

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 №8

по дисциплине

«АДАПТИВНОЕ И РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ»

на тему

**«АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫМ ОБЪЕКТОМ ПО
ВЫХОДУ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА АДАПТАЦИИ С
РАСШИРЕННОЙ ОШИБКОЙ»**

Вариант 21

Выполнили: студенты
Дьячихин Д. Н., Р3480
Румянцев А. А., Р3441

Проверил: преподаватель
Парамонов А. В.

Санкт-Петербург
2025

Содержание

1 Цель работы	3
2 Постановка задачи	3
3 Теоретическая часть	4
3.1 Способ №1 (b_m известно)	4
3.2 Способ №2 (b_m неизвестно)	5
4 Экспериментальная часть	6
4.1 Параметры системы	6
5 Вывод	6

1. Цель работы

Освоение метода расширенной ошибки в задачах адаптивного управления по выходу.

2. Постановка задачи

Рассмотрим минимально-фазовую линейную модель объекта, представленную в форме «вход-выход»:

$$y^{(n)} + a_{n-1}y^{(n-1)} + a_{n-2}y^{(n-2)} + \dots + a_0y = b_m u^{(m)} + b_{m-1}u^{(m-1)} + \dots + b_0u, \quad (1)$$

где $a_i, i = \overline{0, n-1}, b_j = \overline{0, m}$ – неизвестные параметры объекта. Предполагается, что знак величины b_m известен. Пусть в решаемой задаче $b_m \geq b_{\min} > 0, b_{\min}$ – известная величина.

Вместе с моделью рассмотрим динамические фильтры:

$$\dot{\nu}_1 = \Lambda \nu_1 + e_{n-1} u, \quad (2)$$

$$\dot{\nu}_2 = \Lambda \nu_2 + e_{n-1} y, \quad (3)$$

где $\nu_1, \nu_2 \in \mathbb{R}^{n-1}$ – векторы состояния фильтров, $e_{n-1} = \text{col}(0, \dots, 0, 1), e_{n-1} \in \mathbb{R}^{n-1}$,

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -k_0 & -k_1 & -k_2 & \dots & -k_{n-2} \end{bmatrix}$$

Матрица Λ имеет сопровождающий полином:

$$K(s) = s^{n-1} + k_{n-2}s^{n-2} + k_{n-3}s^{n-3} + \dots + k_0$$

Для любых нормированных устойчивых полиномов $K(s), K_M(s)$ степени $n - 1, n - m$ соответственно существует единственный постоянный вектор $\Psi \in \mathbb{R}^{2n-1}$, зависящий от неизвестных параметров объекта, такой, что объект (1)

может быть представлен в виде:

$$y(t) = \frac{1}{K_M(s)} [\Psi^T \omega(t) + b_m u(t)] + \delta(t), \quad (4)$$

где $\omega^T = [\nu_1^T, \nu_2^T, y]$, $\delta(t)$ – экспоненциально затухающая функция, определяемая ненулевыми начальными условиями.

Параметризованное представление (4) позволяет синтезировать управление, компенсирующее неопределенности модели, сосредоточенные в векторе Ψ .

Рассмотрим задачу слежения выходной переменной y за эталонным сигналом y_M , формируемым эталонной моделью вида:

$$y_M(t) = \frac{k_0}{K_M(s)} [g(t)], \quad (5)$$

где g – сигнал задания, $K_M(s)$ – гурвицевый полином, определяющий желаемую динамику замкнутой системы. Полином $K_M(s)$ строится на основе метода стандартных полиномов, исходя из заданных динамических характеристик.

Цель управления заключается в синтезе управления u , компенсирующего неопределенности объекта и обеспечивающего при условии ограниченности всех сигналов выполнение целевого равенства:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (y_M(t) - y(t)) = 0 \quad (6)$$

3. Теоретическая часть

3.1. Способ №1 (b_m известно)

Закон управления формируется в виде

$$u = \frac{1}{b_m} \left(\hat{\Psi}^T \omega_p + k_0 g \right) \quad (7)$$

Введем в рассмотрение сигнал расширенной ошибки:

$$\hat{\varepsilon} = \varepsilon - \hat{\Psi}^T \bar{\omega}_p + \frac{1}{K_M(s)} [\hat{\Psi}^T \omega_p], \quad (8)$$

где:

$$\omega_p = -\omega, \bar{\omega}_p = \frac{1}{K_M(s)} [\omega_p]$$

Тогда, с учетом:

$$\varepsilon = \tilde{\Psi}_p^T \bar{\omega}_p + \hat{\Psi}_p^T \bar{\omega}_p - \frac{1}{K_M(s)} [\hat{\Psi}_p^T \omega_p] \quad (9)$$

(8) примет вид:

$$\hat{\varepsilon} = \tilde{\Psi}^T \bar{\omega}_p \quad (10)$$

Выражение (10) представляет собой статическую модель ошибки, на базе которой строится алгоритм адаптации:

$$\dot{\hat{\Psi}} = \gamma \frac{\bar{\omega}_p}{1 + \bar{\omega}_p^T \bar{\omega}_p} \hat{\varepsilon} \quad (11)$$

3.2. Способ №2 (b_m неизвестно)

Закон управления формируется в виде:

$$u = \hat{\Psi}^T \omega \quad (12)$$

Введем в рассмотрение сигнал расширенной ошибки:

$$\hat{\varepsilon} = \varepsilon + \hat{k} \xi, \quad (13)$$

где:

$$\xi = \frac{1}{K_M(s)} [\hat{\Psi}^T \omega] - \hat{\Psi}^T \bar{\omega}, \omega = [\nu_1, \nu_2, y, g], \bar{\omega} = \frac{1}{K_M(s)} [\omega]$$

Алгоритм адаптации примет следующий вид:

$$\dot{\hat{\Psi}} = \gamma_1 \frac{\bar{\omega}}{1 + \bar{\omega}^T \bar{\omega}} \hat{\varepsilon}, \quad (14)$$

$$\dot{\hat{k}} = -\gamma_2 \frac{\xi}{1 + \bar{\omega}^T \bar{\omega}} \hat{\varepsilon} \quad (15)$$

4. Экспериментальная часть

4.1. Параметры системы

Согласно варианту 21, исходные данные:

$$a_0 = 9, \quad a_1 = 6, \quad b_0 = 9, \quad k_{M,1} = 6, \quad k_{M,0} = 9, \quad k_0 = 1, \quad g(t) = 0.4 \sin 3t + \cos 0.1t$$

5. Вывод

...