

PROIECTAREA ASISTATĂ DE CALCULATOR A MOTOARELOR ASINCRONE TRIFAZATE CU ROTORUL ÎN SCURTCIRCUIT

CHIRILĂ Aurel-Ionuț, DEACONU Ioan-Dragoș, GHIȚĂ Constantin

*Universitatea POLITEHNICA din București
Catedra de Mașini, Materiale și Acționări electrice*

În lucrare se prezintă proiectarea automată a unui motor asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit, având colivia rotorică realizată din bare înalte. Programul folosește platforma Microsoft .NET Framework și asigură multe facilități utilizatorului fiind prietenos și ușor de aplicat. Proiectarea se poate face succesiv, în cadrul unor foi automate de proiectare ce pot fi accesate foarte ușor înainte sau în urmă prin intermediul unor butoane intitulate sugestiv înainte respectiv înapoi. Programul permite corectarea manuală a datelor și întoarcerea în orice moment la un pas anterior în vederea calculării iterative a anumitor mărimi. Mărimile determinate sunt disponibile pe tot parcursul proiectării și, în plus, sunt accesibile și alte elemente specifice: caracteristicile de funcționare, schema echivalentă, fișa de calcul, schițe explicative în text.

1. INTRODUCERE

Acest capitol cuprinde documentația aplicației ProMAS, aplicație folosită pentru proiectarea motoarelor asincrone trifazate cu rotorul în colivie (cu bare înalte).

Dezvoltarea acesteia s-a efectuat în mediul integrat de programare **Microsoft® Visual Studio® .NET 2003** utilizând limbajul **Visual Basic .NET**.

Interfața programului este sugestivă și ușor de utilizat deoarece păstrează formatul majorității aplicațiilor ce pot fi rulate sub sistemul de operare Windows, accesibilă oricărei persoane cu un nivel mediu de cunoștințe în utilizarea unui calculator.

Rularea în condiții optime a programului necesită un calculator cu următoarele caracteristici: procesor 1 GHz, memorie RAM 128 MB, spațiu pe hard disk 100 MB, placă grafică 4 MB, rezoluție monitor 800×600, sistem de operare Windows 98, Microsoft Excel 2000 și platforma Microsoft .NET Framework 1.1.

2. FACILITĂȚILE PROGRAMULUI DE CALCUL

Programul ProMAS dispune de o serie de facilități ce sunt prezentate în continuare:

- Deplasarea dintr-un câmp al unei ferestre în alt câmp (sau de la un element la altul, de exemplu butoane) este facilă, prin intermediul tastei TAB, ca și ordinea pașilor ce trebuie urmați în procesul de calcul;
- Dacă se introduce o valoare eronată într-unul din câmpuri, prin simplul clic al mausului pe câmpul respectiv se selectează acea valoare, utilizatorul putând să scrie direct noua valoare fără a o mai șterge pe cea eronată;
- Accesarea butoanelor se poate face atât cu ajutorul mausului cât și prin apăsarea tastei Enter;
- Acolo unde este nevoie să se introducă factori sau mărimi de către utilizator, alegerea valorii potrivite se realizează foarte ușor, deoarece programul pune la dispoziție

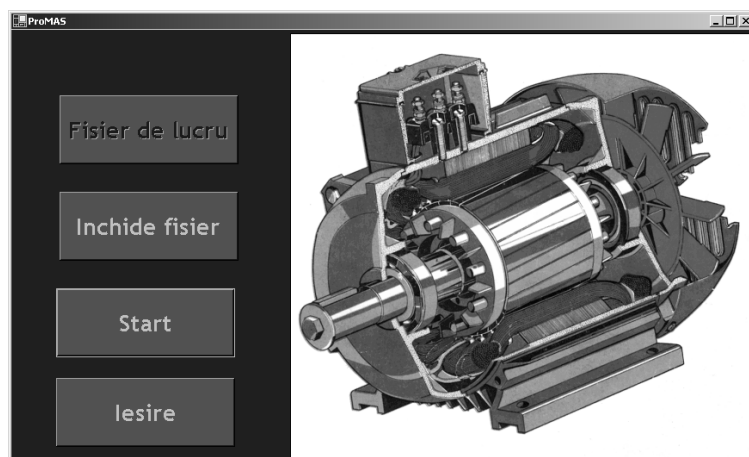
ATEE - 2004

tabelele și curbele necesare calculului, alături de mărimea parametrului pentru care se efectuează căutarea în tabele, respectiv în grafice;

- În cazul alegerii mărimilor sau coeficienților din grafice, programul completează automat, câmpul corespunzător cu valoarea selectată cu mausul;
- Mărimile determinate sunt memorate și înregistrate pe tot parcursul proiectării astfel încât sunt disponibile în orice moment și la orice pas;
- Programul este foarte flexibil deoarece la finele fiecărui pas toate mărimile determinate la acel pas sunt înregistrate și în foi de calcul Excel, ce pot fi utilizate și în cadrul altor aplicații pentru o prelucrare ulterioară;
- Programul pune la dispoziția proiectantului schițe cu cotele corespunzătoare (creștătura statorică cu elementele componente – izolație, conductoare, pană, dar și creștătura rotorică), schema echivalentă (în unități absolute), cât și caracteristicile motorului proiectat (caracteristica mecanică, caracteristica factorului de putere, caracteristica curentului statoric și rotoric de fază, caracteristicile parametrilor înfășurărilor – rezistențe și reactanțe de scăpări) toate fiind determinate funcție de alunecare. Pe lângă schițe și caracteristici ca rezultat final se generează și fișa de calcul a motorului în cadrul unei foi de calcul Excel;
- Programul afișează mesaje prin care înștiințează utilizatorul dacă rezultatul obținut este corect sau nu, iar acolo unde nu se fac verificări se fac recomandări prin specificarea unor intervale de valori plauzibile ale mărimilor respective.

3. DESCRIEREA PROGRAMULUI

3.0. Meniul principal al aplicației



Prin rularea programului se pune la dispoziția utilizatorului un meniu, care dă posibilitatea acestuia să-și seteze numele fișierului de lucru, să înceapă proiectarea și bineînțeles să iasă din aplicație. Butonul de *Start* implică minimizarea meniului (disponibil de-a lungul tuturor pașilor de proiectare) și deschiderea primei ferestre necesară proiectării - **Date de proiectare**.

Marimi impuse		Marimi orientative	
$P_n = 15$ [kW]		$M_{m}/M_n = 0$ [u.r.]	$k_E = .97$ Curbe
$U_n = 380$ [V]	Stea	$M_p/M_n = 0$ [u.r.]	$k_{sd} = 1.2$ 1:2 - 1:35
$f_1 = 50$ [Hz]	Trunghi	$I_p/I_n = 6$ [u.r.]	$k_b = 1.1$ Curbe
$n_1 = 1500$ [rot/min]		$\eta_n = .89$ Curbe	$\alpha_i = .69$ Curbe
$m_1 = 3$ [faze statorice]		$\cos \varphi_n = .89$ Curbe	

Marimi calculate		Caracteristici ale materialelor	
$p = 2$ [perechi de poli]	Calculeaza	$\gamma_{Cu} = 888$ [kg/cm ³]	
$S_{1n} = 18.937$ [kVA]	$S_1 = 18.369$ [kVA]	$\gamma_{Al} = 270$ [kg/cm ³]	
$S_{1n} = 18.937$ [kVA]	$S_1 = 18.369$ [kVA]	$\gamma_{Fe} = 780$ [kg/cm ³]	
$U_1 = 219.39$ [V]	$E_1 = 212.81$ [V]	$\rho_{Fe 10/50} = 2.4$ [W/kg]	
$U_1 = 220$ [V]	$E_1 = 213.4$ [V]		
$I_1 = 28.77$ [A]	$I_1 = 28.69$ [A]		

3.1. Date de proiectare

Fereastra cu datele de proiectare este împărțită în mai multe secțiuni numerotate de la 1 la 3. Programul a fost creat pentru a proiecta motoare asincrone trifazate de joasă tensiune cu puteri mici și medii. Înfășurarea statorică are pas diametral, într-un strat și cu bobine egale, utilizând conductoare

rotunde din cupru. Înfășurarea rotorică este în colivie cu bare înalte din aluminiu. Miezul feromagnetic este realizat din tole din tabla izolată de 0,5mm grosime, având pierderi specifice active $p_{10/50} = 2,4 \text{ W/kg}$.

3.2. Calculul elementelor constructive ale statorului

The software interface for stator design calculation consists of several interconnected windows:

- Pas 2 - Calculul dimensiunilor principale:** This window allows for the calculation of main dimensions. It includes fields for stator inner diameter (D), pole pitch (τ), and stator outer diameter (D_o).
- Pas 4 - Infășurarea și creșterea statorului:** This window is used for determining the number of slots (Z₁) and the number of poles (2p). It includes a table for determining the number of slots per pole and per phase.
- Pas 4.1 - Recalcularea solicitărilor electromagnetice:** This window shows the results of electromagnetic stress calculations, including magnetic flux (Φ), magnetic induction (B_δ), and magnetic loading (A₁).

Anasamblul ferestrelor de mai jos permite determinarea circuitului magnetic statoric, întrefierul mașinii, dar și parametrii înfășurării statorice astfel încât solicitările electromagnetice (pătura de curent statorică și inducția

magnetică în întrefier) să fie corespunzătoare. După determinarea acestora programul realizează o schiță a circuitului statoric cu precizarea cotelor.

The software interface for stator slot design includes the following windows:

- Pas 4.3 - Stabilirea creșterii statorice și a jugului statoric:** This window is used to define the slot geometry, including slot width (bd1), slot height (h1), and slot opening (as).
- Schița creșterii și dintilor statorici:** This window displays a technical drawing of the stator slot with various dimensions labeled, such as slot width (bd1 = 7.5 mm), slot height (h1 = 18.39 mm), and slot opening (as = 4.62 mm).

3.3. Calculul elementelor constructive ale rotorului

Programul permite utilizatorului să determine dimensiunile circuitului magnetic rotoric și ale coliviei rotorică astfel încât să nu se depășească solicitările electromagnetice admisibile.

The software interface for rotor design calculation includes the following windows:

- Pas 5 - Infășurarea și creșterea rotorului în colivie:** This window is used to define the rotor pole geometry, including pole height (h0), pole width (bb), and pole opening (bc2).
- Schița rotorului:** This window displays a technical drawing of the rotor pole with various dimensions labeled, such as pole height (h0 = 1.5 mm), pole width (bb = 4 mm), and pole opening (bc2 = 4.4 mm).

3.4. Determinarea curentului de mers în gol

Pe baza caracteristicii de magnetizare a tolei utilizate (caracteristică pusă la dispoziție de program) și a inducțiilor magnetice din dinți și din juguri se determină intensitatea câmpului magnetic în aceste porțiuni și apoi curentul de magnetizare. În plus, se calculează și factorul de saturație magnetică parțială al mașinii, factor ce reprezintă un element de control al proiectării.

3.5. Determinarea parametrilor înfășurărilor

Programul permite determinarea rezistenței pe fază a celor două înfășurări și reactanțele de dispersie. Acești parametri se calculează atât în punctul nominal de funcționare cât și în punctul de pornire, unde valorile sunt afectate de fenomenul de saturație a circuitului magnetic și refulare a curentului din bară.

3.6. Determinarea pierderilor

Programul determină pierderile în fier (în dinți, în juguri, de suprafață, de pulsație, suplimentare), pierderile Joule din înfășurări, pierderile de frecare și ventilație. De asemenea, se mai determină atât greutatea jugului statoric și rotoric cât și greutatea dinților statorici și a dinților rotorici.

3.7. Determinarea caracteristicilor

În această etapă se determină caracteristicile nominale ale motorului asincron proiectat, prezentându-se de asemenea valorile mărimilor impuse prin tema de proiectare pentru a se putea efectua comparații.

Utilizatorul poate vizualiza bilanțul puterilor active în regimul nominal de funcționare, schema echivalentă pe fază a motorului proiectat în unități absolute, fișa de calcul, caracteristicile de bază (mecanică, a factorului de putere, a curentului statoric și rotoric) și parametrii înfășurărilor. Atât fișa cât și caracteristicile sunt realizate în aplicație Microsoft Excel pentru o prelucrare ușoară ulterioară a datelor.

în

Pas 10 - Caracteristici

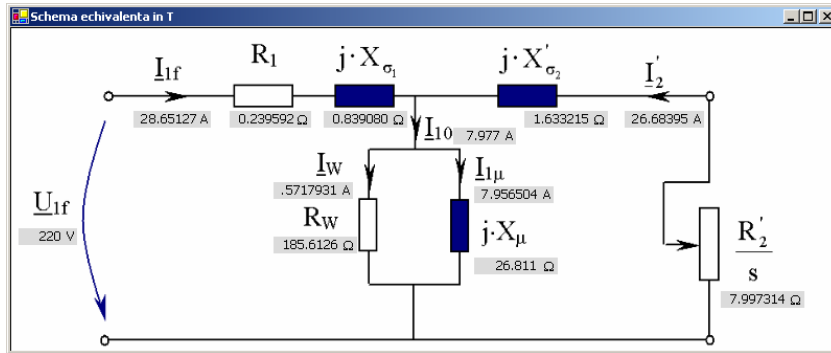
Alunecare nominala sn = 0.04147 [5]	Alunecare critica sm = 0.13496 [5]	Turatie nominala nm = 1437.79 [2] [rpm]
Curentul de mers in gol I0 = 7.98 [2] [A] I0a = 0.57 [2] [A] Iμ = I0r = 7.96 [2] [A] PjI0 = 45.5 [2] [W]	Curentii de pornire Ip = 111.97 [2] [A] I'2p = 104.31 [2] [A] Ip/I1 = 3.91 [2] [u.r.] I'2pa = 36.98 [2] [A] Ip/I1 = 6 [u.r.] I'2pr = 97.53 [2] [A]	
Cuplul nominal Mn = 95.56 [2] [Nm]	Curentii nominali de faza I1 = 28.65 [2] [A] I'2 = 1706.9 [2] [A] I1 = 28.69 [A] I'2a = 23.81 [2] [A] I'2r = 7.08 [2] [A]	
Cuplul de pornire Mp = 102.81 [2] [Nm] Mp/Mn = 1.08 [2] [u.r.] Mp/Mn = 1.2 [u.r.]	Factorul de putere nominal cos φ n = 0.85 [2] cos φ n = 0.89	
Cuplul maxim Mm = 161.54 [2] [Nm] kM = Mm/Mn = 1.69 [2] [u.r.] kM = Mm/Mn = 2 [u.r.]	Randamentul nominal η = 0.894 [3] η = 0.89 Σ P = 1706.97 [W]	
Puterea nominala Pn = 14387.5 [1] [W] Pn = 15000 [W]	Puterea aparenta si activa statorica S1n = 18.909 [3] [kVA] P1n = 16094.9 [1] [W] S1n = 18.937 [kVA] P1n = 16853.9 [W]	

Schema echivalenta in T Caracteristici Fisa tehnica << Inapoi Final

Bilanțul puterilor active

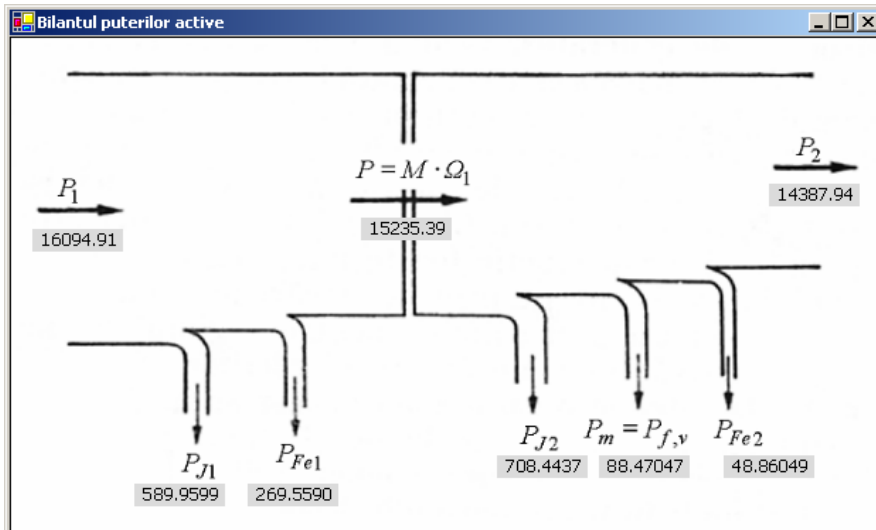
Randamentul, factorul de putere și curentul statoric nominal nu sunt afișate paralel cu mărimile impuse în tema de proiectare ci cu valorile acestora estimate la primul pas al proiectării.

Prin apăsarea butonului Schema echivalenta in T se va afișa această schemă. În imaginea de mai jos este exemplificată o astfel de fereastră.



Schema se afișează în unități absolute și corespunde unei faze a motorului. Valorile afișate sunt cele obținute în punctul nominal de funcționare și bine înțeles, valorile tensiunii și curentilor sunt cele de fază.

Dacă se dorește vizualizarea bilanțului de puteri active în punctul nominal de funcționare atunci este necesar să se apese butonul Bilanțul puterilor active.



Pentru trasarea caracteristicilor de bază (mecanică, a factorului de putere, a curentului statoric și rotoric) este nevoie să se apese butonul Caracteristici.

Butonul Final determină salvarea tuturor datelor și caracteristicilor obținute, închiderea fișierului de lucru și revenirea la meniul inițial.

4. CONCLUZII

Acest program reprezintă o alternativă în proiectarea motoarelor asincrone trifazate cu avantajul parcurgerii mult mai rapid a pașilor de proiectare cunoscuți din literatura de specialitate.

Rapiditatea este asigurată de verificările ce se fac automat la fiecare pas al proiectării astfel încât, înainte de a termina proiectarea să se identifice eventualele erori, dar și prin punerea la dispoziția proiectantului a curbelor și tabelelor necesare alegerii diverselor mărimi fără a mai fi nevoie să se răsfoiască alte materiale.

Un alt avantaj îl constituie completarea automată a fișei de calcul la încheierea fiecărui pas al proiectării astfel încât se poate urmări ordinea determinării mărimilor. Interfața programului este simplă și ușor de urmărit dacă se utilizează tasta TAB.

5. BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. I. CIOC, I. VLAD, G. CALOTA, *Transformatorul electric. Construcție. Teorie. Proiectare. Fabricare. Exploatare*, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1989;
2. C. GHIȚĂ, *Convertoare electromecanice*, Volumul I, Editura ICPE, București, 1998;
3. I. S. GHEORGHIU, AL. FRANSUA, *Tratat de mașini electrice*, Volumul 2, Editura Academiei, București, 1970;
4. A. IFRIM, P. NOȚINGHER, *Materiale electrotehnice*, E.D.P., București, 1979;
5. S. ROMAN, R. PETRUSHA, P. L.OMAX, *VB .NET Language in a Nutshell*, Sebastopol, O'Reilly, 2001;
6. C. UTLEY, *A Programmer's Introduction to Visual Basic.NET*, Indianapolis, Sams Publishing, 2001;
7. C. WAKEFIELD, HENK-EVERT SONDER, W. LEE, *VB.NET Developer's Guide*, Rockland, Syngress Publishing, 2001;
8. K. KAUR, P. BEMBEY, *Visual Basic .NET Professional Projects*, Portland, Premier Press, 2002;
9. Aurel Chirilă, *Proiect de diplomă*, UPB, Facultatea de electrotehnică, Catedra de mașini, materiale și acționări electrice, iulie 2004;
10. Adrese de internet
<http://www.devcity.net/>; <http://abstractvb.com/>; <http://forums.devshed.com/>; <http://www.thescarms.com/>;
<http://www.superdotnet.com/>; <http://www.vbcity.com/>; <http://www.tek-tips.com/>;
<http://www.dotnetforums.net/>; <http://www.dotnet247.com/>; <http://www.knowdotnet.com/>;
<http://vbprogramming.8k.com/>; <http://www.alvbcode.com/>; <http://www.ondotnet.com/>;
<http://www.codeproject.com/>; <http://visualbasic.about.com/>; <http://www.planet-source-code.com/>;
<http://www.vbdotnetheaven.com/>; <http://www.ittoolbox.com/>; <http://support.microsoft.com/>;
<http://msdn.microsoft.com/>.