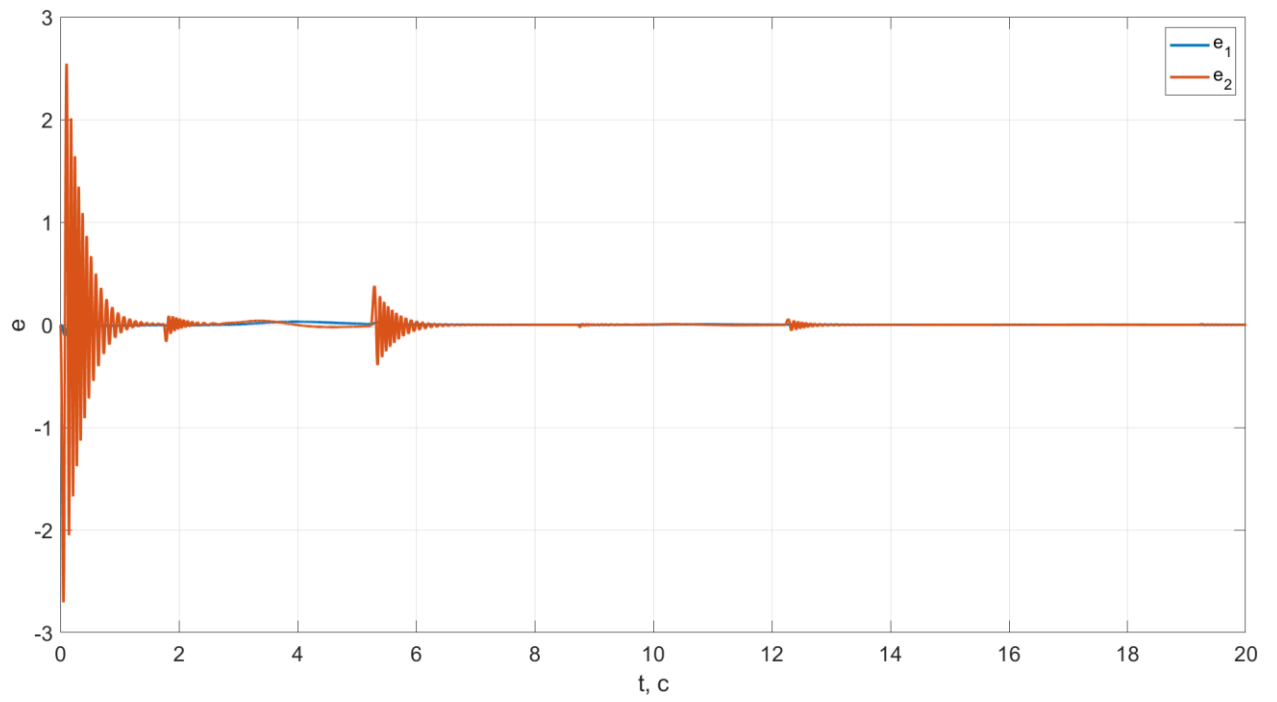


Рисунок 24. Графики ошибок вектора состояний.

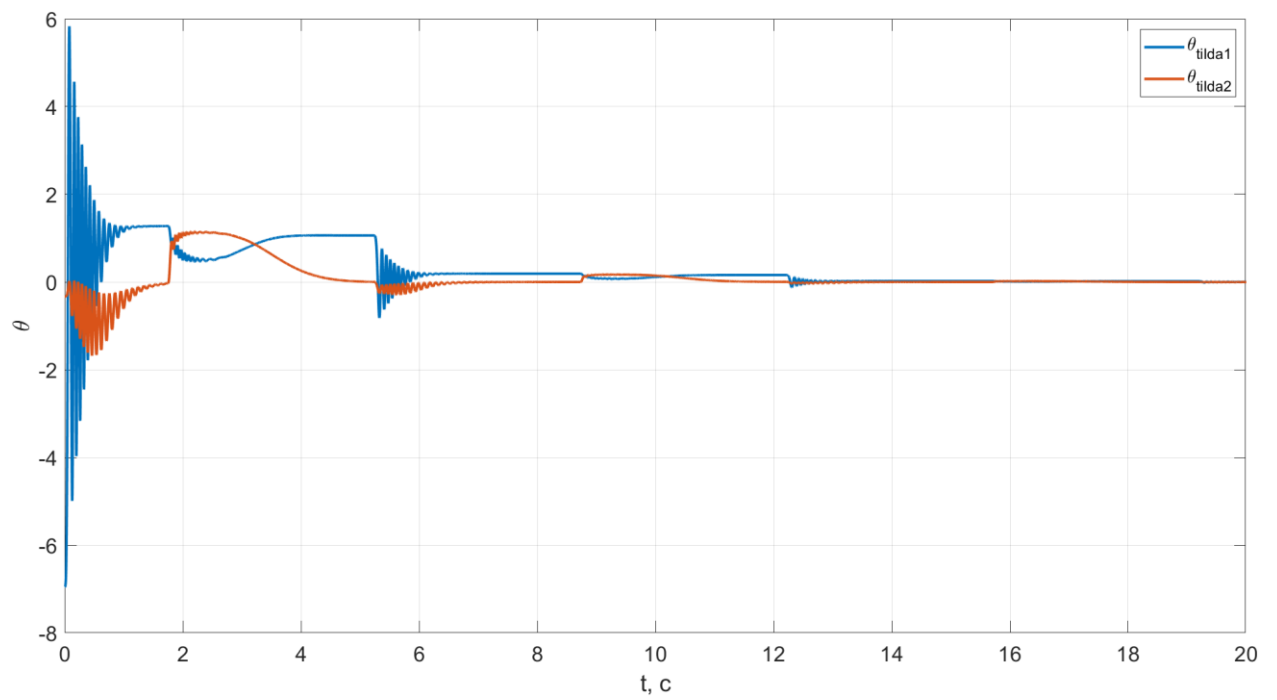


Рисунок 25. Графики параметрических ошибок.

4.2.3. Пусть $\gamma = 10$

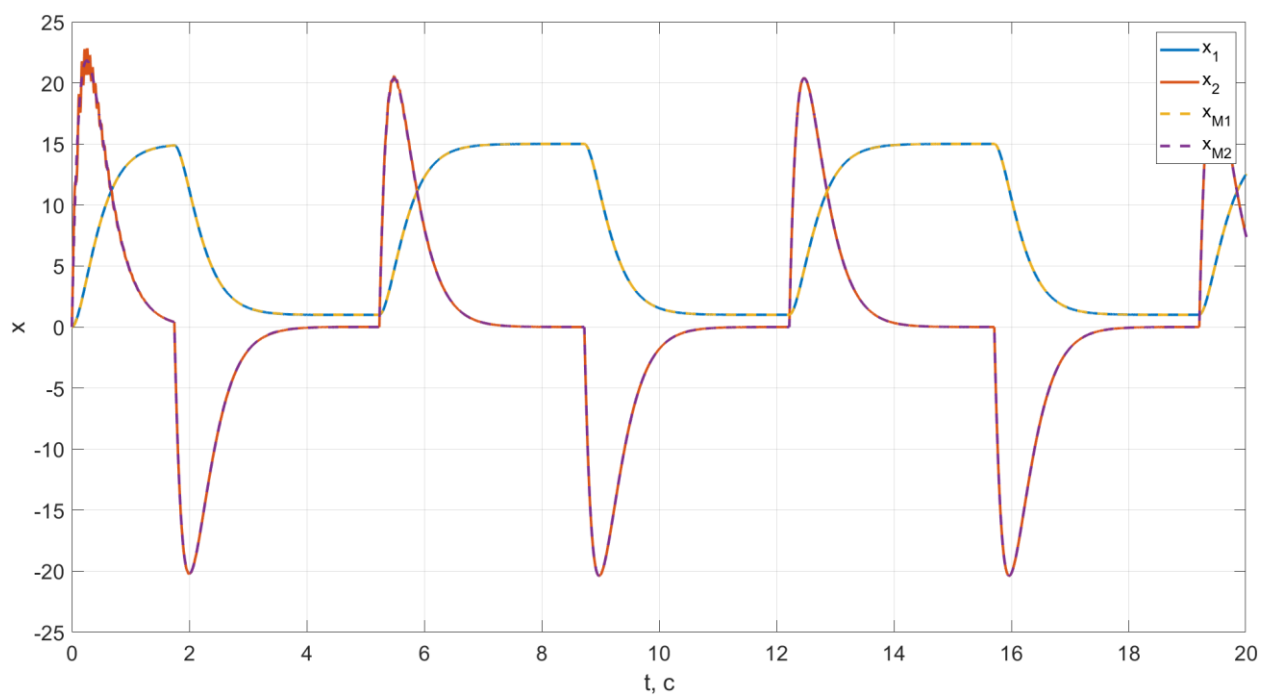


Рисунок 26. Графики переходных процессов.

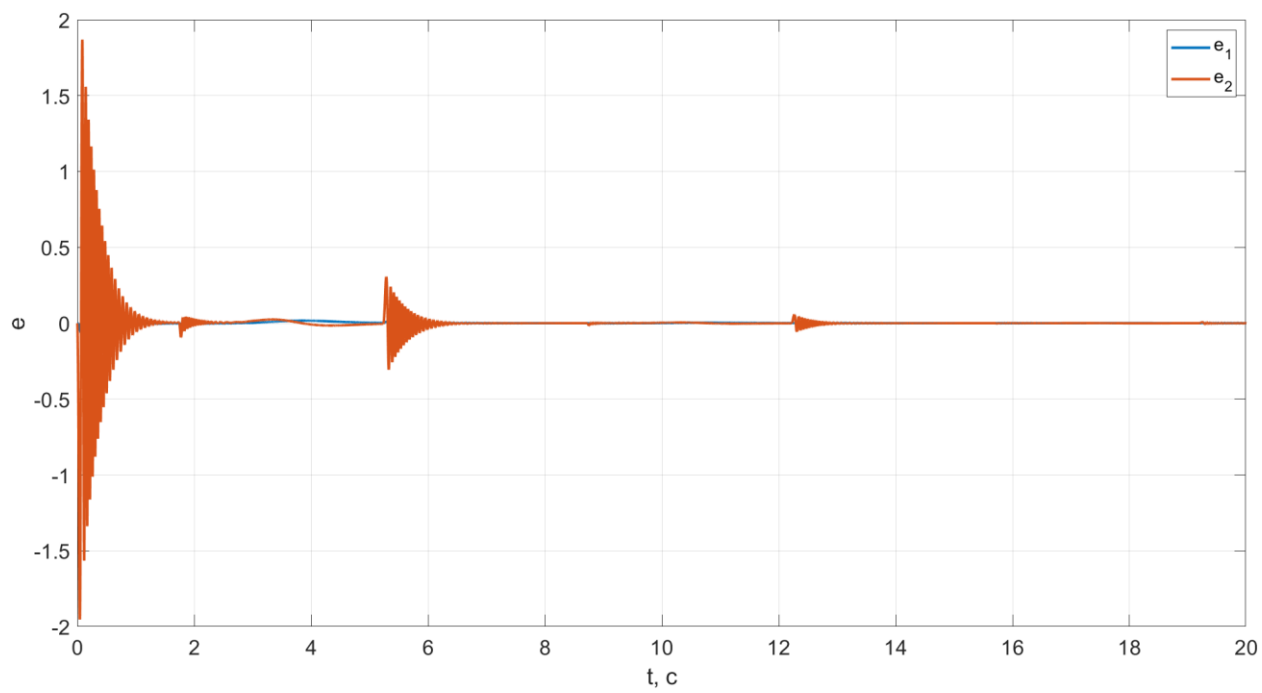


Рисунок 27. Графики ошибок вектора состояний.

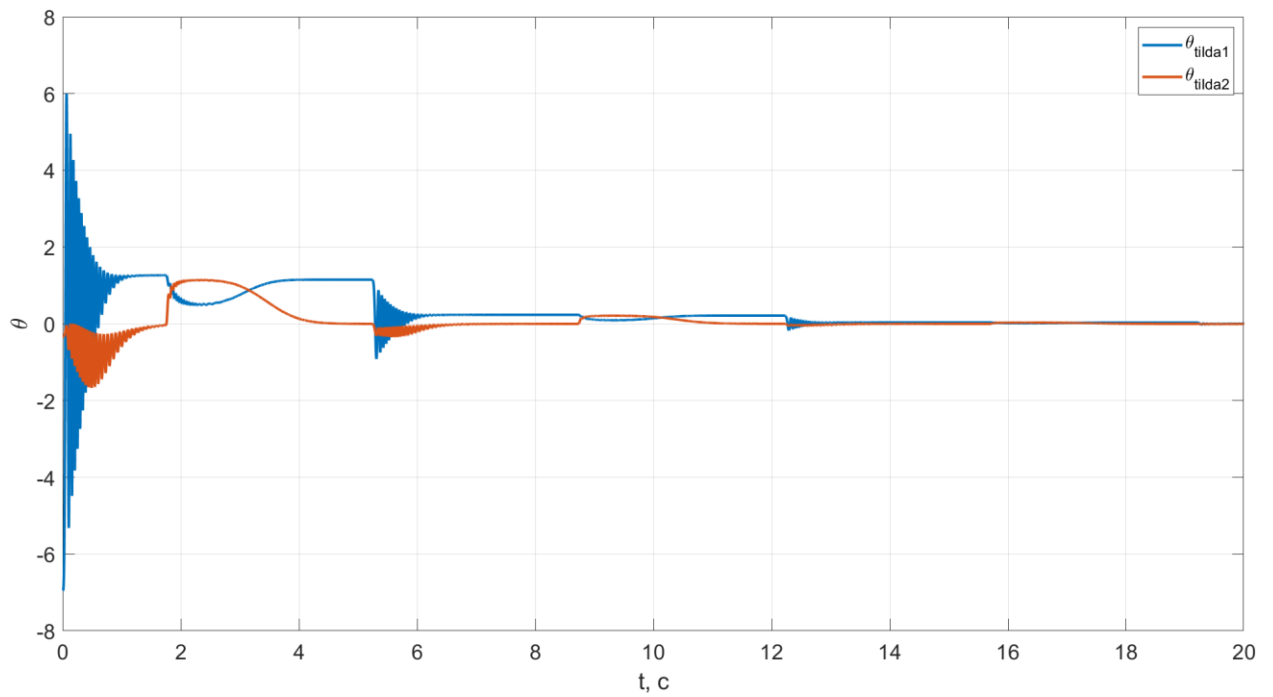


Рисунок 28. Графики параметрических ошибок.

При увеличении параметра адаптации γ усиливаются коэффициенты регулятора и объекту управления подаются большие управления, а следовательно, увеличивается скорость переходных процессов, однако колебательность системы повышается.

4.3. Эксперимент при $g(t) = 1$

4.3.1. $\gamma = 0.1$

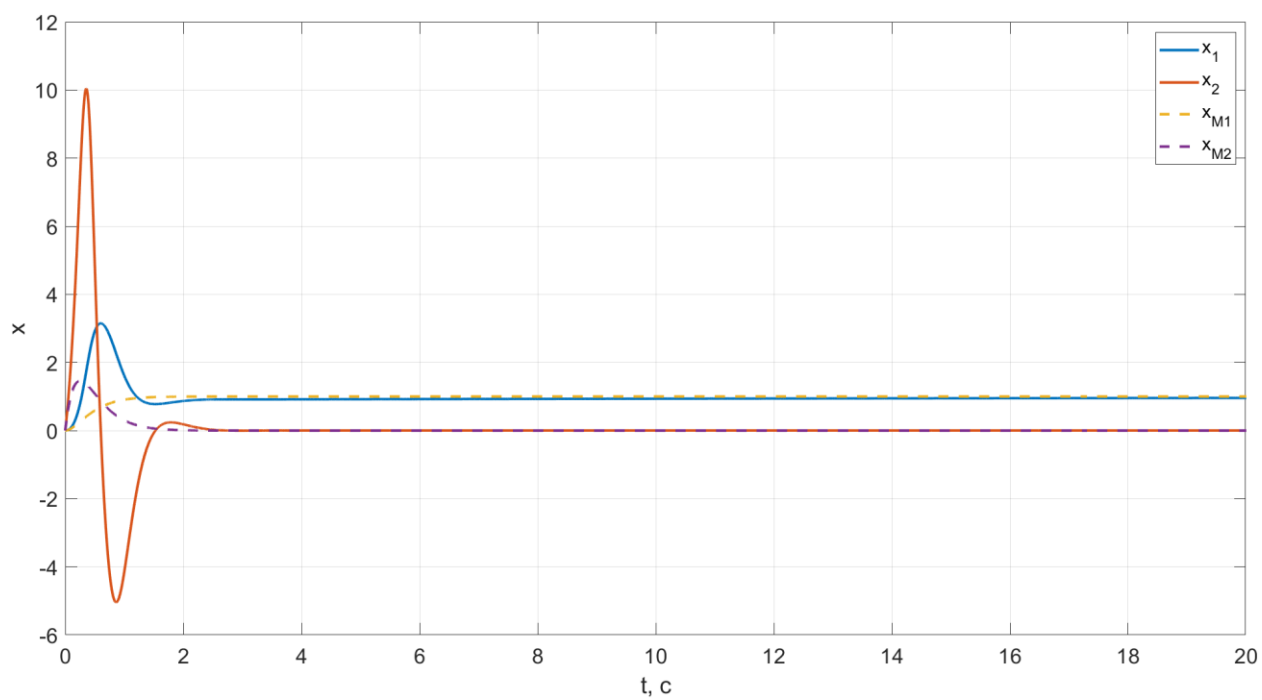


Рисунок 29. График переходных процессов.

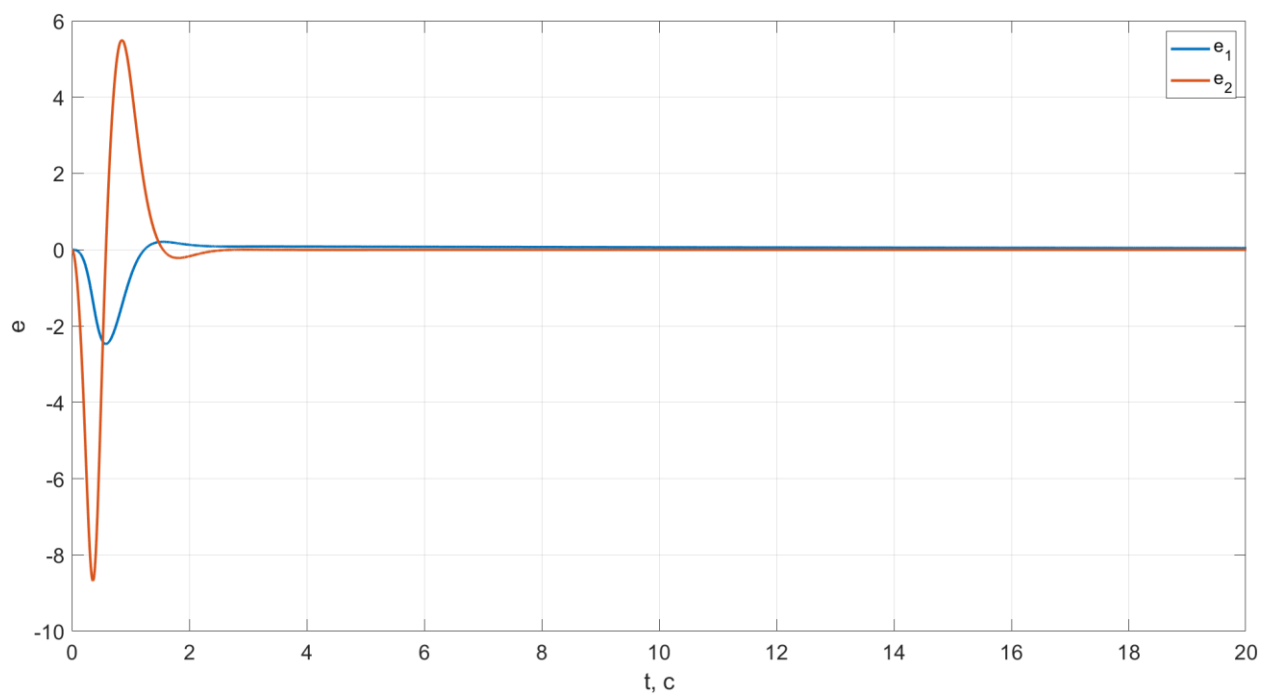


Рисунок 30. Графики ошибок вектора состояния.

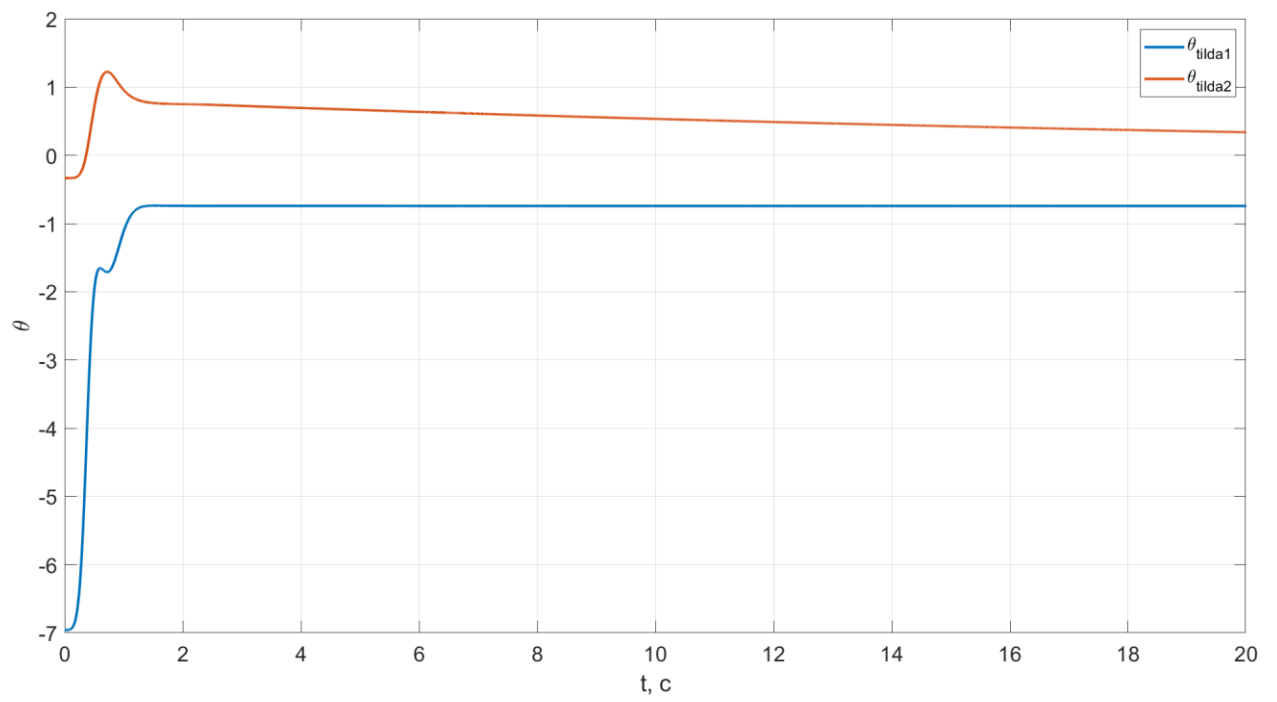


Рисунок 31. Графики параметрических ошибок.

4.3.2. $\gamma = 5$

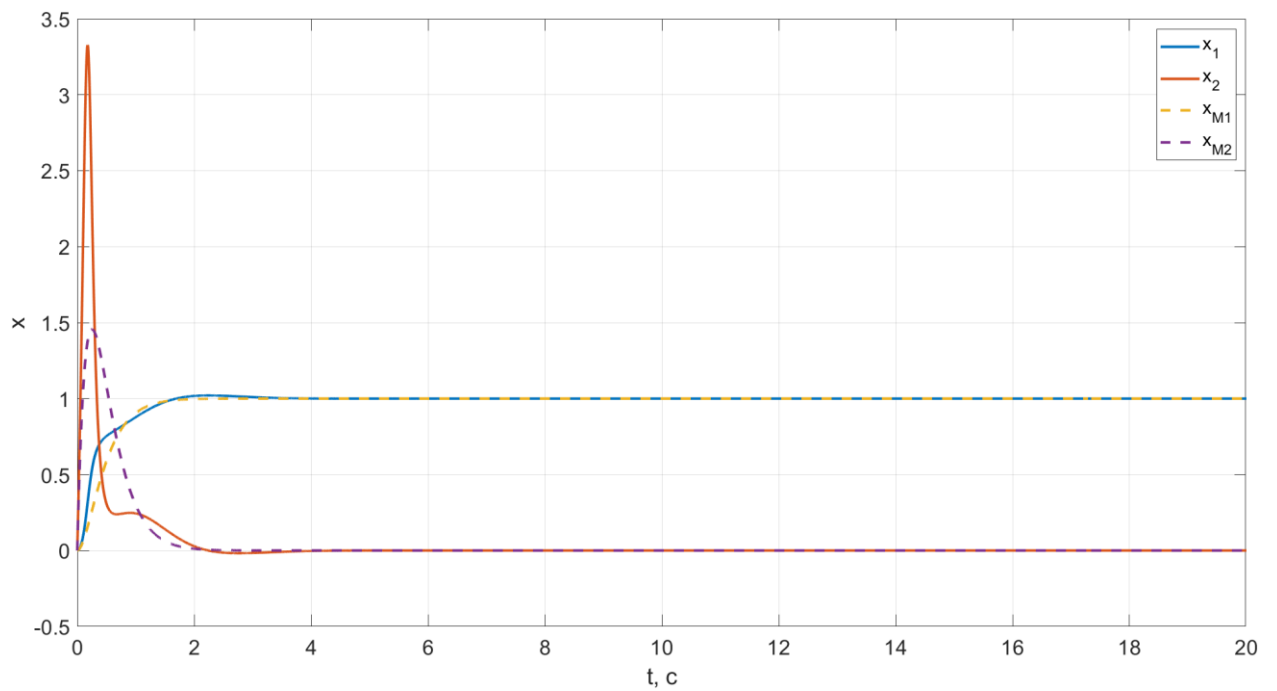


Рисунок 32. Графики переходных процессов.

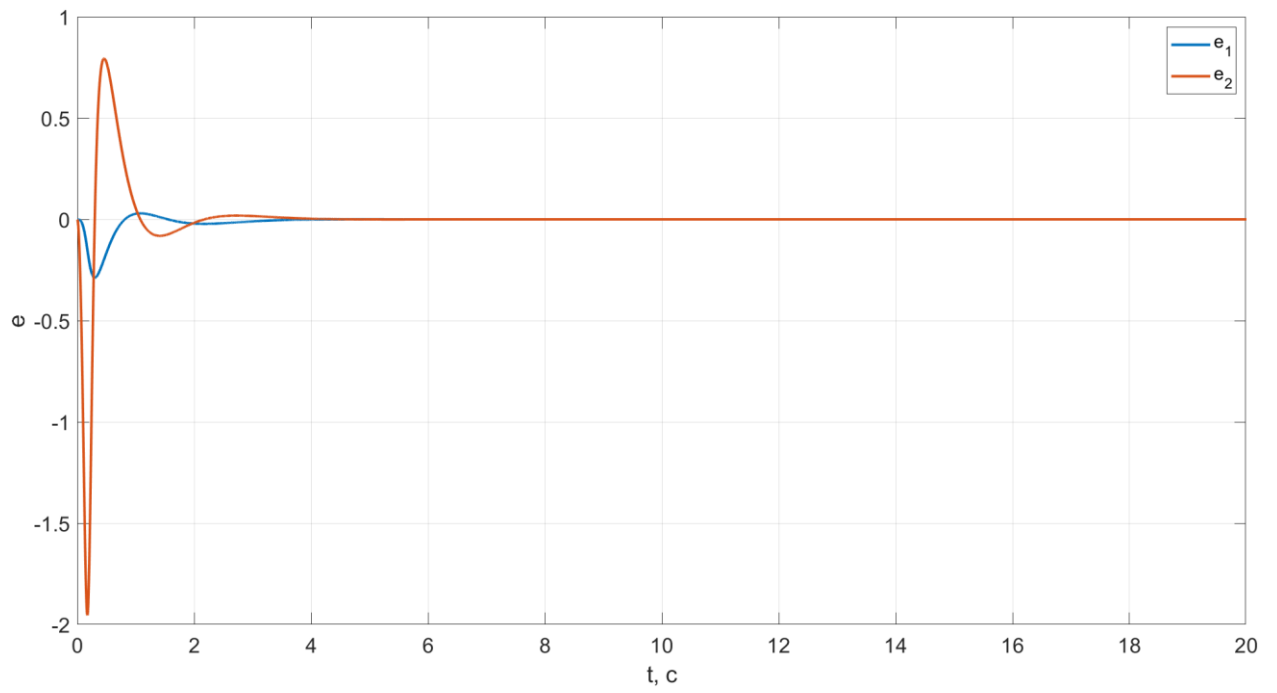


Рисунок 33. Графики ошибок вектора состояний.

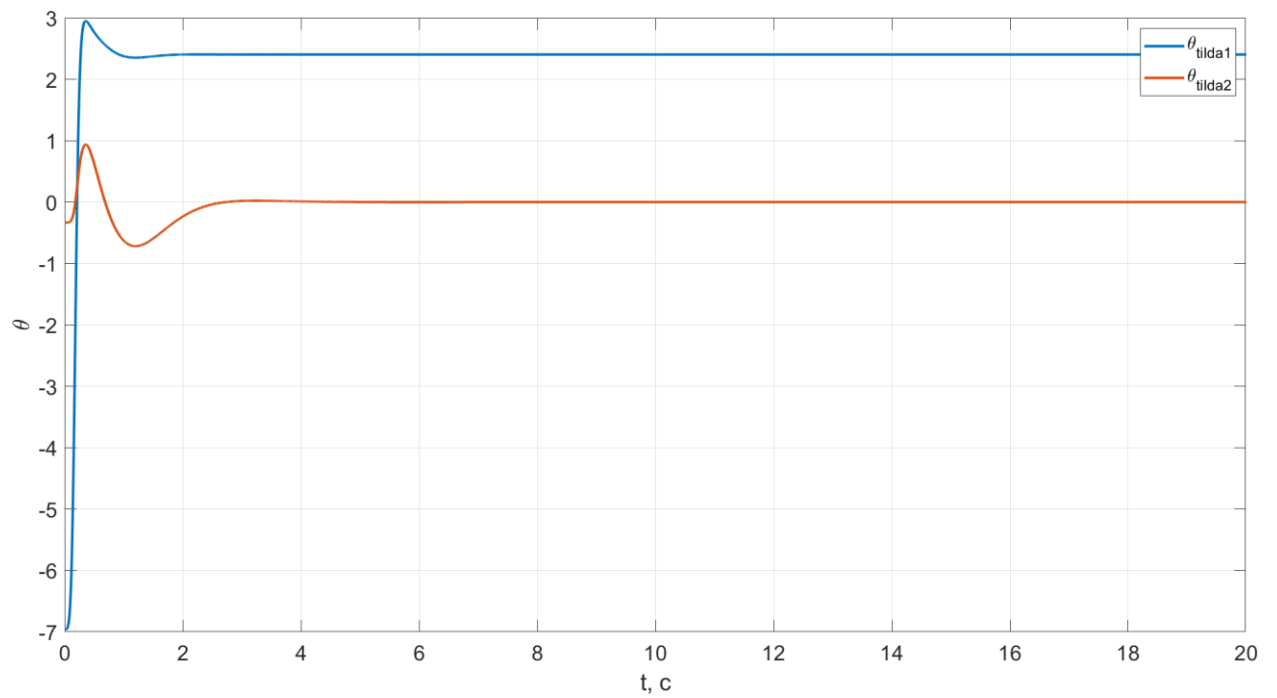


Рисунок 34. Графики параметрических ошибок.

4.3.3. $\gamma = 10$

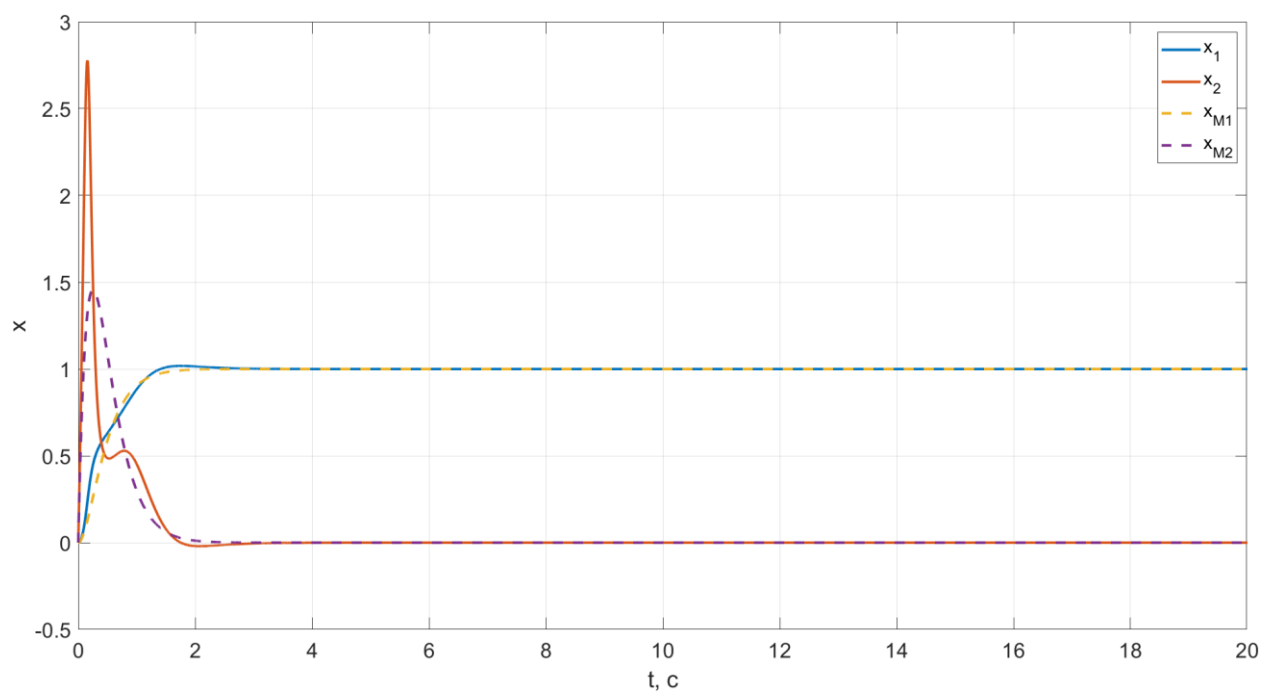


Рисунок 35. Графики переходных процессов.

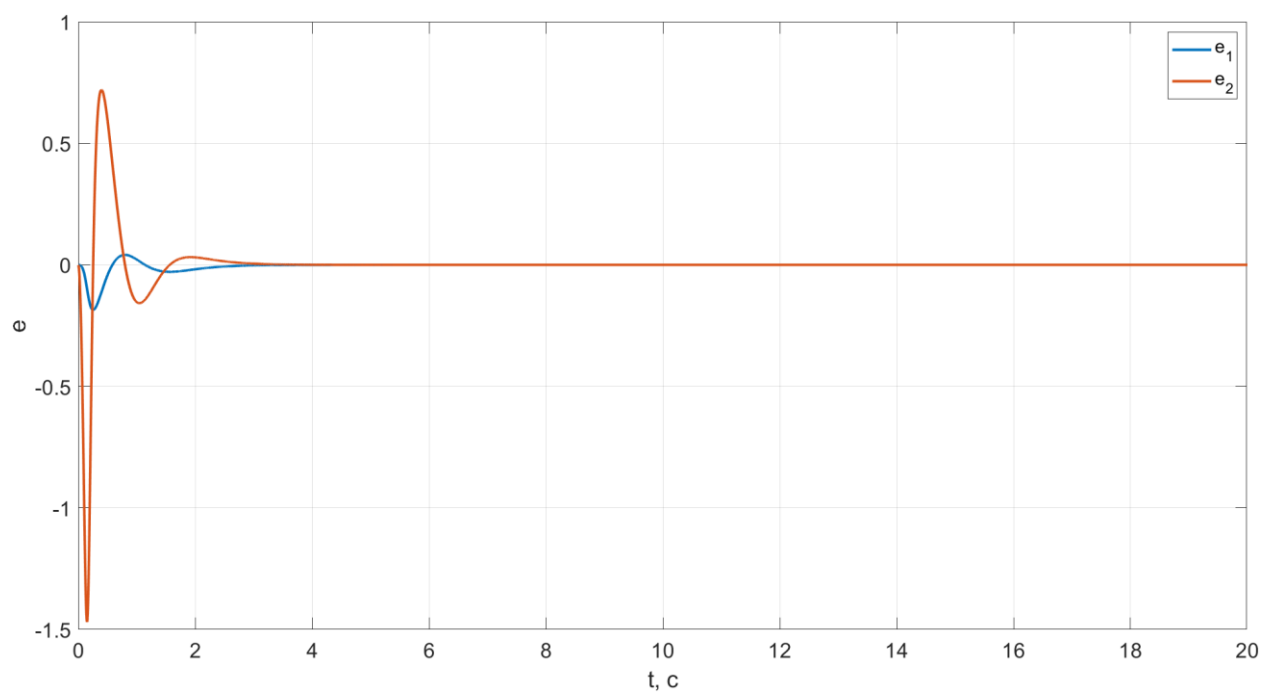


Рисунок 36. Графики ошибок вектора состояний.

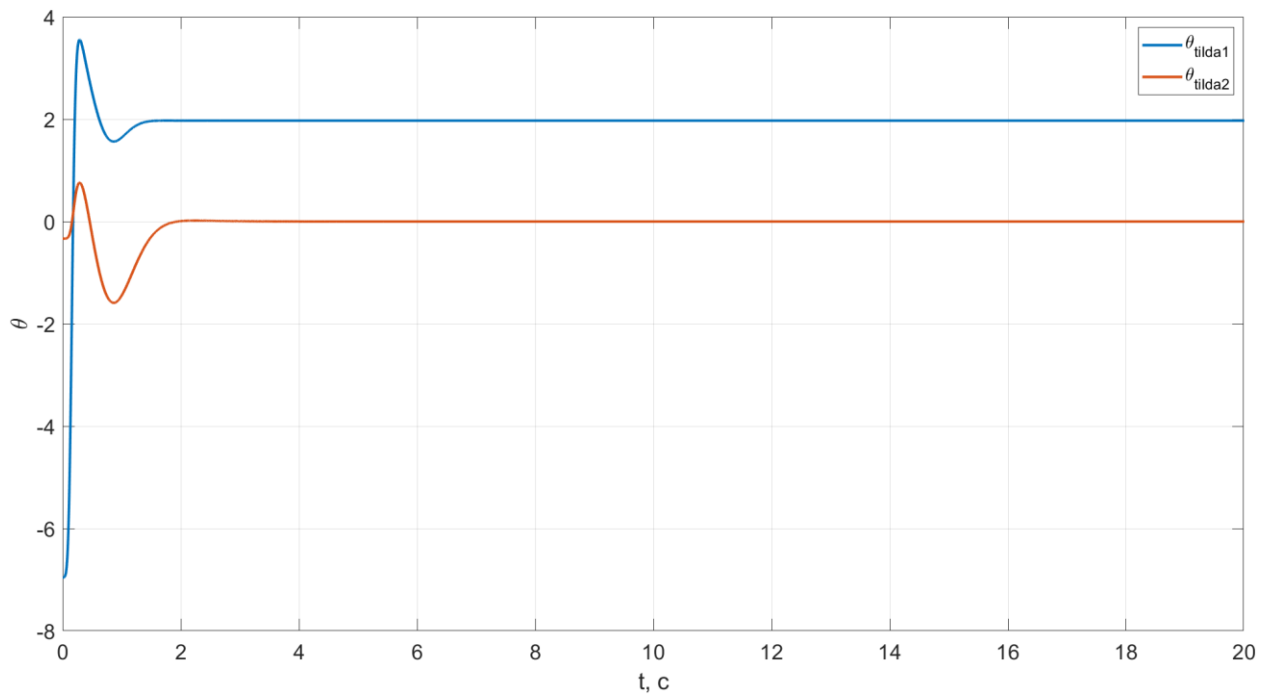


Рисунок 37. Графики параметрических ошибок.

В данном эксперименте наблюдаем, что сигнал $\hat{\theta}$ ограничен, но не сходится к нулю, так как вектор x не удовлетворяет условию неисчезающего возбуждения.

4. Выводы

В данной лабораторной работе были освоены принципы построения адаптивной системы управления многомерным объектом.

В начале работы была смоделирована эталонная модель, затем неадаптивный объект управления с эталонной моделью, которая следит за задающим воздействием и наконец адаптивная система. Для всех случаев были проанализированы графики переходных процессов, ошибки вектора состояний и параметрические ошибки. Также было изучено влияние коэффициентов объекта управления и коэффициента адаптации на управление объектом.