АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ

Кузнецов В. П., Протченко Е. В., Хаджинова Н. В., Протченко Н. В.
Кафедра информационных систем и технологий,кафедра информационных технологий автоматизированных систем, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: vpk@bsuir.by, khajynova@bsuir.by, protchenko@bsuir.by

Рассматривается электромеханическая система стабилизации скорости двигателя с учётом изменения момента инерции нагрузки. Получены уравнения, описывающие динамику системы. Предложен и применен метод анализа устойчивости процессов в системе.

I. Постановка задачи

Существенной особенностью систем стабилизации и позиционирования электромеханических систем является нестационарность и неопределенность ряда параметров, возникающая в связи с изменением в широких пределах приведенного момента инерции на валу двигателя или из-за других причин.

В работе рассматривается и исследуется система управления приводом подвижности робота-манипулятора, структурная схема которой приведена на рисунке 1,

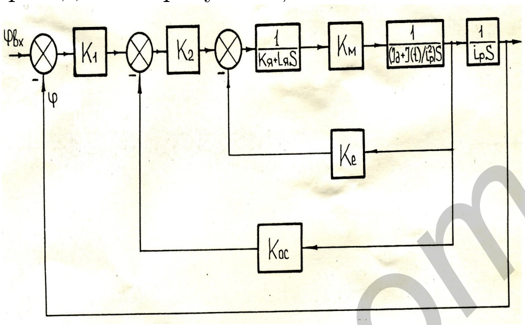

Рисунок 1 – Структурная схема системы управления приводом степени подвижности

где $K_1, K_2, K_e, K_{oc}, K_M$ – коэффициенты передачи (усиления) соответствующих блоков; ϕ - угол поворота выходного вала, i_p – коэффициент передачи редуктора; $K_я, L_я, J_d$ – постоянные характеризующие двигатель; J – момент инерции механизма.

Существенной особенностью является то, что момент инерции механизма J изменятся во времени, т.е. J зависит от t. Уравнение свободных колебаний данной системы $\phi e_x = 0$ имеет вид

$$\phi^{(3)} + b_1\phi^{(2)} + b_2\phi^{(1)} + b_3\phi = 0, \qquad (1)$$

где $b_1 = [T(t) + T_э T_v(t)/T_э T(t)]$,

$$b_2 = [1 + k_{вн}/T_э T(t)],$$

$$b_3 = [k/T_э T(t)].$$

В полученном дифференциальном уравнении третьего порядка существенным является зависимость коэффициентов b_i от времени, а именно от переменной во времени постоянной времени $T(t) = R_я[J_g + J(t)/i_p^2]/k_e k_м$, $T_v(t) = d/dt[T(t)]$.

Обычно, переменный во времени момент инерции $J(t)$ изменяется в некоторых пределах $Jmin < J(t) < Jmax$, причем часто закон изменения заранее неизвестен. Этот закон может зависеть от траектории движения, например, руки робота-манипулятора.

Таким образом, рассматриваемая система должна рассматриваться как нестационарная, а более точно как интервальная. Основная проблема, решаемая в настоящей работе – это найти области изменения момента инерции, при которых система будет асимптотически устойчивой.

II. Методика исследования

Методика анализа системы, описываемой уравнением (1) базируется на результатах работы авторов [1-3]. Основной смысл этой методики – это представление уравнения (1) в векторно-матричной форме.

$$X^{(1)} = Ax = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -b_3 & -b_2 & -b_1 \end{bmatrix} x, \qquad (2)$$

где $x = col[x_1, x_2, x_3]$ - вектор состояния системы $x_1 = \phi, x_2 = \phi^{(1)}, x_3 = \phi^{(2)}$. Далее для $b_{imin} < b_i(t) < b_{imax}$ выделяются некоторые средние значения (наиболее вероятные при практической работе системы) $\bar{b_i}$ и разделение матрицы A на матрицу с постоянными коэффициентами

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\bar{b}_3 & -\bar{b}_2 & -\bar{b}_1 \end{bmatrix},$$

и матрицу добавок

$$\Delta A(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\Delta b_3(t) & -\Delta b_2(t) & -\Delta b_1(t) \end{bmatrix},$$

Далее производим преобразование уравнения (2) к новым координатам с использованием замены

$$x = Mz, M = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1, \\ \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 \\ \lambda_1^2 & \lambda_2^2 & \lambda_3^2 \end{bmatrix},$$

где λ_i различные собственные числа матрицы $barA$, $z = col[z_1, z_2, z_3]$ – новый вектор состояния.

В результате такой замены приходим к новым уравнениям состояния

$$x^{(1)} = Dx + H(t)x,$$

где $D = diag[\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3], H(t) = M^{-1}\Delta A(t)M$.

Процессы в системе будут асимптотически устойчивы, если все корни уравнения

$$det\left\{\frac{[D + H(t)] + [D + H(t)]^*}{2} - \nu E\right\} = 0 \quad (3)$$

будут отрицательными для любого момента времени t. Знак $*$ означает эрмитово-сопряженную матрицу.

К уравнению (3) можно применить любой известный критерий устойчивости, например, Рауса или Гурвица.

III. Основные результаты

Итак, применяя предлагаемую методику к уравнению (1), мы получили допустимые области изменения постоянной времени $T(t)$ и ее производной $T_v(t)$, которые представлены на рисунке 2.

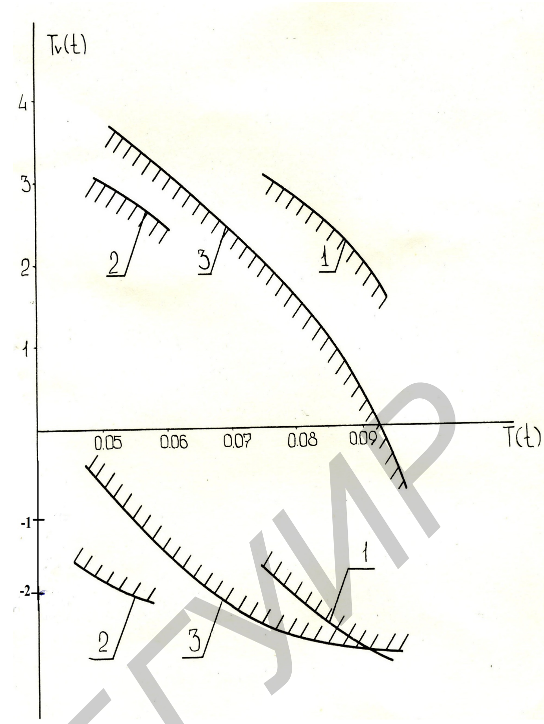

Рисунок 2 – Области устойчивости

Кривая 1 ограничивает допустимую область изменения параметров $T(t)$ и $T_v(t)$ при выдвижении руки с грузом $P = 5$, кривая $2 - P = 0$ кг, кривая $3 - P = (0 - 5)$ кг. При расчетах принималось среднее значение $T(t)$ соответственно $8,8 \cdot 10^{-2}$ с; $7,4 \cdot 10^{-2}$ с; $5,45 \cdot 10^{-2}$ с. Среднее значение $T_v(t)$ рассчитывалось при скорости выдвижения руки $V = 0,5$ м/с и имеет значение $\bar{T}v = 8 \cdot 10^{-2}$.

1. Кузнецов В.П. Оценки процессов в нелинейных нестационарных непрерывных интервальных системах.//Избранные научные статьи в 10-летию Минского института управления.-Мн.:МИУ,2001-с.12-16.
2. Кузнецов В.П., Протченко Е.В., Хаджинова Н.В. Анализ непрерывных динамических систем с неопределенными параметрами. //Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015): материалы м-н-т-к (БГУИР, Минск 2015).- Минск: БГУИР, 2015 – с.56-57.
3. Кузнецов В.П. Численные процедуры получения экспоненциальных оценок в линейных системах. // Автоматика и телемеханика, №5, 1987.