

УДК62-83:62-50

**ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ З КОМБІНОВАНИМ КЕРУВАННЯМ ЗА ЗАДАВАЛЬНОЮ ДІЄЮ**

**Я. Ю. Марущак**

Бидгощський технологічно-природничий університет  
вул. Кордецького, 20, м. Бидгощ, 85225, Польща. E-mail: [yamaru@mail.ru](mailto:yamaru@mail.ru)

**В. І. Мороз**

Національний університет "Львівська політехніка"  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна. E-mail: [vmoroz@lp.edu.ua](mailto:vmoroz@lp.edu.ua)

**А. П. Кушнір**

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності  
вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79000, Україна. E-mail: [kushnir2004@mail.ru](mailto:kushnir2004@mail.ru)

Запропоновано структуру системи автоматичного керування з комбінованим керуванням без диференціальних ланок у цих каналах із забезпеченням астатизму системи. Розглянуто структурну схему системи з керуванням за неповним вектором стану за наявності ПІ-регулятора та комбінованому керуванні за задавальною дією, яка забезпечує поряд з астатизмом системи будь-яку стандартну форму перехідних функцій. Здійснено синтез такої електромеханічної системи.

**Ключові слова:** комбіноване керування, регулятор, астатизм.

**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С КОМБИНИРОВАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПО ЗАДАЮЩЕМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ**

**Я. Ю. Марущак**

Бидгощский технологическо-естественный университет  
ул. Кордецкого, 20, г. Бидгощ, 85225, Польша. E-mail: [yamaru@mail.ru](mailto:yamaru@mail.ru)

**В. И. Мороз**

Национальный университет "Львовская политехника"  
ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина. E-mail: [vmoroz@lp.edu.ua](mailto:vmoroz@lp.edu.ua)

**А. П. Кушнір**

Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности  
ул. Клепаровская, 35, г. Львов, 79000, Украина. E-mail: [kushnir2004@mail.ru](mailto:kushnir2004@mail.ru)

Предложена структура системы автоматического управления с комбинированным управлением без дифференциальных звеньев в этих каналах с обеспечением астатизма системы. Рассмотрена структурная схема системы с управлением за неполным вектором состояния при наличии ПИ-регулятора, которая обеспечивает вместе с астатизмом системы любую стандартную форму переходных функций. Осуществлен синтез такой электромеханической системы.

**Ключевые слова:** комбинированное управление, регулятор, астатизм.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Розглянемо випадок побудови системи при комбінованому керуванні за задавальною дією, коли, згідно з рекомендаціями структурного синтезу [1], передавальна функція регулятора  $W_R(p)$  має вигляд ПІ-регулятора з параметрами  $K_R$  та  $T_i$ . Сформулюємо вимоги до динамічних та статичних показників такої системи таким чином: динамічні показники синтезованої системи повинні відповідати будь-якій вибраній стандартній формі перехідних функцій без зниження запасу

стійкості, зокрема за амплітудою; система повинна бути астатичною до дії збурень у вигляді момента статичного навантаження.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Електромеханічна система (ЕМС) постійного струму з таким регулятором швидкості може бути зображена у вигляді структурної схеми, показаної на рис. 1. Тут же показано можливий канал комбінованого керування за збурення.

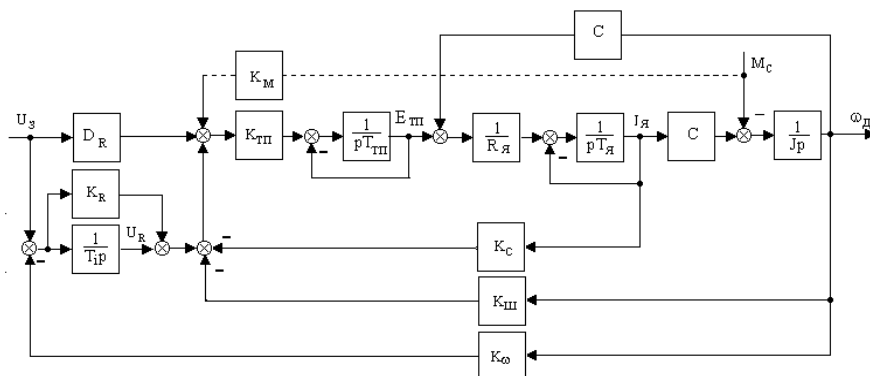


Рисунок 1 – Структурна схема ЕМС з ПІ-РШ

Передавальна функція системи відносно керуючого впливу після знаходження матрицевої передавальної функції набуде вигляду

$$W(p) = \frac{Kt_p C}{T_p T_{ya} J R_{ya}} \left[ \frac{1}{T_i} + p(D_R + K_R) \right] \frac{1}{\det[pE - A]}$$

Характеристичний поліном системи визначається як

$$H(p) = \det[pE - A] = p^4 + p^3 \left( \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_{ya}} \right) + p^2 \left( \frac{1}{T_p T_{ya}} + \frac{C^2}{T_{ya} J R_{ya}} + \frac{K_c K_{tp}}{T_p T_{ya} R_{ya}} \right) + p \left( \frac{CK_{tp}(K_\omega K_R + K_{sh})}{T_p T_{ya} R_{ya}} + \frac{C^2}{T_p T_{ya} J R_{ya}} \right) + \frac{K_{tp} K_\omega C}{T_p T_{ya} T_i J R_{ya}}$$

$$W(p) = \frac{1}{p^3 \left( p + \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_{ya}} \right) + \frac{p^2 \left[ \frac{1}{(T_p T_{ya})} + \frac{C^2}{T_{ya} J R_{ya}} + \frac{K_c K_{tp}}{(T_p T_{ya} R_{ya})} \right]}{\left[ \frac{1}{T_i} + p(D_R + K_R) \right] \chi_1} + \frac{p^2 \left[ \frac{1}{(T_p T_{ya})} + \frac{C^2}{T_{ya} J R_{ya}} + \frac{K_c K_{tp}}{(T_p T_{ya} R_{ya})} \right]}{\left[ \frac{1}{T_i} + p(D_R + K_R) \right] \chi} + \frac{p \left[ \frac{CK_{tp}(K_\omega K_R + K_{sh})}{T_p T_{ya} J R_{ya}} + \frac{C^2}{T_p T_{ya} J R_{ya}} \right]}{\left[ \frac{1}{T_i} + p(D_R + K_R) \right] \chi} + \frac{CK_{tp} K_\omega / T_p T_{ya} T_i J R_{ya}}{\left[ \frac{1}{T_i} + p(D_R + K_R) \right] \chi}$$

де  $\chi = \frac{K_{tp} C}{T_p T_{ya} J R_{ya}}$ .

Поставимо вимогу, щоб знаменник отриманого виразу  $W(p)$  (УХП) відповідав якійсь стандартній формі третього порядку. Прирівнюючи вирази при однакових ступенях  $p$  УХП і полінома, що відповідає стандартній формі із середньгеометричним коренем  $\omega_0$ , отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\omega_0^3 \left( p + \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_{ya}} \right)}{K_\omega \left[ \frac{1}{T_i} + p(D_R + K_R) \right] \chi} &= 1; \\ \frac{\omega_0^3 \left[ \frac{1}{T_p T_{ya}} + \frac{C^2}{T_{ya} J R_{ya}} + \frac{K_c K_{tp}}{(T_p T_{ya} R_{ya})} \right]}{K_\omega \left[ \frac{1}{T_i} + p(D_R + K_R) \right] \chi} &= \alpha_1 \omega_0; \\ \frac{\omega_0^3 \left[ \frac{CK_{tp}(K_\omega K_R + K_{sh})}{T_p T_{ya} J R_{ya}} + \frac{C^2}{T_p T_{ya} J R_{ya}} \right]}{K_\omega \left[ \frac{1}{T_i} + p(D_R + K_R) \right] \chi} &= \alpha_2 \omega_0^2; \\ \frac{\omega_0^3 CK_{tp} K_\omega}{T_p T_{ya} T_i J R_{ya}} \frac{1}{K_\omega \left[ \frac{1}{T_i} + p(D_R + K_R) \right] \chi} &= \omega_0^3. \end{aligned} \right\} (2)$$

З першого рівняння системи (2) знайдемо:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{T_i} &= \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_{ya}}; \\ K_R + D_R &= 1, \end{aligned} \right\} \text{ а тоді } K_\omega = \omega_0^3 T_p T_{ya} J R_{ya} / K_{tp} C.$$

Четверте рівняння системи рівнянь (2) перетворюється в тотожність, якщо  $(D_R + K_R) = 1 \ll (1/T_p + 1/T_{ya})$ . За цієї ж умови з решти рівнянь

$$H(p) = \det[pE - A] = p^4 + p^3 \left( \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_{ya}} \right) + p^2 \left( \frac{1}{T_p T_{ya}} + \frac{C^2}{T_{ya} J R_{ya}} + \frac{K_c K_{tp}}{T_p T_{ya} R_{ya}} \right) + p \left( \frac{CK_{tp}(K_\omega K_R + K_{sh})}{T_p T_{ya} R_{ya}} + \frac{C^2}{T_p T_{ya} J R_{ya}} \right) + \frac{K_{tp} K_\omega C}{T_p T_{ya} T_i J R_{ya}}$$

Синтезуємо ЕМС методом узагальненого характеристичного полінома (УХП) [1]. Для цього надамо  $W(p)$  наступним чином:

системи (2) відповідно визначаємо  $K_c$  і  $K_{sh}$ .

$$K_c = \frac{T_p T_{ya} R_{ya}}{K_{tp}} \left[ \alpha_1 \omega_0 \left( \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_{ya}} \right) - \frac{1}{T_p T_{ya}} - \frac{C^2}{T_{ya} J R_{ya}} \right];$$

$$K_{sh} = \alpha_2 \omega_0^2 \left( \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_{ya}} \right) \frac{T_p T_{ya} J R_{ya}}{CK_{tp}} - \frac{C}{K_{tp}} - K_\omega K_R.$$

При створенні таких систем автоматичного керування значеннями  $K_R$  і  $D_R$  слід задаватися так, щоб  $K_R + D_R = 1$ . Для окремого випадку  $D_R=0$  і  $K_R=1$  впливає, що система з комбінованим керуванням вироджується в систему з керуванням за неповним вектором стану з ПІ-регулятором швидкості. Для ЕМС з параметрами: двигун П-32;  $P_n = 4,5$  квт;  $U_n = 220$  В;  $I_n = 24,3$  А;  $n_n = 1000$  об/хв;  $I_{ya} = 1$  Ом;  $T_p = 0,015$  с;  $T_{ya} = 0,034$  с;  $T_m = 0,174$  с;  $C = 0,608$  Вс;  $K_{tp} = 26$ ;  $K_\omega = 0,0320$  Вс було змодельовано перехідні процеси відповідно до стандартної біноміальної форми третього порядку ( $\alpha_1 = \alpha_2 = 3$ ), що показано на рис. 2.

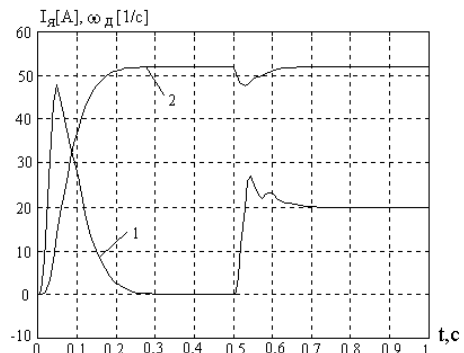


Рисунок 2 – Перехідні процеси в ЕМС, якщо  $\omega_0 = 50\text{с}^{-1}$

Змінюючи значення  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$ , у синтезованій ЕМС можна забезпечити будь-яку стандартну форму.

**ВИСНОВКИ.** Синтезовано ЕМС з комбінованим керуванням за задавальною дією для випадку використання ПІ-регулятора, яка забезпечує стандартні форми перехідних функцій швидкості двигуна і є астатичною відносно дії зовнішніх впливів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Марущак Я.Ю. Синтез електромеханічних систем з послідовним та паралельним корегуванням. – Львів: Видавництво «Львівської політехніки», 2005. – 208 с.

## REFERENCE COMBINED CONTROL ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

**Ya. Maruschak**

University of Technology and Life Sciences  
vul. Kordetskeho, 20, Bydgoszcz, 85225, Poland. E-mail: [yamaru@mail.ru](mailto:yamaru@mail.ru)

**V. Moroz**

National University "Lviv Polytechnic"  
vul. S. Bandery, 12, Lviv, 79013, Ukraine. E-mail: [vmoroz@lp.edu.ua](mailto:vmoroz@lp.edu.ua)

**A. Kushnir**

Lviv State University Life Safety  
vul. Kleparivska, 35, Lviv, 79000, Ukraine. E-mail: [kushnir2004@mail.ru](mailto:kushnir2004@mail.ru)

The structures of the combined automatic control without differential links in those channels provide the rejection of a step disturbance. The incomplete state vector driving structure in the presence of PI-controller and the combined management by reference provides the rejection of a step disturbance and any standard form of transition functions. The synthesis of an electromechanical system was proposed.

**Key words:** combined control, regulator, rejection of a step disturbance.

## REFERENCES

1. Marushchak Y.Y. *Synthesis of electromechanical systems with serial and parallel adjustment*. – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic University, 2005. – 208 p. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 20.07.2012.  
Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Родькіним Д.Й.