

# ÎNFĂȘURĂRI CONCENTRATE STATORICE ÎN MOTOARELE ASINCRONE SCURTCIRCUITATE

GRIGORE TOFAN, NICOLAE PIETRARU, TUDOR AMBROS

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Abstract:** Pentru a reduce cuprul și a simplifica procesul de reparație a înfășurărilor statorice, sunt propuse înfășurări concentrate. Înfășurările montate în creștături într-un anumit mod apropie curba variației inducției magnetice de sinusoidă. În acest context înfășurarea statorică include secțiuni cu cele două laturi plasate în creștături vecine, cuprinzând astfel dinții statorici. La conectarea secțiilor succesiv, curenții închiși prin faze produc flux magnetic variabil în timp și spațiu. Înclinarea creștăturilor statorice în direcție axială sub un anumit unghi, contribuie la apropierea de sinusoidă a curbei variației inducției magnetice din întrefier.

**Cuvinte cheie:** motor asincron, înfășurare concentrată, creștături închise, câmp magnetic, metodă, întrefier, secții, spire.

## 1. Introducere

Motoarele asincrone constituie peste 60% din parcul mondial de motoare electrice. O mare parte din motoarele asincrone sunt exploatate în condiții dificile [1], din care cauză fiabilitatea și termenul de „viață” se reduce de 2-3 ori. Ca urmare este necesar de a îmbunătăți condițiile de exploatare și deservire a motoarelor, de a simplifica producerea acestora în pofida faptului, că motoarele asincrone cu rotorul scurtcircuitat sunt cele mai fiabile și simple în deservire.

Totuși construcția părții active a statorului motorului asincron nu asigură fiabilitatea corespunzătoare condițiilor dificile de funcționare.

Repartizarea înfășurării în creștături conduce la intersecția părților frontale, ca urmare complică lucrările de reparație. De aceea la defectarea înfășurării statorice în majoritatea cazurilor este înlăturată toată înfășurarea, iar materialul deficitar din cupru nu mai poate fi folosit pentru rebobinarea înfășurării.

Înfășurările statorice ale mașinilor electrice utilizate la etapa erau diferite de înfășurările mașinilor moderne. În aceste mașini cu înfășurări inelare concentrate [2], cantitatea de cupru folosită în acest scop, este mai mare decât cea folosită în motoarele moderne, de aceea fluxurile de dispersie ale părților frontale ale înfășurării depășesc cu mult fluxurile de dispersie din motoarele asincrone echipate cu înfășurări în toba. Concomitent, înfășurarea concentrată deformează curba inducției magnetice din întrefier.

## 2. Performanțele înfășurărilor concentrate

În anii 1955-1975 s-au efectuat cercetări [3] și sau propus modele de motoare asincrone de construcție statorică simplificată, fiabile și ușor de reparat, fiind folosite în aceste motoare înfășurări concentrate. Motoarele propuse au un număr mic de creștături pe stator ( $Z_1 = 6, 12, 18...$  și corespunzător  $2p = 2, 4, 6...$ ), iar înfășurările statorice au părțile frontale reduse, deoarece laturile unei secții sunt plasate în două creștături vecine (fig.1, a). Numărul de creștături pentru un pol și o fază  $q_1 = 1$ , de unde  $Z_1 = 2p \cdot m_1$ . Reieșind din cele menționate, cantitatea de cupru care revine părților frontale se reduce în comparație cu cea din motoarele asincrone produse în prezent în serie. Secțiunile înfășurării se conectează după cum este indicat în figura 1, b, fiind produs astfel, de curenții fazici, câmpului magnetic învârtitor.

Eficiența transformării energiei electrice în convertizoarele electromecanice depinde, în primul rând, de gradul de legătură inductivă dintre înfășurările statorică și rotorică, caracterizată de relația

$$C = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (1)$$

unde  $M$  – coeficientul inductivității mutuale;  $L_1$  și  $L_2$  – inductivitățile totale ale înfășurării statorice și rotorice.

Acestor mărimi le corespund permeabilitățile circuitelor magnetice respective

$$\lambda_1 = \lambda_m + \lambda_{\sigma 1} \quad \text{și} \quad \lambda_2 = \lambda_m + \lambda_{\sigma 2}$$

unde  $\lambda_m$  – permeabilitatea mutuală;  $\lambda_{\sigma 1}$  și  $\lambda_{\sigma 2}$  – permeabilitățile corespunzătoare fluxurilor de dispersie.

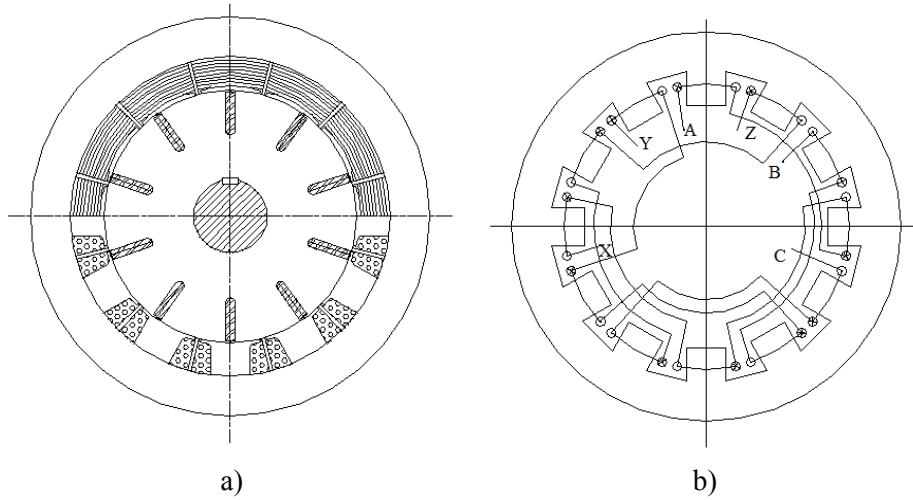


Fig. 1. Înfășurarea concentrată cu numărul de creștături redus

- a) Tehnologia de montare a înfășurării;  
b) schema de conexiune a secțiilor în faze.

Legătura prin intermediul câmpului magnetic este mai eficientă dacă permeabilitățile  $\lambda_{\sigma 1}$  și corespunzător  $\lambda_{\sigma 2}$  au valori minime. În cazul dat lungimea părților frontale se micșorează, se reduc fluxurile de dispersie frontale și valoarea lui  $C$  crește, deoarece

$$C = \frac{\lambda_m}{\sqrt{(\lambda_m + \lambda_{\sigma 1})(\lambda_m + \lambda_{\sigma 2})}} \quad (2)$$

Un rol important pentru optimizarea construcției mașinii electrice îl joacă determinarea corelației dintre volumul oțelului electrotehnic și volumul cuprului înfășurărilor.

Folosind expresia pentru constanta Arnold a mașini electrice

$$C_A = \frac{D^2 \cdot l_\delta \cdot \Omega}{P'} \quad (3)$$

sau

$$C_A = \frac{1}{K_B \cdot K_W \cdot B_\delta \cdot A} \quad (4)$$

Expresia (3) determină volumul părții active a oțelului corespunzător puterii de calcul pentru viteza unghiulară data  $\Omega$ . În acest caz volumul deșeurilor și materialul izolanț se va micșora.

Expresia (4) determină volumul cuprului utilizat pentru înfășurări, deoarece

$$A = \frac{2 \cdot W_1 \cdot m_1 \cdot I}{\pi \cdot D} \quad (5)$$

unde curentul  $I$  este proporțional cu densitatea  $J$  și secțiunea transversală  $S_c$  a conductorului, care rămâne constantă.

Însă lungimea conductorului este determinată de lungimea spirelor  $W_1$ , proporțională inducției magnetice sau fluxului din întrefier. Conform celor indicate anterior, deoarece numărul de spire rămâne constant, lungimea conductorului se micșorează. Ca urmare, rezistența conductorului secțiilor înfășurării se micșorează, astfel pentru același curent pierderile electrice scad.

### 3. Analiza câmpului magnetic

În continuare se analizează și se calculează cu aplicația FEMM câmpul magnetic din motorul asincron [4] cu numărul de creștături redus și înfășurări concentrate pe stator.

În figura 2 este prezentată secțiunea transversală a motorului asincron în studiu. În creștăturile statorice  $Z_1 = 24$  sunt plasate secțiile înfășurării trifazate concentrate.

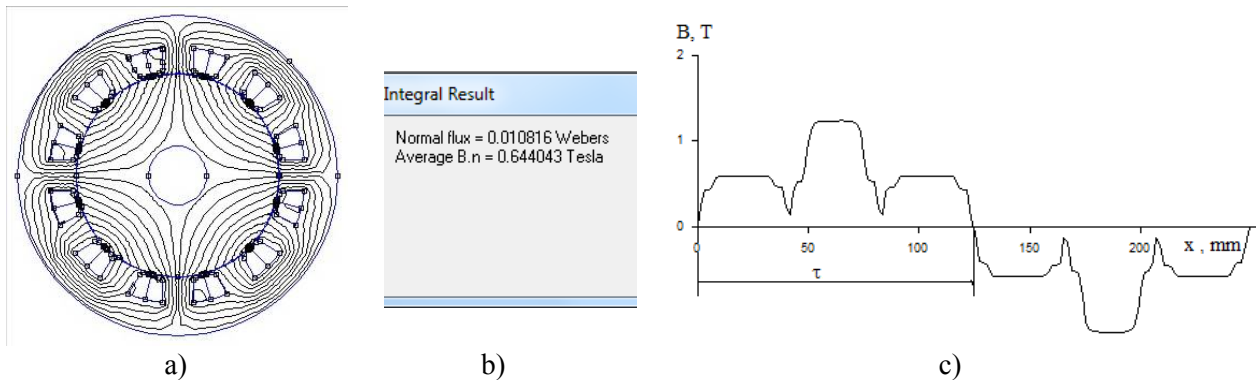


Fig. 2. Variația câmpului magnetic din întrefier pentru creștături deschise și rotor masiv  
a) liniile câmpului magnetic, b) valoarea inducției și fluxului; c) curba variației inducției magnetice.

Rotorul este executat din material feromagnetic masiv fără creștături pentru a scoate în evidență curba inducției magnetice din întrefier.

Conform figurii 2, a liniile câmpului magnetic formează patru poli, numărul cărora a fost anunțat anterior. Valoarea inducției magnetice din întrefier (fig. 2, b) corespunde valorii calculate la elaborarea mostrei prezentate. Se observă că graficul curbei inducției magnetice formează trei trepte pe semiperioadă deformată neesențial de deschizăturile creștăturilor statorice. Această deformare poate fi corectată dacă deschizăturile creștăturilor se închid cu pene, de exemplu, din material presat din pulbere și pilitură de fier.

În figura 3 a, b, c sunt prezentate în formă grafică și numerică parametrii câmpului magnetic în secțiune pe diverse sectoare ale circuitului magnetic.

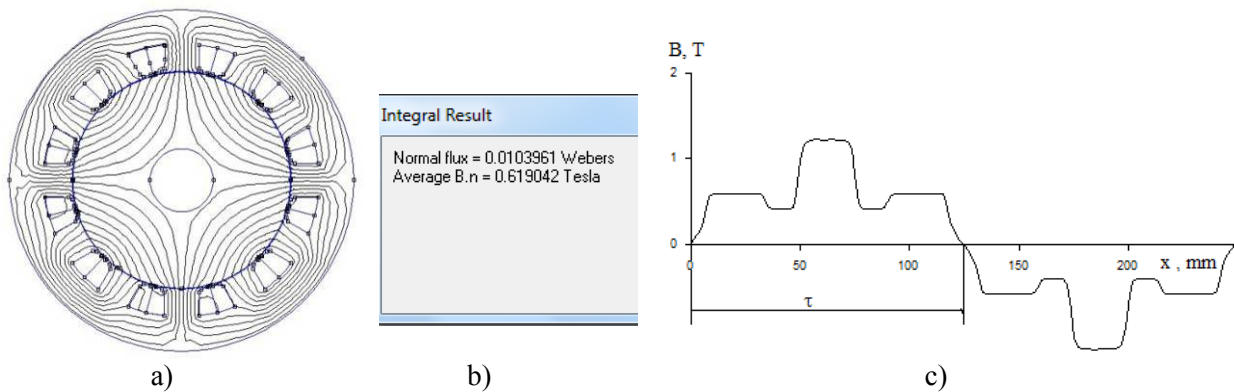


Fig. 3. Variația câmpului magnetic din întrefier pentru creștături închise și rotor masiv  
a) liniile câmpului magnetic, b) valoarea inducției și fluxului; c) curba variației inducției magnetice.

Comparativ cu valorile inducției magnetice prezentate în figura 2 b, acestea se deosebesc neesențial.

În mostra teoretică prezentată prin secțiunea transversală a motorului (fig. 4) pe rotor se montează sau se toarnă, în dependență de material, înfășurarea rotorică scurtcircuitată. Scurtarea pasului în mostra dată se efectuează pe rotor, fiind luat raportul  $Z_2/Z_1 < 1$ .

Înfășurarea scurtcircuitată este montată în corpul rotorului executat din material feromagnetic masiv. Realizarea tehnologiei acestui motor este cu mult mai simplificată în raport cu motoarele asamblate din tole de oțel electrotehnic. Afară de aceasta, frezarea creștăturilor pe rotor poate fi efectuată sub un unghi arbitrar, fapt care contribuie la înăbușirea armonicilor din curba inducției magnetice din întrefier.

Creștăturile rotorice pot fi deschise și închise în dependență de materialul și tehnologia confecționării

înfășurării scurtcircuitate, adică acestea pot fi turnate din aluminiu sau confecționate din cupru. Barele rotorice realizate din cupru sunt sudate cu inele de scurtcircuitare.

În figura 4 este prezentat câmpul magnetic în formă grafică și numerică din secțiunea transversală a motorului asincron cu înfășurare rotorică.

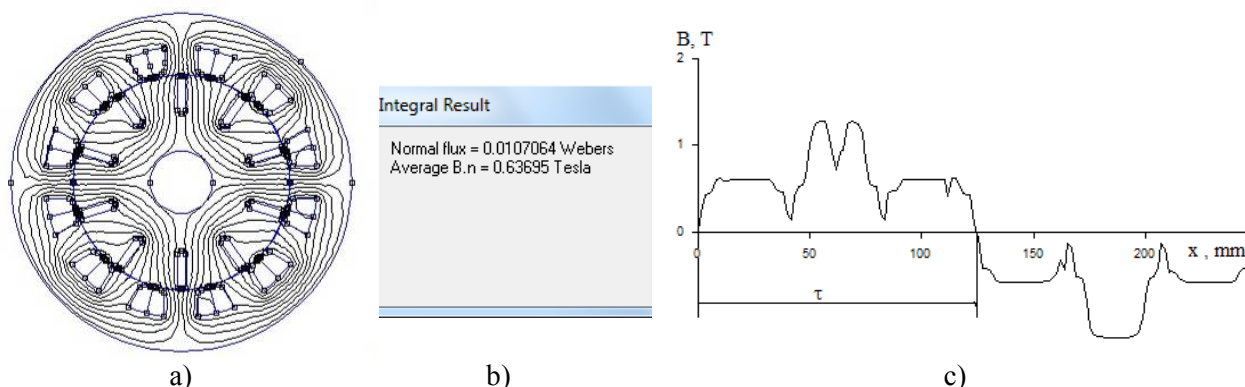


Fig. 4. Variația câmpului magnetic din întrefier pentru creștături semideschise și creștături rotorice a) liniile câmpului magnetic, b) valoarea inducției și fluxului; c) curba variației inducției magnetice.

Evident că câmpul magnetic s-a deformat esențial, statorul și rotorul fiind creștat ca în mașinile electrice clasice.

Pentru a micșora numărul de trepte și a apropia curba variației inducției magnetice din întrefier, creștăturile statorice s-au rotorice se înclină în direcție axială la un anumit unghi. Tehnologic este mai ușor de realizat înclinarea barelor înfășurării rotorice. Acest unghi poate fi determinat analitic s-au experimental. Valoarea unghiului de înclinație a barelor poate varia arbitrar în raport cu unghiul axial longitudinal.

În acest caz se observă ca variația inducției magnetice din întrefier în forma grafică se apropie de sinusoidă (fig. 5).

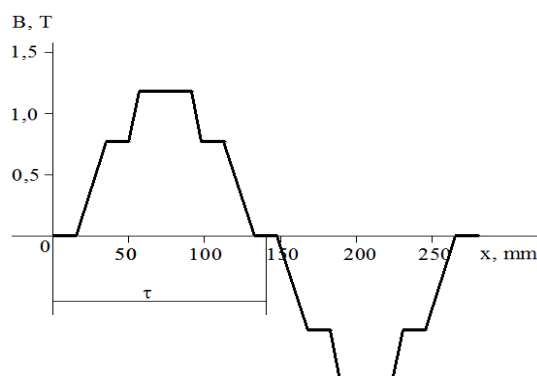


Fig. 5. Variația inducției magnetice rezultante.

#### 4. Concluzii

S-au indicat particularitățile execuției înfășurărilor concentrate și în tobă. Montarea secției înfășurărilor concentrate cu laturile în creștăturile vecine, contribuie la reducerea părților frontale, economisirea cuprului, majorarea fiabilității și reparație simplificată.

Scurtarea pasului înfășurării scurtcircuitate rotorice și modificarea unghiului de înclinație a barelor rotorice în direcție axială apropie curba variației inducției magnetice de sinusoidă.

#### Bibliografie

1. Andrianov V., Bîstrițkii D. *Despre termenul de exploatare al motoarelor electrice și direcțiile cercetărilor în electromecanică*. Mecanizarea și electrificarea agriculturii nr. 7, 1972.
2. Kostenko M., Piotrovskii L. *Electricieschie machiny*. Partea I. Leningrad, Energhia 1972.
3. *Darea de seamă a laboratorului Institutului de Cercetări Științifice în electrificarea agriculturii din Kazakstan*. Alma-Ata, 1975.
4. Ambros T. *Convertizoare electrice și electromecanice speciale*. Editura Tehnica-INFO, Chișinău, 2008.