

СИСТЕМА ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ З СЕЛЕКТИВНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ШВИДКОСТІ

© Панченко Б.Я., Карплюк Л.Ф., 2014

Проаналізовано роботу системи підпорядкованого керування електроприводу. Розроблено методіку налаштування регуляторів. Результати досліджень можна використовувати під час розроблення нових систем електроприводів.

Ключові слова: система підпорядкованого керування, регулятор швидкості.

The control system of electric drives has been analyzed. Method of tuning speed feedback adjusting was developed. The result can be used for the designing new systems of electric drives.

Key words: control system, speed regulator.

Суть проблеми

Необхідною умовою функціонування електроприводів механізмів, які забезпечують точне відпрацювання заданих траєкторій руху є висока швидкодія і точність підтримання регульованих координат в динамічних та усталених режимах. Наприклад, електроприводи механізмів подавання 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]. Значення величини перерегулювання вихідних координат обмежується на рівні $\sigma\% \leq (5-10)\%$, а коефіцієнт загасання χ визначається вимогами технологічного процесу і повинен перебувати 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.

Аналіз останніх досліджень

Для забезпечення цих вимог сучасні системи будуються переважно за підпорядкованим принципом з'єднання контурів регулювання (СПР). Швидкодія електроприводів з СПР забезпечується компенсацією інерційності введенням форсуючих ланок у 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, забезпечуються відповідним вибором коефіцієнтів пропорційних та інтегруючих складових регуляторів. Враховуючи положення, що швидкодія системи залежить від кількості контурів, на практиці використовують переважно двоконтурні СПР з контурами струму або моменту і швидкості або електрорушійної сили. Жорсткість механічних характеристик $\omega(M)$ на відрізка стабілізації швидкості забезпечують вибором інтегрального регулятора швидкості з параметрами розрахованими за „симетричним оптимумом” [3], який забезпечить астатизм регульованої координати. Цей спосіб переважно простий в налагодженні, але має істотні недоліки: малий запас стійкості за кутом $\Delta\varphi \leq 37^\circ$, значне перерегулювання у разі відпрацювання сигналу завдання і дії навантаження $\sigma_{ш}\% \geq 43\%$, а загасання перехідного процесу становить $t_{заг} \geq 0.2\text{ с}$.

Для покращення 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 дає змогу зменшити перерегулювання швидкості $\sigma_{ш}\%$, але зменшує швидкодію системи і, більше того, не покращує динамічні властивості системи електроприводу під час дії навантаження.

Існуючі комбіновані системи використовують додаткові канали для точнішого 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 перебувають поза зоною дії зворотних зв'язків, які не в змозі компенсувати варіації їх параметрів.

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

У 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 порівняно 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 налаштовувати 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, 6] дають змогу застосовувати різні структурні рішення, реалізуючи позитивні якості наведених вище систем для забезпечення високої швидкодії в пуско-гальмівних режимах зі збереженням заданих показників якості. Що стосується відпрацювання режимів дії недетермінованих навантажень, створення таких структур має значні складності. Особливо це стосується систем з релейними змінами структур, коли існує необхідність враховувати не нульові значення координат у момент зміни структури.

Задачі досліджень

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок про необхідність розроблення системи керування і методики вибору параметрів її елементів, що дозволяє збільшити швидкодію, зменшити перерегулювання, забезпечити астатизм системи при дії навантаження та інших збурюючих факторів. Причому це необхідно здійснити найменшою кількістю додаткових елементів, які не охоплені основними контурами регулювання. Остання вимога значною мірою гарантує стабільність роботи системи електроприводу за дії зовнішніх і внутрішніх збурюючих і дестабілізуючих факторів.

Виклад основного матеріалу

У 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 [6] наведено на рис.1. Схема керування складається з двох контурів – контуру струму з регулятором струму РС і контуру швидкості. Функцію забезпечення максимальної швидкодії з мінімальним перерегулюванням швидкості за дії керування, астатизму під час збурень навантаження повинен

реалізувати регулятор швидкості. 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 надходять на вхід блока 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. 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», що зумовлює вибір ПІ регулятора.

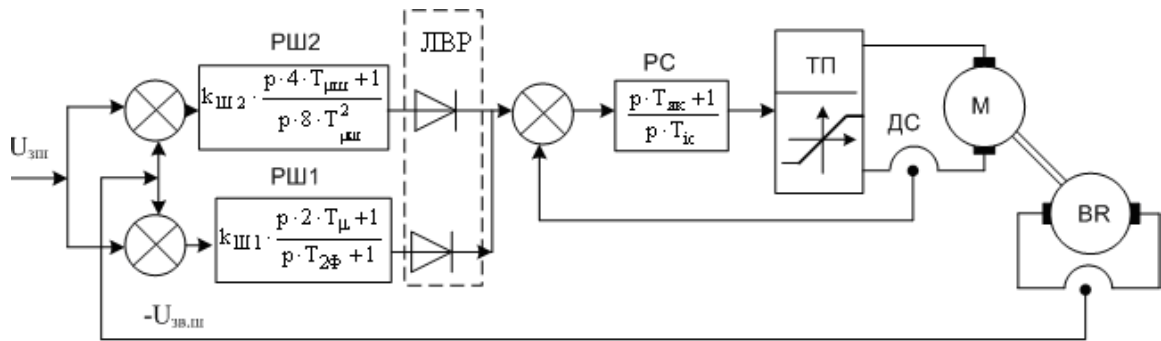


Рис. 1. Функціональна схема електроприводу

У 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:

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

де $T_{іс} = a_c \cdot T_m \cdot k_{КП} \cdot k_{зв.с} / R_{ЯК}$ – 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 можна визначити теж за умови «технічної оптимізації». Система електроприводу з регулятором швидкості, який компенсує електромеханічну інерційність з коефіцієнтом оптимізації $a_{ш} = 2$ забезпечує стандартні перехідні процеси з обмеженою швидкодією, яка визначається некомпенсованою сталою часу об'єкта регулювання – контуру швидкості. Збільшити швидкодію можна застосуванням таких способів. Перший, як це пропонується в [6], введенням форсуючої ланки в передавальній функції регулятора зі сталою часу $T_{2ф}$, яка компенсує інерційність контуру струму зі сталою $2T_{\mu}$. у такому разі можна записати:

$$W_{RШ1}(p) = \frac{U_{RШ1}(p)}{U_{зш}(p)} = k_{ш1} \cdot \frac{p \cdot 2 \cdot T_{\mu} + 1}{p \cdot T_{2ф} + 1}, \quad (2)$$

де $k_{ш1} = T_{em} \cdot c \cdot k_{зв.с} / (a_{ш} \cdot T_{шш} \cdot k_{зв.ш} \cdot R_{ЯК})$ — коефіцієнт передачі регулятора; $T_{шш} = 4T_m + T_{2ф}$ – некомпенсована стала підконтуру швидкості з регулятором РШ1.

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

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

Проте реалізація диференціюючих ланок зумовлює значні інженерні складності, пов'язані з забезпеченням точності ланок та завадостійкості електроприводу. Теорія систем зі змінною структурою [7] пропонує заміну диференціюючих ланок на інші, які реалізують зміну регульованих

координат по вироджених траекторій з необхідними показниками. При чому стійкість структур які перемикаються, не є обов'язковою.

В такому разі підвищити швидкодію системи електроприводу пропонується збільшенням коефіцієнта підсилення регулятора швидкості. У такому випадку можна записати:

$$W_{PШ1}(p) = \frac{U_{PШ1}(p)}{U_{зш}(p)} = k_{Ш1} \cdot \quad (3)$$

Перехідні характеристики $\omega(t)$ електроприводу з регулятором РШ1 з коефіцієнтом підсилення, який відповідає коефіцієнту оптимізації $a_{ш} = 1$, у разі відпрацювання сигналу керування наведено на рис.2, а (позначено П-РШ). Як бачимо система керування забезпечує зменшення час регулювання, порівняно зі стандартним налаштуванням $t_{рег} \leq 4 \cdot T_{шш}$ і значні перерегулювання швидкості.

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

$$W_{PШ2}(p) = \frac{U_{PШ2}(p)}{U_{зш}(p)} = k_{Ш2} \cdot \frac{p \cdot 4 \cdot T_{шш} + 1}{p \cdot 8 \cdot T_{шш}^2}, \quad (4)$$

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

Перехідні характеристики оптимізованого підконтуру швидкості з регулятором РШ2 наведено на рис.2, а, б (позначено ПІ-РШ). Забезпечуються такі показники: час регулювання або час перетину усталеного значення заданого значення швидкості $t_p = 3,1 \cdot 2T_{шш} = 3,1 \cdot 4T_{шш} = 12,4 T_{шш}$, перерегулювання $\sigma_{ш} \geq 43\%$.

З метою вивчення роботи запропонованої системи регулювання з заданими показниками в динамічних і усталених режимах, наведено 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, $T_{ш} = 0.01$ с, $k_n = 20$ 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 досліджуваного електроприводу наведені на рис. 2. Перехідні процеси швидкості $\omega_d(t)$ і струму $I_a(t)$ знімалися в режимі розгону, реверсу і накиду навантаження M_c .

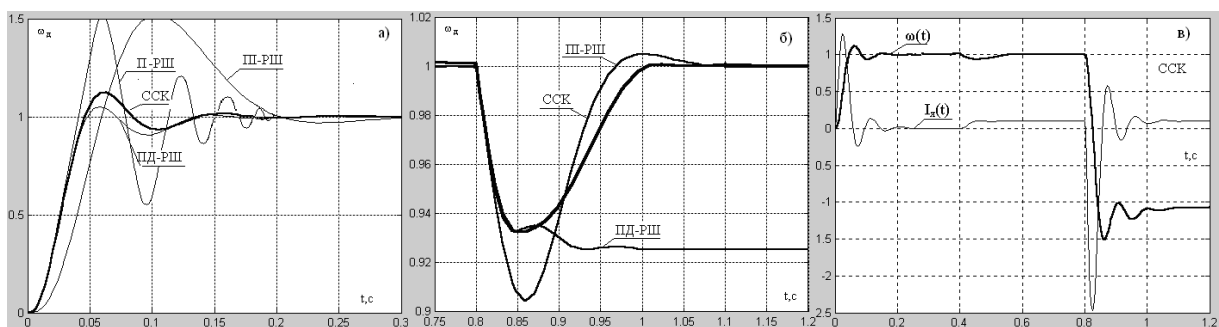


Рис. 2. Перехідні процеси в системі електроприводу

Аналіз осцилограм показав, що система з двома підконтурами швидкості, один з яких ПД-РШ або П-РШ, а другий ПІ-РШ, здатна забезпечувати високу швидкодію, перерегулювання швидкості $\sigma_{ш} \% \leq 8\%$, астатизм швидкості до збурюючого фактора – дії навантаження.

Висновки

Система з селективним вибором підконтуру регулювання швидкості забезпечує високу швидкодію електроприводу, вищу за ту, що відповідає стандартним налаштуванням, за допустимого перерегулювання регульованих координат, астатизм швидкості під час дії

навантаження. Система є простою в налагодженні і не вимагає спеціальних методів розрахунку, окрім традиційних для систем підпорядкованого регулювання.

1. Шапарев Н.К. Автоматизация типовых технологических процессов металлообработки. Расчет и проектирование/ Н.К. Шапарев.– К.; Одесса: Вища школа, 1984. – 312с. 2. Воронов А.А. Теория автоматического управления. Ч.1. Теория линейных систем автоматического управления / под ред. А.А. Воронова. – М.: Высшая школа, 1986. –367 с. 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. – К.: Либідь, 2005. – 680 с. 4. Рудаков В.В. Синтез электроприводов с последовательной коррекцией / В.В Рудаков. Р.П, Мартикайнен.. – Л.: Энергия, 1972. 5. Eisele H. Parallel control system regulates motor torque/ H. Eisele, A. Vance. – Westinghouse Engr., 1966, vol. 26, № 4. 6. Лозинський О.Ю. Система підпорядкованого керування з селективною корекцією / О.Ю. Лозинський, Б.Я. Панченко, Л.Ф. Карплюк // Вісн. нац. техн. ун-ту "ХПІ". – 2010. – № 30. – С. 518–519. 7. Емельянов С.В. Теория систем с переменной структурой / С.В.Емельянов. – М.: Наука, 1970. – 590 с.

УДК 621.3.064.2: 621.316.925.1: 621.316.96

О.Г. Серета

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут",
кафедра ЕА

ЗАХИСТ РОЗГАЛУЖЕНОЇ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З РОЗПОДІЛЕНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ВІД ОБРИВУ НЕЙТРАЛЬНОГО ПРОВІДНИКА

© Серета О.Г., 2014

Обґрунтовано можливість розширення переліку реалізованих захистів у розчіплювачах автоматичних вимикачів на основі результатів цифрової обробки сигналів від датчиків струму. Запропоновано нове технічне рішення, яке дозволяє в режимі ковзного моніторингу сформулювати критерій спрацьовування автоматичних вимикачів під час захисту однофазних споживачів електроенергії від обриву нейтралі. Доведена можливість ідентифікації факту обриву нейтралі за допомогою гармонійного аналізу спектра фазних струмів за наявності нелінійних спотворень.

Ключові слова: мікропроцесорний пристрій, релейний захист.

A possibility of extending the implemented protection list of circuit breakers trip units based on the digital processing of signals from the current sensors is justified. The new technical solution allowing in a sliding monitoring mode to create of circuit breakers operation criterion at single-phase electric power consumers protection from neutral failures is proposed. Feasibility of neutral failures fact identification by the harmonious analysis of phase currents spectrum with the nonlinear distortions presence is proved.

Key words: microprocessor device, current relay protection.

Постановка проблеми

Необхідність визначення факту обриву нейтрального провідника (N-провідника) на будь-якій ділянці довгої лінії мереж електропостачання 0,4 кВ з нелінійними видами навантажень обумовлена