

# REGIMURI EXTREME ÎN TRANSFORMATORUL DE SUDARE FORȚE DE INTERACȚIUNE DINTRE ÎNFĂȘURĂRI

**Autor: TOFAN Grigore, NICORICI Eugen**  
**Conducător științific: Prof. univ. dr. hab. Tudor AMBROS**

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Abstract.** Transformatoarele electrice ocupă un loc important în sistemul electroenergetic, concomitent aceste dispozitive se folosesc în diferite domenii de a contribui la realizarea unor procese tehnologice cum ar fi sudarea pieselor metalice. În lucrare sunt analizate procesele electromagnetice din transformatoarele de sudare de putere mică, fiind determinate regimurile extreme de funcționare. Sau identificat curenții și forțele de interacțiune dintre înfășurări cu aplicația teoriei elementului finit.

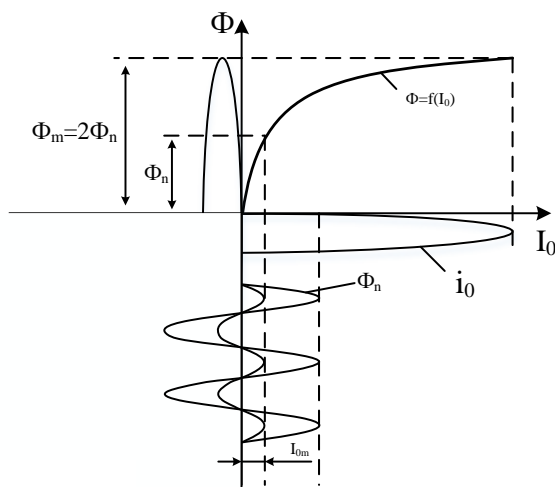
**Cuvinte cheie:** înfășurare, miez magnetic, curba curentului, foșă elementară, inducție magnetică, metodă modernă, curent de scurt circuit.

## 1. Introducere

Transformatoarele de sudare funcționează în trei regimuri determinate de operațiile efectuate în timp asupra obiectului supus procesului de sudare. Regimul nominal există atât timp cât arde arcul electric dintre electrod și piesă sau piesele supuse sudării. În cazul lipirii electrodului de piesă are loc regimul de scurtcircuitare. Acest regim depinde de calificarea personalului de realizare manuală a procesului de sudare. La conectarea transformatorului la rețea are loc regimul de mers în gol. Așadar transformatorul de sudare în dependență de modul de realizare a procesului tehnologic periodic funcționează permanent în regimurile indicate anterior. Conectarea în regimul de mers în gol a transformatorului sau la stingerea arcului electric curentul din primar poate atinge valori de (4...6) ori mai mari ca în regim nominal. Această valoare maximă a curentului poate fi atinsă în cazul când valoarea tensiunii rețelei trece prin zero adică în clipa când electrodul este rupt de la piesa de sudare (începutul regimului de mers în gol). Acest fenomen de creștere a curentului de mers în gol este provocat de suprasaturația miezului magnetic al transformatorului (fig.1).

## 2. Procese tranzitorii

În [1,2] sunt prezentate soluțiile ecuației diferențiale de descriere a procesului tranzitoriu corespunzător acestui regim dinamic. La neglijarea fluxului magnetic remanent  $\Phi_r$  și acceptarea ipotezei că  $r_1 \leq \omega \cdot L_1$  lucru evident prezent în transformatoarele de sudare, fluxul magnetic din miezul transformatorului se dă cu relația.



$$\Phi_m = -\Phi_n \cos \omega_1 t + \Phi_n \cdot e^{-\frac{r_1}{L_1} t} \quad (1)$$

După o semiperioadă  $\omega_1 t = \pi$  tensiunea devine nulă și

$$\Phi_m \approx 2 \cdot \Phi_n \text{ deoarece } \frac{r_1}{L_1} \approx 0$$

Deseori în procesul de sudare manuală electrodul se prinde de piesa sudată. Acest proces tranzitoriu provoacă scurtcircuitarea secundară. Soluția ecuației diferențiale de descriere a acestui proces tranzitoriu se dă, fiind acceptate anumite ipoteze cu relația.

Fig.1 Curba variației fluxului magnetic și curentului din primar la mers în gol în regim tranzitoriu.

$$i_{1m} = I_{mp} \sin(\omega_1 t + \psi - \varphi_k) - I_{mp} \sin(\psi - \varphi_k) \cdot e^{-\frac{Z_{sc}}{X_{sc}} t} \quad (2)$$

Valoarea maximă a curentului este atinsă pentru  $\psi = \frac{\pi}{2} + \varphi_k$  și aproximativ după jumătate de perioadă k  $\omega_1 \pi$  de la începutul procesului de scurtcircuitare, ca urmare expresia (2) după transformări se scrie astfel.

$$i_{1m} = -I_{mp} \cdot \left( 1 + e^{-\frac{r_{sc}}{X_{sc}} \pi} \right) = -I_{mp} \cdot k_m \quad (3)$$

unde:  $k_m$  – variază în limitele 1,2...1,4

$$\text{iar } I_{mp} = \frac{100}{U_{sc}} \cdot I_n.$$

În final

$$i_{1m} = I_n \cdot \frac{100}{U_{sc}} \cdot k_m \approx k_m \cdot I_n \quad (4)$$

și variază în limitele (10...20) pentru transformatoarele de sudare.

### 3. Forțele de interacțiune dintre înfășurări

Datorită valorilor esențiale ale curenților din primar la mers în gol din primar și secundar în scurtcircuit între miezul magnetic și între înfășurări apar forțe considerabile, frecvente în transformatoarele de sudare. Aceste forțe acționează asupra materialului izolant în mod mecanic și conduc la reducerea termenului de viață a înfășurărilor. Determinarea sau calculul acestor forțe este dificil și în majoritatea cazurilor este foarte aproximativ. În regim de mers în gol se constată că valoarea curentului la conectare depășește de (4. ..6) ori curentul nominal. Acest curent închis prin înfășurarea primară interacționează cu curenții turbionari din miezul magnetic și valoarea forței este dificil de determinat.

Un interes deosebit îl constituie forțele de interacțiune dintre înfășurările transformatorului în regim de scurtcircuit. Aceste forțe poartă caracter interior și exterior. Forțele axiale  $F_A$  acționează între conductorii înfășurării și constring în direcția axială (fig. 2.a).

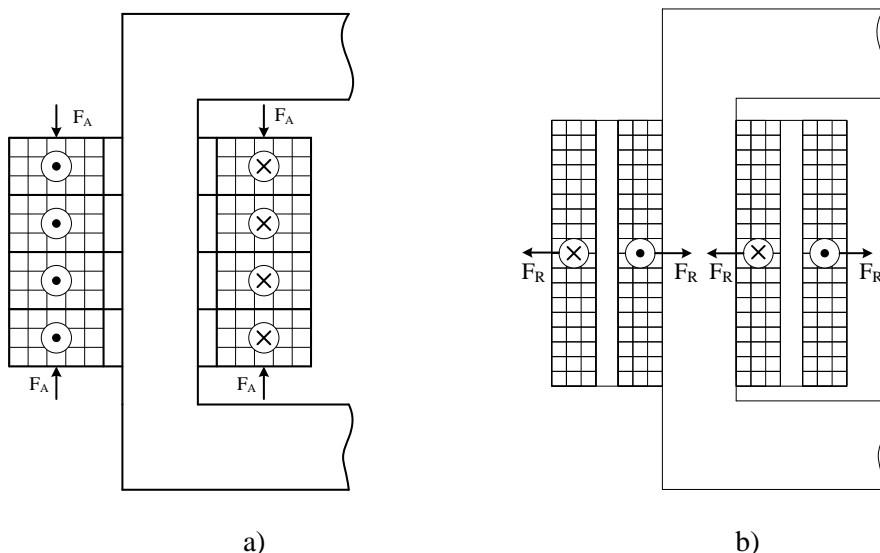


Fig.2 Acțiunea forțelor axiale –a și radiale –b.

Forțele exterioare acționează opus în direcția radială astfel înfășurarea de joasă tensiune este presată spre coloana miezului magnetic. Forțele aplicate asupra înfășurării de înaltă tensiune tind de a deforma înfășurarea

în exterior. Așadar în ultimul caz înfășurările se resping între ele (fig. 2.b). Repartizarea fluxurilor de dispersie în spațiul exterior a miezului magnetic este dificil de determinat. În regim de mers în gol fluxul magnetic de dispersie  $\Phi_{\sigma 1}$  constituie aproximativ 2% din fluxul principal. Acțiunea forțelor radiale în regim de mers în gol evident că sunt nesemnificative (fig.4). Acest rezultat este confirmat de calculul acestui flux cu aplicația teoriei elementului finit (fig. 3.)

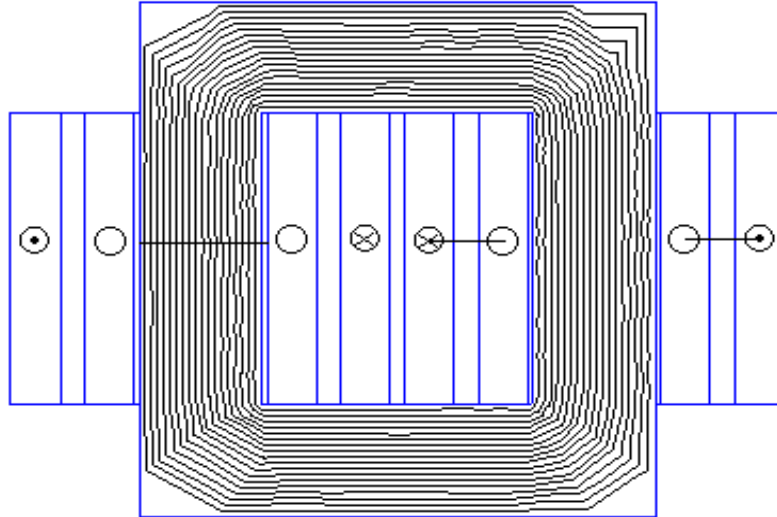


Fig.3 Repartizarea fluxului magnetic în regim de mers în gol.

În regim de scurtcircuit curentul crește conform expresiei (4) concomitent cresc și forțele de interacțiune dintre înfășurări determinate cu expresia:

$$d\vec{f} = \left[ \vec{J} \cdot \vec{B} \right] dv \quad \text{sau} \quad \vec{f} = \int_v \left[ \vec{J} \cdot \vec{B} \right] dv$$

unde:  $d\vec{f}$  - forța vector de acțiune asupra unui element de conductor;

$\vec{J}$  - densitatea curentului;

$\vec{B}$  - inducția magnetică;

$dv$  - element de volum al conductorului.

În sursa [1.2.] sunt prezentate expresii pentru determinarea aproximativă a forțelor radiale în regim de scurtcircuit. Pentru configurații geometrice simple ale înfășurărilor și respectarea perpendicularității vectorilor  $\vec{J}$  și  $\vec{B}$  forța de acțiune dintre înfășurări poate fi determinată cu expresia

$$F = B_{\sigma} \cdot i \cdot l_c$$

unde:  $B_{\sigma}$  – inducția corespunzătoare fluxurilor de dispersie;

$i$  – curentul din conductor;

$l_c$  – lungimea conductorului înfășurării;

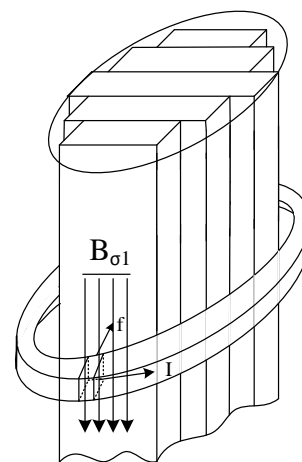


Fig.4 Acțiunea forței elementare asupra elementului de volum al conductorului înfășurări

Unica dificultate constă în determinarea inducției magnetice  $B_{\sigma}$ . Aici este binevenită metoda elementului finit prin intermediul acestei metode se determină  $B_{\sigma}$ , sursa [3]. În figura 5 este prezentată repartizarea fluxului de dispersie în spațiul exterior al sistemului magnetic. Liniile fluxului de dispersie din fereastra sistemului magnetic sunt practic paralele și perpendiculare pe juguri. Calculul forțelor de interacțiune dintre înfășurări au demonstrat că metoda cu aplicația elementului finit este cea mai simplă și mai exactă.

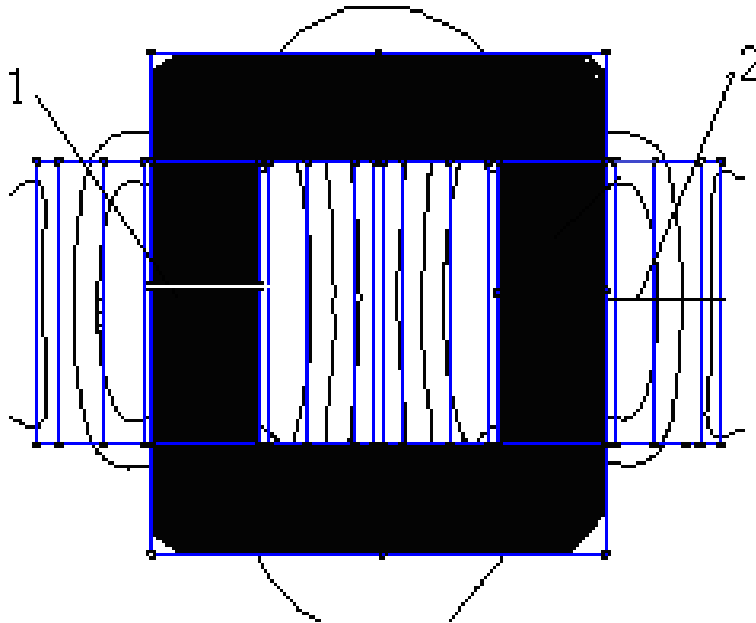


Fig.5 Tabloul câmpului magnetic.

## CONCLUZIE:

În baza descrierii matematice a proceselor electromagnetice din transformatoarele de putere date în literatură de specialitate și periodică sau selectat acele descrieri sau expresii necesare pentru analiza și proiectarea transformatoarelor de sudare recent produse în țara de Red-Nord, Bălți. Pentru determinarea unor parametri dificili cum ar fi fluxurile de dispersie sa folosit metoda elementului finit fiind mai simplă și exactă. În baza calculului fluxurilor de dispersie cu aplicarea programului FEEM se determină reactanța de scurtcircuit pentru fiecare înfășurare aparte parametri ai transformatorului greu de determinat prin calcul chiar aproximativ. Rezultatele obținute pot fi folosite în elaborarea și calculul transformatoarelor de sudare.

## Literatura

- [1] Sergheencov B. N., Kiselev B. M., Akimova N. A. Electriceskie masini. Transformatorî.M., Vișaiia Școla, 1989, p.351
- [2] Lurie L. B. Osevie usilia v obmotkax transformatorov. Electricestvo, 1972. Nr.4 p. 23...31
- [3] Ambros T., Tofan G. Metoda elementelor finite în calculul câmpului magnetic a transformatoarelor de sudare. Conferința tehnico-științifică a doctoranzilor. Chișinău 2007. p.2