

**Modelarea, identificarea și conducerea sistemelor cu arc electric. Aplicații privind
cuptorul cu arc electric**

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul de doctorat INGINERIA SISTEMELOR

autor ing. Loredana GHIORGHIONI (GHIORMEZ)

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Octavian PROȘTEAN

luna 10 anul 2017

În cadrul prezentei lucrări se abordează domeniul de actualitate al conducerii proceselor metalurgice folosind metode convenționale și neconvenționale (logica fuzzy) cu particularizare la problematica modelării și conducerii procesului de elaborare al oțelului în cuptorul cu arc electric trifazat cu acțiune directă.

Lucrarea de doctorat, cu un text de bază de 221 pagini este structurată pe 5 capitole, se bazează pe o listă bibliografică de 125 de titluri de actualitate, edificatoare pentru cercetările din teză.

În capitolul 1 sunt prezentate motivația și obiectivele tezei, avantajele și dezavantajele cuptoarelor cu arc electric trifazate, problemele care pot să apară în timpul funcționării acestor instalații, precum și conținutul tezei.

Capitolul 2 prezintă informațiile necesare cunoașterii procesului de elaborare al oțelului, a instalației cuptorului cu arc electric, a identificării și a conducerii procesului.

Sunt prezentate modelele matematice abordate în literatura de specialitate care simulează comportamentul arcului electric, respectiv strategiile/structurile de conducere sintetizate în literatura de specialitate pentru conducerea procesului de elaborare al oțelului utilizând cuptoarele cu arc electric.

De asemenea este prezentată o clasificare a cuptoarelor cu arc electric fiind precizate principalele mărimi care caracterizează aceste instalații din punct de vedere energetic, dar și fenomenul care determină apariția arcului electric.

Pentru o cunoaștere cât mai precisă a cuptoarelor cu arc electric cu acțiune directă de tip EBT sunt prezentate elementele constructive, regimurile de funcționare, echipamentul electric și caracteristicile de funcționare ale acestora, iar pentru o cunoaștere cât mai precisă a procesului de elaborare al oțelului sunt prezentate operațiile și fazele tehnologice din cuptor și problemele conducerii procesului.

De asemenea sunt prezentate sistemele actuale de reglare automată a instalației cuptorului precum și sisteme de conducere bazate pe tehnici inteligente sintetizate în literatura de specialitate.

Capitolul 3 debutează cu analizarea datelor achiziționate de la instalația reală, prezentându-se o schemă electrică de funcționare a cuptorului cu arc electric ca și consumator trifazat simetric, schemă care este utilizată la implementarea modelelor matematice.

S-a prezentat un model matematic existent în literatura de specialitate bazat pe reprezentarea caracteristicii curent-tensiune a arcului care este utilizat pentru simularea comportamentului arcului (MM-0), apoi s-a dezvoltat un model matematic extins al arcului electric (MM-LIN) care extinde zona de funcționare a arcului prezentându-se și o comparație între aceste două modele.

S-au propus alte patru modele matematice bazate pe reprezentarea caracteristicii curent-tensiune a arcului (MM-EXP1, MM-EXP2, MM-HL, MM-DE) utilizate atât pentru simularea comportamentului arcului electric cât și în sinteza structurilor de conducere considerate, respectiv un model care simulează funcționarea întregii instalații a cuptorului cu arc electric trifazat.

Pentru dezvoltarea modelelor matematice care simulează comportamentul arcului, caracteristica curent-tensiune a arcului a fost împărțită în mai multe zone de funcționare, fiecare zonă având o anumită variație (liniară, exponențială).

În vederea implementării diferitelor scenarii de simulare s-au dezvoltat în Matlab interfețe grafice utilizator care permit ajustarea valorilor parametrilor modelelor într-un anumit domeniu stabilit.

Pentru aceste cinci modele ale arcului au fost realizate analize comparative privitoare la influența parametrilor modelelor arcului, dar și a tensiunii din secundarul transformatorului asupra tensiunii, curentului și puterii arcului electric.

Modelele propuse au fost simulate cu valori reale ale instalației tehnologice fiind astfel posibilă validarea lor prin compararea datelor obținute prin simulare cu cele achiziționate de la cuptorul real, pentru fiecare validare fiind ilustrate caracteristicile curent-tensiune a arcului, respectiv a cuptorului, dar și forma de undă a tensiunii din punctul de măsură din secundarul transformatorului, respectiv a curentului arcului.

De asemenea au fost dezvoltate modele bazate pe rețele neuronale artificiale de tip perceptron multi-strat (MLP) sau rețele cu funcții de bază radiale (RNA RBF) care au capacitatea de a învăța comportamentul sistemului. Un alt tip de rețea neuronală dezvoltată a fost cea de tip ANFIS (adaptive neuro-fuzzy inference system) care permite prescrierea valorilor curenților și ale tensiunilor arcului electric în funcție de datele achiziționate de la instalația tehnologică reală, luând în considerare un anumit pas de eșantionare.

În funcție de analiza comparativă a modelelor matematice bazate pe caracteristica curent-tensiune a arcului s-a ales modelul exponențial bazat pe caracteristica curent-tensiune (MM-EXP1) pentru implementarea sistemelor de conducere.

În capitolul 4 s-au sintetizat sisteme de conducere utilizate în vederea obținerii puterii maxime sau a unei puteri impuse a arcului electric prin modificarea vitezei și a sensului de deplasare al electrozilor de la cuptorul cu arc electric trifazat.

În cadrul sistemelor de conducere dezvoltate mărimea reglată a fost curentul arcului sau puterea arcului.

Au fost sintetizate și analizate mai multe tipuri de sisteme de conducere considerate reprezentative pentru procesul avut în vedere: sistem cu regulator fuzzy cu o intrare și o ieșire; sistem cu un regulator fuzzy cu două intrări și o ieșire; sisteme bazate pe regulatoare clasice de tip proporțional (P), proporțional-integrator (PI), proporțional-derivativ (PD), proporțional-integrator-derivativ (PID); sisteme bazate pe strategii de conducere adaptivă în care se utilizează un regulator fuzzy pentru a seta parametrii reguletoarelor clasice.

Pentru implementarea sistemelor de conducere bazate pe logica fuzzy sunt considerate funcții de apartenență de tip triunghiular, trapezoidal sau mixt (trapezoidal la capete și triunghiular în rest), pentru fiecare variabilă lingvistică fiind utilizate 7 mulțimi fuzzy.

În cazul în care mărimea de referință este curentul arcului, pentru fiecare dintre sistemele de conducere propuse s-au prezentat răspunsurile obținute pentru: variația treaptă a măririi de referință; variația referinței sub forma unor succesiuni de trepte; introducerea unei perturbații de tip treaptă în proces în cazul unei referințe constante; introducerea unei perturbații de tip succesiuni de trepte în proces în cazul unei referințe constante.

Sistemele de conducere propuse au fost analizate și comparate între ele pentru a evidenția care dintre acestea oferă performanțe mai bune referitoare la timpul de răspuns, suprareglajul obținut, respectiv la stabilitatea sistemului.

În cazul în care mărimea de referință este puterea arcului, pentru fiecare dintre sistemele de conducere propuse s-au prezentat răspunsurile obținute la: introducerea unei perturbații de tip succesiuni de trepte în proces în cazul unei referințe variabile; modificarea treptei de setare a transformatorului și variația treaptă a referinței, respectiv introducerea unei perturbații de tip succesiuni de trepte în proces.

Concluzia care poate fi desprinsă din dezvoltările considerate în capitolul 4 este că regulatoarele bazate pe logica fuzzy respectiv pe control adaptiv constituie soluții sigure, eficiente și performante pentru problemele care pot să apară în cadrul procesului de elaborare al oțelului prin intermediul cuptorului cu arc electric.

Capitolul 5 concluzionează demersul științific întreprins prin cercetările din teză, focalizându-se pe concluziile și contribuțiile aduse. Sunt prezentate de asemenea tendințele de cercetare viitoare.

Bibliografie semnificativă

1. Anuradha, B. P. Muni și A. R. Kumar, „Modeling of electric arc furnace and control algorithms for voltage flicker mitigation using DSTATCOM”, In Power Electronics and Motion Control Conference, 2009, IPEMC'09, IEEE 6th International, 2009, pp. 1123-1129.
2. K. Babulu și D. Kranthi Kumar, „Fuzzy self-adaptive PID controller design for electric heating furnace”, International Journal of Engineering Inventions 1, 2012, no. 5, pp. 10-21.
3. M. Banejad, R.A. Hooshmand, M.T. Esfahani, „Exponential-Hyperbolic Model for Actual Operating Conditions of Three Phase Arc Furnace”, American Journal of Applied Sciences, 2009, vol. 6, no. 8, pp. 1539 – 1547.
4. D. C. Bhonsle și R. B. Kelkar, „New time domain electric arc furnace model for power quality study”, In Power Electronics (IICPE), 2014 IEEE 6th India International Conference on, IEEE, pp. 1-6.
5. G. W. Chang, Y. J. Liu, și C. I. Chen, „Modeling Voltage-Current Characteristics of an Electric Arc Furnace Based on Actual Recorded Data: A Comparison of Classic and Advanced Models”, Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE, 2008, pp. 1 – 6.
6. G.W. Chang, Cheng-I Chen, Yu-Jen Liu, „A Neural-Network-Based Method of Modeling Electric Arc Furnace Load for Power Engineering Study”, Power Systems, IEEE Transactions, vol. 25 , 2010, pp. 138 – 146.
7. G. W. Chang, C. I. Chen și Y. F. Teng, „Radial-basis-function-based neural network for harmonic detection”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57(6), pp. 2171-2179.
8. G. W. Chang, M. F. Shih, Y. Y. Chen și Y. J. Liang, „A Hybrid Wavelet Transform and Neural-Network-Based Approach for Modelling Dynamic Voltage-Current Characteristics of Electric Arc Furnace”, IEEE transactions on power delivery, 2014,

- vol. 29, no.2, pp. 815-824.
9. M.A. Golkar, M. Tavakoli Bina și S. Meschi, „A Novel Method of Electrical Arc Furnace Modeling for Flicker Study”, K.N.Toosi University of Technology, Electrical Engineering Department, Tehran - Iran, INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGIES AND POWER QUALITY (ICREPQ'07)", Sevilla, March 2007.
 10. N. Golovanov, I. Șora și alții, „Electrotermie și electrotehnologii”, vol I, Editura Tehnică, București, 1997.
 11. Y. Li, Z. Z. Mao, Y. Wang, P. Yuan și M. X. Jia, „Model Predictive Control Synthesis Approach of Electrode Regulator System for Electric Arc Furnace”, Journal of Iron and Steel Research, International, 2011, vol.18, no. 11, pp. 20-25.
 12. P. S. Londhe, B. M. Patre și A. P. Tiwari, „Fuzzy-like PD controller for spatial control of advanced heavy water reactor”, Nuclear Engineering and Design 274 (2014), pp. 77-89.
 13. D. O. Melinte, „Control and Adjustment Methods for the Electric Parameters of Electric Arc Furnaces”, SISOM 2009 and Session of the Commission of Acoustics, Bucharest 28-29 May, 2009, pp. 453 – 458.
 14. M. Moghadasian și E. Alenasser, „Modelling and Artificial Intelligence-Based Control of Electrode System for an Electric Arc Furnace”, Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 2011.
 15. M. Panoiu, C. Panoiu, „Modelarea și simularea proceselor neliniare în electrotermie”, Editura Mirton, Timișoara, 2008.
 16. A. Parsapoor, A. Mohamad și K. Arash, „Adaptive control of the electric arc furnace electrodes using Lyapunov design”, In Control, Automation and Systems, 2007, ICCAS'07, International Conference on, 2007, IEEE, pp. 1617-1622.
 17. M. Taslimian, F. Shabaninia, M. Vaziri și S Vadhva, „Fuzzy type-2 electrode position controls for an Electric Arc Furnace”, In Information Reuse and Integration (IRI), 2012 IEEE 13th International Conference on, 2012, IEEE, pp. 498-501.
 18. Y. Wang, Z. Z. Mao, H. X. Tian, Y. Li și P. Yuan, „Modeling of electrode system for three-phase electric arc furnace”, Journal of Central South University of Technology, 2010, 17, pp. 560-565.
 19. H-J, Wang, Y-M Li Y-jun Yue, „Application of BP neural network intelligent PID controller based on GA in electrode regulator systems of electric arc furnace”, In Communication Software and Networks (ICCSN), 2011 IEEE 3rd International Conference on, 2011, IEEE, pp. 198-202.
 20. L. I. Yan, et al., „Model predictive control synthesis approach of electrode regulator system for electric arc furnace”, Journal of Iron and Steel Research, International, 2011, vol. 18, no. 11, pp. 20-25.