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., R3480

Румянцев А. А., R3441

Проверил: преподаватель

Парамонов А. В.

Санкт-Петербург

2025

Содержание

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»:

$$y^{(n)} + a_{n-1}y^{(n-1)} + a_{n-2}y^{(n-2)} + ... + a_0 y = b_m u^{(m)} + b_{m-1}u^{(m-1)} + ... + b_0 u, \tag{1}$$

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:

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

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

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

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

Матрица Λ имеет сопровождающий полином:

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

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:

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

где $\omega^T=\left[\nu_1^T,\nu_2^T,y\right]$, $\delta(t)$ – 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:

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

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:

$$\lim_{t\to\infty}\left(y_M(t)-y(t)\right)=0 \tag{6}$$

3. Теоретическая часть

3.1. Способ №1 (b_m известно)

Закон управления формируется в виде

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

Введем в рассмотрение сигнал расширенной ошибки:

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

где:

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

Тогда, с учетом:

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

(8) примет вид:

$$\hat{\varepsilon} = \tilde{\Psi}^T\bar{\omega}_p \tag{10}$$

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

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

3.2. Способ №2 (b_m неизвестно)

Закон управления формируется в виде:

$$u = \hat{\Psi}^T\omega \tag{12}$$

Введем в рассмотрение сигнал расширенной ошибки:

$$\hat{\varepsilon} = \varepsilon + \hat{k}\xi, \tag{13}$$

где:

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

Алгоритм адаптации примет следующий вид:

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

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

4. Экспериментальная часть

4.1. Параметры системы

Согласно варианту 21, исходные данные:

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

5. Вывод

...