

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОМАСОВИХ СИСТЕМ МОДАЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З НУЛЯМИ В ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ФУНКЦІЯХ ОБ'ЄКТА**

В електромеханічних системах дуже часто зустрічаються механізми, які володіють пружними властивостями першого роду. До таких механізмів можна віднести, наприклад: підіймальні механізми, які використовуються для проведення перевантажувальних та рятувальних робіт; електродотримачі в електросталеплавильних печах; довгі вали у різного роду верстатах тощо. Їхні пружні властивості суттєво впливають на ефективність роботи електромеханічної системи. Демпфувати пружні коливання в таких системах можна за допомогою, синтезованих відповідним чином систем автоматичного керування. Як правило, для усунення пружних коливань робочого органу виробничого механізму використовують системи модального регулювання (СМР). Опис СМР за допомогою передавальної функції з урахуванням дії дисипативних сил, що діють в об'єкті регулювання, показує, що в її передавальній функції pojawiaються нулі [1]. Тому традиційно використовують вхідні фільтри, які усувають дію нулів на динамічні процеси в синтезованій СМР. Тоді параметри синтезованого модального регулятора двомасової СМР швидкістю другої маси розраховуються згідно наступних виразів:

$$\left. \begin{aligned} K_{11} &= \frac{R_{\text{я}}(\alpha_1 \omega_0 T_{\text{я}} J_1 J_2 - J_1 J_2 - T_{\text{я}} J_1 b_{12} - T_{\text{я}} J_1 a_2 - T_{\text{я}} b_{12} J_2 - T_{\text{я}} a_1 J_2)}{K_{\text{тп}} J_1 J_2}, \\ K_{12} &= \frac{1}{K_{\text{тп}} C J_2} [\alpha_2 \omega_0^2 R_{\text{я}} T_{\text{я}} J_1 J_2 - K_{\text{тп}} K_{11} J_1 (b_{12} + a_2) - R_{\text{я}} T_{\text{я}} C_{12} (J_1 + J_2) - R_{\text{я}} b_{12} (J_1 + J_2) - \\ &\rightarrow -R_{\text{я}} T_{\text{я}} b_{12} (a_1 + a_2) - C^2 J_2 - K_{\text{тп}} K_{11} J_2 (a_1 + b_{12}) - R_{\text{я}} a_1 J_2 - R_{\text{я}} J_1 a_2 - R_{\text{я}} T_{\text{я}} a_1 a_2], \\ K_{13} &= \frac{1}{K_{\text{тп}} C C_{12} (b_{12} a_2 - C_{12} J_2)} [R_{\text{я}} T_{\text{я}} C_{12}^2 (a_1 + a_2) + K_{\text{тп}} K_{11} C_{12}^2 (J_1 + J_2) + \alpha_4 \omega_0^4 R_{\text{я}} T_{\text{я}} J_1 b_{12} J_2 + \\ &\rightarrow + a_1 C_{12} a_2 (R_{\text{я}} + K_{\text{тп}} K_{11}) + K_{\text{тп}} K_{12} C C_{12} a_2 - \alpha_3 \omega_0^3 R_{\text{я}} T_{\text{я}} J_1 C_{12} J_2 + C^2 C_{12} a_2 + R_{\text{я}} C_{12}^2 (J_1 + J_2)], \\ K_{14} &= \frac{1}{K_{\text{тп}} C (b_{12} a_2 - C_{12} J_2)} [C^2 C_{12} J_2 + R_{\text{я}} a_1 C_{12} J_2 - R_{\text{я}} a_1 b_{12} a_2 - R_{\text{я}} J_1 C_{12} a_2 - K_{\text{тп}} K_{11} b_{12} a_2^2 - \\ &\rightarrow -K_{\text{тп}} K_{12} C (a_2^2 - C_{12} J_2 + b_{12} a_2) - C^2 a_2^2 - R_{\text{я}} a_2^2 (a_1 + b_{12}) - \alpha_4 \omega_0^4 R_{\text{я}} T_{\text{я}} J_1 J_2^2 - C^2 b_{12} a_2 - \\ &\rightarrow -K_{\text{тп}} K_{11} C_{12} (J_1 a_2 - a_1 J_2) + \alpha_3 \omega_0^3 R_{\text{я}} T_{\text{я}} J_1 a_2 J_2 - R_{\text{я}} T_{\text{я}} C_{12} a_2 (a_1 + a_2) - K_{\text{тп}} K_{11} a_1 a_2 (b_{12} + a_2)] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де:  $K_{\text{тп}}$  – коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача;  $R_{\text{я}}$  – опір якірного кола двигуна;  $T_{\text{я}}$  – стала часу якірного кола;  $J_1, J_2$  – момент інерції першої і другої мас;  $C_{12}$  – коефіцієнт пружної деформації;  $a_1, a_2$  – коефіцієнти зовнішнього в'язкого тертя;  $b_{12}$  – коефіцієнт внутрішнього в'язкого тертя;  $\alpha_1, \alpha_2$  – параметри стандартної форми характеристичного полінома;  $\omega_0$  – бажаний середньгеометричний корінь системи.

Для відтворення координати  $M_{12}$  (момент пружної деформації), необхідної для побудови СМР, використовуємо спостерігач, синтезований в роботі [2], де з метою спрощення процедури його синтезу знехтувано дією дисипативних сил. Вирази параметрів спостерігача  $L_{13}, L_{23}, L_{33}$ , що повинні забезпечити бажану форму перехідного процесу вихідної координати спостерігача, в цьому випадку є такими:

$$\left. \begin{aligned} L_{13} &= \frac{\omega_{0\text{сп}} J_2 (\alpha_{3\text{сп}} \omega_0^2 J_1 - \alpha_1 C_{12})}{J_1 C_{12}}, \\ L_{23} &= \frac{\alpha_{2\text{сп}} \omega_{0\text{сп}}^2 J_1 J_2 - C_{12} J_2 - J_1 C_{12}}{J_1}, \\ L_{33} &= \alpha_{1\text{сп}} \omega_{0\text{сп}}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де  $\omega_{0\text{сп}}$  – бажаний середньгеометричний корінь спостерігача.

Розраховані параметри модального регулятора і спостерігача за умови синтезу їх згідно стандартної біноміальної форми ( $\alpha_1 = 4, \alpha_2 = 6, \alpha_3 = 4, \alpha_4 = 1, \alpha_{1\text{сп}} = 3, \alpha_{2\text{сп}} = 3, \alpha_{3\text{сп}} = 1$ ), коли  $\omega_0 = 80 \text{ c}^{-1}, \omega_{0\text{сп}} = 250 \text{ c}^{-1}$ , згідно виразів (1) і (2), мають значення:  $K_{11} = 0,046; K_{12} = 0,037; K_{13} = -0,057; K_{14} = 0,37; L_{13} = -628,11; L_{23} = 11595,43; L_{33} = 480$ . Дослідимо тепер на експериментальній установці [2], як нехтування дією дисипативних сил під час синтезу спостерігача вплине на якість перехідних процесів в реальній СМР. На рис. 1 показано осцилограми перехідних

процесів  $I_a(t)$ ,  $\omega_1(t)$ ,  $\omega_2(t)$ ,  $M_{12}(t)$ . Як видно з рисунку, у цьому випадку величина перерегулювання становить  $\delta_{\omega_2} = 7,7\%$ , час досягнення усталеного значення швидкості  $\omega_2 t_y = 0,46\text{с}$ , а час регулювання  $t_p = 0,43\text{с}$ . У роботі [2], де і СМР, і спостерігач синтезовані без урахування дії дисипації, ці показники є наступними:  $\delta_{\omega_2} = 49\%$ ;  $t_p = 0,45\text{с}$ ;  $t_y = 0,55\text{с}$ . Порівняльний аналіз даних результатів дає змогу стверджувати, що СМР, яка синтезована з урахуванням дії дисипативних сил, забезпечує кращі перехідні процеси, ніж коли їх не враховувати. У той же час, СМР зі спостерігачем, побудованим без урахування дисипації, не здатна забезпечити очікувану стандартну біноміальну форму перехідного процесу  $\omega_2(t)$  через спрощені вирази розрахунку параметрів спостерігача.

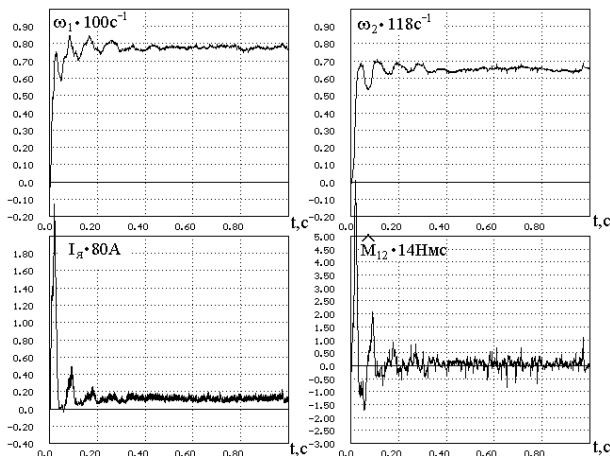


Рис. 1. Осцилограми перехідних процесів в СМР зі спостерігачем ( $\omega_0 = 80\text{с}^{-1}$ ,  $\omega_{0\text{сп}} = 250\text{с}^{-1}$ )

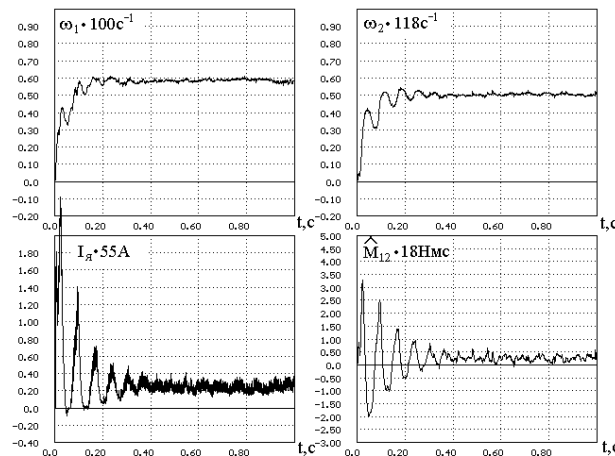


Рис. 2. Осцилограми перехідних процесів в СМР зі спостерігачем ( $\omega_0 = 80\text{с}^{-1}$ ,  $\omega_{0\text{сп}} = 160\text{с}^{-1}$ )

Крім цього, були проведені експериментальні дослідження чутливості синтезованої системи до точності визначення параметрів об'єкта. Для цього було прийнято, що:  $a_1 = a_2 = 0,08\text{Нмс}$ ;  $b_{12} = 1,5\text{Нмс}$ , хоча в дійсності вони мають значення:  $a_1 = a_2 = 0,15\text{Нмс}$ ;  $b_{12} = 2,5\text{Нмс}$ . Тоді параметри модального регулятора, за результатами його синтезу за стандартною біноміальною формою, є такими:  $K_{11} = 0,062$ ;  $K_{12} = 0,204$ ;  $K_{13} = -0,0888$ ;  $K_{14} = 0,214$ . Порівнюючи результати дослідження для цих двох випадків виявилось, що якість перехідного процесу  $\omega_2(t)$  погіршилася. Це виразилось у збільшенні перерегулювання до  $\delta_{\omega_2} = 9,7\%$  і збільшенні часу регулювання до  $t_p = 0,68\text{с}$ . У той же час, за результатами експериментальних досліджень було встановлено, що в такій системі можна дещо зменшити величину перерегулювання  $\omega_2(t)$  і час регулювання, якщо знизити значення  $\omega_{0\text{сп}}$ . Для  $\omega_{0\text{сп}} = 160\text{с}^{-1}$  отримано осцилограми, які наведені на рис. 2. Тут  $\delta_{\omega_2} = 8\%$ ,  $t_p = 0,36\text{с}$ ,  $t_y = 0,4\text{с}$ .

Таким чином, проведені експериментальні дослідження показали необхідність урахування дії дисипативних сил та моментів при синтезі СМР, а також потребу в удосконаленні побудови спостерігача для відтворення величини  $M_{12}$ .

#### Література.

1. Лозинський А.О. Синтез електромеханічних систем з врахуванням нулів передавальної функції / Лозинський А.О., Кушнір А.П. // Вісник НУ "Львівська політехніка". Електроенергетичні та електромеханічні системи. – 2003. – №485. – С. 77-82.
2. Марущак Я.Ю. Експериментальні дослідження двомасових електромеханічних систем з урахуванням сил дисипації // Марущак Я.Ю., Кушнір А.П. // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. – 2011. – № 03(79). – С. 98-100.