
**СИНТЕЗ ДВОМАСОВОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З ВИКОРИСТАННЯМ
СТРУКТУРУВАННЯ ПЕРЕДАТНИХ ФУНКЦІЙ**

Вступ. Системи підпорядкованого регулювання (СПР) завдяки своїм перевагам по праву набули дуже широкого застосування. Проте намагання брати їх за основу та зводити до них системи, які в структурному плані чи в плані потрібної якості регулювання відрізняються від них, не завжди може бути виправдане. Стосується це, зокрема, випадків, коли для електроприводів (ЕП) з двомасовою механічною частиною намагаються використати рішення, прийняті в СПР для одномасових систем, можливо, з деяким їх виправленням. При великих розбіжностях між очікуваними та реальними результатами потрібно відмежуватись від стереотипів та вести пошук принципово нових розв'язань задачі.

Постановка задачі дослідження. Розглянемо задачу оптимізації системи регулювання пружного моменту в ЕП постійного струму за системою керований перетворювач напруги - двигун, механічна частина якого може бути представлена як двомасова. Під оптимізацією розумітимемо пошук структури та параметрів замкненої системи автоматичного керування (САК), побудованої на базі заданої (незмінюваної) частини, які б забезпечили задані (на основі того чи іншого критерію) налаштування коефіцієнтів передатної функції утвореної САК.

Матеріал дослідження. Нехай після зведення до осі двигуна розрахункова схема механічної частини ЕП представляється двома масами з моментами інерції J_1 і J_2 , які з'єднані пружним валом. Вал має еквівалентну приведену жорсткість c_{12} та коефіцієнт внутрішнього в'язкого тертя b_{12} . Математичний опис решти системи наступний. Керований перетворювач напруги (КП) є інерційною ланкою 1-го порядку з коефіцієнтом підсилення k_n та еквівалентною сталою часу T_n . Двигун постійного струму розглядається як ланка другого порядку з електромагнітною сталою часу T_n , електромеханічною сталою часу T_{m1} , конструктивною сталою C та опором кола якоря R . Для отримання якомога ширшої множини можливих варіантів рішень застосуємо запропонований в [1] системний підхід, суть якого полягає в наступному. На величини коефіцієнтів ПФ системи можна впливати за допомогою ЗЗ за вихідною та проміжними координатами а також застосуванням послідовних коректуючих пристроїв. Але якщо дію одного або кількох ЗЗ можна однозначно замінити дією одного послідовного коректора, то зворотна процедура не є однозначною. Тому на першому етапі синтезу для зменшення громіздкості отримуваних рішень обмежимося в певному сенсі повною структурною схемою, але лише із ЗЗ, без послідовних коректорів. Для розширення можливостей впливу ЗЗ на коефіцієнти ПФ вважатимемо, що ці ЗЗ, крім пропорційних, можуть мати також диференціальні та інтегральні складові потрібних порядків. Це дає можливість охопити широкий спектр варіантів, оперуючи мінімальною кількістю незалежних варіюваних параметрів. На другому етапі синтезу деякі з цих ЗЗ можуть бути замінені послідовними ланками (особливо це можливо для гнучких ЗЗ). В досліджуваній системі координатами, за якими можуть бути введені ЗЗ, є напруга U_n перетворювача, струм двигуна I , швидкості мас ω_1 і ω_2 , а також пружний момент. Дослідження показують, що поставлена задача може бути вирішена без ЗЗ за швидкостями мас, тому тут цей варіант ЗЗ не розглядається. На першому етапі синтезу розглядаємо структурну схему САК із спільним суматором, на вхід якого подаються сигнали ЗЗ за напругою перетворювача $k_n(s)$, за струмом двигуна $k_c(s)$ а також за пружним моментом k_m . Для спрощення замість реальних координат (струм якоря I , швидкості мас ω_1 і ω_2 а також пружний момент) розглядаються пропорційні до них величини $I R$, $C \omega_1$ і $C \omega_2$, $I_{np} R$. У виразах ПФ приймаємо наступні наступні позначення: $\beta = C^2/R$ - жорсткість механічної характеристики двигуна; $T_{m1} = J_1/\beta$; $T_{m2} = J_2/\beta$ - еквівалентні електромеханічні сталі часу. Записавши для такої САК ПФ вихідної координати $I_{np} R$ відносно сигналу завдання U_n , отримуємо відоме рішення, що астатичне регулювання струму досягається при введенні критичного додатного ЗЗ за напругою КП, коли на його основі отримуємо інтегральну ланку із сталою часу T_n . Величину T_n можна при необхідності змінити, ввівши гнучкий ЗЗ за напругою. Ці ЗЗ (жорсткий та гнучкий) як чисто розрахункові параметри на наступному етапі синтезу можна замінити одним послідовним ПІ-регулятором. Отже, приймаємо $k_n = -1/k_{11}$. Відомо, що при цьому можна знехтувати дією внутрішнього ЗЗ за ЕРС двигуна (при $T_{m1} > 4T_n$). З урахуванням цього ПФ системи матиме вигляд:

$$W(s) = \frac{\alpha(bs+1)}{\frac{\alpha}{k_n} \beta_1 T_n T_n T_{m1} s^4 + \frac{\alpha}{k_n} T_n \left(\frac{b}{\mu} T_n + \beta_1 T_{m1} \right) s^3 + \frac{\alpha}{k_n} \left(T_n \frac{T_n + b}{\mu} + (1 + k_n k_c) \beta_1 T_{m1} \right) s^2 + \left(\frac{\alpha}{k_n} \frac{T_n}{\mu} + b \right) s + 1} \quad (1)$$

Тут прийняті наступні позначення: $\alpha = \mu k_n / (1 + k_n (k_c + \mu k_n))$ - коефіцієнт підсилення системи; $\mu = T_{m2} / (T_{m1} + T_{m2})$; $\beta_1 = \beta / c_{12}$; $b = b_{12} / c_{12}$. Вираз (1) є основою для отримання множини часткових варіантів розв'язків, граничними з яких є: або із ЗЗ лише за струмом двигуна, або із ЗЗ лише за пружним моментом. Вираз придатний також і для одномасової системи, коли $\mu = 1$, $b = 0$ і $\beta_1 = 0$. В СПР поведінку САК оцінюють за величинами співвідношень a_i сталих часу інтегрування вкладених один в одного контурів. В нашому випадку таких контурів нема, але їх можна уявити, представивши характеристичний поліном ПФ (1) у вигляді:

$$A(s) = A_1 s \left(\frac{A_2}{A_1} s \left(\frac{A_3}{A_2} s \left(\frac{A_4}{A_3} s + 1 \right) + 1 \right) + 1 \right) + 1.$$

По аналогії з СПР отримуємо:

$$A_4/A_3 = T_0 = T_n / \left(\frac{b_{12} T_n}{\mu \beta T_{m1}} + 1 \right); \quad A_3/A_2 = a_1 T_0; \quad A_2/A_1 = a_1 a_2 T_0; \quad A_1 = a_1 a_2 a_3 T_0. \quad (2)$$

Після підстановки в (2) виразів для A_i з (1) отримаємо систему рівнянь, з яких можна отримати шукані варіанти рішень. Бажане налаштування САК можливе, якщо кожна величина a_i і стала часу T_0 мають свій, відмінний від інших, варійований параметр. Таке структурування ПФ дозволяє досліджувати поведінку САК будь-якої структури за коефіцієнтами уявної регулярної структури – такої, яку мають СПР. В [2] приводяться ряд варіантів стандартних ПФ систем 4-го порядку, які відповідають різним критеріям оптимальності. В [3] для них розраховані коефіцієнти a_i , які для 30 різних варіантів критеріїв лежать в межах від 0.3 до 4. Тобто ці параметри мають універсальний характер і представлення через них коефіцієнтів A_i можна розглядати як певну форму відносних одиниць. Розв'язування системи (2) через громіздкість тут не розглядається. Проаналізуємо лише можливість незалежного налаштування коефіцієнтів характеристичного полінома ПФ (1). Тут жорстким ЗЗ за струмом можна налаштувати величину коефіцієнта A_2 . Зрозуміло, що при наявності в цьому ЗЗ диференціовальної та інтегровальної складових ці складові перейдуть відповідно у коефіцієнти A_3 і A_1 і можуть бути використані для їх налаштування. На цьому етапі синтезу величини T_n і T_n умовно розглядатимемо як розрахункові параметри, які можуть бути змінені. Як видно з (1), коефіцієнт A_1 можна змінювати, змінюючи величину T_n , а коефіцієнт A_3 – змінюючи T_n . У варіанті паралельної корекції це можна зробити за допомогою гнучких ЗЗ. Очевидно, що при малих коефіцієнтах внутрішнього в'язкого тертя b_{12} для налаштування A_1 величину T_n потрібно збільшувати. При цьому, як видно з (2), величина T_0 , а отже і швидкодія, не залежать від T_n . Згідно з (2), при малих значеннях коефіцієнта b_{12} величина T_0 прямує до T_n , а це за багатьох і тому величину T_n потрібно зменшувати.

Перейдемо до другого етапу синтезу – практичної реалізації САК.

Згадувані у варіанті паралельної корекції додатний жорсткий ЗЗ за напругою КП та гнучкі ЗЗ за струмом та напругою для зміни параметрів T_n і T_n на T_n^* і T_n^* доцільно замінити дією одного послідовного коректора-регулятора, ПФ якого буде: $W_p(s) = (T_n s + 1) / (T_n^* s + 1)$. На його вхід подаються від'ємні жорсткі ЗЗ за струмом якоря двигуна та за пружним моментом. Якщо бажана ПФ системи вибрана лише за її знаменником, то для компенсації диференціовальної складової чисельника в коло завдання САК потрібно буде ввести відповідний фільтр. Доцільно буде також розглянути можливість використання бажаної (оптимальної) ПФ з нулем.

Література.

1. Лозинський О.Ю., Бойчук Б.Г. Структурно-параметричний синтез керованих систем електроприводів. Вісник Нац. Ун-ту «ХП»: 36. Наук. праць. Темат. Вип.11. – Харків, НТУ «ХП», 2002. – т.2, С.345 - 347.
2. Осичев А.В., Котляров В.О., Марков В.С. Стандартные распределения корней в задачах синтеза в электроприводе // Вісник ДТУ «ХП». «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика». – Харків: Основа. – 1997. С. 104 – 109.
3. Бойчук Б.Г., Паранчук Я.С. Аналіз динаміки САК 4-го порядку за коефіцієнтами їх характеристичних поліномів. Збірник наук праць Дніпродзержинського ДТУ. «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія та практика». – 2007. – С.334 – 337.