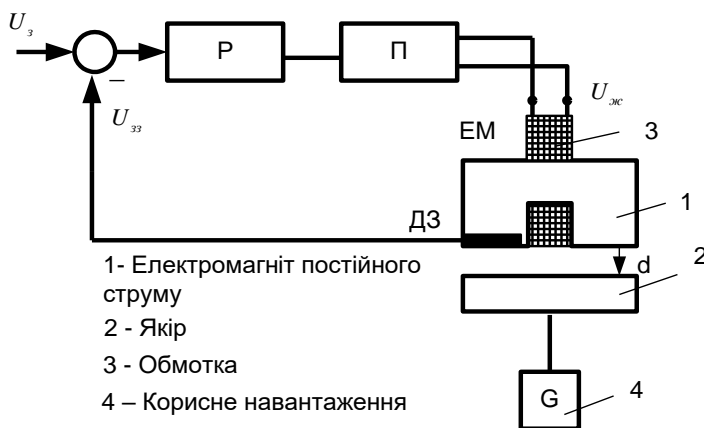


# СТАБІЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПІДВІШУВАННЯ

Теряєв В.І., доц., Бурлака О.П., магістрант

НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

**Вступ.** Принцип роботи системи електромагнітного підвішування з регульованим електромагнітом постійного струму пояснюється на рис. 1. Зміна величини зазору  $\delta$  сприймається датчиком зазору і подається на вхід системи автоматичного регулювання, яка включає регулятор та керований перетворювач напруги, за допомогою якого регулюється величина МРС котушки електромагніта. При збільшенні зазору ця МРС також збільшується та навпаки. Величина МРС визначає робочий магнітний потік в зазорі та величину тягового зусилля електромагніта.



Актуальність роботи обумовлена затребуваністю методів безконтактного керування положенням у просторі об'єктів різного технологічного призначення за допомогою електромагнітного поля. До таких об'єктів відносяться транспортні засоби з магнітним підвішуванням, прилади з магнітними

Рисунок 1 – Функціональна схема системи електромагнітного підвішування

підшипниками, безконтактні плавильні агрегати та інші. В той же час багато питань, пов'язаних з реалізацією систем магнітного підвішування залишаються остаточно не вирішеними. Серед таких питань – стабілізація систем електромагнітного підвішування, заснованих на використанні регульованих електромагнітів постійного струму.

**Мета роботи.** Обґрунтування раціональних методів стабілізації електромагніта постійного струму з метою отримання стійкого магнітного підвішування.

**Результати досліджень.** Структурна схема лінеаризованої моделі силового електромагніта, отримана в [1], представлена на рисунку 2. На рисунку позначені передаточні функції: електромагнітної частини  $W_{EM1}$ ; по зв'язку приростів сили тяги та струму  $W_{EM2}$ ; механічної частини  $W_o = 1/mr^2$ ; по від'ємному зворотному зв'язку за швидкістю зміни зазору (проти-ЕРС)  $W_{33}$ ; по додатному зворотному зв'язку по зазору  $W_{332}$ . Також позначені параметри електромагніту:  $r$  – опір обмотки;  $m$  – маса корисного навантаження;  $I_o$ ,  $\delta_o$  – номінальні значення струму та робочого зазору;  $\Delta I_{33}(p)$  – приріст струму, що враховує залежність магнітного потоку від зазору.

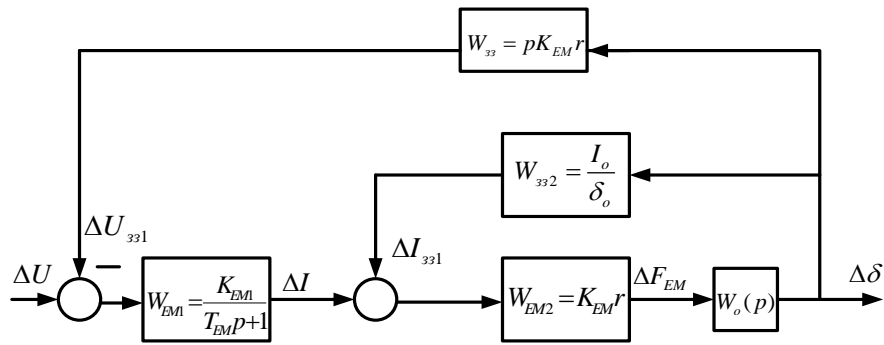


Рисунок 2 – Структурна схема лінеаризованої моделі силового електромагніта

Наявність додатного зворотнього зв'язку за зазором  $W_{332}$  свідчить про те, що нерегульований електромагніт постійного струму є структурно нестійкою ланкою. Результат моделювання перехідного процесу руху якоря електромагніта при прикладанні напруги до його обмотки представлений на рис. 3.

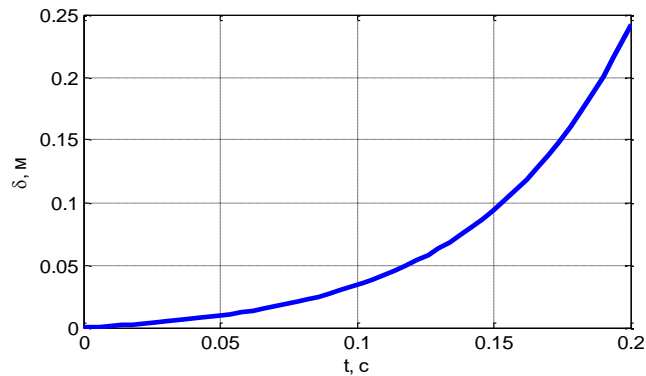


Рисунок 3 – Графік перехідного процесу лінеаризованої моделі силового електромагніта

Для досягнення стійкого магнітного підвищення необхідно використовувати замкнене керування по регульованій координаті та інші методи автоматичного управління.

Перетворимо частину структурної схеми рис. 2, охоплену додатним зворотним зв'язком та запишемо її передаточну функцію.

$$W_3 = \frac{K_{EM} r \cdot \frac{1}{mp^2}}{1 - \frac{K_{EM} r \cdot K_{33}}{mp^2}} = \frac{K_{EM} r}{mp^2 - K_{EM} r \cdot K_{33}} = \frac{\frac{1}{K_{33}}}{\frac{m}{K_{EM} r \cdot K_{33}} p^2 - 1} = \frac{K}{T \cdot p^2 - 1} = \frac{K}{(\sqrt{T} \cdot p + 1) \cdot (\sqrt{T} \cdot p - 1)}$$

де  $K = 1 / K_{33}$  та  $T = m / K_{EM} r \cdot K_{33}$ .

Як видно з отриманого результату, передаточну функцію виконуючої (силової) частини електромагніта можна представити у вигляді послідовного з'єднання аперіодичної ланки першого порядку  $1 / (\sqrt{T} \cdot p + 1)$  та нестійкої ланки першого порядку з передаточною функцією  $1 / (\sqrt{T} \cdot p - 1)$

Розглянемо шляхи стабілізації даної нестійкої ланки першого порядку за рахунок охоплення її негативним зворотним зв'язком з використанням

регуляторів (P) різних типів [2]. Структурна схема замкнутого контуру представлена на рис. 4.

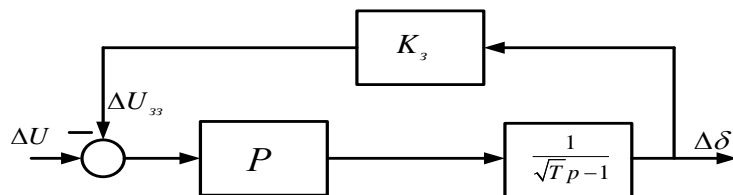


Рисунок 4 – Структурна схема замкнутого контуру з нестійкою ланкою першого порядку

Результати моделювання перехідного процесу відпрацювання ступінчатої задаючої дії  $\Delta U$  представлені на рисунку 5. Значення коефіцієнтів передачі та сталої часу наведені в табл. 1.

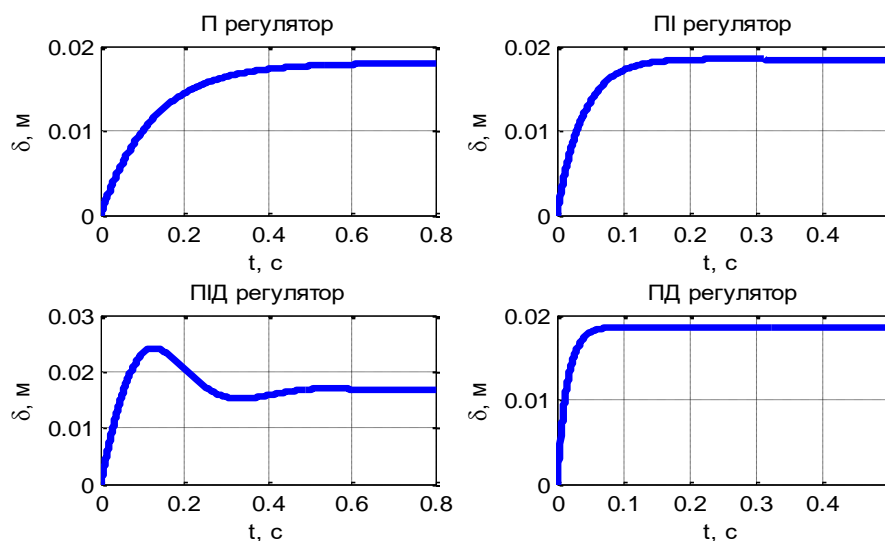


Рисунок 5 – Перехідні характеристики замкнутого контуру з регуляторами різних типів

Таблиця 1

Регулятор	$K_{II}$	$T_b, c$	$T_d, c$	$K_3$	$T$
П	20	0	0	600	0,03
ПІ	20	1	0	600	0,03
ПД	20	0	0.05	600	0,03
ПІД	20	1	0.05	600	0,03

Як було показано вище, силова частина електромагніту постійного струму може бути представлена послідовним з'єднанням двох ланок - аперіодичної та нестійкої першого порядку (див. рис. 6).

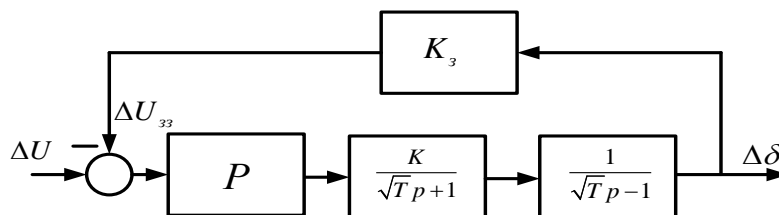


Рисунок 6 – Структурна схема замкнутого контуру, що включає силову частину електромагніта

Розглянемо варіанти регуляторів, які і в даному випадку забезпечують стабілізацію системи.

Підбираючи параметри зворотного зв'язку та ПД- і ПД-регуляторів, також отримуємо стійку систему (рис. 7). Значення коефіцієнтів передачі та сталої часу наведені в табл. 2.

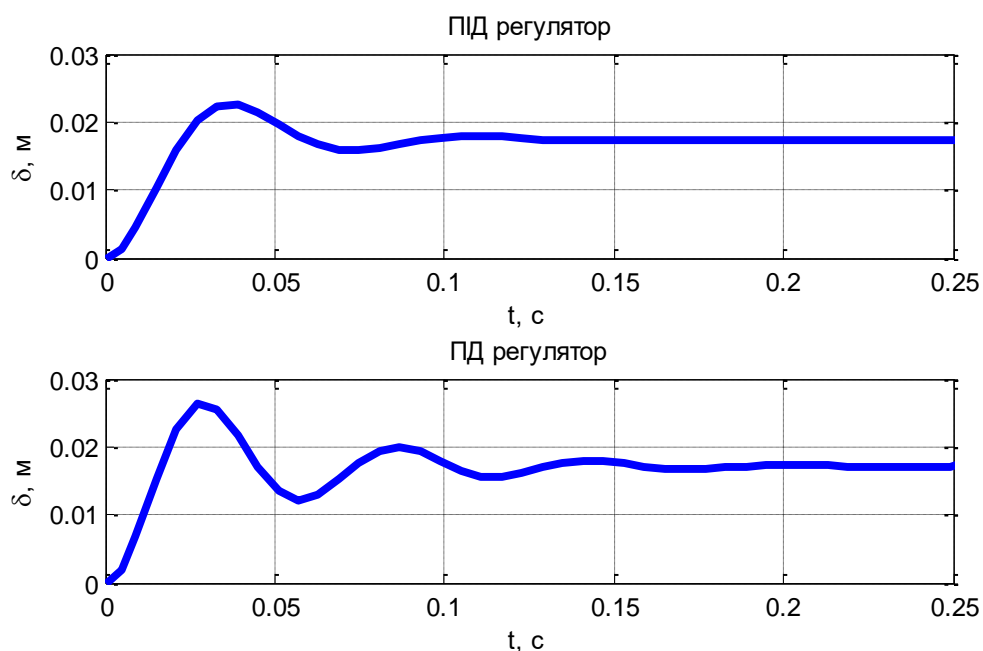


Рисунок 7 – Перехідні характеристики контуру з ПД- та ПД-регуляторами

Таблиця 2

Регулятор	$K_{II}$	$T_I, c$	$T_D, c$	$K_z$	$T$
ПД	20	0	1	600	0,03
ПД	20	1	1	600	0,03

**Висновки.** Як показали проведені дослідження стабілізації структурно нестійкої ланки, до якої відноситься силова частина електромагніта постійного струму, охоплення її негативним зворотним зв'язком робить контур стійким.

Наявність форсуючих властивостей регуляторів дозволяє підвищити швидкодню замкнутого контуру при збереженні його стійкості.

#### Перелік посилань

1. Теряєв В.І. Математична модель виконавчого електромагніту для систем магнітного підвішування / В.І.Теряєв, О.П.Бурлака. - XI Міжнародна науково-техн. конф. Молодих учених і спеціалістів Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. - Кременчук: КрНУ, 2013, с. 264-265.

2. Федосов Б.Т. О стабилизации линейных неустойчивых объектов охватом их обратной связью [Електронний ресурс]:Режим доступу [http://model.exponenta.ru/bt/bt\\_1315\\_Stab\\_NeUst.htm](http://model.exponenta.ru/bt/bt_1315_Stab_NeUst.htm)– Назва з домашньої сторінки Інтернету.