

СИСТЕМА ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ З СЕЛЕКТИВНОЮ КОРЕКЦІЄЮ

Суть проблеми. Електроприводи механізмів, які забезпечують точне відпрацювання заданих траєкторій руху працюють в режимах змін 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 час пуску, гальмування і переходу з однієї швидкості на іншу за час $t_p \leq (0.05-0.1)\text{с}$, а відновлення швидкості в режимах дії навантаження повинно відбуватися за час $t_b \leq (0.05-0.15)\text{с}$ [1]. Обмежується також значення перерегулювання вихідних координат $\sigma\% \leq (5-10)\%$, а коефіцієнт затухання χ визначається вимогами технологічного процесу і повинен знаходитися в межах (3-5) [2]. 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.

Таким чином системи керування повинні забезпечувати досить взаємно суперечливі вимоги до швидкодії і обмеження перерегулювання вихідних координат, високої жорсткості статичних характеристик і високого запасу стійкості, тощо.

Аналіз останніх досліджень. Для забезпечення цих вимог сучасні системи будуються в основному за підпорядкованим принципом з'єднання контурів регулювання (СПР). Швидкодія електроприводів з СПР забезпечується компенсацією інерційності введенням форсуючих ланок в регулятори контурів регулювання, вибором швидкодіючого 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. Виходячи з положення, що швидкодія системи залежить від кількості контурів, на практиці використовують в основному двоконтурні СПР з контурами струму або моменту і швидкості або електрорушійної сили. 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 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 $t_{зат} \geq 0.2\text{с}$.

Для покращання динамічних показників на базі СПР був розроблений ряд пристроїв і систем. Так для зменшення перерегулювання швидкості в пуско-гальмівних процесах сигнал завдання подають на вхід регулятора швидкості через аперіодичну ланку [3]. Це дозволяє зменшити перерегулювання швидкості $\sigma_{ш}\%$, але зменшує швидкодію системи і, більш того, не покращує динамічні властивості системи електроприводу при дії навантаження.

Існуючі комбіновані системи використовують додаткові канали для більш точного відтворення задаючих сигналів і компенсації дії збурюючих факторів на вихідні координати [2,3]. 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, тим більше, що регулятори знаходяться поза зоною дії зворотних зв'язків, які не в змозі компенсувати варіації їх параметрів.

Системи з диференціальною корекцією [4] складають один з варіантів систем з комбінованим керування і мають всі переваги та недоліки комбінованих систем.

В системах з паралельним ввімкненням регуляторів [5], як і в системах підпорядкованого регулювання, кількість контурів регулювання відповідає кількості регульованих координат. Але, на відміну від СПР, регулятори в цих системах з'єднані не послідовно а паралельно і в будь який інтервал часу може працювати лише один регулятор, координата якого перебуває на граничному рівні. Вибір регулятора, який повинен здійснювати регулювання, забезпечує ланка вибору режиму (ЛВР). Така побудова систем дає можливість відносно незалежно налаштовувати регулятори контурів регулювання за швидкодією, тобто, швидкодія контуру швидкості не залежить від швидкодії контуру струму, але повної незалежності в налагодженні регуляторів система не забезпечує. Так для забезпечення необхідних показників якості регулювання координат в пуско-гальмівних режимах, необхідно відлаштовувати контури за швидкодією, як це має місце в СПР. Що стосується режимів дії на електропривід навантаження то системи з паралельним ввімкненням регуляторів мають кращі показники, порівняно з розглянутими вище. Це досягається вищою швидкодією контуру регулювання швидкості.

Системи зі змінними структурами [3] дозволяють застосовувати різні структурні рішення, реалізуючи позитивні якості приведених вище систем для забезпечення високої швидкодії в пуско-гальмівних режимах зі збе-

реженням заданих показників якості. Що стосується режимів дії недетермінованих навантажень, створення таких структур зустрічає значні складності. Особливо це стосується систем з релейними змінами структур, коли існує необхідність враховувати не нульові значення координат в момент зміни структури.

Задачі досліджень. Проведений аналіз дозволяє зробити висновок про необхідність розроблення системи керування, яка в повній мірі реалізує позитивні властивості існуючих систем і одночасно дозволяє збільшити швидкодію, зменшити перерегулювання, забезпечити астатизм системи при дії навантаження та інших збурюючих факторів, і здійснити це з найменшою кількістю додаткових елементів які не охоплені основними контурами регулювання. Остання вимога в значній мірі гарантує стабільність роботи системи електроприводу при дії зовнішніх і внутрішніх збурюючих і дестабілізуючих факторів.

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 тиристорний перетворювач – двигун постійного струму (ТП-Д), керованого одним з варіантів запропонованої схеми з селективною корекцією ССК приведено на рис.1. 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 $U_{зш}$ 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.

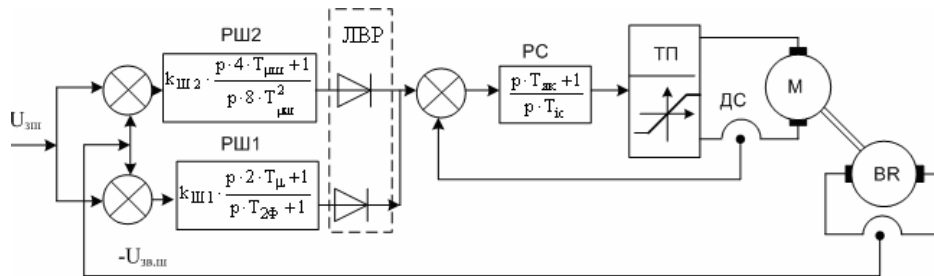


Рис1. Функціональна схема електроприводу.

Вибір параметрів регуляторів контурів регулювання здійснимо за відомими методами розрахунку параметрів систем підпорядкованого регулювання [3]. Так параметри регулятора струму РС визначимо за умови «технічної оптимізації» що зумовлює вибір ПІ регулятора. В цьому випадку регулятор повинен компенсувати інерційність якірного кола, яка визначається сталою $T_{як}$, і забезпечувати швидкодію некомпенсованої сталої часу T_{μ} . Передавальна функція регулятора матиме вигляд:

$$W_{PC}(p) = \frac{U_{PC}(p)}{U_{zc}(p)} = \frac{p \cdot T_{як} + 1}{p \cdot T_{ic}}, \quad (1)$$

де $T_{ic} = a_c \cdot T_{\mu} \cdot k_{КП} \cdot k_{зв.с.} / R_{ЯК}$ – стала інтегральної складової регулятора;

a_c – коефіцієнт оптимізації;

$k_{КП}$ – передавальний коефіцієнт керованого перетворювача;

$k_{зв.с.}$ – передавальний коефіцієнт давача струму.

Параметри регулятора швидкості РШ1 визначаємо 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 $1/(p^2 T_{\mu} + 1)$ заміною її на сталу $T_{2\phi}$. В такому випадку можна записати:

$$W_{RШ1}(p) = \frac{U_{RШ1}(p)}{U_{зш}(p)} = k_{Ш1} \cdot \frac{p \cdot 2 \cdot T_{\mu} + 1}{p \cdot T_{2\phi} + 1}, \quad (2)$$

де $k_{ш1} = T_{em} \cdot c \cdot k_{зв.с.} / (a_{ш} \cdot T_{\muш} \cdot k_{зв.ш.} \cdot R_{ЯК})$ — коефіцієнт передачі регулятора;

$T_{\muш} = 4T_{\mu} + T_{2\phi}$ – некомпенсована стала підконтру швидкості з регулятором РШ1.

Відмітимо що значення $T_{2\phi}$ приймається в межах $T_{2\phi} \geq (0.2-0.5)T_{\mu}$.

Перехідні характеристики $\omega(t)$ електроприводу з регулятором РШ1 при відпрацюванні сигналу керування і накиду навантаження приведені на рис.2,а,б. Як бачимо система керування забезпечує стандартні для такого налаштування регулятора показники: час регулювання $t_{рег} \approx 4.1 T_{\mu ш}$, перерегулювання $\sigma_{ш} \% \leq 4.3\%$.

Параметри ПІ регулятора швидкості РШ2 визначаємо з умови «симетричного оптимуму». Регулятор повинен здійснювати компенсацію електромеханічної сталої часу $T_{ем}$ і забезпечувати астатизм системи. Виходячи з цього записуємо передавальну функцію регулятора РШ2

$$W_{РШ2}(p) = \frac{U_{РШ2}(p)}{U_{зш}(p)} = k_{Ш2} \cdot \frac{p \cdot 4 \cdot T_{\mu ш} + 1}{p \cdot 8 \cdot T_{\mu ш}^2}, \quad (3)$$

де $k_{ш1} = T_{ем} \cdot c \cdot k_{зв.ш.} / (k_{зв.ш.} \cdot R_{ЯК})$ – коефіцієнт передачі регулятора.

Перехідні характеристики оптимізованого підконтру швидкості з регулятором РШ2 приведена на рис.2,а,б. Забезпечуються такі показники: час регулювання або час перетину усталеного значення заданого значення швидкості $t_p = 3,1 \cdot 2 T_{\mu ш} = 3,1 \cdot 4 T_{\mu} = 12,4 T_{\mu}$, перерегулювання $\sigma_{ш} \geq 43\%$.

З метою вивчення роботи запропонованої системи регулювання з 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 коефіцієнти підсилення силової частини $T_{ем} = 0.2$ с, $T_{ЯК} = 0.05$ 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 $\omega_{зр}^{max} \leq 200$ 1/с, або $f_{max} \leq 33$ Гц. В цьому випадку стала $T_{2ф} = 0,005$ с.

Результати моделювання досліджуваної системи електроприводу приведені на рис. 2. Перехідні процеси швидкості $\omega_d(t)$ і струму $I_a(t)$ знімалися в режимі розгону, реверсу і накиду навантаження M_c . Окремо виділені в збільшеному масштабі перехідні характеристики $\omega_d(t)$.

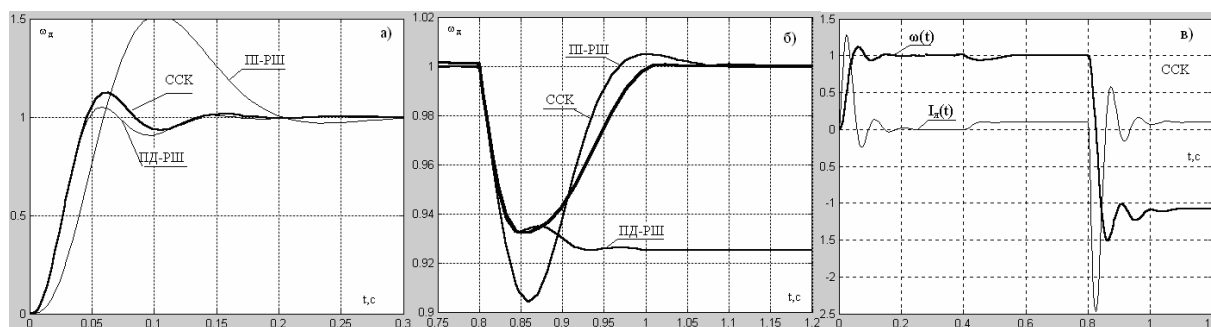


Рис. 2. Перехідні процеси в системі електроприводу

Аналіз осцилограм показав, що застосування системи з двома підконтрурами здатна забезпечувати високу швидкодію, перерегулювання регульованої координати швидкості $\sigma_{ш} \% \leq 8\%$, астатизм швидкості до збурюючого фактору – дії навантаження. Система проста в налагодженні і не вимагає спеціальних методів розрахунку окрім традиційних для систем підпорядкованого регулювання.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шапарев Н.К. Автоматизация типовых технологических процессов металлообработки. Расчет и проектирование. – Киев; Одесса: Вища школа. – 1984. -312с.
2. Теория автоматического управления. Ч.1. Теория линейных систем автоматического управления / под ред. Воронова А.А. М.: Высшая школа. -1986. -367с.
3. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник/ Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та ін., за ред. М.Г.Поповича, О.Ю.Лозинського. – Київ: «Либідь». – 2005. -680с.
4. Рудаков В.В., Мартикайнен Р.П. Синтез электроприводов с последовательной коррекцией. Л.: Энергия. – 1972.
5. Eisele H., Vance A.M. Parallel control system regulates motor torque. - Westinghouse Engr., 1966, vol26 №4.