

DETERMINAREA INDUCTANȚEI MUTUALE DINTRE ÎNFĂȘURAREA INDUSULUI ȘI ÎNFĂȘURAREA DE EXCITAȚIE A MOTORULUI MONOFAZAT CU COLECTOR

LEONID IAZLOVEȚCHI, MARIA IAZLOVEȚCHI

Universitatea Tehnică a Moldovei

Adnotare: În acest articol sunt prezentate patru moduri de determinare a inductanței mutuale M dintre înfășurarea indusului și înfășurarea de excitație a motorului monofazat cu colector. Primul mod este bazat pe determinarea analitică a M cu ajutorul conductanței magnetice a fluxului inductanței mutuale, determinate în baza calculului electromagnetic cu utilizarea caracteristicii de magnetizare parțială. Celelalte trei moduri sunt bazate pe folosirea programului FEMM. În primul dintre ele, determinarea inductanței mutuale M se realizează pe baza integralei de la potențialul magnetic vectorial la volumul creștăturilor rotorului. Al doilea mod este bazat pe determinarea componentei normale a fluxului magnetic, care trece prin pasul polar a mașinii. În al treilea mod M se determină cu ajutorul opțiunii Circuit Properties\Circuit Name\Results\Flux Linkage. S-a demonstrat că cea mai simplă și rațională metodă pentru determinarea M este folosirea opțiunii Circuit Properties.

Cuvinte cheie: înfășurarea indusului, înfășurarea de excitație, inductanță mutuală, FEMM.

Motoarele de curent alternativ cu colector găsesc o aplicație largă în diferite dispozitive electromecanice de putere mică, atât pentru uzul casnic, cât și pentru uneltele electrice de mână. Avînd proprietăți de pornire și reglare destul de bune, acestea nu necesită echipament special pentru pornire și scheme de alimentare specifice, funcționînd astfel direct de la rețeaua de alimentare.

Îmbunătățirea ulterioară a construcției unor astfel de motoare necesită o analiză minuțioasă a proceselor electromagnetice ce au loc în ele, precum și modelarea comportamentului lor în diverse regimuri de lucru.

Cercetarea comportamentului dispozitivelor electromecanice în baza modelelor matematice este legată direct cu determinarea parametrilor acestor dispozitive, plasate în astfel de modele. La acești parametri se referă rezistențele și, mai cu seamă, reactanțele înfășurărilor mașinilor electrice. Pînă nu demult acești parametri erau determinați cu ajutorul expresiilor analitice, deduse în baza anumitor ipoteze simplificatoare și, în unele cazuri, în baza datelor experimentale. Mijloacele moderne de calcul și produsele program dezvoltate recent permit maximizarea exactității și a preciziei parametrilor determinați.

Una dintre problemele de bază ale modelării câmpurilor magnetice aferente obiectelor reale în FEMM constă în prelucrarea corectă a rezultatelor modelării și adaptării rezultatelor primite la obiectele reale. Cu toate acestea, este binevenită utilizarea tuturor modurilor existente de determinare a parametrilor pentru ca să existe posibilitatea comparării rezultatelor primite, a analizei lor și, în caz de necesitate, a corectării erorilor posibile.

În această lucrare sunt prezentate rezultatele determinării inductanței mutuale dintre înfășurarea indusului și înfășurarea de excitație pentru motorul monofazat cu colector cu ajutorul programului FEMM și compararea rezultatelor primite cu rezultatele calculelor, realizate în baza formulelor analitice. Analiza rezultatelor a fost făcută pentru motorul electric al aspiratorului cu puterea de consum $P=1250\text{W}$, tensiunea nominală $U_n=220\text{V}$ și turația nominală $n_n=6000\text{ rot/min}$.

La modelarea mașinilor electrice rotative, tensiunea electromotoare de rotație TEM, care inductează în înfășurarea indusului după axa corespunzătoare, poate fi prezentată ca produsul dintre turația unghiulară și fluxului total al înfășurării indusului după această axă. Pentru motorul de curent alternativ cu colector, la amplasarea periiilor pe linia neutră geometrică, tensiunea TEM de rotație poate fi prezentată sub forma:

$$E_{rot} = \omega_r \cdot \psi_d, \quad (1)$$

unde: ω_r – turația unghiulară a rotorului; ψ_d – fluxul total al înfășurării indusului după axa longitudinală.

La rîndul său, fluxul total ψ_d poate fi prezentat sub forma:

$$\psi_d = M \cdot I_e, \quad (2)$$

unde: M – inductanța mutuală dintre înfășurarea indusului și înfășurarea de excitație; I_e – curentul înfășurării de excitație.

La rîndul său, inductanța mutuală dintre înfășurarea indusului și înfășurarea de excitație poate fi calculată după formula [1]:

$$M = \frac{2}{\pi} \cdot w_a \cdot w_e \cdot \frac{\Phi_\delta}{F_e}, \quad (3)$$

unde: w_a și w_e – numărul spirelor înfășurării indusului și înfășurării de excitație; Φ_δ și F_e – fluxul magnetic util din întrefier și forța de magnetizare a înfășurării de excitație, necesară pentru crearea lui și determinată luînd în considerație compensația acțiunii de demagnetizare a reacției transversale a indusului.

Mărimile Φ_δ și F_e pot fi determinate din calculul electromagnetic corespunzător.

Deoarece în urma saturației miezului dependența $\Phi_\delta(F_e)$ este nelineară, în cazul schimbării curentului de excitație se schimbă și valoarea M .

Utilizarea formulei (3) pentru calculul dependenței $M(I_e)$ poate fi complicată din cauza necesității determinării în fiecare punct al calculului a acțiunii de demagnetizare a reacției indusului.

Pentru determinarea inductanței mutuale dintre înfășurarea indusului și înfășurarea de excitație cu ajutorul programului FEMM, poate fi utilizată metoda descrisă în [2]. Metoda dată poate fi folosită pentru cazul, cînd înfășurarea indusului este orientată de-a lungul axei longitudinale, adică cînd periile sunt dispuse pe axa polurilor, ortogonal față de linia neutră geometric, iar înfășurarea indusului este înălțuită deplin cu înfășurarea de excitație.

În acest caz se realizează modelarea cîmpului magnetic pentru înfășurarea de excitație conectată și înfășurarea indusului deconectată. Imaginea unui astfel de cîmp este prezentată în fig. 1.

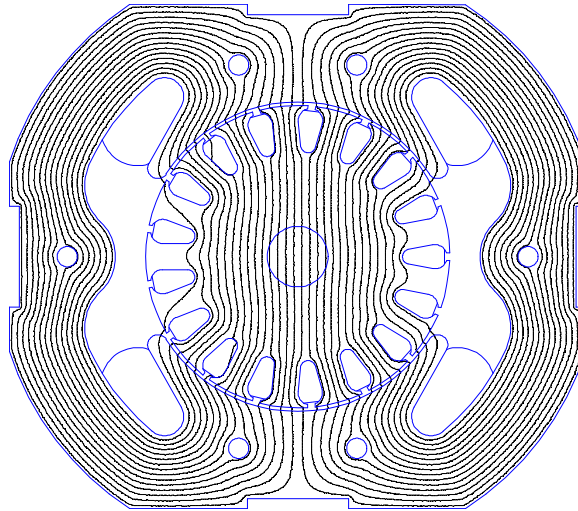


Fig. 1. Cîmpul magnetic al înfășurării de excitație.

După aceasta, în regimul parametrilor blocului, se determină integrala de la potențialul magnetic vectorial la volumul creștăturilor rotorului, în care curenții sunt direcționați din planul modelării (înfășurarea rotorului este deconectată și aici se ia în considerație numai direcția bobinajului), adică $\int_{J_{2+}} A_1 dV_2$.

În mod analogic se determină integrala pentru creștăturile, în care curenții sunt direcționați în planul modelării $\int_{J_{2-}} A_1 dV_2$.

Inductanța mutuală, dacă se ia în considerație distribuția înfășurării după circumferința rotorului, se calculează după formula:

$$M = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\int_{J_{2+}} A_1 dV_2 - \int_{J_{2-}} A_1 dV_2}{2a \cdot q_e \cdot I_e} \quad (4)$$

În cazul orientării înfășurării indusului după axa longitudinală, inductanța mutuală dintre înfășurarea indusului și înfășurarea de excitație poate fi determinată, la fel, cu ajutorul FEMM. Pentru aceasta, ca și în cazul precedent, se conectează numai înfășurarea de excitație. În continuare, după apăsarea în postprocesor a butonului Circuit Properties, din lista derulantă Circuit Name, se va alege curentul indusului. Din fereastra Results se va putea de primit fluxul total al înfășurării indusului ψ_a .

Inductanța mutuală dintre înfășurarea indusului și înfășurarea de excitație în acest caz poate fi determinată după formula:

$$M = \frac{\psi_d}{2a \cdot I_e} \quad (5)$$

Inductanța mutuală dintre înfășurarea indusului și înfășurarea de excitație poate fi determinată la fel prin componenta normală a fluxului, care trece prin suprafața indusului la distanța pasului polar. Pentru acesta se ia integrala lineară (din opțiunea Line Integrals) pentru suprafața aleasă de la B_n . În rezultat se determină componenta normală a fluxului Φ_n .

În acest caz inductanța mutuală se calculează după formula:

$$M = \frac{2}{\pi} \cdot w_a \cdot \frac{\Phi_n}{I_e} \quad (6)$$

În acest caz este evident ca, dacă înfășurarea indusului este deconectată, orientarea ei nu are importanță.

Metodele descrise mai sus, care utilizează modelarea câmpului magnetic al mașinii la mers în gol, nu consideră influența câmpului indusului asupra câmpului de excitație. La acțiunea mutuală a înfășurării indusului și înfășurării de excitație, câmpul magnetic al mașinii se distorsionează și tensiunea electromotoare TEM de rotație va fi creată de acest câmp distorsionat. În acest caz, imaginea câmpului magnetic, pentru curentul de sarcină nominal, este prezentată în fig. 2.

Inductanța mutuală dintre înfășurarea indusului și înfășurarea de excitație, în cazul dat, poate fi determinată prin aceeași metodă, ca și în cazul precedent. De asemenea, integrala lineară de la componenta normală a inducției pe suprafața indusului este necesar de a fi luată în limitele pasului polar, considerînd schimbarea punctului neutru, adică a punctului în care câmpul magnetic își schimbă direcția.

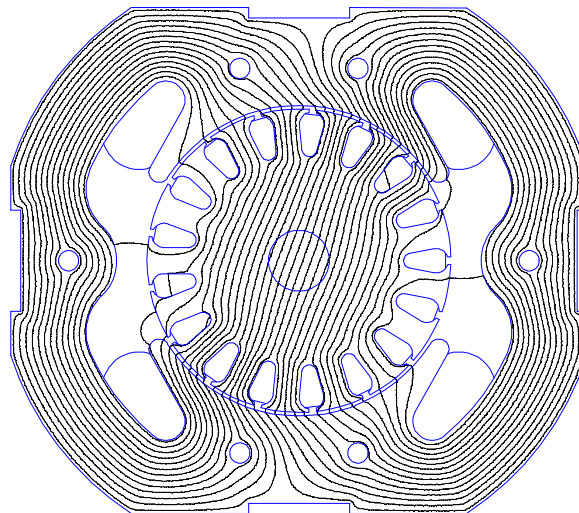


Fig. 2. Câmpul magnetic prin acțiunea comună dintre înfășurarea de excitație și înfășurarea indusului.

Rezultatele calculului inductanței mutuale dintre înfășurarea indusului și înfășurarea de excitație la schimbarea curentului de sarcină în diapazonul 0 – 2,9 de la curentul nominal sunt prezentate în fig. 3.

În tabelul 1 sunt prezentate rezultatele calculului inductanței mutuale pentru curentul de sarcină nominal.

Analiza dependențelor $M(I_e)$ primite arată faptul, că determinarea inductanței mutuale prin opțiunea Circuit Properties și după componenta normală a fluxului, care trece prin diviziunea polară a mașinii, prezintă aceleași rezultate. Cu toate acestea, conectarea înfășurării indusului și distorsiunea câmpului magnetic sub acțiunea reacției transversale a indusului, practic nu influențează valoarea inductanței mutuale, adică valoarea componentei normale a fluxului, care trece prin diviziunea polară a mașinii. Acest lucru poate fi explicat prin faptul, ca saturația miezului sub o margine a tălpii polare duce la redistribuirea fluxului magnetic și la mărirea acelei părți a fluxului sub pol, care șuntează sectorul saturat. La fel poate fi explicată și valoarea minimizată a M , calculată după formula (3), luînd în considerație compensațiile acțiunii de demagnetizare a reacției indusului, ce se determină după caracteristica de magnetizare parțială. În realitate, reducerea fluxului magnetic și forța de magnetizare, necesară pentru compensația acestei reduceri, se primesc mai mici decît valorile, determinate cu ajutorul caracteristicii de magnetizare parțială.

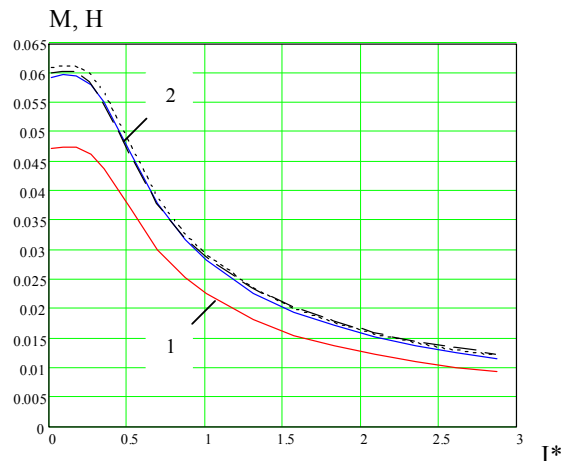


Fig. 3. Dependența inductanțelor mutuale dintre înfășurarea indusului și înfășurarea de excitație față de curentul de sarcină:

- 1 – calculul după formula (4);
- 2 – calculul după formulele:
 - (5)
 - (6), înfășurarea indusului conectată;
 - (6), înfășurarea indusului deconectată;

Formula de calcul	Mărimea M , H
3	0.0262
4	0.0225
5	0.0291
6, înfăș. indusului deconectată	0.0282
6, înfăș. indusului conectată	0.0287

Tabelul 1. Valorile calculate ale inductanței mutuale dintre înfășurarea indusului și înfășurarea de excitație pentru curentul de sarcină nominal.

Valorile inductanței mutuale, determinate după formula (4), sunt mai mici (cu aproximativ 20%) decît valorile determinate după formulele (5) și (6), deși caracterul dependenței $M(I_e)$ se păstrează.

Reieșind din repetarea rezultatelor primite, utilizînd diferite metodici, cel mai simplu și rațional mod de determinare a $M(I_e)$ este utilizarea opțiunii Circuit Properties cu înfășurarea indusului deconectată.

Bibliografie:

1. Ермолин Н.П. *Электрические машины малой мощности* – М.: Высшая школа, 1967. 504с.
2. David Meeker *Finite Element Method Magnetics, Vresion4.2, User's Manual*, 2009.