

УДК 621.797:621.664

М.П. БУРИК, М.Я. ОСТРОВЕРХОВ (канд. техн. наук, доц.)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

burykM@ukr.net ostroverkhov@list.ru

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, СИНТЕЗОВАНОЇ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ ЗВОРОТНИХ ЗАДАЧ ДИНАМІКИ

Розглянуто задачу підвищення якості регулювання швидкості електропривода шляхом синтезу закону керування на основі концепції зворотних задач динаміки при мінімізації локальних функціоналів миттєвих значень енергій, що забезпечує слабку чутливість до параметричних та координатних збурень. Викладенні результати математичного моделювання, які ілюструють ефективність розробленого закону керування кутовою швидкістю та показують його перевагу в порівнянні з традиційними законами.

Ключові слова: система регулювання швидкості, концепція зворотних задач динаміки, мінімізація локальних функціоналів миттєвих значень енергій, закони керування.

Вступ. Сучасні електромеханічні системи керування за принципами побудови і дії регуляторів можна поділити на три відмінні структури, а саме: структури з порівнянням сигналів завдання на одному регуляторі, системи підпорядкованого регулювання та системи з паралельним вмиканням регуляторів. Найбільш поширеним принципом керування електромеханічними координатами електроприводів є принцип підпорядкованого регулювання. Його основні переваги полягають в простій реалізації обмеження регулюючих координат, отриманні високих динамічних характеристик електроприводів, простому налагодженні і експлуатації [1]. Проте передаточні функції регуляторів електропривода, що налаштовані на поширений модульний або симетричний оптимум, компенсують відповідні ланки об'єкта керування. У результаті для забезпечення заданої якості керування потрібно знати точні значення параметрів об'єкта, а при їхній зміні – застосовувати додаткові алгоритми ідентифікації або адаптації, що підвищує складність і громіздкість системи керування.

Аналіз попередніх досліджень. Вплив параметричних та координатних збурень на динамічні та статичні показники вимагає від системи керування слабкої чутливості. Вказані проблеми електропривода можна вирішити за допомогою наступних методів, а саме: релейні чи згладжені методи зі змінною структурою, з великими коефіцієнтами підсилення, комбіновані методи із спостерігачами невизначеності та методи на основі зворотних задач динаміки. Проте закони керування на основі концепції зворотних задач динаміки при мінімізації локальних функціоналів миттєвих значень енергій мають деякі особливості: при синтезі не використовується детальна математична модель, немає необхідності мати повну інформацію про параметри об'єкта керування, системи з представленою структурою володіють високою динамічною точністю та природними властивостями по відношенню до зміни параметрів та збурюючих факторів [2].

Мета роботи. Підвищення якості керування системи регулювання кутової швидкості електропривода в умовах параметричних збурень шляхом синтезу закону керування на основі концепції зворотних задач динаміки при мінімізації локальних функціоналів миттєвих значень енергій.

Матеріал і результати дослідження. Закони керування координатами підпорядкованої системи регулювання кутовою швидкістю двигуна постійного струму з незалежним збудженням створюються за традиційною методикою. В свою чергу закони керування на основі концепції зворотних задач динаміки синтезуються по класичним моделям в формі рівнянь Ньютонів, Лагранжа та Ейлера [3]. На рис. 1 зображено структурну схему електропривода з регулятором кутової швидкості запропонованої структури, отриманого в результаті синтезу.

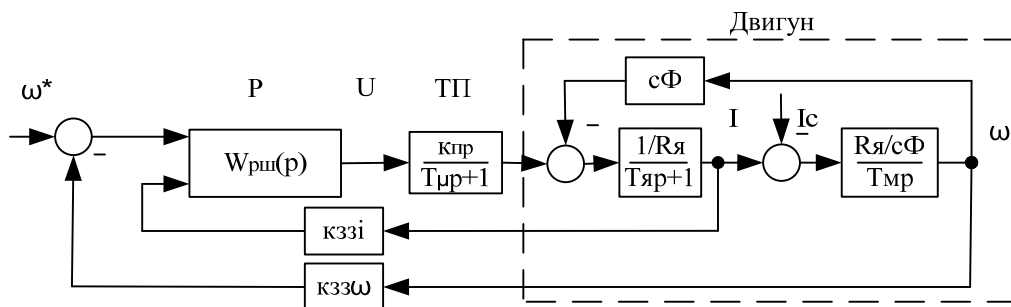


Рисунок 1 – Структурна схема електропривода з регулятором швидкості запропонованої структури

Двигун та силовий перетворювач, як об'єкт керування при пониженні розрахункового порядку в результаті малості добутку сталих часу, описується передаточною функцією другого порядку:

$$W_{o\omega}(p) = \frac{k_{np} / c\Phi}{(T_M)(T_\mu + T_J)p^2 + (T_\mu + T_M)p + 1} \quad (1)$$

де T_J – електромагнітна стала часу, T_M – електромеханічна стала часу; $c\Phi$ – коефіцієнт кола збудження двигуна, T_μ – стала часу силового перетворювача, k_{np} – коефіцієнт передачі силового перетворювача.

Для забезпечення контуру кутової швидкості астатизму другого порядку за керуючою дією диференціальне рівняння, яким задається бажана якість керування, вибирається також другого порядку:

$$\ddot{z} + \alpha_1 \dot{z} + \alpha_0 z = \beta_0 \omega^* + \beta_1 \dot{\omega}^* \quad (2)$$

де $\alpha_0, \alpha_1, \beta_0, \beta_1$ – коефіцієнти, якими задається тривалість та вид перехідного процесу, ω^* – задана кутова швидкість, z – вихідна координата при русі по заданій траєкторії ω^* .

Стійкість замкнутого контуру кутової швидкості відповідно до критерію Гурвиця забезпечується додатними коефіцієнтами рівняння $\alpha_0 > 0; \alpha_1 > 0$, а астатизм 2-го порядку – рівністю коефіцієнтів $\alpha_0 = \beta_0, \alpha_1 = \beta_1$. Ступінь наближення реального перехідного процесу швидкості до бажаного оцінюється функціоналом, який характеризує нормовану за моментом інерції енергію другої похідної кінетичної енергії:

$$G(u) = \frac{1}{2} [\ddot{z}(t) - \ddot{\omega}(t, u)]^2 \quad (3)$$

Мінімізація функціоналу здійснюється за градієнтною схемою першого порядку:

$$\frac{du(t)}{dt} = -\lambda_\omega \frac{dG(u)}{du} \quad (4)$$

де $\lambda_\omega > 0$ – константа.

В результаті мінімізації закон керування швидкістю приймає вигляд:

$$u(t) = k(\dot{z} - I), \quad \dot{z} = \alpha_0 \int (\omega^* - \omega) + \alpha_1 (\omega^* - \omega) \quad (5)$$

де k – коефіцієнт підсилення регулятора, I – струм якоря.

Дослідження представленої системи регулювання кутової швидкості проведено шляхом математичного моделювання. Двигун типу МІ-42 має наступні дані: $P_n = 1,1$ кВт, $\omega_n = 104,72$ рад/с, $U_n = 220$ В, $I_n = 6,3$ А – номінальна потужність, номінальна кутова швидкість ротора, номінальна напруга, номінальний струм якоря; $R_\alpha = 3,63$ Ом – опір якорного кола; $M_n = 11,9$ Нм – номінальний момент; $J = 0,065$ кг·м² – момент інерції; $c\Phi = 1,895$ Вс – коефіцієнт кола збудження двигуна. Силовий перетворювач характеризується коефіцієнтом передачі $k_{np} = 23$ та сталою часу $T_\mu = 0,01$ с.

Під час виконання дослідження використовувався стандартний тест, який включав відпрацювання лінійнонаростаючої траєкторії кутової швидкості з наступним накиданням ($t = 5$ с) та скиданням ($t = 8$ с) номінального навантаження. Тести проводилися для традиційної системи підпорядкованого регулювання швидкості та для запропонованої системи на основі концепції зворотних задач динаміки при мінімізації локальних функціоналів миттєвих значень енергій з метою порівняння їх динамічних показників.

Традиційні ПІ-регулятори струму та швидкості, що налаштовані на модульний і симетричний модуль відповідно, мають наступні параметри: пропорційна складова регулятора струму $k_{pi} = 0,105$; інтегральна складова регулятора струму $k_{ii} = 9,943$; пропорційна складова регулятора кутової швидкості $k_{no} = 7,127$; інтегральна складова регулятора кутової швидкості $k_{io} = 89,087$.

Параметри запропонованого регулятора кутової швидкості, які вибрано на основі фільтру Бесселя другого порядку, дорівнюють $\alpha_0 = 243, \alpha_1 = 27, k = 7$.

Показники якості керування кутовою швидкістю досліджуваних систем наведено в табл. 1, де позначено: ПІ – традиційний пропорційно-інтегральний регулятор; З – запропонований регулятор.

Таблиця 1 – Показники якості керування систем регулювання кутової швидкості

Параметри об'єкту керування	Тип регулятора	Час наростання t_n , с	Час регулювання при 2% t_p , с	Перерегулювання σ , %	При дії навантаження	
					час компенсування t_k , с	макс. відхилення кутової швидкості $\Delta\omega_{max}$, рад/с
Номінальні	ПІ	0,387	0,567	10,2	0,387	5,82
	З	0,32	0,376	2,37	0,204	2,19
Збурені	ПІ	0,952	1,741	9,06	0,951	7,18
	З	0,95	1,03	2,18	0,245	1,98

На рис. 2 представлено ліворуч графіки перехідних процесів струму, напруги, активної потужності та кутової швидкості запропонованої системи, а праворуч – традиційної системи. Суцільною лінією показано графіки перехідних процесів при номінальних параметрах об'єкту керування, а пунктирною лінією – при одночасній дії трьох параметричних збурень, а саме: при зменшеному у 1,5 рази коефіцієнті кола збудження двигуна, збільшеному удвоє активному електричному опорі кола якоря та моменту інерції електропривода.

Як видно з графіків на рис. 2 та з показників табл. 1, традиційна система керування більш чутлива до параметричних збурень.

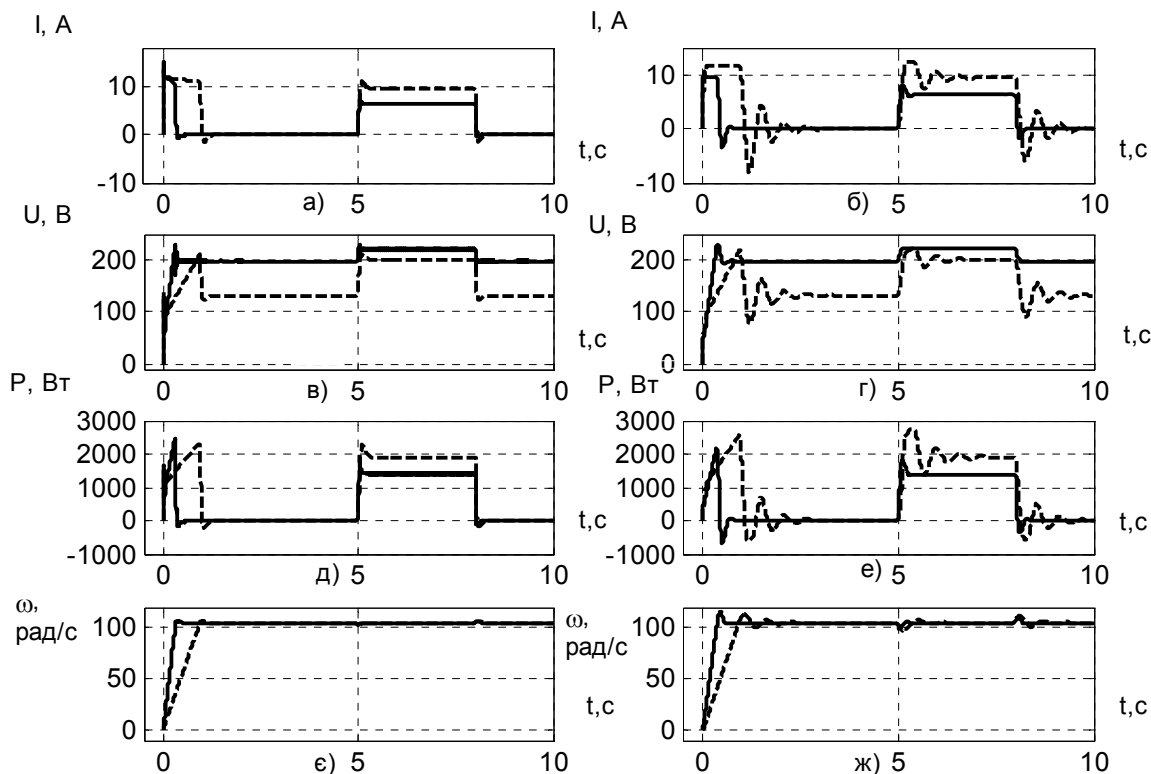


Рисунок 2 – Графіки перехідних процесів координат систем керування:
а), в), д), є) – запропонована система; б), в), г), ж) – традиційна система

Висновки. Запропонована система регулювання швидкості двигуна постійного струму з незалежним збудженням на основі концепції зворотних задач динаміки при мінімізації локальних функціоналів миттєвих значень енергії забезпечує високу якість керування в статичному режимі та під час перехідних процесів в умовах дії параметричних збурень без застосування додаткових алгоритмів адаптації, маючи при цьому задовільні енергетичні показники. Результати моделювання підтвердили ефективність розробленого закону керування та показали його переваги в порівнянні з традиційними законами керування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями / [О. В. Слежановский, Л. Х. Дацковский, И .С. Кузнецов и др.]; под. ред. Б.И.Моцохейн. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с., ил. – Библиогр.: с. 59 – 69.
2. Krut'ko P. D. Decomposing algorithms for robustly stable nonlinear multiply connected control systems: Theory and applied problems // Journal of Computer and Systems Sciences International. - 2005. - № 1., Т. 44. - PP. 1-26.
3. Островерхов Н. Я. Управление координатами электроприводов на основании концепции обратных задач динамики при минимизации локальных функционалов мгновенных значений энергий / Н. Я. Островерхов, Н.П. Бурик // Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – № 1. – С. 41-49.

REFERENCES

1. Slezhanovsky O.V., Datskovsky L. H., Kuznetsov I. S. *Sistemy podchinennogo regulirovaniya elektroprivodov peremennogo toka s ventil'nymi preobrazovatelyami* [System of slave regulation AC drives with thyristor converters]. Moscow: Energoatomizdat, 1983. 256 pp.
2. Krut'ko P. D. Decomposing algorithms for robustly stable nonlinear multiply connected control systems: Theory and applied problems // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2005. T. 44. № 1. PP. 1-26.

3. Ostroverkhov N., Buryk N. Control of coordinates electric drives based on the concept of inverse dynamics problems for minimization local functionals momentary values of energy // Electrotechnics and electroenergetics. - Zaporizhzhya: ZNTU 2011. - № 1. – PP. 41-49.

Надійшла до редакції 12.02.2013

Рецензент: О.І. Толочко

Н. П. БУРИК, Н. Я. ОСТРОВЕРХОВ

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"

Моделирование системы регулирования скорости, синтезированной на основе концепции обратных задач динамики. Рассмотрена задача повышения качества регулирования скорости электропривода путем синтеза закона управления на основе концепции обратных задач динамики при минимизации локальных функционалов мгновенных значений энергий. Представлены результаты математического моделирования, которые иллюстрируют эффективность разработанного закона управления угловой скоростью и показывают его преимущество в сравнении с традиционными законами.

Ключевые слова: система регулирования скорости, концепция обратных задач динамики, минимизация локальных функционалов мгновенных значений энергий, законы управления.

N. BURYK, N. OSTROVERKHOV

National Technical University of Ukraine "Kiev polytechnic institute"

Modeling of Speed Control System Synthesized on the Concept of Dynamics Inverse Problems. This paper deals with the problem of improving the quality of control coordinates of electric drives by synthesis algorithms based on the concept of inverse problems of dynamics in combination with minimization of local functionals characterizing the energy instantaneous values. The system of cascade speed control of the electromechanical coordinates of electric drives is most abundant principle control. However, the transfer functions of the electric regulators who are committed to a common module or symmetrical optimum compensate the appropriate links of control object. These problems of electric drive were solved using the control laws based on the concept of inverse problems of dynamics while minimizing local functionals instantaneous values of energies that have high dynamic accuracy and natural properties with respect to changes in parameters and disturbing factors. Research presented system of slave control angular speed carried by mathematical modeling. We used a standard test, which included testing of the trajectory angular speed ω_n (the task in the form of jump) followed imposition ($t = 5$ s) and reset ($t = 8$ s) rated load.

Key words: system speed control, concepts of inverse problems of dynamics, minimization of local functionals characterizing the energy instantaneous values, control laws.