

А.М. Кліпа, к.т.н, доцент (*Національний авіаційний університет*)
Н.І. Кривошея, студент (*Національний авіаційний університет*)

Синтез пропорційно-диференційного регулятора динамічної системи

Зважаючи на важливість систем автоматичного керування у сучасних технологічних системах, виникає потреба у розробці та вдосконаленні методів регулювання цих систем для ефективності і точності процесів. Одним із ключових напрямків у цьому контексті є розвиток регуляторів, спроможних забезпечити необхідний рівень стійкості та точності в різноманітних умовах експлуатації.

Серед різних видів регуляторів особливе місце займаються пропорційно-диференційні (ПД) регулятори, які частіше використовуються в законах керування, ніж пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори. Ці регулятори мають високу ефективність у компенсації змін зовнішніх впливів та забезпеченні потрібного рівня стійкості системи [1].

Завдання системи автоматичного управління полягає в тому, щоб подавити дію зовнішнього збурення і забезпечити швидкі і якісні перехідні процеси. Тому застосування таких регуляторів особливо актуальне у цих системах.

Основною метою використання регуляторів є зменшення статичної похибки. Крім того, підбираючи параметри регуляторів, можна поліпшити показники перехідного процесу: час регулювання і величину перерегулювання. Тому застосування таких регуляторів особливо актуальне у цих системах.

У даному дослідженні розглядається синтез ПД регулятора з метою підвищення ефективності та стабільності автоматичного керування. [1]

Передавальна функція ідеального ПД-регулятора має вигляд [2]:

$$W_c(s) = K_p + K_d s, \quad (1)$$

де K_p – коефіцієнт підсилення пропорційної частини; K_d – коефіцієнт підсилення диференціальної частини.

При застосуванні регулятора (1) необмежене збільшення коефіцієнта підсилення диференціатора призводить до нескінченного підсилення на високих частотах. Тому, щоб обмежити коефіцієнт підсилення на високих частотах, в диференціальну складову ПД регулятора вводять додатковий полюс [2]. У цьому випадку передатна функція реального ПД регулятора може бути записана як:

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_d s}{\tau_0 s + 1}, \quad (2)$$

де τ_0 – дуже мале значення ($\tau_0 \ll 1$). В нашому випадку $\tau_0 = 0.0001$ (сек), тому в процедурі синтезу необхідно визначити два параметри, а саме K_p та K_d .

Постановка задачі: Необхідно синтезувати ПД регулятор, який може бути фізично реалізованим (2), і який би забезпечив необхідний запас стійкості за фазою $P_m = 55^\circ$ на частоті $\omega = 3$ рад/сек для системи керування положенням стержнів ядерного реактора (рис. 1) [2] з наступними передавальними функціями:

$$W_1 = 1; W_2 = \frac{1}{s(s+5)}; W_3 = 0.5; W_4 = 58.2; W_5 = \frac{1}{0.2s+1}; W_c = 1.$$

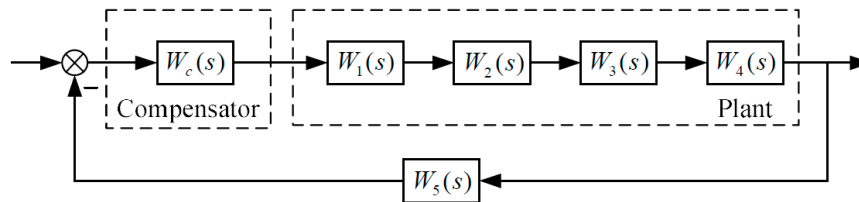


Рис. 1. Схема системи керування положенням стержнів ядерного реактора

Передавальна функція розімкненої нерегульованої (без регулятора) системи є наступною:

$$W_{p(n)} = \frac{29.1}{0.2s^3 + 2s^2 + 5s}$$

За допомогою цієї функції ми можемо почати синтез регулятора. Для цього треба зробити деякі розрахунки [2].

- 1) Розрахувати фазовий зсув регулятора на частоті ω :

$$\theta = \arg W_c(j\omega) = -180^\circ + P_m - \arg W_p(j\omega)W_f(j\omega),$$

$$\theta = \arg W_c(j\omega) = -180^\circ + 55^\circ + 151.9275^\circ = \frac{-26.92^\circ}{57.296} = 0.47 \text{ (rad)}.$$

- 2) Визначити коефіцієнт підсилення для пропорційної частини регулятора:

$$K_p = \frac{\cos\theta}{|W_p(j\omega)W_f(j\omega)|} = \frac{\cos(0.47)}{1.4265} = 0.625.$$

- 3) Визначити коефіцієнт підсилення для диференціальної частини регулятора:

$$K_d = \frac{\sin\theta}{\omega|W_p(j\omega)W_f(j\omega)|} = \frac{\sin(0.47)}{3 \cdot 1.4265} = 0.1058.$$

Після цього ми можемо записати передавальну функцію ПД регулятора (2) для заданої системи:

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_d s}{\tau_0 s + 1} = 0.625 + \frac{0.1058s}{0.0001s + 1} = \frac{0.1059s + 0.625}{0.0001s + 1}.$$

Графіки логарифмічно-частотних характеристик, запаси за амплітудою та фазою системи без регулятора і з ним наведені на рис. 2. Ці характеристики підтверджують, що з синтезованим ПД регулятором система керування положенням стержнів ядерного реактора має необхідний запас стійкості за фазою, а саме 55° на заданій частоті. Також на основі логарифмічно-частотних характеристик (рис. 2) можна зробити висновок, що обидві системи стійкі.

Перехідні характеристики нерегульованої та регульованої замкнених систем представлені на рис. 3.

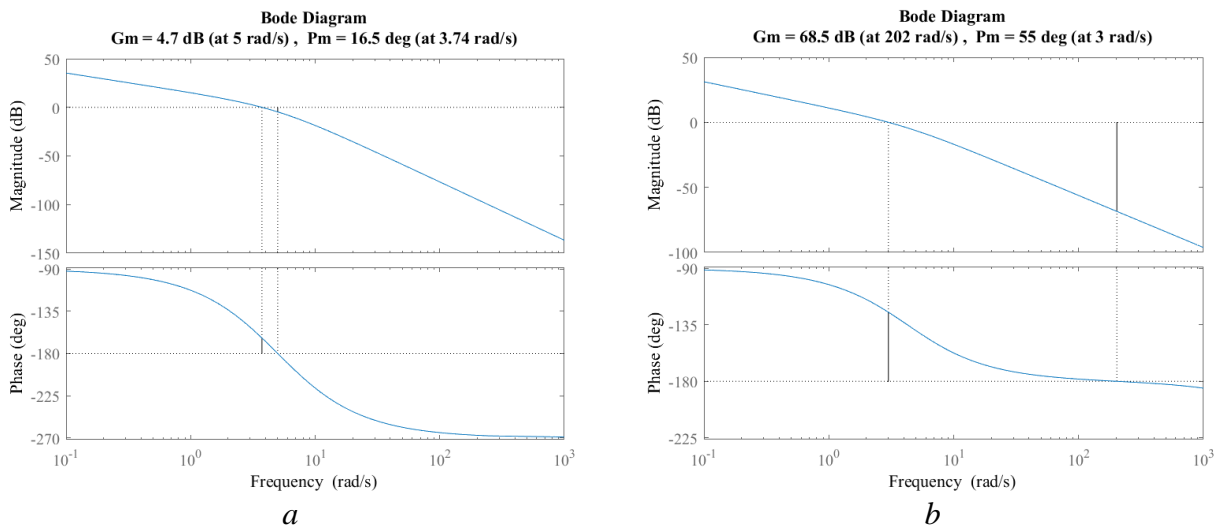


Рис. 2. Логарифмічно-частотні характеристики:
 (a) для нерегульованої системи; (b) системи з ПД регулятором

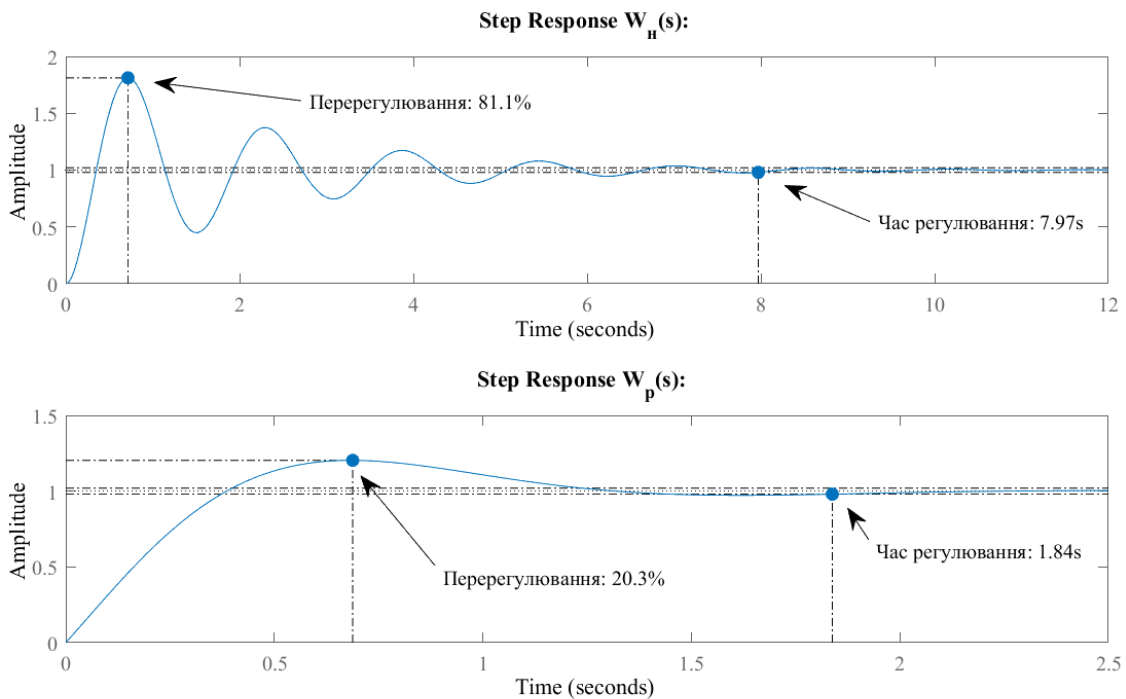


Рис.3. Перехідні характеристики нерегульованої $W_n(s)$ та регульованої $W_p(s)$ систем

З урахуванням отриманих результатів для нерегульованої системи та системи із ПД регулятором можна зробити наступні висновки: застосування розробленого ПД регулятора суттєво зменшило показник перерегулювання (з 81.1% до 20.3%) та дозволило скоротити час регулювання з 7.97 секунд до 1.84 секунди.

Отже, використання ПД регулятора дозволяє ефективно покращити характеристики системи, забезпечуючи більш точне та швидке реагування на зміни, що робить його перспективним варіантом для реалізації в автоматизованих системах керування.

Список літератури

1. Головінський Б.Л. Теорія автоматичного управління / Б.Л. Головінський, Ю.В. Шуруб, В.П. Лисенко. - К.: ВЦ НУБіП України, 2012.
2. Dorf R.C. Modern Control Systems / R.C. Dorf, R.H. Bishop. – Pearson Education, Inc., Pearson Prentice Hall, 2008. – 1046 p.