**Министерство образования и науки Российской Федерации**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4**

**по курсу «Адаптивное и робастное управление»**

**РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫМ МНОГОМЕРНЫМ ОБЪЕКТОМ ПО СОСТОЯНИЮ**

Вариант № 20

Авторы работы: Кирбаба Д.Д.,

Курчавый В.В.

Группа: R3438

Преподаватель: Парамонов А.В.

“7” ноября 2023 г.

Работа выполнена с оценкой \_\_\_

Дата защиты “\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_ 2023 г.

Санкт-Петербург

2023

СОДЕРЖАНИЕ

[1. Цель работы 3](#_Toc150453756)

[2. Постановка задачи 3](#_Toc150453757)

[3. Ход работы 4](#_Toc150453758)

[1. Исходные данные 4](#_Toc150453759)

[2. Эталонная модель 4](#_Toc150453760)

[3. Закон нелинейного робастного управления 5](#_Toc150453761)

[3.1. Схема моделирования 5](#_Toc150453762)

[3.2. Исследование при отсутствии внешнего возмущения 6](#_Toc150453763)

[3.3. Исследование при наличии внешнего возмущения 10](#_Toc150453764)

[4. Выводы 27](#_Toc150453765)

# Цель работы

Освоение принципов построения робастной системы управления многомерным объектом на основе метода функций Ляпунова.

# Постановка задачи

Дан возмущенный объект

где вектор возмущающих воздействий, удовлетворяющий неравенству , – вектор состояния, – управление, – регулируемая переменная,

*–* неизвестные параметры, – известный коэффициент.

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

где – точность работы системы управления и время её настройки соответственно, – вектор, генерируемый эталонной моделью

с задающим воздействием и матрицами

Параметры эталонной модели строятся на основе метода стандартных характеристических полиномов для обеспечения желаемого качества воспроизведения задающего воздействия

Отметим, что в задаче имеет место следующее допущение.

Для некоторого – мерного вектора и скаляра матрицы связаны соотношениями

# Ход работы

## Исходные данные

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Матрица** | **Коэффициент передачи** | **Время переходного процесса** |
|  |  |  |
|  | | |
| **Максимальное перерегулирование** | **Сигнал задания** | **Сигнал возмущения** |
|  |  |  |

Таблица 1. Исходные данные (20 вариант).

## Эталонная модель

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

Пусть ед. от установившейся величины, тогда и

Тогда матрицы эталонной модели:

A computer screen shot of a computer screen

Description automatically generated

Рисунок 1. Схема моделирования эталонной модели.

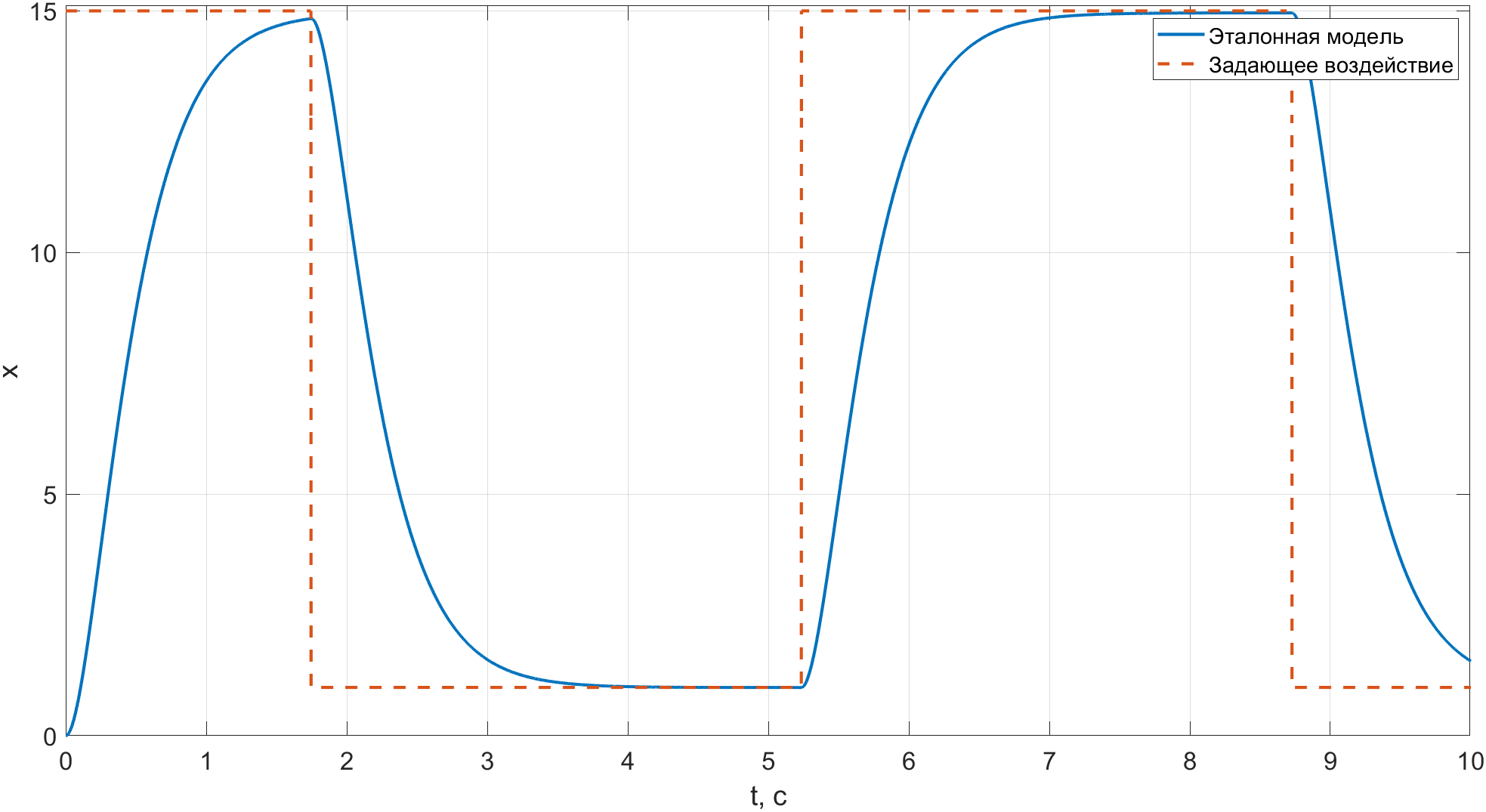


Рисунок 2. Графики задающего воздействия и переходного процесса эталонной модели.

Как видно, перерегулирование и время переходного процесса примерно равно с (примерно, так как при расчете параметров модели мы ставили точность ед. от установившейся величины).

## Закон нелинейного робастного управления

### Схема моделирования

Алгоритм нелинейного робастного управления:

A computer screen shot of a diagram

Description automatically generatedгде коэффициент нелинейной обратной связи, симметричная матрица, из уравнения Ляпунова:

Рисунок 3. Схема моделирования системы с нелинейным робастным управлением.

### Исследование при отсутствии внешнего возмущения

Проведем эксперименты с данной системой при . Будем рассматривать 3 случая с различными коэффициентами нелинейности обратной связи

A graph with colorful lines

Description automatically generated

Рисунок 4. Графики векторов состояний реального объекта и эталонной модели системы с нелинейным робастным законом управления при

A graph with red and blue lines

Description automatically generated

Рисунок 5. Графики компонент вектора ошибок системы с нелинейным робастным законом управления при

A graph of a graph

Description automatically generated with medium confidence

Рисунок 6. Графики векторов состояний реального объекта и эталонной модели системы с нелинейным робастным законом управления при

A graph with red and blue lines

Description automatically generated

Рисунок 7. Графики компонент вектора ошибок системы с нелинейным робастным законом управления при

A graph of a graph

Description automatically generated

Рисунок 8. Графики векторов состояний реального объекта и эталонной модели системы с нелинейным робастным законом управления при

A graph of a graph

Description automatically generated with medium confidence

Рисунок 9. Графики компонент вектора ошибок системы с нелинейным робастным законом управления при

Итого, по данным графикам можем наблюдать, что при нелинейном робастном законе управления без внешнего возмущения имеем ограниченные сигналы в системе, норма вектора ошибки стремится к некоторой окрестности, радиус которой уменьшается до некоторого предельного значения с увеличением

### Исследование при наличии внешнего возмущения

Теперь промоделирует те же случаи, но уже с некоторым ограниченным внешним возмущением

A graph of a graph

Description automatically generated with medium confidence

Рисунок 10. График внешнего возмущения.

A graph of a graph

Description automatically generated

Рисунок 11. Графики векторов состояний реального объекта и эталонной модели системы с нелинейным робастным законом управления при

A graph of a graph

Description automatically generated with medium confidence

Рисунок 12. Графики компонент вектора ошибок системы с нелинейным робастным законом управления при

A graph of a graph

Description automatically generated with medium confidence

Рисунок 13. Графики векторов состояний реального объекта и эталонной модели системы с нелинейным робастным законом управления при

A graph with red and blue lines

Description automatically generated

Рисунок 14. Графики компонент вектора ошибок системы с нелинейным робастным законом управления при

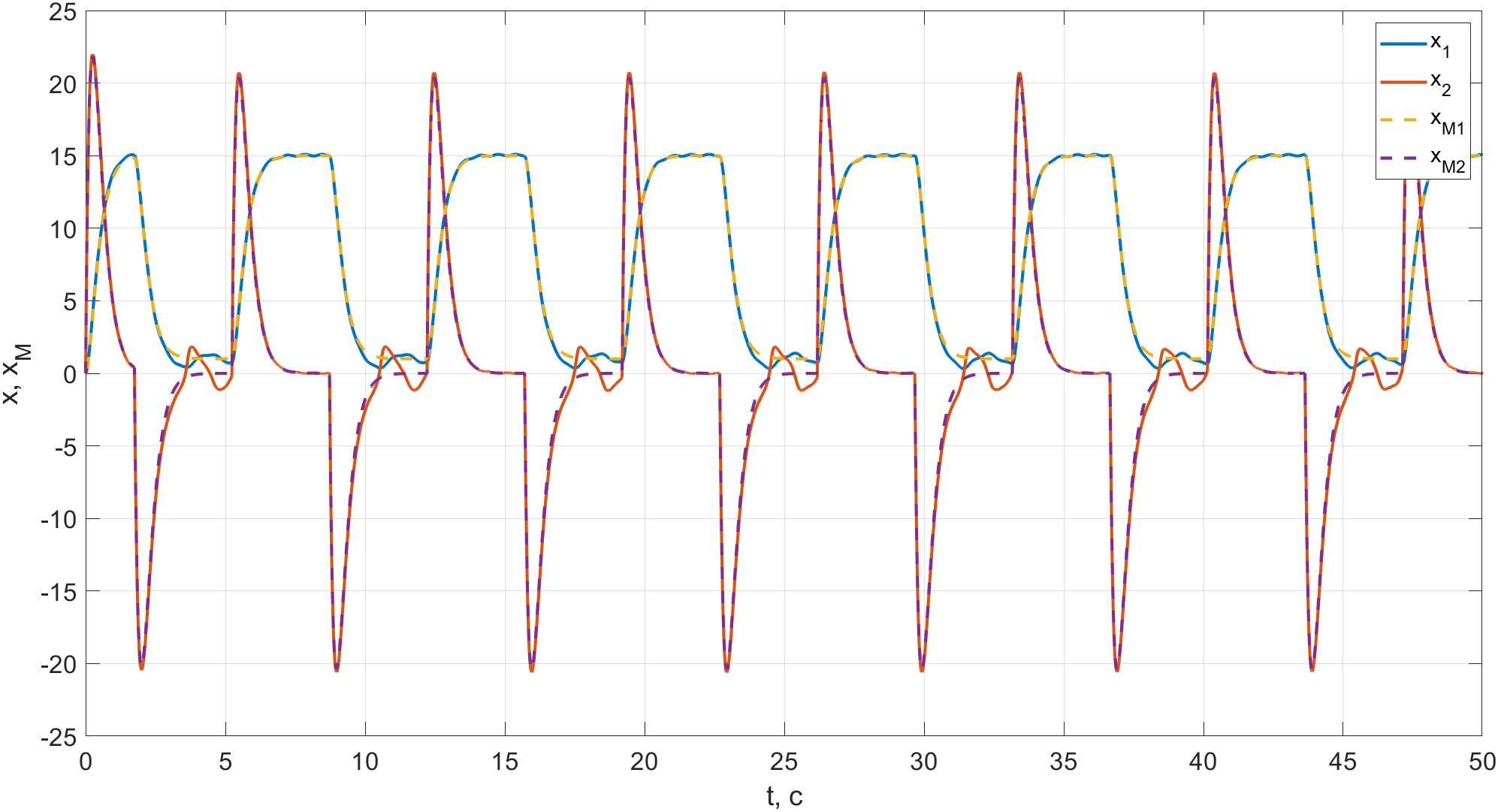


Рисунок 15. Графики векторов состояний реального объекта и эталонной модели системы с нелинейным робастным законом управления при

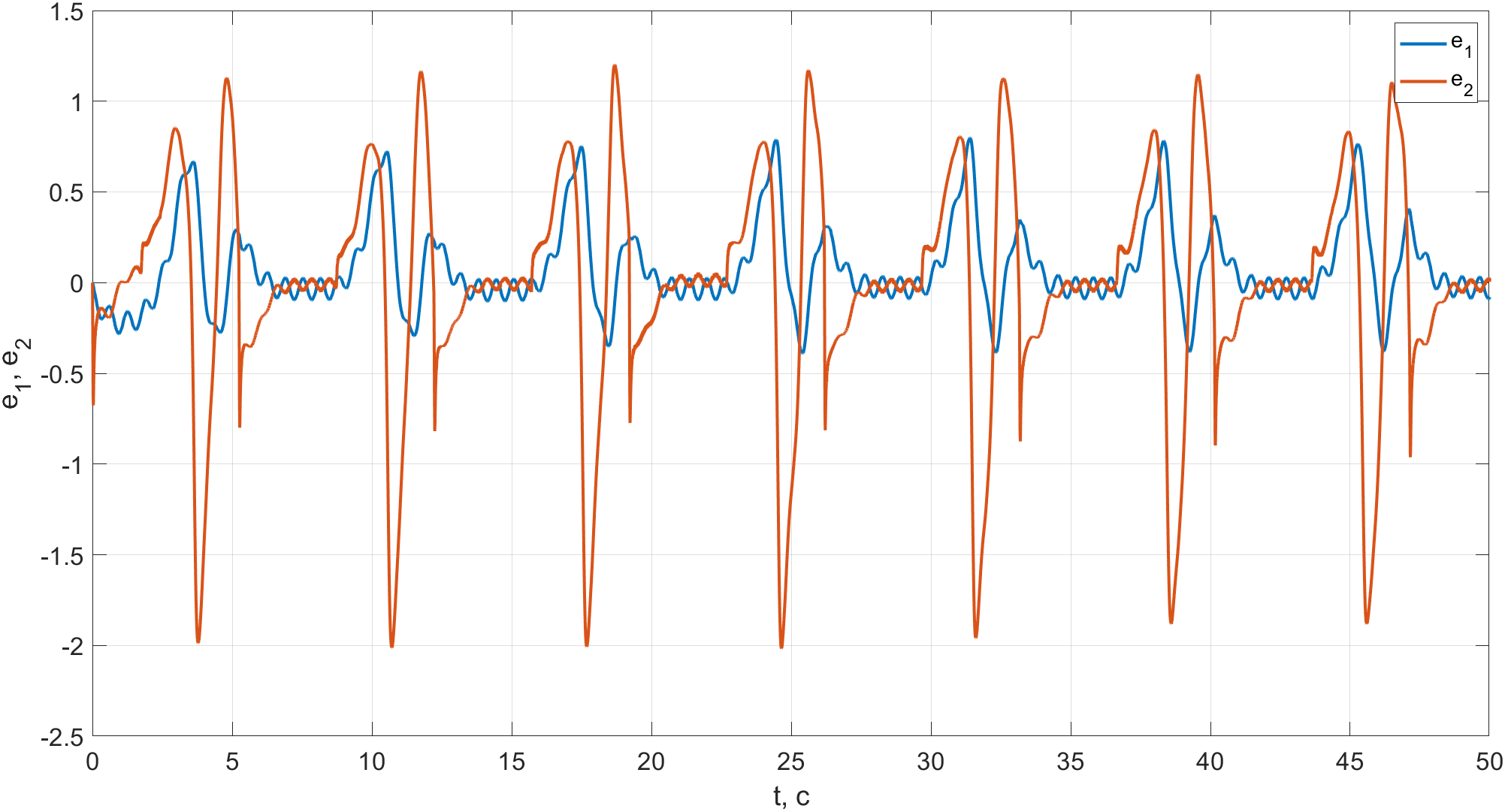


Рисунок 16. Графики компонент вектора ошибок системы с нелинейным робастным законом управления при

Выводу по поведению системы при наличии внешних возмущений аналогичные с теми, когда они отсутствовали. Единственное различие – сигналы больше колеблются, однако всё равно ограничены.

## Закон адаптивного и робастного управления

Применим следующий алгоритм адаптации:

где коэффициент параметрической обратной связи, коэффициент адаптации.

Настраиваемый регулятор:

### A computer screen shot of a computer program Description automatically generatedСхема моделирования

Рисунок 17. Схема моделирования системы с адаптивным и робастным управлением.

Для исследования данной системы проведем эксперименты с двумя различными , двумя различными при наличии и отсутствия внешнего возмущения

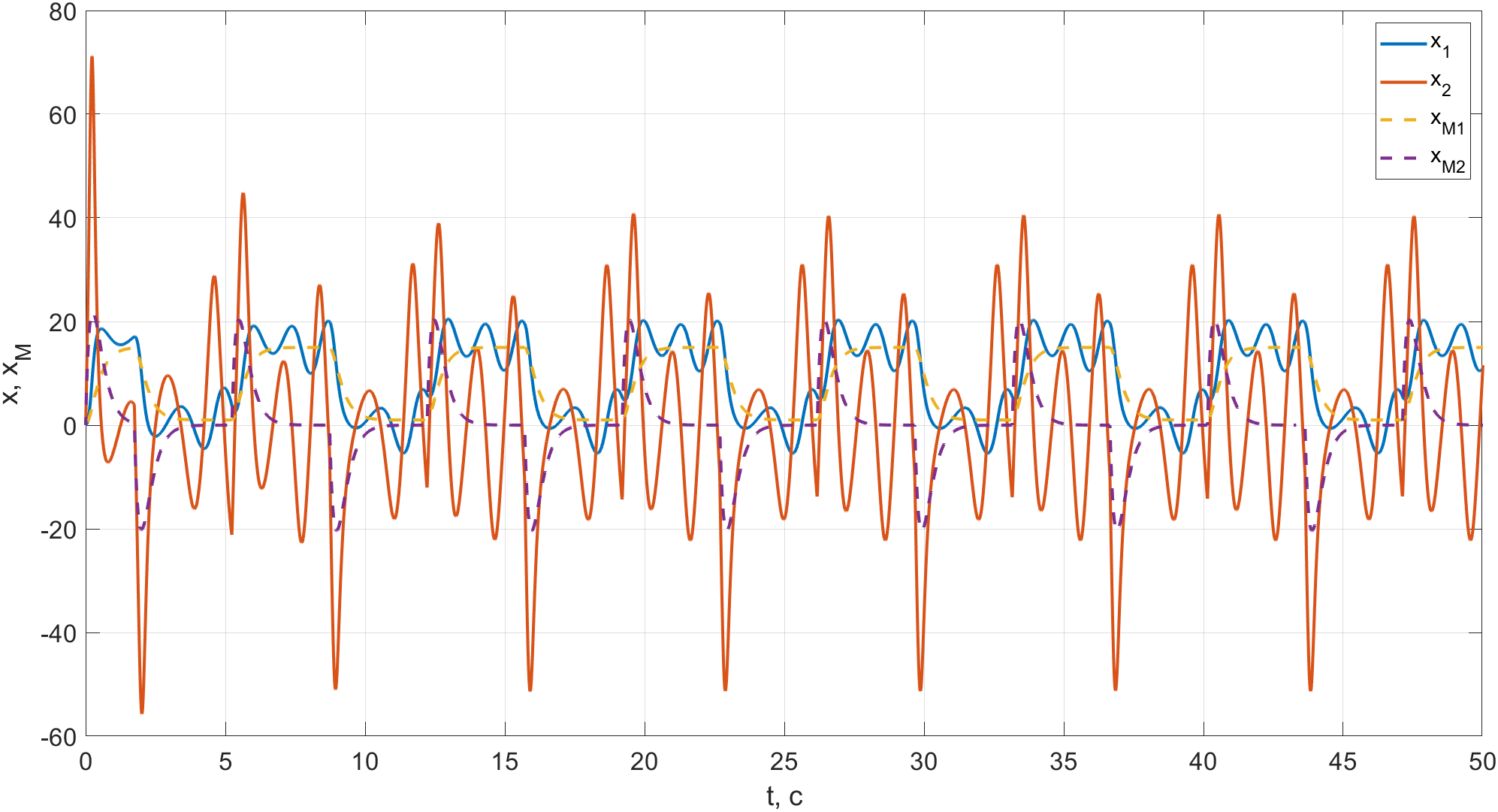


Рисунок 18. Графики векторов состояний реального объекта и эталонной модели системы с адаптивным и робастным законом управления при

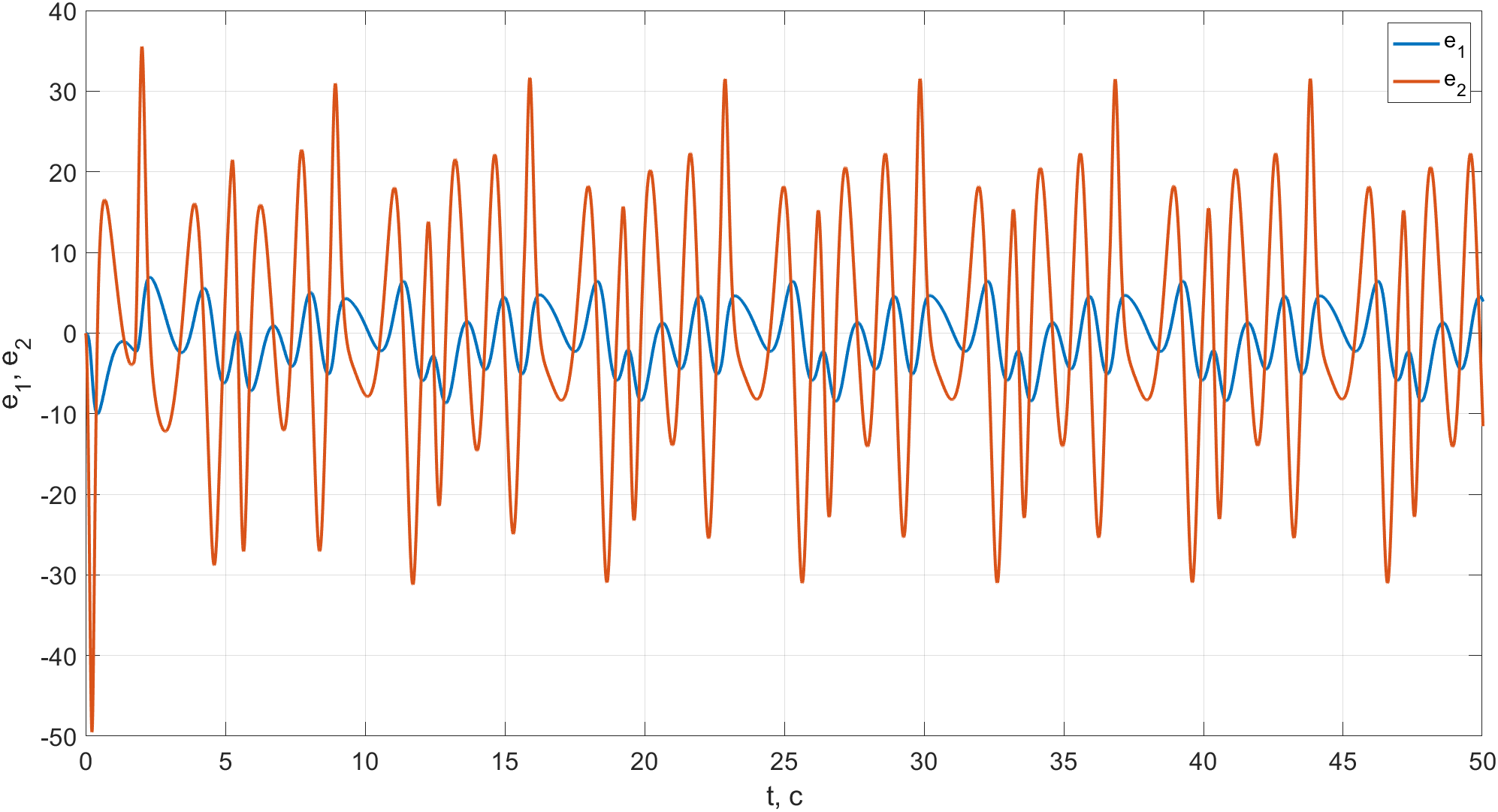


Рисунок 19. Графики компонент вектора ошибок системы с адаптивным и робастным законом управления при

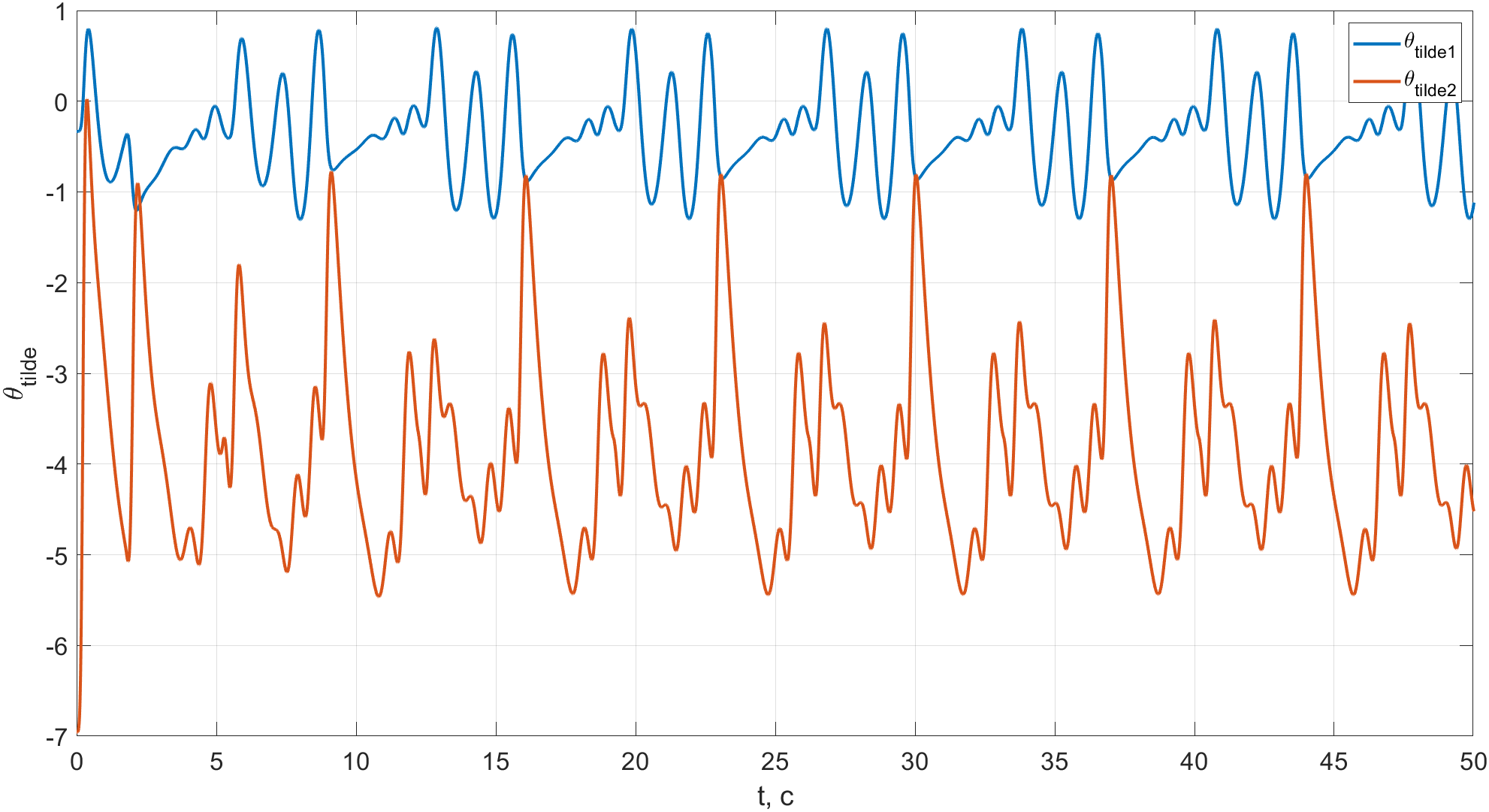


Рисунок 20. Графики компонент параметрической ошибки системы с адаптивным и робастным законом управления при

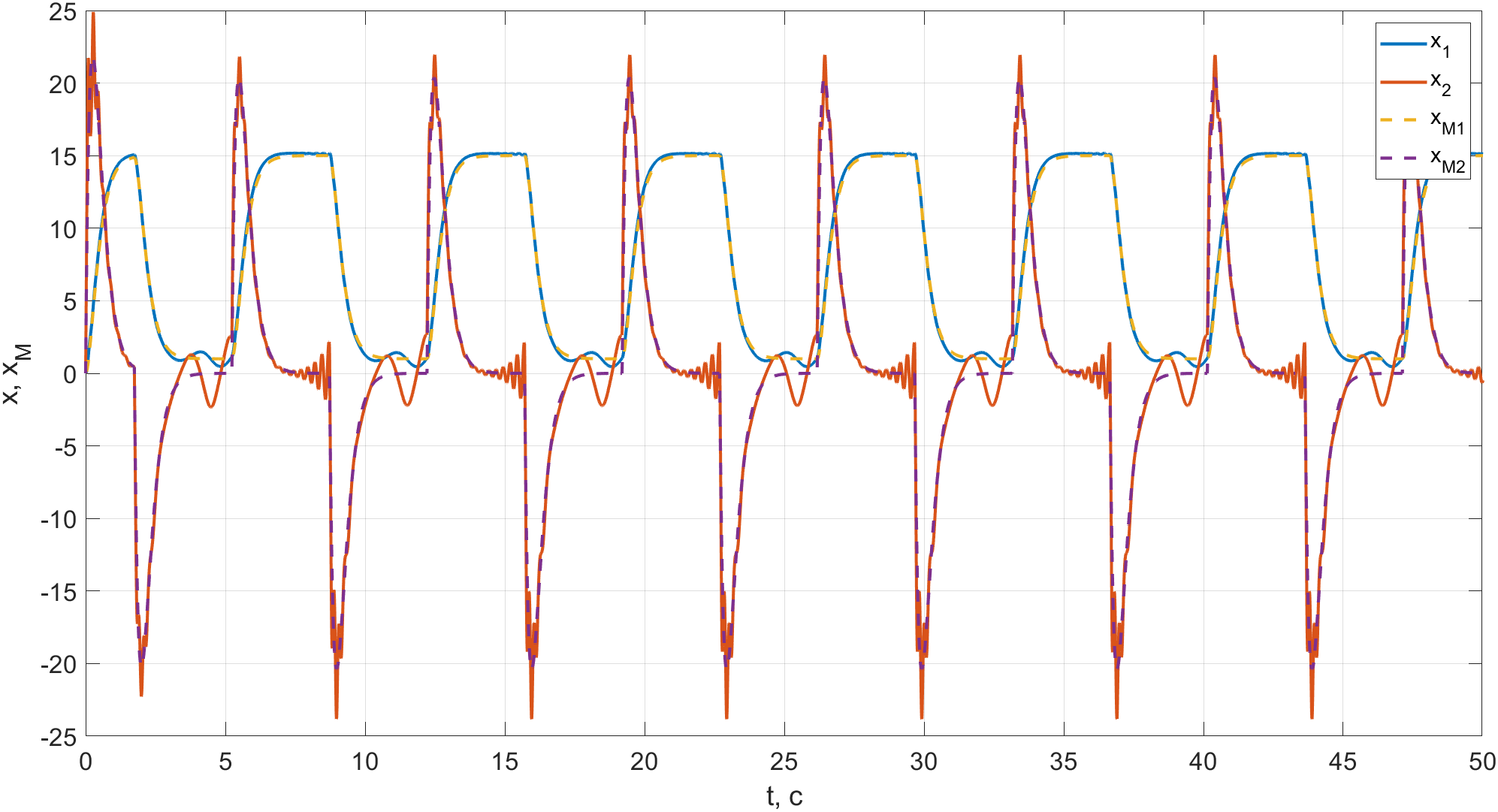


Рисунок 21. Графики векторов состояний реального объекта и эталонной модели системы с адаптивным и робастным законом управления при

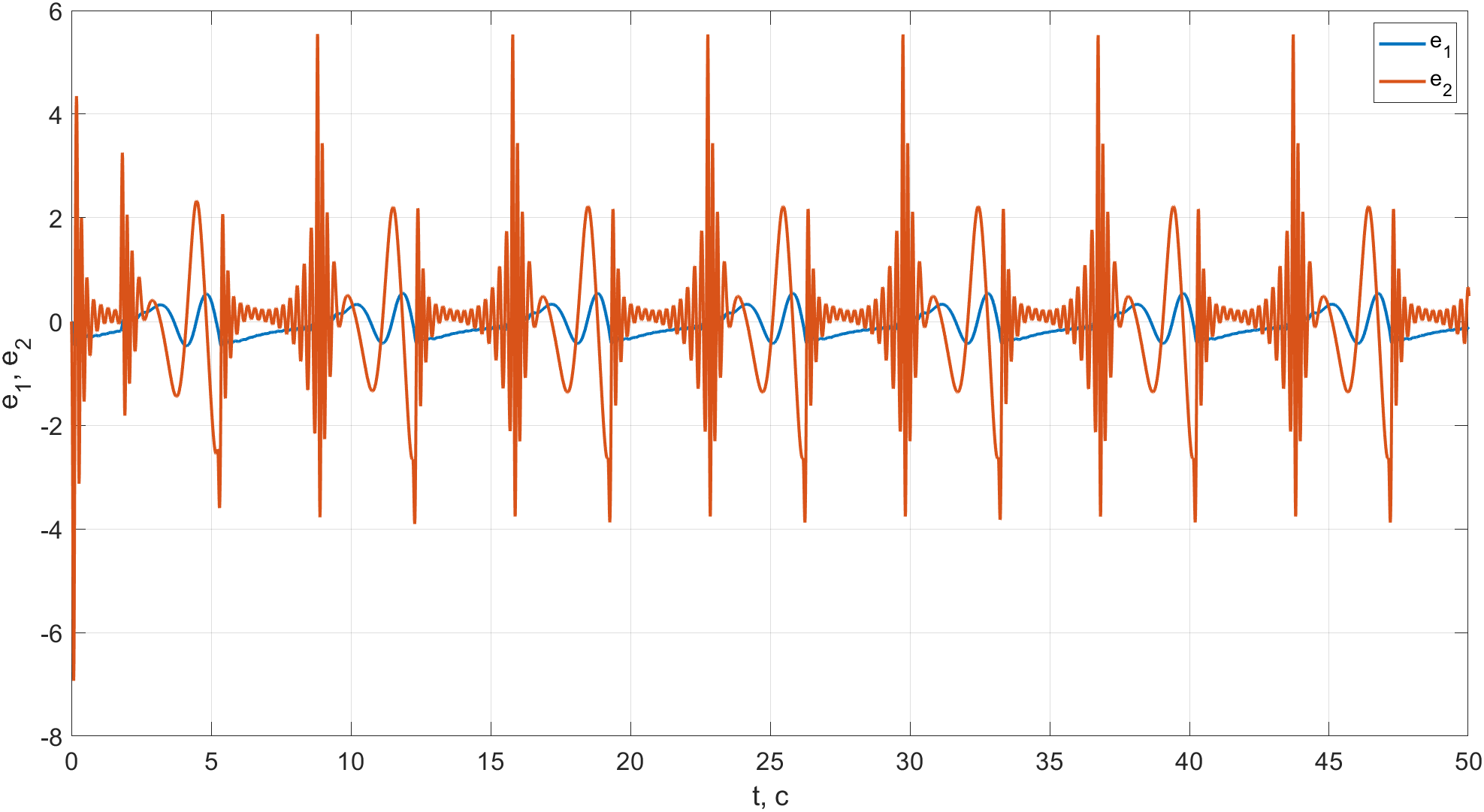


Рисунок 22. Графики компонент вектора ошибок системы с адаптивным и робастным законом управления при

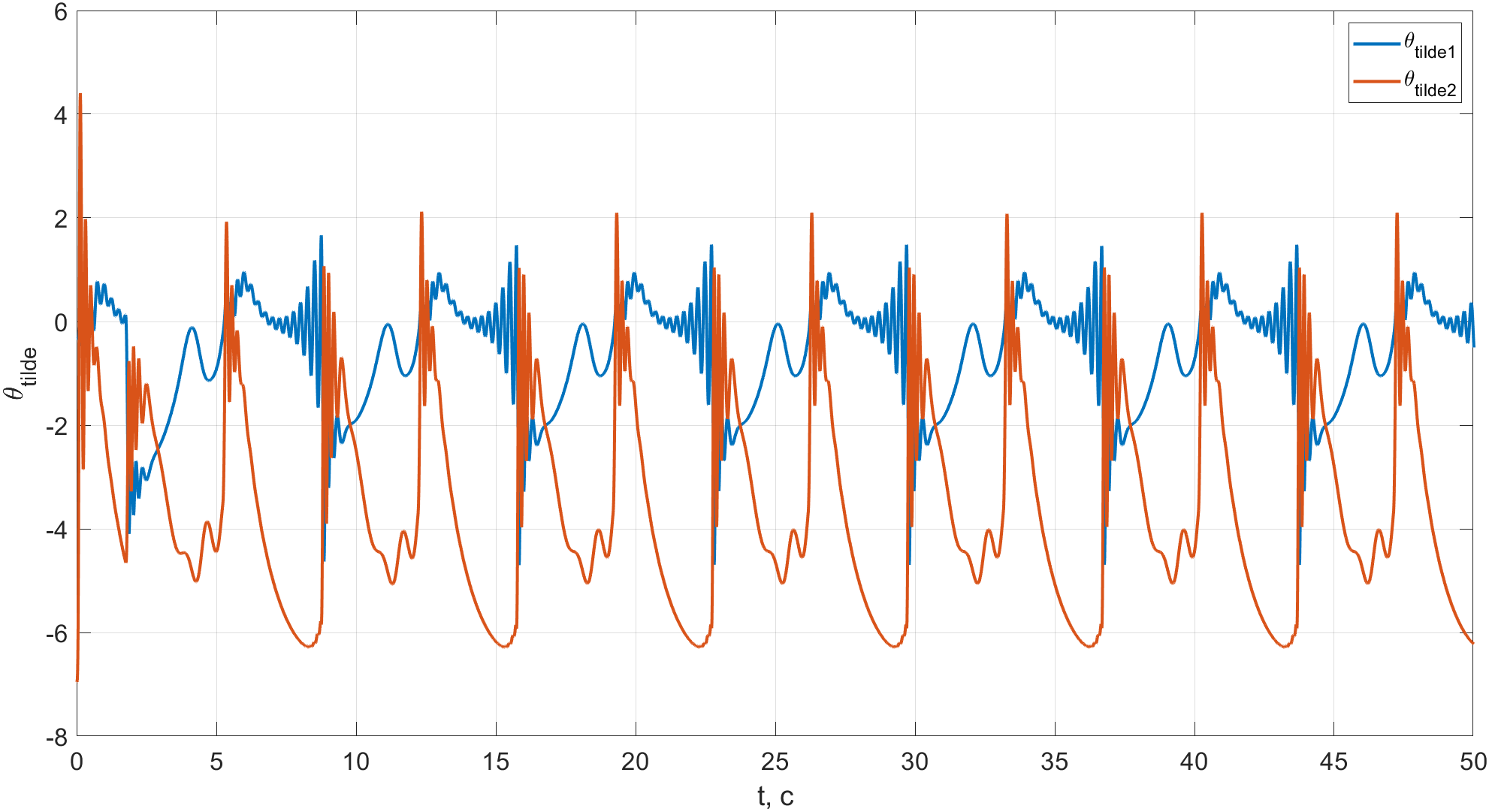


Рисунок 23. Графики компонент параметрической ошибки системы с адаптивным и робастным законом управления при

A graph showing a graph of a graph

Description automatically generated with medium confidence

Рисунок 24. Графики векторов состояний реального объекта и эталонной модели системы с адаптивным и робастным законом управления при

A graph with red and blue lines

Description automatically generated

Рисунок 25. Графики компонент вектора ошибок системы с адаптивным и робастным законом управления при

A graph of red and blue lines

Description automatically generated

Рисунок 26. Графики компонент параметрической ошибки системы с адаптивным и робастным законом управления при

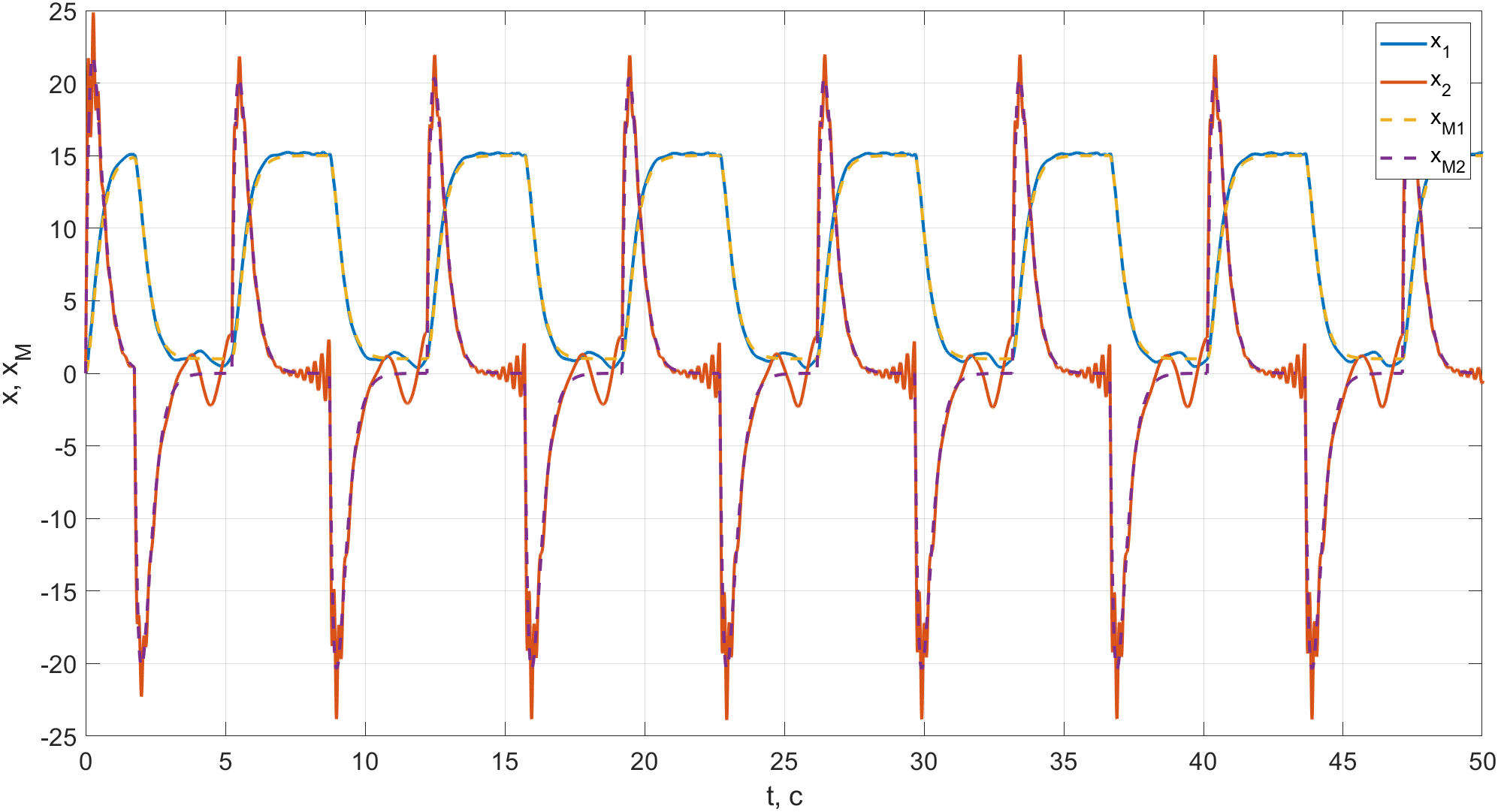


Рисунок 27. Графики векторов состояний реального объекта и эталонной модели системы с адаптивным и робастным законом управления при

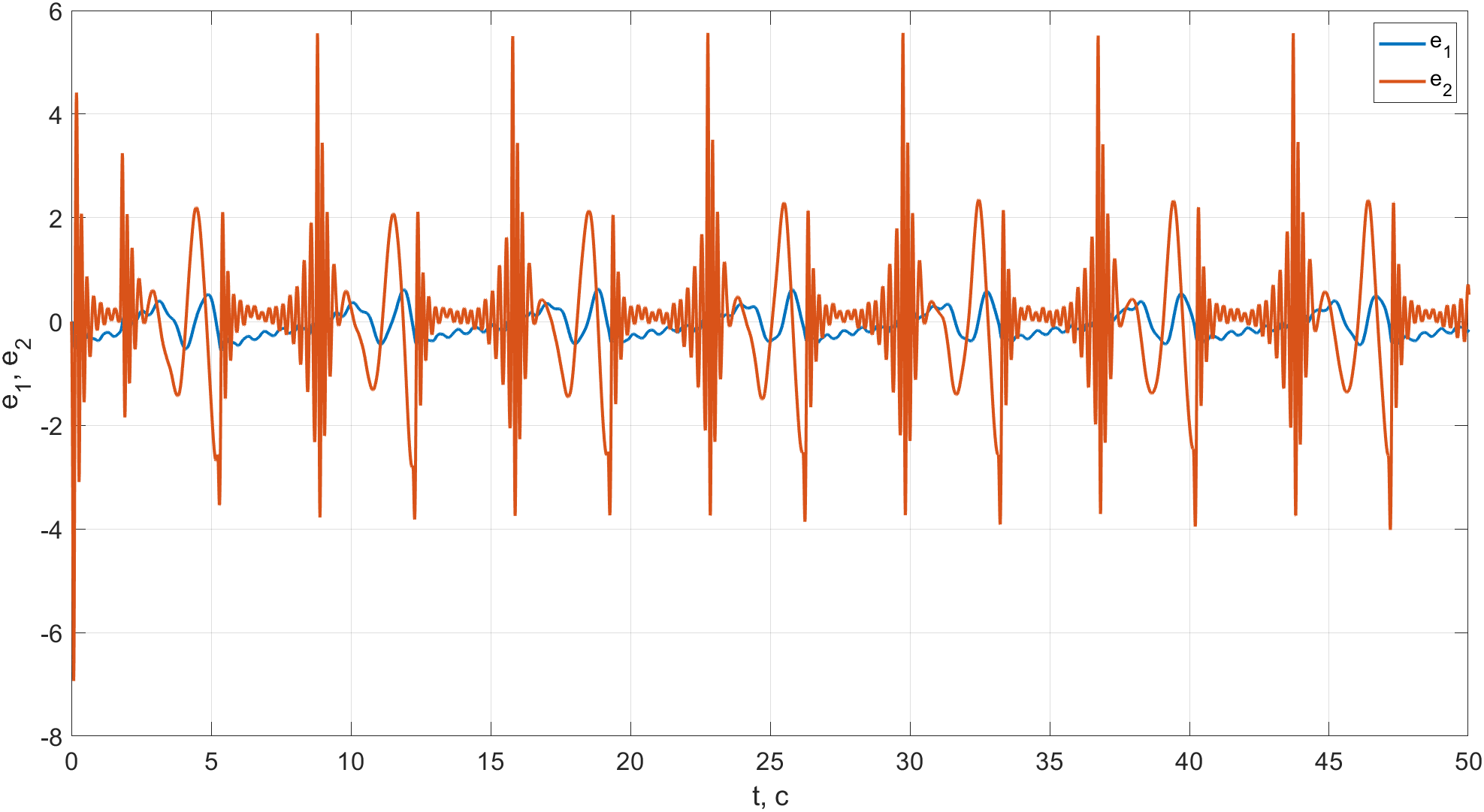


Рисунок 28. Графики компонент вектора ошибок системы с адаптивным и робастным законом управления при



Рисунок 29. Графики компонент параметрической ошибки системы с адаптивным и робастным законом управления при

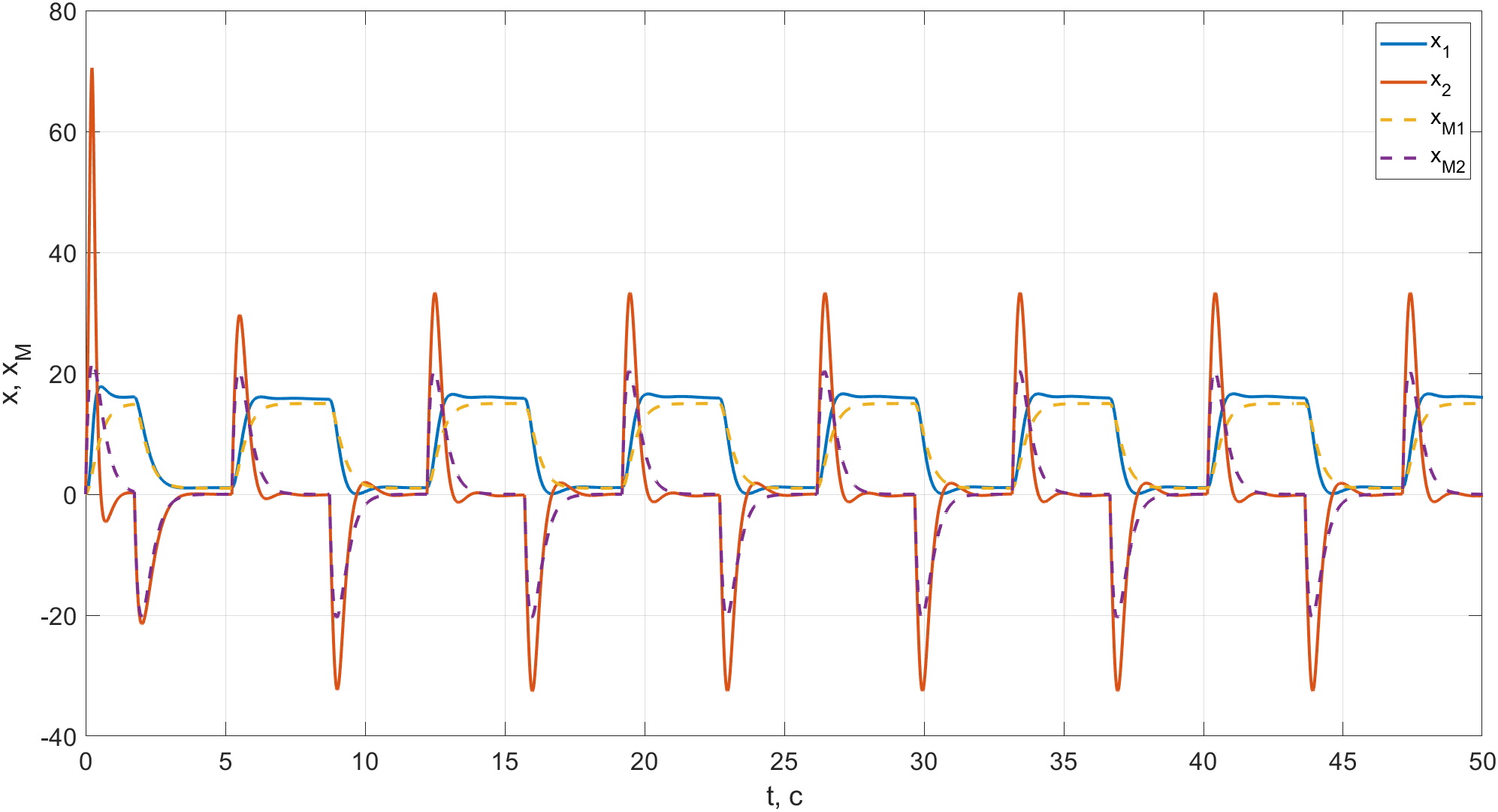


Рисунок 30. Графики векторов состояний реального объекта и эталонной модели системы с адаптивным и робастным законом управления при

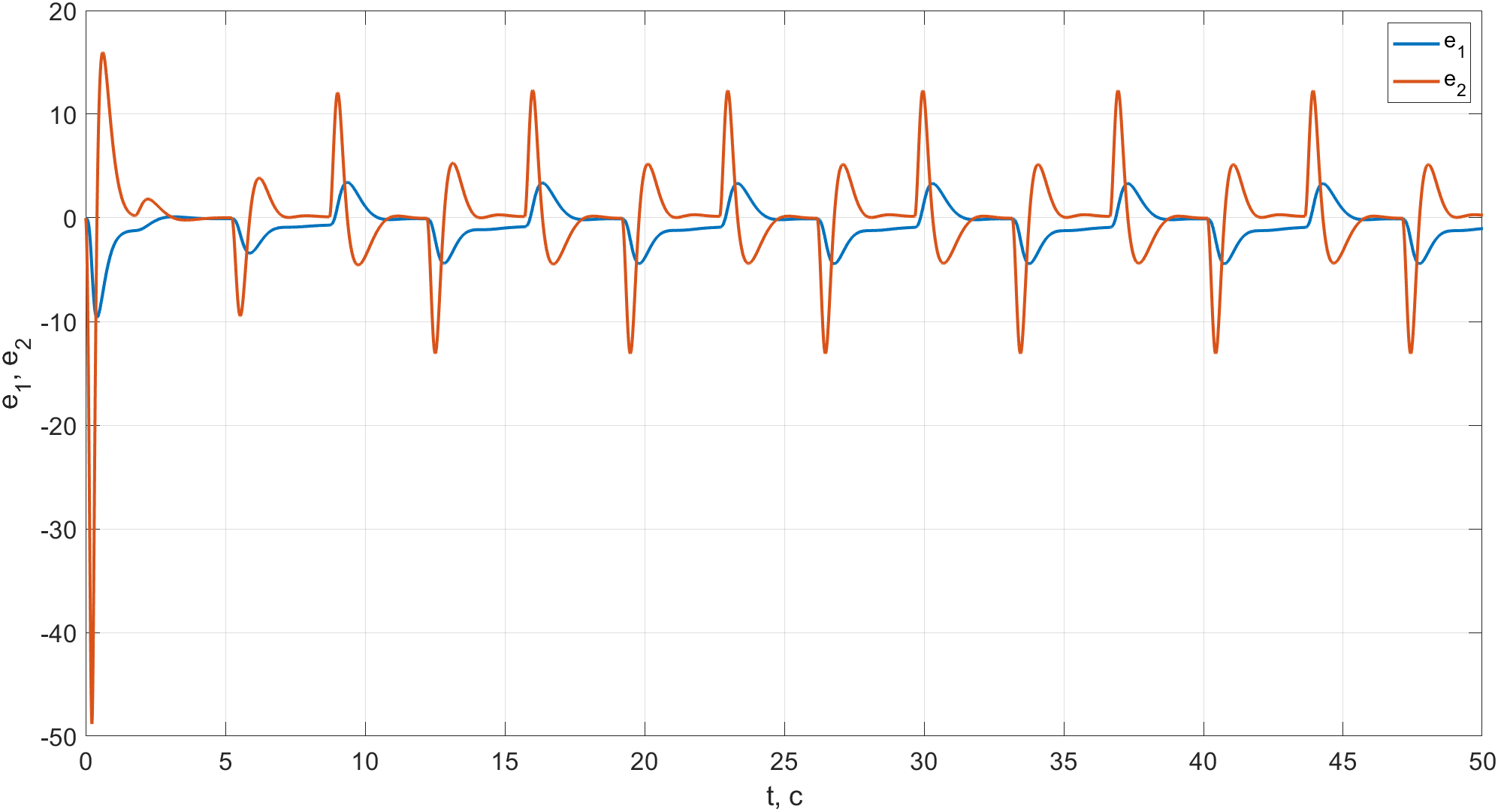


Рисунок 31. Графики компонент вектора ошибок системы с адаптивным и робастным законом управления при

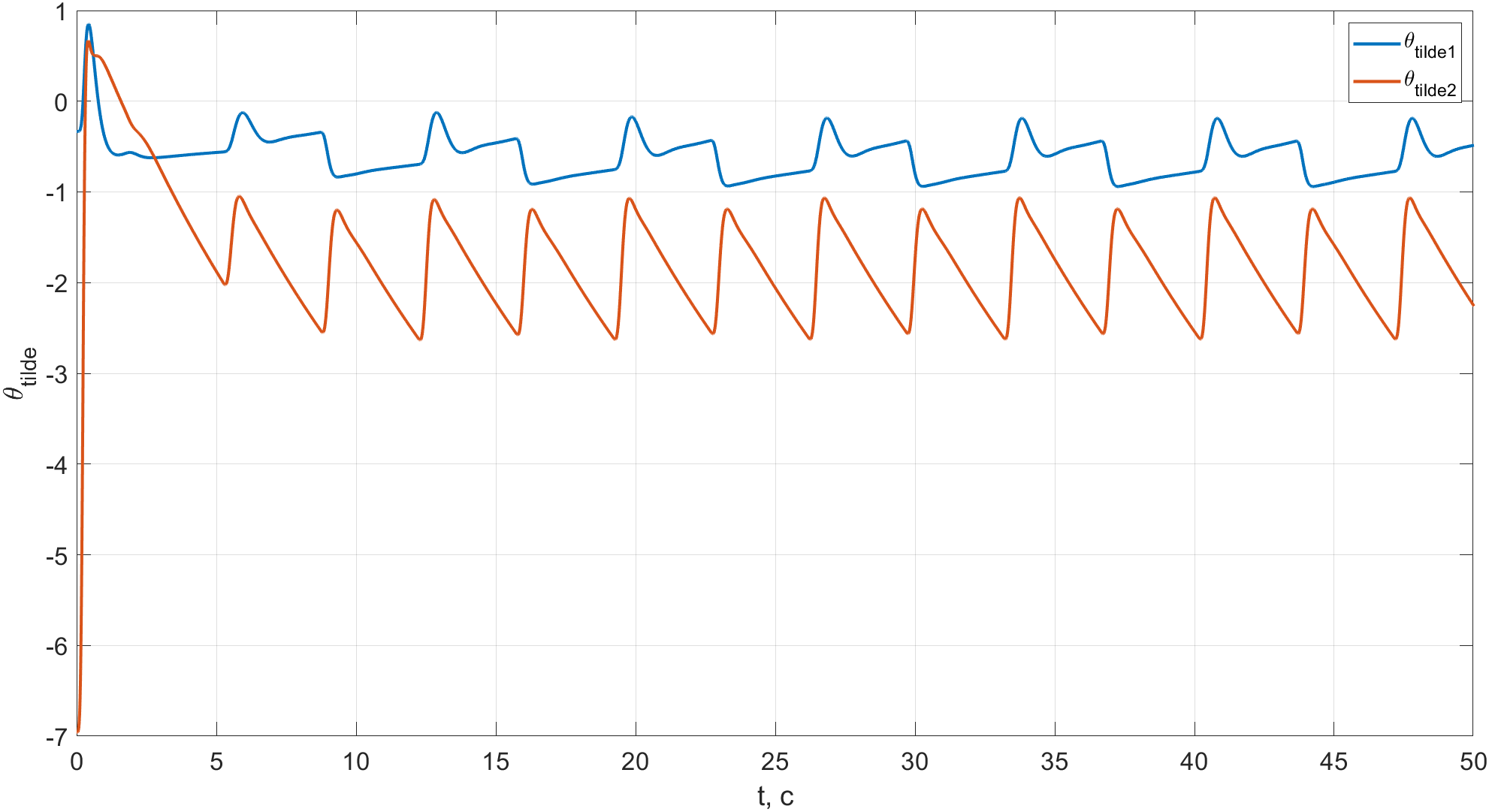


Рисунок 32. Графики компонент параметрической ошибки системы с адаптивным и робастным законом управления при

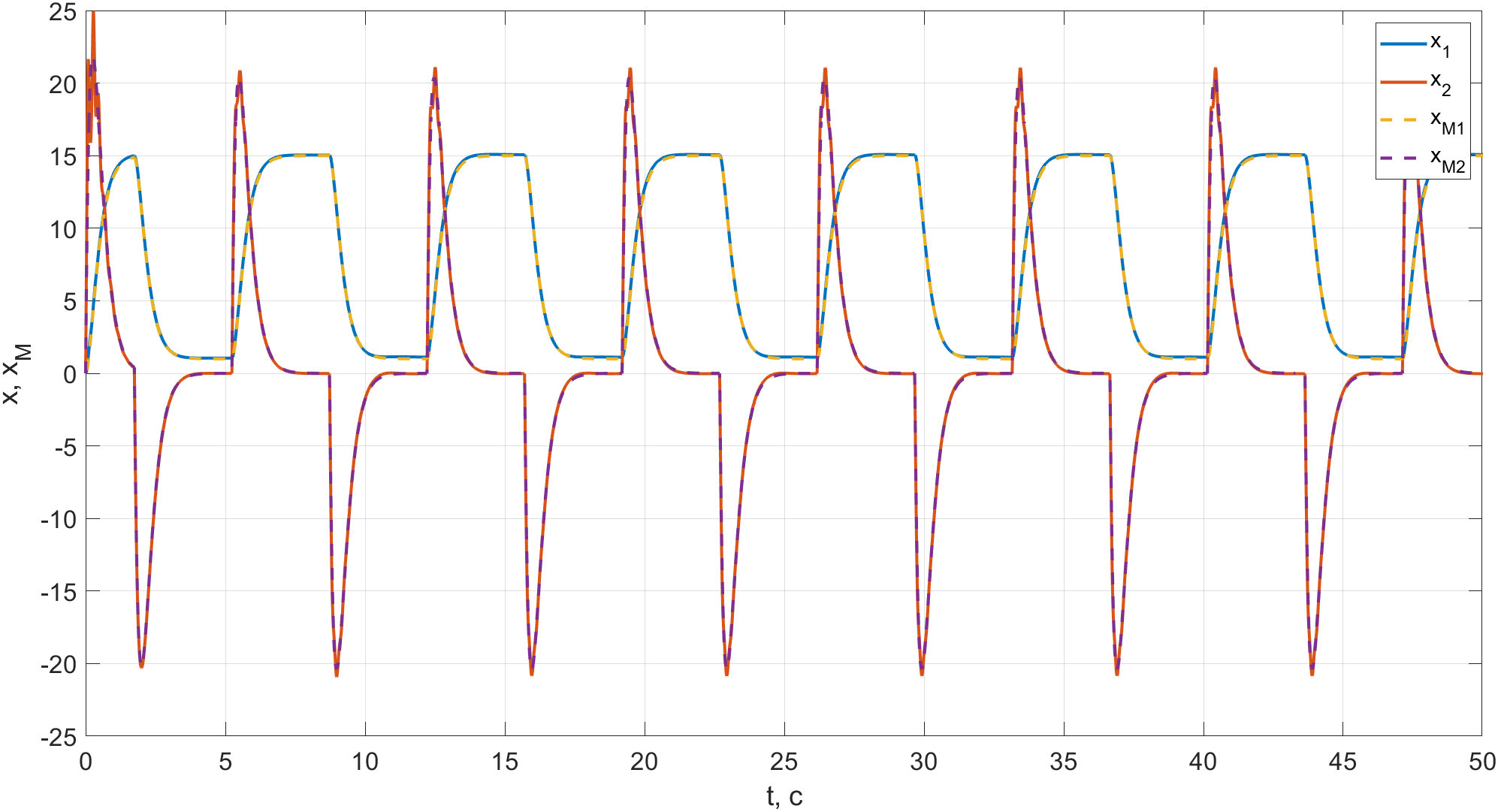


Рисунок 33. Графики векторов состояний реального объекта и эталонной модели системы с адаптивным и робастным законом управления при

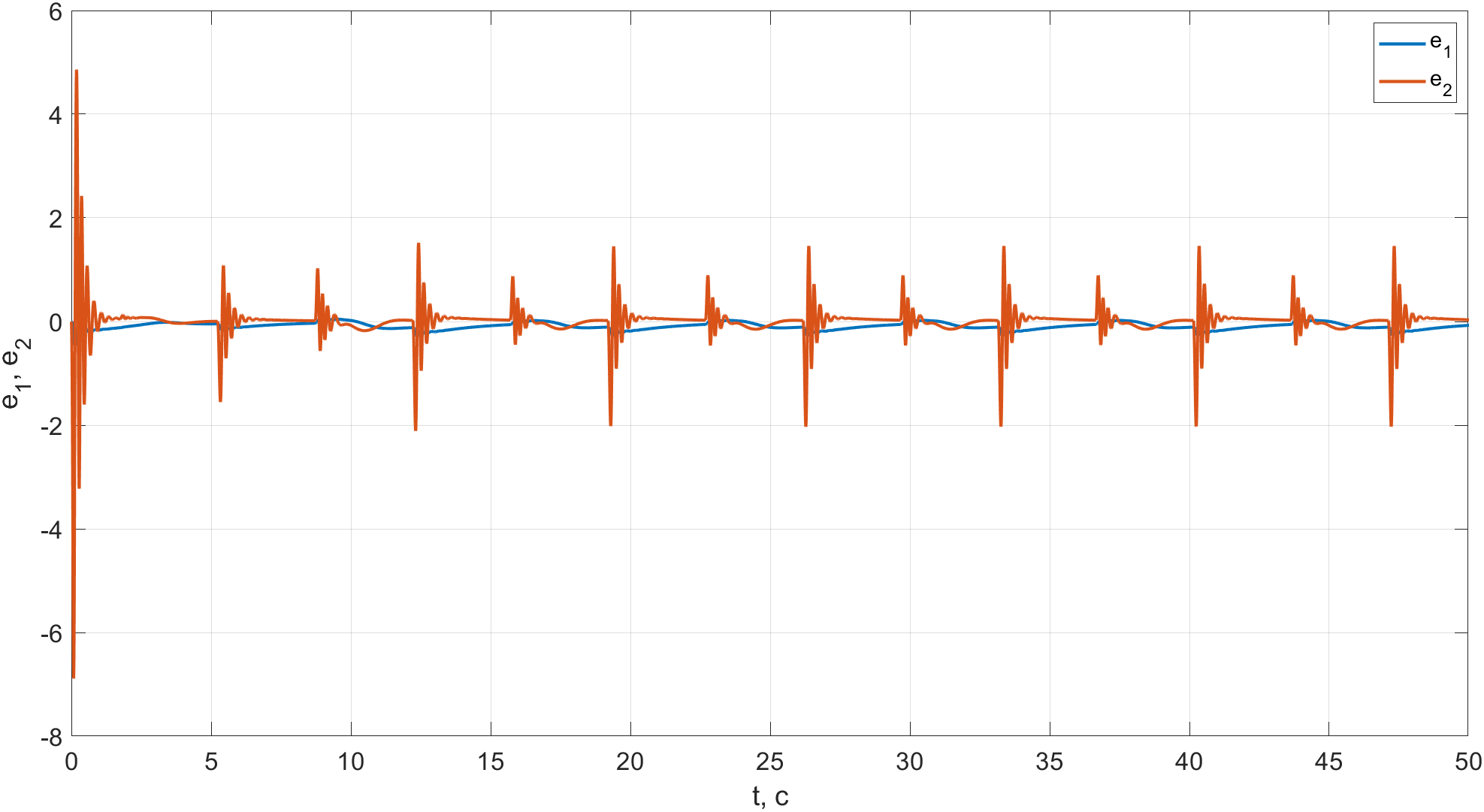


Рисунок 34. Графики компонент вектора ошибок системы с адаптивным и робастным законом управления при

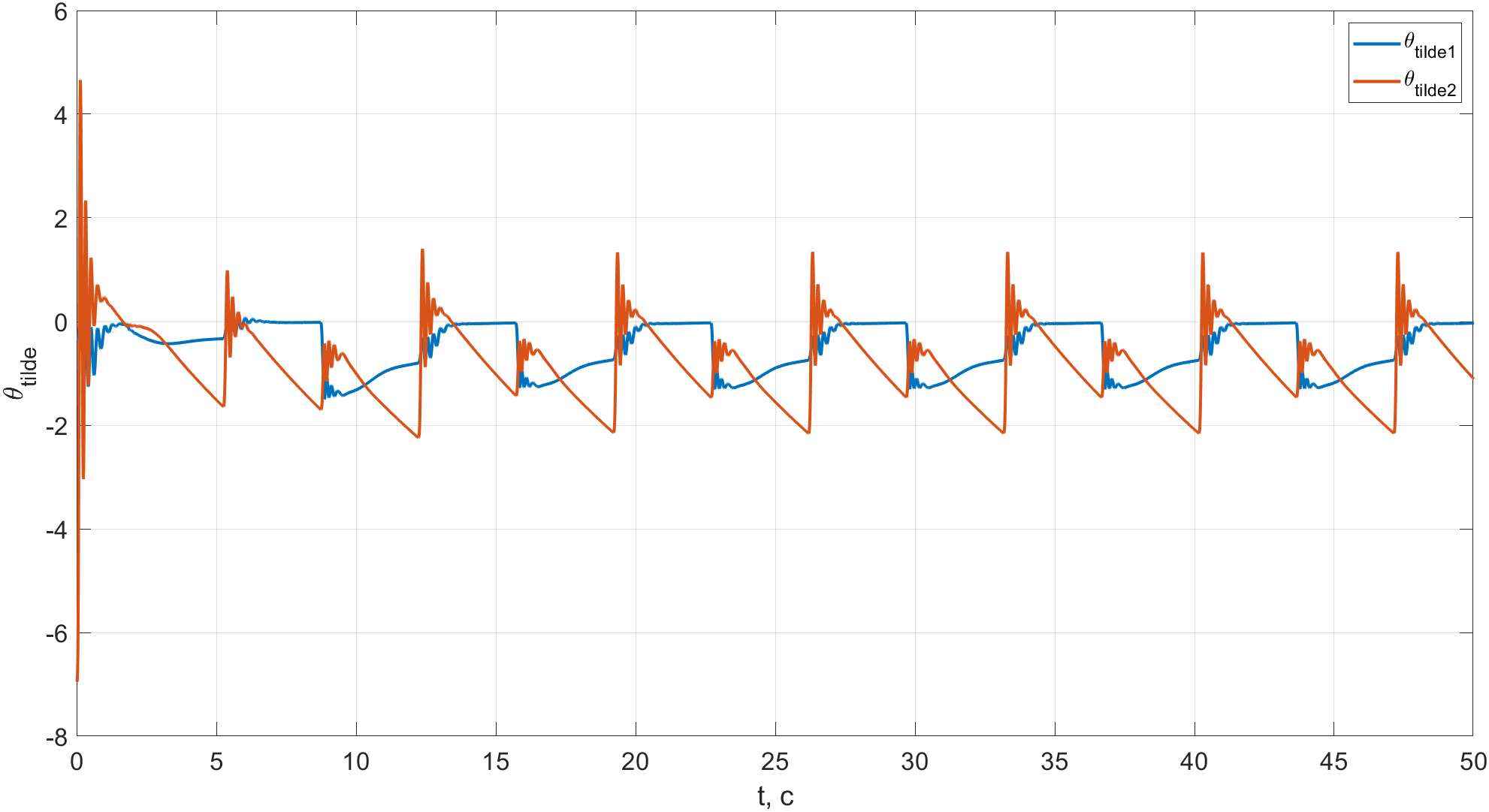


Рисунок 35.Графики компонент параметрической ошибки системы с адаптивным и робастным законом управления при

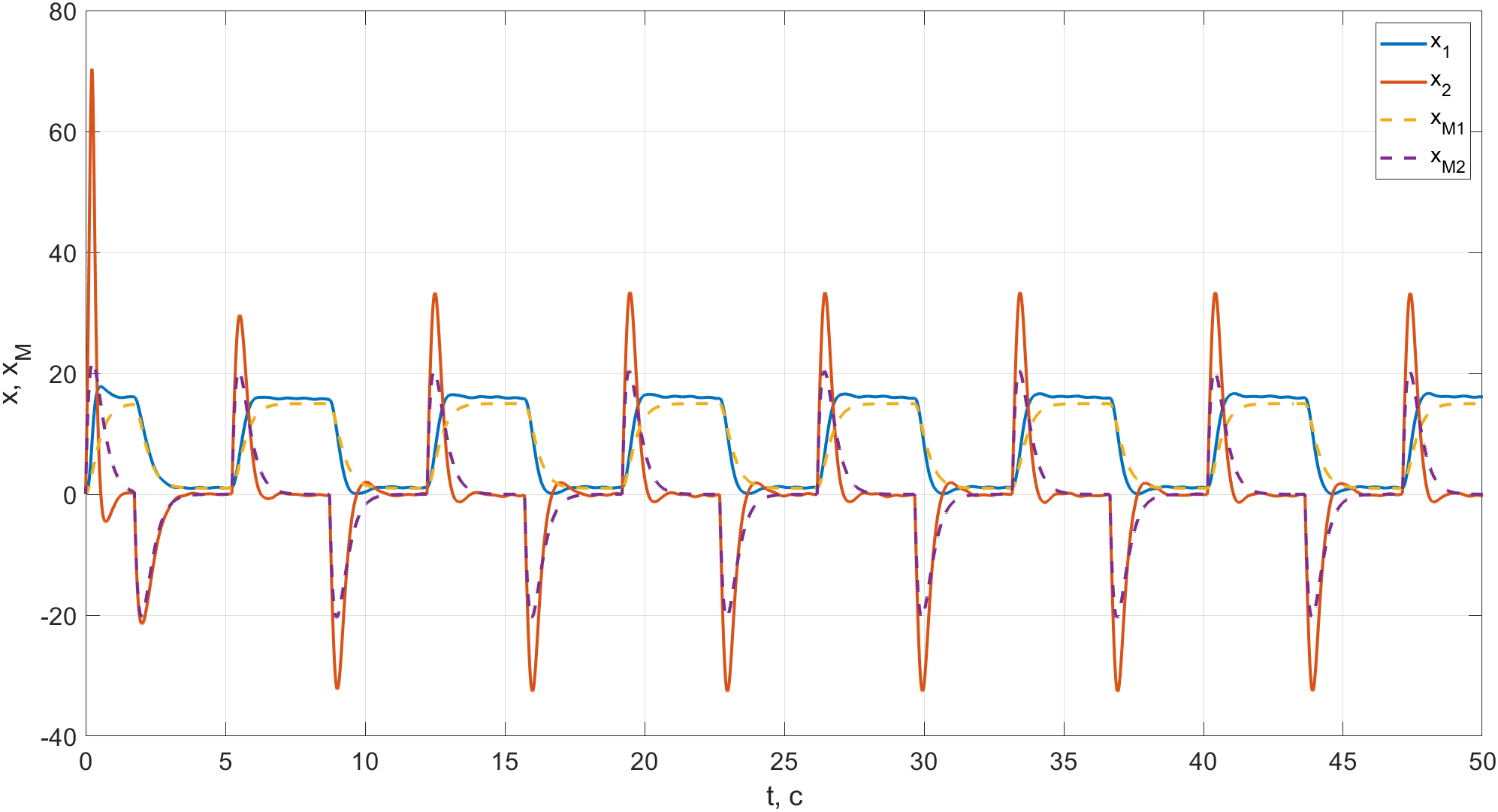


Рисунок 36. Графики векторов состояний реального объекта и эталонной модели системы с адаптивным и робастным законом управления при

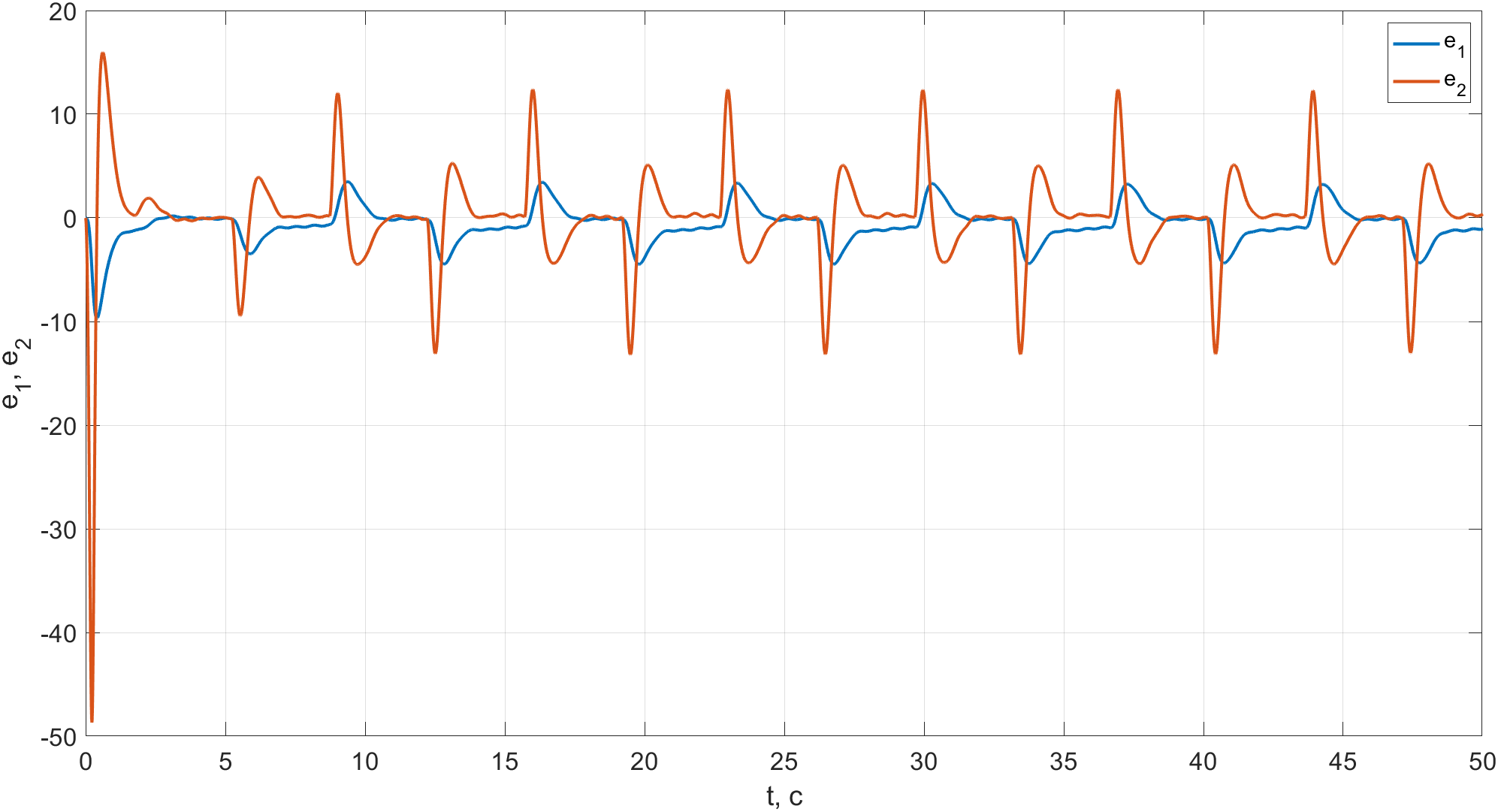


Рисунок 37. Графики компонент вектора ошибок системы с адаптивным и робастным законом управления при



Рисунок 38. Графики компонент параметрической ошибки системы с адаптивным и робастным законом управления при

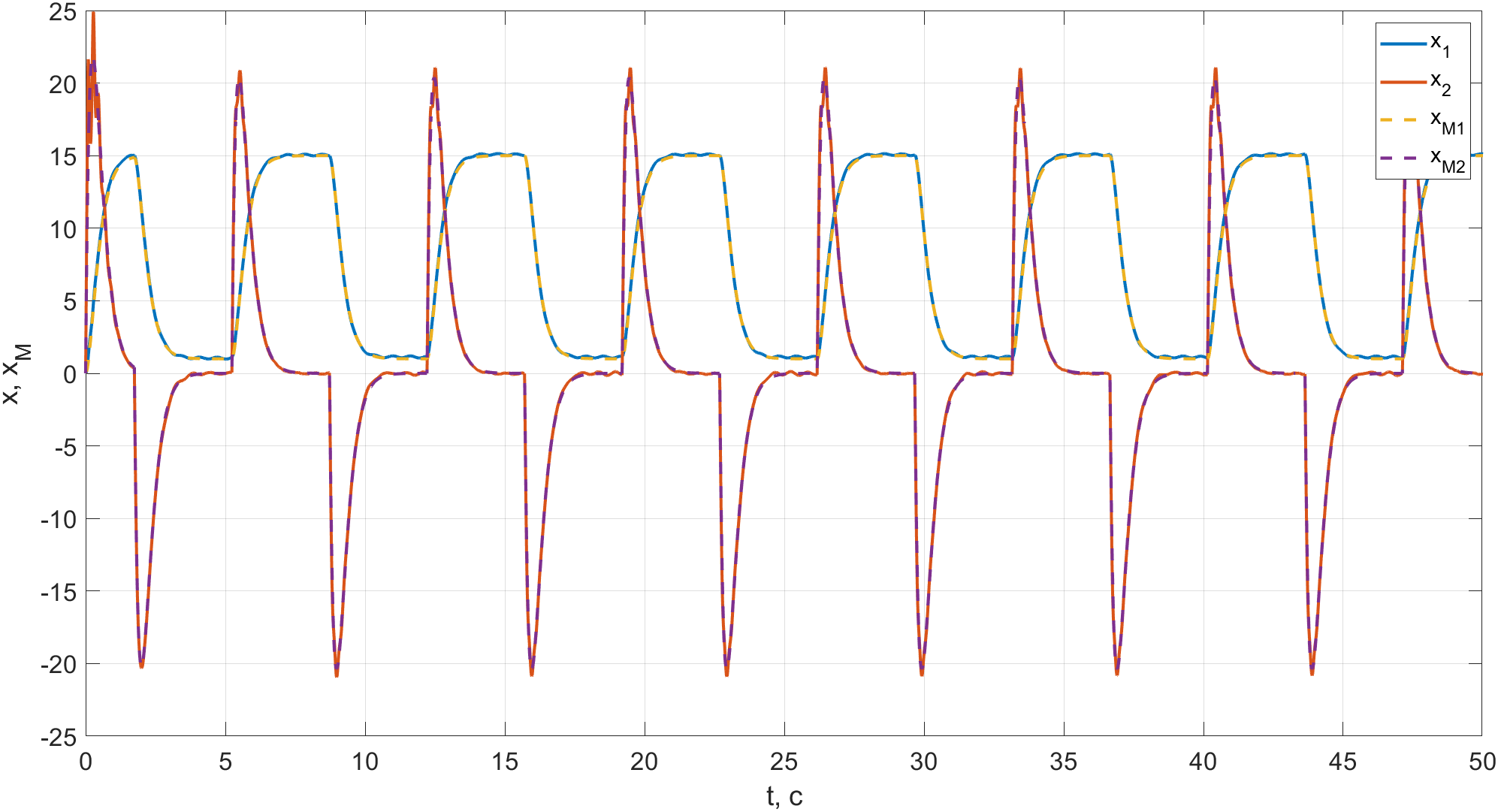


Рисунок 39. Графики векторов состояний реального объекта и эталонной модели системы с адаптивным и робастным законом управления при

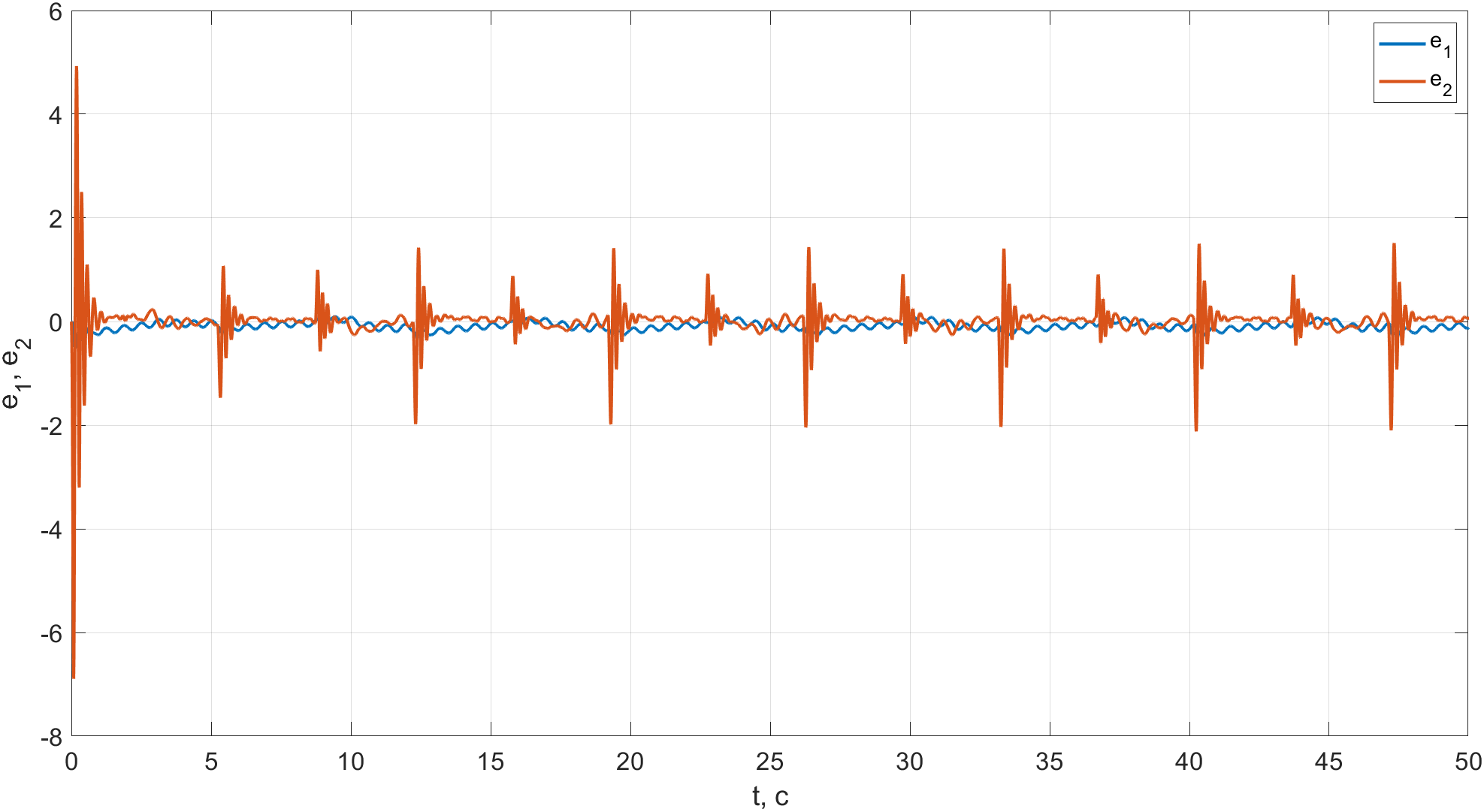


Рисунок 40. Графики компонент вектора ошибок системы с адаптивным и робастным законом управления при

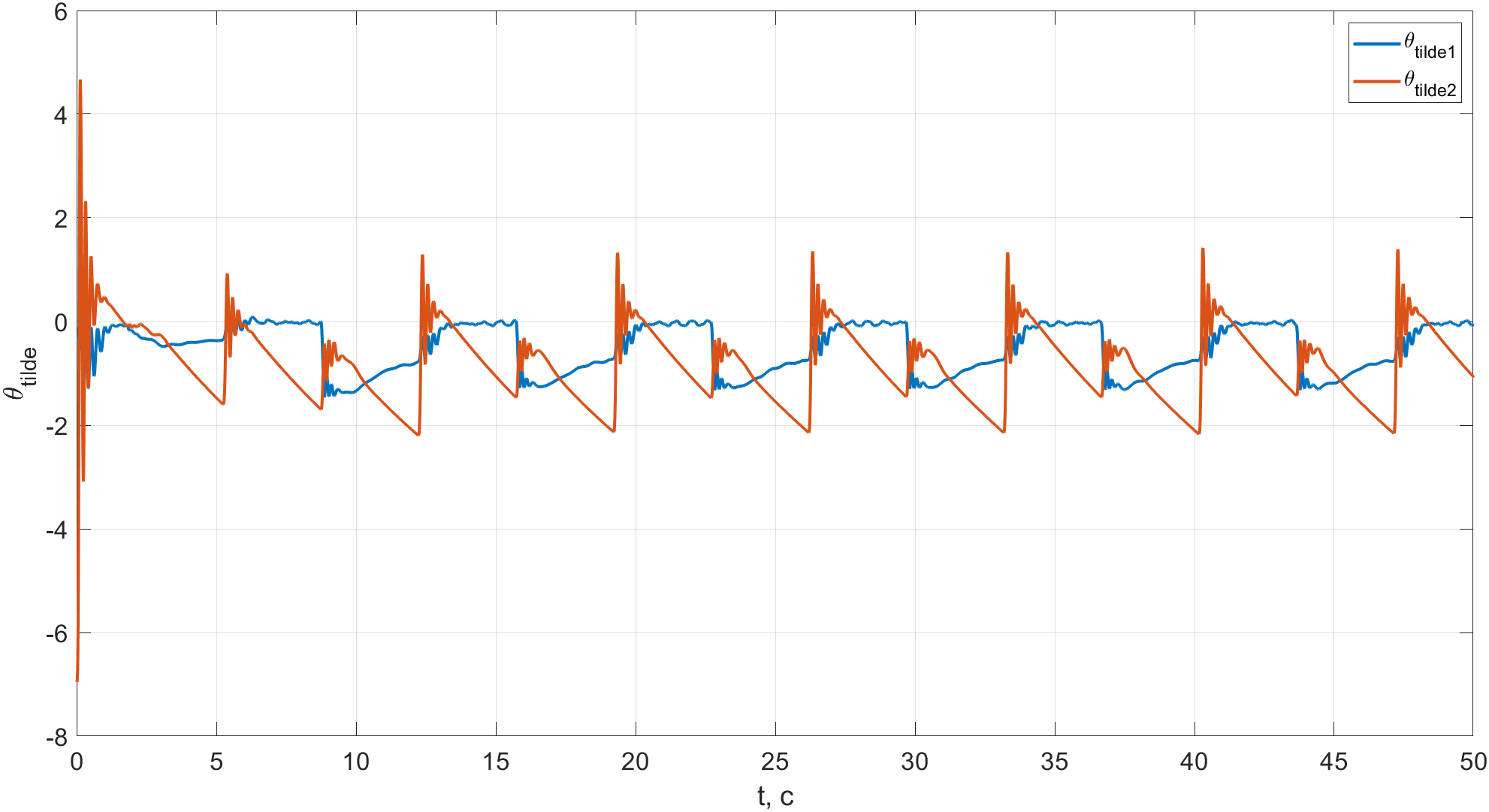


Рисунок 41. Графики компонент параметрической ошибки системы с адаптивным и робастным законом управления при

Анализируя графики, можно сделать следующие выводы: добавление обратной параметрической связи в уравнение алгоритма адаптации позволяет ограничить параметрический дрейф и в итоге параметрическая ошибка ограничена.

При увеличении коэффициента адаптации – уменьшается ошибка слежения, а вместе с ней и параметрическая ошибка.

С помощью уменьшения параметра можно также снижать ошибку слежения, более того, если у нас отсутствуют внешние возмущения при обнулении параметра можно добиться асимптотической устойчивости ошибки слежения.

# Выводы

В данной лабораторной работе были освоены принципы построения робастной системы управления многомерным объектом при наличии внешних возмущений.

В работе исследовались два алгоритма для обеспечения робастности системы по отношению к внешнему возмущению:

1. Нелинейное робастное управление:

Данный подход обеспечивает:

* ограниченность всех сигналов в системе;
* экспоненциальную сходимость ошибки слежения к некоторой ограниченной области, регулируемой параметром ;
* при нулевом внешнем возмущении ошибка слежения не будет равна нулю;
* квадратичный сигнал управления относительно вектора состояния;
* для уменьшения ошибки слежения, требуется увеличивать коэффициент что влечет за собой увеличение амплитуды управляющего воздействия.

1. Адаптивное и робастное управление:

Данный подход обеспечивает:

* ограниченность всех сигналов в системе;
* экспоненциальную сходимость ошибки слежения и параметрической ошибки к некоторым ограниченным областям, регулируемыми параметрами и
* при нулевом внешнем возмущении требуется занулить для асимптотической устойчивости ошибки слежения;
* для уменьшения ошибки слежения, не требуется увеличивать коэффициент можно обеспечивать это путем уменьшения