

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАТИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАТРОННОГО ГІДРОПРИВОДУ МАНІПУЛЯТОРА З ЧАСТОТНО-КЕРОВАНИМ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Виконане математичне моделювання статичної характеристики мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна в програмному середовищі MATLAB Simulink. Визначено вплив навантаження на виконавчому гідроциліндрі на похибку стабілізації подачі насоса. Похибка стабілізації подачі насоса підтримується в допустимих межах, що підтверджує працездатність розробленої математичної моделі та прийнятих припущень.

Ключові слова: об'ємний гідропривод, гідронасос, асинхронний електричний двигун, частотне керування, перетворювач частоти, математичне моделювання.

Abstract

Mathematical modeling of the static characteristic of the mechatronic hydraulic drive of the manipulator with frequency control of an asynchronous electric motor in the MATLAB Simulink software environment is performed. The influence of the load on the actuating hydraulic cylinder on the error of stabilization of the pump flow is determined. The pump feed stabilization error is maintained within acceptable limits, which confirms the validity of the developed mathematical model and the assumptions made.

Keywords: volumetric hydraulic drive, hydraulic pump, asynchronous electric motor, frequency control, frequency converter, mathematical modeling.

Вступ

На сьогоднішній день частотні перетворювачі (ЧП) є сучасними, високотехнологічними пристроями, що мають широкий діапазон регулювання та великий набір функцій для керування асинхронними електродвигунами (АД). Зважаючи на це одним із сучасних напрямків підвищення енергетичної ефективності об'ємних гідроприводів технологічних машин і обладнання різного призначення є розробка приводів на основі частотного способу регулювання швидкості електродвигуна [1-4].

Метою роботи є математичне моделювання статички мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна та підтвердження працездатності розробленої математичної моделі та прийнятих припущень.

Результати дослідження

Розрахункова схема мехатронного приводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна показана на рис. 1 [4]. Схема включає стійку 1, стрілу 2, рукоять 3, захват 4, гідроциліндри 5, 7, 8 та механізм повороту 9. Насос Н приводиться в дію асинхронним електродвигуном АД, що живиться від перетворювача частоти ПЧ з датчиком швидкості обертання 17 вала електродвигуна. Рівень подачі насоса Н пропорційний частоті обертання АД і визначає швидкість руху штока 6, а значить і швидкість руху стріли 2 маніпулятора. Роботою приводів маніпулятора керує контролер 13. На вхідну плату 14 контролера поступають сигнали від керуючих важелів оператора, які задають необхідний напрямок та швидкість переміщення маніпулятора. На основі вхідних сигналів контролер 13 генерує сигнали, які через вихідну плату 15 подаються до: електромагніта розподільника Р1, переводячи його у відповідну задану робочу позицію (*b* або *c*) та через підсилювач 16 до частотного перетворювача ПЧ, який забезпечує задану частоту обертання АД.

Вбудований регулятор перетворювача ПЧ обробляє задане і реальне значення частоти обертання і відповідно їм корегує частоту АД.

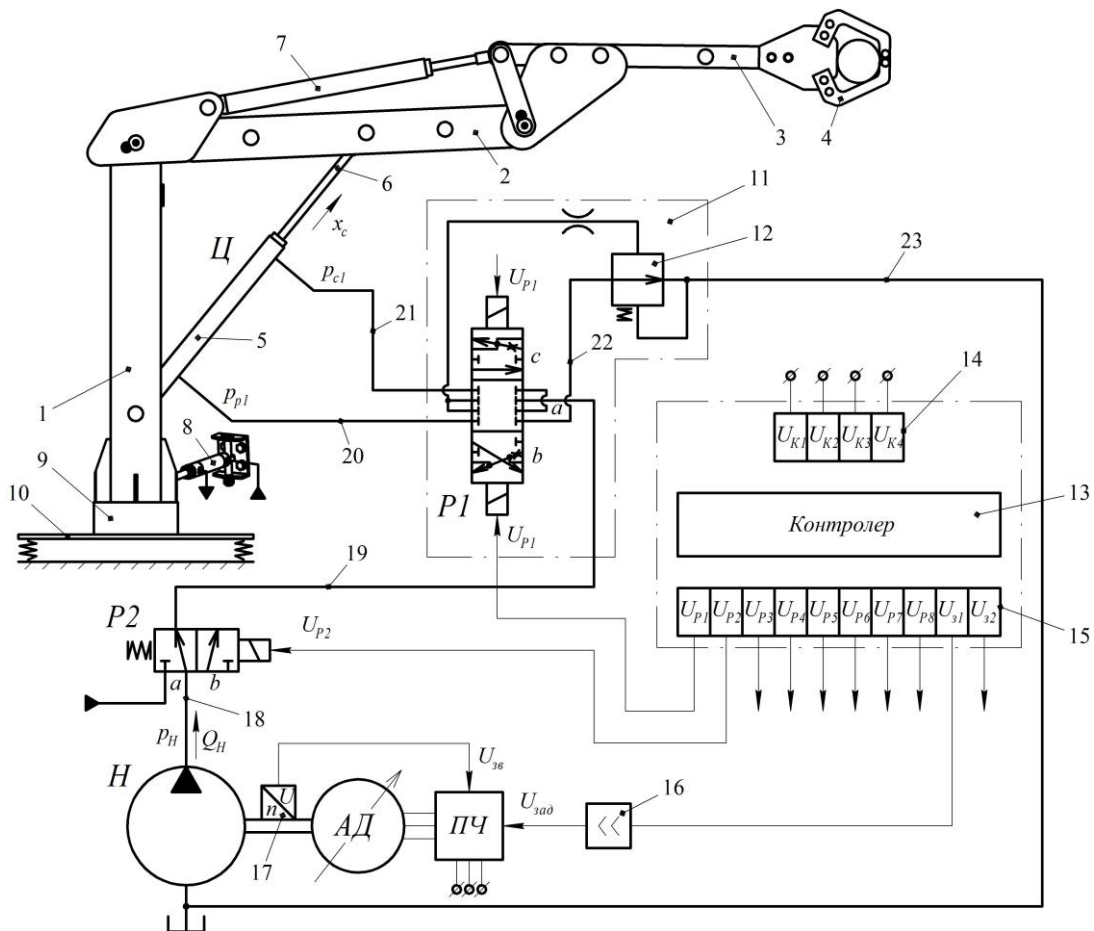


Рис. 1. Схема мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна

Математична модель приводу з урахуванням прийнятих припущень [4, 5] включає такі рівняння:

$$m_C \frac{d^2 x_C}{dt^2} = p_1 \cdot F_C - R - b_C \frac{dx_C}{dt}; \quad (1)$$

$$q_H \cdot n_H \cdot \eta_{Hоб} = \mu \cdot f_{dp} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{|p_H - p_1|} \cdot \text{sign}(p_H - p_1) + \beta_p(p) \cdot W_H \cdot \frac{dp_H}{dt}; \quad (2)$$

$$\mu \cdot f_{dp} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{|p_H - p_1|} \cdot \text{sign}(p_H - p_1) = F_C \cdot \frac{dx_C}{dt} + \beta_p(p) \cdot W_C \cdot \frac{dp_1}{dt}; \quad (3)$$

$$M_{крH} = \frac{q_H}{2\pi\eta_{Hмех}} \cdot (p_H - p_{вс}). \quad (4)$$

Головний зворотний зв'язок за частотою обертання вала насоса та система електричного привода типу ПЧ-АД описується рівняннями:

$$U_{зв} = k_{зв} \cdot n_H; \quad (5)$$

$$\Delta U = U_{зад} - U_{зв}; \quad (6)$$

$$U_K = R_{шб}(s) \cdot \Delta U; \quad (7)$$

$$T_{ПЧ} \frac{df}{dt} + f = K_{ПЧ} \cdot U_{\kappa}; \quad (8)$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{p_{\Pi}} f; \quad (9)$$

$$T_e \frac{dM}{dt} + M = \beta \cdot (\omega_0 - \omega); \quad (10)$$

$$J_{\Pi\Pi} \frac{d\omega}{dt} = M - M_{кpH}. \quad (11)$$

Позначення, що прийняті в рівняннях математичної моделі (1)-(11) пояснено в [4].

Запропонована математична модель розв'язується в програмному середовищі MATLAB Simulink. В результаті математичного моделювання отримано статичну характеристику гідроприводу з частотним керуванням АД, яка показана на рис. 2. При визначенні статичної характеристики фіксувалося розрахункове значення подачі насоса Q_H при зміні приведенного навантаження на шток гідроциліндра R від 1 до 16 кН з кроком 1 кН.

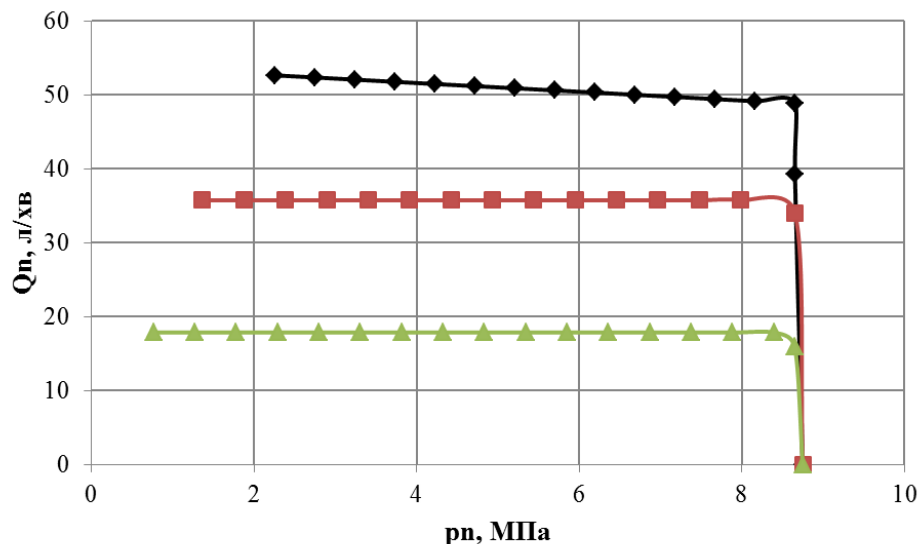


Рис. 2. Статична характеристика насоса з частотним керуванням приводного асинхронного електродвигуна

Інші параметри гідроприводу при моделюванні мали такі значення: $q_H = 40 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$; $\eta_{Ноб} = 0,9$; $\eta_{Нмех} = 0,9$; $f_{\partial p} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$; $W_H = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $W_C = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $D_C = 50 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $m_C = 60 \text{ кг}$; $b_C = 1000 \text{ Н} \cdot \text{с/м}$; $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$; $\mu = 0,6$.

Отриманий графік статичної характеристики показує, що мехатронний привод маніпулятора на основі системи типу ПЧ-АД зі зворотним зв'язком за швидкістю обертання забезпечує стабільність заданої частоти обертання вала насоса незалежно від величини навантаження на виконавчому гідроциліндрі. Похибка стабілізації подачі насоса δ в режимі максимальної продуктивності насоса складає 7,8%, в проміжних режимах похибка стабілізації подачі насоса менше 2%.

Висновки

Розроблено математичну модель мехатронного приводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна. За допомогою математичного моделювання в програмному середовищі MATLAB Simulink отримано статичну характеристику насоса, яка показує, що задана частота обертання вала насоса підтримується стабільною незалежно від величини навантаження на виконавчому гідроциліндрі. Максимальна похибка стабілізації подачі насоса складає 7,8%, що підтверджує працездатність розробленої математичної моделі та прийнятих припущень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Моделювання електромеханічних систем : підручник / О. П. Чорний, А. В. Луговой, Д. Й. Родькін, Г. Ю. Сисюк, О. В. Садовой. – Кременчук, 2001. – 410 с.
2. Перельмутер В. М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока / В. М. Перельмутер. – Харьков : Основа, 2004. – 210 с.
3. Репінський С. В. Керування регульованих насосів в гідроприводах, чутливих до навантаження : монографія / С. В. Репінський, Л. Г. Козлов, Ю. А. Буренніков. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 199 с.
4. Математична модель мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна / С. В. Репінський, Л. Г. Козлов, О. В. Паславська, М. М. Мошноріз, А. А. Бартецький // Вісник машинобудування та транспорту. – 2019. – № 1(9). – С. 107–114.
5. Характеристики мехатронного приводу під час просторового руху маніпулятора [Електронний ресурс] / Л. Г. Козлов, С. В. Репінський, О. В. Паславська, О. В. Піонткевич // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2017. – № 2. – Режим доступу : <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/507>.

Паславська Оксана Віталіївна – аспірант кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: o.v.paslavska@gmail.com;

Козлов Леонід Геннадійович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: osna2030@gmail.com;

Репінський Сергій Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: repinskyiv@gmail.com.

Paslavska Oksana V. – Graduate Student of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: o.v.paslavska@gmail.com;

Kozlov Leonid G. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osna2030@gmail.com;

Repinskyi Serhii V. – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: repinskyiv@gmail.com.