

ASPECTE PRIVIND STUDIUL PROCESELOR DE ÎNCĂLZIRE PENTRU MENȚINEREA UNUI REGIM TERMIC ADMISIBIL ÎN CONDIȚII REALE DE FUNCȚIONARE A MAȘINILOR ELECTRICE ROTATIVE

Margareta Cojan, Al. Simion, P. Corduneanu

Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iași, Facultatea de Electrotehnică

REZUMAT

Temperatura diferitelor părți componente ale mașinii în condiții reale de funcționare impune categoric, într-o proporție covârșitoare, durata de viață a acestora. Evaluarea cât mai exactă a regimului termic încă din faza de proiectare ne va ajuta să stabilim cu o mai mare precizie rezerva de putere necesară în timpul funcționării mașinii. Analiza proceselor de încălzire poate fi aprofundată asociind calculului termic analitic o hartă termică corespunzătoare obținută printr-o modelare termică corespunzătoare a mașinii. Acest mod de abordare va permite aprecierea ponderii pe care temperatura atinsă în timpul funcționării de către un element constitutiv al mașinii o are la stabilirea pe ansamblu a unui regimului termic admisibil impus de clasa de izolație a acesteia. Altfel spus, monitorizând cât mai exact temperatura unui element prestabilit în timpul funcționării avem o informație precisă asupra desfășurării proceselor de încălzire pe ansamblul mașinii. Lucrarea face referire la modul în care pot fi apreciate calitativ și cantitativ procesele de încălzire și răcire în modelarea termică utilizând FEM. Astfel, prin evaluarea unui regim termic admisibil asociat unor situații cât mai diverse ce pot apărea în timpul funcționării mașinilor electrice integrate în sistemele de acționare reglabile vor putea fi evitate discontinuitățile în funcționarea acestora impuse de variații ale sarcinii sau situații neprevăzute.

INTRODUCERE

Analiza transferului de căldură și validarea practică a rezultatelor de studiu sunt două probleme importante a căror rezolvare va conduce la evaluarea corectă a proceselor de încălzire și răcire din mașinile electrice. Studiul și analiza transferului de căldură vor stabili cât mai exact parametrii termici care vor configura modelul termic al mașinii în timp ce problema validării rezultatelor va lua în considerație principiul, metoda, precizia și facilitatea măsurării temperaturii diferitelor părți ale mașinii în timpul funcționării. Temperatura diferitelor părți componente ale unei mașini electrice este determinată de pierderile care au loc în acestea pe durata funcționării. Aceste temperaturi definite ca temperaturi de regim corespund unei încărcări date a mașinii și îi impun pe ansamblu regimul termic. Temperatura stabilită în timpul funcționării în oricare dintre părțile principale componente (înfășurare, miez), agent de răcire (aer, gaz, ulei), ulei de gresare a lagărelor și a altor părți în frecare (inele, colector), sau a pieselor neactive ce se pot încălzi datorită curenților turbionari, poate fi un indiciu de bază în stabilirea regimului termic admisibil al mașinii.

Transferul de căldură prin conducție este fenomenul fizic de bază iar descrierea analitică a acestuia cât mai exact va duce la evaluarea cantitativă a proceselor termice. Supratemperatura unei plăci omogene în care au loc pierderile de putere $P[W]$ sau prin suprafața careia se transmite fluxul caloric $Q[J/s]$ de grosime d și de conductibilitate λ este

dată de relația $\theta_\lambda = PR_\lambda$. Supratemperatura înfășurării uniform repartizate, constituită din bobine sau secțiuni se va obține din sumarea supratemperaturilor parțiale corespunzătoare celor i structuri alăturate ca plăci omogene: $\theta = \sum_{i=1}^n \theta_i = PR_{\lambda_{eq}}$, unde $R_{\lambda_{eq}} = \sum_{i=1}^n R_{\lambda_i}$.

Conductibilitatea termică echivalentă va avea expresia: $\lambda_{eq} = \frac{d}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}}$, unde d este grosimea

totală a ansamblului mănunchi bobină-izolație iar d_i și λ_i vor fi respectiv grosimile și conductibilitățile structurilor parțiale sau a straturilor considerate. Acest raționament stă la baza determinării temperaturii bobinelor în cazul înfășurărilor uniform repartizate în creștături, unde studiul transferului de căldură se face cu referire la întregul ansamblu bobină-izolații.

Încălzirea suprafețelor datorită transmiterii căldurii prin fenomenul de convecție este dată de o relație analogă relației, unde $R_{\alpha_{eq}} = \frac{1}{\alpha_{eq} S}$.

Convecția forțată pe suprafețele exterioare carcasă, inele de scurtcircuitare, etc., va fi corelată cu creșterea vitezei de rotație a mașinii. Convecția forțată pe suprafețele interioare și între părțile aflate în mișcare este încă o problemă în modelarea termică a mașinilor electrice datorită dificultăților modelării adecvate pentru aprecierea cât mai exact a transferului de căldură, [2]. Aceste părți vor fi considerate ca niște solide omogene a căror conductibilitate termică este cunoscută sau va fi apreciată prin încercări specifice. În canalele radiale sau axiale se consideră convecția liberă prin intermediul fluidului de răcire. Evaluarea transferului de căldură în aceste situații va fi în principal cantitativă și va lua în considerație pe lângă natura agentului de răcire, modul de circulație și viteza acestuia.

Stabilirea cât mai exactă a ponderii încălzirii diferitelor părți ale mașinii la încălzirea globală poate fi apreciată prin analiza câmpului termic stabilit pentru diverse sarcini și în diverse situații de funcționare. Aceste informații extinse în practica exploatării mașinilor electrice se pot concretiza în corelarea rezervei de putere în funcție de temperatura oricărei părți sau element considerat ca referință. Stabilirea elementului de referință va fi dictată de cel mai facil mod de determinare a temperaturii acestuia în timpul funcționării mașinii asociat metodei de măsurare care să asigure o precizie maximă.

REGIMURILE PRACTICE DE FUNCȚIONARE

În funcționarea mașinilor electrice fiecărei sarcini, ce fixează Σp , îi va corespunde un anumit regim termic caracterizat de o temperatură finală sau staționară rezultată în mașină. Pentru o aceeași mașină se vor obține curbe diferite de încălzire impuse de sarcina sub care mașina lucrează (figura 1). Pentru situațiile de funcționare la suprasarcină ($P > P_n$), durata de atingere a regimului staționar scade sub timpul estimat de aproximativ la $5T$ (unde T reprezintă constanta de încălzire a mașinii) odată cu creșterea valorii de suprasarcină ($T_2 < T_1$ pentru $P_2 > P_1$ cu P_1 și P_2 valori ale suprasarcinii, figura 1).

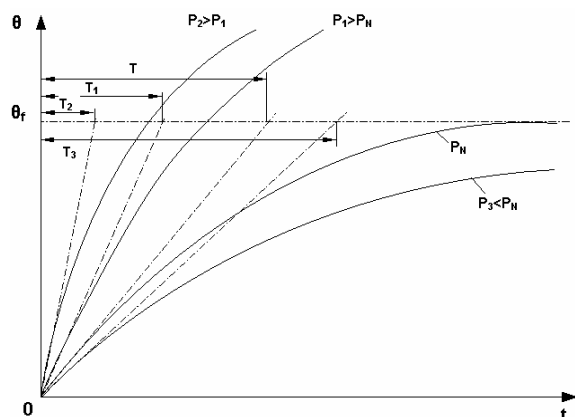


Fig. 1

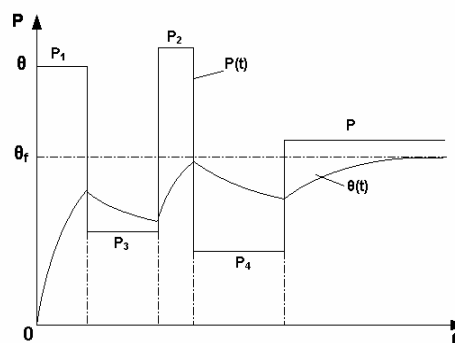


Fig. 2

Acest raționament poate fi asociat situațiilor neprevăzute ce pot apărea în timpul funcționării unei mașini electrice. Regimul de funcționare al mașinii electrice pentru aceste situații poate fi considerat unul de funcționare continuă dar la sarcini variabile iar curba de încălzire a mașinii va avea un aspect de linie frântă, neregulată (figura 2). Soluțiile ce se impun în păstrarea continuității în funcționare a mașinii în condițiile respectării regimului termic în limitele prestabilite ar putea fi modificarea corespunzătoare a valorii sarcinii (figura 4), sau/și amplificarea intensității proceselor de răcire prin convecție forțată, atât pe suprafețele interioare (canale radiale sau axiale, capete de bobină etc.) cât și pe suprafețele exterioare (carcasă), [1]. Curba de încălzire va avea, de asemenea, aspectul unei linii frânte neregulate dar fără a depăși limita maximă impusă a temperaturii de regim (figura 3).

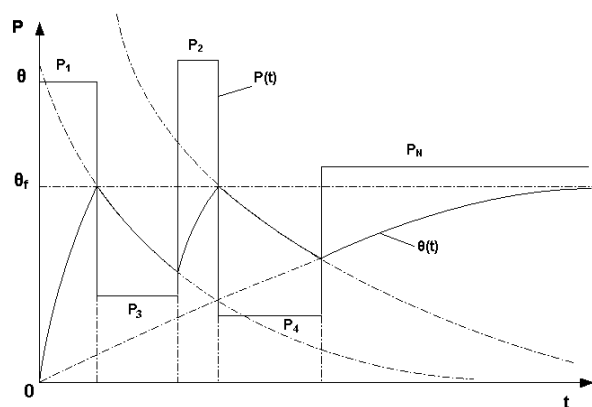


Fig. 3

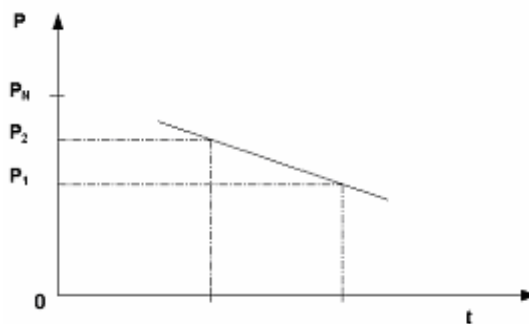


Fig. 4

DESCRIEREA MODELĂRII TERMICE

De regulă, la baza stabilirii modelelor termice stau determinarea rezistențelor, a coeficienților termici echivalenți de transmitere a căldurii cât și aprecierea fenomenelor prin care are loc transferul de căldură. Încălzirea mașinilor electrice este un proces complex ce nu poate fi investigat numai prin studii numerice ci în egală măsură și prin studii experimentale. În condițiile actuale descrierea cât mai exactă a unei părți din mașină în vederea stabilirii unui model termic cât mai exact face tot mai mult apel la modelarea prin metoda elementului finit (FEM) utilizând programele de calcul Flux 2D sau 3D care prezintă pe lângă rapiditate și

flexibilitate o foarte mare precizie de evaluare a proceselor studiate. Majoritatea programelor specifice utilizate permit rezolvarea termică împreună cu analiza electromagnetică pe modele termice asociate fiecărei mașini în parte. Un posibil model termic simplu și viabil are la bază divizarea mașinii într-un număr de i elemente sau părți în care pot fi evaluate cu o maximă exactitate pierderile în timpul funcționării mașinii,[3]. Chiar dacă precizia modelului crește cu creșterea numărului de elemente constitutive stabilirea unui număr de elemente considerat optim se va impune din corelarea timpului necesar calculului analitic cu facilitatea și precizia măsurării temperaturilor acestora în timpul funcționării. Algoritmul și timpul necesar rezolvării ecuațiilor de bilanț termic se va reduce considerabil dacă acestea se vor referi la

regimul stabilizat ($\frac{d\theta_i}{dt} = 0$) și vor include unele ipoteze simplificatoare ce se impun. Se consideră pentru regimul staționar următoarea ecuație de bilanț termic: $Q_i = \lambda_i S_i \theta_i + \sum \lambda_{ij} \Delta \theta_{ij} S_{ij}$, unde $\lambda_i S_i$ reprezintă constanta transferului de căldură

având λ_i coeficientul de răcire pe suprafața S_i , $\sum \lambda_{ij} \Delta \theta_{ij} S_{ij}$ cantitatea de căldură schimbată

între elementele i și j considerate. Considerând $\lambda_i S_i = A_i$, $\lambda_{ij} S_{ij} = A_{ij}$ și transferul de căldură dintre două elemente direct proporțional cu diferența dintre creșterile lor de temperatură ($\Delta \theta_{ij} = \theta_i - \theta_j$), ecuația poate fi scrisă: $Q_i = A_i \theta_i + \sum A_{ij} \theta_{ij}$. În urma încercărilor experimentale se determină pentru regimul termic stabilizat pierderile de putere în fiecare din cele i elemente respectiv cantitatea de căldură dezvoltată Q_i și constantele de transfer termic λ_i , λ_{ij} respectiv, A_i și A_{ij} rezultând un sistem de i ecuații în necunoscute supratemperaturile θ_i ale părților în care mașina a fost divizată, [4]. Pentru exemplificare s-a supus modelării un motorul asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit, de construcție închisă divizat în șapte părți (figura 5), pentru care s-au putut evalua pierderile de putere stabilite în timpul funcționării în regim nominal și estimate în cantități corespunzătoare de căldură Q_i .

În baza analogiei dintre calculul electromagnetic și calculul termic în modelarea prin FEM în flux 2D, sunt prezentate (figurile 6 și 7), câmpurile termice obținute în modelul axial (secțiunea transversală a motorului). Supratemperatura de lucru a oricărei părți sau element, considerat ca referință, asupra parametrilor funcționali ai mașinii impune, în principal, variația cu temperatura a inducției magnetice, respectiv a intensității câmpului magnetic. În figura 6 este dată distribuția liniilor de câmp în mașină în condițiile unui regim termic stabilizat corespunzător funcționării mașinii în regim nominal, respectiv în figura 7 aceeași distribuție modificată ce corespunde situației de funcționare a mașinii la o suprasarcină în care temperatura înfășurării statorice a atins limita admisibilă impuă de clasa de izolație.

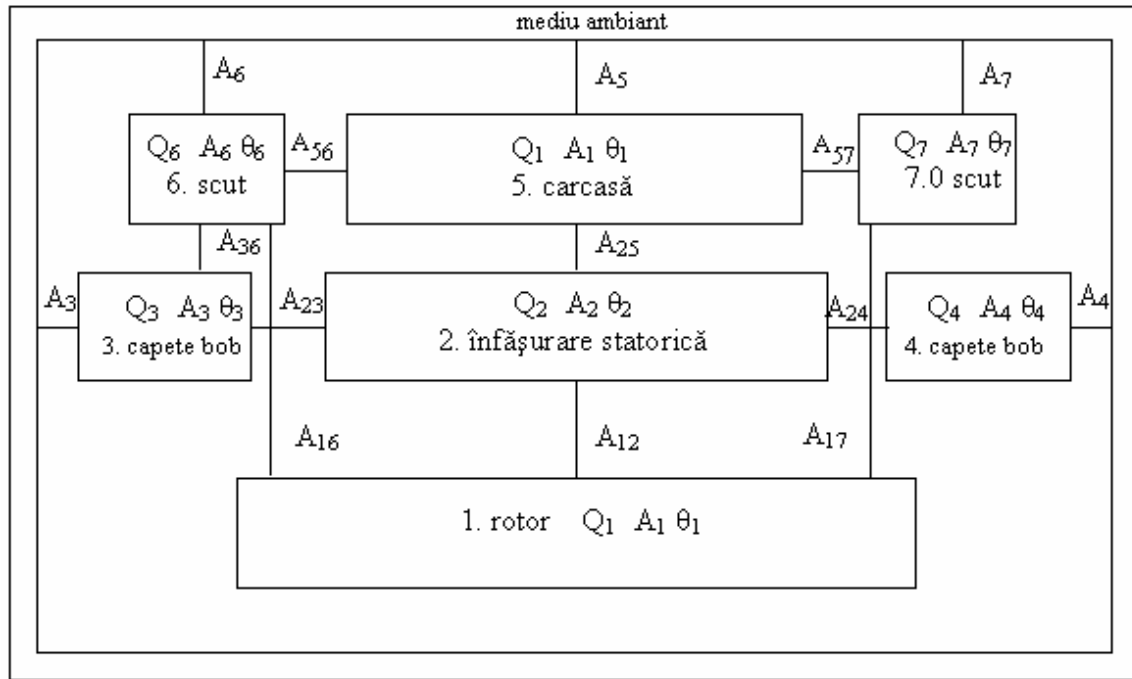


Fig. 5

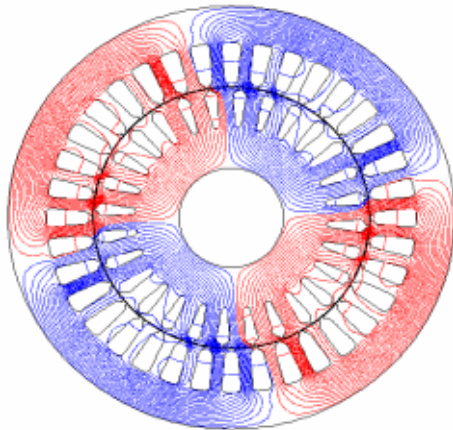


Fig. 6

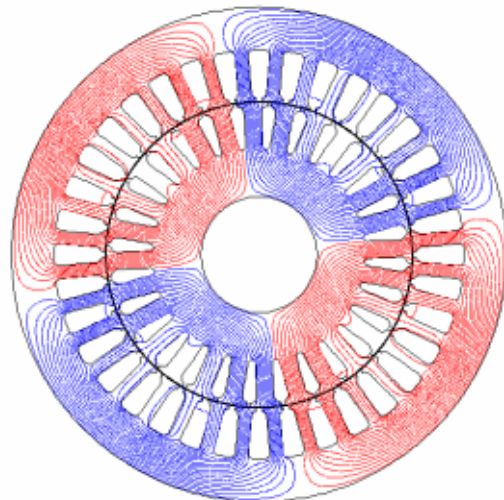


Fig. 7

BIBLIOGRAFIE

- [1] M. Cojan, Al. Simion, B. Anghel, About the influence of thermal condition upon power reserve value considering real practice conditions for rotary electrical machines, B.I.P.Iași, Tom L (LIV), Fasc 5C, 2004.
- [2] Kreith F., Boehm R.F., Raithby G.D., Hollands K.G.T., Suryanarayana N.V.- Heat and Mass Transfer, The CRC Handbook of Thermal Engineering, Ed. Frank Kreith, 2000.
- [3] P. Matjaz, H. Bozidar, Parameter identification for FEM Thermal models of electrical machines, ICEM' 96, Vigo, Spain.
- [4] M. Cojan, Al. Simion, E. Romila, B. Anghel, Analysis upon heat transfer in rotary electrical machines to determine the parameters of the thermal model using FEM, B.I.P.Iași, Tom L (LIV), Fasc 5C, 2004.
- [5] *** Flux 2D Tutorials: Magnetostatics, Electrostatics and Thermal study and transient state. Cedrat electrical engineering 2000.