УДК 681.51/.54

О.О. Азюковський, канд. техн. наук, А.В. Бакутін
(Україна, Дніпропетровськ, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»)

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ШВИДКОСТІ МІНІМАЛЬНОЇ СКЛАДНОСТІ

Вступ. Межі допустимої сукупності пристроїв керування визначаються, з одного боку, конфігурацією максимальної складності, а з іншого – мінімальної. Для вибору найкращого пристрою виконується аналіз усіх можливих варіантів у визначених межах для чого синтезуються регулятори заданої складності та порівнюються їх показники якості, за якими необхідно вибрати оптимальне рішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для синтезу оптимального пристрою керування після визначення конфігурації максимальної складності слід розрахувати пристрій мінімальної складності [1]. Після цього вибирається пристрій заданої складності, який буде задовольняти висунутим показникам якості.

Мета роботи полягає в розробці оптимального пристрою керування мінімальної складності для визначення нижньої межі допустимої сукупності цих пристроїв.

Матеріали досліджень. Для синтезу оптимального регулятора швидкості будемо використовувати квадратичний інтегральний критерій якості шляхом порівняння дійсних та бажаних операторів [1]. Об'єктом керування електромеханічної системи є асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, передавальна функція якого з урахуванням прийнятих припущень має вигляд [2]

$$W_0(s) = \frac{1.5 p_{\text{пп}} k_2}{J k_c (Ts + 1)s};$$

де s – оператор Лапласа; $p_{\text{пп}}$ – число пар полюсів асинхронного двигуна; $k_2 = L_m / L_2$ – безрозмірний коефіцієнт; L_m – індуктивність контуру намагнічування; L_2 – повна індуктивність фази ротора; J – момент інерції двигуна; k_c – коефіцієнт датчика струму статора; T – стала часу кола статора.

Розрахунок пристрою мінімальної складності починають з вибору конфігурації структури пристрою, після чого визначаються параметри передавальної функції пристрою керування відносно зворотного зв'язку $A_2(s)$, що забезпечують стійкість системи. Якщо рішення не існує, то поступово підвищують складність передавальної функції $A_2(s)$, збільшуючи степінь чисельника або знаменника з урахуванням обмеження на реалізованість. У межах вибраної конфігурації пристрою керування за знайденою функцією $A_2(s)$ визначаються можливі варіанти побудови ланок коректування, після чого з мінімуму прийнятого функціоналу розраховують їх параметри.

Для визначення параметрів передатної функції пристрою керування відносно зворотного зв'язку $A_2(s)$ можна використати модифікований критерій Найквіста або Гурвіца. Для цього складають характеристичне рівняння замкненої системи

$$T(s) = P_0(s)G_2(s) + Q_0(s)V_2(s);$$

де

$$A_2(s) = \frac{V_2(s)}{G_2(s)}.$$

Для модифікованого критерію Найквіста необхідно скласти дробово-раціональну функцію, до складу якої входить поліном з від'ємними коренями $D(s)$, степінь якого дорівнює степеню характеристичного поліному $T(s)$, а коефіцієнти при старших степенях обох поліномів мають дорівнювати один одному:

$$\Pi(s) = \frac{T(s)}{D(s)} = 1 + \Phi(s).$$

Згідно з модифікованим критерієм Найквіста мінімум функціоналу I за параметрами поліномів $V_2(s), G_2(s)$ забезпечить стійкість системи:

$$I = \frac{1}{2\pi j}\int_{-j\infty}^{j\infty} |\Phi(s)|^2 ds \to \min.$$

Модифікований критерій Гурвіца характеризує близькість коефіцієнтів c_i та d_i поліномів $T(s)$ та $D(s)$ відповідно, згідно з яким мінімум неузгодженості між ними забезпечує стійкість системи:

$$I = \sum_{i=0}^{n} \rho_i |d_i - c_i|;$$

де ρ_i – вагові коефіцієнти.

Далі слід перейти до конструювання пристрою керування, виходячи з його конфігурації та структури передавальної функції відносно зворотного зв'язку $A_2(s)$. Можливі варіанти передавальних функцій ланок коректування вибираються так, щоб їх структури були узгоджені зі структурою $A_2(s)$, при цьому одна конфігурація пристрою керування та структура $A_2(s)$ утворюють сукупність можливих ланок коректування. Значення параметрів передавальних функцій ланок коректування визначають з мінімізації вибраних критеріїв якості, аналогічних до тих, що використовують при синтезі пристрою керування з максимальною складністю, при цьому передавальні функції системи відносно сигналу завдання та накладеної завади можна записати так

$$\hat{W}(s) = \frac{A_1(s)W_0(s)}{1 + A_2(s)W_0(s)};$$
$$\hat{H}(s) = \frac{A_2(s)W_0(s)}{1 + A_2(s)W_0(s)}.$$

Введення обмеження на астатизм системи передбачає наявність нульових полюсів передавальних функцій відносно прямого каналу та каналу зворотного зв'язку. Для забезпечення астатизму відносно завади $g_2(t)$ порядку a_2 необхідно, щоб передавальна функція $A_2(s)$ мала вигляд

$$A_2(s) = \frac{V_2(s)}{G_2(s)} = \frac{V_2(s)}{s^{a_2} G_2^*(s)},$$

тобто астатизм має місце при будь-яких $V_2(s)$ та $G_2^*(s)$ за умови, що поліном $V_2(s)$ не містить нульових коренів. Для забезпечення астатизму відносно сигналу завдання порядку a_1 передавальна функція $A_1(s)$ повинна мати вигляд

$$A_1(s) = \frac{V_1(s)}{G_1(s)} = \frac{V_1(s)}{s^{a_1} G_1^*(s)},$$

для чого необхідно, щоб виконувалося співвідношення

$$U_1(s) - \hat{W}(s) = \frac{C_1(s)}{D_1(s)} - \frac{V_1(s)G_2(s)Q_0(s)}{\big(G_2(s)P_0(s) + V_2(s)Q_0(s)\big)G_1(s)} =$$
$$= \frac{C_1(s)G_2(s)G_1(s)P_0(s) + \big(V_2(s)G_1(s)C_1(s) - V_1(s)G_2(s)D_1(s)\big)Q_0(s)}{\big(G_2(s)P_0(s) + V_2(s)Q_0(s)\big)G_1(s)D_1(s)} =$$
$$= s^{a_1} Q_1(s),$$

тобто за рахунок вибору параметрів поліномів $G_1(s), G_2(s), V_1(s), V_2(s)$ забезпечується наявність a_1 нульових коренів у поліномі

$$C_1(s)G_2(s)G_1(s)P_0(s) + \big(V_2(s)G_1(s)C_1(s) - V_1(s)G_2(s)D_1(s)\big)Q_0(s),$$

а корені знаменника мають бути від'ємними.

Конструювання пристроїв керування заданої складності виконується за допомогою того ж методу, що використовується для конструювання пристрою мінімальної складності, при цьому є повна впевне-

ність в тому, що таке рішення існує. На початку синтезу слід задати структуру пристрою керування за умови, що його складність має бути вище мінімальної, але нижче максимальної. На наступному етапі визначають параметри передавальної функції $A_2(s)$, що забезпечує стійкість системи та заданий астатизм відносно завади $g_2(t)$. Розрахунок параметрів передавальних функцій ланок коректування виконується виходячи з мінімуму прийнятих оцінок якості.

Розрахунок пристрою керування мінімальної складності було виконано для асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором 4А90L2У3. Передавальна функція відносно зворотного зв'язку $A_2(s)$ для системи регулювання швидкістю, що забезпечить роботу системи з астатизмом першого порядку, має такий вигляд

$$A_2(s) = \frac{v_1 \cdot s + v_0}{g_0 \cdot s},$$

а характеристичне рівняння

$$T(s) = J \cdot k_c \cdot (T \cdot s + 1) \cdot s \cdot (b_0 s + 1) + 1.5 \cdot p_{\text{пп}} * k_2 \cdot a_0 = \\ = s^3 + \frac{1}{T} s^2 + \frac{1.5 \cdot p_{\text{пп}} * k_2 \cdot v_1}{J \cdot k_c \cdot g_0 \cdot T} s + \frac{1.5 \cdot p_{\text{пп}} * k_2 \cdot v_0}{J \cdot k_c \cdot g_0 \cdot T}.$$

Після підстановки числових значень отримуємо, що

$$T(s) = s^3 + 100 \cdot s^2 + 10280 \cdot \frac{v_1}{g_0} s + 10280 \cdot \frac{v_0}{g_0}.$$

Тоді критерій близькості коефіцієнтів c_i та d_i поліномів $T(s)$ та $D(s)$ запишеться як

$$I = \rho_2 |d_2 - 100| + \rho_1 \left| d_1 - 10280 \cdot \frac{v_1}{g_0} \right| + \rho_0 \left| d_0 - 10280 \cdot \frac{v_0}{g_0} \right|.$$

Коефіцієнти $v_0, v_1, g_0, d_0, d_1, d_2$ знаходимо з мінімуму I з урахуванням обмежень:

$$d_0 > 0, d_1 > 0, d_2 > 0, D_3 = \begin{vmatrix} d_2 & 1 & 0 \\ d_0 & d_1 & d_2 \\ 0 & 0 & d_0 \end{vmatrix} > 0{,}0001.$$

Після розв'язання задачі нелінійного програмування на мінімум I з обмеженнями у вигляді нерівностей отримали такі значення коефіцієнтів:

$$\begin{vmatrix} g_0 \\ v_0 \\ v_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1{,}533 \\ 9{,}509 \\ 0{,}512 \end{vmatrix}.$$

Під час синтезу ланок були прийняті наступні значення вагових коефіцієнтів, що входять до складу функціоналу оцінки якості системи:

$$\rho_0 = 10,$$
$$\rho_1 = 12530,$$
$$\rho_2 = 122 \cdot 10^8.$$

Для вибраної структурної схеми передавальні функції пристрою керування за прямим каналом та каналом зворотного зв'язку пов'язані з передавальними функціями корегувальних ланок співвідношеннями

$$A_1(s) = W_1(s);$$
$$A_2(s) = W_1(s) \cdot W_2(s).$$

При цьому можливо розглянути різні варіанти передавальних функцій ланок корегування пристрою керування мінімальної складності, які вибираються відповідно до структури передавальної функції пристрою керування за каналом зворотного зв'язку.

$$W_2(s) = \frac{b_1 \cdot s + b_0}{a_0 \cdot s}, \qquad W_1(s) = m_0;$$
$$W_2(s) = b_0, \qquad W_1(s) = \frac{m_1 \cdot s + m_0}{n_0 \cdot s}.$$

Для виконання умови астатизму системи першого порядку вибрано другий варіант, тоді передавальні функції ланок корегування у прямому каналі $W_1(s)$ та каналі зворотного зв'язку $W_2(s)$ будуть мати такий вигляд

$$W_1(s) = \frac{16{,}0643s + 298.5951}{1.5329s};$$
$$W_2(s) = 0{,}0318.$$

Графіки перехідних процесів (рисунок) пуску та накидання навантаження підтверджують правильність синтезу пристрою керування: швидкість усталеного режиму роботи відповідає сигналу завдання, система стійка, астатична до прикладеного номінального навантаження.

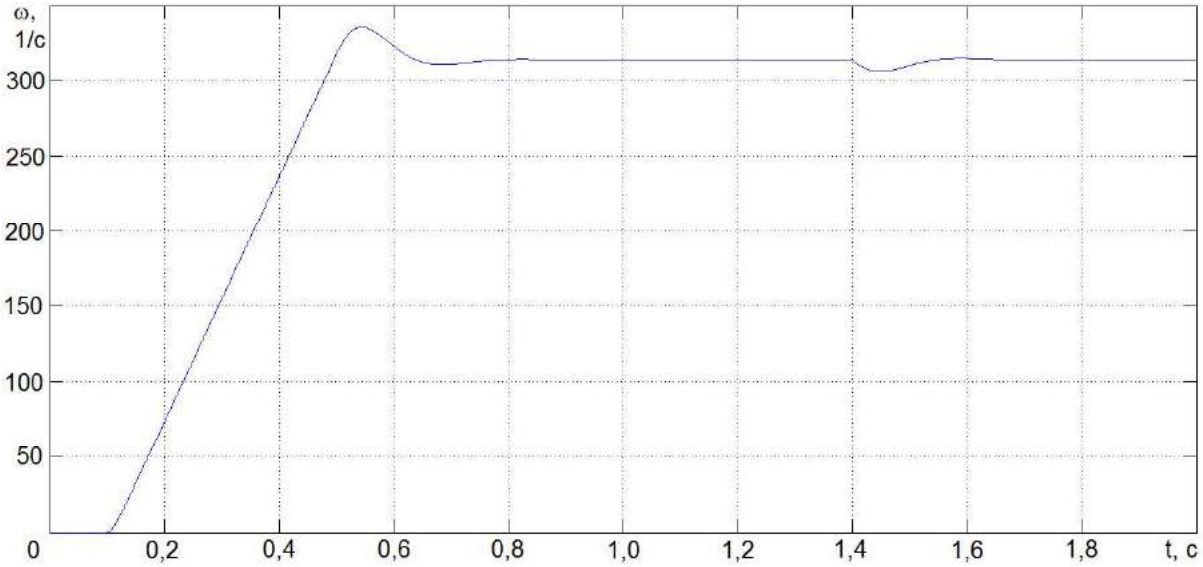

Рис 1. Графік перехідного процесу пуску синтезованої електромеханічної системи

Висновки.

Отримані структура та параметри оптимального пристрою керування мінімальної складності швидкістю асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором визначають нижню межу допустимої сукупності оптимальних пристроїв для подальшого багатокритеріального конструювання системи керування електромеханічної системи.

Список літератури

1. Зотов, М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления [Текст] / М.Г. Зотов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375 с.
2. Bose, Bimal K. (2001), *"Modern power electronics and AC drives"*, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River

Рекомендовано до друку: проф. Бештою О.С.