

ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В АПК

УДК 681.515

ВЕКТОРНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ НАПОРУ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ

Островерхов М. Я., Бурик М. П.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Запропоновано систему керування напором насосу з алгоритмами регулювання електромеханічними координатами асинхронного електроприводу на основі концепції зворотних задач динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергії під час дії параметричного збурення гідравлічної мережі.

Постановка проблеми. Відцентрові насоси з надійним та дешевим асинхронним двигуном (АД) широко застосовуються у аграрному секторі, промисловості та побуті. Але постійно зростаючі вимоги до технологічних процесів вимагають якісного керування напором насосних установок з задовільними енергетичними показниками. На якість регулювання напором гідравлічної мережі впливають різні збурення, зокрема: зміна параметрів АД під час нагрівання, варіація параметрів гідравлічної мережі у наслідок зносу елементів трубопроводу, насосу за рахунок корозії матеріалів, ефекту кавітації та забруднення вузлів [1]. Тому необхідно застосувати частотно-регульовані електроприводи з векторною системою керування, які забезпечують енергоефективність та суттєво підвищують показники якості керування електромеханічними координатами у системах, де присутня зміна споживання рідини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Закони регулювання координат векторної системи керування, що синтезовані за методом на основі концепції зворотних задач динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергії в поєднанні з спостерігачем компоненти струму статора по осі d , забезпечують грубість до дії параметричних та координатних збурень та високі показники якості керування напором під час відпрацювання заданих траєкторій та компенсації дії навантаження [2, 3, 4].

Мета статті. Дослідження системи векторного керування напором відцентрового насосу з запропонованими алгоритмами регулювання в умовах дії параметричного збурення, що обумовлене варіацією параметрів гідравлічної мережі.

Основні матеріали дослідження. Лінійна модель гідравлічної мережі під час регулювання напору, з урахуванням відношення повної довжини трубопроводу до відстані, де підключений датчик напору ($\beta_1 \rightarrow 0$) та відсутності частини опору трубопроводу до точки виміру тиску ($\alpha_1 \rightarrow 0$), представлена диференціальним рівнянням [1]

$$T_{H2} \dot{H} + H = K_H (T_{H1} \dot{\omega} + \omega), \quad (1)$$

де H — напір насоса;

ω — кутова швидкість ротору АД;

$T_{H1} = T_Q / (2 \cdot Q_n \cdot a_1)$, $T_{H2} = T_Q / (2 \cdot Q_n \cdot (a_1 + a_p))$ — сталі часу під час регулювання напором гідравлічної мережі;

$T_Q = L / (sg)$ — стала інтегрування лінійної моделі простої ділянки гідравлічної мережі;

L — повна довжина трубопроводу;

g — прискорення вільного падіння;

s — поперечний переріз трубопроводу;

Q_n — номінальне значення подачі при номінальній кутовій швидкості відцентрового насосу у робочій точці;

a_1 — коефіцієнт опору гідравлічної мережі;

a_p — гідравлічний опір насосу;

Приводний АД розглядається, як стандартна еквівалентна двохфазна математична модель в умовах роботи відцентрового насоса із протитиском у синхронній системі координат $d-q$ [2]. Розробка алгоритмів керування, що забезпечують астатизм першого порядку за керуючою дією, компонентами струму статора та напором насосу зображені в [2, 3].

Траєкторії зміни напором гідравлічної мережі $H^*(t)$ та модуля потокозчеплення ротора АД $|\psi_2^*|(t)$ задані функціями, які мають обмежену першу та другу похідну за часом. Закони керування модулем потокозчеплення ротора, компонентами струму статора та напором гідравлічної мережі мають однакову структуру:

- регулятор модуля потокозчеплення ротора

$$i_{1d}^* = \frac{|\psi_2^*|}{Lm} + |\dot{\psi}_2^*| \frac{1}{\alpha Lm},$$
$$|\psi_2^*| = |\psi_2^*(0)| + \frac{(|\psi_{2n}^*| - |\psi_2^*(0)|)}{\omega_n} \sqrt{\frac{H^* \cdot \omega_n^2}{H_n}}, \quad (2)$$
$$|\psi_2^*(0)| = 0.02 \hat{A} \hat{a}, \quad |\psi_{2n}^*| = 0.92 \hat{A} \hat{a};$$

де i_{1d}^* — задане значення компоненти вектора струму статора;

$\alpha = R_2 / L_2$ — коефіцієнти математичної моделі АД;

R_2 — активний опір обмотки ротора;

L_2 — індуктивність обмотки ротора;

L_m — індуктивність контуру намагнічування;

H_n — значення напором насосу при номінальній кутовій швидкості насосу у робочій точці;

ω — кутова швидкість ротору АД ();

ω_n — номінальна кутова швидкість ротору АД;

- регулятори напором насосу та компонент струму статора i_{1d} та i_{1q}

$$i_{1q}^* = k_H (\gamma_H \int (H^* - H) dt - H),$$

$$\begin{pmatrix} u_{1d} \\ u_{1q} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{i1d} (\gamma_{i1d} \int (i_{1d}^* - i_{1d}) dt - i_{1d}) \\ k_{i1q} (\gamma_{i1q} \int (i_{1q}^* - i_{1q}) dt - i_{1q}) \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$k > 0, \gamma \approx \left(\frac{3}{t_{ri}}\right) > 0,$$

де k — коефіцієнт підсилення регуляторів;
 γ — коефіцієнт, який задає бажану тривалість та характер перехідного процесу

Диференціальне рівняння спостерігача компоненти струму статора i_{1d} описується наступними формулами

$$\dot{i}_{1d}^{\wedge} = -\left(\frac{R_l}{\sigma} + \alpha\beta L_m\right) i_{1d}^{\wedge} + \omega_0 i_{1q} + \alpha\beta |\psi_2^*| + \frac{u_{1d}}{\sigma}, \quad (4)$$

$$\dot{\varepsilon}_0 = \omega_0 = \omega + \frac{\alpha L_m i_{1q}}{|\psi_2^*|} + k_o (\gamma_o \int (i_{1d} - i_{1d}^{\wedge}) dt - i_{1d}^{\wedge}),$$

де i_{1d}^{\wedge} — оцінене значення i_{1d} ;
 R_l — активний опір обмотки статора;
 ω_0 — кутова швидкість магнітного поля;
 $\varepsilon_o(0)=0$ — кутове положення рухомої системи координат ($d-q$) відносно нерухомої системи координат ($a-b$);
 $\beta=L_m/\sigma L_2$, $\sigma=L_l-L_m^2/L_2$, $\beta=L_m/\sigma L_2$ — коефіцієнти математичної моделі АД;
 L_l — індуктивність обмотки статора;
 u_{1d} — компонента вектора напруги статора.

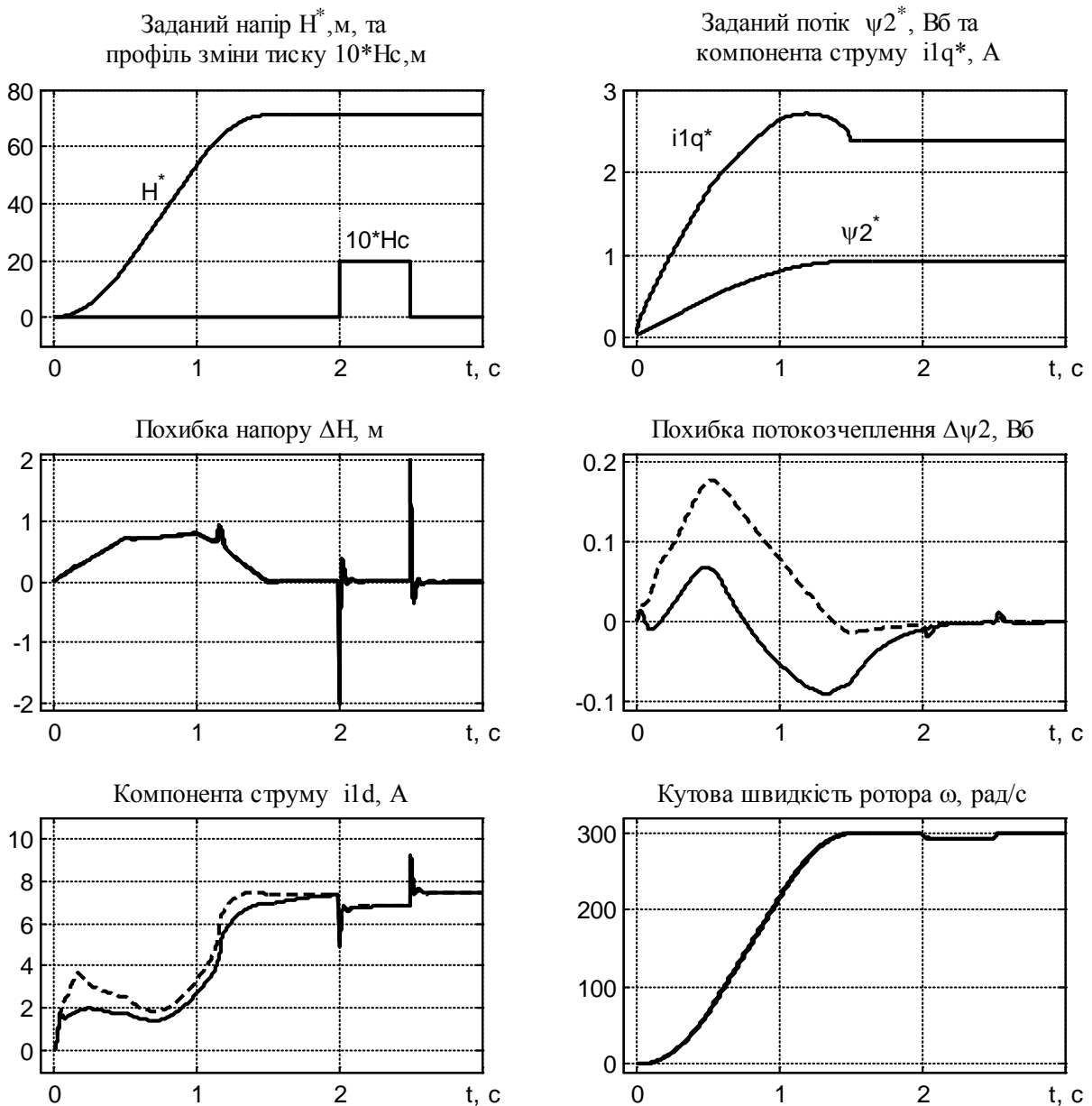


Рисунок 1 – Графіки заданих траєкторій, профілю збурення тиску та перехідних процесів електромеханічних координат системи непрямого векторного керування напору відцентрового насосу

На рис. 1 зображено динамічні характеристики системи непрямого векторного керування напором відцентрового насоса, що були отримані за допомогою математичного моделювання умов зміни номінального значення подачі Q_n .

Використаний АД типу 4A90L2Y3 має наступні параметри, а саме: $P_n=3$ кВт – електрична потужність, $\omega_n=300,65$ рад/с – кутова швидкість ротора; $U_{1n}=380$ В – лінійна напруга, $f_{1n}=50$ Гц – циклічна частота мережі живлення; $R_1=2,535$ Ом, $R_2=1,628$ Ом – активні опори статора та ротора; $L_1=0,394$ Гн, $L_2=0,398$ Гн – індуктивність статора та ротора; $L_m=0,387$ Гн – індуктивність намагнічуючого контуру; $J=0,007$ кгм² – момент інерції установки; $T_I=10$ Нм – момент навантаження.

Довжина трубопроводу гідравлічної мережі дорівнює 100 м. Вода підіймається на задану висоту $H_{ст}=65,5$ м. Відцентровий насос типу NMD 25/190B/A, забезпечує подачу рідини $Q_n=4,5$ м³/год та має повний напір $H=71$ м.

Параметри законів керування є наступними: коефіцієнти регуляторів компонент вектора струму статора $\gamma_{11q}=\gamma_{11d}=800$, $k_{11q}=k_{11d}=50$; коефіцієнти регулятора напору $\gamma_H=100$, $k_H=1$; коефіцієнти спостерігача модуля потокозчеплення ротора $\gamma_o=50$, $k_o=1$.

Алгоритм виконання дослідження:

- 1) в початковий момент часу $t=0$ с ротор АД прискорюється за 1,5 с до номінального значення кутової швидкості по заданій траєкторії напору (одночасно АД збуджується від 0,02 до 0,92 Вб);
- 2) в момент часу $t=2$ с різко зменшується споживання води, що спричиняє стрибок тиску $H_c=2$ м;
- 3) в момент часу $t=2,5$ с швидко збільшується споживання води, яке обумовлює стрибок тиску з протилежним знаком $H_c=-2$ м.

Пунктирною лінією на рис. 1 представлені перехідні процеси координат системи в умовах дії параметричного збурення, а суцільною лінією – при номінальних параметрах гідравлічної мережі. Збурення не призводить до значної деградації динамічних показників електромеханічних координат. Система керування забезпечує відсутність статичної похибки по напору в обох випадках. Показники якості керування при компенсації зміни витрат у системі є практично однаковими. Час компенсації збільшився з 0,035 до 0,037 с, максимальне відхилення напору збільшилось з 1,9966 до 1,9995 м. Показники якості відпрацювання системою завдання також майже не змінюються. Збільшується динамічна похибка при розгоні АД по заданій траєкторії від 0,883 до 0,923 м при повному напорі насоса 71 м.

Максимальне збільшення значення i_{1d} під час розгону ротора АД становить 3,7 А в умовах дії збурення (1,8 А – збурення відсутнє) на 0,17 с, а модуля потокозчеплення ротора – 0,176 Вб (19% від 0,92 Вб) відносно 0,068 Вб (7,4% від 0,92 Вб) при номінальних параметрах системи. Збурення не спричиняє коливання кутової швидкості в момент зміни споживання рідини.

Висновки. Запропонована система непрямого векторного керування напором насосної установки з асинхронним двигуном забезпечує стійкість та бажану якість регулювання в умовах зміни параметрів гідравлічної мережі з задовільними енергетичними показниками.

Список використаних джерел

1. Краснов В. И. Ремонт центробежных и поршневых насосов нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий / В. И. Краснов, А. М. Жильцов, В. В. Набержнев // Справ. Изд. – М.: Химия, 1996. – 320 с. – ISBN 5-7245-0959-8.
2. Островерхов М. Я. Система автоматичного регулювання напору насосної установки з властивостями слабкої чутливості до параметричних збурень електропривода / М. Я. Островерхов, М. П. Бурик // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2016. – Вип. 175. – С. 128-130.
3. Островерхов М. Я. Энергоэффективная система регулирования напору відцентрового насоса / М. Я. Островерхов, М. П. Бурик // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2017. – Вип. 7. – Т.1. – С. 41-46.
4. Островерхов М. Я. Керування електромеханічними системами на основі мінімізації локальних функціоналів миттєвих значень енергій / М. Я. Островерхов, М. П. Бурик // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 1/2013(21). – С. 40-47. – ISSN 2074-9937.

Аннотация

ВЕКТОРНАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПОРА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Островерхов Н. Я., Бурик Н. П.

Предложено систему управления напором насоса, с алгоритмами регулирования электромеханическими координатами асинхронного электропривода на основании концепции обратных задач динамики в соединении с минимизацией локальных функционалов мгновенных значений энергии, во время действия параметрического возмущения гидравлической сети.

Abstract

VECTOR CONTROL SYSTEM OF PRESSURE CENTRIFUGAL PUMP

M. Ostroverkhov, M. Buryk

Pressure control system for pump with algorithms of regulation by electromechanical coordinates of an asynchronous electric drive is proposed on the basis the concept of inverse problems of dynamics combined with the minimization of the local instantaneous energy values during the action of parametric perturbation hydraulic network.