

IMPORTANTA SI RELEVANTA CONTINUTULUI STIINTIFIC

1. Introducere

Unul din cele mai utilizate efecte ale campului electromagnetic este cel mecanic, cu numeroase aplicatii in tehnica: fascicole de electroni, separare electrica si magnetica, convertoare electromecanice de putere, levitatie electromagnetica. Determinarea fortelor de natura electromagnetica implica, in primul rand solutionarea problemei de camp electromagnetic. Daca se cunoaste evolutia in timp a pozitiilor si vitezelor corpurilor, atunci se pot determina campul si fortele electromagnetice. Cand deplasările corpurilor nu sunt cunoscute, problema de camp electromagnetic nu este complet formulata si calculul fortelor, necesare obtinerii traiectoriilor, nu se poate face. Sunt necesare proceduri noi, dedicate determinării campului electromagnetic, fortelor si traiectoriilor corpurilor.

2. Stadiul actual

Campul electromagnetic depinde de relatiile constitutive ale materialelor, de sursele de camp si de pozitiile corpurilor, daca regimul este stationar, sau de pozitie si de viteza, daca regimul este cvasistationar (apar curenti turbionari). In prezenta corpurilor feromagnetice si a magnetilor permanenti, relatiile constitutive $\mathbf{B-H}$ pot fi neliniare.

Pentru medii imobile, literatura de specialitate ofera numeroase rezultate importante privind determinarea campului electromagnetic in regim stationar sau cvasistationar, in medii liniare sau neliniare.

Pentru mediile in miscare rezultatele sunt mai sarace si majoritatea lor se refera la cazul in care viteza este cunoscuta. Pot fi luati in considerare curenti turbionari si medii neliniare.

Problema cea mai complicata apare atunci cand problema de camp electromagnetic este cuplata cu cea de miscare. Fortele de natura electromagnetica influenteaza deplasările si vitezele corpurilor care, la randul lor, influenteaza campul electromagnetic si deci valorile fortelor. Rezultatele oferite de literatura de specialitate, in acest caz, sunt sarace si neconvingatoare. De multe ori, chiar daca corpul se afla in miscare, fortele se pot calcula in ipoteza regimului stationar (atunci cand nu apar curenti turbionari). Este cazul fascicolelor de electroni sau a corpurilor izolante. Problema se complica foarte mult daca pozitiile corpurilor care se deplaseaza influenteaza campul curentilor turbionari sau daca mediul este neliniar.

In Tabela 1 sunt apreciate, prin notare de la 1 la 10, diferite metode de calcul al campului electromagnetic si deci al fortelor. Aprecierea se face in functie de posibilitatile de aplicare a metodei (PA) si dupa gradul de dezvoltare a metodei (DZ). Se iau in considerare:

- medii liniare (L), neliniare (N);
- corpurii imobile ($v = 0$), corpurii in miscare ($v \neq 0$, traiectorie cunoscuta) sau corpurii in miscare cu viteza v (traiectorie) necunoscuta;
- probleme fara (F) sau cu curenti turbionari (C).

Metoda elementelor finite (FEM), de exemplu, se aplica cu dificultate la problemele cuplate (nota 4) avand cel putin 3 mari dezavantaje: reconstructia retelei de discretizare odata cu deplasarea corpurilor de-a lungul traiectoriilor (necunoscute), cu consecinta aparitiei unor erori in calculul fortelor; reseaua de discretizare si frontierele artificiale introduc forte parazite; stabilitatea traiectoriei nu poate fi tratata FEM. Formula Biot-Savard-Laplace (B-S-L) se poate aplica doar in cazul particular al mediilor omogene nemarginite (nota 6) si este foarte bine dezvoltata (nota 10). Pentru mediile liniare neomogene FEM este mult mai eficienta decat B-S-L, in care mediile neomogene sunt tratate iterativ, la fel cu cele neliniare. In schimb, pentru medii neliniare, posibilitatile de aplicare a formulelor B-S-L (in cadrul ecuatiilor integrale cu elemente de volum) sunt foarte mari (I.Ciric, F.Hantila, M.Maricar, and St.Marinescu, "Behavior of Synchronous Generators with Rotor Excentricity Evaluated by the Polarization Fixed Point Method", *ICEM2006*, September 2-5, 2006, Chania, Crete Island, Greece, p.51). In cazul procedeelelor integrale, problemele fara curenti turbionari sunt tratate complet diferit de cele cu curenti turbionari: in primul caz se aplica formule B-S-L, in timp ce in al doilea caz se adauga ecuatia integrala a densitatii de curent (R.Albanese, F.Hantila, G.Preda, G.Rubinacci, "A Nonlinear Eddy-Current Integral Formulation for Moving Bodies", *IEEE Transaction on Magnetics*, sept., 1998, no.5, vol.34, p.2529-2534).

Tabel 1

| | | F E M | | B E M | | FEM + BEM | | Procedee integrale (elemente de volum) | |
|-------------------|-------|---------|---------|------------|------------|-------------|-------------|--|-------------|
| Viteza | Mediu | F PA/DZ | C PA/DZ | F PA/DZ | C PA/DZ | F PA/DZ | C PA/DZ | F (B-S-L) | C (cr.turb) |
| $v = 0$ | L | 9/10 | 9/10 | 9/9 | 8/6 | 10/9 | 10/9 | 6/10 | 9/7 |
| | N | 9/10 | 9/7 | 4/2 | 3/2 | 10/9 | 9/5 | 9/5 | 9/4 |
| $v \neq 0$, data | L | 8/9 | 8/8 | 8/5 | 8/2 | 10/6 | 10/5 | 7/9 | 9/2 |
| | N | 8/7 | 8/6 | 2/1 | 2/1 | 10/5 | 10/3 | 9/5 | 9/1 |
| v nu este data | L | 4/1 | 4/1 | 7/1 | 6/1 | 9/1 | 9/1 | 7/6 | 10/1 |
| | N | 4/1 | 4/1 | 2/1 | 2/1 | 9/1 | 9/1 | 9/1 | 9/1 |

Observatii:

- Din Tabelul 1 sunt marcate rubricile asociate unor metode ce trebuie dezvoltate.
- Este recomandabil ca eforturile de cercetare sa fie orientate in directia metodelor integrale sau a metodelor hibride FEM-BEM.

- c) In cazul problemelor cu corpuri in miscare nu exista rezultate importante. In cazul in care se pot utiliza formulele B-S-L, se pot calcula inductivitatile mutuale si se pot determina rapid fortele. (Exista lucrari care raporteaza realizari in acest sens (H. Ohsaki, H. Deguchi, E. Masada - "*Dynamical Behaviour Analysis of the Superconducting Magnets for an EDS-LSM Maglev*", International Journal of Applied Electromagnetics in Materials, 2, 1991, p. 265-273.) In 1993, lucrarea M. Koizumi, T. Takahashi - "*An Integral Equation Method for Analysis of Three-Dimensional Magneto-Dynamics with Moving Objects*", (IEEE Transaction on Magnetics, vol. 2a, no. 2, March 1993, p. 1516-1519) abordeaza, printre primele, problema cuplata in cazul mediilor liniare. Este folosita ecuatia integrala a densitatii de curent si sunt neglijati curentii turbionari produsti de deplasarea corpurilor. Sunt discretizate in timp si spatiu ecuatiile campului electromagnetic si se calculeaza matricea care determina fortele in functie de pozitiile corpurilor si de vitezele lor. Apoi se rezolva ecuatia de echilibru dinamic. Volumul de calcul este urias. Putem remarca si lucrarea N. Esposito, A. Musolino, M. Rangi - "*Modelling of Three-Dimensional Nonlinear Eddy Currents Problems with Conductors in Motion by an Integral Formulation*", (COMPUMAG'95, Berlin, p. 122-123) in care se rezolva ecuatia integrala a lui \mathbf{J} in cazul mediilor neliniare mobile, cu viteza cunoscuta. Uriasul sistem neliniar se rezolva prin procedura Newton-Raphson.
- d) In deschiderea lucrarilor COMPUMAG'95, renumitul specialist Prof. C.W. Trowbridge face o prezentare a lucrarilor congresului si sugereaza directiile de cercetare in viitor (C.W. Trowbridge - "*Computing Electromagnetic Field for Research and Industry: major achievements and future friends.*", COMPUMAG'95, Berlin, p. 50-51). Prima directie ceruta este **calculul electromagnetic in domenii cu corpuri rigide in miscare. Apreciaza ca se vor dori metodele integrale** (si procesare paralela).