



A XVI-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2016

DETERMINAREA OPTIMALĂ A PARAMETRILOR GENERATORULUI ELECTRIC ASINCRON CU DOUĂ ÎNFĂȘURĂRI STATORICE – MODELUL MATEMATIC

Sorin Ioan DEACONU, Lucian Nicolae TUTELEA, Gabriel Nicolae
POPA, Maria NĂSĂUDEAN, Carmen MOTORGA

PARAMETER OPTIMAL IDENTIFICATION OF DUAL THREE PHASES STATOR WINDING INDUCTION MACHINE – MATHEMATICAL MODEL

The parameter identification of a dual three phase's stator winding induction machine is approached in this paper by the genetic optimal algorithm. The estimated parameter are: the voltage ratio between main and auxiliary winding, the main winding resistance and leakage reactance, the cage rotor resistance and reactance, the coupling leakage reactance between main and auxiliary winding, the magnetization non saturated reactance, equivalent iron loss resistance and mechanical losses including their variation with speed.

Keywords: asynchronous generator, two stator windings, equivalent scheme parameters, calculating the optimal genetic algorithm

Cuvinte cheie: generator electric asincron, două înfășurări statorice, parametrii schemei echivalente, calcul optimal cu metoda algoritmilor genetici

1. Introducere

Metodele de identificare a parametrilor mașinii asincrone pe baza încercărilor în sarcină [1-4], necesită un convertor static de putere, un senzor de viteză și cuplarea mecanică a două mașini electrice. În referința [5] se propune metoda algoritmilor genetici pentru a identifica parametrii

mașinii de inducție la pornirea tranzitorie în gol fără sarcină. Prin compararea formelor de undă ale curenților achiziționați în timpul pornirii și a celor obținuți prin simulare, respectiv forma de variație a vitezei de rotație în cele două situații se pot obține parametrii mașinii. Această metodă implică achiziționarea formelor de variație ale vitezei, curenților și tensiunii în timpul regimului tranzitoriu de pornire fără sarcină. Pe de altă parte, în referința [6] se prezintă comparativ metodele de identificare a parametrilor în domeniul timp, pentru mașinile electrice rotative asincrone multifazate cu o precizie suficient de ridicată.

În această lucrare se prezintă o nouă metodă optimală pentru identificarea parametrilor mașinii asincrone două înfășurări trifazate statorice, folosind numai echipament de măsurare de tip industrial (voltmetru, ampermetru, wattmetru) pe baza încercării în gol și în scurtcircuit în două faze, fără sarcină. Această metodă nu necesită cuplarea mecanică a mașinii asincrone cu o mașină de încărcare în sarcină, și nu are nevoie de măsurarea vitezei. Metoda este în măsură să se încadreze cu eroarea în clasa de precizie a aparatelor de măsură utilizate.

Mașina de inducție cu două înfășurări statorice este prezentată frecvent în literatură ca o alternativă în conversia energiilor regenerabile. O problemă importantă întâlnită în practică este determinarea experimentală a parametrilor de circuit. Circuitul echivalent este prezentat în figura 1.

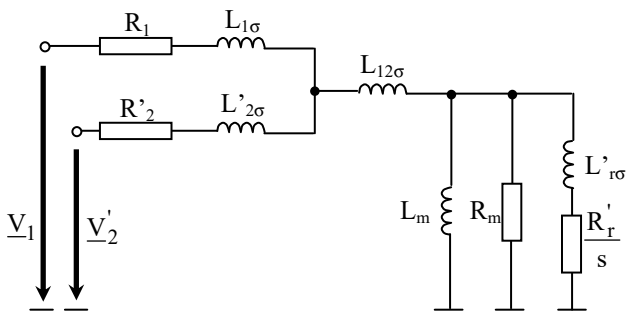


Fig. 1 Schema electrică echivalentă pe fază a DSWIG

Probele pentru identificarea parametrilor de circuit sunt în general probe de gol și de scurtcircuit realizate prin alimentarea alternativă a celor două înfășurări după cum urmează:

- a) proba de gol cu alimentarea înfășurării principale (1);
- b) proba de gol cu alimentarea înfășurării de excitație (2);
- c) proba de scurtcircuit cu alimentarea în două faze a înfășurării principale și înfășurarea de excitație în gol;
- d) proba de scurtcircuit cu alimentarea în două faze a înfășurării principale și înfășurarea de excitație în scurtcircuit;
- e) proba de scurtcircuit cu alimentarea în două faze a înfășurării de excitație și înfășurarea principală în gol;
- f) proba de scurtcircuit cu alimentarea în două faze a înfășurării de excitație și înfășurarea principală în scurtcircuit;

Pentru fiecare din aceste probe se poate considera bilanțul puterilor activă și reactivă, de unde rezultă câte două ecuații pentru fiecare probă. În plus, la încercările de gol se măsoară și tensiunile pe înfășurarea nealimentată, apărând încă două ecuații. Rezistențele R_1 și R_2 se pot măsura în curent continuu. Pierderile în fier și pierderile mecanice, care sunt în relație cu R_m și R_r/s sunt determinate printr-o succesiune de probe de mers în gol și adaugă încă patru ecuații la sistem.

În final, sistemul de ecuații este supradeterminat, dar toate măsurătorile sunt afectate de erori. De asemenea, relațiile dintre parametri mașinii și mărimile măsurate este puternic neliniară datorită produselor și împărțirii parametrilor care apar în relațiile finale. Din aceste considerente, sistemul de ecuații este practic imposibil de rezolvat prin metode clasice, fie ele chiar și neliniare.

2. Determinarea parametrilor prin metode de optim

O soluție acceptabilă pentru sistemul de ecuații supradeterminat, în condițiile în care măsurătorile sunt afectate de erori, este minimizarea sumei pătratelor erorilor puterilor activă și reactivă, ceea ce echivalează determinarea parametrilor de circuit cu o problemă de optim. În concluzie, pentru identificarea parametrilor de circuit se pot utiliza algoritmi de optimizare, având ca variabile de optimizare parametri de circuit și ca funcție obiectiv suma pătratelor erorilor dintre puterile măsurate și puterile calculate pe baza schemei echivalente și a parametrilor candidați.

Domeniul de căutare al parametrilor poate fi stabilit pe baza unor modele simplificate de circuit (neglijarea influenței rotorului la proba de gol și neglijarea lui L_m și R_m la proba de scurtcircuit) și a influenței maxime a erorilor de măsură. Pentru probele a, b, c și e, sistemul de ecuații care se rezolvă este:

$$\begin{pmatrix} \underline{V}_s \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_s + j(X_{s\sigma} + X_{12\sigma}) + \underline{Z}_m & \underline{Z}_m \\ \underline{Z}_m & \frac{R_r'}{s} + jX_r' + \underline{Z}_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{I}_s \\ \underline{I}_r \end{pmatrix}, \quad (1)$$

unde s este 1 pentru proba a și c, respectiv 2 pentru proba b și e. Alunecarea s are expresiile:

$$s = \begin{cases} s_1 - \text{pentru proba a} \\ s_2 - \text{pentru proba b} \\ 1 - \text{pentru probele c și e} \end{cases}, \quad (2)$$

cu s_1 și s_2 sunt alunecările pentru cele două probe de gol, fac parte din vectorul parametrilor necunoscuți și sunt apropiate de valoarea zero, diferite de zero și pozitive. Pentru probele d și f avem următoarele ecuații:

$$\begin{pmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_1 + j(X_{1\sigma} + X_{12\sigma}) + \underline{Z}_m & jX_{12\sigma} + \underline{Z}_m & \underline{Z}_m \\ jX_{12\sigma} + \underline{Z}_m & R_2 + j(X_{2\sigma} + X_{12\sigma}) + \underline{Z}_m & \underline{Z}_m \\ \underline{Z}_m & \underline{Z}_m & \frac{R_r'}{s} + jX_{2\sigma}' + \underline{Z}_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \underline{I}_r \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$\underline{V}_1 = \begin{cases} \underline{V}_s - \text{pentru proba d} \\ 0 - \text{pentru proba f} \end{cases}, \quad (4)$$

$$\underline{V}_2 = \begin{cases} 0 - \text{pentru proba d} \\ \underline{V}_s - \text{pentru proba f} \end{cases}, \quad (5)$$

Pentru fiecare din probe se calculează:

$$P_{Cu1,i} = 3R_1 I_{1,i}^2, \quad (6)$$

$$P_{Cu2,i} = 3R_2 I_{2,i}^2, \quad (7)$$

$$P_{r,i} = 3 \cdot \frac{R_r'}{s} I_{r,i}^2, \quad (8)$$

$$P_{Fe,i} = 3R_m I_{0Fe,i}^2, \quad (9)$$

$$Q_{1\sigma,i} = 3X_{1\sigma} I_{1,i}^2, \quad (10)$$

$$Q_{2\sigma,i} = 3X_{2\sigma} I_{2,i}^2, \quad (11)$$

$$Q_{12\sigma,i} = 3X_{12\sigma} (I_{1,i}^2 + I_{2,i}^2), \quad (12)$$

$$Q_{m,i} = 3X_m I_{0m,i}^2, \quad (13)$$

$$Q_{r,i} = 3X_{r\sigma} I_{r,i}^2, \quad (14)$$

Puterea absorbită estimată pentru proba i pe baza vectorului parametru candidat este:

$$P_{s,i}^* = P_{Cu1,i} + P_{Cu2,i} + P_{r,i} + P_{Fe,i}, \quad (15)$$

iar puterea reactivă absorbită estimată:

$$Q_{s,i}^* = Q_{1\sigma,i} + Q_{2\sigma,i} + Q_{12\sigma,i} + Q_{m,i} + Q_{r,i}. \quad (16)$$

Pentru fiecare probă este măsurată puterea activă P_{si} și puterea reactivă Q_{si} . Dacă puterea reactivă nu este măsurată (indicată) în mod direct de instrumentul de măsură ea se calculează cu relația:

$$Q_{s,i} = \sqrt{3V_i I_i^2 - P_{si}^2}. \quad (17)$$

Pentru fiecare din cele 6 probe se calculează erorile de putere activă și reactivă:

$$e_{P,i} = P_{s,i}^* - P_{s,i}, \quad (18)$$

$$e_{Q,i} = Q_{s,i}^* - Q_{s,i}. \quad (19)$$

În plus, pentru probele de gol se adaugă erorile pierderilor în fier și mecanice și eroarea pierderilor rotorice:

$$e_{P_{Fe},i} = P_{Fe,i}^* - P_{Fe}, \quad (20)$$

$$e_{P_r,i} = P_{r,i}^* - P_r. \quad (21)$$

Pentru probele de scurtcircuit ale înfășurării alimentate se calculează eroarea pierderilor în cupru față de valoarea pierderilor în cupru dacă înfășurarea ar avea rezistența măsurată în dc:

$$e_{P_{dc},i} = 3(R_{sdc} - R_{s,i}) I_{s,i}^2. \quad (22)$$

Dacă în sator există efect pelicular pronunțat sau temperaturile la care s-au făcut măsurătorile în dc și cele de la efectuarea probei de scurtcircuit sunt mult diferite se renunță la termenul din relația (22). Funcția obiectiv care trebuie minimizată este:

$$E = \sum e_{P,i}^2 + \sum e_{Q,i}^2 + \sum e_{PFe,i}^2 + \sum e_{P,r}^2 + \sum e_{Pdcl,i}^2 + \sum e_{Pdc2,i}^2 . \quad (23)$$

Înfășurarea 2 se consideră raportată la înfășurarea 1:

$$\underline{V}'_2 = k_e \cdot \underline{V}_2 , \quad (24)$$

unde factorul de raportare k_e poate fi și considerat cel folosit în proiectare, sau poate fi determinat cel experimental, ca făcând parte din parametrii necunoscuți ai mașinii, unde:

$$k_e = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1 k w_1}{N_2 k w_2} , \quad (25)$$

este valoarea de proiectare.

În cazul în care k_e face parte din șirul necunoscutelor, este necesară determinarea domeniului de căutare:

$$k_{e \max} = \frac{V_1}{V_{20}} (1 + \varepsilon_v) , \quad (26)$$

unde V_1 este tensiunea de alimentare a înfășurării principale iar V_{20} este tensiunea la bornele înfășurării auxiliare, măsurată în acest caz, respectiv:

$$k_{e \min} = \frac{V_{10}}{V_2} (1 - \varepsilon_v) , \quad (27)$$

unde V_{10} este tensiunea la bornele înfășurării principale când înfășurarea auxiliară este alimentată iar ε_v este eroarea maximă cumulată a celor două voltmetre (câteva procente).

Dacă algoritmul de identificare necesită o valoare inițială se poate considera:

$$k_{e0} = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{V_{20}} + \frac{V_{10}}{V_2} \right) . \quad (28)$$

Valorile minime pentru rezistențele R_1 , R'_2 și R'_r sunt zero iar valorile maxime:

$$R_{1\max} = R_{1sc}, \quad (29)$$

$$R'_{2\max} = R'_{2sc}, \quad (30)$$

$$R'_{r\max} = \min(R_{1sc\max}, R'_{2sc\max}). \quad (31)$$

Valorile inițiale pentru R_1 și R'_2 sunt cele măsurate în curent continuu:

$$R_{r0} = \frac{1}{2} (R_{1sc} - R_{1dc} + R'_{2sc} - R'_{2dc}), \quad (32)$$

$$X_{1\sigma\max} = X_{1sc}, \quad (33)$$

$$X'_{2\sigma\max} = X'_{2sc}, \quad (34)$$

$$X_{12\sigma\max} = X_{r\sigma\max} = \min(X_{1sc}, X'_{2sc}). \quad (35)$$

Valorile minime ale reactanțelor $X_{1\sigma}$, $X'_{2\sigma}$, $X'_{12\sigma}$, $X'_{r\sigma}$ sunt nule.

3. Concluzii

■ Această lucrare prezintă o metodă optimală pentru identificarea parametrilor mașinii asincrone, care poate fi utilizată atât la mașina trifazată cu o singură înfășurare în stator și rotor clasic în colivie, cât și la mașina asincronă cu două înfășurări statorice și rotor în colivie.

■ Estimarea este realizată prin utilizarea unei scheme electrice echivalente a mașinii DSWIG și un set de teste standard de determinare a unor eșantioane de valori, fără a necesita cuplarea mecanică cu o altă mașină și fără utilizarea unor traductoare mecanice.

■ Modelul matematic utilizează parametri constanți, care sunt necesari în aplicațiile practice. Variația inductivității de dispersie cu curentul de magnetizare poate fi folosită în viitor folosind încercări de funcționare în gol la valori mai ridicate a tensiunii de alimentare.

BIBLIOGRAFIE

[1] Roberts, P.C., McMahon, R.A., Tavner, P.J., Maciejowski, J.M. and Flack, T.J., *Equivalent circuit for the brushless doubly fed machine (BDFM) including parameter estimation and experimental verification*, IEEE Proc. Electr. Power Appl. Vol 152, No. 4, 2005 pp.933-942.

- [2] Jacobina, C.B., Lima, A.M.N. and Medeiros, A.L.R. de, *Linear parameter estimation of an induction machine*, Power Electronics Specialists Conference, PESC '93 Record, 24th Annual IEEE Meeting, 1993, DOI 10.1109/PESC.1993.472030, pp. 913-918.
- [3] Peresada, S., Kovbasa, S., Prystupa, D. and Lyshevski, S.E., *Identification of induction motor parameters adaptively controlling stator currents*, SICE Proceedings of the 41st SICE Annual Conference, vol. 4, DOI 10.1109/SICE.2002.1195791, 2002, pp.2430-2434.
- [4] Bachir, S., Tnani, S., Trigeassou, J.C. and Champenois, G., *Diagnosis by parameter estimation of stator and rotor faults occurring in induction machines*, Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 53, issue 3, DOI 10.1109/TIE.2006.874258, 2006, pp. 963-973.
- [5] Raie, A., Raschtchi, V., *Accurate identification of parameters, in winding function model of induction motor, using genetic algorithm*, SICE Proc. 2002 Aug. 5-7, Osaka, pp. 2430-2434.
- [6] Riveros Yepes, J. A., Barrero, A. G., Doval-Gandoy, F., Bogado, J., Lopez, B., Jones, O.M. and Levi, E., *Parameter Identification of Multiphase Induction Machines With Distributed Windings - Part 2, Time-Domain Techniques*, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 27, N4. 4, December 2012, pp. 1067-1077.

Conf.Dr.Ing. Sorin DEACONU
 Facultatea de Inginerie Hunedoara,
 Universitatea „Politehnica” Timișoara,
 membru AGIR, membru IEEE, membru AAIR
 e-mail: sorin.deaconu@fih.upt.ro

Prof.Dr.Ing. Lucian Nicolae TUTELEA
 Facultatea de Electrotehnică Timișoara,
 Universitatea „Politehnica” Timișoara, membru AGIR,
 e-mail: luci@lselinux.upt.ro

Conf.Dr.Ing. Gabriel Nicolae POPA
 Facultatea de Inginerie Hunedoara,
 Universitatea „Politehnica” Timișoara,
 membru AGIR, membru senior IEEE, membru AAIR
 e-mail: gabriel.popa@fih.upt.ro

Ing. Maria NĂȘĂUDEAN
 membru AGIR,
 e-mail: mariana.nasaudean@fih.upt.ro
 Ing. Carmen MOTORGA
 Facultatea de Inginerie Hunedoara,
 Universitatea „Politehnica” Timișoara,
 e-mail: carmen.motorga@fih.upt.ro