

УДК 681.518.54:62-8

Б.І. ПРИЙМАК, М.Я. ОСТРОВЕРХОВ

## ОПТИМІЗАЦІЯ НА ОСНОВІ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ

**Анотація.** Здійснена оптимізація електромеханічної системи автоматичного регулювання швидкості з підпорядкованою структурою шляхом використання генетичного алгоритму. У підсумку істотно поліпшено динамічні показники системи при компенсуванні змін навантаження двигуна. Також досягнуто покращення енергетичних характеристик системи.

**Ключові слова:** електромеханічна система, підпорядкована структура, регулятор, генетична оптимізація, якість керування.

### ВСТУП

Електромеханічні системи автоматичного регулювання (САР) швидкості зазвичай будуються за принципом підпорядкованого керування з пропорційно-інтегральними (ПІ) регуляторами струму та швидкості, що налаштовані відповідно на модульний оптимум (МО) та симетричний оптимум (СО) [1]. Проте ці стандартні налаштування регуляторів не завжди забезпечують потрібну якість керування, особливо у високоточних системах стабілізації швидкості, що працюють в умовах різких та значних змін навантаження двигуна. Одним із шляхів поліпшення якості роботи таких систем може бути налаштування її регуляторів шляхом параметричної оптимізації за допомогою апарату генетичних алгоритмів (ГА) [2,3], чому присвячена ця стаття.

**Мета дослідження** – оптимізація показників якості електромеханічної САР швидкості підпорядкованої структури при компенсуванні стрибкоподібних змін моменту навантаження двигуна за допомогою ГА.

### ГЕНЕТИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ САР ШВИДКОСТІ

Схема САР швидкості підпорядкованої структури на основі двигуна постійного струму з незалежним збудженням представлена на рис.1, де  $\omega$  – кутова швидкість двигуна;  $\omega^*$  – завдання швидкості;  $\varepsilon$  – помилка системи;  $u$  – сигнал керування;  $I$  – струм якоря двигуна;  $M_H$  – момент навантаження двигуна (збурення САР);  $J$  – сумарний момент інерції;  $C\Phi$  – коефіцієнт пропорційності;  $k_i, k_\omega$  – коефіцієнти передачі давачів струму та швидкості відповідно.

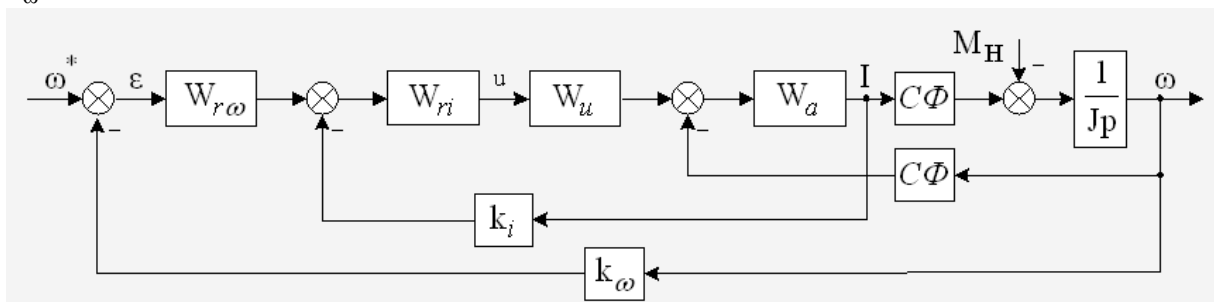


Рис.1.Схема САР швидкості підпорядкування структури

На структурній схемі ряд ланок описано передатними функціями (ПФ), де  $W_a(p) = R_a^{-1} / (T_a p + 1)$ ,  $W_u(p) = K_u / (T_u p + 1)$  – ПФ якорного кола двигуна та силового перетворювача напруги відповідно;  $W_{ri}(p) = K_{pi} p + K_{ii} / p$ ,  $W_{r\omega}(p) = (K_{p\omega} p + K_{i\omega}) / p$  – ПФ

регуляторів струму та швидкості. Параметри цих ПФ є наступними:  $R_a, T_a$  – активний опір та стала часу якірного кола двигуна;  $K_u, T_u$  – коефіцієнт передачі та стала часу силового перетворювача напруги;  $K_{pi}, K_{ii}, K_{p\omega}, K_{i\omega}$  – коефіцієнти пропорційної та інтегральної компонент регуляторів струму та швидкості відповідно.

При застосуванні ГА були задані наступні опції: розмір популяції – 20 особин; максимальна кількість генерацій (поколінь) – 30; точність оптимізації –  $10^{-8}$ . Перед оптимізацією налаштування САР було стандартним – регулятор струму був налаштований на МО, а регулятор швидкості – на СО. Параметри оптимізації склали вектор  $P = [K_{p\omega}, K_{i\omega}, K_{pi}, K_{ii}]^T$ . У процесі роботи ГА здійснив налаштування обох П-регуляторів системи за критерієм мінімізації цільової функції  $\mathfrak{J} \Rightarrow \min$ , що враховує точність керування та енергетичні затрати на нього у вигляді

$$\mathfrak{J} = \int_0^{T_0} (\lambda \varepsilon^2 + \gamma u^2) dt, \quad (1)$$

де  $\lambda, \gamma$  – вагові коефіцієнти;  $T_0$  – період оптимізації.

Розрахунки у статті виконано для двигуна із наступними номінальними даними: потужність – 10 кВт; частота обертання – 500 об/хв; момент на валу – 191 Н·м; струм якоря – 52 А; напруга якоря – 220 В; момент інерції  $J = 2,21 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ; стала часу  $T_u = 0,001 \text{ с}$ .

Для визначення якості САР шляхом моделювання були отримані реакції системи на накид момента навантаження двигуна від 0 до 50 Н·м без врахування обмежень координат та керування. На рис. 2, 3 представлені перехідні процеси струму якоря та швидкості двигуна (індекси "s" та "o" означають стандартну та оптимізовану САР відповідно).

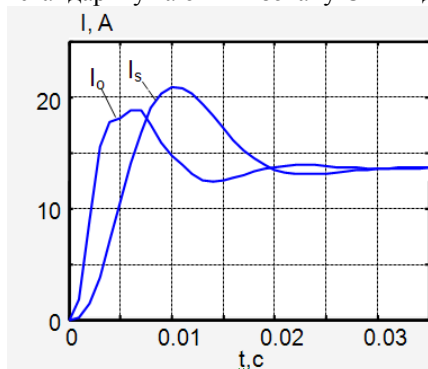


Рис. 2. Перехідні процеси струму якоря

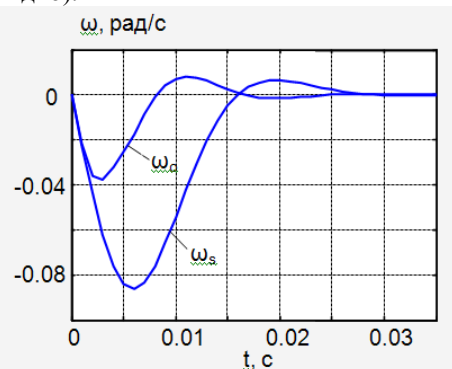


Рис. 3. Перехідні процеси швидкості

Як видно з рис. 2, в оптимізованій системі струм якоря  $I_o$ , а значить і пропорційний йому електромагнітний момент двигуна, зростає значно швидше у порівнянні зі струмом  $I_s$ . Це засвідчує більш швидку реакцію системи на збурення.

Аналізуючи рис. 3 можна зазначити, що максимальне динамічне відхилення швидкості при стрибкоподібному накиді моменту навантаження для стандартно налаштованої САР дорівнює  $\Delta\omega_s = 0,0863 \text{ рад/с}$ , а для оптимізованої –  $\Delta\omega_o = 0,0382 \text{ рад/с}$ . При цьому час компенсування системою збурення, що визначається моментом часу входження кривої швидкості у зону  $\pm 5\%$  від максимального динамічного відхилення, для першої САР складає  $t_s = 0,023 \text{ с}$ , а для другої –  $t_o = 0,0153 \text{ с}$ . Отже видно, що в оптимізованій САР досягнуто істотне поліпшення динамічних показників компенсування змін моменту навантаження двигуна, зокрема, максимальне динамічне відхилення швидкості зменшилося в  $\Delta\omega_s / \Delta\omega_o = 2,25$  рази, а час компенсування збурення – в  $t_s / t_o = 1,5$  рази.

Рис. 2 дозволяє зауважити ще одну важливу обставину. Якщо порівняти амплітудні значення струму та тривалості перехідного процесу, то неважко побачити, що в оптимізованій системі ці величини менші. Це свідчить про зменшення пропорційних  $I^2$  втрат потужності в якорі двигуна під час перехідних

процесів. Було проведено дослідження енергетичних властивостей електромеханічної системи. Результати показали (рис. 4), що при компенсуванні періодичного навантаження прямокутної форми, яке змінювалося від 0,03 до 0,5 номіналу з частотою 7,5 Гц, енерговитрати  $Q$  в якорі двигуна оптимізованої САР зменшилися на 6,5 % у порівнянні з такими для стандартно налаштованої системи.

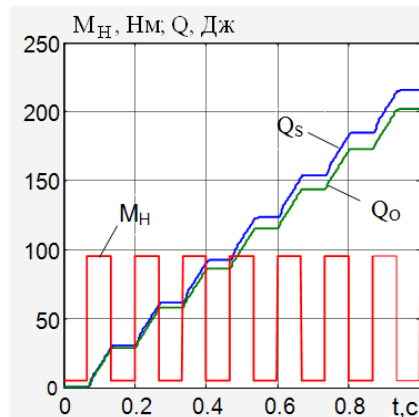


Рис. 4. Втрати енергії в якорі двигуна

Важливими показниками замкнутих САР, що характеризують рівень її параметричної робастності, являються запаси стійкості за модулем та за фазою. При стандартно налаштованих регуляторах САР у контурі швидкості запас стійкості за модулем дорівнює  $\Delta L_s = 9,55$  дБ, а за фазою –  $\Delta \varphi_s = 32,8^\circ$ . В оптимізованій САР ці запаси стійкості складають  $\Delta L_o = 7,75$  дБ,  $\Delta \varphi_o = 38,9^\circ$ . Як видно, у процесі оптимізації запаси стійкості змінилися різноспрямовано – запас за модулем дещо зменшився, а запас за фазою дещо збільшився. Проте отримане значення  $\Delta L_o$  можна вважати цілком прийнятним, оскільки воно перевищує рекомендований в теорії автоматичного керування мінімум – шість децибел.

## ВИСНОВКИ

В статті за допомогою ГА здійснено налаштування регуляторів САР швидкості підпорядкованої структури на базі двигуна постійного струму. Як наслідок, у порівнянні із стандартно налаштованою САР, істотно поліпшено динамічні показники системи при нахилі навантаження двигуна: максимальна динамічна помилка швидкості зменшилася в 2,25 рази, а час компенсування збурення – в 1,5 рази. Також покращено енергетичні характеристики електроприводу – при компенсуванні періодичного навантаження прямокутної форми енерговитрати в двигуні зменшилися на 6,5 %. При цьому умови стійкості оптимізованої САР відповідають рекомендованим значенням.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шенфельд Р. Автоматизированные электроприводы / Р. Шенфельд, Э. Хабигер.; пер. с нем.–Л.: Энергоатомиздат, Лен. отд.-ние, 1985.–464 с.
2. Man K. F. Genetic algorithms: concepts and applications / K. F. Man, K. S.Tang, S. Kwon // IEEE Trans. Ind. Elec., Vol.43, No.5, 1996. – P. 519-534.
3. Гладков Л. А. Генетические алгоритмы : уч. пособ. для студ. высш. уч. завед. / Л. А. Гладков., В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. – М.: Физматлит, 2006. – 320 с.

Надійшла до редакції 13.11.2013р.

**ПРИЙМАК БОГДАН ІВАНОВИЧ** – к.т.н., доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», тел.: (044)-4068356, E-mail: [bp-08@ukr.net](mailto:bp-08@ukr.net)

**ОСТРОВЕРХОВ МИКОЛА ЯКОВИЧ** – д.т.н., доцент, професор кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», тел.: (044)-4068356, E-mail: [ostroverkhov@list.ru](mailto:ostroverkhov@list.ru).