

## ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ТА НАПРУГ ДУГ ДУГОВОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ НА ОСНОВІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

**Вступ.** В дугових сталеплавильних печах (ДСП) перетворення електричної енергії у технологічне тепло плавлення шихти зосереджується у дугових проміжках трифазної системи дуг. У кожному електричному розряді виділення енергії концентрується у малих об'ємах, що дає змогу отримати високі температури у плавильному просторі печі. Умови та режими горіння дуг в ДСП упродовж плавки неперервно змінюються. Електричні дуги в силовому колі дугової печі є суттєво нелінійними елементами, а їх еквівалентний опір коливається в широких межах: від нуля (експлуатаційне коротке замикання) до нескінченності (обрив дуги).

**Постановка задач дослідження.** Реалізація бажаних показників динамічної та статичної точності введення активної потужності у плавильний простір вимагає точної оперативної інформації про поточні значення електричних параметрів та координат дугових розрядів і у першу чергу – напруг на дугах. Останнє диктується тим, що у функції напруг та струмів дуг формуються сигнали на переміщення електродів в типових диференційних електромеханічних (електрогідравлічних) регуляторах потужності дуг (системах регулювання положення електродів). Особливо гостро постає задача точного експлуатаційного контролю напруг на дугах в двоконтурних системах регулювання координат електричного режиму (ЕР), у яких за причини зміни залежності штучної зовнішньої характеристики дугової печі регулювання довжин дуг доцільно реалізувати за законом відхилення напруг дуг від заданого значення (напруги уставки системи регулювання положення електродів) [1].

**Аналіз стану проблеми.** Через низку відомих конструктивних та технологічних факторів, реалізувати неперервне упродовж плавки пряме вимірювання напруг на дугах ДСП неможливо. Тому в серійних регуляторах потужності дуг (АРДМ-Т, АРДГ тощо) як сигнал напруги на дугах приймається напруга між точкою під'єднання гнучких шинопроводів до вихідних шин пічного трансформатора і корпусом печі. Цей сигнал відрізняється від напруги на дугах кожної фази на величину падіння напруги на елементах короткої мережі (КМ) печі – гнучких та жорстких шинопроводах, електроді та контактному з'єднанні електрода зі струмопроводом.

Відома схема, у якій в коло вимірювання напруги на стовпі дуги послідовно включається опір  $z$ , падіння напруги на якому у певних режимах навантаження компенсує напругу на вказаних вище елементах короткої мережі печі [2]. Реально ж у процесі плавки в силу низки відомих факторів індуктивність та опір вказаних елементів короткої мережі неперервно змінюються і у широких межах, а параметри опору  $z$  є сталими. Тому компенсація є частковою і точність вимірювання напруг на дугах є невисокою. У [3] запропоновано метод ідентифікації параметрів силового кола печі та оперативного розрахунку напруг на дугах. Але у цій детермінованій моделі не враховується залежність активного опору короткої мережі від величини та рівня спотворення синусоїдності струмів дуг, а значення ідентифікованих параметрів короткої мережі на періоді зміни напруги приймаються сталими.

**Метою дослідження** є розроблення рішень для підвищення точності експлуатаційного контролю напруг на дугах дугової сталеплавильної печі.

**Виклад основного матеріалу.** Зважаючи на динамічний, стохастичний, нестационарний та несиметричний характер зміни параметрів дугових розрядів і спричинюваний цим відповідний характер зміни параметрів елементів силового кола трифазної системи дуг без нульового провідника, доцільним підходом для реалізації експлуатаційного контролю напруг на дугах дугової печі є використання нейромережних принципів ідентифікації.

Розроблена за такого підходу схема експлуатаційного контролю напруг на дугах дугової сталеплавильної печі без приєднань всередині печі, що функціонує на основі штучної нейронної мережі, показана на рис. 1.

У кожній фазі електричного кола вимірювання напруги на стовпі дуги, напруга на первинній обмотці вимірювального трансформатора напруги  $TV$  дорівнює сумі падінь напруги на стовпі дуги  $u_{\partial A}, u_{\partial B}, u_{\partial C}$ , падінь напруги на активних опорах  $R_A, R_B, R_C$  короткої мережі, падінь напруги на власних  $L_A, L_B, L_C$  та взаємних  $L_{AB}, L_{BC}, L_{CA}$  індуктивностях короткої мережі. Так для вимірювального кола напруги на дузі фази А (кола первинної обмотки вимірювального трансформатора напруги  $TV_A$ ) рівняння балансу напруг є таким:

$$u_{\phi A} = u_{\partial A} + R_A i_{\partial A} + L_A \frac{di_{\partial A}}{dt} + L_{AB} \frac{di_{\partial B}}{dt} + L_{CA} \frac{di_{\partial C}}{dt},$$

де  $u_{\phi A}$  – напруга між точкою  $m$  силового кола фази А та нульовою точкою  $0'$  печі (рис.1).

Особливістю запропонованої моделі вимірювання напруг на дугах і схеми, що її відтворює, є неперервна ідентифікація поточних значень активних опорів  $R_A, R_B, R_C$  та власних  $L_A, L_B, L_C$  і взаємних  $L_{AB}, L_{BC}, L_{CA}$  індуктивностей короткої мережі печі між точками  $m-0'$  силового кола живлення трифазної системи дуг на основі штучної нейронної мережі.

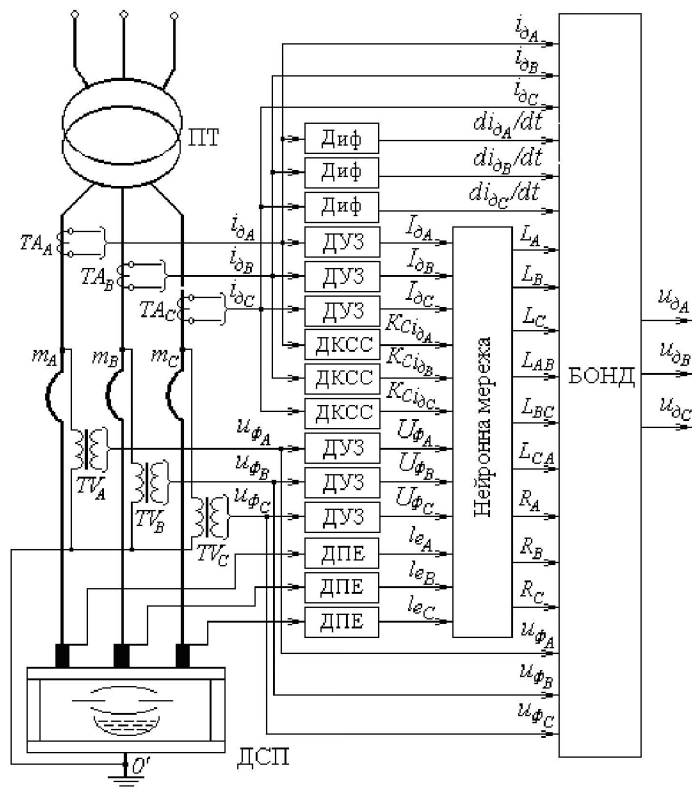


Рис.1. Схема вимірювання напруг на дугах ДСП

струмів дуг  $TA$ , вектор похідних струмів дуг  $\vec{di}_\partial / dt = |i_{\partial A} / dt, i_{\partial B} / dt, di_{\partial C} / dt|$ , що формується на виходах диференціаторів Диф та вектор напруг фаз  $\vec{u}_\phi = |u_{\phi A}, u_{\phi B}, u_{\phi C}|$  поступають на вхід блоку обчислення напруг на дугах БОНД, у якому вихідний вектор напруг на дугах  $\vec{u}_\partial$  розраховується за виразами:

$$\begin{aligned}
 u_{\partial A} &= u_{\phi A} - R_A i_{\partial A} - L_A \frac{di_{\partial A}}{dt} - L_{AB} \frac{di_{\partial B}}{dt} - L_{CA} \frac{di_{\partial C}}{dt}; \\
 u_{\partial B} &= u_{\phi B} - R_B i_{\partial B} - L_B \frac{di_{\partial B}}{dt} - L_{AB} \frac{di_{\partial A}}{dt} - L_{BC} \frac{di_{\partial C}}{dt}; \\
 u_{\partial C} &= u_{\phi C} - R_C i_{\partial C} - L_C \frac{di_{\partial C}}{dt} - L_{BC} \frac{di_{\partial B}}{dt} - L_{CA} \frac{di_{\partial A}}{dt}.
 \end{aligned}$$

Еталонні значення  $L_A^e, L_B^e, L_C^e, L_{AB}^e, L_{BC}^e, L_{CA}^e$  вихідного вектора нейронної мережі  $\vec{V}^e$  на кожному кроці навчання подаються розв'язком системи алгебричних рівнянь шостого порядку, яку складають рівняння балансу напруг на елементах силового кола печі між точками  $m-\theta$  у шести послідовних моментах переходу струмів дуг через нуль у процесі сталеплавлення (пасивний експеримент). У цих моментах часу напруги на дугах та активних опорах елементів КМ в певній фазі дорівнюють нулю [3]. Вектор еталонних значень активних опорів  $R_A^e, R_B^e, R_C^e$  розраховується за отриманими залежностями у спеціально поставлених активних експериментах. У цих експериментах еталонні значення активних опорів ідентифікуються з врахування реального існуючого поверхневого ефекту та зростання його прояву при спотворенні синусоїдності струмів дуг.

**Висновок.** 1. Використання запропонованої уточненої моделі оперативної ідентифікації поточних значень параметрів короткої мережі дугової печі та її реалізація на основі штучної нейронної мережі дає змогу підвищити точність експлуатаційного контролю напруг на дугах ДСП. 2. Підвищення точності вимірювання напруг на дугах позитивно впливає на якість динамічної та статичної точності стабілізації координат електричного режиму, і як наслідок, поліпшує показники електротехнологічної ефективності плавлення сталей в ДСП.

#### Перелік посилань.

[1] Паранчук Я.С. Дослідження законів регулювання довжини дуги у двоконтурній системі керування режимами дугової сталеплавильної печі // Вісник Технологічного університету Поділля. Хмельницький: ТУП, 2002. - Т.1(44). - №3. - С.173-177. [2] Марков Н.А., Баранник О.В. Эксплуатационный контроль электрических параметров дуговых печей. М.: Энергия, 1973. - 104 с. [3] А.С. №1086557 СССР, МКИ H05B 7/148. Устройство для определения электрических параметров токопровода и напряжения дуг трехфазной дуговой печи // Б.Д.Денис, Я.Ю.Марущак. - Оpubл. 15.04.84. - Бюл. №14.

На вхід нейронної мережі неперервно подаються усереднені на періоді (діючі чи середньовипрямлені) значення струмів дуг  $I_{\partial A}, I_{\partial B}, I_{\partial C}$ , напруг між точками  $m-\theta$   $U_{\phi A}, U_{\phi B}, U_{\phi C}$  силового кола живлення трифазної системи дуг, коефіцієнтів спотворення синусоїдності струмів дуг  $K_{\partial A}, K_{\partial B}, K_{\partial C}$  та сигнали положення електродів кожної фази  $I_{eA}, I_{eB}, I_{eC}$  відносно певної базової (нульової точки). Зазначені елементи вхідного вектора штучної нейронної мережі формуються на виходах давачів усереднених значень ДУЗ струмів дуг та напруг фаз, давачів коефіцієнта спотворення синусоїдності струмів дуг ДКСС та давачів положення електродів ДПЕ відповідно.

Вихідний вектор ідентифікованих поточних значень параметрів короткої мережі печі  $\vec{V} = |L_A, L_B, L_C, L_{AB}, L_{BC}, L_{CA}, R_A, R_B, R_C|$ , а також вектор миттєвих значень струмів дуг  $\vec{i}_\partial = |i_{\partial A}, i_{\partial B}, i_{\partial C}|$ , що формується на виходах вимірювальних трансформаторів