4.7. Levitație în curenți turbionari

Curenții turbionari induși în corpurile conductoare interacționează cu câmpul magnetic și produc forțe de natură magnetică. Pentru o structură adecvată, este posibil ca aceste forțe să se opună greutății corpului conductor și acesta "plutește".

Ecuația de mișcare a unui corp de masa m sub acțiunea forțelor de natura magnetică \mathbf{F} este

$$m\frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = \mathbf{F}(\mathbf{r}, \frac{d\mathbf{r}}{dt}, \mathfrak{I}) + \mathbf{G}$$
 (4.51)

unde **r** este vectorul de poziție al unui punct al corpului (de ex., centrul de greutate), admițând că corpul nu se rotește, \Im este vectorul curenților impuși și **G** este greutatea. Determinarea forței **F** implica soluționarea unei probleme de câmp electromagnetic într-un domeniu cu corpuri în mișcare. Deoarece evoluția în timp a poziției corpului este necunoscută, soluționarea ecuației (4.51) se face căutând iterativ poziția corpului levitat, la fiecare pas de timp. În legea inducției electromagnetice apare și termenul datorat mișcării, astfel încât mișcarea plăcii este amortizată.

$$rot\mathbf{E} = -\left(\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} + rot(\mathbf{B} \times \mathbf{v})\right)$$

Exemplul 4.1. În Fig. 4.20 este prezentată levitarea unei plăci de cupru (ρ =2×10⁻⁸ Ωm) de lățime 80 mm și grosime 4 mm, cu densitatea de masa 8.9×10^3 kg/m³, aflată în vecinătatea a 2 bobine de secțiuni 10 mm×10 mm având 200 spire, parcurse de curenții $i = I\sqrt{2}\sin 2\pi ft$, I=10 A, f=200 Hz [15]. Initial, placa este sutuata la 10 mm deasupra bobinelor si se misca pe directia verticala. Ea este discretizata in 180 elemente dreptunghiulara (Fig.4.20).

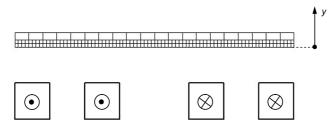


Fig. 4.20. Placa de cupru levitată

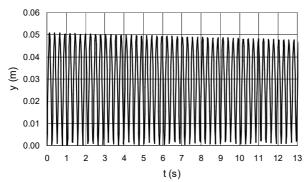


Fig.4.21. Evolutia in timp pentru f = 2,000 Hz.

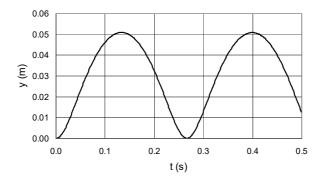


Fig.4.22. Detaliu al evolutiei in timp pentru f = 2,000 Hz.

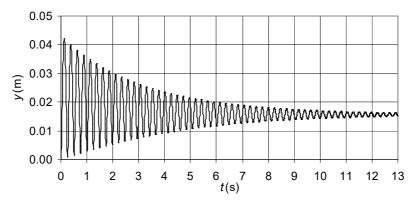


Fig. 4.23. Deplasarea plăcii la 2000 Hz, prin adaugarea unei componente contiune de 10 A in bobinele de excitatie

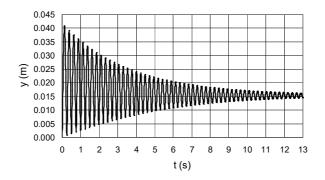


Fig. 4.24. Deplasarea plăcii la 200 Hz, prin adaugarea unei componente contiune de 10 A in bobinele de excitatie

Prin rezolvarea in domeniul tiomp a problemei cuplate, se obtine evolutia din Fig. 4.21 si 4.22. Se observa ca amortizarea miscarii placii este slaba. Daca se adauga un curent constatnt de 10A in bobinele de excitatie, se obtine evolutia descrisa in Fig.4.23, la 2000Hz si din Fig.4.24, la 200Hz.

In clipul alaturat este prezentata miscarea placii.

Exemplul 4.2. In Fig.4.25 este propusa o solutie care utilizeaza un circuit magnetic din ferita, cu caracteristica B-H din Fig.4.26, pentru a dirija fluxul magnetic spre piesa levitata. In Fig.4.27 este prezentata evolutia placii. Pentru a putea utiliza ecuatia integrala a curentilor turbionari, neliniaritatae a fost tratata cu metoda Hantila, inlocuind mediul neliniar cu un mediu de caracteristica $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} + \mathbf{I}$, unde poalizatia I se

corecteaza iterativ cu relatia ${\bf I}={\bf B}-\mu\,{\bf F}({\bf B})$. Se poate descompune solutia in serie Fourier

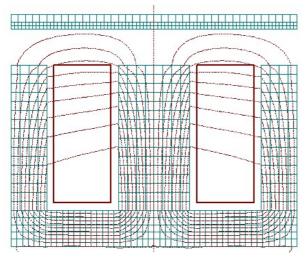


Fig.4.25. Sistem de levitatie cu miez de ferita

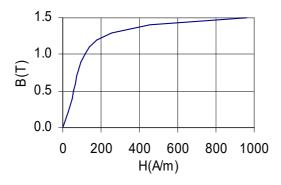


Fig. 4.26. Caracteristica B-H a feritei

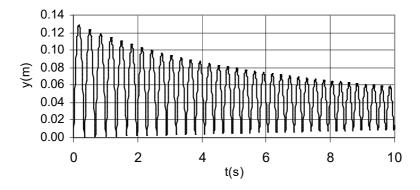


Fig.4.27. Evolutia placii la 200 Hz

In cazul structurilor 3D, ecuatia integrala a curentilor turbionari este:

$$\rho \mathbf{J}(\mathbf{r}) + \frac{\gamma}{2} \frac{d}{dt} \int_{\Omega} \frac{\mathbf{J}(\mathbf{r}')}{R} dS' = -\frac{\gamma}{2} \frac{d}{dt} \int_{\Omega_i} \frac{\mathbf{J}_i(\mathbf{r}')}{R} dS' + grad V$$

Discretizarea ei spatiala se face utilizand elementele de muchie.

Exemplul 4.3. Levitatia unei placi cilindrice (Fig.4.28). In clipul alaturat este prezentata miscarea placii.

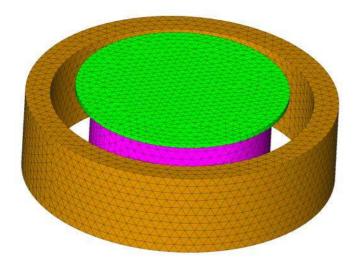


Fig.4.28. Discretizare. Placa de culoare verde: **1254** nodes, **3670** tetraedre; bobina maro: **2362** nodes, **14637** tetraedre; bobina violeta: **1261** nodes, **12676** tetraedre.

Pentru structurile 3D in care placa levitata este subtire, sau daca adacimea de patrundere a campului electromagnetic este mica, atunci se poate obtine o reducere spectaculoasa a timpului de calcul si a memoriei daca se discretizeaza placa in triunghiuri si se folosesc elemente vectoriale de suprafata pentru a descrie densitatea de current superficiala.

Aplicatia 4.6. Placa gaurita din Fig, 4.29 se afla in vecinatatea unui conductor de diametru 325 mm, parcurs de un current de faloare efectiva 10 kA si frecventa 500 Hz. Rezistivitatea placii este $2\times10^{-8}\,\Omega\mathrm{m}$, densitatea de masa $8.9\times10^3\,\mathrm{kg/m^3}$, grosimea 2 mm si are forma unui

paraboloide de rotateie de ecuatie $z = 5r^2 = 5(x^2 + y^2)$, $r \le 165$ mm. Pentru a reduce greutatea palcii si a asigura o racier mai buna, sunt practicate niste gauri, ca in Fig.4.29, deci, dpdv al calculului, domeniul palcii este multiplu conex. PLaca este aproximata cu o suprafata poliedrala avand 1739 noduri si 1849 elemente triunghiulare. In Fig.4.30, 4.31, 4.32 sunt redate pozitia placii, viteza ei de deplasare si forta electromagnetica exercitata asupra placii.

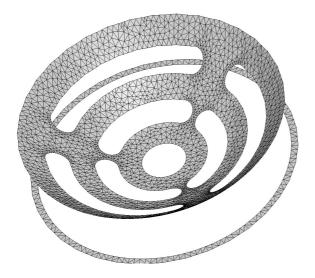


Fig. 4.29 Placa levitata

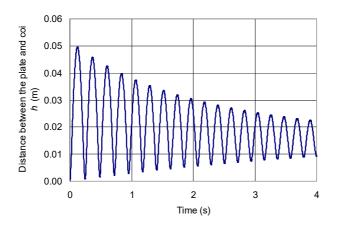


Fig.4.30 Distanta centrului placii fata de planul spirei

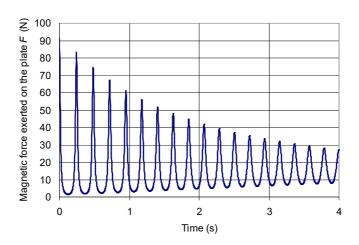


Fig.4.31. Viteza placii

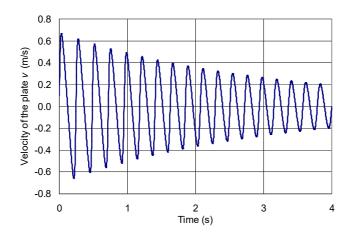


Fig.4.32. Forta de natura electromagnetica

Aplicatia 4.4. Fortele pe toate directiile axelor de coordinate carteziene, produse de curntilor turbionari indusi in placile subtiri si deplasarile lor pe aceste axe sunt prezentate in exemplul din Fig.4.33. placa are forma cubica, din care lipseste capacul. In vecinatatea celor 5 fete se afla 5 bobine parcurse de parcurse de curenti de valori effective 20 kA si frecventa 500 Hz. Evolutia cubului pe cele 3 coordonate este descrisa in Fig.4.34, iar forta electromagnetica in Fig.4.35.

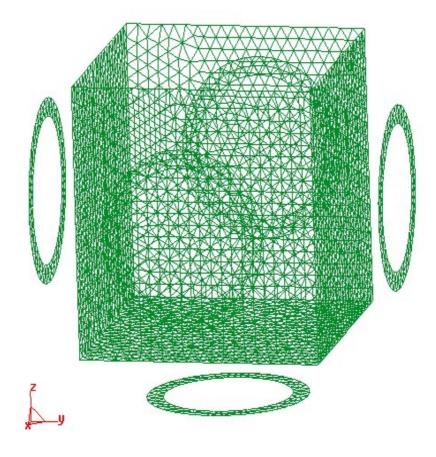


Fig.4.33. PLaca subtire de forma cubica

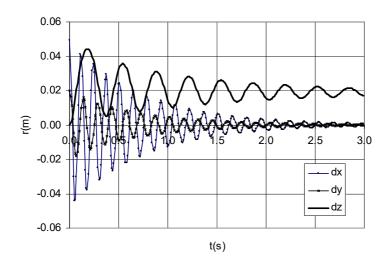


Fig.4.34. Deplasarea placii pornind din punctual $x_0 = 50$ mm, $y_0 = 20$ mm and $z_0 = 0$

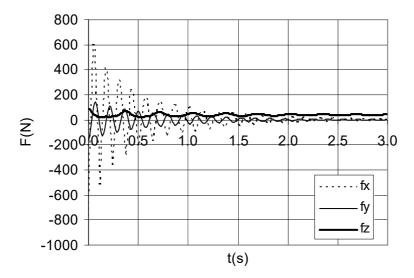


Fig.4.35. Evolutia fortelor

Filename: levitatie

Directory: D:\d0\catedra\2022\eltmg tehnic\Cvasistationar

Template:

C:\Users\hantila\AppData\Roaming\Microsoft\Templates\Norm

al.dot

Title: 4

Subject:

Author: Hantila

Keywords: Comments:

Creation Date: 15.05.2024 10:26 p.m.

Change Number: 6

Last Saved On: 15.05.2024 11:45 p.m.

Last Saved By: hantila
Total Editing Time: 58 Minutes

Last Printed On: 15.05.2024 11:45 p.m.

As of Last Complete Printing Number of Pages: 12

Number of Words: 923 (approx.) Number of Characters: 5,359 (approx.)