

# ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВОГО КРАНУ З ГАСІННЯМ КОЛИВАНЬ ПІДВІШЕНОГО ВАНТАЖУ

**Кудін В.Ф. д.т.н. проф., Савченко І.О. магістрант**

*кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу*

**Вступ:** В даній роботі розглянемо проблему гасіння коливань підвішеного вантажу. Ця проблема стала дуже актуальною на сьогоднішній день[1]. Коливальність підвішеного вантажу дуже сповільнює роботу та підвищує ризик травмування людей або псування обладнання.

**Постановка задачі:** Розробити математичну модель двомасової електромеханічної системи. Отримати передаточну функцію розімкнутої системи та виконати синтез регулятора методом ЛАХ.

**Рішення задачі:**Складемо передаточну функції для усієї системи в цілому, що складеться з передаточної функції електроприводу та підвішеного вантажу представленого коливальною ланкою[1].

Нехтуючи втратами при деформації нитки, рух розглянутої системи можна описати відомими диференціальними рівняннями [1]:

$$F - F_G = m_1 \frac{d^2 X_1}{dt^2}; F_G = m_2 \frac{d^2 X_2}{dt^2}$$

$F_G = m_2 g \varphi$  отримуємо вираз, що зв'язує кут відхилення вантажу з задаючою дією,  $\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \Omega^2 \varphi = \frac{F}{m_1 L}$ . Перейшовши до операторної форми запису, з

урахуванням  $\Omega = \frac{1}{T} = \sqrt{\frac{g(m_1 + m_2)}{L m_1}} = \Omega_0 \sqrt{\gamma_1}$  отримуємо передатну функцію для

$$\text{кута } \varphi: H_\varphi(p) = \frac{\varphi(p)}{F(p)} = \frac{1}{gm(T^2 p^2 + 1)}.$$

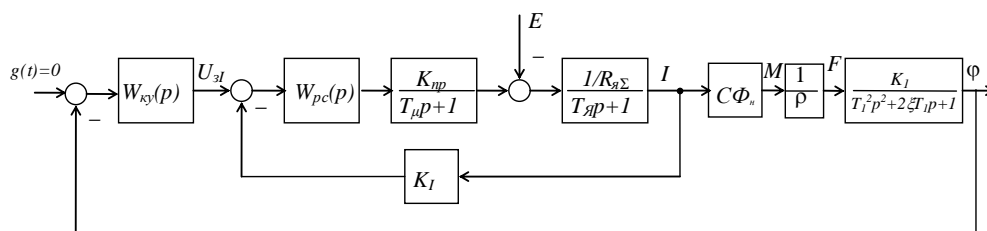


Рис.1 Структурна схема математичної моделі системи «візок-вантаж»

На основі структурної схеми Рис.1 складаємо передаточну функцію розімкненої системи:

$$W_{роз}(p) = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot c \Phi_n \cdot \frac{1}{\rho}}{(2T_\mu p + 1) \cdot (T_1^2 p^2 + 2\xi T_1 p + 1)}; \text{ де } K_2 = \frac{1}{K_I}$$

Для даної фу-її знайдемо коефіцієнт підсилення розімкненої системи, в нашому випадку  $K_0 = K_1 \cdot K_2 \cdot c \Phi_n \cdot \frac{1}{\rho} = 3,7 \cdot 10^{-2}$

Так як коефіцієнт підсилення розімкненої системи недостатній, введемо в систему підсилувач  $K_y = 300$ .

Передаточна функція розімкненої системи матиме вигляд:

$$W_{роз}(p) = \frac{K_y \cdot K_0}{(2T_\mu p + 1) \cdot (T_1^2 p^2 + 2\xi T_1 p + 1)};$$

де  $K_0 = 3,7 \cdot 10^{-2}$ ;  $K_y = 300$ ;  $T_1 = 0,71$ ;  $T_\mu = 0,05$ ;  $\xi = 0,01$ .

Виконаємо процедуру синтезу[2] побудуємо ЛАХ та ФЧХ нескоректованої нескорегованої  $L_{НС}(\omega)$

З Рис.2 отримуємо  $\omega_1 = \frac{1}{T_1} = 1,4$   $\omega = \frac{1}{2T_\mu} = \frac{1}{2 \cdot 0,05} = 10$  ( $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$ )

Після побудови ФХ нескорегованої системи  $\varphi_{НС}(\omega)$  за критерієм Найквіста отримуємо, що система не стійка, бо відсутній запас стійкості за фазою та амплітудою. Необхідна послідовна корекція.

Будуємо бажану ЛАХ  $L_{СК}(\omega)$  (Рис.2):

Запишемо характеристичне рівняння замкнутої системи:

$$1 + W_p(p) = 0$$

$$(2T_\mu p + 1) \cdot (T_1^2 p^2 + 2\xi T_1 p + 1) + K_0 + 1 = 0$$

$$T_1^2 T_\mu p^3 + \underbrace{(4\xi T_1 T_\mu + T_1^2)}_{a_1} p^2 + \underbrace{(2\xi T_1 + T_\mu)}_{a_2} p + \underbrace{K_0 + 1}_{a_3} = 0$$

Використовуємо значення середньгеометричного кореня як характеристику швидкодії замкнутої системи[3].

$$\Omega = \sqrt[3]{|p_1 p_2 p_3|} = \sqrt[3]{\frac{a_3}{a_0}} = \sqrt[3]{\frac{12,1}{5 \cdot 10^{-3}}} = 13,43$$

Тривалість перехідного процесу у лінійній САУ визначається співвідношенням:

$$t_n = \frac{3}{\Omega} = \frac{3}{13,43} = 0,22 \text{ с.}$$

Частота різку бажаної ЛАХ матиме значення:

$$\omega_3 \geq \frac{k_0 \cdot \pi}{t_p} = \frac{1,5 \cdot 3,14}{0,022} \approx 30 \left( \frac{\text{рад}}{\text{с}} \right).$$

Через  $\omega_3$  проводиться пряма під нахилом  $-20\text{дб/дек}$  до перетину з ЛАХ нескоректованої системи. На перетині отримуємо частоту

$$\omega_2 = 1,4 \left( \frac{\text{рад}}{\text{с}} \right) \rightarrow T_2 = \frac{1}{\omega_2} = \frac{1}{1,4} = 0,71 \text{ с}$$

де  $T_2 = 0,71 \text{ с}$  – стала часу форсуючої ланки, що забезпечує нахил  $+20\text{дб/дек}$  ЛАХ коректуючого пристрою у середньчастотній області.  $\omega_3$  вибирається довільно в межах  $(2..4)\omega_3$ , обираємо  $\omega_3 = 460 \text{ рад/с}$ . Тоді маємо значення  $T_3$  – сталої часу аперіодичної ланки 1-го порядку, що вступає в дію у високочастотній області:

$$T_3 = \frac{1}{\omega_3} = \frac{1}{460} = 0,0022 \text{ с}$$

Користуючись співвідношенням  $L_{ск}(a) = L_{ку}(a) + L_{нс}(a)$ ;  $\varphi_{ск}(a) = \varphi_{ку}(a) + \varphi_{нс}(a)$

Будуємо графічно ЛАХ та ФЧХ послідовного корегуючого пристрою та отримуємо реальну форсуючу ланку II порядку:  $W_{ку}(p) = \frac{T_1^2 p^2 + 2\xi T_1 p + 1}{T_2^2 p^2 + 2\xi T_2 p + 1}$ ,

Після побудови скорегованої системи отримуємо, що система стійка та має запас за амплітудою 10дБ та за фазою  $65^\circ$ .

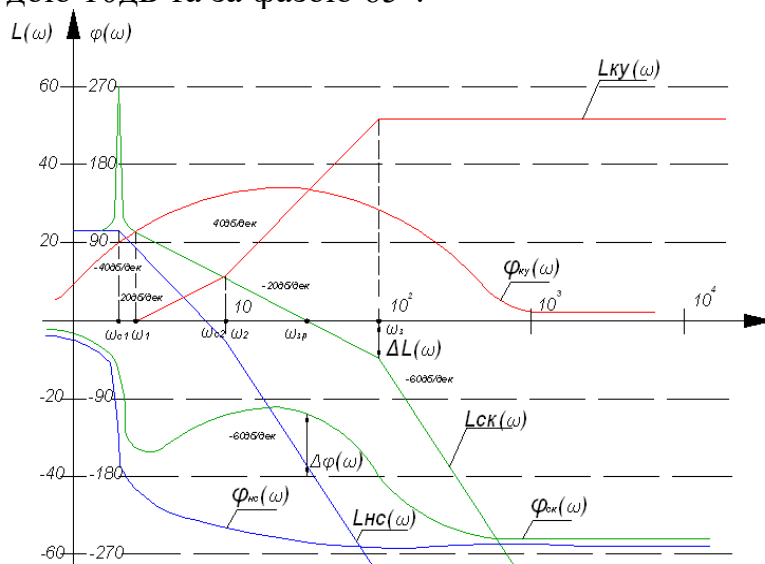


Рис.2 ЛАХ та ФЧХ нашої системи

Виконаємо дослідження динаміки замкненої електромеханічної системи методом цифрового моделювання Рис.3.

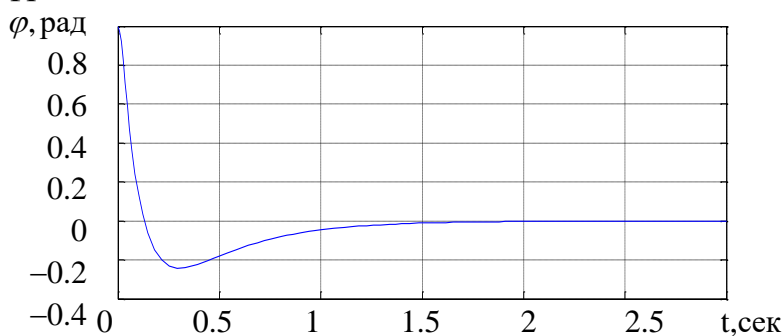


Рис.3 Перехідний процес по куту відхилення з регулятором.

**Висновки:** в даній роботі розглядалась електромеханічна система переміщення мостового крану з гасінням коливань підвішеного вантажу. Була проведена процедура синтезу корегуючого пристрою та моделювання замкненої електромеханічної системи. Порівнюючи отримані результати, бачимо, що регулятор стабілізації коливань підвішеного вантажу забезпечує вирішення поставленої задачі.

#### Перелік посилань

1. Герасимьяк Р.П., Лещёв В.А. Анализ и синтез крановых электромеханических систем. – Одесса, СМІЛ, 2008. – 192с
2. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360с.
3. Бессекерский В.А. Цифровые автоматические системы, М, Наука, 1976 .