

Синтез робастного H_∞ субоптимального регулятора частоти обертання привідного двигуна прокатної кліті

С.М. Балюта, Ю.О. Михайленко, Л.О. Копилова¹

Анотація – The synthesis method a suboptimum regulator of frequency of driver of a rolling cage is presented. Results of researches of the synthesised control system are resulted.

Ключові слова – робастне керування, система керування частотою обертання.

І. ВСТУП

Процес гарячої прокатки супроводжується коливаннями технологічних параметрів – товщини, тиску прокатки, натягу смуги і т.і. Система керування привідним двигуном прокатної кліті повинна забезпечити мінімально можливі значення статичного та динамічного падіння швидкості при вході смуги у валки, крім того характер перехідних процесів, обумовлених входженням смуги в кліть, необхідно наблизити до аперіодичного, а час протікання перехідного процесу не більше 0,1-0,3 с. В наслідок цілого ряду причин синтезована система керування (САК) під час експлуатації може значно погіршити свої характеристики. Складні САК характеризуються динамічністю властивостей, нелінійністю, нестационарністю, впливом зовнішніх і внутрішніх збурень у широкому діапазоні. Робастна САК забезпечує необхідні властивості не зважаючи на суттєву невизначеність характеристик об'єкта керування[1].

Постановка задач і дослідження. Розробка ефективного алгоритму стабілізації частоти обертання привідного двигуна прокатної кліті в умовах неповної інформації про об'єкт керування і з урахуванням його параметричної невизначеності методами H_∞ -теорії

Матеріали досліджень. Об'єкт керування складається з електричної частини, представленої у вигляді аперіодичної передавальної ланки і механічної частини, представленої у вигляді двомасової механічної системи з пружним зв'язком. Для гарантування стаціонарної точності САК додатково керується за допомогою ПІ регулятора частоти. При цьому ПІ регулятор розглядається як попередній фільтр, який забезпечує розрегулювання різниці між заданою і поточною частотами обертання. Для забезпечення необхідних характеристик замкнутого контуру без надто високих уставок в якості зовнішнього збурення вибрано уставку частоти обертання, а для гашення коливань валу в якості зовнішнього збурення вибрано момент скручування валу. Крім того, враховуються перешкоди в сигналах вимірюваних значень частоти обертання ротора двигуна і моменту на валу ротора двигуна.

На рис.1 представлена структурна схема об'єкта керування.

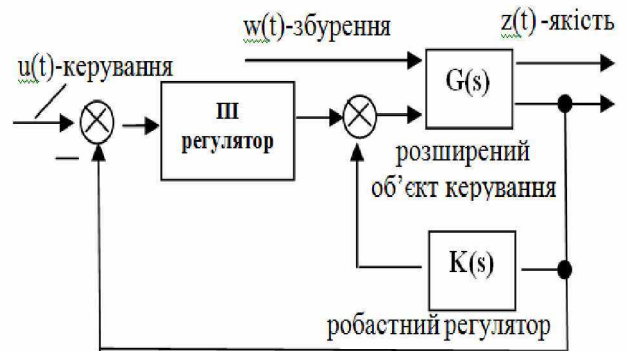


Рис.1. Структурна схема об'єкта керування

Основна ціль H_∞ – субоптимального регулювання полягає в тому, щоб властивості ПІ-регульованого каналу регулювання, в тому числі характеристики по заданню та збуренню, а також коливальні характеристики настільки оптимізувати, щоб замкнений контур регулювання задовільняв поставленим вимогам, тобто H_∞ – норма знаходилася нижче заданого рівня.

Для синтезу регулятора використовуємо розширене рівняння, що описує систему у змінних стану[1]:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}_s &= \mathbf{A}_s \mathbf{x}_s + \mathbf{B}_{1e} \mathbf{w}_e + \mathbf{B}_{2e} \mathbf{u}_e \\ \mathbf{z}_e &= \mathbf{C}_{1e} \mathbf{x}_s + \mathbf{D}_{12e} \mathbf{u}_e \\ \mathbf{y}_e &= \mathbf{C}_{2e} \mathbf{x}_s + \mathbf{D}_{2e} \mathbf{w}_e \end{aligned} \quad (1)$$

Зовнішні збурення і характеристика якості зв'язані рівнянням:

$$\mathbf{z}_e = \mathbf{C}_{1e} \mathbf{x}_s + \mathbf{D}_{12e} \mathbf{u}_e = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta_w & 0 & 0 & 0 \\ \beta_{n1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_{n2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x}_s + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{w}_e + \begin{bmatrix} \beta_{m,u} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \mathbf{u}_e \quad (2)$$

де параметри $\beta_w, \beta_{n1}, \beta_{n2}, \beta_{m,u}$ дозволяють врахувати різну вагомість кожного із параметрів якості. Ці параметри вибираються такими, щоб значення сингулярних величин матричної передавальної функції системи при зміні частоти знаходилися в певних межах.

Критерій оптимізації записується у вигляді:

$$\int_0^T \|\mathbf{z}(t)\|^2 dt \leq \gamma^2 \int_0^T \|\mathbf{w}(t)\|^2 dt \quad (3)$$

де γ – рівень толерантності, тобто рівень усвідомлення того, що рішення є неоптимальним.

¹ Національний університет харчових технологій, вул. Володимирська, 68, Київ, 01601, УКРАЇНА, E-mail: epp11@ukr.net

Введення до показника якості рівня толерантності обумовлює підвищення надійності функціонування системи керування на етапі робастного керування. Зміна рівня терпимості до неоптимальності рішення, забезпечує надійну роботу системи навіть при невиконанні енергозбереження, мінімізації витрат на розрахунки або інших показників.

Для побудови робастного регулятора в роботі використовується «два-Ріккати» підхід, розроблений в 1988 році [1]. В основі «два-Ріккати» підходу лежить рішення двох незалежних алгебраїчних рівнянь Ріккати: по керуванню: CARE (Control Algebraic Riccati Equation)

$$A_T X_\infty + X_\infty A - X_\infty (B_2 B_2^T - \gamma^{-2} B_1 B_1^T) X_\infty + C_1^T C_1 = 0 \quad (4)$$

і фільтрації: FARE (Filter Algebraic Riccati Equation).

$$A_T Y_\infty + Y_\infty A - Y_\infty (C_2 C_2^T - \gamma^{-2} C_1 C_1^T) Y_\infty + B_1 B_1^T = 0 \quad (5)$$

За умови виконання умови $\rho(X_\infty, Y_\infty) < \gamma^2$, де $\rho(*)$ спектральний радіус виразу в дужках (власне значення з максимальним модулем) задають робастний регулятор за наступними формулами [2]

$$K_\infty(s) = \begin{bmatrix} A'_\infty & -Z_\infty L_\infty \\ F_\infty & 0 \end{bmatrix}; Z_\infty = (I - \gamma^{-2} Y_\infty X_\infty)^{-1}; \quad (6)$$

$$A'_\infty = A + \gamma^{-2} B_1 B_1^T X_\infty + B_2 F_\infty + Z_\infty L_\infty C_2 \quad (7)$$

$$F_\infty = -B_2^T X_\infty L_\infty = -Y_\infty C_2^T L_\infty = -Y_\infty C_2^T \quad (8)$$

Порядок регулятора дорівнює порядку системи, тоді як порядок «класичного» регулятора виявляється більш високим [3]

Для якісної оцінки синтезованої САК і системи з ПІ регулятором виконано порівняння сингулярних значень по завданню для обох систем керування (рис.2). При цьому для синтезованої САК показники якості для моменту скручування валу, а також частоти обертання ротора показують значно краще згасання коливань. В той же? сингулярні значення, що характеризують згасання торсійних коливань валу при зміні навантаження демонструють гірші характеристики згасання.

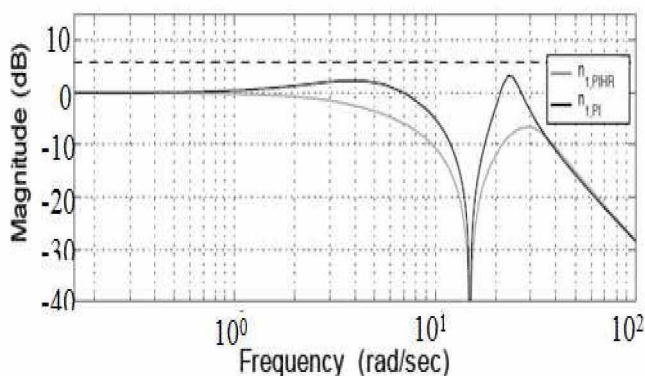


Рис.2. Частотні характеристики сингулярних значень передавальної функції уставки частоти обертання та частоти обертання ротора привідного двигуна

Представлені частотні характеристики показують значне покращення динамічних характеристик системи із H_∞ регулятором.

На рис.3 наведені результати моделювання робастної САК і САК з ПІ регулятором.

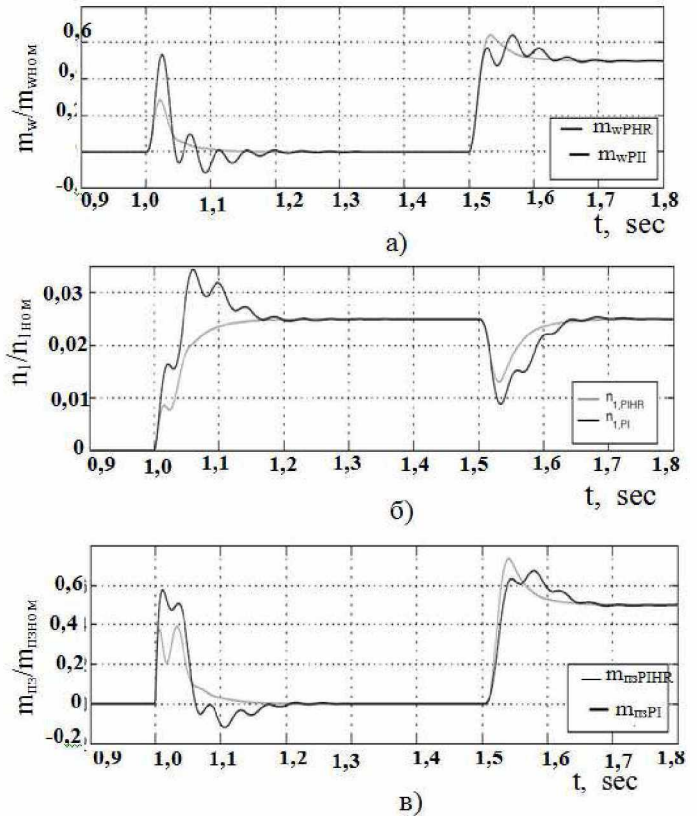


Рис.3. Порівняння перехідних характеристик САК із ПІ регулятором і з H_∞ субоптимальним регулятором при зміні уставки частоти обертання на 5% і при накиданні половинного моменту навантаження

III. ВИСНОВОК

Запропонований метод синтезу системи регулювання частоти обертання привідного двигуна прокатної кліті на основі H_∞ -теорії дозволяє забезпечити необхідні динамічні характеристики регулювання за уставкою і збуренням при значно менших коливаннях системи. і при параметрах об'єкта керування прийнятих при синтезі.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- [1] Пупков К.А. и др. Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления / К.А. Пупков— М.: МГТУ, - 1996.- 437 с.
- [2] Glover K. All optimal Hankel-norm approximations of linear multivariable systems and their L_∞ error bounds / Glover K. // Int. J. Control. – 1984. – Vol.39.
- [3]. Doyle J.C. State-space solutions to standard H_2 and H_∞ control problems / J.C. Doyle, K. Glover, P.P. Khargonekar, B.A. Francis// IEEE Trans. Automat. Control. – 1989. – Vol.34.No8. – P.831-847.