

РОБАСТНО-АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Абрахим А. А.¹

¹*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» Россия (197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5), e-mail: inkeedo83@mail.ru*

Много-массовая система с упругими связями является одна из самых сложных динамических систем. Сложность в подобных системах заключается в упругости механических связей и влияние демпфирования, из-за которых возникает непрерывного автоколебания в переходном процессе. С помощью метода робастного управления и метода адаптивного управления можно устранить неустойчивость в системе и влияние упругости в механических связях, благодаря критерии робастного метода и идентификаций адаптивного метода управления внутренних и внешних возмущения. Совмещение двух методов в одном алгоритме выбирая правильный расчет коэффициентов, ведет к тому, что оба метода действуют, не влияя друг на друга. Робастно-адаптивный алгоритм рассматривается как решение для устранения влияния упругости и внешние возмущения четырёх-массового радиотелескопа РТ-70[1].

Ключевые слова: много-массовая система, робастное управление, адаптивное управление, электропривод с упругими связями.

ROBUST-ADAPTIVE CONTROL FOR DYNAMICAL SYSTEMS

Abraheem A. A.¹

¹*Saint-Petersburg State Electrotechnical "LETI", Saint-Petersburg, Russia (197376, Saint-Petersburg, Prof. Popova str. 5), e-mail: inkeedo83@mail.ru*

Multi-mass system with elastic coupling is considered as one of the most complex dynamic systems. The complexity of such systems lies in the elasticity of the mechanical coupling and the backlash effect of the transfer wheel, which arises self-oscillation in the transient response. The method of robust control and adaptive control method can eliminate the instability in the system and the effect of elasticity in the mechanical linkages, the criteria of robust method and the identifications of internal and external disturbances. The combination of the two methods in one algorithm selecting the correct parameters of each method control, leads to high performance of both methods without interfering with each other. Robust-adaptive algorithm is considered as a solution to eliminate the effect of elasticity and disturbance for four-mass radio telescope (RT-70).

The keywords: multi-mass system, robust control, adaptive control, electrical drive with elastic coupling.

Математическое описание радиотелескопа включает в себя неопределенность, которая определяется такими параметрами, как коэффициент жёсткости и коэффициент вязкости трения. Эти параметры изменяются в зависимости от разных факторов, таких как окружающая температура, скорость двигателя и др. На радиотелескоп существенное влияние оказывает внешнее возмущение - воздействие ветра. Рассматривается робастный подход к синтезу H_∞ -управления для решения данного комплекса вопросов, также рассматривается адаптивное управление с эталонной моделью (ЭМ) для устранения влияния зазора на объекте радиотелескопа.

Объект управления P имеет два входа, два внешних воздействия w , которые включают задаточный сигнал и возмущение. Контролируемая переменная обозначена u . Это вектор выходных сигналов системы, состоящий из сигнала ошибки z , который надо минимизировать, и измеренной переменной v , которая используется в контуре управления. В K используется v для подсчёта переменной u .

Уравнение системы:

$$\begin{bmatrix} z \\ v \end{bmatrix} = P(s) \begin{bmatrix} w \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P11 & P12 \\ P21 & P22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w \\ z \end{bmatrix}$$

$$u = K(s)v$$

таким образом, можно выразить зависимость z от w :

$$z = F_l(P, K)w$$

и далее:

$$F_l(P, K) = P11 + P12K(I - P22K)^{-1}P21$$

таким образом, целью H_∞ -оптимального управления является синтез такого регулятора K , $F_l(P, K)$, который минимизировал бы H_∞ -норму системы. Норма на бесконечности матрицы $F_l(P, K)$ определяется как:

$$\|F_l(P, K)\|_\infty = \sup_{\omega} \sigma(F_l(P, K)(j\omega))$$

где $\bar{\sigma}$ - максимальное сингулярное число матрицы $F_l(P, K)(j\omega)$.

Найденный таким образом регулятор является оптимальным в H_∞ -смысле[4].

Для расчёта регулятора требуется определение весовых функций W_s , W_t и W_u , которые определяют характеристики чувствительности и качество замкнутой системы. В результате, получаемый регулятор обеспечит эти требования. Весовые функции имеют следующие описания:

$$W_s = \left(\frac{\frac{s}{\sqrt[m]{M_s}} + w_b}{s + w_b \sqrt[m]{A}} \right)^m ; W_t = \left(\frac{\frac{s}{w_{bt}} + \frac{1}{\sqrt[n]{M_t}}}{\frac{\sqrt[n]{As}}{w_{bt}} + 1} \right)^n$$

где M_s , M_t - максимальные значения амплитуды при высоких частотах, A - это качество (слежение за ошибкой) при малых частотах, w_b , w_{bt} - частоты среза.

Порядок регулятора зависит от порядка объекта и функций W_s и W_t , *порядок регулятора* $= N+n+m$, где N это порядок объекта, поэтому n и m должны быть как можно меньше.

Описание однодиапазонного электроприводного радиотелескопа 8-ого порядка, где вход - это двигатель с контуром тока, а выход - это скорость зеркала.

Расширенный объект P включает в себя описание радиотелескопа и весовых функций и определяется как МИМО объект

$$P = \left[\begin{array}{c|cc} A & B1 & B2 \\ \hline C1 & D11 & D21 \\ C2 & D21 & D22 \end{array} \right]$$

$$P = \left[\begin{array}{c|cc} W_s e & W_s & -W_s G \\ \hline W_u u & 0 & W_u \\ W_t y & 0 & W_t G \\ e & I & -G \end{array} \right]$$

Полученный регулятор 10-ого порядка обеспечит больше 250% от неопределённости объекта при изменении параметров механической связи (коэффициентов жёсткости и вязкости трения).

Для того, чтобы устранить эффект зазора, который отображается в качестве автоколебания, при котором объект становится не стабильным, используется алгоритм адаптивного управления.

Адаптивная система, исходя из описания объекта и ввода аналогичное описание эталонной модели

$$\dot{x}_m = A_m x_m + B_m r, \quad x_m(t_0) = x_{m0}$$

где r - m - мерный входной командный сигнал,

$$\begin{cases} \dot{x}_m = (A_m + \delta_a - K_a)x + (B_m + \delta_b - K_b)(r + z) \\ y = Cx \end{cases}$$

где $r + z = u' \in R^m$; $\delta_a = -A_m + A$; $\delta_b = -B_m + B$; $x \in R^n$, $y \in R^p$

Дополнительное адаптирующее воздействие z построено по знаковому алгоритму. Сигнальная адаптация вида

$$z = K_z \text{sign}(Pe); \quad e = x_m - x; \quad P = P^T > 0$$

где P - это решение уравнения Ляпунова.

Таким образом, адаптивный алгоритм (АА) наблюдает разницу момента упругости между объектом и моделью, сигнал ошибки e отражает влияние зазора, АА обновляет параметры робастного регулятора, пока ошибка существует (см. рисунок 2).

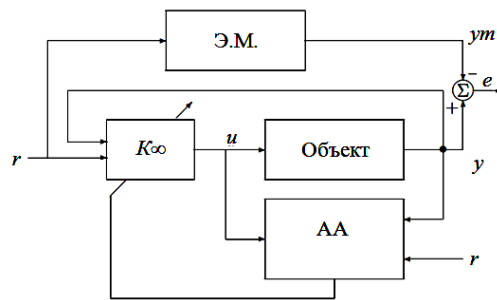


Рис.2

На рисунке 3 показаны результаты, полученные в среде SIMULINK-MATLAB, скорость зеркала ω_3 для объекта и ω_3' для эталонной модели и при сигнале задания скорости 5 рад/с, сигнал возмущения задаётся при 30с.

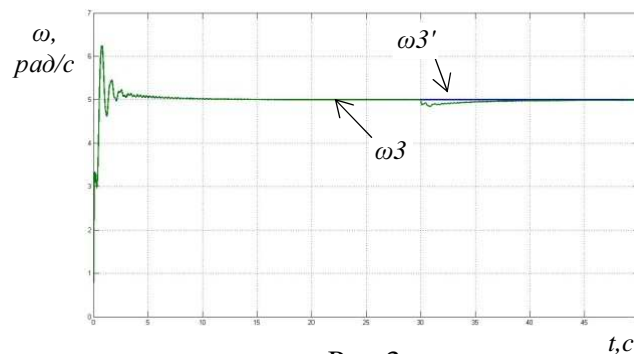


Рис.3

Объект имеет робастный характер для устранения влияния возмущения и изменения параметров радиотелескопа, адаптивный алгоритм успешно устраняет эффект зазора на объекте. С помощью одного двигателя можно запустить объект радиотелескоп и при этом получить весьма удовлетворительные результаты.

Список литературы

1. Соколовский Г.Г., Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. Академия, 2006. – 272 с. ISBN 5-7695-2306-9.
2. Sigurd Skogestad, Ian Postlethwaite, Multivariable feedback control. John Wiley & Sons, 2005. – 608 с. ISBN 978-0-470-01167-6.
3. Automatic Weight Selection Algorithm for Designing H Infinity controller for Active Magnetic Bearing, Sarath S Nair // International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST). – 2011. – Vol. 3, Issue 1. – PP. 122–138.
4. K. Zhou, J. C. Doyle, and K. Glover, Robust and Optimal Control. Prentice Hall, 1996. – 596 с. ISBN 0-1345-6567-3.
5. Ioannou P. and J. Sun, Robust Adaptive Control. Prentice Hall PTR, 1995. –848 с. ISBN 0-1343-9100-4.

Рецензенты:

1. Поляхов Николай Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», Россия, 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.
 2. Зубков Василий Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», Россия, 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.
-

РОБАСТНО-АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Абрахим А. А.

Ключевые слова: много-массовая система, робастное управление, адаптивное управление, электропривод с упругими связями.

ROBUST-ADAPTIVE CONTROL FOR DYNAMICAL SYSTEMS

Abraheem A. A.

The keywords: multi-mass system, robust control, adaptive control, electrical drive with elastic coupling.