

СИСТЕМА ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ ЗУСИЛЛЯМ У ШТАБІ ПРОКАТУ НА ОСНОВІ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИКОНАВЧОГО ПРИСТРОЮ

Одним із шляхів вирішення актуальної задачі підвищення якості листового прокату є впровадження систем автоматичного керування з безконтактними виконавчими пристроями (БВП), які створюють у штабі керуючі зусилля за допомогою електромагнітної дії [1-3].

Метою даної роботи є розробка та дослідження системи векторного керування зусиллям у штабі при розмікнутості магнітопроводу БВП та зміні його параметрів залежно від сортаменту прокату.

Серед можливих варіантів вибору опорного вектору перевагу в даному випадку має система з вектором головного потокозчеплення, бо тільки його складові безпосередньо вимірюються, в той час як інші (потокозчеплення ротора та статора) перераховуються на основі параметрів електричної машини. Встановлення на БВП датчиків Холла для реалізації прямого векторного керування не являє конструктивних труднощів при розмікнутості магнітопроводу.

Розрахункові рівняння БВП в синхронній системі координат (1,2), що обертається зі швидкістю ω_0 , при спрямуванні осі 1 по вектору головного потокозчеплення $\vec{\psi}_0 = |\vec{\psi}_0|$; $\text{Im } \vec{\psi}_0 = 0$ мають вигляд [3-5]

$$\begin{aligned} T_\psi \frac{d|\vec{\psi}_0|}{dt} + |\vec{\psi}_0| &= k_\psi \left(U_{s1} + a_{i\psi} I_{s1} + b_{i\psi} \frac{\pi V}{\tau} I_{s2} \right); \\ T_i \frac{dI_{s1}}{dt} + I_{s1} &= k_i \left(U_{s1} + a_{\psi i} |\vec{\psi}_0| + b_{i\psi} \omega_0 I_{s2} + b_{ii} \left(\omega_0 - \frac{\pi V}{\tau} \right) I_{s2} \right); \\ T_i \frac{dI_{s2}}{dt} + I_{s2} &= k_i \left(U_{s2} - \frac{\pi V}{\tau} |\vec{\psi}_0| - b_{i\psi} \omega_0 I_{s1} - b_{ii} \left(\omega_0 - \frac{\pi V}{\tau} \right) I_{s1} \right); \\ F &= \frac{\pi z}{4} |\vec{\psi}_0| I_{s2}, \end{aligned} \tag{1}$$

де: F – зусилля; V – швидкість штаби; I_s – струм в обмотці; τ – полюсний розподіл; z – число полюсів; T_ψ , T_i , k_ψ , k_i – сталі часу та коефіцієнти підсилення кола головного потокозчеплення та струму обмотки; $a_{\psi i}$, $a_{i\psi}$ – коефіцієнти перехресного зв'язку; b_{ii} , $b_{i\psi}$ – коефіцієнти. Згідно (1) зусилля БВП визначається добутком модуля головного потокозчеплення $|\psi_0|$ та складової струму I_{s2} , тому система векторного керування є двоканальною. Канал керування модуля головного потокозчеплення будується одноконтурним без внутрішнього контуру керування складовою струму I_{s1} . Канал керування складовою струму I_{s2} також є одноконтурним.

Відповідна функціональна схема системи керування показана на рис. 1. Вона містить датчик струму ДС, за допомогою якого вимірюються три змінні струми i_a , i_b , i_c в фазах обмотки, які у перетворювачі фаз ПФ2 перераховуються в еквівалентні двофазні змінні струми нерухомої системи координат (α, β) за виразом

$$I_{s\alpha} = i_a - (i_b + i_c) / 2; \quad I_{s\beta} = \sqrt{3}(i_b - i_c) / 2. \tag{2}$$

Датчик головного потокозчеплення ДП складається з двох датчиків Холла, один з яких встановлюється на активній поверхні БВП на магнітній осі фази А, а другий зміщується на відстань $x = r\tau/2$, де: r – число пар полюсів. При конструктивній необхідності другий датчик може розташовуватися на відстані $x = (1/3..2/3)r\tau$. При цьому його сигнал відповідним чином коригується. У вектор-фільтрі ВФ сигнали ДП ψ_{0a} , ψ_{0b} з трифазної системи перераховуються у еквівалентні сигнали двофазної нерухомої системи координат (α, β) за формулою

$$\psi_{0\alpha} = \sqrt{3/2} \psi_{0a}; \quad \psi_{0\beta} = \sqrt{2}(\psi_{0a} / 2 + \psi_{0b}), \tag{3}$$

та обчислюються модуль головного потокозчеплення і тригонометричні функції

$$|\psi_0| = \sqrt{\psi_{0\alpha}^2 + \psi_{0\beta}^2}; \quad \cos \theta = \psi_{0\alpha} / |\psi_0|; \quad \sin \theta = \psi_{0\beta} / |\psi_0|, \tag{4}$$

де: θ – кут між магнітною віссю фази А та вектором головного потокозчеплення. Сигнал модуля головного потокозчеплення використовується як сигнал від'ємного зворотного зв'язку в замкнутому контурі керування з регулятором потокозчеплення РП. Входом регулятора є похибка між заданим потокозчепленням $|\psi_0|^*$ та його поточним значенням $|\psi_0|$. Виходом регулятора є сигнал складової напруги живлення БВП U_{s1} , пропорційної головному потокозчепленню. Тригонометричні функції служать для переходу з нерухомої системи координат (α, β) до рухомої (1,2) і навпаки. В перетворювачі координат ПК2 здійснюється перетворення струмів до рухомої системи координат за виразом

$$I_{s1} = I_{s\alpha} \cos \theta + I_{s\beta} \sin \theta; \quad I_{s2} = -I_{s\alpha} \sin \theta + I_{s\beta} \cos \theta. \tag{5}$$

Після чого струми мають зручну для реалізації системи керування форму сигналів постійного струму. Згідно (1) складова струму I_{s2} визначає величину зусилля БВП при умові стабілізації головного потокозчеплення

$|\psi_0| = \text{const}$. Задане значення струму обчислюється в задатчику струму ЗС на основі заданого зусилля F^* та поточного значення потокозчеплення

$$I_{s2}^* = 4F^* / \pi z |\psi_0|. \quad (6)$$

Виходом регулятора струму РС є сигнал складової напруги живлення БВП U_{s2} , пропорційної зусиллю у штабі прокату. У перетворювачі координат ПК1 здійснюється перевід керуючих напруг з рухомої системи координат (1,2) в нерухому (α, β) за наступною залежністю

$$U_{s\alpha} = U_{s1} \cos \theta - U_{s2} \sin \theta; \quad U_{s\beta} = U_{s1} \sin \theta + U_{s2} \cos \theta. \quad (7)$$

Одержані напруги у формі сигналів змінного струму за допомогою перетворювача фаз ПФ1 перераховуються в еквівалентні трифазні напруги керування силовим перетворювачем частоти

$$u_a = U_{s\alpha}; \quad u_b = (\sqrt{3}U_{s\beta} - U_{s\alpha})/2; \quad u_c = -(\sqrt{3}U_{s\beta} + U_{s\alpha})/2. \quad (8)$$

Представлена система векторного керування зусиллям БВП містить блок ЗС, в якому відповідно до (6) виконується операція ділення на величину головного потокозчеплення, тому для коректної роботи системи спочатку включається контур керування потокозчепленням до виходу його на усталене значення.

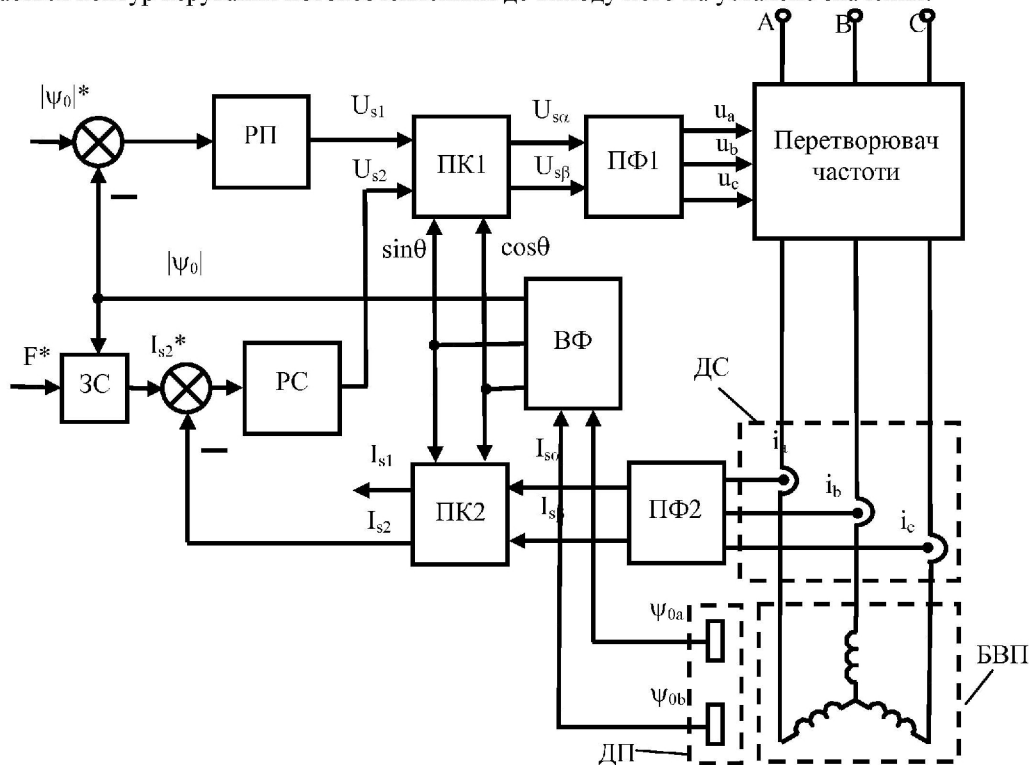


Рис. 1. Функціональна схема системи векторного керування зусиллям у штабі прокату

Синтез регуляторів потокозчеплення та струму здійснено на основі концепції зворотних задач динаміки в сполученні з мінімізацією локальних функціоналів, що характеризують миттєві значення енергії руху [6]. Отримані закони керування забезпечують динамічну декомпозицію системи та надають їй якісно нових властивостей – слабку чутливість до зміни параметрів БВП. Відповідно до (1) модуль головного потокозчеплення $|\psi_0|$ зв'язаний з складовою напруги керування U_{s1} з урахуванням взаємозв'язку зі струмом I_{s1} динамічною ланкою другого порядку. Крім того, на $|\psi_0|$ та I_{s1} впливають координатні збурення у вигляді складових струму I_{s2} , тому для їх компенсації рівняння бажаної якості керування потокозчепленням повинно бути астатичним та мати 2-й порядок. Аналіз показує, що стала часу $T_\psi \gg T_i$, тому порядок розрахункового рівняння кола головного потокозчеплення може бути знижено без суттєвої втрати якості. Струм I_{s2} зв'язаний з складовою напруги керування U_{s2} динамічною ланкою 1-го порядку. В контурі також присутні координатні збурення, обумовлені дією складовою струму I_{s1} та потокозчеплення $|\psi_0|$, тому для їх компенсації рівняння бажаної якості повинно бути астатичним й може мати 1-й чи 2-й порядок. Згідно до вказаних вимог отримано структуру регуляторів РП та РС, показану на рис. 2, де: k – коефіцієнт підсилення регулятора; α_0, α_1 – коефіцієнти бажаного рівняння замкнутого контуру керування $\ddot{z} + \alpha_1 \dot{z} + \alpha_0 z = \alpha_0 x^*$, за допомогою яких встановлюється задана якість. Як видно з рисунку, параметри регуляторів не залежать від параметрів об'єкту керування (1), що забезпечує слабку чутливість системи векторного керування зусиллям БВП до зміни сортаменту прокату. Збільшення коефіцієнта підсилення регулятора зменшує динамічну похибку регулювання, не призводячи до втрати стійкості системи. Перевагою представленої структури регуляторів є також відсутність диференціальних ланок.

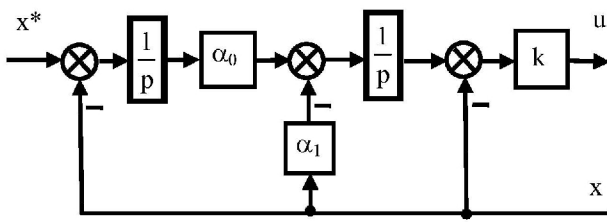


Рис. 2. Структурна схема регуляторів

приведена індуктивність штаби. Коефіцієнти РП задано рівними $\alpha_0=1000$, $\alpha_1=90$, $k=200$, що забезпечує монотонний перехідний процес поточозчеплення за час близько 0,4 с. Параметри РС встановлено рівними $\alpha_0=12000$, $\alpha_1=220$, $k=200$, що також забезпечує монотонний перехідний процес струму за час близько 0,07 с. На рис. 3 показано перехідний процес зусилля до виходу на усталене значення 9000 Н за час біля 0,07 с. Як видно з рисунка, система векторного керування забезпечує монотонний перехідний процес зусилля БВП на відміну від розімкнутого частотного керування [3]. На рис. 4 представлено похибки керування зусилля при дії параметричного збурення у вигляді зменшення та збільшення в десятьох розрахункового значення електричного опору металу штаби ($R_2=0,0022$; 0,022; 0,22 Ом). Як видно з рисунка, система забезпечує астатичне керування зусиллям з максимальною динамічною похибкою в межах 0,05..0,1 %.

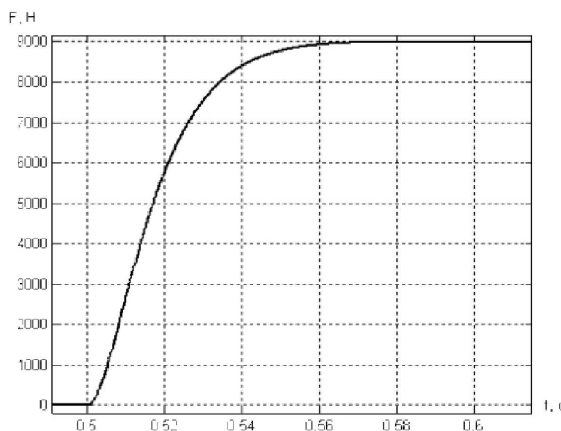


Рис. 3. Перехідний процес зусилля

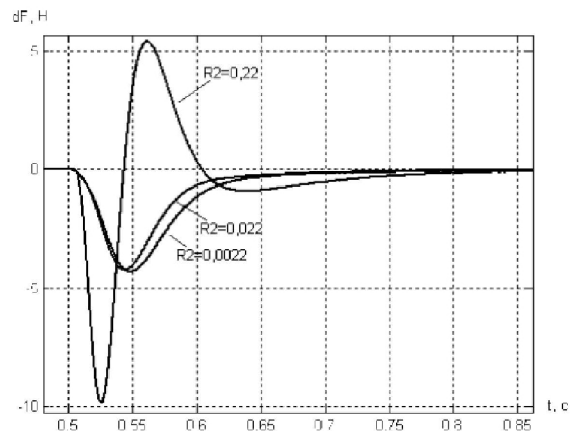


Рис. 4. Похибки керування зусилля

Таким чином, система векторного керування зусиллям БВП з синтезованими на основі концепції зворотних задач динаміки регуляторами головного поточозчеплення та струму забезпечує задану якість керування та слабку чутливість до зміни параметрів металу штаби прокату.

Література:

1. Попович М.Г., Островерхов М.Я. Забезпечення якості листопрокатної продукції впровадженням системи безконтактного керування/ Електромашинобудування та електрообладнання. Тем. випуск „Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика”. – Київ: Техніка, 2006. – С. 116-117.
2. Островерхов М.Я. Безконтактні системи автоматичного керування параметрами штаби прокату/ Сб. научн. труд. Днепродзержинского гос. техн. университета. Тем. выпуск “Проблеми автоматизированного электропривода. Теория и практика”. – Днепродзержинск: ДГТУ, 2007. – С. 393-396.
3. Попович М.Г., Островерхов М.Я. Математична модель безконтактних виконавчих пристроїв систем автоматичного керування параметрами штаби прокату/ Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2008. – С. 124-128.
4. Асинхронные электроприводы с векторным управлением/ В.В.Рудаков, И.М.Столяров, В.А.Дартау. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.
5. Иванушкин В.А., Саралупов Ф.Н., Шымчак П. Структурное моделирование электромеханических систем и их элементов. – Щецин, 2000. – 310 с.
6. Крутько П.Д. Робастно устойчивые структуры управляемых систем высокой динамической точности. Алгоритмы и динамика управления движением модельных объектов // Изв. РАН. ТиСУ. – 2005. – № 2. – С. 120-140.