

УДК 621.313.292, 62-503.56

РЕЖИМИ РОБОТИ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ІЗ СЕЛЕКТИВНОЮ КОРЕКЦІЄЮ

Б. Я. Панченко, Л. Ф. Карплюк

Національний університет "Львівська політехніка"

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 76009, Україна. E-mail: slfkarpluk@lp.edu.ua

Проаналізовано роботу двоконтурної системи підпорядкованого керування з регулятором швидкості із селективною корекцією, яка забезпечує астатизм без перерегулювання швидкості. Для уникнення відхилення динамічних характеристик від статичних у режимах струмообмеження пропонується використовувати двократно інтегрований регулятор струму. Результати досліджень можуть бути використані при розробленні нових систем електроприводів.

Ключові слова: система електроприводу, селективний регулятор швидкості, двократно інтегрований регулятор струму.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С СЕЛЕКТИВНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ

Б. Я. Панченко, Л. Ф. Карплюк

Национальный университет "Львовская политехника"

ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, 76009, Украина. E-mail: slfkarpluk@lp.edu.ua

Проанализирована работа двуконтурной системы подчиненного регулирования с регулятором скорости с селективной коррекцией, обеспечивающей астатизм без перерегулирования скорости. Для обеспечения отсутствия расхождения динамических и статических характеристик в режимах токоограничения предлагается использовать двукратно интегрирующий регулятор тока. Результаты исследований могут быть использованы при разработке новых систем электроприводов.

Ключевые слова: система электропривода, селективный регулятор скорости, двукратно интегрирующий регулятор тока.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Механізми подачі верстатів вимагають високої швидкодії й точності регулювання вихідних координат у динамічних та ustalених режимах. Електроприводи повинні забезпечувати час відпрацювання керуючих дій за час $t_p \leq (0,05-0,1)$ с, а відновлення швидкості в режимах дії навантаження повинно відбуватися за час $t_v \leq (0,05-0,15)$ с [1]. Обмежується також значення перерегулювання вихідних координат $\sigma \% \leq (5-10) \%$, а коефіцієнт затухання повинен знаходитися в межах (3-5) [2]. Окрім цих вимог, системи керування повинні забезпечувати широкий діапазон регулювання швидкості, обмежувати вихідні координати допустимими значеннями й гарантувати запас стійкості в діапазоні можливих змін параметрів електроприводу й механізму.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. З метою забезпечення цих вимог сучасні системи будуються в основному за підпорядкованим принципом з'єднання контурів регулювання (СПР). Швидкодія електроприводів із СПР забезпечується компенсацією інерційності введенням форсуючих ланок у регулятори контурів регулювання, вибором швидкодійного перетворювача для живлення двигуна, який визначає некомпенсовану сталу часу системи (T_μ), і кількістю контурів регулювання. Інші показники, такі, як перерегулювання, запас стійкості, забезпечується відповідним вибором коефіцієнтів пропорційних та інтегруючих складових регуляторів. Для забезпечення жорсткості механічних характеристик $\omega(M)$ на відрізу стабілізації швидкості параметри контуру швидкості розраховують за „симетричним оптимумом” [3], який забезпечить астатизм регульованої координати. Цей спосіб відносно простий у налагодженні, але має суттєві недоліки: малий запас стійкості за кутом $\Delta\varphi \leq 37^\circ$, значне перерегулювання при відпрацюванні сигналу завдання й дії навантаження $\sigma_{ш} \% \geq 43 \%$, а затухання

перехідного процесу складає $t_{зап} \geq 0,2$ с.

Для покращення динамічних показників на базі СПР розроблено ряд пристроїв і систем. Так, у [4] пропонується система зі змінною структурою, селективним вибором налаштувань регулятора швидкості, яка реалізує позитивні якості налаштувань на „технічний” і „симетричний” оптимуми для забезпечення високої швидкодії в пуско-гальмівних режимах зі збереженням заданих показників якості та астатизму за дії навантаження й здійснює це з найменшою кількістю додаткових елементів, що не охоплено основними контурами регулювання. Остання вимога в значній мірі гарантує стабільність роботи системи електроприводу при дії зовнішніх і внутрішніх збурюючих і дестабілізуючих факторів. Що стосується режимів дії недетермінованих навантажень, то є необхідність дослідження їх впливу на роботу електроприводу. У таких системах завжди існує розбіжність між статичними і динамічними характеристиками. Ці розбіжності наближено можна охарактеризувати коефіцієнтом співвідношення динаміки зі статикою [5] $\chi = I_{дин} / I_{стат}$. Коефіцієнт χ в системах з контуром струму, налагодженим за умови технічної оптимізації, завжди менше одиниці і для більшості загальнопромислових механізмів знаходиться в межах $\chi = 0,55-0,9$ [6]. Значення χ залежить від співвідношення малої некомпенсованої сталої контуру струму T_μ і електромеханічної сталої $T_{ем}$ ($m = T_\mu / T_{ем}$). Виходячи з цього, двигун у пуско-гальмівних режимах буде недовикористаний на 10-45 %.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок про необхідність дослідження електроприводу із системою керування із селективною корекцією при дії недетермінованих навантажень.

Структурна схема електроприводу тиристорний перетворювач-двигун постійного струму (ТП-Д), керованого одним з варіантів схеми із селективною корекцією ССК, наведено на рис. 1.

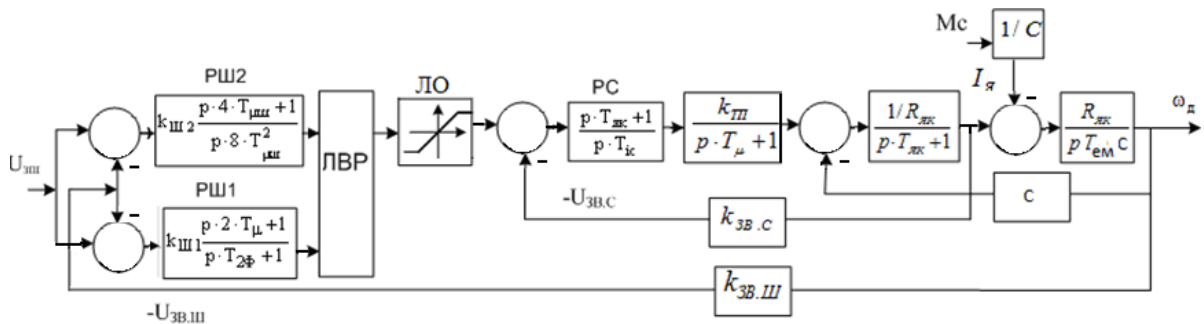


Рисунок 1 – Структурна схема електроприводу

Схема керування складається з двох контурів – контуру струму з регулятором струму РС і контуру швидкості. Контур струму, як правило, налагоджують за умови „технічної оптимізації”. Контур швидкості складається з двох підконтурів з регуляторами РШ1 і РШ2, які з’єднані паралельно. На входи регуляторів РШ1 і РШ2 подаються однакові сигнали завдання $U_{шп}$ і зворотного зв’язку за швидкістю $U_{зв.шп}$. Вихідні сигнали регуляторів поступають на вхід ланки вибору режимів системи (ЛВР), яка визначає максимальний за модулем сигнал і передає йому функцію керування електроприводом. Завдяки ЛВР, у кожен відрізок часу працює лише один з регуляторів швидкості. Параметри регуляторів контурів регулювання здійснено за відомими методами розрахунку параметрів систем підпорядкованого регулювання [3]. Так, параметри регулятора струму РС визначено за умови «технічної оптимізації», що зумовлює вибір ПІ-регулятора. Регулятор компенсує інерційність якірного кола, яка визначається сталою $T_{як}$ і забезпечує швидкодію некомпенсованої сталої часу T_{μ} . У такому випадку стала часу інтегральної складової регулятора визначається як $T_{іс} = a_c T_{\mu} k_{\beta} k_{\epsilon} k_{\epsilon\beta} / R_{\beta\epsilon}$, де a_c – коефіцієнт оптимізації; k_{β} – передавальний коефіцієнт керуваного перетворювача; k_{ϵ} – передавальний коефіцієнт давача струму.

Параметри регулятора швидкості РШ1 визначено теж за умови «технічної оптимізації». Наявність форсуючої ланки в передавальній функції регулятора дозволяє компенсувати не тільки електромеханічну сталу T_m , але й інерційність контуру струму $1/(pT_{\mu} + 1)$ заміною її на сталу $T_{2\phi}$. У такому випадку коефіцієнт передачі регулятора $k_{ш1} = T_{ем} c k_{зв.с} / (a_{ш} T_{шп} k_{зв.шп} R_{як})$, де $T_{шп} = 4T_{\mu} + T_{2\phi}$ – некомпенсована стала підконтуру швидкості з регулятором РШ1. Відмітимо, що значення $T_{2\phi}$ приймається в межах $T_{2\phi} \geq (0,2-0,5) T_{\mu}$.

Параметри ПІ-регулятора швидкості РШ2 визначено з умови «симетричного оптимуму». Регулятор здійснює компенсацію електромеханічної сталої часу $T_{ем}$ і забезпечує астатизм системи. У цьому випадку коефіцієнт передачі регулятора РШ2 визначається як $k_{ш2} = T_{ем} c k_{зв.с} / (k_{зв.шп} R_{як})$.

З метою вивчення роботи запропонованої системи регулювання із заданими показниками в динамічних і усталених режимах приведено математичне моделювання системи електроприводу з такими параметрами: двигун: $\omega_n = 100$ 1/с, $U_n = 220$ В, $I_n = 100$ А, $R_{як} = 0.2$ Ом, $C = 2.0$ В·с; сталі часу і кое-

фіцієнти підсилення силової частини $T_{ем} = 0,2$ с, $T_{як} = 0,05$ с, $T_{\mu} = 0,01$ с, $k_n = 20$ В/В; коефіцієнти зворотних зв’язків: за струмом $k_{зв.с} = 0,1$ В/А, за швидкістю – $k_{зв.шп} = 0,1$ В·с.

Результати моделювання досліджуваної системи електроприводу зображено на рис. 2,а. Перехідні процеси швидкості $\omega_d(t)$ і струму $I_a(t)$ знімалися в режимі розгону за дії активного навантаження M_c .

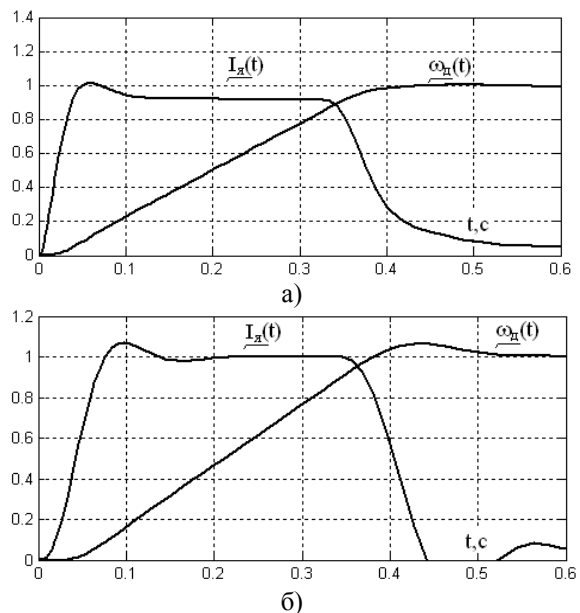


Рисунок 2 – Перехідні процеси в електроприводі

Аналіз осцилограм показав, що така система забезпечує високу швидкодію, перерегулювання регульованої координати швидкості $\sigma_{ш} \% \leq 8$ %. Проте дія внутрішнього зворотного зв’язку за ЕРС двигуна, як це видно з рис. 2,а, призводить до зменшення струму під час перехідних процесів порівняно із запроєктованим значенням і, відповідно, до збільшення часу розгону електроприводу. Уникнути цього можна, якщо застосувати двократно інтегрований регулятор струму [6], схему якого приведено на рис. 3. Як видно з рис. 3, регулятор струму РС доповнено ще однією інтегральною ланкою.

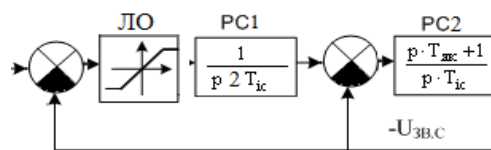


Рисунок 3 – Структурна схема регулятора струму

У такому випадку струм якоря в операторній формі визначатиметься за рівнянням [7]:

$$I_{я}(pp) = \frac{1/k_{зв.с}}{D_1(p) + D_2(p)} \left[U_{зс}(pp) + D_2(p) \frac{k_{зв.с}}{c} M_c(pp) \right], \quad (1)$$

де $D_1(p) = p4T_{\mu}[p2T_{\mu}(pT_{\mu}+1)+1]+1i$;

$$D_2(p) = \frac{p8T_{\mu}^2(pT_{\mu}+1)}{T_{\mu}(pT_{\mu}+1)}$$

– складові, які визначають якість процесів в електроприводі, відповідно, без та з урахуванням дії внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС двигуна. Як видно з рис. 3, система електроприводу з таким регулятором забезпечує астатичний характер струму під час розгону, але слід відмітити й дещо більше, до 10 %, його перерегулювання.

ВИСНОВКИ. 1. Система електроприводу з двома підконтурними швидкості здатна забезпечувати високу швидкодію, відсутність перерегулювання координат.

2. Система проста в налагодженні й не вимагає спеціальних методів розрахунку, окрім традиційних, для систем підпорядкованого регулювання.

3. Застосування подвійно інтегрованого регулятора швидкості дозволяє уникнути відхилення стопного струму від запроєктованого значення в динамічних режимах роботи електроприводу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шапарев Н.К. Автоматизация типовых технологических процессов металлообработки. Расчет и проектирование. – К.: – Одеса: Вища школа. – 1984. – 312 с.
2. Теория автоматического управления. Ч. 1. Теория линейных систем автоматического управления / Под ред. Воронова А.А. – М.: Высшая школа. – 1986. – 367 с.
3. Лебедев Е.Д., Неймарк В.Е., Пистрак М.Я., Слежановский О.В. Управление вентилями электроприводами постоянного тока. – М. Энергия, – 1970.
4. Лозинський О.Ю., Панченко Б.Я., Карплюк Л.Ф. Система підпорядкованого керування з селективною корекцією // Вісник НТУ "ХПІ". – 2010. – № 30. – С. 518–519.
5. Вуль Ю.Я., Ключев В.И., Сedaков Л.В. Настройка электроприводов экскаваторов. – М.: Недра, 1975. – 312 с.
6. Ключев В.И. Ограничение динамических нагрузок электропривода. – М.: Энергия, 1971. – 320 с.
7. Панченко Б.Я., Кузнецов В.И., Цяпа В.Б. Формирование механических характеристик электроприводов с системами двократного интегрирования в контуре струму // Автоматизация производственных процессов. – 1992. – № 30. – С. 26–31.

OPERATING MODES OF SLAVE CONTROL SYSTEM WITH SELECTIVE CORRECTIONS

B. Panchenko, L. Karplyuk

National University "Lviv Polytechnic"

vul. S. Bandery, 12, Lviv, 76009, Ukraine. E-mail: slfkarpluk@lp.edu.ua

Analyzed the work of control system with speed control and selective correction loops, providing astatic characteristic without overshoot speed. Proposed to avoid deviation between dynamic and static characteristics in current limit mode. Suggested to use double integrated current regulator. The results of research can be used for development of new electric drive systems.

Key words: electric, selective speed control, double integrating current regulator.

REFERENCES:

1. Shaparev N. *Automation of standard technological processes of metal. The calculation and design.* – K.: – Odessa, Vishaya shkola, 1984. – 312 p. [in Russian].
2. *Theory automatic control. Part 1. The theory of linear control systems* / ed. by Voronov A.A. – M.: Vishchaya shkola, 1986. – 367 p. [in Russian].
3. Lebedev E.D., Neimark V., Pistrak M.J., Slezhanovsky O. *Control of the DC electric drive.* – M.: Energiya, – 1970. [in Russian].
4. Lozinsky O.Y., Panchenko B.Y., Karplyuk L.F. Control system with selective correction // *Bulletin of National Technical University "KhPI."* – 2010. – № 30. – PP. 518–519. [in Ukrainian]
5. Vul Y., Klyuchev V., Sedakov L. *Adjustment of electric excavators.* – M.: Nedra, 1975. – 312 p. [in Russian]
6. Klyuchev V.I. *Limiting the dynamic heating-electric drive.* – M.: Energiya, 1971. – 320 p. [in Russian]
7. Panchenko Y.B., Kuznetsov V.I., Tsyapa V.B. Formation of the mechanical characteristics of the electric systems of double integration in loop current // *Automation of production processes.* – 1992. – № 30. – PP. 26–31. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 17.07.2012.

Рекомендовано до друку
к.т.н., доц. Кореньковою Т.В.