Герасимяк Р.П.,
Нгуен В.Х., Лещев В.А.

Украина
Одесса, Измаил

Одесский Национальный политехнический университет
Измаильский институт водного транспорта

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ С ЗАМКНУТЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Механическую часть электромеханической системы (ЭМС) механизмов подъема с электроприводом ТПН–АД можно представить состоящей из двух сосредоточенных масс и упругой связи между ними (канат). Из-за относительно малого значения момента инерции второй массы (груза) J_2 целесообразно учесть электромагнитную инерционность асинхронного двигателя. Для линеаризованного в «малом» АД были получены передаточные функции при определенных параметрах и заданном скольжении [1]:
передаточная функция АД по напряжению

$$H_u(p) = \frac{U_s r_r}{a_4} \cdot \frac{(b_1 p^3 + b_2 p^2 + b_3 p + b_4)}{a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4}, \tag{1}$$

передаточная функция внутренней обратной связи по скорости

$$H_\omega(p) = \frac{U_s^2 r_r}{a_4} \cdot \frac{(c_1 p^3 + c_2 p^2 + c_3 p + c_4)}{a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4}. \tag{2}$$

Для моделирования ЭМС по передаточным функциям (1) и (2) используется структурная схема, приведенная на рис.1, где звено «параметры» позволяет менять коэффициенты $H_u(p)$, $H_\omega(p)$ в функции скольжения (ω_1). Вся система (рис.1) описывается уравнениями в операторной форме

$$\begin{cases} (U_z - \omega_1 \cdot k_{oc}) H_u(p) k = M_u \\ M_u - H_\omega(p) \cdot \omega_1 = M \\ (M - M_y) \cdot \dfrac{1}{J_1 p} = \omega_1 \\ M_y = (\omega_1 - \omega_2) \cdot \dfrac{C_{12}}{p} \\ (M_y - M_c) \cdot \dfrac{1}{J_2 p} = \omega_2 \end{cases} \tag{3}$$

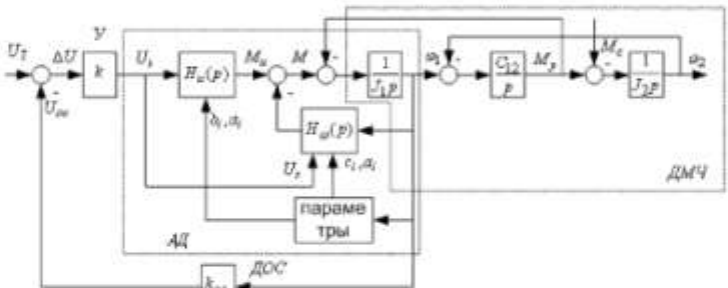


Рис.1. Структурная схема нелинейной двухмассовой ЭМС, полученной по передаточным функциям

В (3) и на рис.1 все величины приведены к валу двигателя:
k_{oc} – коэффициент обратной связи по скорости двигателя,
$k = \kappa_y \cdot \kappa_n$ – произведение коэффициентов усилителя и преобразователя напряжения,
M – момент двигателя, а M_u – составляющая момента от напряжения,
ω_1, ω_2 - скорости двигателя и второй массы, C_{12}- коэффициент жёсткости упругой связи, а $M_y = C_{12}(\omega_1 - \omega_2)\dfrac{1}{p}$ - момент упругой деформации.

Решая системуу уравнений (3) относительно интересуемых переменных, получим выражения:

$$
\begin{aligned}
M_y &= \frac{C_{12}H_u(p)\cdot J_2 k U_z p + [H_\omega(p) + H_u(p)kk_{oc} + J_1 p]C_{12}\cdot M_c}{(J_2p^2 + C_{12})[H_\omega(p) + H_u(p)kk_{oc}] + J_2J_1p^3 + C_{12}(J_1+J_2)p} \\
\omega_1 &= \frac{[C_{12}H_u(p) + H_u(p)J_2p^2]kU_z - C_{12}M_c}{(J_2p^2 + C_{12})[H_\omega(p) + H_u(p)kk_{oc}] + J_2J_1p^3 + C_{12}(J_1+J_2)p}. \\
\omega_2 &= \frac{C_{12}kH_u(p)U_z - \{[H_\omega(p) + H_u(p)kk_{oc}]p + (C_{12} + J_1p^2)\}M_c}{(J_2p^2 + C_{12})[H_\omega(p) + H_u(p)kk_{oc}] + J_2J_1p^3 + C_{12}(J_1+J_2)p}
\end{aligned}
\qquad (4)
$$

Из выражений (4) вытекает характеристическое уравнение

$$(J_2p^2 + C_{12})[H_\omega(p) + H_u(p)kk_{oc}] + J_2J_1p^3 + C_{12}(J_1+J_2)p = 0$$

или

$$=> C_0p^7 + C_1p^6 + C_2p^5 + C_3p^4 + C_4p^3 + C_5p^2 + C_6p + C_7 = 0, \qquad (5)$$

где коэффициенты C_i являются функциями k, C_{12}, J_1, J_2 и всех параметров двигателя.

При использовании критерия Гурвица необходимо записать определители для матрицы, которая составляется из коэффициентов уравнения (5) следующим образом.

$$
\begin{vmatrix}
C_1 & C_3 & C_5 & C_7 & 0 & 0 & 0 \\
C_0 & C_2 & C_4 & C_6 & 0 & 0 & 0 \\
0 & C_1 & C_3 & C_5 & C_7 & 0 & 0 \\
0 & C_0 & C_2 & C_4 & C_6 & 0 & 0 \\
0 & 0 & C_1 & C_3 & C_5 & C_7 & 0 \\
0 & 0 & C_0 & C_2 & C_4 & C_6 & 0 \\
0 & 0 & 0 & C_1 & C_3 & C_5 & C_7
\end{vmatrix}
$$

Согласно критерию устойчивости Льенара– Шипара [3], для определения устойчивости САУ, описываемой дифференциальным уравнением 7-го порядка, достаточно выяснить, удовлетворяются ли неравенства $\Delta_2 > 0, \Delta_4 > 0, \Delta_6 > 0$ при всех положительных коэффициентах, т.е. должно быть

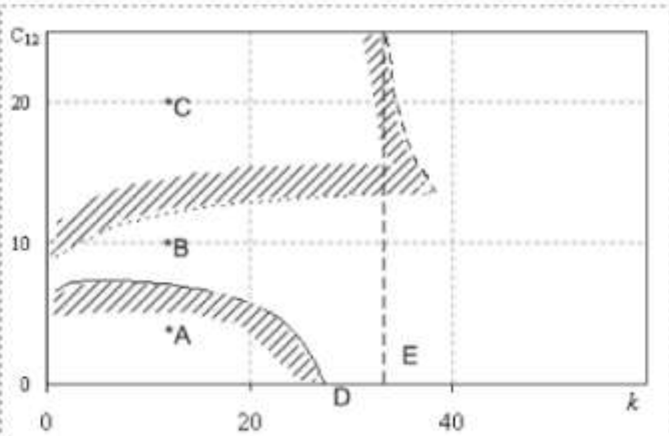
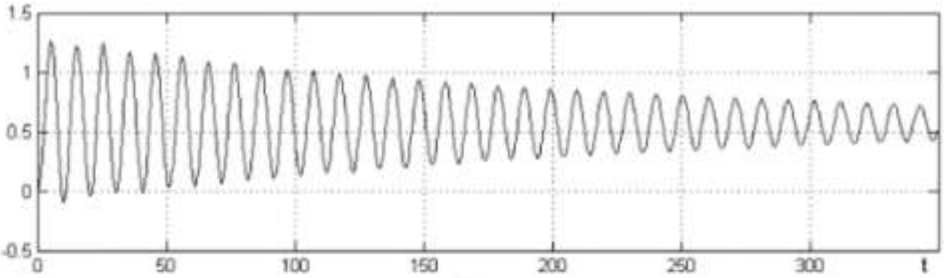


Рис.2. Область устойчивости для точки разложения J_2 =0,15 J_1 и M_c =0,571, $\omega = 0{,}1$

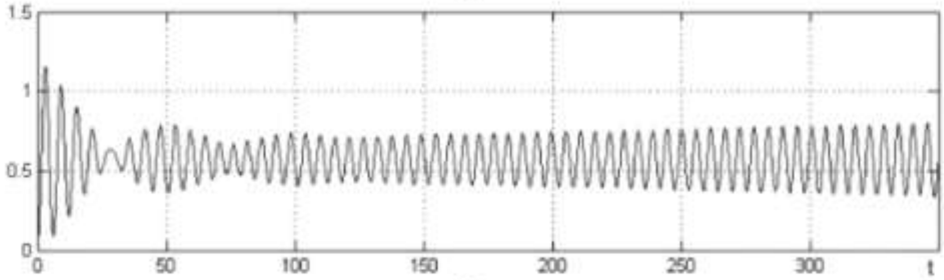
$$
\begin{cases}
C_i > 0 \\
\Delta_2 = C_1C_2 - C_0C_3 > 0 \\
\Delta_4 = \Delta_3C_4 + \Delta_2(C_1C_6 - C_2C_5 - C_0C_7) + C_0C_5(C_1C_4 - C_0C_5) > 0 \\
\Delta_6 = \Delta_5C_6 - \Delta_4C_4C_7 + \Delta_3C_2C_6C_7 - \Delta_2C_7(C_0C_5C_6 + C_2^2C_7 - C_0C_4C_7) + \\
\qquad + C_0C_7[C_1^2C_6^2 + C_1C_7(C_2C_4 - 2C_0C_6) + C_0C_7(C_0C_7 - C_2C_5)] > 0.
\end{cases}
\qquad (6)
$$

Решение системы неравенств (6) относительно коэффициента усиления k и жесткости C_{12} позволило определить граничные жесткости для разных коэффициентов k и получить зоны устойчивости ЭМС в координатах жесткость C_{12} (в относительных единицах) -- коэффициент усиления k. Были получены области устойчивости, исходя из передаточных функций АД (1) и (2). Однако в [2] показано, что реальные граничные коэффициенты усиления АД должны быть скорректированы с учетом коэффициентов γ и β, зависящих от точки разложения в установившемся режиме работы АД. Коэффициент γ учитывает тот факт, что H(p) АД получены для линеаризованной модели, а β– изменение насыщения магнитной цепи. В нашем случае γ=0,95, β=0,9. С их учетом на рис.2 приведены результаты расчета для двигателя 4MTFH200L8 и одной из точек разложения при J_2 =0,15 J_1, что характерно для подъемных механизмов. На ней зоны устойчивости находятся со стороны штриховки.

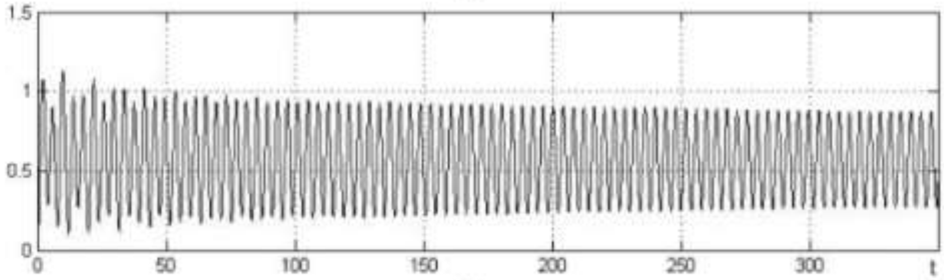
На рис.3 показаны переходные процессы M_y (t). Заметим, что переходные процессы момента упругости в точках A(k=10, C_{12} =3– рис.3,а) и С (k=10, C_{12} =20– рис.3,с) затухают – системы устойчивы. На рис. 3,б показан переходный процесс для точки В (k=10, C_{12} =10) – система неустойчива. Таким образом, моделирование подтверждает рассчитанные графики областей устойчивости.



(a)



(б)



(c)

Рис.3. Переходные процессы момента упругости (M_y и t – в относительных единицах)

В частных случаях, при $C_{12} = 0$ - точка D (или $C_{12} \to \infty$ - точка E), действует абсолютно жесткая ЭМС с $J = J_1$ (или $J = J_1 + J_2$). Для неё граничные коэффициенты легко могут быть рассчитаны как для одномассовой ЭМС [2]. Заметим, что при увеличении напряжения в установившемся режиме (статического момента) зоны устойчивости сужаются, т.е. графики сдвигаются влево.

Литература.

1. Герасимяк Р.П. Динамика асинхронных электроприводов крановых механизмов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 168 с.
2. Нгуен В.Х. Расчет граничных коэффициентов усиления замкнутой системы асинхронного электропривода с учетом насыщения // Електромашинобуд. та електрообладн. – 2008. – Вип. 70. – С.30-36.
3. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування.: Підручник.– К.:Либідь, 1997. – 544 с.