

ОЦІНКА ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИВОДА ОБЕРТАННЯ БУРОВОГО ВЕРСТАТА

Вступ. Для досягнення максимальної стійкості шарошкового долота необхідно у процесі буріння підтримувати на постійному рівні потік потужності у зоні вибою [1]. Ця задача вирішується шляхом контролювання електромагнітної потужності привода обертання бурового верстата [2].

Постановка задачі дослідження. Дослідимо динамічні властивості при контролюванні рівня потужності приводної системи змінного струму по каналу повздовжньої складової струму статора шляхом непрямого управління з використанням нелінійного регулятора. Для цієї мети заданий сигнал на вході регулятора частоти обертання віднесемо до сигналу, який пропорційний моменту опору на шарошковому долоті. Сигнал може бути ідентифіковано астатичним спостерігачем, тоді він буде достеменно відповідати моменту опору на долоті у зоні вибою [3]. Для спрощення припускаємо, що повздовжня складова струму статора асинхронного двигуна пропорційна моменту опору [4]. Впливом обертової ЕРС та крутильними коливаннями поставу на контури управління нехтуємо. Функціональна схема приводної системи по каналу управління наведено в роботі [5].

Матеріал дослідження. Для дослідження динаміки системи регулювання знаходимо сигнал на вході замкнутого контуру частоти обертання:

$$P_3(p) / \omega(p) / T_M / p^2 / K_M = \omega(p) / W_{ЗКС}(p),$$

де $P_3(p)$, $\omega(p)$ – операторні зображення сигналу завдання і частоти обертання; T_M , K_M – електромеханічна стала часу і коефіцієнт передачі давача моменту; $W_{ЗКС}(p)$ – передавальна функція замкнутого контуру струму.

$$\text{Зображення частоти обертання } \omega(p) = \sqrt{P_3(p) / K_C / K_M / T_M / a_c / \sigma_c} / p \cdot \sqrt{p+1 / a_c / \sigma_c}.$$

Оригінал частоти обертання знаходиться як інтегральне співвідношення виду:

$$\omega(t) = \int_0^t \frac{e^{-x}}{\sqrt{\pi \cdot a_c \cdot \sigma_c \cdot x}} \cdot a_c \cdot \sigma_c \cdot dx = \sqrt{a_c \cdot \sigma_c / \pi} \cdot \int_0^t \frac{e^{-x}}{\sqrt{x}} \cdot dx,$$

де a_c, b_c – коефіцієнти настроювання контуру частоти обертання; τ – параметр інтегрування; $\tau / a_c / b_c = x$, $d\tau = a_c \cdot \sigma_c \cdot dx$ – проміжні змінні. Для знаходження у явному вигляді $\omega(t)$ використаємо неповну гамма-

функцію [6] $\gamma(a, x) = \int_0^x e^{-t} \cdot t^{a-1} \cdot dt$. У дослідженому випадку $a = 1/2$, тобто $\gamma(1/2, x) = \int_0^x e^{-x} / \sqrt{x} \cdot dx$. Остаточ-

но оригінал частоти обертання по каналу управління приймає вигляд: $\omega(t) = \sqrt{a_c \cdot b_c / \pi} \cdot \gamma(1/2, t / a_c / b_c)$.

Передавальна функція за збуренням без нелінійної корекції потужності з III регулятором частоти обертання (контур струму – аперіодична ланка)

$$M(p) / M_C(p) = (p \cdot a_c \cdot b_c \cdot T_T + 1) / \{p \cdot a_c \cdot b_c \cdot T_T \cdot [a_c \cdot T_T \cdot p \cdot (T_T \cdot p + 1) + 1] + 1\},$$

де $M(p)$, $M_C(p)$ – моменти обертовий і опору; T_T – стала часу контуру струму.

Корекція за завданням потужності змінює передавальну функцію системи управління за збуренням [3], причому вона буде залежати від динамічної характеристики регулятора частоти обертання:

$$M(p) / M_C(p) = W_{РОКС}(p) / \{1 + W_{РОКС}(p) \cdot P_3(p) / M(p) \cdot T_M / K_C\},$$

де $W_{РОКС}(p)$ – передавальна функція розімкнутого оптимізованого контуру частоти обертання; K_C – коефіцієнт передачі давача частоти обертання.

Характеристичне рівняння передавальної функції за збуренням з використанням III регулятора частоти обертання описується поліномом третього порядку:

$$p^3 \cdot a_c^2 \cdot b_c \cdot T_T^3 + p^2 \cdot \left(a_c^2 \cdot b_c \cdot T_T^2 + a_c \cdot b_c \cdot T_T \cdot \frac{P_3(p)}{M(p)} \cdot \frac{T_M}{K_C} \right) + p \cdot \left(a_c \cdot b_c \cdot T_T + \frac{P_3(p)}{M(p)} \cdot \frac{T_M}{K_C} \right) + 1 = 0. \quad (1)$$

У характеристичне рівняння вводимо нову змінну $q = p \cdot \sqrt[3]{1 / a_c^2 \cdot b_c / T_T^3}$, що дозволяє привести рівняння (1) до унормованого вигляду

$$q^3 + A \cdot q^2 + B \cdot q + 1 = 0, \quad (2)$$

де коефіцієнти $A = (a_c^2 \cdot b_c \cdot T_T^2 + a_c \cdot b_c \cdot T_T \cdot P_3(p) / M(p) \cdot T_M / K_C) / \sqrt[3]{(a_c^2 \cdot b_c \cdot T_T^3)^2}$,

$B = (a_c \cdot b_c \cdot T_T + P_3(p) / M(p) \cdot T_M / K_C) / \sqrt[3]{(a_c^2 \cdot b_c \cdot T_T^3)^2}$ є параметрами Вишнеградського [7].

Необхідні умови від'ємності дійсних частин коренів характеристичного рівняння наступні: $A > 0$, $B > 0$ і $A \cdot B > 1$. Якщо перші дві умови наявні, то третю необхідно перевірити:

$$A \cdot B = (a_c^2 \cdot b_c \cdot T_T^2 + a_c \cdot b_c \cdot T_T \cdot P_3(p) / M(p) \cdot T_M / K_C) \cdot (a_c \cdot b_c \cdot T_T + P_3(p) / M(p) \cdot T_M / K_C) / a_c^2 / b_c / T_T^3 > 1;$$

звідкіля корені квадратного тричлена відносно $P_3(p) / M(p) \cdot T_M / K_C$

$$\frac{P_3}{M} \cdot \frac{T_M}{K_C} = -0,5 \cdot a_c \cdot T_T \cdot (b_c + 1) \cdot \left(1 \mp \sqrt{1 - \frac{4 \cdot (a_c \cdot b_c - 1)}{a_c \cdot (b_c + 1)^2}} \right).$$

Тому що мінімальні значення коефіцієнтів настроювання a_c, b_c не можуть бути менш одиниці, відповідно і добуток цих коефіцієнтів не може бути менш одиниці, тобто $a_c \cdot b_c > 1$, при цьому виконується умова

$$\sqrt{1 - 4 \cdot (a_c \cdot b_c - 1) / a_c \cdot (b_c + 1)^2} < 1,$$

та обидва кореня характеристичного рівняння лежать у від'ємній площині значень $P_3 / M \cdot T_M / K_C$.

З цього випливає, що завдання на потужність буріння з контролюванням поточного моменту опору на шарошковому долоті $P_3 / M \cdot T_M / K_C$ повинні бути додатними величинами, що на практиці виконується завжди.

Тому що завдання на потужність руйнування має додатне значення і реактивний момент опору знакопостійний, то умова $A \cdot B > 1$ завжди виконається. Мінімальні значення коефіцієнтів Вишнеградського

$A_{\min} = a_c^2 \cdot b_c \cdot T_T^2 / \sqrt[3]{(a_c^2 \cdot b_c \cdot T_T^3)^2} = \sqrt[3]{a_c^2 \cdot b_c}$ і $B_{\min} = a_c \cdot b_c \cdot T_T / \sqrt[3]{a_c^2 \cdot b_c \cdot T_T^3} = \sqrt[3]{a_c \cdot b_c^2}$, визначаються із початкових значень при нульовому сигналі завдання на вході системи управління. Тобто на діаграмі Вишнеградського лінія, яка є геометричним місцем точок, що належать параболам при поточних значеннях завдання на потужність руйнування породи і моменту опору на долоті при коефіцієнтах настроювання $a_c = b_c = 1$ починається на межі області стійкості, а при $a_c = b_c = 2$ лежить у області стійкого перехідного процесу. Необхідна і достатня умова зберігання стійкості системи управління не порушується при уведенні нелінійного регулятора потужності.

Висновки. Введення корегуючого зв'язку за моментом опору на вхід регулятора частоти обертання не руйнує стійкості системи управління.

Практично у всьому діапазоні зміни моменту опору на шарошковому долоті і завдані на потужність руйнування породи перехідні процеси за збуренням у системі управління з *III* регулятором частоти обертання і корегуванням за потужністю будуть мати монотонний аперіодичний характер.

Література.

1. Хиллов В.С. Способ управления приводом вращения станка шарошечного бурения//Гірнична електромеханіка та автоматика. – Дніпропетровськ, НГУ. – 2004. – Вип.72. – С. 116–119.
2. Бешта О.С., Хиллов В.С. Привідна система для контролювання потужності на шарошковому долоті//Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ – 2005. – Вип.4(33). – С.85–88.
3. Pivnyak G., Beshta A., Khilov V. AC drive system for actuator's power control. XIII International Symposium on Theoretical Electrical Engineering ISTET'05, Lviv 2005. -P.368-370.
4. Хиллов В.С., Бешта А.С. Синтез системы управления мощностью привода вращения станка шарошечного бурения//Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ. – 2003. – Вип.2(19), т.2.– С.52–55.
5. Принципи побудови системи керування електроприводом обертання ставу верстата шарошечного буріння/Г.Г.Півняк, О.С.Бешта, В.С.Хиллов//Вісник Національного технічного ун-ту «Харківський політехнічний інститут». Зб. наук. праць. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика».-Харків: НТУ «ХПІ», 2003. - №10. -Т.1.-С. 141-143.
6. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М.: Изд-во физ.мат. литературы, 1963. – 1110 с.
7. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М. Наука, 1975.– 768 с.

Pivnyak G., Beshta A., Khilov V.

Estimation dynamic features of a drive rotation the chisel machine tool.

It is formulated and decided a task of an estimation dynamic features a regulator capacity in a drive rotation tube. The analysis distribution the characteristic equation of roots on a complex plane was made. It is established, that introduction correction connection on the moment resistance on an entrance of a regulator rotation does not break stability system management. The transients by excitation in the control system will have monotonous aperiodic character practically in all a range of the chisel moment resistant changing.