

# PROIECTAREA ASISTATĂ DE CALCULATOR A TRANSFORMATOARELOR TRIFAZATE DE PUTERE

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

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

*În lucrare se prezintă proiectarea automată a unui transformator electric trifazat de putere, cu două înfășurări. Programul folosește platforma Microsoft .NET Framework. Programul asigură multe facilități utilizatorului fiind prietenos și ușor de aplicat. Proiectarea se poate face succesiv, în cadrul unor foi automate de proiectare care pot fi accesate ușor, înainte sau în urmă, cu ajutorul unor butoane intitulate sugestiv înainte respectiv înapoi. Programul permite introducerea manuală a datelor și întoarcerea, în orice moment, la un pas anterior în vederea calculării iterative a anumitor mărimi. Mărimile calculate sunt disponibile pe tot parcursul proiectării și, în plus, sunt accesibile și alte elemente specifice: caracteristicile de funcționare, schema echivalentă, fișa de calcul.*

## 1. INTRODUCERE

Programul prezentat în lucrarea de față realizează o proiectare automată a transformatorului electric trifazat pornind de la datele lui nominale, utilizând tabele și curbe de proiectare existente în biblioteca atașată.

Această bibliotecă conține caracteristicile de material ale materialelor folosite, dimensiunile geometrice ale conductoarelor precum și numeroase date necesare proiectării.

În final, se realizează fișa tehnică de calcul a transformatorului și se generează schema echivalentă, dimensiunile principalelor elemente constructive și caracteristicile funcționale.

Programul a fost conceput în mediul integrat de programare **Microsoft® Visual Studio® .NET 2003** utilizând limbajul **Visual Basic .NET**, platforma .NET reprezentând una dintre cele mai elaborate și complexe medii de dezvoltare ale aplicațiilor sub Windows existente în momentul de față.

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 (256 culori), sistem de operare: Windows 98, Microsoft Excel 2000, platforma Microsoft .NET Framework 1.1.

## 2. FACILITĂȚILE PROGRAMULUI DE CALCUL

Programul denumit ProTRAFO dispune de o multitudine de facilități în comparație cu programe similare de proiectare [13]. Printre aceste facilități se pot enumera:

- Deplasarea între câmpurile unei ferestre este înlesnită cu ajutorul tastei TAB ce permite utilizatorului introducerea în ordine firească a datelor necesare fără a mai fi necesară selecția cu ajutorul mausului a câmpului dorit;
- În cazul în care într-un câmp s-a introdus o valoare incorectă deplasarea în acel câmp cu ajutorul mausului conduce la selecția automată a datelor din acel câmp;
- Apăsarea butoanelor se poate face atât cu ajutorul mausului cât și prin apăsarea tastei Enter;

## ATEE - 2004

- Programul urmărește în mod fidel pașii de proiectare uzuali din literatura de specialitate [1], [3];
- Alegerea unor mărimi necesare proiectării se realizează ușor deoarece programul pune la dispoziția utilizatorului tabelele necesare, alături de mărimea parametrului pentru care se efectuează căutarea în tabel;
- Programul permite utilizatorului să introducă manual valorile parametrilor calculați de program tocmai pentru a putea alege valori potrivite;
- În procesul de calcul se permite întoarcerea în orice moment la un pas anterior pentru a efectua iterațiile necesare determinării unor mărimi optime;
- Flexibilitatea programului este foarte mare deoarece toate mărimile determinate la fiecare pas sunt reținute și în foi de calcul Excel (fiind disponibile în orice moment și la orice pas), care pot fi utilizate și în cadrul altor programe de calcul pentru o prelucrare ulterioară;
- Programul pune la dispoziția proiectantului schițe cu cotele corespunzătoare (secțiunea coloanei, sistemul magnetic), schema echivalentă (în unități absolute și unități relative), caracteristicile transformatorului proiectat (caracteristicile externe și caracteristicile randamentului) și fișa de calcul a transformatorului, în cadrul unei foi de calcul Excel;

### 3. DESCRIEREA PROGRAMULUI

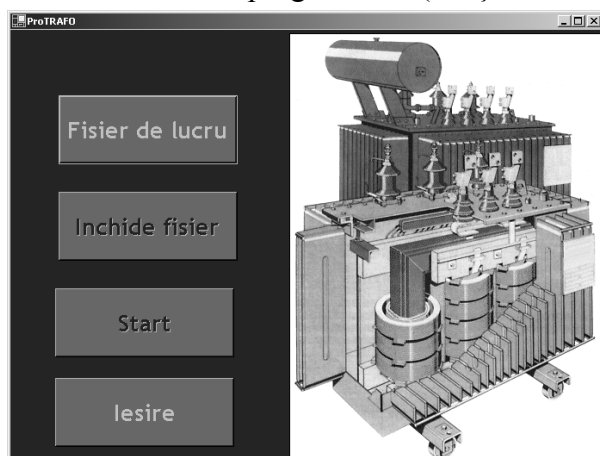
Programul de calcul este alcătuit din mai multe ferestre care conduc utilizatorul către obținerea principalelor date necesare în proiectarea transformatorului.

După cum se va putea vedea programul este user-friendly adică se aseamănă foarte mult cu aplicațiile de bază ce pot fi rulate sub sistemele de operare Windows.

În continuare sunt prezentate principalele ferestre de calcul ale programului.

#### 3.1. Interfața de pornire

La rularea programului (a fișierului ProTRAFO.exe) utilizatorul este întâmpinat de următoarea fereastră (denumită fereastra **ProTRAFO**).



Butoanele din această fereastră permit utilizatorului să deschidă sau să creeze fișierul de date, să înceapă efectiv proiectarea sau să închidă fișierul de date și să iasă din aplicație:

Această fereastră va rămâne deschisă (fiind minimizată în bara Windows) pe tot parcursul rulării programului.

Odată apăsat butonul *Start* fereastra anterioară se minimizează și se deschide următoarea fereastră denumită **Tema de proiectare**.

#### 3.2. Fereastra – Tema de proiectare

Această fereastră este împărțită după cum se poate vedea în mai multe secțiuni, secțiuni numerotate de la 1 la 2.

În fereastră utilizatorul introduce datele de proiectare ale transformatorului, cu

precizarea că, pentru început, programul a fost creat cu scopul de a proiecta transformatoare coborâtoare de tensiune cu puteri nominale sub 250 kVA, cu înfășurarea de JT de tip cilindric iar cea de ÎT de tip stratificat, utilizând conductoare profilate din cupru. Caracteristicile materialelor folosite sunt:

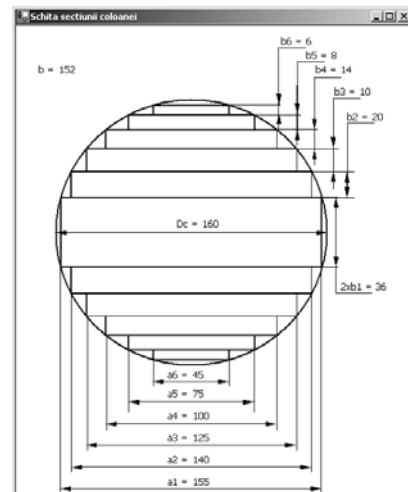
$p_{10/50} = 0,45 \text{ W/kg}$  – pierderile specifice ale materialului tolelor din care este făcut miezul magnetic (ținând cont că acesta este tablă silicioasă laminată la rece cu cristale orientate și grosime între 0,28 ÷ 0,35 mm),  $\gamma_{Fe} = 7,65 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$  – densitatea tolelor de fier izolate și  $\gamma_{Cu} = 8,9 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$  – densitatea cuprului.

### 3.3. Fereastra – Calculul circuitului magnetic

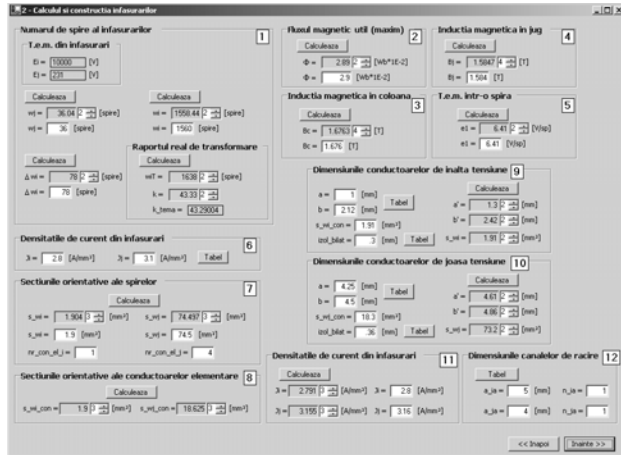
Fereastra este împărțită după cum se poate vedea în mai multe secțiuni, secțiuni numerotate de la 1 la 8. Acestea permit calcularea principalelor dimensiuni ale miezului magnetic iar apoi efectuarea unei verificări prealabile a pierderilor la mersul în gol  $P_0 \approx P_{Fe}$  (în funcție de valoarea acestora existând posibilitatea să se revină asupra calculului anterior).

Prin apăsarea butoanelor *Tabel* din dreptul mărimilor de calcul utilizatorului îi sunt puse la dispoziție diferitele tabele necesare continuării calculului.

Apăsarea butonului *Schiță* conduce la afișarea următoarei figuri.



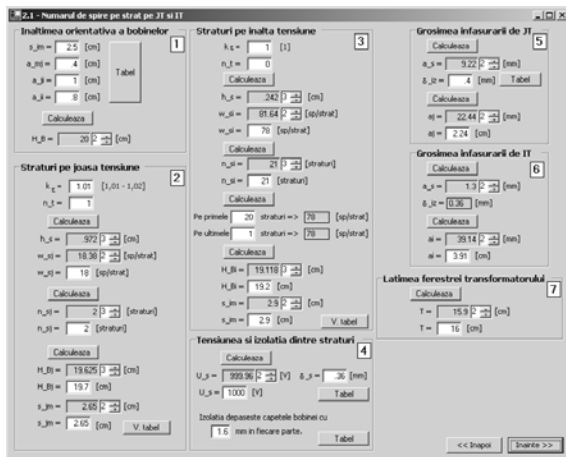
### 3.4. Fereastra – Calculul și construcția înfășurărilor



Fereastra este împărțită după cum se poate vedea în mai multe secțiuni, secțiuni numerotate de la 1 la 12. Acestea permit calcularea numerelor de spire, secțiunilor și dimensiunilor conductoarelor, precum și a densitățile de curent ale înfășurărilor. Se mai calculează numărul și dimensiunile canalelor de răcire axiale ale fiecărei înfășurări.

### 3.5. Fereastra – Numărul de spire pe strat pe JT și ÎT

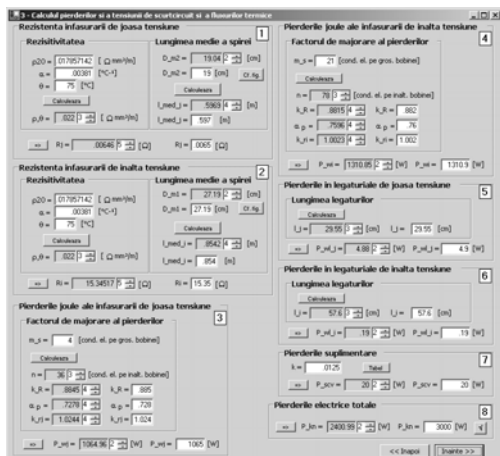
Această fereastră este împărțită după cum se poate vedea în mai multe secțiuni, secțiuni numerotate de la 1 la 7. Ele permit calcularea și stabilirea definitivă a principalelor dimensiuni ale miezului magnetic și ale înfășurărilor transformatorului. Se calculează și tensiunea dintre straturile de spire precum și numărul de spire pe strat și numărul de straturi ale fiecărei înfășurări.



### 3.6. Fereastra – Calculul pierderilor și a tensiunii de scurtcircuit și a fluxurilor termice

Această fereastră este împărțită după cum se poate vedea în mai multe secțiuni, secțiuni numerotate de la 1 la 8. Cu ajutorul acestora se calculează rezistențele înfășurărilor de JT respectiv ÎT, pierderile Joule ale înfășurărilor de JT respectiv ÎT ( $P_{wj}$ ,  $P_{wi}$ ), pierderile în legături pentru cele două înfășurări ( $P_{lj}$ ,  $P_{li}$ ), pierderile suplimentare în cuvă și în celelalte elemente de fier ale transformatorului ( $P_{scv}$ ) și pierderile Joule nominale ale transformatorului proiectat ( $P_{kn}$ ).

La finalul calculelor se verifică valorile obținute cu cele impuse prin tema de proiectare.



### 3.7. Fereastra – Densitățile de suprafață ale pierderilor în înfășurări și tensiunea de scurtcircuit

Această fereastră este împărțită după cum se poate vedea în mai multe secțiuni, secțiuni numerotate de la 1 la 6. Aceste secțiuni permit calculul suprafețelor de răcire și al fluxurilor termice ale celor două înfășurări, al componentelor activă ( $u_{ka}$ ) și reactivă ( $u_{kr}$ ) a tensiunii nominale de scurtcircuit precum și a valorii tensiunii de scurtcircuit a transformatorului proiectat. La finalul calculelor se verifică valorile obținute cu cele impuse prin tema de proiectare. Se mai calculează greutatea înfășurărilor de JT respectiv de ÎT ( $G_{wj}$ ,  $G_{wi}$ ).

### 3.8. Fereastra – Dimensiunile circuitului magnetic. Calculul pierderilor și a curentului de mers în gol

Fereastra este împărțită după cum se poate vedea în mai multe secțiuni, secțiuni numerotate de la 1 la 5. Cu ajutorul acestora se afișează principalele dimensiuni ale miezului magnetic și se calculează masele nete de fier pentru coloane,  $G_{Fec}$  și pentru juguri,  $G_{Fej}$

precum și valoarea pierderilor la mersul în gol  $P_0 \approx P_{Fe}$ .

În continuare, se calculează componentele activă ( $I_{0a}$ ) și reactivă ( $I_{0r}$ ) ale curentului de mers în gol precum și valoarea valoare absolută ( $I_{10}$ ) sau relativă în procente ( $i_{10}[\%]$ ).

La finalul calculelor se verifică valorile obținute cu cele impuse prin tema de

proiectare.

### 3.9. Fereastra – Caracteristicile de funcționare ale transformatorului proiectat. Schema electrică echivalentă

Această fereastră este împărțită după cum se poate vedea în mai multe secțiuni, secțiuni numerotate de la 1 la 3. Cu ajutorul primei secțiuni utilizatorul obține caracteristicile externe ale transformatorului proiectat (caracteristici obținute pentru factorului de putere al sarcinii ( $\cos \varphi_2$ ) impus de utilizator). Cea de-a doua secțiune generează caracteristicile randamentului pentru

transformatorul proiectat (caz în care factorul de putere poate fi impus de utilizator).

Ultima secțiune permite calculul parametrilor schemei echivalente în unități relative precum și vizualizarea acestora în unități absolute dar și în unități relative.

#### 4. CONCLUZII

În lucrare s-a prezentat pe scurt programul de proiectare a transformatoarelor electrice trifazate, denumit ProTRAFO. Acest program are avantajul că înlesnește mult parcurgerea etapelor de proiectare ale unui transformator trifazat, fiind o alternativă la modul de calcul – *cu creionul pe hârtie*.

Un alt avantaj al programului este faptul că a fost conceput utilizând platforma .NET a celebrei firme de software Microsoft și anume unul dintre cele mai elaborate și complexe medii de programare existente în momentul de față, Visual Basic.NET, ceea ce a permis dezvoltarea unui mediu user-friendly, simplificând foarte mult pașii de proiectare. De asemenea acest program permite dezvoltări ulterioare care să faciliteze proiectarea unei game cât mai largi de transformatoare precum și integrarea sa într-un program complex de proiectare.

Cea mai importantă caracteristică a acestui program o constituie faptul că permite utilizatorului să ajusteze manual valorile parametrilor calculați de program pentru a putea corecta eventualele valori nerealiste.

#### 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. N. I. BICHI, V. M. STANCIU, *Proiectarea și reproiectarea transformatoarelor electrice*, Editura ICPE, București, 2001;
5. E. JEZERSKI, Z. GOGOLEVSKI, K. KOPCZYNSKI, J. SZMIT, *Transformatoare electrice. Construcție și proiectare*, Traducere din limba poloneză, adaptată și completată., Editura Tehnică, București, 1966;
6. M.F. BEAVERS, C.M. ADAMS, *The Calculation and Measurement of Axial Electromagnetic Forces on Concentric Coils in Transformers*, Trans. A.I.E.E., Part. III–A, p.467 – 477, august, 1959;
7. A. IFRIM, P. NOȚINGHER, *Materiale electrotehnice*, E.D.P., București, 1979;
8. S. ROMAN, R. PETRUSHA, P. L.OMAX, *VB .NET Language in a Nutshell*, Sebastopol, O'Reilly, 2001;
9. C. UTLEY, *A Programmer's Introduction to Visual Basic.NET*, Indianapolis, Sams Publishing, 2001;
10. C. WAKEFIELD, HENK-EVERT SONDER, W. LEE, *VB.NET Developer's Guide*, Rockland, Syngress Publishing, 2001;
11. K. KAUR, P. BEMBEY, *Visual Basic .NET Professional Projects*, Portland, Premier Press, 2002;
12. DEACONU I. D., *Proiect de diplomă*, UPB, Facultatea de Electrotehnică, iulie 2004;
13. 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/>.