

$\sigma, \hat{\zeta}$ – состояния расширенного наблюдателя вида

$$(12) \quad \begin{aligned} \dot{\hat{\zeta}}_1 &= \hat{\zeta}_2 + \kappa A_3(\zeta_1 - \hat{\zeta}_1), \\ \dot{\hat{\zeta}}_2 &= \hat{\zeta}_3 + \kappa^2 A_2(\zeta_1 - \hat{\zeta}_1), \\ \dot{\hat{\zeta}}_3 &= \sigma + \bar{B}_0 V_q + \kappa^3 A_1(\zeta_1 - \hat{\zeta}_1), \\ \dot{\sigma} &= \kappa^4 A_0(\zeta_1 - \hat{\zeta}_1), \end{aligned}$$

где $\kappa > 0$ – высокий коэффициент усиления, A_0, A_1, A_2, A_3 – матрицы с настроечными коэффициентами.

Замечание 2. *Выполнение условия (11) означает, что для реализации управления (10) достаточно знать оффлайн оценку обратной матрицы от матрицы инерции $M^{-1}(\theta)$ для получения стационарной оценки \bar{B}_0 , требующейся для расширенного наблюдателя (12)*

Неизвестные параметры манипулятора могут быть оценены с помощью методов параметрической идентификации. Известно, что динамическая модель робота может быть представлена в виде линейной регрессии [4]

$$(13) \quad M(\theta)\ddot{\theta} + C(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta} + F\dot{\theta} + g(\theta) = \tau = \phi^\top(\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta})\rho,$$

где $\phi^\top(\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta})$ – регрессор и $\rho = (\rho_1 \ \rho_2 \ \dots \ \rho_i)^\top$ – вектор неизвестных параметров, где i – количество неизвестных параметров модели (13).

В работе [3] показано, как при помощи алгоритма оценивания неизвестных параметров на базе динамического расширения регрессора, предложенного в [2], можно получить оценки параметров ρ и восстановить матрицу инерции $\hat{M}(\rho)$, что в конечном итоге позволит получить оценку матрицы \bar{B}_0 для наблюдателя (12).

4. Компьютерное моделирование

Рассмотрен 2-звенный плоский манипуляционный робот, динамика которого описывается моделью (1) с вращательными сочленениями, приводимыми в движение синхронными двигателями с постоянными магнитами. В качестве желаемой траектории рассмотрены три типа сигналов: постоянный, гармонический и полиномиальный.

Результаты моделирования показаны на рисунке 1. Как видно, выходные переменные $\theta = (\theta_1 \ \theta_2)^T$ сходятся сколь угодно близко к задающим сигналам $\theta_{ref} = (\theta_{ref,1} \ \theta_{ref,2})^T$, а сигналы ошибок $\theta_e = (\theta_{e,1} \ \theta_{e,2})^T$ стремятся в сколь угодно малую область в окрестности нуля для всех типов рассматриваемых задающих сигналов.

5. Заключение

Найденная замена переменных для системы (1) существенно упрощает синтез регулятора по сравнению с подходом, предложенным в [1]. За счет такой параметризации системы, которая исключает нестационарный матричный коэффициент усиления в цепочке интеграторов от входа к выходу, представленный обратной матрицей от матрицы инерции. Предложено проводить требующуюся для

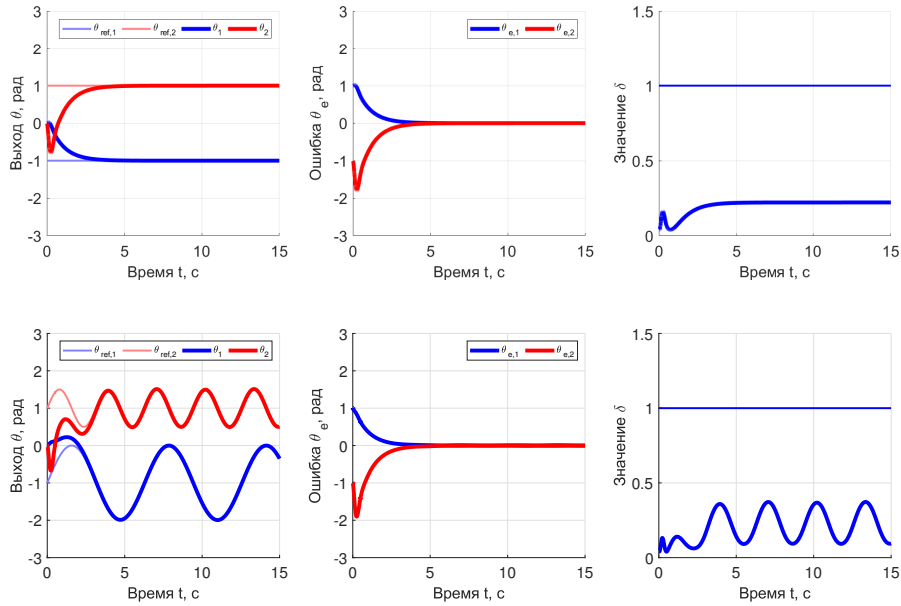


Рис. 1. Результаты моделирования для постоянного, гармонического и полиномиального задающих сигналов

расширенного наблюдателя оффлайн оценку обратной матрицы инерции методом динамического расширения регрессора. Работоспособность предлагаемого алгоритма проиллюстрирована на компьютерном моделировании.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (паспорт госзадания №2019-0898).

Список литературы

1. Borisov O., Isidori A., Kakanov M., Pyrkin A. Robust tracking control of a robot arm actuated by permanent magnet synchronous motors // International Journal of Robust and Nonlinear Control. 2022. Vol. 32, No. 18. P. 10358-10373.
2. Aranovskiy S., Bobtsov A., Ortega R., Pyrkin A. Performance Enhancement of Parameter Estimators via Dynamic Regressor Extension and Mixing // IEEE Transactions on Automatic Control. 2017. Vol. AC-62, No. 7. P.3546-3550.
3. Zhivitskii A., Borisov O., Dovgopolik I. Parameter Estimation and Indirect Adaptive Control of a Robot Arm // 2022 8th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), Istanbul, Turkey. 2022. P. 1421-1426.
4. Spong M.W., Hutchinson S., Vidyasagar M. Robot Modeling and Control // Industrial Robot. 2006. Vol. 33, No. 5. P. 403-403.