

# СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ УСТАЛЕНИХ РЕЖИМІВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Приймак Б.І., к.т.н., доц., Сидоренко С.А., Дядечко С.М., магістранти  
НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації електромеханічних систем  
та електроприводу

**Вступ.** Згідно з навчальною програмою дисципліни "Теорія автоматичного керування", студенти мають оволодіти питаннями, що стосуються усталених режимів роботи систем автоматичного регулювання (САР) [1]. На кафедрі АЕМС-ЕП на сьогодні є актуальною побудова стенду для реалізації лабораторної роботи за цією тематикою. Очевидно, що такий стенд доцільно будувати на основі сучасного програмованого контролера. Тому виникає потреба синтезувати цифровий регулятор, реалізація якого буде у контролері.

**Метою роботи** є синтез цифрового регулятора лабораторного стенду для вивчення усталених режимів САР.

**Матеріали дослідження.** Згідно з концепцією лабораторного стенду, планується дослідження 4-х варіантів САР. Два з них, що характеризуються астатизмом 1-го порядку за завданням та відсутністю астатизму за збуренням, передбачається отримати на основі розроблюваної нижче системи. Задачею системи є керування положенням вала мікродвигуна постійного струму зі збудженням від постійних магнітів. Номінальними даними двигуна є: напруга живлення – 12 В; струм якоря – 0.4 А; потужність – 2.85 Вт; кутова швидкість якоря – 570 рад/с; момент на валу –  $5 \cdot 10^{-3}$  Н·м.

Показники якості САР, що синтезується, сформуємо наступним чином: тривалість перехідного процесу  $t_{\text{п}} \leq 0.05$  с; перерегулювання  $\sigma \leq 20\%$ ; добротність за швидкістю  $k_v \geq 100$  с<sup>-1</sup>; запаси стійкості  $\Delta L \geq 10$  дБ,  $\Delta\phi \geq 45^\circ$ .

На рис.1 представлена структурна схема розроблюваної САР. Тут  $\varphi, \varphi^*$  – кутове положення вала двигуна та його завдання відповідно;  $\omega$  – швидкість

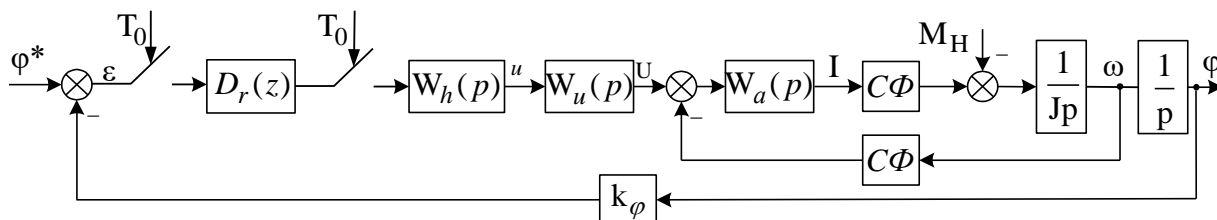


Рисунок 1 – Структурна схема цифрової САР положення вала двигуна

двигуна;  $\varepsilon$  – помилка системи;  $u$  – сигнал керування;  $I$  – струм якоря двигуна;  $M_H$  – момент навантаження двигуна (збурення САР);  $J$  – сумарний момент інерції;  $C\Phi$  – коефіцієнт ЕРС двигуна;  $k_\varphi$  – коефіцієнт передачі давача положення. На структурній схемі ряд ланок описано передатними функціями (ПФ), де  $D(z)$  – дискретна ПФ регулятора,  $W_h(p) = (1 - \exp(-T_0 p)) / p$ ,

$W_a(p) = R_a^{-1} / (T_a p + 1)$ ,  $W_u(p) = K_u \exp(-T_u p)$  – ПФ фіксатора, якірного кола двигуна та силового широтно-імпульсного перетворювача напруги відповідно;  $T_0$  – такт квантування дискретної системи за часом;  $R_a$  – опір кола якоря;  $T_a$  – стала часу якоря;  $T_u$  – період широтно-імпульсної модуляції;  $K_u$  – коефіцієнт передачі перетворювача напруги.

Синтез будемо виконувати класичним методом псевдочастотних логарифмічних характеристик [1, 2]. ПФ об'єкта керування отримаємо за схемою на рис. 1, де, для спрощення, знехтуємо дією проти-ЕРС двигуна та апроксимуємо  $W_a(p)$  і  $W_u(p)$  аперіодичною ланкою 1-го порядку

$$W_o(p) = \frac{960}{p(0.00341p+1)(0.0246p+1)}. \quad (1)$$

Застосувавши відому методику на основі теореми Котельнікова-Шеннона, для об'єкта з ПФ (1) виберемо значення такту квантування  $T_0 = 0.002$  с. Дискретизувавши (1) з врахуванням  $W_h(p)$ , отримаємо дискретну ПФ об'єкта

$$D_o(z) = \frac{0.01296z^2 + 0.04414z + 0.009284}{z^3 - 2.478z^2 + 1.992z - 0.513}. \quad (2)$$

Перейшовши до абсолютної псевдочастоти  $\lambda$  за допомогою перетворення Тастина  $z = (2 + j\lambda T_0) / (2 - j\lambda T_0)$ , отримаємо псевдочастотну ПФ об'єкта керування

$$W_o(j\lambda) = \frac{0.003659(j\lambda + 1582)(j\lambda - 1917)(j\lambda - 1000)}{j\lambda(j\lambda + 285)(j\lambda + 40.55)}. \quad (3)$$

Логарифмічні амплітудна і фазова характеристики подані на рис. 2 (криві 1).

Частоту зрізу бажаної ЛАХ розімкнутої системи можна визначити як

$$\lambda_3 \geq \pi k_0 / t_{\pi}. \quad (4)$$

За залежністю  $k_0 = f(\sigma)$  [1], значенню  $\sigma = 20\%$  відповідає  $k_0 = 1.8$ .

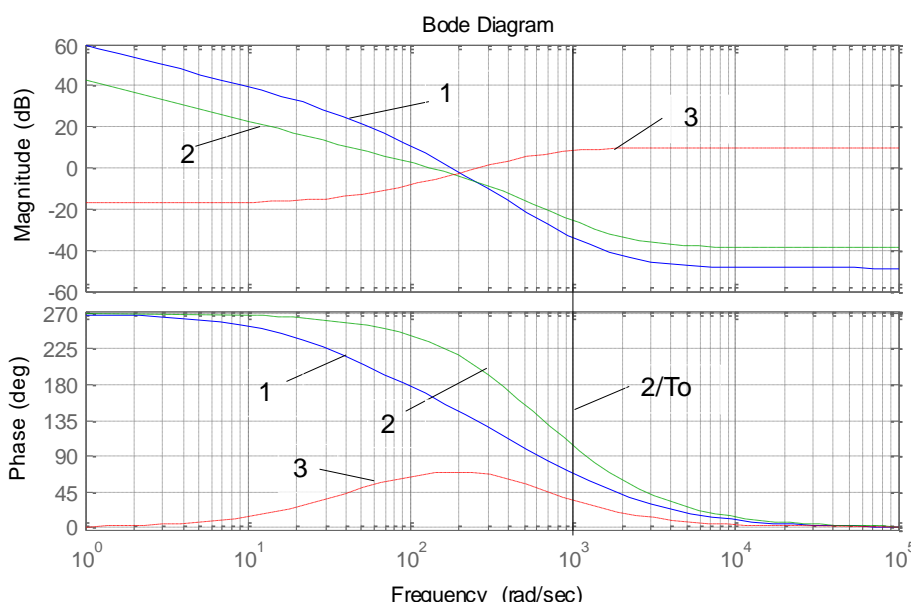


Рисунок 2 – Псевдочастотні ЛАХ і ЛФХ: 1 – об'єкта; 2 – бажана; 3 – регулятора

Використавши (4), отримаємо  $\lambda_3 = 130 \text{ с}^{-1}$ . Частоту спряження справа від  $\lambda_3$  рекомендується вибирати на одну – дві октави більшою, тому задамо її рівною  $500 \text{ с}^{-1}$ . За отриманими даними при врахуванні загальних принципів побудови бажаної ЛАХ сформуємо

бажану псевдочастотну ПФ у вигляді

$$W_6(j\lambda) = \frac{0.011308(j\lambda + 1582)(j\lambda - 1917)(j\lambda - 1000)}{j\lambda \cdot (j\lambda + 500)^2}. \quad (5)$$

ПФ регулятора можна отримати графо-аналітично – відніманням кривої 1 від кривої 2 (рис. 2.), або аналітично – діленням (5) на (3). В підсумку матимемо

$$W_r(j\lambda) = \frac{3.09(j\lambda + 285)(j\lambda + 40.55)}{(j\lambda + 500)^2}. \quad (6)$$

Замінивши в (6)  $j\lambda = 2(z-1)/T_0(z+1)$ , отримаємо дискретну ПФ регулятора

$$D_r(z) = \frac{1.837z^2 - 2.715z + 0.9422}{z^2 - 0.6667z + 0.1111}. \quad (7)$$

Як видно з (6) та (7), синтезований регулятор є форсувально-інерційною ланкою 2-го порядку.

Для дослідження властивостей синтезованої САР положення вала двигуна була побудована модель в програмному середовищі Matlab/Simulink, де безперервна частина відповідала зображеній на рис. 1 структурній схемі, а цифровий регулятор описувався ПФ (7). Отримані за допомогою цієї моделі процеси при зміні завдання та збурення представлені на рис. 3,4 відповідно.

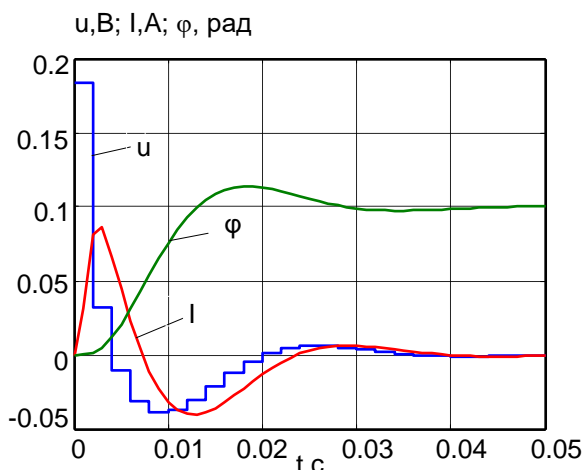


Рисунок 3 – Перехідні процеси при стрибкоподібному завданні  $\varphi^* = 0.1$  рад

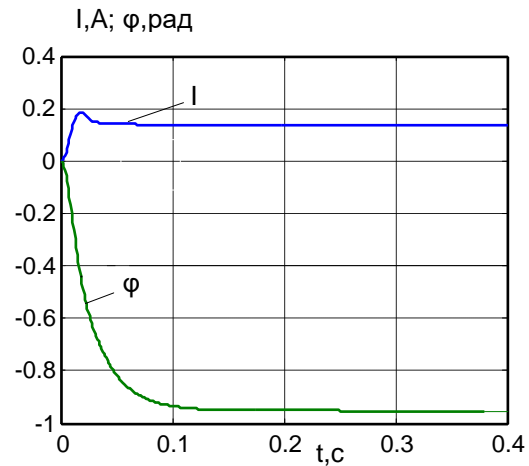


Рисунок 4 – Перехідні процеси при накиді навантаження  $M_H = 1.7 \cdot 10^{-3}$  Н·м

Аналіз рис. 3,4 показує, що система є астатичною за завданням та статичною за збуренням, а її показники якості –  $t_{\Pi} = 0.025$  с,  $\sigma = 12\%$ ,  $k_v = 137$  с<sup>-1</sup>,  $\Delta L = 11.3$  дБ,  $\Delta\phi \geq 54^\circ$ , – відповідають заданим.

**Висновки.** Виконано синтез цифрового регулятора лабораторного стенду для дослідження усталених режимів САР. Регулятор забезпечує необхідні властивості САР згідно з концепцією лабораторного стенду.

#### Перелік посилань

1. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування : підруч. для студ. вищ. техн. навч. закл. / М.Г.Попович, О.В. Ковальчук.– К. : Либідь, 2007.– 656 с.
2. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления: Пер. с англ. - М.: Машиностроение, 1986. - 448 с.