

## ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТЕЙ СТІЙКОСТІ РОБОТИ КОНТУРІВ ІЗ ПД-НЕЧІТКОЮ КОРЕКЦІЄЮ

*Досліджено області стійкості контуру керування за наявності класичного регулятора і коригуючого пропорційно-диференційного нечіткого регулятора. Нечіткий регулятор введено для подавлення власних пружних коливань в трансмісії. Знайдено області стійкості роботи контуру з урахуванням змінних параметрів коригуючого нечіткого регулятора.*

*Исследована устойчивость контура управления при наличии классического регулятора и корректирующего пропорционально-дифференциального нечеткого регулятора. Нечеткий регулятор введен для подавления собственных упругих колебаний в трансмиссии. Найдены области устойчивой работы контура с учетом влияния переменных параметров корректирующего нечеткого регулятора.*

*The stability of the control loop in the presence classic regulator and adjusting proportional-differential fuzzy regulator is investigated. Fuzzy regulator is used for suppress own elastic movement in transmission. The areas of the steady state work of loop with allowance for the influence of the variable parameters of adjusting fuzzy regulator are found.*

**Постановка проблеми, зв'язок з науковими і практичними задачами.** Впровадження регульованого частотного електропривода с короткозамкненим асинхронним двигуном у бурових верстатах призводить до необхідності розв'язання науково-прикладної проблеми встановлення закономірностей впливу електромеханічних і гідромеханічних параметрів верстатів на режими роботи електроприводів обертання, подачі, пересування поставу [6]. Рішення проблеми шукалось у системах керування із додатковими нечіткими регуляторами.

**Аналіз досягнень і публікацій.** Відомі критерії стійкості систем с нечіткими регуляторами, що досліджені в роботах [2-4]. Беремо до уваги, що у приводних системах, які досліджуємо на стійкість системи керування за заданій кількості штанг у поставі впливають два фактори: це пропорційний коефіцієнт передачі нечіткого регулятора  $K_d$  і стала часу диференційної частини нечіткого регулятора  $T_d$ .

**Мета дослідження.** Знайдемо область множин значень параметрів додаткових нечітких регуляторів при яких не порушується стійкість контурів керування.

**Матеріал дослідження.** Задачу ставимо у вигляді: знайти множину, або область значень коефіцієнта підсилення  $K_d$  і сталої часу диференційної ланки  $T_d$ , при яких контур регулювання є стійким при зміні параметрів об'єкту керування.

Дослідимо умови стійкості на прикладі контуру струму приводу спуско-підйомних операцій і подачі поставу з додатковим ПД-нечітким регулятором: пропорційна частина нечіткого регулятора під'єднана до сигналу разузгодження на вході класичного регулятора, а диференційна частина приєднана до вихідного сигналу контуру. Вибір цього контуру пояснюється тим, що в ньому з'являється додаткова передавальна

функція найвищого шостого порядку.

Коефіцієнти поліномів чисельника  $a_k$  і знаменника  $b_k$  наведені у роботі [5,7]. Передавальна функція замкненого контуру струму

$$W_3(p) = \left( \frac{T_2 p + 1}{T_1 p} + K_d \right) \times \frac{K_{\Pi} K_{\Delta} \sum_1^6 a_k p^k}{(T_{\mu} p + 1)(T_A p + 1) \sum_1^6 b_k p^k + p T_d K_{\Pi} K_{\Delta} \sum_1^6 a_k p^k} \times \frac{K_{\Pi} K_{\Delta} \sum_1^6 a_k p^k}{(T_{\mu} p + 1)(T_A p + 1) \sum_1^6 b_k p^k + p T_d K_{\Pi} K_{\Delta} \sum_1^6 a_k p^k}$$

Характеристичне рівняння замкненого контуру

$$H(p) = p T_2 K_d \left[ (T_{\mu} p + 1)(T_A p + 1) \sum_1^6 b_k p^k + p T_d K_{\Pi} K_{\Delta} \sum_1^6 a_k p^k \right] + (T_1 p + 1 + p T_2 K_d) p T_d K_{\Pi} K_{\Delta} \sum_1^6 a_k p^k$$

залежить від параметрів ПД-нечіткого регулятора – коефіцієнта підсилення  $K_d$  і сталої часу диференційної ланки  $T_d$ , тоді, так як ці параметри входять у характеристичне рівняння лінійно, то його можна записати

$$K_d \cdot S(p) + T_d \cdot Q(p) + R(p) = 0$$

Прийнявши  $p = j\omega$ , одержимо

$$K_d \cdot S(j\omega) + T_d \cdot Q(j\omega) + R(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega) = 0$$

Так як характеристичне рівняння залежить від двох параметрів, то доцільно дослідити стійкість контуру на підставі D-розбивки площини двох параметрів [1].

Для побудови границі D-розбивки визначаємо  $K_d$  і  $T_d$  для кожного  $\omega$ , вирішуючи спільно два рівняння відносно дійсного і уявного значення характеристичного рівняння:

$$U(\omega) = 0; V(\omega) = 0.$$

Виділяємо члени, що містять  $K_d$  і  $T_d$ , і одержуємо систему двох рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} U(\omega) &= K_d \cdot S_1(\omega) + T_d \cdot Q_1(\omega) + R_1(\omega) = 0; \\ V(\omega) &= K_d \cdot S_2(\omega) + T_d \cdot Q_2(\omega) + R_2(\omega) = 0. \end{aligned} \right\}$$

Розв'язавши систему рівнянь, одержимо

$$K_d = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} -R_1 & Q_1 \\ -R_2 & Q_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} S_1 & Q_1 \\ S_2 & Q_2 \end{vmatrix}}; T_d = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} S_1 & -R_1 \\ S_2 & -R_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} S_1 & Q_1 \\ S_2 & Q_2 \end{vmatrix}}.$$

Отримані рівняння представляють собою параметричні залежності, що визначають межі області D-розбивки в площині параметрів  $K_d$  і  $T_d$ . Вони дозволяють чисельно розрахувати і побудувати області стійкості контуру.

Для визначення області стійкості для контуру струму привода спуско-підйомних операцій і подачі поставки чисельно знайдено, що у правій верхній зоні корені характеристичного рівняння мають додатні значення, тобто в цій зоні система нестійка, а в лівій нижній зоні ці корені мають від'ємні значення, тобто в цій зоні система стійка. Таким чином для стійкості системи керування необхідно, щоб параметри  $K_d$  і  $T_d$  знаходились у зоні, обмеженою нижньою гіперболою і осями координат.

При бурінні поставом довжиною 11 м параметри нечіткого регулятора  $K_d$  і  $T_d$  не повинні перебільшувати значення  $K_{d2}$  і  $T_{d2}$ . Збільшення поставу до 44 м призводить до зменшення діапазону зміни ПД нечіткого регулятора до значень не більшим за  $K_{d2}$  і  $T_{d2}$ . Тобто обмеження параметрів  $K_d$  і  $T_d$  нечіткого регулятора у межах  $K_{d2}$  і  $T_{d2}$  забезпечить стійкість контуру у всьому діапазоні зміни довжини поставу.

Аналогічно оцінюються стійкості контурів керування із нечітким ПД-регулятором.

**Висновки.** Обмеження коефіцієнта підсилення  $K_d$  і сталої часу диференційної ланки  $T_d$  у знайдених межах забезпечує стійкість контурів за наявності додаткових ПД-нечітких регуляторів.

## Список використаної літератури

1. Бессекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бессекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
2. Лозинский А.О. Анализ стійкості та синтез нелінійних систем автоматичного керування електротехнічних об'єктів з нечіткими ПД-регуляторами / А.О. Лозинський // Електромашинобуд. та електрообладн. – Вип. 60. – К.: Техніка. – 2003. – С.79-88.
3. Лозинський А.О. Критерії стійкості систем з нечіткими регуляторами / А.О. Лозинський // Вісн. НГУ "ХПШ". – 2003. – № 10. – Т.1. – С. 510-511.
4. Лозинський А.О. Електромеханічні системи автоматизації технологічних об'єктів з інтелектуальним керуванням: автореф. дис. на здобуття уч. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.09.03 "Електротехнічні комплекси та системи" / А.О. Лозинський –Львів: 2004. – 41 с.
5. Хілов В.С. Влияние упругих свойств трансмиссии и оборотной электродвижущей силы на динамику контура тока / В.С.Хілов // Науч. труды НГУ. – 2005. – № 21. – С. 43-55.
6. Хілов В.С. Системи керування електромеханічними процесами в кар'єрних бурових верстатах: автореф. дис. на здобуття уч. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.09.03 "Електротехніч. комплекси та системи" / В.С. Хілов. –Дніпропетровськ, 2010. – 38 с.
7. Хілов В.С. Собственные частоты колебаний разомкнутого контура тока привода спуско-подъемных операций бурового станка / В.С.Хілов В.С // Гірнична електромеханіка та автоматика. – Дніпропетровськ: НГУ. – 2005. – Вип. 74. – С 25-31.

Отримано 07.06.2011



Хілов Віктор Сергійович,  
к.т.н., доц. каф. електротехніки  
і метрології ІЕЕ НГУ,  
м. Дніпропетровськ,  
пр.К.Маркса,19,  
тел. (0562)3730746