

ДОСЛІДЖЕННЯ АСТАТИЧНИХ ЗА НАВАНТАЖЕННЯМ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ

Теребійчук С.С., студент, Толочко О.І., д.т.н., проф.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Астатичні системи регулювання та стабілізації швидкості широко використовуються у промисловості. Характерною їх особливістю є те що при виконанні корисної роботи швидкість двигуна в усталеному режимі залишається незмінною. Одним із технологічних процесів, які потребують не тільки стабілізації швидкості в усталеному режимі, але й мінімальних динамічних відхилень швидкості при накиді навантаження, є процес обробки металу металорізальними верстатами з числовим програмним керуванням. Це стосується насамперед систем керування електроприводами головного руху верстатів, що обробляють заготовки зі змінним діаметром. У цьому разі амплітуда похибки за швидкістю впливає на кут викривлення поверхні, а час відновлення швидкості – на довжину ділянки викривлення.

Мета роботи. Пошук рішень, що забезпечують кращі динамічні показники астатичних систем.

Матеріали і результати досліджень.

Для приводу головних рухів металорізальних верстатів можна використовувати системи підпорядкованого регулювання швидкості приводів постійного струму та системи векторного керування синхронними двигунами з постійними магнітами (СДПМ) [1] або асинхронними двигунами (АД), які здатні забезпечити високу якість перехідних процесів. Усі вони мають схожу структуру. Тому результати досліджень, виконані для однієї з цих систем можна розповсюдити на інші.

Розглянемо типову двоконтурну астатичну за навантаженням систему підпорядкованого регулювання (СПР) швидкості з двигуном постійного струму (ДПС), структурна схема якої у відносних одиницях подана на рис. 1.

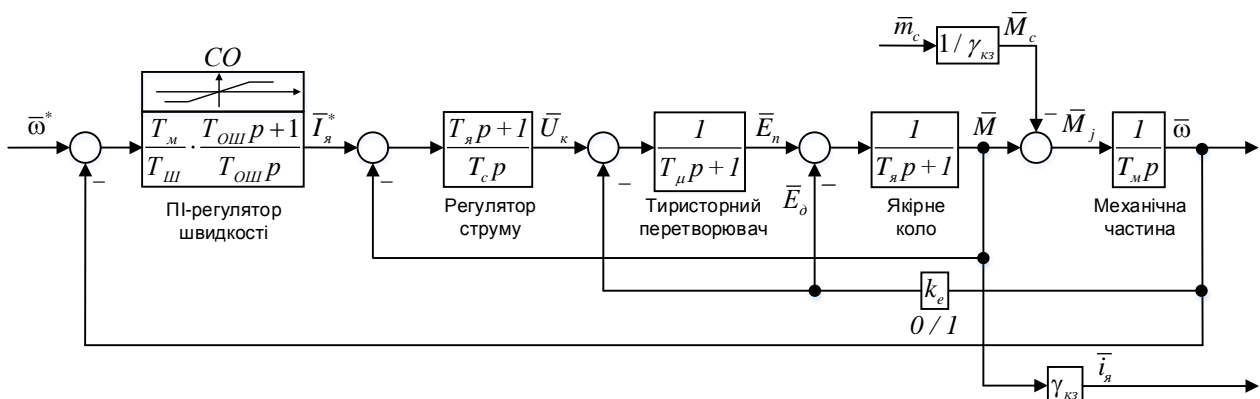


Рисунок 1 – Система підпорядкованого регулювання швидкості

На рис.1 позначено: R_y – активний опір якірного кола системи ТП-Д; T_y , T_m – електромагнітна та електромеханічна сталі часу привода; c – коефіцієнт

ЕРС та моменту двигуна; k_{Π} , T_{μ} – коефіцієнт підсилення та стала часу перетворювача; $\gamma_{кз}$ – кратність моменту та струму короткого замикання; T_c , T_{Π} – сталі часу інтегрування розімкнених контурів струму та швидкості; k_e – коефіцієнт урахування впливу внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС двигуна ω – кутова швидкість двигуна; $I_{я}$ – струм якірного кола; M , M_c , M_j – електромагнітний момент двигуна та його статична і динамічна складові; E_{Π} , $E_{д}$ – ЕРС перетворювача і двигуна; $U_{к}$ – напруга керування перетворювачем. У якості базових значень основних координат використано такі величини: $\omega_{б} = \omega_0$ – швидкість ідеального холостого ходу, $E_{б} = E_{\Piб} = E_0 = c\omega_0$ – ЕРС ідеального холостого ходу, $I_{яб} = I_{кз} = E_0 / R_{я}$ – струм короткого замикання якоря, $M_{б} = M_{кз} = cI_{кз}$ – момент короткого замикання, $U_{кб} = E_0 / k_{\Pi}$.

Астатизм за навантаженням досягається шляхом використання ПІ-регулятора швидкості. Налаштування регулятора струму здійснюємо за модульним оптимумом ($T_c = 2T_{\mu}$) [2], а регулятору швидкості - за симетричним оптимумом ($T_{\Pi} = 2T_c = 4T_{\mu}$, $T_{ОШ} = 2T_{\Pi} = 8T_{\mu}$) [3].

Динамічні властивості систем регулювання швидкості з ПІ-РШ, можна покращити за рахунок застосування інших методів структурного синтезу не пов'язаних з ускладненням регулятора швидкості. Зокрема, для досягнення астатизму за навантаженням можна використати системи з комбінованим керуванням за збуренням, які ще називають системами з компенсацією впливу моменту статичного опору на статичні властивості приводу та систему зі зворотним зв'язком за динамічним струмом, в яких використовується пропорційний регулятор швидкості (П-РШ): $\bar{W}_{РШ}(p) = T_m / T_{\Pi}$.

Структурна схема системи зі зворотним зв'язком за динамічним струмом наведена на рис. 2.

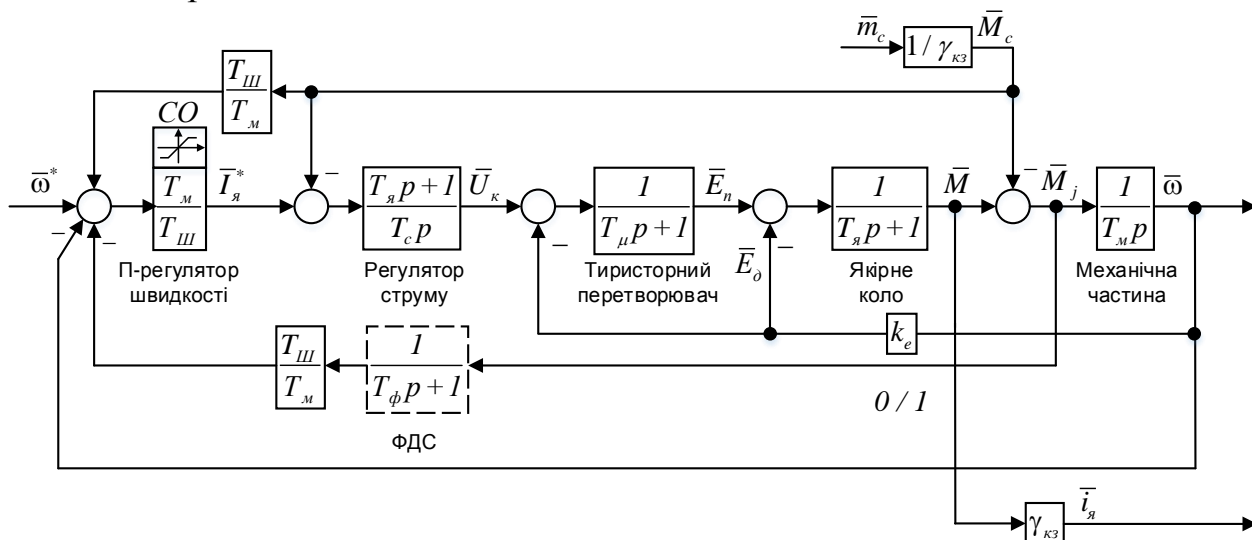


Рисунок 2 – Система підпорядкованого регулювання швидкості з зворотнім зв'язком за динамічним струмом

Для розв'язання проблеми струмообмеження у системі здійснено еквівалентне перенесення зворотного зв'язку за динамічним струмом на вхід

П-РШ з обмеженням вихідного сигналу на рівні завдання на максисмально припустимий струм якоря, на вхід регулятора струму заведено від'ємний зворотний зв'язок за повним струмом якоря, а на вхід регулятора швидкості – додатний зв'язок за струмом. У такій схемі в ненасиченому стані РШ від'ємний і додатний зв'язки за повним струмом взаємно компенсуються і система стає замкненою тільки за динамічним струмом. При насиченні РШ від'ємний зв'язок за динамічним струмом та додатний за повним струмом не діють, і контур струму стає замкненим за повним струмом. У такий спосіб здійснюється перемикавання зворотних зв'язків і забезпечується адекватна робота системи як у пуско-гальмівних режимах, так і у режимі струмообмеження.

Перехідні процеси у СПР рис. 1 та рис. 2 при розгоні та при стрибкоподібному накиді навантаження наведено на рис. 3. У першій системі на вході встановлено задатчик інтенсивності (ЗІ), а у другій розгін відбувається в режимі обмеження динамічного струму, що здійснюється шляхом обмеження вихідного сигналу регулятора швидкості.

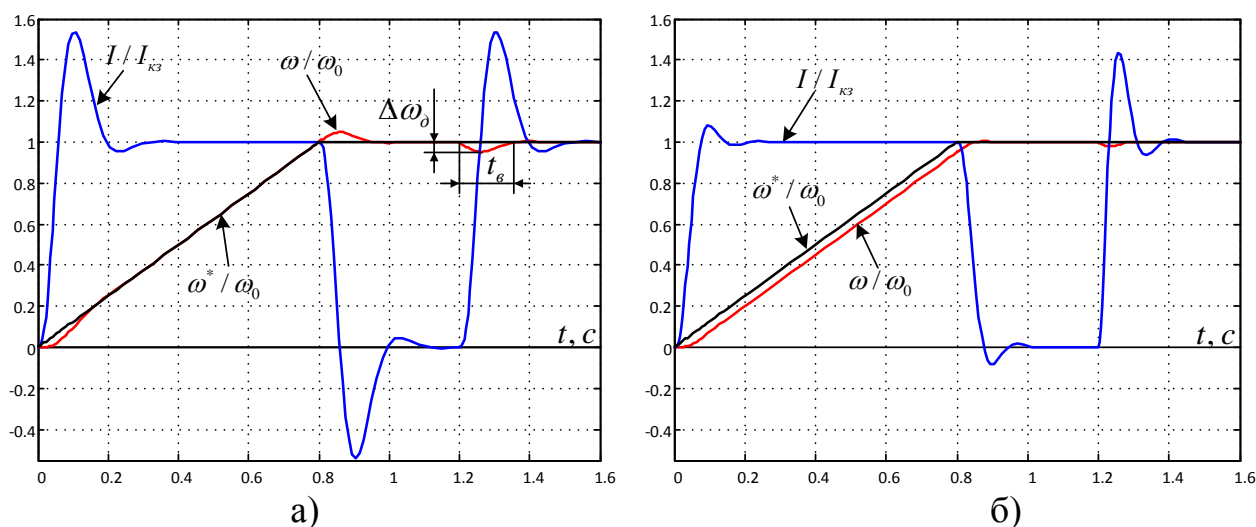


Рисунок 3 – перехідні процеси в типовій СПР з П-РШ (а) та в системі зі зворотним зв'язком за динамічним струмом або з компенсацією дії статичного моменту (б)

Основні показники якості перехідних процесів у типовій СПР з П-РШ (схема рис. 1) такі: час першого узгодження струму $I(t)$ з усталеним значенням $t_{y1} = 5.9T_\mu$, час досягання струмом першого максимуму $t_{max} = 10.3T_\mu$, перерегулювання за струмом $\sigma = 53.7\%$, максимальна динамічна просадка швидкості $\Delta\omega_{max} / \Delta\omega_{co} = 0.95$ ($\Delta\omega_{co} = (M_c R_\gamma / c^2) \cdot (T_{щ} / T_M)$) – статична просадка швидкості у системі з П-РШ), час відновлення швидкості $t_e = 16T_\mu$.

Основні показники якості в системі зі зворотним зв'язком за динамічним струмом і П-РШ (рис. 2) мають такі значення: у пуско-гальмівних режимах час відставання швидкості від вихідного сигналу ЗІ – $t_3 = 4T_\mu$, $t_{y1} = 7.6T_\mu$, $t_{max} = 10T_\mu$, $\sigma = 8.1\%$, а в режимі накиду навантаження – $\sigma = 43\%$, $\Delta\omega_{max} / \Delta\omega_{co} = 0.44$, $t_e = 8T_\mu$.

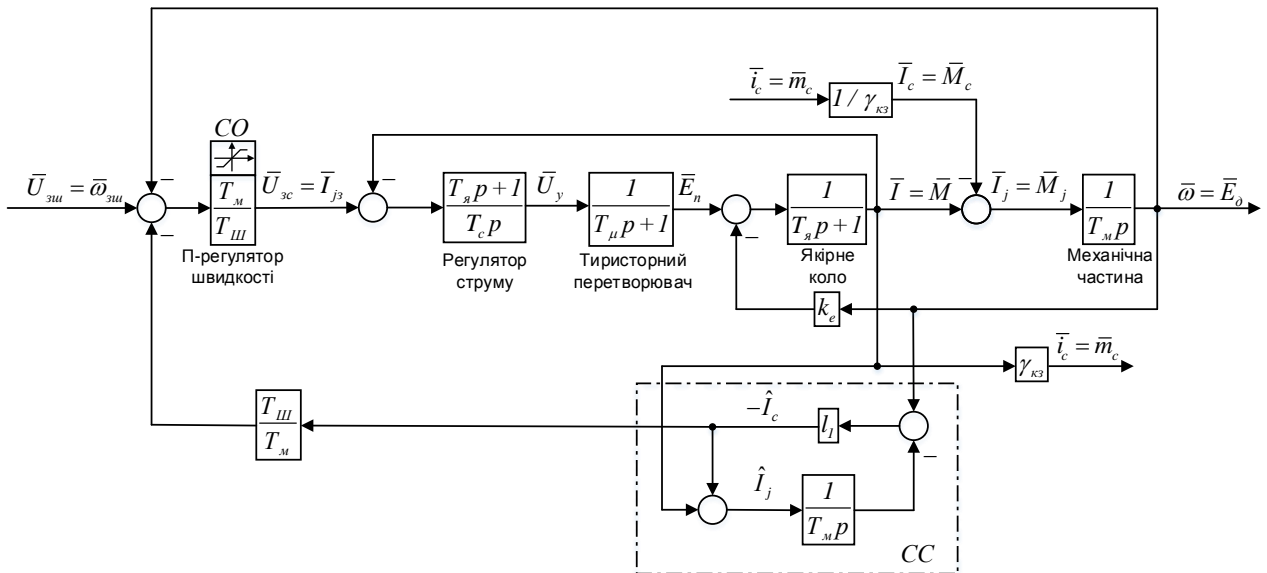


Рисунок 5 – Структурна схема СПР швидкості зі спостерігачем динамічного та статичного струмів першого порядку (СС)

На рис. 6 наведені графіки для системи з інерційним зворотним зв'язком за динамічним струмом (рис. 2) та додатним зворотним зв'язком за оцінкою статичного моменту, заведеним на вхід П-РШ при декількох значеннях параметру T_ϕ (однакових для обох систем), що характеризує інерційність і датчика динамічного струму, і спостерігача стану.

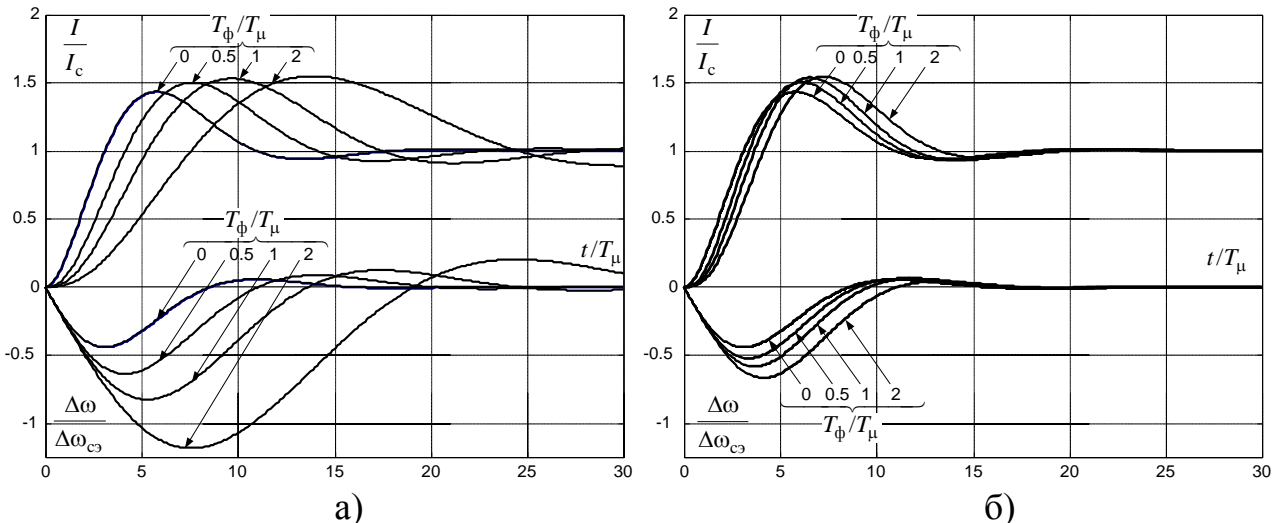


Рисунок 6 – Перехідні процеси при стрибкоподібній зміні навантаження в системі з інерційним зв'язком за динамічним струмом (а) та за додатним зворотним зв'язком за оцінкою статичного моменту (б)

З аналізу наведених графіків видно, що в обох порівнюваних системах при обраних налаштуваннях перерегулювання за струмом мало залежить від інерційності зворотних зв'язків. У розглянутому діапазоні цих параметрів перерегулювання змінюється від 50 до 55% і практично не відрізняється від перерегулювання в системі з П-РШ, налаштованої на симетричний оптимум. Але динамічні просадки швидкості та час їх відновлення є найменшими в

астатичній системі зі спостерігачем стану при незначному ускладненні системи керування.

Висновки:

1) Показники якості типової астатичної за навантаженням СПР швидкості з П-РШ можна покращити застосуванням системи з П-РШ і заміною зворотного зв'язку за повним струмом зворотним зв'язком за динамічним струмом або доповнення СПР з П-РС та П-РШ додатним зворотним зв'язком за моментом статичного опору, заведеним на вхід П-РШ.

2) Інерційний зворотний зв'язок за динамічним струмом можна реалізувати за допомогою акселератора, а оцінку статичного та динамічного моментів (струмів) можна виконати за допомогою спостерігачів стану.

3) У системі з акселератором динамічні показники значно погіршуються при збільшенні сталої часу фільтра на його виході, тому що потребує переналаштування регуляторів струму та швидкості для обмеження перерегулювання за моментом. У системі зі спостерігачем стану параметри регуляторів не змінюють, і вони є менш чутливими до підвищення інерційності СС.

4) Найкращі динамічні показники якості із розглянутих систем має астатична система зі спостерігачем стану першого порядку.

Перелік посилань

1. N. Bao-Huy, Do Han C. Minh “High Performance Current Control of IPMSM for Electric Vehicles Drives Using Disturbance Observer” Conf. Rec. of 2015 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting.– 2015 – P.807-814.

2. Kessler C. Betrags-Optimum / C. Kessler. // Regelungstechnik. – 1958. – №11. – P. 393–400.

3. Kessler C. Das symmetrische Optimum / C. Kessler. // Regelungstechnik. – 1958. – №12. – P. 432–436.

4. P. Karlovský, J. Lettl “Improvement of DTC Performance Using Luenberger Observer for Flux Estimation” Conf. Rec. of 2017 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting.– 2017– P. 603-608.