

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО»

ФАКУЛЬТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКИ

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №6
по дисциплине
«АДАПТИВНОЕ И РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ»
на тему
**«СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ
ЛИНЕЙНОГО ОБЪЕКТА»**
Вариант 21

Выполнили: студенты
Дьячихин Д. Н., R3480
Румянцев А. А., R3441

Проверил: преподаватель
Парамонов А. В.

Санкт-Петербург
2025

Содержание

1	Цель работы	3
2	Постановка задачи	3
3	Теоретическая часть	4
4	Экспериментальная часть	6
4.1	Определение параметров системы	6
4.2	Моделирование адаптивного наблюдателя при синусоидальном входном сигнале	6
4.3	Моделирование адаптивного наблюдателя при входном сигнале, состоящем из суммы гармоник	6
4.4	Выводы	6
5	Вывод	7

1. Цель работы

Освоение процедуры синтеза адаптивного наблюдателя линейного объекта.

2. Постановка задачи

Дан асимптотически устойчивый объект управления:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu, & x(0), \\ y = Cx, \end{cases} \quad (1)$$

где x – недоступный прямому измерению вектор состояния, u, y – входной и выходной сигналы объекта, доступные прямым измерениям,

$$A = \begin{bmatrix} -a_{n-1} & 1 & \dots & 0 \\ -a_{n-2} & 0 & \dots & 0 \\ a_{n-1} & \vdots & \ddots & 1 \\ -a_0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ b_m \\ \vdots \\ b_0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix},$$

$a_i, i = \overline{0, n-1}, b_j, j = \overline{0, m}$ – неизвестные коэффициенты модели.

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

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|x(t) - \hat{x}(t)\| = 0 \quad (2)$$

Синтезируемый адаптивный наблюдатель должен одновременно оценивать неизвестные параметры объекта управления θ и генерировать оценку вектора состояния \hat{x} .

Отметим, что в задаче класс объектов (1) ограничен следующим допущением (условием согласования): для некоторого n -мерного вектора $\bar{\theta}$ матрицы A, C, A_0 связаны следующим соотношением:

$$A_0 = A - \bar{\theta}C$$

Можно показать, что для рассматриваемого класса объектов:

$$\bar{\theta} = \begin{bmatrix} k_{n-1} - a_{n-1} \\ k_{n-2} - a_{n-2} \\ \vdots \\ k_0 - a_0 \end{bmatrix}$$

3. Теоретическая часть

Для решения задачи используется параметризованное представление выходной переменной:

$$y = \theta^T \omega \quad (3)$$

и вектора состояния:

$$x = \sum_{i=0}^{n-1} \theta_{i+1} (Is - A_0)^{-1} e_{n-i}[y] + \sum_{j=0}^m \theta_{j+1+n} (Is - A_0)^{-1} e_{n-j}[u] \quad (4)$$

Заменим в (3) параметры θ на оценки $\hat{\theta}$ и сформируем настраиваемую модель объекта:

$$\hat{y} = \hat{\theta}^T \omega, \quad (5)$$

где \hat{y} – оценка переменной y . Введем в рассмотрение ошибку идентификации:

$$\varepsilon = y - \hat{y}$$

Учитывая (3), (5), получаем:

$$\varepsilon = \tilde{\theta}^T \omega, \quad (6)$$

где $\tilde{\theta} = \theta - \hat{\theta}$ – вектор параметрических ошибок. Последнее выражение представляет собой стандартную статическую модель ошибок, на основе которой при помощи функции Ляпунова $V = \tilde{\theta}^T \tilde{\theta} / 2\gamma$ и анализа ее производной строит-

ся алгоритм адаптации:

$$\dot{\hat{\theta}} = \gamma \omega \varepsilon, \quad (7)$$

где $\gamma > 0$ – коэффициент адаптации.

Действительно, расчет производной \dot{V} дает:

$$\dot{V} = \frac{1}{\gamma} \tilde{\theta}^T \dot{\tilde{\theta}} = -\frac{1}{\gamma} \tilde{\theta}^T \dot{\hat{\theta}}$$

При выборе структуры алгоритма адаптации (7) имеем:

$$\dot{V} = -\frac{1}{\gamma} \tilde{\theta}^T \gamma \omega \varepsilon = -\varepsilon^2 < 0$$

Из последнего неравенства при условии ограниченности функции ω и ее первой производной $\dot{\omega}$ (условие накладывается на входной сигнал u) следуют свойства системы, состоящей (6), (7):

- все сигналы в системе ограничены;
- ошибка ε стремится к нулю асимптотически;
- параметрические ошибки $\tilde{\theta}$ стремятся к нулю экспоненциально, если вектор ω удовлетворяет условию неисчезающего возбуждения:

$$\int_t^{t+T} x(\tau) x^T d\tau > \alpha I, \quad \alpha > 0, T > 0 \quad (8)$$

Условие (8) в конечном итоге зависит от частотной насыщенности сигнала u , который должен содержать «достаточное» количество гармоник;

- если ошибки $\tilde{\theta}$ стремятся к нулю, то оценка вектора состояния \hat{x} также стремится к x .

После замены в (4) параметров θ на оценки $\hat{\theta}$ получаем оценку вектора состояния:

$$\hat{x} = \sum_{i=0}^{n-1} \hat{\theta}_{i+1} (Is - A_0)^{-1} e_{n-i}[y] + \sum_{j=0}^m \hat{\theta}_{j+1+n} (Is - A_0)^{-1} e_{n-j}[u] \quad (9)$$

Таким образом, адаптивный наблюдатель, обеспечивающий выполнение условия (2) (при выполнении условия неисчезающего возбуждения (8)), состоит из настраиваемой модели (5), алгоритма адаптации (7) и алгоритма оценивания вектора состояния (9).

4. Экспериментальная часть

4.1. Определение параметров системы

Согласно варианту 21, в данной работе система (1) имеет вид:

$$A = \begin{bmatrix} -a_1 & 1 \\ -a_0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -5 & 0 \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \\ 9 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Также даны коэффициенты фильтра:

$$k_1 = 8, \quad k_0 = 16$$

4.2. Моделирование адаптивного наблюдателя при синусоидальном входном сигнале

Промоделируем адаптивный наблюдатель вектора состояния объекта (5), (7), (9) при входном сигнале:

$$u(t) = 10 \sin t$$

4.3. Моделирование адаптивного наблюдателя при входном сигнале, состоящем из суммы гармоник

Повторим эксперимент при:

$$u(t) = 10 \sin t + 5 \cos 2t + 4 \cos 4t + 3 \cos 8t$$

4.4. Выводы

...

5. Вывод

...