

СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ДОВЖИН ДУГ ДУГОВОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ НА ОСНОВІ НЕЙРОРЕГУЛЯТОРА

Паранчук Я. С., Мацігін А. Б.

Предложена структура системы регулирования электрического режима дуговой сталеплавильной печи с нейрорегулятором NN Predictive Controller и выполнено его проектирование. Составлена цифровая модель системы регулирования электрического режима дуговой сталеплавильной печи типа ДСП-200 с нейрорегулятором. Представлены результаты компьютерного моделирования электрического режима дуговой сталеплавильной печи с нейросетевой системой управления. Полученные результаты показали улучшение показателей динамики регулирования длин дуг, в том числе повышение динамической точности стабилизации координат электрического режима на заданных уровнях, при использовании нейрорегулятора по сравнению с серийным регулятором мощности дуг при обработке как детерминированных, так и случайных возмущений по длине дуги.

Запропоновано структуру системи регулювання електричного режиму дугової сталеплавильної печі з нейрорегулятором NN Predictive Controller та виконано його проектування. Створено цифрову модель системи регулювання електричного режиму дугової сталеплавильної печі типу ДСП-200 з нейрорегулятором. Подано результати комп'ютерного моделювання електричного режиму дугової сталеплавильної печі з нейромережевою системою керування. Отримані результати досліджень показали поліпшення показників динаміки регулювання довжин дуг, в тому числі підвищення динамічної точності стабілізації координат електричного режиму на заданих рівнях, при використанні нейрорегулятора у порівнянні з роботою серійного регулятора потужності дуг при відпрацюванні як детермінованих, так і випадкових збурень за довжиною дуги.

In this article the authors substantiate reasonability of improvement of the arc power regulation system using the neuro-network control principles, propose the structure of the arc furnace electric mode control system with a NN Predictive Controller and execute its design. A digital model of electric mode control system with a neuro-controller for the EAF-200 type has been created. The results of computer simulation of electric mode of a steelmaking arc furnace with a neuro-network control system have also been obtained. The derived results of the research have demonstrated improvement of arcs lengths control dynamics under the use of a neuro-controller as compared to the performance of a serial arc power controller adjustment as well as occasional disturbances according to the arc's length.

Паранчук Я. С.

д-р техн. наук, проф. НУ «ЛП»

Мацігін А. Б.

аспірант НУ «ЛП»
matsygin@ukr.net

УДК 681.51, 621.365, 255:29.1

Паранчук Я. С., Мацигін А. Б.

СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ДОВЖИН ДУГ ДУГОВОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ НА ОСНОВІ НЕЙРОРЕГУЛЯТОРА

Дугові сталеплавильні печі (ДСП) знайшли широке застосування у чорній металургії для виробництва легованих сталей та прецизійних сплавів. Електричний режим (ЕР) упродовж плавлення характеризується нестабільністю і супроводжується постійними коливаннями потужності дуг. Параметри стохастичних характеристик збурень упродовж плавки змінюються у широких межах та корелюються з фізико-хімічним та температурним режимом шихти і розплаву. Відхилення електричного режиму від раціонального (оптимального) спричинюють погіршення показників електротехнологічної ефективності роботи дугової печі.

Існуючі системи автоматичного регулювання (САР) електричного режиму (ЕР) (регулятори потужності дуг) дугових сталеплавильних печей (ДСП) не задовольняють у повній мірі сучасним жорстким вимогам до

динамічної та статичної точності підтримання координат електричного режиму на рівні заданих, зокрема оптимальних, значень. Ці вимоги висуваються проблемами енергозбереження, енергоефективності, електромагнітної сумісності режимів ДСП та електромережі (енергосистеми), а також технологічним процесом чи диктуються проблемою екології.

Причиною незадовільної динамічної та статичної точності САР ДСП є наявність суттєвих нелінійностей, зон нечутливості та люфтів у системі регулювання, об'єкті керування та у механізмі переміщення електродів, а також неперервна дія координатних (за довжинами дуг) та параметричних збурень, що мають випадковий нестаціонарний характер. Ці фактори, а також значна інерційність існуючих САР, призводять до значної дисперсії координат ЕР, що негативно впливає на показники роботи ДСП [1]. Силові кола і системи керування ДСП є різко вираженими нелінійними об'єктами зі стохастичними нестаціонарними навантаженнями. Створення точних математичних моделей їх режимів є надто складною, а у багатьох випадках і не вирішуваною задачею. Тому синтезувати оптимальні адаптивні режими плавлення на основі методів та підходів класичної теорії оптимального керування є неможливо. З огляду на це, доцільним і ефективним, на наш погляд, є використання для цієї задачі новітніх методів оптимального керування, зокрема на основі методів теорії нейронних мереж [2, 3].

Метою даної роботи є удосконалення існуючих САР довжин (потужності) дуг дугової сталеплавильної печі на основі використання нейромережевих принципів синтезу оптимального керування.

Для поліпшення показників динаміки опрацьовано структуру електромеханічної САР довжин дуг з нейрорегулятором (НР) типу NN Predictive Controller (рис. 1).

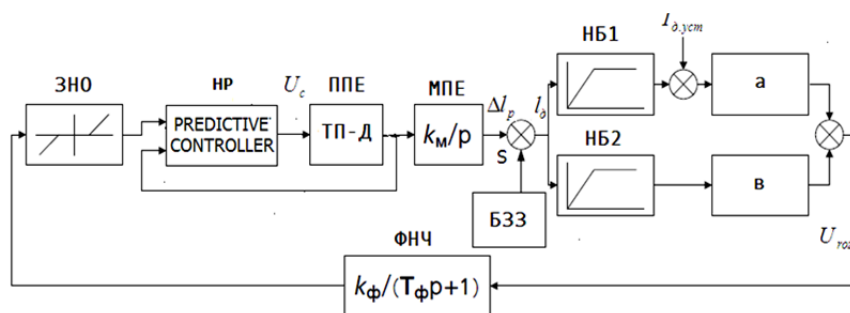


Рис. 1. Функціональна блок-схема системи регулювання довжин дуг дугової сталеплавильної печі з нейрорегулятором типу NN Predictive Controller

У цій системі двигун постійного струму через редуктор здійснює переміщення електроду, регулюючи довжини дуг, впливаючи відповідним чином на значення напруг, струмів та потужностей дуг. Привод переміщення електродів (ППЕ) реалізований за схемою «тиристорний перетворювач – двигун постійного струму» (ТП-Д) з формуючими від’ємними зворотними зв’язками за струмом та швидкістю двигуна, а механізм переміщення електроду (МПЕ) є типу «шестерня – рейка». Момент навантаження складає реактивний момент сухого і в’язкого тертя, невеликий момент дисбалансу рухомих мас та значний динамічний момент. Регулювання довжин дуг на більшості ДСП виконується за диференціальним законом $U_{roz} = aU_d - bI_d$, де U_d, I_d – усереднені напруга та струм дуги, a, b – сталі коефіцієнти, що задають усталений електричний режим [1].

Для синтезу керування у схемі використано нейрорегулятор типу NN Predictive Controller, що включений на вході тиристорного перетворювача приводу переміщення електроду. Нейрорегулятор неперервно формує сигнал керування на переміщення електроду $U_c = f(U_{roz})$. Функціональна схема системи регулювання довжин дуг з нейрорегулятором NN Predictive Controller показана на рис. 2. Проектування нейрорегулятора включало етап ідентифікації моделі об’єкту керування та етап синтезу закону керування. Для ідентифікації моделі об’єкту керування на основі нейронної мережі (НМ) розроблено Simulink-модель електроприводу та механізму переміщення електродів.

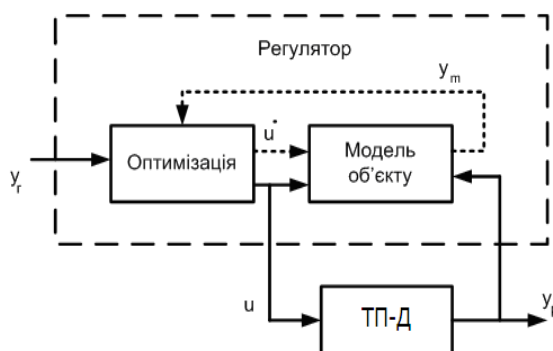


Рис. 2. Схема включення нейрорегулятора NN Predictive Controller у систему керування електричним режимом дугової сталеплавильної печі

На етапі ідентифікації розробляється модель керованого об’єкту у вигляді штучної нейронної мережі, котра на етапі синтезу використовується для параметричного синтезу нейрорегулятора [2, 3].

Схема ідентифікації моделі об’єкту керування показана на рис. 3. Вона включає модель процесу керування у вигляді нейронної мережі, яка повинна бути навчена в автономному режимі так, щоб мінімізувати похибку між реакціями процесу і моделі $e = y_p - y_m$ на послідовності пробних сигналів u .

Для нейрорегулятора використовується мережа з прямою передачею сигналу, що характеризується наявністю зв’язків між нейронами тільки в прямому напрямі без зворотних зв’язків у середині мережі.

Для даної нейронної мережі задано прихований шар, що містить вісім нейронів, три елементи запізнення на вході і два на виході. Розмір навчальної вибірки $N_B = 10000$, а крок дискретизації $\Delta t = 0,01$ с. Елементи запізнення включено на вході і на виході нейронної мережі, що дає змогу додати такій прямонапрявленій мережі динамічних властивостей. Вектори входу нейронної мережі представлялися числовими масивами у форматі double, що відповідає груповому представленню даних. Simulink-модель об’єкту керування представлялася нейронній мережі для навчання з метою відтворення його режимів. За результатами

моніторингу цифрової моделі об'єкту керування формувалися тренувальні набори даних, які використовувалися для навчання нейронної мережі, що виконувалося з використанням функції `trainlm`, яка реалізує алгоритм Левенберга-Марквардта. Синтез нейрорегулятора виконувався активацією блоку NN Predictive Controller з бібліотеки додатку Simulink [4].

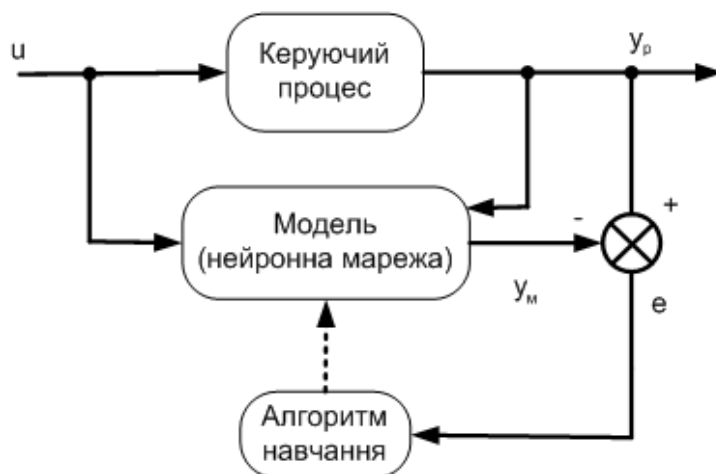


Рис. 3. Схема ідентифікації моделі об'єкту керування

Після ідентифікації моделі об'єкту керування, у нейрорегуляторі NN Predictive Controller виконано оптимальні налаштування його параметрів. Дане керування використовує принцип «горизонту, що віддаляється», за яким нейромережева модель керуючого процесу прогнозує реакцію об'єкту керування на визначеному інтервалі часу в майбутньому. Прогноз використовується програмно-чисельною оптимізацією для того, щоб обчислити керуючий сигнал, який мінімізує наступний критерій якості керування:

$$j = \sum_{j=N_1}^{N_2} (y_r(t+j) - y_m(t+j))^2 + \rho \sum_{j=1}^{N_U} (u'(t+j-1) - u'(t+j-2))^2, \quad (1)$$

де N_1 , N_2 , N_U – задають границі, всередині котрих обчислюється похибка відслідкування і потужність керуючого сигналу;

u' – описує пробний керуючий сигнал;

y_r – бажана реакція моделі керуючого процесу;

y_m – істина реакція моделі керуючого процесу;

ρ – визначає вплив, який здійснює потужність керування на критерій якості (1).

Для дослідження ефективності використання нейромережевих принципів керування на основі нейрорегулятора NN Predictive Controller створено математичну та цифрову моделі системи регулювання потужності дуг дугової сталеплавильної печі типу ДСП-200 з регулятором потужності дуг типу АРДМ-Т-12, функціональна блок-схема якої показана на рис. 1.

Нелінійний блок НБ1 (рис. 1) відтворює лінеаризовану в околі робочої точки зовнішню характеристику печі $I_\delta(I_\delta)$. Дуговий проміжок поданий статичною характеристикою дуги $U_\delta = g\psi(I_\delta)$, де g – провідність стовпа дуги, що відтворювалася у нелінійному блоці НБ2. Механізм переміщення електрода у Simulink-моделі подавався одномасовою ланкою. На виході суматора формувалася сигнал розузгодження U_{roz} , що подавався на вхід системи для формування сигналу на переміщення електроду.

Фільтр низької частоти (ФНЧ) відтворював інерційність процесу формування сигналу $U_c = f(U_{роз})$ і разом з елементом «зона нечутливості – обмеження» ЗНО та суматором S подавав модель блоку формування сигналу розузгодження $U_{роз}$. Блок задання збурень БЗЗ формував часові залежності детермінованих та випадкових збурень за довжиною дуги $l_{зб}(t)$ для дослідження САР на різних стадіях електросталеплавлення.

Ефективність розробленої САР електричного режиму з нейрорегулятором NN Predictive Controller оцінювалася порівнянням відповідних показників роботи, зокрема показників динаміки, з відповідними показниками серійного регулятора потужності дуг АРДМ-Т-12. Для цього виконувались математичні експерименти на створених Simulink-моделях САР електричного режиму дугової печі ДСП-200 з та без нейрорегулятора NN Predictive Controller відповідно.

На рис. 4, 5 показано отримані часові залежності процесів $l_{зб}(t)$, $l_{д}(t)$, $I_{д}(t)$ та $U_{д}(t)$ при роботі САР ЕР печі ДСП-200 без та з нейрорегулятором NN Predictive Controller при дії випадкових збурень $l_{д}(t)$ відповідно.

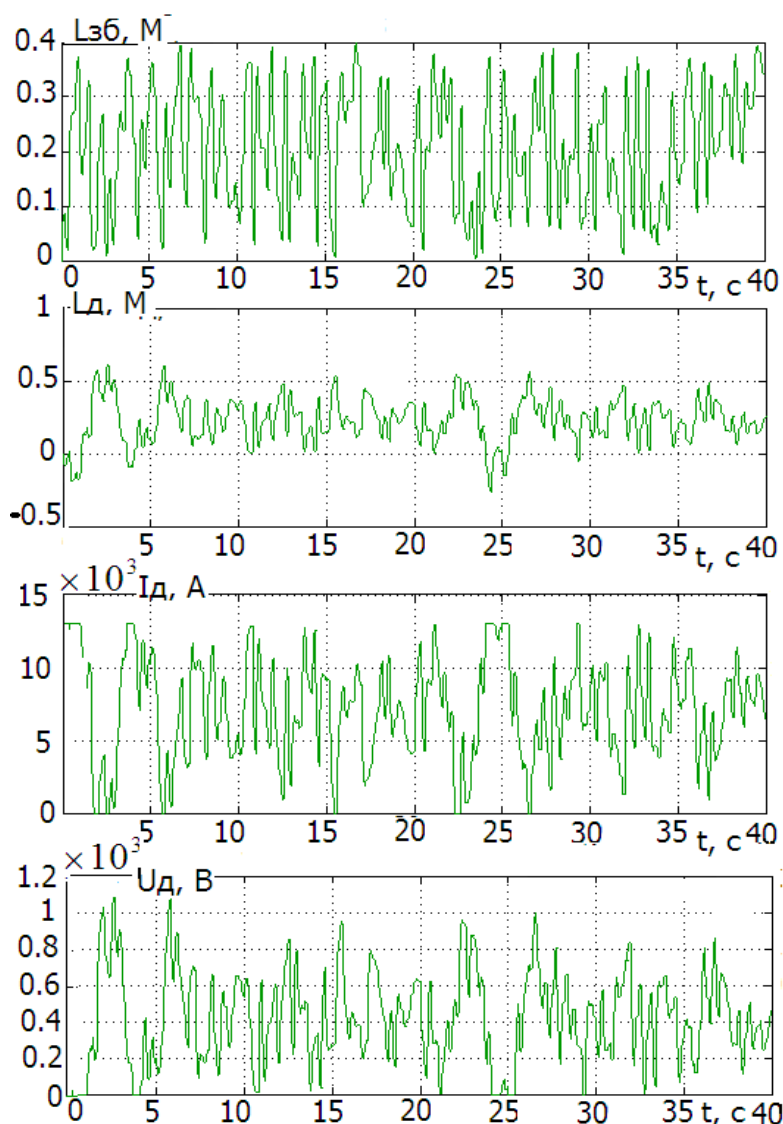


Рис. 4. Часові залежності процесів $l_{зб}(t)$, $l_{д}(t)$, $I_{д}(t)$ та $U_{д}(t)$ без використання нейрорегулятора NN Predictive Controller

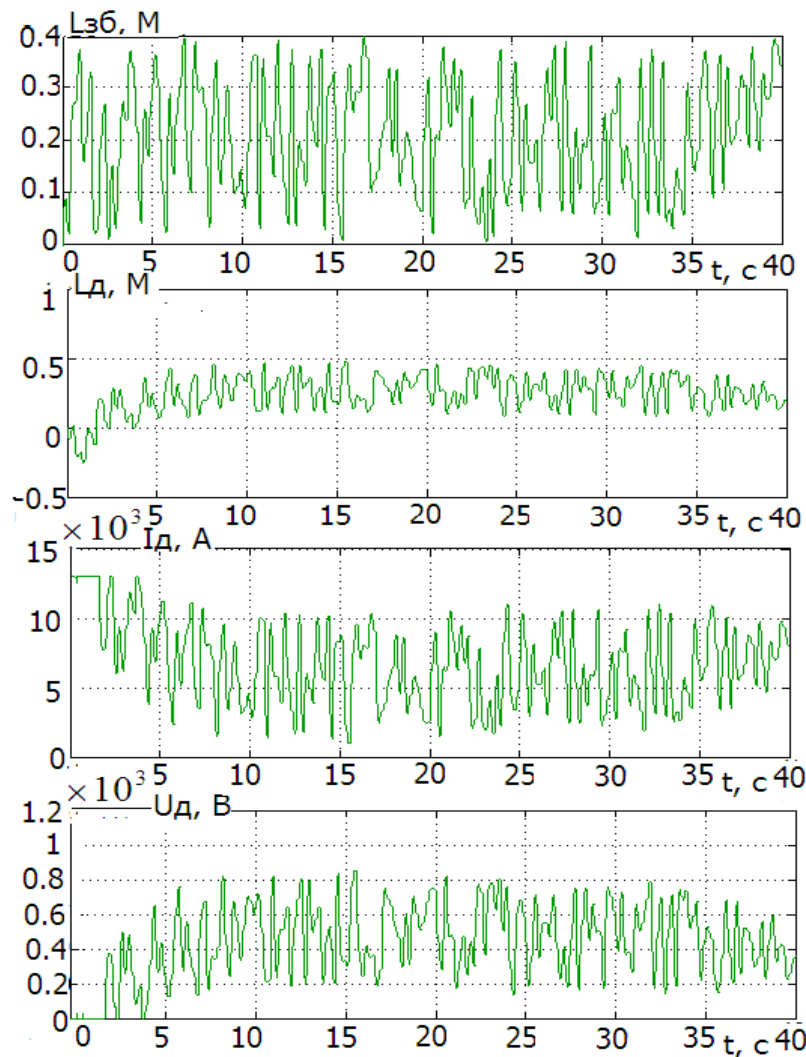


Рис. 5. Часові залежності процесів $l_{зб}(t)$, $l_{д}(t)$, $I_{д}(t)$ та $U_{д}(t)$ з використанням нейрорегулятора NN Predictive Controller

ВИСНОВКИ

Використання розробленої структури САР електричного режиму ДСП з нейроконтролером NN Predictive Controller дає змогу підвищити динамічну точність стабілізації координат електричного режиму на заданих рівнях в умовах неперервної дії випадкових збурень за довжиною дуги. Час регулювання при відпрацюванні детермінованих збурень зменшується на 30–40 %, а дисперсія координат електричного режиму у квазіусталених режимах при дії випадкових збурень за довжиною дуги зменшується в 1,4–1,6 разів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Минеев А. Р. Моделирование электротехнологических процессов и установок / А. Р. Минеев, А. И. Коробов, М. Я. Погребисский. – М. : Спутник+, 2004. – 124 с.
2. Терехов В. А. Нейросетевые системы управления / В. А. Терехов, Д. В. Ефимов, И. Ю. Тюкин. – М. : ИПРЖР, 2002. – 480 с.
3. Кузнецов Б. И. Синтез нейроконтроллера с предсказанием для двухмассовой электромеханической системы / Б. И. Кузнецов, Т. Е. Василец, А. А. Варфоломеев // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2008. – № 3. – С. 27–32.
4. Медведев В. С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В. С. Медведев, В. Г. Потемкин. – МИФИ, 2003. – 489 с.

Стаття надійшла до редакції 11.10.2012 р.