

ПРО СТАБІЛІЗАЦІЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПІДВІСУ МЕТОДОМ ПОСЛІДОВНОЇ КОРЕКЦІЇ

Теряєв В.І., к.т.н., доц., Лабенський В.В., Колісник Р.В., магістранти
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Послідовна корекція з підпорядкованим регулюванням координат широко використовується при побудові замкнених систем автоматичного керування.

Системи з послідовною корекцією вигідно відрізняються від інших систем автоматичного регулювання, особливо при складних структурах об'єкта регулювання, великому числі регульованих змінних і високих вимогах до якості регулювання. Прості та зручні для практики принципи розрахунку і налаштування контурів дозволяють навіть при значних погрішностях у визначенні динамічних параметрів об'єкта регулювання одержати цілком працездатну систему управління. Їх перевагою є також можливість обмеження будь-якої з регульованих змінних на заданому рівні.

У процесі синтезу та налаштування система автоматичного управління з послідовною корекцією розбивається на ряд контурів, кількість яких дорівнює числу регульованих змінних системи. Так, наприклад, в електроприводах постійного струму такими параметрами можуть бути: напруга перетворювача, струм якорного кола, момент, швидкість обертання валу електродвигуна, кутове або лінійне переміщення органів робочої машини тощо. Головною регульованою координатою СПР є величина, яка визначає ціль автоматичного регулювання. Для системи стабілізації швидкості такою величиною є швидкість, в системах позиціонування - кутове або лінійне переміщення тощо.

Мета роботи. Розглянемо особливості використання методу послідовної корекції стосовно структурно-нестійких електромеханічних систем. В якості прикладу візьмемо систему магнітного підвісу з використанням електромагніта постійного струму. В системі електромагнітного підвішування відповідно головною регульованою координатою є робочий зазор, а проміжними координатами – напруга, струм, магнітний потік та тягове зусилля електромагніту.

Матеріали і результати досліджень. Принцип роботи системи електромагнітного підвішування з регульованим електромагнітом постійного струму пояснюється рис. 1. Регулювання положення об'єкту у просторі здійснюється за допомогою електромагнітного зусилля F_{EM} . Координата положення об'єкту сприймається датчиком зазору δ і в якості сигналу зворотного зв'язку подається на вхід системи автоматичного регулювання, яка включає регулятор P та керований перетворювач напруги Π , за допомогою якого регулюється величина МРС котушки електромагніта. При збільшенні зазору ця МРС також збільшується і навпаки. Величина МРС визначає робочий магнітний потік в зазорі та величину тягового зусилля електромагніту F_{EM} , яке

компенсує вагу корисного навантаження та збурювальні зусилля, що діють на нього.

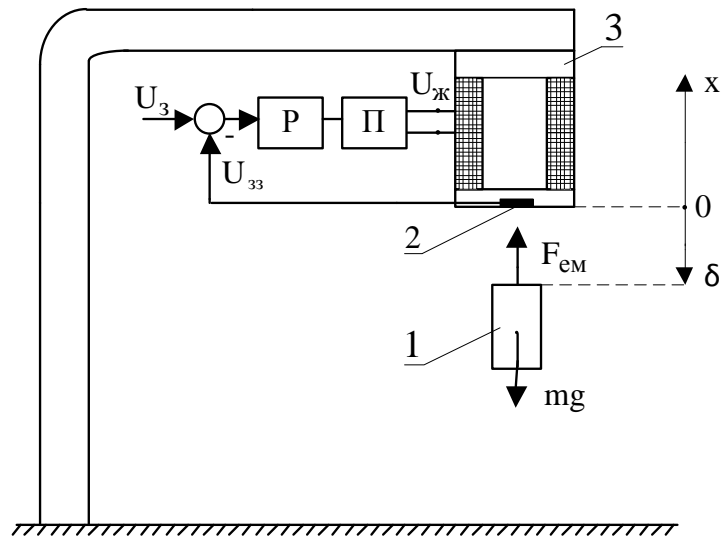


Рисунок 1 – Функціональна схема системи електромагнітного підвішування:
 1 – яркі електромагніта та корисне навантаження; 2 – датчик зазору;
 3 – електромагніт постійного струму; P – регулятор зазору;
 II – керований перетворювач постійної напруги.

Відомо, що нерегульований електромагніт постійного струму є структурно-нестійким об'єктом [1]. Фізично це пояснюється зворотно-квадратичною залежністю сили тяги від зазору, що призводить до лавиноподібного зростання зусилля при зменшенні зазору і навпаки. Нестійкість електромагніту впливає також з вигляду його структурної схеми та передаточної функції. Розглянемо це питання більш докладно в процесі вивчення можливості здійснення послідовної корекції.

На рис. 2 зображена структурна схема системи підпорядкованого регулювання робочого зазору електромагніта постійного струму з внутрішнім контуром регулювання струму і зовнішнім контуром регулювання зазору.

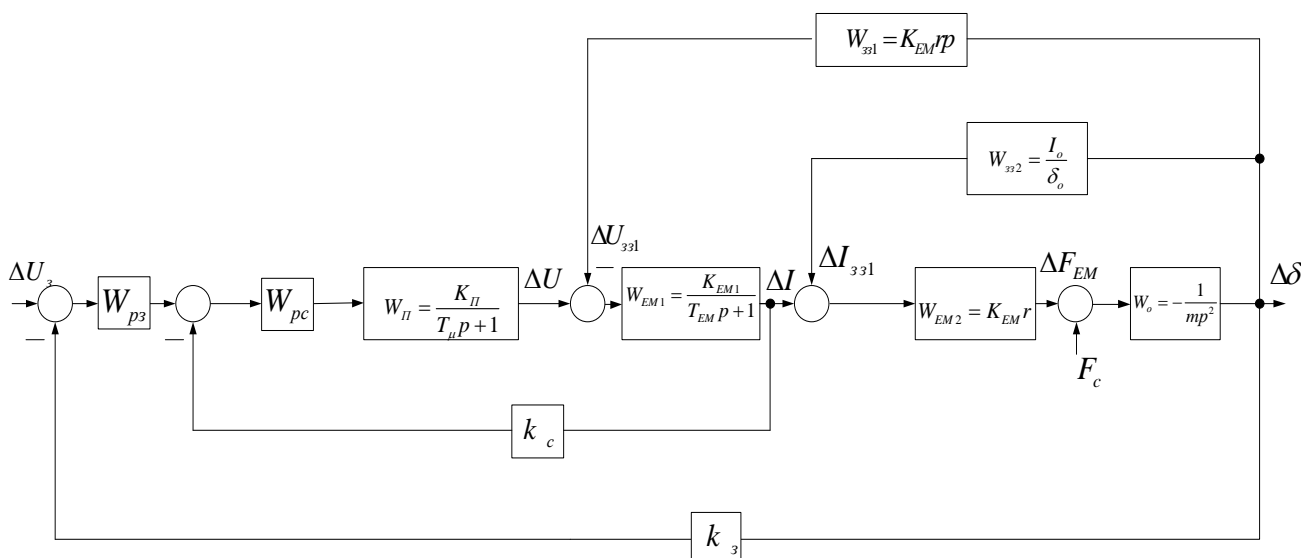


Рисунок 2 – Структурна схема двоконтурної системи автоматичного регулювання зазору, побудована за принципом послідовної корекції

Передаточна функція замкненого контуру струму, реалізованого за методом послідовної корекції, при налаштуванні на модульний оптимум має стандартний вигляд: $W_{3.c} = \frac{1/k_c}{a_c T_\mu p + 1}$, де $k_c = 10B/2I_0$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом, I_0 – номінальний струм електромагніта; a_c – коефіцієнт демпфування контуру.

При проведенні синтезу контуру струму дією зворотного зв'язку по ЕРС руху W_{33l} знехтувано по аналогії з синтезом контуру струму двигуна постійного струму. Вважається, що наявність зворотного зв'язку по ЕРС лише збільшує запас по фазі та стійкість системи.

Бажана передаточна функція розімкненого контуру зазору при налаштуванні на модульний оптимум:

$$W_{роз.баж} = \frac{1/k_3}{a_3 a_c T_\mu p (a_c T_\mu p + 1)},$$

де a_3 – коефіцієнт демпфування контуру зазору.

З метою уникнення від'ємного знаку у передаточній функції об'єкту, здійснимо заміну координати δ на протилежно спрямовану координату x , яка співпадає з напрямком тягового зусилля F_{EM} , як це показано на рис. 1.

Передаточна функція об'єкту регулювання контуру зазору: $W_{окз} = W_{3.c} W_{екв}$,

$$де W_{екв} = \frac{W_{EM2} \cdot W_o}{1 - W_{EM2} \cdot W_o \cdot W_{3.3.2}} = \frac{\frac{K_{EM} r}{mp^2}}{1 - \frac{K_{EM} r \cdot W_{3.3.2}}{mp^2}} = \frac{1/W_{3.3.2}}{\frac{m}{K_{EM} r \cdot W_{3.3.2}} p^2 - 1} = \frac{1/W_{3.3.2}}{T^2 p^2 - 1} = \frac{1/W_{3.3.2}}{(Tp+1)(Tp-1)}.$$

Як видно з наведеного результату, передаточну функцію виконавчої (силової) частини електромагніту можна представити у вигляді послідовного з'єднання аперіодичної ланки першого порядку $\frac{1/W_{3.3.2}}{Tp+1}$ та нестійкої ланки першого порядку з передаточною функцією $\frac{1/W_{3.3.2}}{Tp-1}$, де $T = \sqrt{\frac{m}{K_{EM} r \cdot W_{3.3.2}}}$.

Передаточна функція об'єкту контуру зазору

$$W_{окз} = W_{3.c} W_{екв} = \frac{K_{EM} r}{\kappa_c (a_c T_\mu p + 1) (mp^2 - K_{EM} r \cdot W_{3.3.2})}.$$

Звідси визначаємо передаточну функцію регулятора зазору:

$$W_{pz} = \frac{W_{роз.баж}}{W_{окз}} = \frac{\kappa_c (a_c T_\mu p + 1) (mp^2 - K_{EM} r \cdot W_{3.3.2})}{\kappa_3 a_3 a_c T_\mu p (a_c T_\mu p + 1) \cdot K_{EM} r} = \frac{\kappa_c m}{\kappa_3 a_3 a_c T_\mu K_{EM} r} p - \frac{\kappa_c W_{3.3.2}}{\kappa_3 a_3 a_c T_\mu p},$$

де $k_3 = U_{3.max} / \delta_0$ – коефіцієнт передачі датчика зазору, δ_0 – номінальний робочий зазор.

Отримано передаточну функцію нестандартного ДІ-регулятора зазору, який теоретично забезпечує бажану передаточну функцію САР зазору.

Для перевірки якості синтезованої САР було проведено моделювання перехідного процесу при відпрацюванні ступінчастої задаючої дії (див. рис. 3).

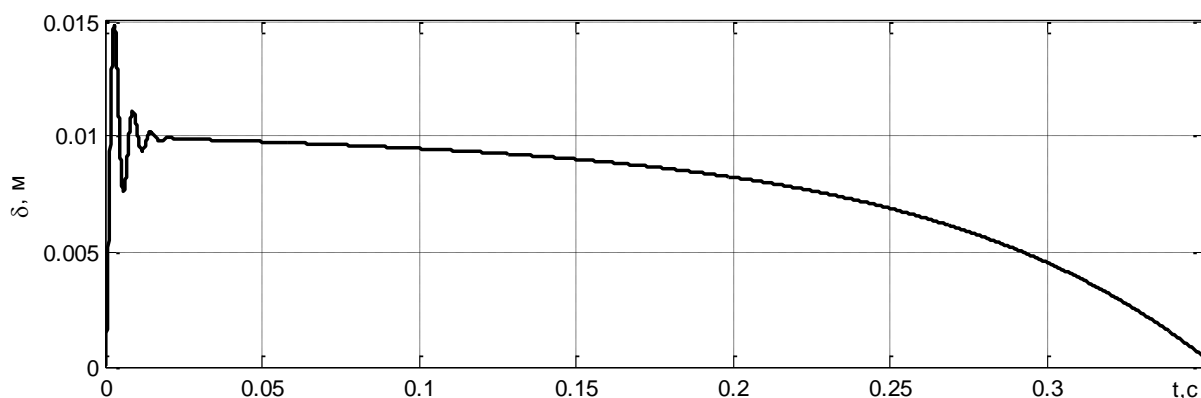


Рисунок 3 – Результати моделювання

Представлений перехідний процес свідчить, що на першому етапі (до 0,025 с) система має перехідну характеристику, яка частково відповідає бажаній передаточній функції, але в подальшому процес стає розбіжно-монотонним (аперіодичним), тобто система стає нестійкою. Дане дослідження підтверджує той факт, що при використанні методу послідовної корекції не враховуються умови грубості для немінімально-фазових та структурно-нестійких об'єктів, що призводить до втрати стійкості при найменших параметричних та координатних збуреннях.

Як показали подальші уточнені дослідження перехідних процесів в контурі зазору, використання нестандартного ДІ-регулятора зазору призводить до швидкого накопичення помилки з наступною втратою стійкості системи за рахунок наявності обчислювальних похибок. Тому застосування методу послідовної корекції можна рекомендувати лише для синтезу внутрішніх контурів системи магнітного підвішування (напруги, струму, магнітного потоку). Реалізацію зовнішнього контуру зазору доцільно здійснювати на основі ПД-регулятора, як це запропоновано, наприклад, у роботах [2, 3].

Висновки. Результати проведеного дослідження підтверджують неможливість практичного використання методу послідовної корекції при наявності у контурі регулювання структурно-нестійкого об'єкту. Нестандартна структура регулятора без пропорційної складової чутлива до обчислювальних похибок та перешкод і не забезпечує асимптотичної стійкості системи в цілому.

Перелік посилань

1. Теряев В.І., Бурлака О.П. Математична модель виконавчого електромагніту для систем магнітного підвішування. Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації // Зб. наук. пр. XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук – 9-11 квітня 2013 р. – Кременчук: КрНУ, 2013. – с. 264-265.
2. Теряев В.І., Бурлака О.П. Стабілізація системи електромагнітного підвішування // Доповіді Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики. – Київ: «Політехніка», 2013. – с. 380-383.
3. Теряев В.І. Стабілізація системи електромагнітного підвішування з використанням акселерометра // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. № 4/2014 (28). – с. 71-78.