DETERMINAREA DISTRIBUTIEI CAMPULUI MAGNETIC

1. Chestiuni teoretice

Câmpul magnetic poate fi stabilit de *conductoare parcurse de curent de conducție, de corpurile încărcate cu sarcini electrice aflate în mişcare , de fluxul electric variabil în timp* si *de corpurile magnetizate*

Câmpul magnetic produs de substanțele magnetizate se numeşte câmp magnetostatic (în acest regim mărimile de stare nu variază în timp şi nu au loc transformări de energie).

Câmpul magnetic produs de curentul continuu ce trece prin conductoare, este un câmp magnetic staționar (mărimile de stare nu variază în timp dar au loc transformări de energie) Dacă curentul este variabil în timp (mărimile de stare variază în timp), câmpului magnetic i se asociază inseparabil câmpul electric şi împreună se condiționează reciproc, alcătuind câmpul electromagnetic. Câmpul magnetic este câmpul electromagnetic considerat din punctul de vedere al proprietăților lui magnetice Fenomenul test pentru detectarea speciei de mărimi care caracterizează câmpul magnetic în vid constă din exercitarea de forțe şi cupluri asupra *corpurilor încărcate cu sarcini electrice în mişcare , asupra corpurilor magnetizate, sau asupra conductoarelor parcurse de curent electric de conducție* situate în câmp magnetic. Practic acestea definesc sursele câmpului magnetic *Mărimea vectorială de stare a câmpului magnetic în vid* $\overline{\mathrm{B}}_{\mathrm{v}}(\overline{\mathrm{r}})$ *se numeşte inducție magnetică în vid* care este o mărime primitivă.In corpuri campul magnetic este complet definit de perechea de marimi inductie si intensitate camp magnetic . Teorema fundamentală a câmpurilor de vectori pentru câmpul magnetic se enunță astfel :câmpul magnetic caracterizat de perechea de mărimi **B** şi **H** este complet determinat dacă se cunosc :rot **H=J** şi div **B=0** în fiecare punct din domeniul V_{Σ} şi dacă în fiecare punct de pe frontiera Σ se cunoaşte fie componenta normala a inductiei $\mathbf{B}_n$,fie componenta tangentiala a intensitatii $\mathbf{H}_t$.

În regim magnetic staționar mărimile nu variază în timp iar ecuațiile câmpului electromagnetic sunt decuplate pe cele două câmpuri electric şi magnetic Ecuațiile câmpului magnetic pot fi restranse prin introducerea potentialului magnetic vector A la o singura ecuatie de ordinul II $\frac{1}{\mu}\Delta\vec{A} + \sigma grad(V) = 0$ unde $-\sigma grad(V)$=J densitatea de curent ce parcurge conductorul de conductivitate σ .

Campul magnetic fiind un câmp solenoidal, potențialul vector se defineşte la fel ca în vid $rot\overline{A} = \overline{B}$ In regim staționar se adoptă $div\overline{A} = 0$ condiția numită *condiția de etalonare Coulomb*

Înlocuind $div\overline{A} = 0; rot\overline{H} = \overline{J}$ rezultă $-\Delta\overline{A} = \mu\overline{J} + grad\mu \times \overline{H}$ sau

$\Delta\overline{A} = -\mu\overline{J} - grad\mu \times \overline{H}$

In cazul domeniilor omogene pe porțiuni, în fiecare subdomeniu permeabilitatea fiind constantă, ecuația de mai sus are forma $\Delta\overline{A} = -\mu\overline{J}$ numită *ecuația vectorială a lui Poisson*

Dacă $\overline{J} = 0$ atunci se obține $\Delta\overline{A} = 0$ numită *ecuația vectorială a lui Laplace*.

Partea neomogenă a ecuației Poisson, proporțională cu densitatea curentului electric de conducție constituie *sursa câmpului magnetic staționar*. Soluțiile ecuației Laplace se numesc funcții vectoriale armonice însă rezolvarea ecuațiilor Poisson şi Laplace *necesită cunoaşterea condițiilor pe frontieră*.

Deşi formal potențialele scalar V şi vector **A** satisfac ecuații de acelaşi tip , Poisson respectiv Laplace, restricția pe care o impune condiția de etalonare **divA =0** implică pentru vectorul **A** o formulare diferită a condițiilor pe frontiera domeniului. De exemplu, într-un sistem de coordonate carteziene ecuația Laplace sau Poisson se descompune in trei ecuații scalare in care condițiile pe frontieră ale acestor ecuații nu stabilesc direct condițiile pe frontieră pentru ecuația vectorială . Pentru a evita descompunerea ecuației vectoriale in trei ecuații scalare , ecuații dependente ca formă de scriere de sistemul de coordonate se preferă scrierea acesteia in forma nedezvoltată, valabilă in orice sistem de coordonate **rot(rotA)=μJ,** respectiv **rot(rotA)=0**

Condițiile pe frontiera domeniului de calcul se determina din aplicarea formulelor câmpului magnetic pe suprafețele de discontinuitate . Astfel : din **div$_s$B=0** rezultă **nB =n rot$_s$A=n(nxA)=0** relație ce se anulează daca **nxA=0** (conservarea *componentei tangențiale a lui A)* sau utilizând proprietățile produsului mixt **(nxn)A=0** rezultă **A≠0** (valoare impusă potențialului) deoarece **nxn=0 .** Din legea circuitului magnetic aplicată pe suprafețele de discontinuitate ce nu conțin pânze de curent rezultă **rot$_s$H=nxH=0** (conditie de *tip Neumann denumita si naturală)*Conditia de tip natural conduce la conservarea derivatei dupa normala a potentialului vector, altfel spus daca o linie de camp inteapa frontiera acesata este lasata sa treaca .

2. Exemple de determinare a distributiei campului magnetic

2.1 Campul magnetic al unui conductor

Un conductor parcurs de curent produce in in spatial inconjurator inductia magnetica $\vec{B}_1 = \dfrac{\mu_o i_1}{2 \cdot \pi \cdot r} \vec{e}_\phi$ respective potentialul magnetic satisface ecuatia **rot(rotA)=μJ** in interiorul conductorului si **rot(rotA)=**0 in exteriorul acestuia.

Ecuatiile de ordin I ale campului magnetic in scrierea soft-ului PDEase sunt

curl H = J
div B = 0
B = m*H

B densitate flux magnetic
H intensitate camp magnetic
J densitate de curent
m permeabilitatea mediului.

Prin introducerea potentialului magnetic vector A relatia dintre inductie si potential este B = curl A Potentialul vector are componenta numai dupa axa z (perpendicular ape planul de calcul) **A**(0,0A) ceea ce conduce la ecuatia de ordin II

curl((1/m)*curl A) = J

Conditia de etalonare este

div A = 0.

Aceasta conditie este satisfacuta daca

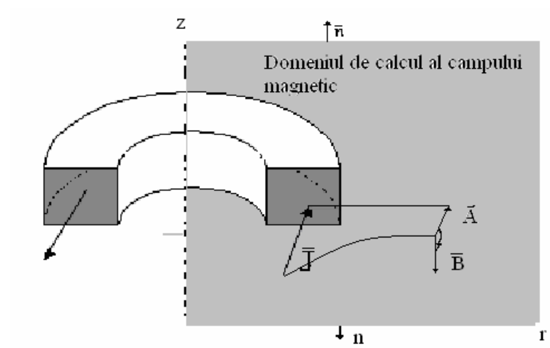
curl((1/m)*curl (A)) = J(x,y) in conductor
A = g(x,y) pe frontiera (la mare departare de conductor A=0)

Dependenta inductiei magnetice de potentialul vector este exprimata prin relatiile B = (dx(A),-dy(A) 0)

Title "*Campul unui conductor infinit*"
Variables A
Definitions
mu = 1 { permeabilitatea }
rmu = 1/mu
J = 0 current = 10
Bx=dx(A) Bay=-dy(A) Babs=sqrt(bx^2+bay^2)
Initial values
A = 2
Equations
curl(rmu*curl(A)) = J
Boundaries
Region 1
value(A) = 0
start(-10,0) arc(center=0,0) angle 360 to finish
Region 2
J = current
start (-1,0) arc(center=0,0) angle 360 to finish
Monitors
contour(A) as "Potential"
Plots
contour(A)
elevation(babs) from(0,0) to (10,0)
surface(A) as "Magnetic Potential"
End

2.2 Campul magnetic al unei spire

Urmarim sa determinam câmpul magnetic produs de o spiră parcursă de curentul continuu I , spiră de rază interioară r_i=0,1 si rază exterioară r_e=0,2 Sistemul de coordonate se alege în simetria sursei de câmp magnetic , ce-i spira parcursă de curentul I. Curentul continuu I are densitatea **J** orientată după versorul $\mathbf{e}_\varphi$ producând câmp magnetic in planul (r,z).



Din cauza simetriei domeniul de calcul se alege conform figurii Condițiile la limită pentru potențialul vector $\mathbf{A}_\varphi$ sunt : in axa spirei $\mathbf{A}_\varphi$**=0 ,** iar după axa z şi la distanța r de axa spirei , $\vec{n}x\vec{A}=0$ condiție dedusă din conservarea inducției magnetice pe suprafața de discontinuitate $rot_s\vec{A}=\vec{n}x\vec{A}=0$.

```
Title "Camp produs de o spira"
Select
  errlim= 1e-4            contours= 20
  contourgrid= 30         vectorgrid= 30
  surfacegrid= 30
  alias(x)= "Radius"      alias(y)= "Z"
Variables
  A_phi
Definitions
  r1= 0.1            r2= 0.2        r3= 2.0
  L12= 0.2           L3= 1.0
  mu0= 4*pi*1e-7     mu= mu0        J
  Br= -dy(A_phi)              Bz= (1/x)* dx(x*A_phi)
  Babs= sqrt(Br**2+Bz**2)
  small= 1e-30
Equations
  dy[ (1/mu)*dy(A_phi)]+ dx[ 1/(mu*x)* dx(x*A_phi)]+ J= 0
Boundaries
  region 1
   J= 0
   start(0,-L3)        value(A_phi)= 0
   line to (r3,-L3)    to (r3,L3)   to (0,L3) to finish
  region 2
   J= 1      { spira }
   start(r1,-L12)
   line to (r2,-L12)  to  (r2,L12)  to  (r1,L12) to  finish
Monitors
  contour(A_phi)
Plots
  contour(A_phi)
  contour(Babs)              contour( log10(Babs+ small))
  contour(Br)                contour(Bz)
  vector(Br/Babs, Bz/Babs)
  surface( Babs)
End
```

Tema 1. Studiati distributia campului magnetic pentru o bobina cu 5 spire unde distanta dintre spire este Ls=0.2 mm

2 Studiati distributia campului magnetic si fortele electrodinamice pe unitatea de lungime intre doua bobine coaxiale distantate la 0,2mm ,bobine cu 5 spire avand distanta dintre spire Ls=0.2 mm