

Н.В. ЖУКОВА, к.т.н., **В.В. ТУРУПАЛОВ**, к.т.н, доцент,
А.А. ЧЕРЕДНИЧЕНКО

АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ РЕЖИМАМИ ПРОКАТУ ГНУТИХ ПРОФІЛІВ

Проведено порівняльний аналіз систем автоматизації управління безперервними технологічними процесами прокату гнутих профілів, що відносяться до малоінформативних об'єктів управління. Виявлено основний принцип управління таким видом об'єктів, що полягає в саморегулюванні за допомогою зниження жорсткості механічних характеристик електроприводів, що беруть участь у безперервному процесі прокату.

Гнуті профілі прокату виробляються на профілезгинальних, дрібносортих та волочильних станах. Автоматизовані системи управління (АСУ) знайшли тут обмежене застосування оскільки технічні рішення для контролю сил натягів і прокату розроблялися і розробляються з урахуванням специфіки технології для конкретних типів станів і не завжди можуть бути використані для інших хоча і родинних процесів.

Одним з видів технологій гнутих профілів є виробництво порошкового дроту (ПД). Технологія виробництва ПД для металургійних розплавів була адоптована з технології виробництва зварювального порошкового дроту. Розходження між цими технологіями в тім, що при виробництві ПД для металургійних розплавів, профілювання, заповнення шихтою і редукування дроту здійснюється на приводному профілезгинальному стані, а зварювальний ПД формується на неприводному профілезгинальному пристрої, і вже сформований із шихтою, редукується до необхідного розміру на приводному прямоточильному волочильному стані. Загальним в цих технологіях є те, що і профілезгинальний стан ПД для металургійних розплавів, і прямоточильний волочильний стан зварювального ПД, не містять датчиків виміру натягів, а також сили прокату (тиску на валок) – у профілезгинальному стані, і моментів навантаження на барабанах – у волочильному стані. У зв'язку з цим виникає необхідність розглянути більш докладно принцип управління прямоточними волочильними станами виробництва зварювального ПД.

На початку розвитку прямоточних волочильних станів автоматичне регулювання співвідношення швидкостей проміжних барабанів протягом процесу волочіння здійснювалося застосуванням електричної схеми послідовного з'єднання якорів усіх приводних електродвигунів, що одержують живлення від одного регульованого джерела живлення з ручним заданням для регуляторів струмів обмоток збудження (ОЗ). Така схема забезпечує створення і автоматичну підтримку натягу дроту між барабанами без застосування регулюючих пристроїв, наприклад, натяжних роликів. Таке саморегулювання

з'явилося важливим фактором для прямооточних волочильних станів зварювальної ПД, і як, затверджують розроблювачі стану 6/250-350, схема з послідовним з'єднанням якорів усіх барабанів є для них найкращою. Поряд з цим була виконана схема з рівнобіжним включенням якорів двигунів з ручним завданням для регуляторів струмів ОЗ. Регулювання швидкості волочіння за цією схемою здійснювалося за рахунок зміни величини загального живлення на всіх якорях електродвигунів. У [1] відзначають недоліки цієї схеми в порівнянні з послідовною схемою з'єднання якорів. Ця схема позбавлена переваги саморегулювання моментів натягу і противонатягу при виникненні додаткових навантажень на одному з електродвигунів. До того ж, ця схема хитлива в роботі як у статичному режимі, так і в динамічному (розгін і гальмування).

Згадані системи трансформувалися в більш складні системи з появою верхнього рівня управління магнітних потоків електричних машин: задаючи вплив регуляторів струмів ОЗ зв'язан за допомогою функціональної залежності з іншими параметрами системи. При цьому залишалася ручна корекція автоматичних зв'язків. Освітленим представником напрямку послідовної схеми з обернено пропорційним зв'язком датчиків ЕРС із задаючими впливами струмів ОЗ і великим початковим підмагнічуванням, є робота [2], функціональна схема управління багатодвигунним електроприводом (ЕП) зображена на рис 1.

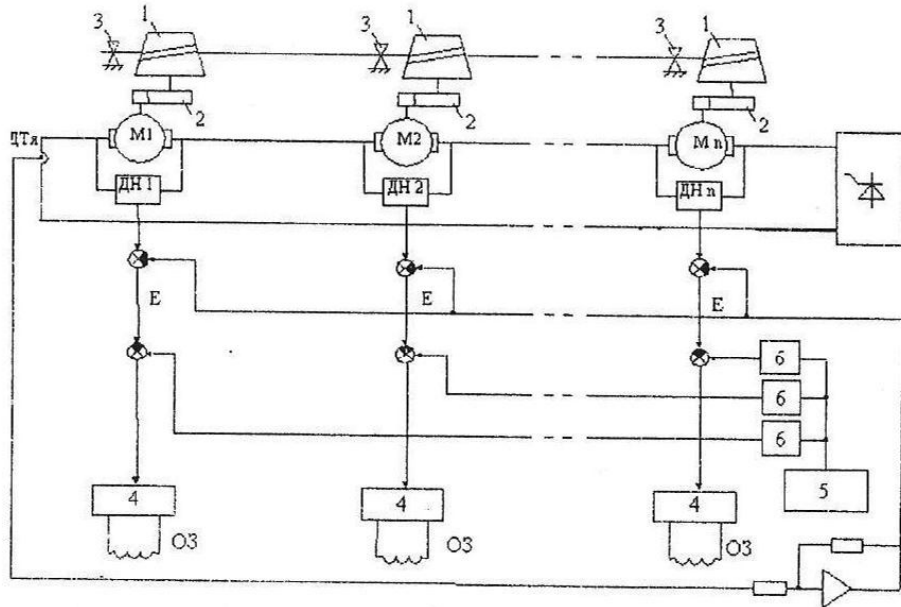


Рисунок 1 - Функціональна схема САУ багатодвигунним ЕП прямооточного стану багаторазового волочіння з послідовним з'єднанням якорів (1 - барабани, що тягнуть; 2 - редуктори; 3 - волоки; 4 - блоки регулювання струму обмоток збудження; 5 - загальне джерело напруги для ОЗ; 6 - уставки, що задають ЕРС))

В рівнобіжній схемі струми збудження двигунів прямо пропорційні струмам якорів, крім того, є присутнім мале початкове підмагнічування. До цього напрямку можна віднести схему, приведені у [3], функціональна схема управління багатодвигунним ЕП зображена на рис 2.

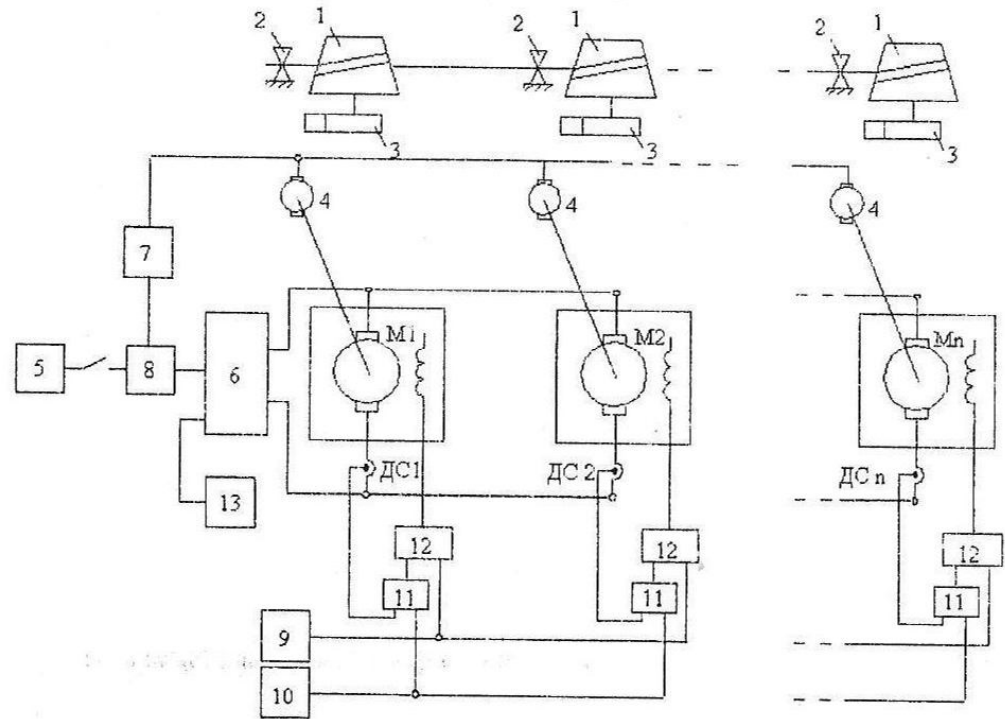


Рисунок 2 - Функціональна схема САУ багатодвигунного електропривода прямооточного стану багаторазового волочіння з рівнобіжним з'єднанням якорів (1 - барабани, що тягнуть; 2 - волоки; 3 - редуктори; 4 - датчики швидкості (ТГ); 5 - задатчик робочої швидкості; 6 - регульоване джерело напруги; 7 - блок виділення максимального сигналу; 8 - обмежник; 9 - задатчик мінімального струму збудження; 10 - задатчик завантаження; 11 - коректори; 12 - блоки регулювання струмів обмоток збудження; 13 - задатчик заправної швидкості)

Ці два напрямки систем управління багатодвигунним ЕП прямооточних волочильних станів виявилися працездатними, саморегульованими, не потребуючого будь якого виміру стану робочого тіла. Однак дані способи мають спільний недолік. Послідовна схема вимагає завищеної напруги джерела живлення чи спеціальних низьковольтних двигунів. Недоліком рівнобіжної схеми є великий сумарний електричний струм джерела живлення, що також не завжди прийнятно. Важливо підкреслити і те, що при експлуатації прямооточного волочильного стану з використанням послідовної чи рівнобіжної схем з'єднання якорів виникають проблеми, зв'язані з появою жорстких функціональних обмежень між розрахованим технологічним маршрутом деформу-

вання дроту і поточними електромеханічними параметрами багатозв'язної ЕМС, що може привести до зниження якісних показників технології.

Відомо [4], що жорсткість механічної характеристики знижується при послідовному з'єднанні ОЗ з обмоткою якоря. Аналітичне вираження механічної характеристики двигуна послідовного збудження має вид:

$$\omega = \frac{U}{ck\sqrt{\frac{M}{ck}}} - \frac{R}{ck} \quad (1)$$

Двигун послідовного збудження спеціально підмагнічують, щоб він не пішов у рознос при відсутності навантаження. Механічні характеристики двигунів послідовного збудження і з урахуванням рівнобіжного підмагнічування (змішаного збудження) м'які (див. рис.3) у порівнянні з механічною характеристикою двигуна незалежного збудження [4].

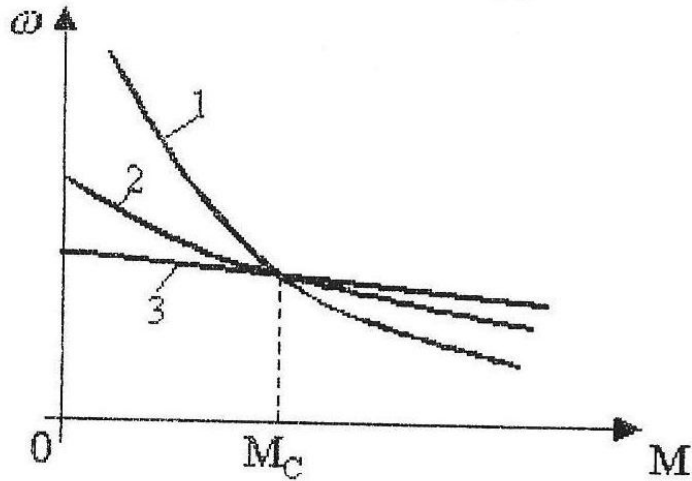


Рисунок 3 - Механічні характеристики двигунів постійного струму (1- двигун послідовного збудження; 2- двигун змішаного збудження; 3- двигун незалежного збудження)

Аналітичне вираження механічної характеристики двигуна послідовного збудження з урахуванням підмагнічування одержати складно [4], але необхідно і можливо, якщо прийняти, що рівнобіжне збудження еквівалентне якійсь фіксованій величині струму якоря I_0 : $I_0 = \alpha i_{o32}$, де α - коефіцієнт співвідношення ампер-витків. Тоді, вирішивши приведені квадратне рівняння, і знайшовши вираження для струму, аналітичне вираження статичної механічної характеристики буде мати вид:

$$\omega = \frac{U}{ckI_0 + ckI} - \frac{R \cdot I}{ckI_0 + ckI} \quad (2)$$

$$\text{де } I = \left(\sqrt{\frac{M}{ck} + \frac{I_0^2}{4}} - \sqrt{\frac{I_0^2}{4}} \right), \quad M = M_{EM} = M_C = ck(I_0 + I)I.$$

Оскільки, у системі управління багатодвигунним ЕП при рівнобіжному з'єднанні якорів двигунів, струм ОЗ прямо пропорційно зв'язаний зі струмом якоря, а при послідовному з'єднанні - зворотно пропорційно зв'язаний з ЕРС, то звідси випливає, що двигун з незалежним збудженням як би перетворюється в двигун з послідовним збудженням за допомогою електронного зв'язку:

$$i_{o3} = i_0 + \beta \cdot I \quad \text{- у випадку рівнобіжного з'єднання якорів двигунів, і}$$

$$i_{o3} = i_0 - \alpha (U - IR) \quad \text{- у випадку послідовного з'єднання якорів двигунів.}$$

Отже, виникає необхідність порівняти аналітичні вираження механічних характеристик $\omega = f(M)$ двигуна послідовного збудження з урахуванням невеликого відсотка (10-20%) рівнобіжного збудження, із двигуном незалежного збудження при послідовному і рівнобіжному з'єднанні їхніх якорів так само з урахуванням підмагнічування.

Статична механічна характеристика двигуна незалежного збудження при рівнобіжному з'єднанні якорів з урахуванням введення початкового малого підмагнічування i_0 , $i_{o3} = i_0 + \beta \cdot I$, має вид:

$$\omega = \frac{U}{cki_0 + ck\beta \cdot I} - \frac{R \cdot I}{cki_0 + ck\beta \cdot I} \quad (3)$$

$$\text{де } I = \sqrt{\frac{M}{ck\beta} + \frac{i_0^2}{4\beta^2}} - \sqrt{\frac{i_0^2}{4\beta^2}}, \quad M = M_{EM} = M_C = ck i_{o3} \cdot I = ck(i_0 + \beta \cdot I)I.$$

Аналогічно, статична механічна характеристика двигуна незалежного збудження при послідовному з'єднанні якорів з урахуванням введення початкового великого підмагнічування i_0 : $i_{o3} = i_0 - \alpha (U - IR)$, має вид:

$$\omega = \frac{U}{cki_0 - ck\alpha U + ck\alpha R \cdot I} - \frac{R \cdot I}{cki_0 - ck\alpha U + ck\alpha R \cdot I} \quad (4)$$

$$\text{де } I = \left(\sqrt{\frac{M}{ck\alpha R} + \frac{(i_0 - \alpha U)^2}{4R^2\alpha^2}} - \sqrt{\frac{(i_0 - \alpha U)^2}{4R^2\alpha^2}} \right),$$

$$M = M_{EM} = M_C = ck \cdot i_{o3} I = ck[i_0 - \alpha (U - IR)]I.$$

Як видно з формул (3) і (4) структура виразів механічних характеристик з погляду фізики процесу однакові, відрізняються тільки визначенням електромагнітного моменту.

Отже, незалежно від того, що обидві групи розроблювачів рівнобіжної і послідовної схем мають працюючі системи управління, представники кожної групи говорять про яку-небудь перевагу свого напрямку. Зрозуміло, що схеми відрізняються, але основний зміст їхнього принципу роботи спрямований на зниження жорсткості механічних характеристик електродвигунів, що беруть участь у технологічному процесі (ТП), від чого, залежить погоджена робота двигунів і стабілізація безперервного процесу. Таким чином, основний принцип саморегулювання багатодвигунного електродвигунного ТП з відсутністю виміру стану робочого тіла, складається в зниженні жорсткості механічних характеристик електродвигунів, а це не що інше, як наближення до ідеально м'якої його характеристики. Ідеально м'яку механічну характеристику має двигун постійного струму з незалежним збудженням, регульований по електромагнітній потужності ($P_{ев}$) [5]. Механічна характеристика останнього являє собою гіперболу: ($\omega = P_{ев} / M$, при заданій $P_{ев} = const$). Тобто можна зробити висновок, що способи управління прямоточним волоочильним станом фактично наближені до управління по потужностях, але їхні механічні характеристики не такі м'які.

Список літератури: 1. Перчиков З.И. Волоочильные станы. - М.: Металлургия, 1986. - 207 с.
2. Электродвигун для прямоточного стана многократного волочения: А.с. № 760369 СССР, МКИ Н 02 Р 5/46. /Ю.А. Цыба, Г.К. Иванов, Б.В. Беспалов, и А.И. Рябин. - № 2568326/24-07; Заявлено 11.01.78; Опубл. 30.08.80, Бюл. №32. - 5 с. ил. 3. Многодвигательный электродвигун агрегата непрерывной обработки материала: А.с. № 1064850 (для служебного пользования) СССР, МКИ Н 02 Р 5/46. /М.А. Битный, В.М. Колесов, Е.Г. Струтц, Г.К. Иванов, А.Г. Егай, А.М. Казутин и О.Н. Семенов. - № 2971846/24-07; Заявлено 20.08.80; Опубл. 01.09.83, Бюл. № 5. - 4 с. ил. 4. Афанасьев В.С. Автоматизированный электродвигун в прокатном производстве: Уч. для вузов. - М.: Металлургия, 1977. - 280 с. 5. Декларационный патент на винахід № 36424А, Н 02 Р 7/68. Спосіб управління електродвигунами неперервної технологічної лінії обробки металу тиском: Декларационний патент на винахід № 36424А, Н 02 Р 7/68 /Гітисвський В.М., Литвинов В.І., Горовой О.Б., Жукова Н.В., Рипало Д.А., Підгорний І.В.; ВАТ «Завод «Універсальне обладнання» - № 99126860; Заявл. 16.12.99; Опубл. 16.04.01, Бюл. №3. - 5 с.

Поступила в редакцію 30.05.05