

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Кафедра Систем управления и информатики

Группа Р4235

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

**по курсу: «Адаптивное и робастное управление нелинейными
системами»**

Синтез адаптивного наблюдателя состояния линейного объекта

Вариант №2

Авторы работы:

Антонов Е.С.,
Артемов К.А.

Преподаватель:

Герасимов Д.Н.

«2» октября 2017 г.

Работа выполнена с оценкой _____

Дата защиты « » _____ 2017 г.

Санкт-Петербург
2017 г.

1 Цель работы

Освоение процедуры синтеза адаптивного наблюдателя линейного объекта.

2 Теоретические сведения

На основе результата, полученного в лабораторной работе №5, рассматривается задача адаптивного наблюдения вектора состояния параметрически неопределенного линейного объекта.

Рассматриваемая задача состоит в построении оценки вектора состояния \hat{x} такой, что

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) - \hat{x}(t) = 0 \quad (1)$$

Синтезируемый адаптивный наблюдатель должен одновременно оценить неизвестные параметры объекта управления θ , а также построить оценку вектора состояния \hat{x} .

3 Исходные данные

Варианту №2 соответствует следующий набор исходных данных:

$$a_1 = 2, \quad a_0 = 1, \quad b_1 = 1, \quad b_0 = 3, \quad k_1 = \sqrt{0.02}, \quad k_0 = 0.01, \quad u = \sin t + 0.5 \cos 2t \quad (2)$$

4 Результаты расчетов и моделирования

4.1 Модели исходного объекта

Модель рассматриваемого объекта в форме ВСВ:

$$\dot{x} = Ax + bu, \quad (3)$$

$$y = Cx, \quad (4)$$

где

$$A = \begin{bmatrix} -a_1 & 1 \\ -a_0 & 0 \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

4.2 Параметризация относительно выходной переменной

Модель рассматриваемого объекта в форме ВСВ:

$$\ddot{y} + a_1 \dot{y} + a_0 y = b_1 \dot{u} + b_0 u \quad (6)$$

После применения к правой и левой частям этого уравнения оператора

$$H(s) = \frac{1}{K(s)}, \quad (7)$$

где $K(s) = s^2 + k_1s + k_0$ и некоторого количества алгебраических преобразований достигается следующий результат:

$$\frac{1}{K(s)}[\ddot{y} + a_1\dot{y} + a_0y] = \frac{1}{K(s)}[b_1\dot{u} + b_0u] \quad (8)$$

$$\frac{1}{K(s)}[\ddot{y}] + a_1\frac{1}{K(s)}[\dot{y}] + a_0\frac{1}{K(s)}[y] = b_1\frac{1}{K(s)}[\dot{u}] + b_0\frac{1}{K(s)}[u] \quad (9)$$

$$\frac{s^2}{K(s)}[y] + a_1\frac{s}{K(s)}[y] + a_0\frac{1}{K(s)}[y] = b_1\frac{s}{K(s)}[u] + b_0\frac{1}{K(s)}[u] \quad (10)$$

$$\frac{s^2 \pm (k_1s + k_0)}{K(s)}[y] = -a_1\frac{s}{K(s)}[y] - a_0\frac{1}{K(s)}[y] + b_1\frac{s}{K(s)}[u] + b_0\frac{1}{K(s)}[u] \quad (11)$$

$$y = \frac{k_1s + k_0}{K(s)}[y] - a_1\frac{s}{K(s)}[y] - a_0\frac{1}{K(s)}[y] + b_1\frac{s}{K(s)}[u] + b_0\frac{1}{K(s)}[u] \quad (12)$$

$$y = (k_1 - a_1) \underbrace{\frac{s}{K(s)}[y]}_{\xi_2} + (k_0 - a_0) \underbrace{\frac{1}{K(s)}[y]}_{\xi_1} + b_1 \underbrace{\frac{s}{K(s)}[u]}_{\nu_2} + b_0 \underbrace{\frac{1}{K(s)}[u]}_{\nu_1} \quad (13)$$

$$y = \theta^T \omega, \quad (14)$$

где

$$\theta^T = \begin{bmatrix} k_1 - a_1 & k_0 - a_0 & b_1 & b_0 \end{bmatrix}, \quad \omega^T = \begin{bmatrix} \xi_2 & \xi_1 & \nu_2 & \nu_1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Параметризованная модель ОУ принимает вид:

$$y = \theta^T \omega \quad (16)$$

Заменим параметры θ на оценки $\hat{\theta}$ и сформируем настраиваемую модель объекта:

$$\hat{y} = \hat{\theta}^T \omega, \quad (17)$$

где \hat{y} оценка переменной y .

Введем в рассмотрение ошибку:

$$\varepsilon = y - \hat{y}. \quad (18)$$

В итоге получим:

$$\varepsilon = \tilde{\theta}^T \omega, \quad (19)$$

где $\tilde{\theta}$ — вектор параметрических ошибок.

Алгоритм адаптации:

$$\dot{\tilde{\theta}} = \gamma \omega \varepsilon, \quad (20)$$

где $\gamma > 0$ — коэффициент адаптации.

4.3 Параметризация относительно вектора состояния

После применения к уравнению (3) матричной передаточной функции

$$\Phi(s) = (sI - A_0)^{-1}, \quad (21)$$

где

$$A_0 = \begin{bmatrix} -k_1 & 1 \\ -k_0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (22)$$

достигается следующий результат:

$$x = \sum_{j=0}^1 \theta_{2-j} \Phi(s) e_{2-j}[y] + \sum_{j=0}^1 \theta_{4-j} \Phi(s) e_{2-j}[u], \quad (23)$$

где $e_i^T = [0 \ 0 \ \dots \ 0 \ \underbrace{1}_{i\text{-th}} \ 0 \ \dots \ 0]$.

Заменив тут параметры θ на их оценки $\hat{\theta}$, получим:

$$\hat{x} = \sum_{j=0}^1 \hat{\theta}_{2-j} \Phi(s) e_{2-j}[y] + \sum_{j=0}^1 \hat{\theta}_{4-j} \Phi(s) e_{2-j}[u], \quad (24)$$

Моделирование проводилось в течение около 20 тыс. секунд, в связи с этим, для наглядности развития процесса, приводятся только первые 100 секунд моделирования и последние.

Было произведено два эксперимента. Во втором эксперименте увеличили количество гармоник сигнала u :

- а) $u = \sin t + 0.5 \cos 2t$;
- б) $u = 10 \sin t + 5 \cos 2t + 4 \cos 4t + 3 \cos 8t$.

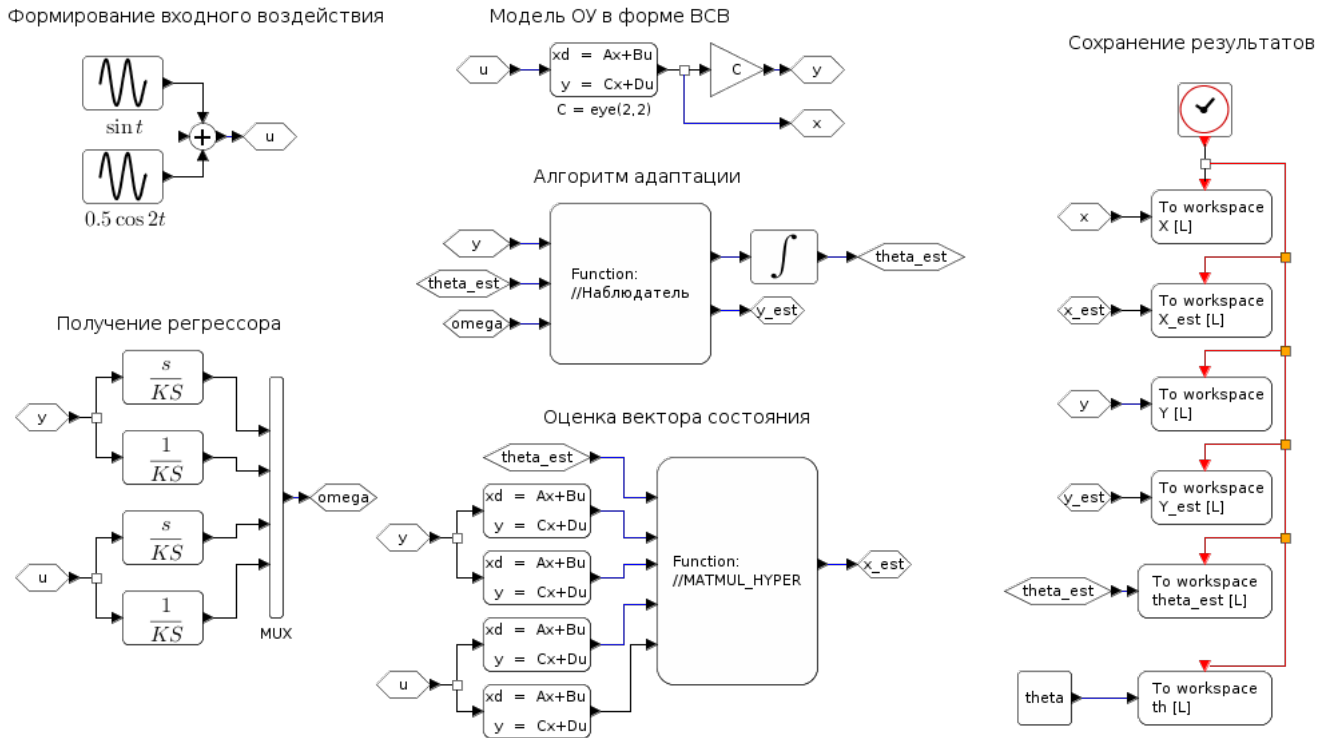


Рисунок 1 – Схема моделирования, применяемая для проверки работы адаптивного наблюдателя вектора состояния объекта ($\gamma = 1000$)

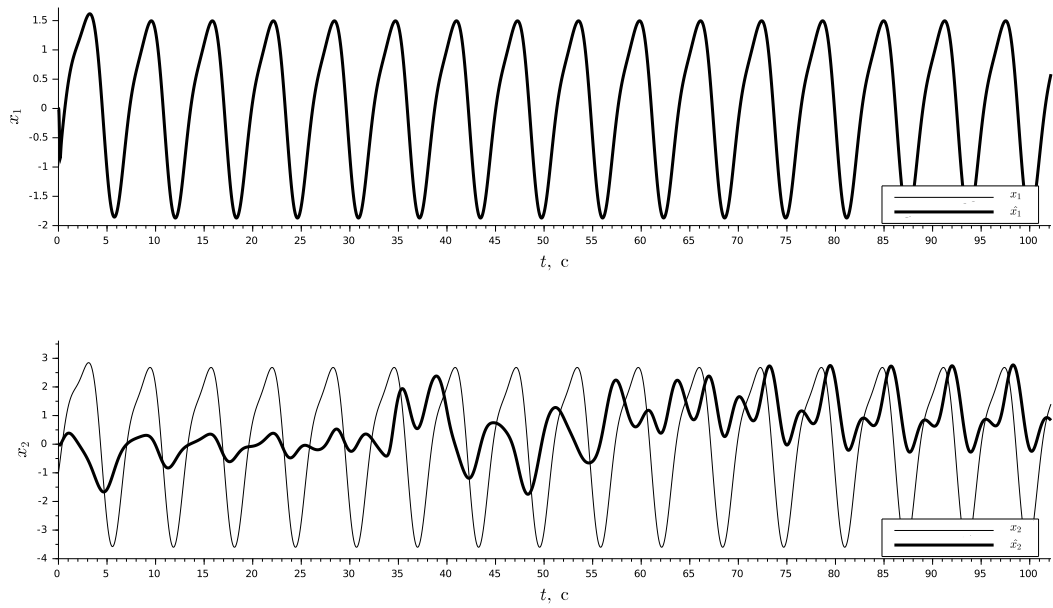


Рисунок 2 – Графики компонент вектора состояния при $u = \sin t + 0.5 \cos 2t$ (0-100 секунды)

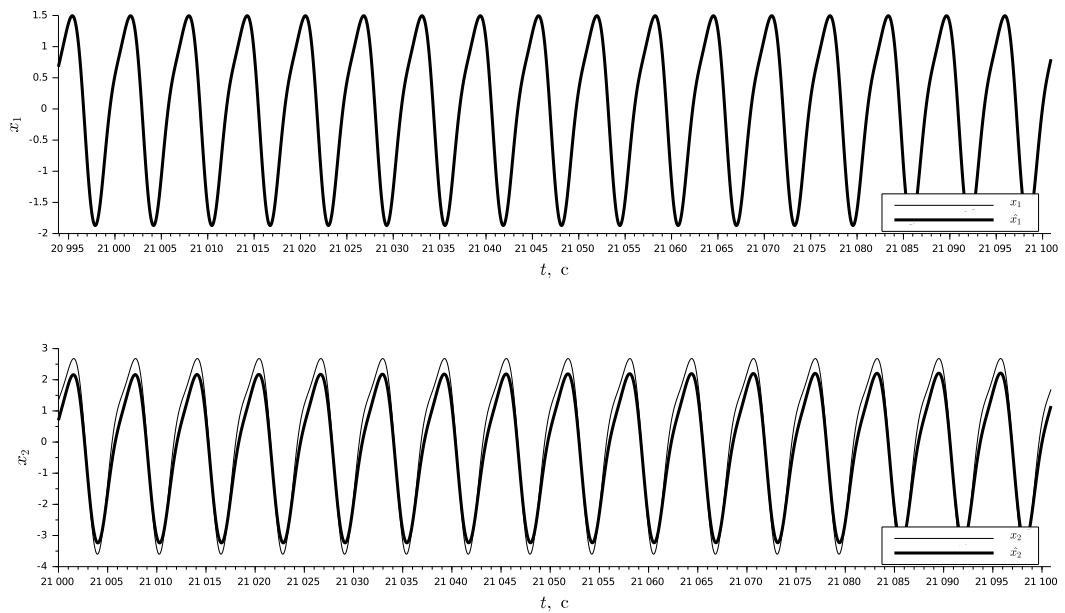


Рисунок 3 – Графики компонент вектора состояния при $u = \sin t + 0.5 \cos 2t$ (21 - 21.1 тыс. секунд)

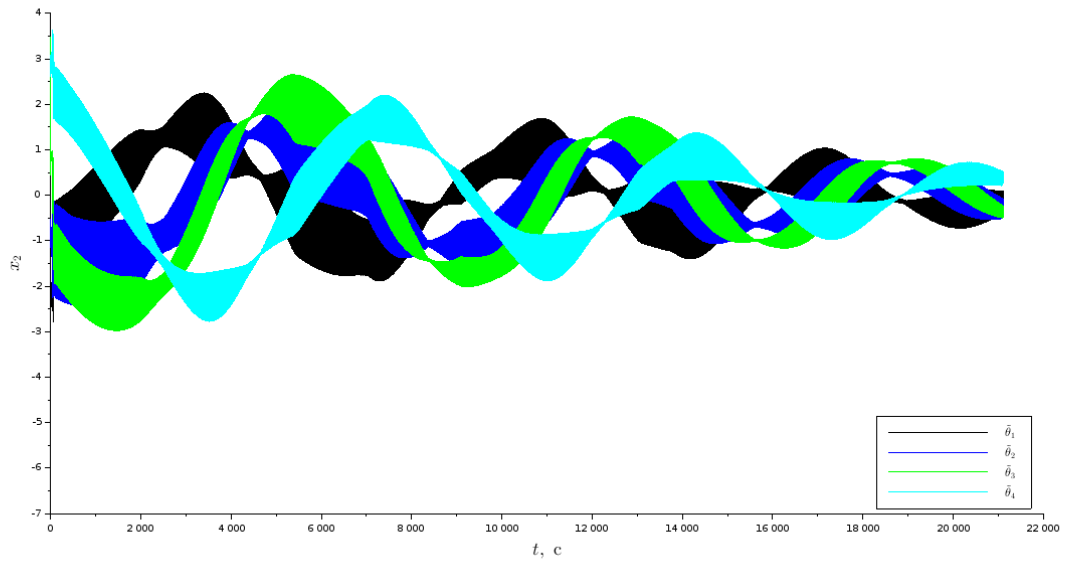


Рисунок 4 – Графики изменение параметрической ошибки при $u = \sin t + 0.5 \cos 2t$

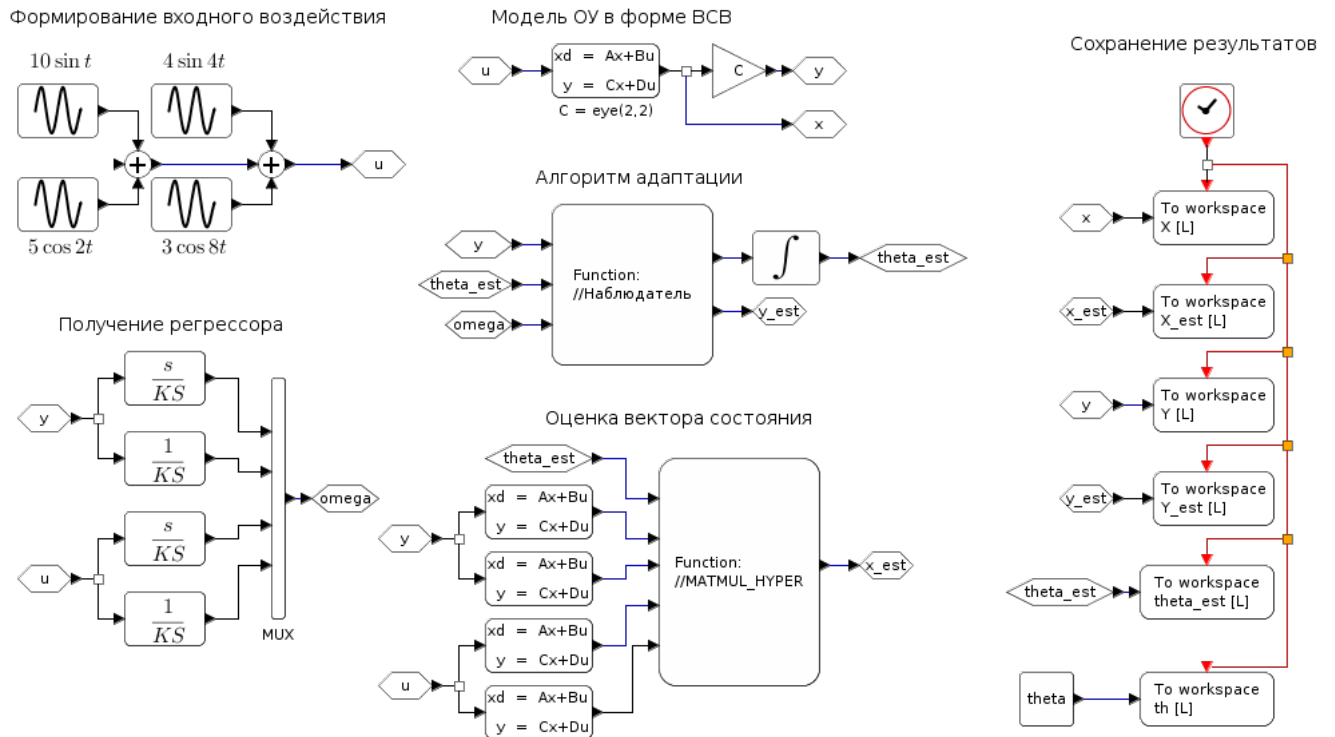


Рисунок 5 – Схема моделирования, применяемая для проверки работы адаптивного наблюдателя вектора состояния объекта ($\gamma = 1000$)

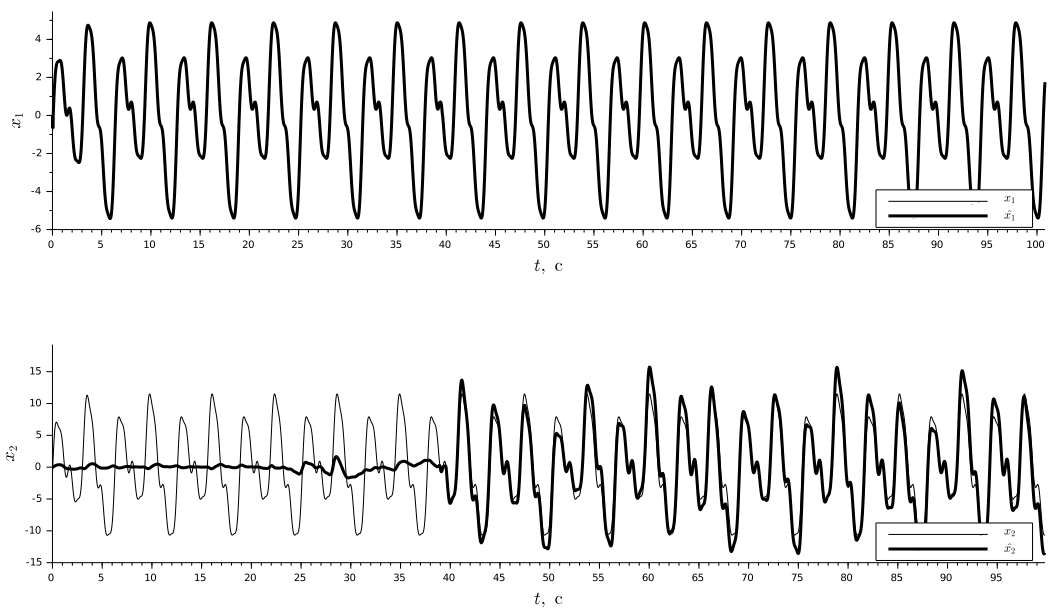


Рисунок 6 – Графики компонент вектора состояния при
 $u = 10 \sin t + 5 \cos 2t + 4 \cos 4t + 3 \cos 8t$ (0-100 секунды)

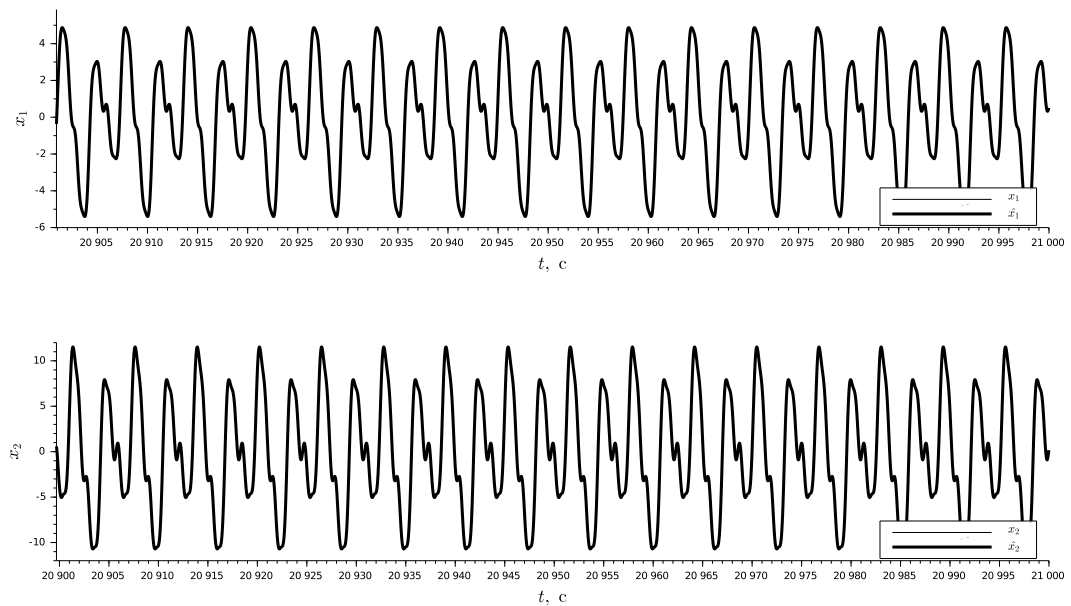


Рисунок 7 – Графики компонент вектора состояния при
 $u = 10 \sin t + 5 \cos 2t + 4 \cos 4t + 3 \cos 8t$ (20.9 - 21 тыс. секунд)

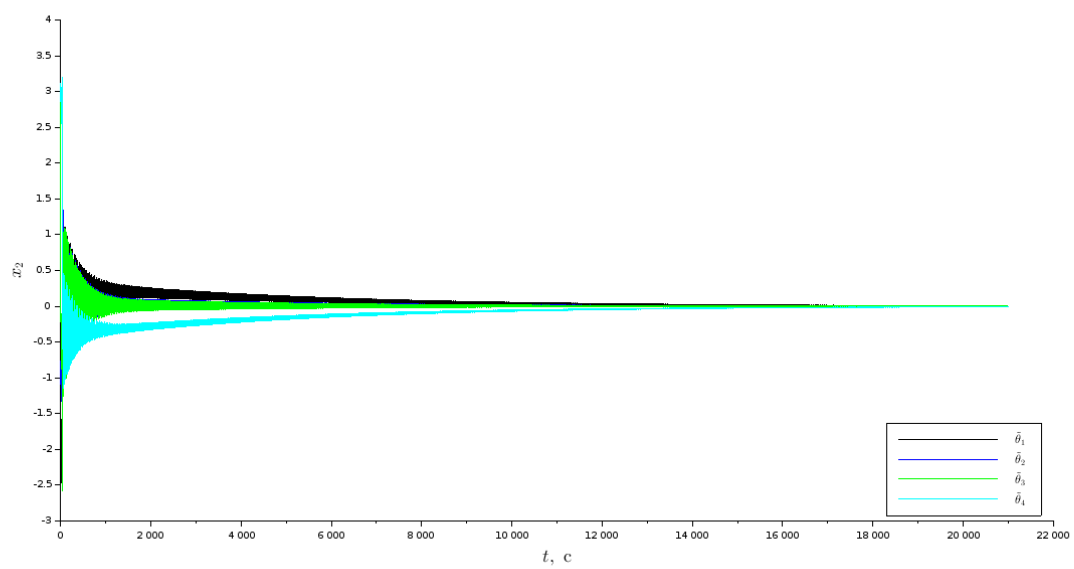


Рисунок 8 – Графики изменение параметрической ошибки при $u = \sin t + 0.5 \cos 2t$

5 Выводы по работе

Алгоритм адаптации (20) обеспечивает ограниченность всех сигналов в системе, при условии ограниченного u и устойчивости объекта; ошибка ε стремится к нулю асимптотически; параметрические ошибки $\tilde{\theta}$ стремятся к нулю, если вектор ω удовлетворяет условию неисчезающего возбуждения; если ошибки $\tilde{\theta}$ стремятся к нулю, то оценка вектора состояния \hat{x} стремится к x . Также было установлено, что при насыщении частотной составляющей сигнала u «достаточным» количеством гармоник, параметрическая ошибка $\hat{\theta}$ быстрее стремится к нулю.