

DETERMINAREA DIMENSIUNILOR GEOMETRICE ALE MAGNEȚILOR PERMANENȚI UTILIZAȚI ÎN EXCITAȚIA MAȘINILOR ELECTRICE

T. Ambros, L. Iazlovețchi, M. Iazlovețchi
(Universitatea Tehnică a Moldovei)

Abstract: The analytical dependence connecting parameters of a magnetic circuit of the electrical machine with sizes of permanent magnets is obtained. The influence of parameters of a magnetic circuit and sizes of permanent magnets on magnitude of a magnetic induction in an air gap is shown. The technique permitting to define rational sizes of permanent magnets at the stage of precomputations is offered.

Cuvinte cheie: dependența analitică, magneți permanenți, grosimea magnetului, întrefier, inducția remanentă, forța magnetodinamică coercitivă, reacția indusului longitudinală.

1. INTRODUCERE

Una din problemele de bază la etapa proiectării mașinilor electrice cu magneți permanenți constă în selectarea prealabilă a dimensiunilor acestor magneți. Secțiunea transversală a magnetului determinată de valoarea fluxului magnetic produs depinde de schema constructivă a mașinii solicitate. Așadar problema se reduce în esență la determinarea grosimii magnetului permanent, adică la determinarea forței de magnetizare produse de magnet.

În prezent, pentru calculul circuitelor magnetice cu magneți permanenți se utilizează, de regulă, metodele grafo-analitice, care iau în considerație nelinearitatea atât a magneților, cât și a circuitului magnetic exterior. Aceste metode sunt acceptabile în cadrul calculelor de verificare ale mașinilor electrice când se consideră nu numai parametrii circuitului magnetic, dar și stabilizarea proceselor fizice din magneți permanenți. Însă aceste metode au un grad mic de utilitate în cadrul determinării prealabile orientative a grosimii magnetului permanent. În acest caz este mai convenabilă utilizarea expresiilor analitice, care stabilesc relațiile dintre mărimile de calcul principale.

2. METODA ANALITICĂ DE CALCUL A INDUCȚIEI MAGNETICE DIN ÎNTREFIER

Metoda analitică de calcul poate fi aplicată pentru magneți permanenți cu forța coercitivă înaltă, produși pe baza compușilor SmCo și NdFeB, care posedă o caracteristică de demagnetizare practic liniară.

Dacă se neglijează proeminența caracteristicii de demagnetizare și se consideră că în acest caz linia de revenire coincide cu caracteristica de demagnetizare,

atunci locul corespunzător punctului de funcționare al magnetului pe caracteristica de demagnetizare se va determina cu relația:

$$\frac{B_r}{H_c \cdot \Delta_m} = \frac{B_m}{H_c \cdot \Delta_m - F_m} \quad (1)$$

unde: B_r și H_c – inducția magnetică remanentă și forța coercitivă a materialului magnetic;

Δ_m – grosimea magnetului;

B_m și F_m – valoarea medie a inducției magnetice și valoarea echivalentă a forței de magnetizare a magnetului corespunzătoare punctului de funcționare.

Se poate de remarcat că repartizarea cîmpului magnetic în interiorul magnetului este neuniformă, ceea ce face ca considerarea acestui fenomen la etapa determinării prealabile a dimensiunilor să fie imposibilă. De aceea, în continuare, în locul magnetului real se va considera un magnet cu aceleași dimensiuni și cu o repartizare uniformă în volum a fluxului magnetic, acesta fiind caracterizat de o anumită valoare medie a inducției magnetice B_m și de o anumită valoare a forței de magnetizare echivalente F_m . Cele enunțate anterior pot fi demonstrate cu ajutorul diagramei de lucru a magnetului, prezentată în Fig.1.

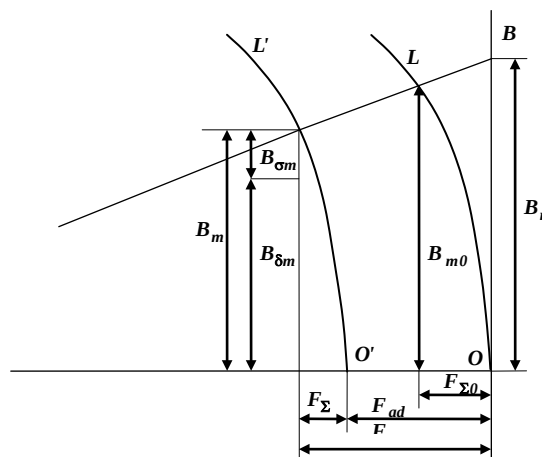


Fig. 1. Diagrama de funcționare a magnetului

În figură sunt indicate:

B_{m0} , $F_{\Sigma 0}$ – inducția magnetică în magnet și căderea tensiunii magnetice în circuitul magnetic exterior în regim de mers în gol;

F_{Σ} – căderea de tensiune magnetică în circuitul magnetic exterior la funcționarea mașinii în sarcină;

F_{ad} – forța magnetizantă longitudinală a reacției de demagnetizare a indusului;

$B_{\sigma m}$ – componenta inducției magnetice din magnet, determinată de fluxul de dispersie al acestuia;

$B_{\delta m}$ – componenta inducției magnetice din magnet, determinată de fluxul magnetic util;

OL – caracteristica de magnetizare a circuitului magnetic exterior;

$O' L'$ – linia OL deplasată echidistant cu mărimea F_{ad} în direcția axei absciselor.

Punctul de intersecție al liniei $O' L'$ cu caracteristica de demagnetizare a magnetului determină punctul de funcționare al magnetului.

Fluxul magnetic din magnet poate fi prezentat ca suma dintre fluxul magnetic util din întrefier Φ_{δ} și fluxul de dispersie Φ_{σ} , adică:

$$\Phi_m = \Phi_{\delta} + \Phi_{\sigma} \quad (2)$$

Atunci valoarea medie a inducției magnetice în secțiunea transversală a magnetului va fi:

$$B_m = \frac{\Phi_m}{S_m} = B_{\delta} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_m} + \frac{\Phi_{\sigma}}{S_m} = B_{\delta m} + B_{\sigma m} \quad (3)$$

unde: B_{δ} – inducția magnetică în întrefierul mașinii;

S_m și S_{δ} – aria secțiunii transversale a magnetului și aria de calcul a întrefierului;

Căderea de tensiune magnetică în circuitul magnetic exterior al mașinii poate fi prezentată astfel:

$$F_{\Sigma} = \frac{\delta \cdot K_{\delta} \cdot K_{\mu}}{\mu_0} \cdot B_{\delta} \quad (4)$$

unde: δ – mărimea întrefierului;

K_{δ} – coeficientul Carter;

K_{μ} – coeficientul de saturație al circuitului magnetic;

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ – permeabilitatea magnetică a vidului, H / m ;

Forța magnetizantă dezvoltată de magnet, F_m , este egală cu suma dintre căderea de tensiune magnetică în circuitul magnetic exterior – F_{Σ} și forța magnetizantă a componentei longitudinale a reacției de demagnetizare a indusului – F_{ad} , adică:

$$F_m = F_{\Sigma} + F_{ad} \quad (5)$$

Substituind în ultima ecuație forța magnetizantă a magnetului obținută din ecuația (1) cu considerarea ecuației (3) și mărimea F_{Σ} în urma unor transformări obținem:

$$B_{\delta} = \frac{B_r - B_{\sigma m} - B_r \cdot \frac{F_{ad}}{H_c \cdot \Delta_m}}{\frac{S_{\delta}}{S_m} + \frac{K_{\delta} \cdot K_{\mu} \cdot \delta}{\Delta_m} \cdot \frac{B_r}{\mu_0 \cdot H_c}} \quad (6)$$

Dacă considerăm drept valoare de bază a inducției magnetice inducția remanentă de magnetizare – B_r și introducem valorile relative ale inducțiilor magnetice:

$$B_{\delta}^* = \frac{B_{\delta}}{B_r} \quad (7),$$

$$B_{\sigma m}^* = \frac{B_{\sigma m}}{B_r} \quad (8),$$

atunci valoarea relativă a inducției magnetice din întrefier poate fi determinată cu expresia:

$$B_{\delta}^* = \frac{1 - B_{\sigma m}^* - \frac{F_{ad}}{H_c \cdot \Delta_m}}{\frac{S_{\delta}}{S_m} + \frac{K_{\delta} \cdot K_{\mu} \cdot \delta}{\Delta_m} \cdot \frac{B_r}{\mu_0 \cdot H_c}} \quad (9)$$

Analizînd ecuația obținută, se poate de constatat următoarele:

- raportul $\frac{B_r}{\mu_0 \cdot H_c}$ pentru diferite tipuri de magneți se

modifică într-un diapazon destul de îngust. Astfel, pentru grupul de magneți confecționați din NdFeB, acest raport variază în limitele de la 1,0 pînă la 1,1; iar pentru magneții din grupul SmCo – în limitele de la 1,1 pînă la 1,4. Evident că pentru obținerea unei valori mai mari a inducției din întrefier este necesară selectarea magneților cu valori mari ale inducției remanente B_r și cu o valoare mică a raportului

$$\frac{B_r}{\mu_0 \cdot H_c};$$

- produsul $K_{\delta} \cdot K_{\mu} \cdot \delta$ constituie întrefierul echivalent, care consideră atît structura dințată, cît și saturația sistemului magnetic al mașinii. Dacă materialul magnetului a fost selectat, atunci mărimea acestui întrefier poate fi corectată la considerarea

$$\text{coeficientului } \frac{B_r}{\mu_0 \cdot H_c}.$$

Astfel, întrefierul echivalent poate fi dat cu expresia:

$$\delta_e = K_{\delta} \cdot K_{\mu} \cdot \frac{B_r}{\mu_0 \cdot H_c} \cdot \delta \quad (10)$$

Atunci ecuația (9) imediat se transformă după cum urmează:

$$B_{\delta}^* = \frac{1 - B_{\sigma m}^* - \frac{F_{ad}}{H_c \cdot \Delta_m}}{\frac{S_{\delta}}{S_m} + \frac{\delta_e}{\Delta_m}} \quad (11)$$

- raportul $\frac{S_\delta}{S_m}$ consideră schema constructivă a sistemului magnetic al mașinii. În lipsa tălpilor polare și la montarea magneților pe rotor orientați spre întrefier, precum și la neglijarea efectului de margină al cîmpului magnetic $\frac{S_\delta}{S_m} = 1$.

Schema constructivă a sistemului magnetic al mașinii influențează și asupra coeficientului Carter. Evident că în lipsa tălpilor polare acest coeficient va fi mai mic datorită faptului că permeabilitatea magnetică a magneților permanenți se deosebește neesențial de permeabilitatea magnetică a vidului. În acest caz mărirea întrefierului se va majora cu grosimea magnetului permanent.

- valoarea relativă a inducției magnetice din magnet, determinată de fluxul acestuia de dispersie $B_{\sigma m}^*$, poate micșora substanțial inducția magnetică din întrefier. Preventiv, valoarea $B_{\sigma m}^*$ poate fi dată în limitele de la 0,1 pînă la 0,15; iar precizarea finală poate fi dată în urma alegerii construcției sistemului magnetic și a dimensiunilor magneților permanenți.

- raportul $\frac{F_{ad}}{H_c \cdot \Delta_m}$ reprezintă raportul dintre forța magnetizantă a reacției longitudinale de demagnetizare a indusului și forța magnetizantă produsă de magnetul permanent. Dacă reacția indusului premagnetizează sistemul magnetic al mașinii, atunci semnul din fața componentei $\frac{F_{ad}}{H_c \cdot \Delta_m}$ trebuie schimbat în opus. În fig. 2. sunt

prezentate dependențele $B_\delta^*(\Delta_m)$, calculate pentru magneți permanenți din grupa NdFeB, marca H38SH ($B_r = 1,26T$ și $H_c = 900kA/m$) și pentru parametrii circuitului magnetic:

$$B_{\sigma m}^* = 0,1; \frac{S_\delta}{S_m} = 1; \delta_e = 2.$$

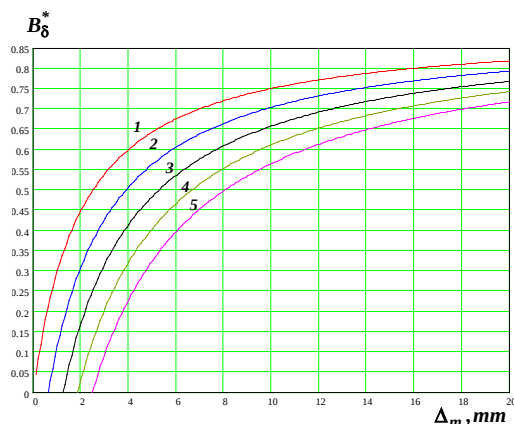


Fig. 2. Dependențele $B_\delta^*(\Delta_m)$

- 1 – pentru $F_{ad} = 0 A$; 2 – pentru $F_{ad} = 500 A$;
 3 – pentru $F_{ad} = 1000 A$; 4 – pentru $F_{ad} = 1500 A$;
 5 – pentru $F_{ad} = 2000 A$.

Fiecare curbă corespunde unei anumite valori a F_{ad} , acestea constituind: 0, 500, 1000, 1500, 2000 A.

Analiza curbelor demonstrează că reacția longitudinală de demagnetizare a indusului acționează semnificativ asupra valorii inducției magnetice din întrefier. Cu toate acestea, alegerea grosimii magnetului poate fi realizată pe baza curbei $B_\delta^*(\Delta_m)$ în cazul în care sunt date valorile inducției magnetice B_δ și a F_{ad} . Evident că grosimea magnetului este rațional de ales în regiunea maxim convexă a curbei $B_\delta^*(\Delta_m)$.

În cel mai simplu caz, în lipsa tălpilor polare, la neglijarea fluxului de dispersie al magnetului și în regim de mers în gol, formula (11) se scrie astfel:

$$B_\delta^* = \frac{1}{1 + \frac{\delta_e}{\Delta_m}} \quad (12)$$

Expresia (12) poate fi utilizată pentru determinarea prealabilă a inducției magnetice în regim de mers în gol.

Expresia (11) este rațional utilizabilă pentru alegerea grosimii magnetului, considerînd respectiv toți factorii de influență.

3. CONCLUZII

1. Inducția magnetică în întrefierul mașinii electrice cu magneți permanenți se micșorează cu majorarea fluxului de dispersie al magnetului, a componentei longitudinale a reacției de demagnetizare a indusului și a întrefierului echivalent. Prezența tălpilor polare contribuie la majorarea suprafeței întrefierului și prin urmare la reducerea inducției magnetice.
2. Cu ajutorul expresiei (11) poate fi realizată alegerea rațională a grosimii magneților permanenți cu forță coercitivă înaltă, utilizați pentru excitarea mașinilor electrice.

4. BIBLIOGRAFIE

- [1]. Бут Д.А. «Бесконтактные электрические машины» – М: Высшая школа, 1990, 416с.
- [2]. Ambros T., Iazlovețchi L., Burduniuc M., «Synchronous generator with permanent magnets» – Chișinău, SIELMEN 2003, p.211-214.