

УДК 621.313.292, 62-503.56

**Б.Я. Панченко, Л.Ф. Карплюк**, кандидати техн. наук,  
**А.Г. Філевич, С.А.Пилипів**

### СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВИКОНАВЧОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

*Анотація.* Проаналізовано роботу триконтурної системи підпорядкованого керування з регулятором швидкості з селективною корекцією, що забезпечує астатизм без перерегулювання швидкості без задавача інтенсивності. Результати досліджень можуть бути використані при розробленні нових систем електроприводів.

**Б.Я.Панченко, Л.Ф.Карплюк**, кандидаты техн. наук  
**А.Г. Филевич, С.А.Филиппов**

### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

*Аннотация.* Проанализирована работа трехконтурной системы подчиненного регулирования с регулятором с селективной коррекцией, обеспечивающей астатизм без перерегулирования скорости без задатчика интенсивности. Результаты исследований могут быть использованы при разработке новых систем электроприводов.

**Panchenko B.J., PhD, Karpljuk L.F. PhD**  
**A.G. Filevich, S.A. Filippov**

### CONTROL EXECUTIVE ELECTRIC DRIVE

*Abstract.* The work of three circuits of the slave control with the regulator to selectively adjusted, providing astatism without overshoot set point speed without intensity was analyzed. Method of tuning speed feedback adjusting was developed. The result can be used for the designing new systems of electric drives.

**Суть проблеми.** Завдання виконавчого електроприводу з високою швидкістю здійснювати кутові або лінійні переміщення, точно відпрацювати задані траєкторії зміни швидкості. Це вимагає від систем електроприводів високої швидкодії і точності регулювання вихідних координат в динамічних та усталених режимах. Так, електроприводи механізмів подачі верстатів з ЧПК повинні забезпечувати пуск, гальмування і перехід з однієї швидкості на іншу 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 [3]. Обмежується також значення перерегулювання вихідних координат  $\sigma\% \leq (5-10)\%$ . Окрім цих вимог, системи керування повинні забезпечувати широкий діапазон регулювання швидкості, обмежувати вихідні координати допустимими значеннями і гарантувати запас стійкості в діапазоні можливих змін параметрів електроприводу і механізму.

**Аналіз останніх досліджень.** Для забезпечення цих вимог сучасні системи виконавчих механізмів будуються в основному за підпорядкованим принципом з'єднання контурів регулювання (СПР) [2,4]. Швидкодія електроприводів з СПР забезпечується компенсацією інерційності введенням форсуючих ланок в регулятори контурів регулювання, вибором швидкодійного перетворювача для живлення двигуна, який визначає некомпенсовану сталу часу системи ( $T_u$ ) і кількістю контурів регулювання. Такі показники, як перерегулювання, запас стійкості, забезпечується відповідним вибором коефіцієнтів пропорційних та інтегруючих складових регуляторів. Виходячи з необхідності регулювання трьох координат, на практиці використовують в основному триконтурні СПР з контурами струму або моменту, швидкості і положення.

Ураховуючи, що швидкодія системи залежить від кількості контурів,

© Панченко Б.Я., Карплюк Л.Ф., Філевич А.Г.,  
Пилипів С.А., 2011

часто уникають внутрішнього контуру регулювання струму або моменту, використовуючи двигуни з великою переважувальною здатністю та м'якою механічною характеристикою. Для забезпечення жорсткості механічних характеристик  $\omega(M)$  на відріжку стабілізації швидкості параметри контуру швидкості розраховують за „симетричним оптимумом” [2], який забезпечить астатизм регульованої координати. Цей спосіб відносно простий в налагодженні, але має суттєві недоліки: малий запас стійкості за кутом  $\Delta\varphi \leq 37^\circ$ , значне перерегулювання при відпрацюванні сигналу завдання і дії навантаження  $\sigma_{ш}\% \geq 43\%$ , а затухання перехідного процесу складає  $t_{за} \geq 0,2$  с. Для зменшення перерегулювання швидкості в пуско-гальмівних процесах завдання на вхід регулятора швидкості РШ подають через аперіодичну ланку [2]. Це дозволяє зменшити перерегулювання швидкості  $\sigma_{ш}\%$ , але обмежує швидкодію системи і, більш того, не покращує динамічні властивості системи електроприводу при дії навантаження. Для збільшення швидкодії можна застосовувати комбіновані системи з додатковими каналами [4]. Оскільки параметри регуляторів цих каналів вибираються за умови інваріантності вихідних координат до зовнішніх збурень, то реалізація регуляторів здійснюється за допомогою диференціюючих ланок. Наявність цих ланок ускладнює реалізацію комбінованих систем, зменшує їх завадостійкість, вони є критичними до налаштувань, їх позитивні якості можуть бути реалізовані лише за точного налагодження, тим більше, що регулятори знаходяться поза зоною дії зворотних зв'язків, які не в змозі компенсувати варіації їх параметрів. В роботі [1] пропонується система регулювання з РШ з селективною корекцією, яка реалізує позитивні властивості існуючих систем і одночасно дозволяє збільшити швидкодію, зменшити перерегулювання, забезпечити астатизм системи при дії навантаження та інших збурюючих факторів,

**Задачею даної роботи** є дослідження можливості використання запропонованого підходу до реалізації в системах з зовнішнім контуром положення.

**Виклад основного матеріалу.** В цій роботі пропонується для розгляду система електроприводу, яка побудована на основі класичної СПР і використовує регулятори зі стандартними передавальними функціями. Функціональна схема електроприводу тиристор-

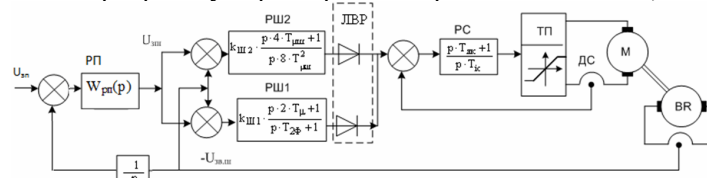
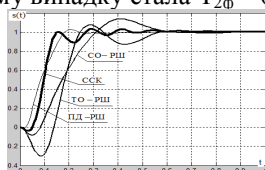


Рис.1. Функціональна схема електроприводу

води регуляторів РШ1 і РШ2 подаються однакові сигнали завдання  $U_{зп}$  і зворотного зв'язку за швидкістю  $U_{зв.ш}$ . Вихідні сигнали регуляторів поступають на вхід блоку вибору режимів системи (ЛВР), який визначає максимальний за модулем сигнал і передає йому функцію керування електроприводом. Завдяки ЛВР в кожен відрізок часу працює лише один з регуляторів швидкості. Контур регулювання положення (РП) пропорційний, зворотний зв'язок за положенням в нашому випадку отримуємо інтегруванням сигналу швидкості. Вибір параметрів регуляторів контурів регулювання здійснено за відомими методами розрахунку параметрів систем підпорядкованого регулювання [3]. Так, параметри регулятора струму РС визначимо за умови «технічної оптимізації» (ТО), що зумовлює вибір ПІ регулятора. Параметри регулятора швидкості РШ1 визначаємо теж за умови «технічної оптимізації». Наявність форсуєної 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  $T_{2ф}$ . Параметри ПІ регулятора швидкості РШ2 визначаємо за умови «симетричного оптимуму» (СО). Параметри регулятора положення РП вибираємо з умови технічної оптимізації. Це пропорційний регулятор з коефіцієнтом підсилення рівним  $1/8T_{\mu}$ , з метою вивчення роботи запропонованої системи регулювання та її порівняння з системами з класично налаштованими регуляторами приведено математичне моделювання системи електроприводу з такими параметрами: двигун  $\omega_n = 100$  1/с,  $U_n = 220$  В,  $I_n = 100$  А,  $R_{жк} = 0,2$   $\Omega$ ,  $C = 2$  В·с; сталі часу і коефіцієнти підсилення силової частини  $T_{ем} = 0,2$  с,  $T_{жк} = 0,05$  с,  $T_{\mu} = 0,01$  с,  $k_{п} = 20$  В/В; коефіцієнти зворотних зв'язків: за струмом:  $k_{зв.с} = 0,1$  А/А, за швидкістю  $k_{зв.ш} = 0,1$  В/В; сталу часу  $T_{2ф}$  прийняли з умови, що максимальна допустима частота пропускання системи електроприводу не перевищує  $\omega_{зр.макс} \leq 200$  1/с, або  $f_{макс} \leq 33$  Гц.

В цьому випадку стала  $T_{2ф} = 0,005$  с.



Результати моделювання систем електроприводу приведені на рис.2.

Рис.2. Перехідні процеси в системі електроприводу

ний перетворювач – двигун постійного струму (ТПД), керований одним з варіантів запропонованої схеми з селективною корекцією ССК, приведена на рис.1. Схема керування складається з трьох контурів – контуру струму з регулятором струму РС, контуру швидкості РШ і контуру регулювання положення РП. Контур швидкості складається з двох підконтурів з регуляторами РШ1 і РШ2, які з'єднані паралельно. На

Процеси зміни положення  $s(t)$  знімалися в режимі відпрацювання сигналу завдання при дії активного навантаження  $M_c$  для систем з ПД –РШ, РШ налаштованим на ТО, СО та з ССК. При чому в перших двох випадках для забезпечення астатизму регулятор РП виконано інтегральним [4]. Аналіз осцилограм показав, що система позиційного регулювання з двома підконтурами швидкості здатна забезпечувати високу швидкодію, відсутність перерегулювання регульованої координати положення. Система проста в налагодженні і не вимагає спеціальних методів розрахунку окрім традиційних для систем підпорядкованого регулювання.

Список використаної літератури

1. Лозинський О.Ю. Система підпорядкованого керування з селективною корекцією /О.Ю.Лозинський, Б.Я.Панченко, Л.Ф. Карплюк // Вісн. нац. техн. ун-ту "ХПІ". – Вип. № 30. – 2010. – С. 518-519.
2. Рудаков В.В. Синтез електроприводов с последовательной коррекцией / В.В.Рудаков, Р.П.Мартинкайнен // Энергия. – 1972.
3. Шапарев Н.К. Автоматизация типовых технологических процессов металлообработки. Расчет и проектирование / Н.К. Шапарев / Вища шк.– К:–Одесса: 1984. –312 с.
4. Шенфельд Р. Автоматизированные электроприводы / Р.Шенфельд, Є.Хабигер // Пер. с нем. под. ред. Ю.А.Борцова – Л.: Энергоатомиздат.–1985.–464 с.

Отримано 08.07.2011



Панченко Борис Якович,  
к.т.н., доц. каф. ЕАП Нац. ун-ту  
«Львівська політехніка»



Карплюк Леонід Федорович,  
к.т.н., доц. каф. ЕАП Нац. ун-ту  
«Львівська політехніка»  
E-mail: slfkarpluk@lp.edu.ua.ru  
р/тел. 258-36-20



Філевич Андрій Григорович,  
бакалавр кафедри ЕАП Нац. ун-ту  
«Львівська політехніка»



Пилипів Сергій Андрійович  
бакалавр кафедри ЕАП Нац. ун-ту  
«Львівська політехніка»