

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ЗАЗОРА ДЛЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПІДВІШУВАННЯ

Теряєв В.І., к.т.н., доц., Хилько М.В., магістрант, Шаповал І.А., д.т.н., доц.
КПІ Ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Технологія магнітного підвішування знаходить широке застосування у магнітних підшипниках, чистих конвеєрах, потягах на магнітній подушці, тощо. Основна перевага таких систем полягає у відсутності фізичного контакту між рухомими частинами і, таким чином, відсутності тертя в системі підвішування, що в свою чергу призводить до усунення механічних втрат в процесі руху і значного збільшення терміну експлуатації.

Однією з найбільш ефективних вважається система електромагнітного підвішування, основою якої є керований електромагніт постійного струму. Обов'язковим елементом такої системи є датчик повітряного зазору, сигнал якого подається на вхід системи автоматичного регулювання.

До системи автоматичного регулювання має також входити регулятор та керований перетворювач напруги, який через намагнічувальну силу регулює тягове зусилля електромагніту. Оскільки в світі все більше уваги приділяється технології магнітного підвішування, то синтез регулятора для системи магнітного підвішування є актуальною задачею.

Структурну схему лінеаризованої моделі електромагніта, отриману в [1], зображено на рис. 1.

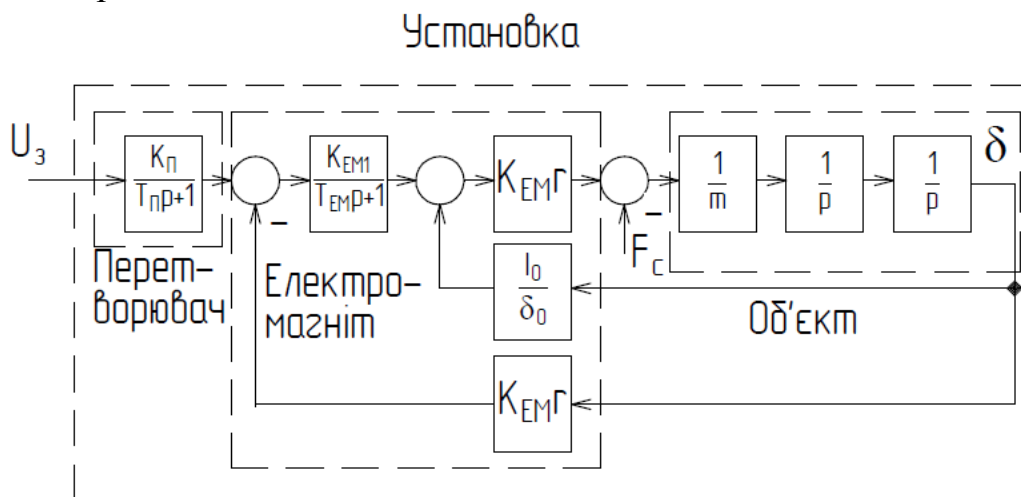


Рисунок 1 – Структурна схема лінеаризованої моделі електромагніту

На рисунку позначені K_{Π} – коефіцієнт передачі перетворювача; T_{Π} – постійна часу перетворювача; $T_{EM} = \frac{w^2 \mu_0 S_T}{2r \delta_0}$ – електромагнітна стала часу;

$K_{EM} = \frac{w^2 \mu_0 S_T}{2r \delta_0^2}$ – коефіцієнт передачі електромагніту; $K_{EM1} = 1/r$ – коефіцієнт передачі обмотки; r – опір обмотки; δ – зазор між електромагнітом та об'єктом;

U_3 – задана напруга; I_0, δ_0 – початкові значення струму і зазору електромагніта; μ_0 – магнітна проникність вакууму.

Мета роботи. Структурно – параметричний синтез регулятора зазору для стабілізації системи електромагнітного підвішування.

Матеріали і результати досліджень. Додатній зворотній зв'язок за зазором робить нерегульований електромагніт структурно нестійкою ланкою. Це підтверджує справедливність теореми Ірншоу щодо неможливості підвішування без керуючого впливу на електромагніт. На рис. 2 зображено графік перехідного процесу зміни зазору нерегульованого електромагніту при живленні від незмінної напруги.

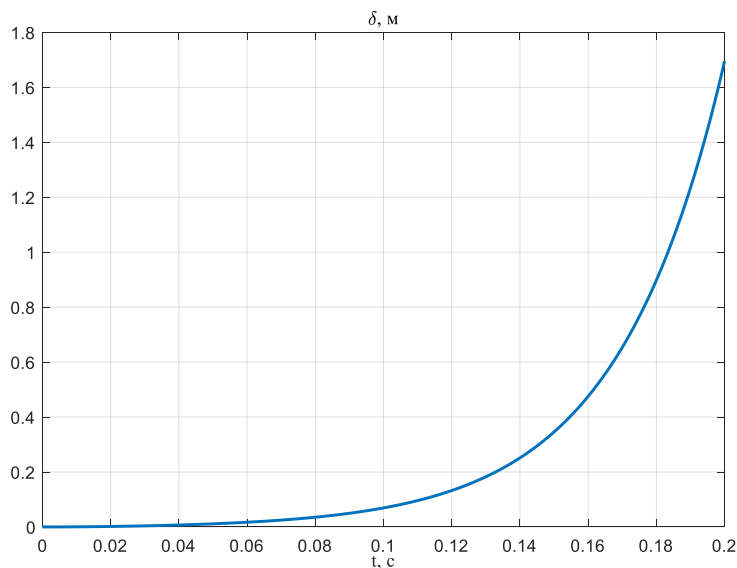


Рисунок 2 – Графік перехідного процесу зміни зазору нерегульованого електромагніту

В математичній моделі електромагніту [1] є два зворотних зв'язки. Перший – від'ємний зворотний зв'язок за швидкістю зміни зазору (проти-ЕРС руху). Цей зворотний зв'язок лише збільшує запас стійкості і тому в подальшому не розглядається. Перейдемо до другого зворотного зв'язку – за зазором електромагніта, вплив якого потрібно компенсувати. З цією метою, за принципом комбінованого керування, введемо додатковий штучний коригуючий зворотній зв'язок, протилежний за знаком природному зв'язку за зазором. Для повної компенсації дії додатного природного зв'язку передаточна функція штучного зворотного зв'язку за зазором повинна мати вигляд:

$$\begin{aligned}
 W_k(p) &= W_{32}(p) \cdot \frac{1}{W_{\Pi}(p)} \cdot \frac{1}{W_{EM1}(p)} = \frac{I_0}{\delta_0} \cdot \frac{T_{\Pi}p+1}{K_{\Pi}} \cdot \frac{T_{EM}p+1}{K_{EM1}} = \\
 &= \frac{I_0}{\delta_0 K_{EM1} K_{\Pi}} (T_{EM} T_{\Pi} p^2 + (T_{EM} + T_{\Pi}) p + 1)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Складовою в (1) при p^2 можна знехтувати і в результаті отримаємо пропорційно-диференційну (ПД) ланку в колі зворотного зв'язку за зазором. Структурна схема системи з коригуючою ПД-ланкою представлена на рис. 3,

де: K_p – коефіцієнт пропорційної складової, K_d – коефіцієнт диференційної складової. На всіх графіках перехідних процесів використовувалася обернена до повітряного зазору координата x . Графік перехідного процесу зміни зазору показано на рис. 4.

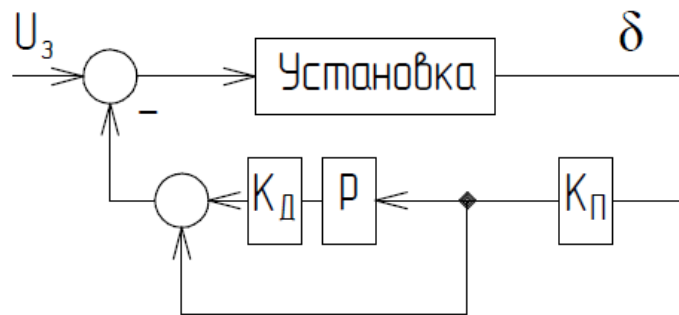


Рисунок 3 – Структурна схема системи з коригуючою ПД-ланкою

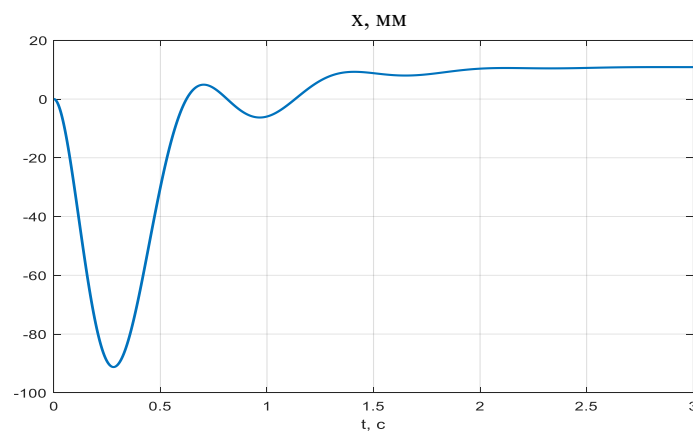


Рисунок 4 – Графік перехідного процесу змінювання зазору

Наступним кроком було досліджено вплив змінювання ваги об'єкта, що левітує, на величину зазору. Результати моделювання представлено на рис. 5. Вага об'єкта зменшується на 10% у момент часу $t = 4$ с.

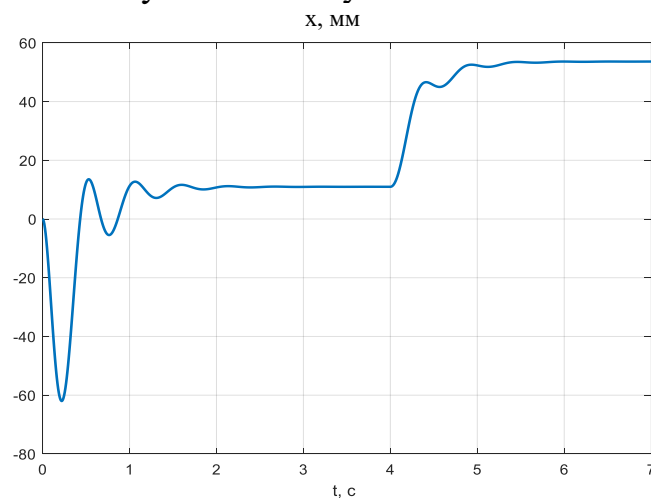


Рисунок 5 – Графік перехідного процесу зазору при змінюванні ваги об'єкта

Оскільки зміна ваги об'єкту є зовнішнім збуренням для системи магнітного підвішування, то згідно з теорією автоматичного керування для

компенсації впливу збурення необхідно ввести пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор. В результаті введення ПІ-регулятора структурна схема системи набуває вигляду, зображеного на рис. 6, де K_i – коефіцієнт інтегральної складової регулятора.

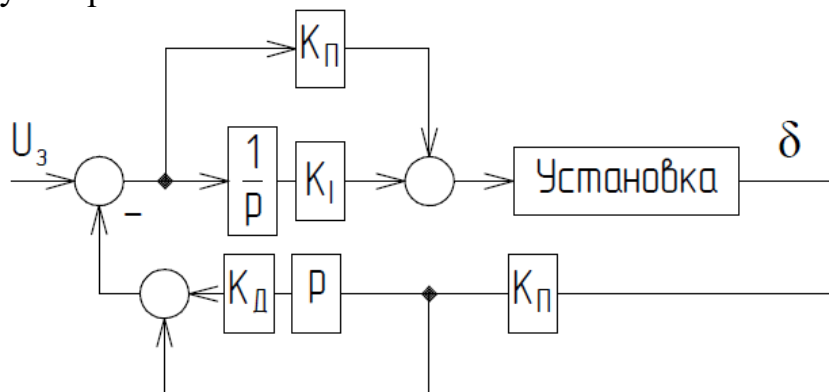


Рисунок 6 – Структурна схема системи з ПІ-ПД регулятором

Результати моделювання системи з ПІ-ПД регулятором показані на рис. 7. В момент часу $t = 4$ с відбувається зменшення ваги об'єкта на 10%. Величина інтегральної складової прийнята рівною диференціальній складовій.

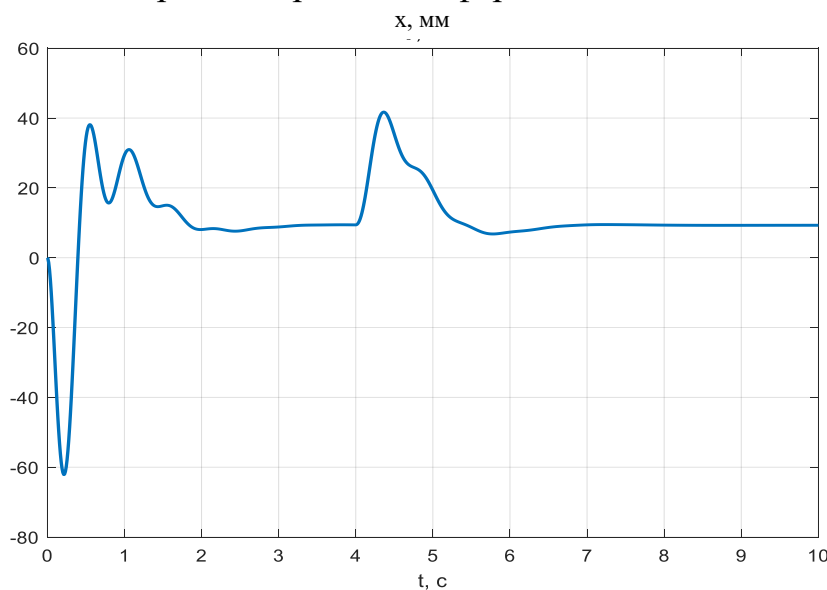


Рисунок 7 – Графік перехідного процесу змінювання зазору у системі при використанні ПІ-ПД регулятора

Наявність диференціальної складової в колі зворотного зв'язку може бути врахована її включенням у регулятор зазора. В результаті отримуємо класичний ПІД-регулятор зазора. Структурна схема системи з ПІД-регулятором показана на рис. 8, де $K_{зз}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за зазором. На рис. 9 для порівняння показано графіки перехідних процесів змінювання зазору окремо у системах з ПІ-ПД регулятором та з ПІД-регулятором; у момент часу $t = 4$ с відбувається зменшення ваги об'єкта на 10%.

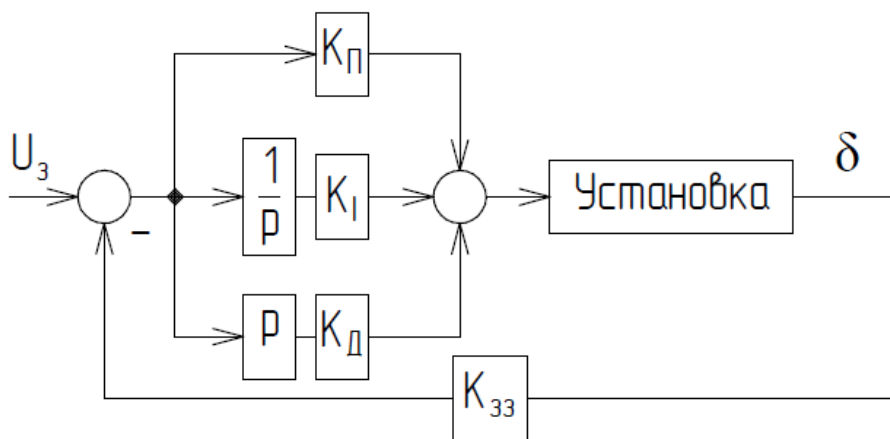


Рисунок 8 – Остаточний вигляд системи після перетворень

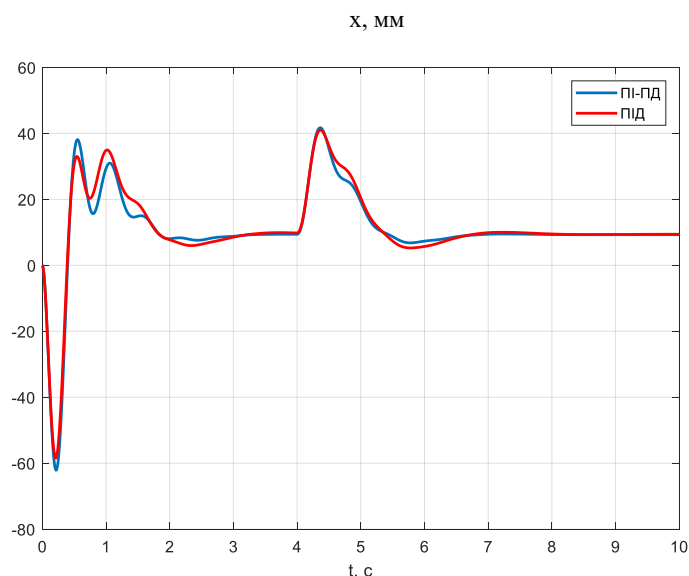


Рисунок 9 – Графіки перехідних процесів змінювання зазору у системах з ПІ-ПД та з ПД регуляторами

З рис. 9 видно, що перенесення диференціальної ланки з кола зворотного зв'язку за зазором, який компенсує вплив природного додатного зворотного зв'язку, на вхід системи є цілком допустимим і певним чином спрощує систему до звичного вигляду. Усталені значення параметрів системи автоматичного регулювання зазору, що порівнюються, збігаються.

Висновки. Стійке магнітне підвішування досягається керуванням напруги електромагніту постійного струму в замкненій за зазором системі автоматичного керування. Синтезовано регулятор зазору для системи магнітного підвішування, який компенсує вплив природного позитивного зворотного зв'язку і усуває структурну нестійкість електромагніту. Подальший вплив на якість перехідних процесів можливий шляхом змінювання параметрів та структури регулятора.

Перелік посилань

1. Теряєв В.І. Стабілізація системи електромагнітного підвішування з використанням акселерометра. – Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 1/2014 (2). – с. 92-94.