

Calcul des systèmes à aimants permanents

Deux familles de systèmes : de type « circuit ouvert » ou de type « circuit magnétique fermé »

– *Circuit ouvert*

Aimant seul ou en interaction, sans circuit magnétique en fer doux
Energie dans tout l'espace autour des aimants

A grande distance : approche dipolaire

A courte distance : représentation coulombienne ou ampérienne

A l'intérieur de l'aimant : champ démagnétisant

– *Circuit magnétique fermé*

Le flux des aimants est canalisé par un circuit magnétique
Energie principalement concentrée dans les entrefers

Résolution d'un système d'équations associé aux courbes de

désaimantation :

- conservation du flux / B

- théorème d'Ampère / H

- relations entre B et H dans les matériaux

Calcul des systèmes à aimants permanents

1- Circuit ouvert

Calcul à grande distance :

méthode dipolaire

2.3 Three-dimensional dipolar field

The field created by a point dipole of moment M_1 has axial symmetry about the dipole axis (Fig. 9.10). It is given by

$$\begin{cases} H_{\theta 1} = \frac{1}{4\pi} \frac{2M_1}{r^3} \cos \alpha \\ H_{r1} = \frac{1}{4\pi} \frac{M_1}{r^3} \sin \alpha \end{cases} \quad (9.9)$$

with $M_1 = J_1 v_1 / \mu_0$.

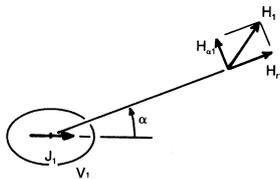


FIG. 9.10. Magnetic field created by a point dipole.

Calcul des systèmes à aimants permanents

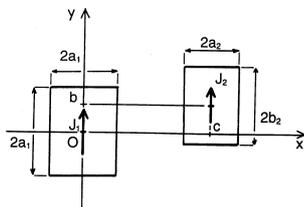
1- Circuit ouvert

Calcul à grande distance :

méthode dipolaire

Calcul à courte distance :

Calcul analytique 2D



Two long parallel magnets in interaction.

$$\frac{F}{L} = \frac{\sigma_1 \sigma_2}{4\pi \mu_0} \sum_{j=0,1} \sum_{k=0,1} \sum_{l=0,1} \sum_{m=0,1} (-1)^{j+k+l+m} \psi(u_j, v_k)$$

where for F_x ,

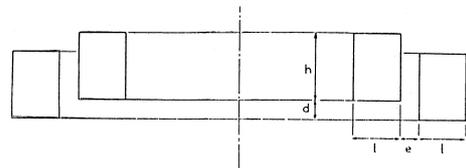
$$\psi_x = -u \ln(u^2 + v^2) - 2v \tan^{-1} \frac{u}{v}$$

and for F_y ,

$$\psi_y = -v \ln(u^2 + v^2) - 2u \tan^{-1} \frac{u}{v}$$

with

$$u_j = c + (-1)^j a_1 + (-1)^j a_2 \quad \text{and} \quad v_k = d + (-1)^k b_1 + (-1)^k b_2$$



Magnetic bearing realized with two identical section rings.

stiffness expression

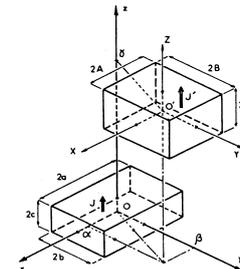
$$K_T = \frac{-\sigma^2}{8\pi \mu_0} p \{ 2 \rho(d) - \rho(d+h) - \rho(d-h) \}$$

$$\text{with } \rho(z) = \ln \frac{[(2l+e)^2 + z^2][e^2 + z^2]}{[(1+e)^2 + z^2]^2}$$

Calcul des systèmes à aimants permanents
1- Circuit ouvert

Calcul à grande distance :
méthode dipolaire

Calcul à courte distance :
Calcul analytique 2D
Calcul analytique 3D



INTERACTION ENERGY BETWEEN THE TWO MAGNETS

This long expression has 256 terms :

$$W = \frac{J_1 J_2}{4\pi^3} \sum_{i,j,k,l,p,q} (-1)^{i+j+k+l+p+q} \psi(u_{ij} v_{kl} w_{pq} r)$$

with $\psi(u,v,w,r) = \frac{1}{2}(v^2-w^2) \ln(r-u) + \frac{1}{2}(u^2-w^2) \ln(r-v) + uvw \operatorname{tg}^{-1} \frac{uv}{r-w} + \frac{1}{2}(u^2v^2-2w^2)$.

by using $u_{ij} = a + (-1)^j A - (-1)^i a$
 $v_{kl} = b + (-1)^l B - (-1)^k b$
 $w_{pq} = c + (-1)^q C - (-1)^p c$
 $r = (u_{ij}^2 + v_{kl}^2 + w_{pq}^2)^{1/2}$ (2)

FORCE CALCULATION

From the interaction energy, the three components F_x , F_y and F_z can be easily obtained by :
 $F = -\operatorname{grad} W$

The force expressions are similar to the energy expression (256 terms).

$$F = \frac{J_1 J_2}{4\pi^3} \sum_{i,j,k,l,p,q} (-1)^{i+j+k+l+p+q} \psi(u_{ij} v_{kl} w_{pq} r)$$

For F_x , $\psi_x = \frac{1}{2}(v^2-w^2) \ln(r-u) + v \operatorname{tg}^{-1} \frac{uv}{r-w} + \frac{1}{2} \frac{uv}{r-w} u$ (3)
 For F_y , $\psi_y = \frac{1}{2}(u^2-w^2) \ln(r-v) + w \operatorname{tg}^{-1} \frac{uv}{r-w} + \frac{1}{2} \frac{uv}{r-w} v$ (4)
 For F_z , $\psi_z = -w \ln(r-u) - v \operatorname{tg}^{-1} \frac{uv}{r-w} - r w$ (5)

Axis	Ox	Oy	Oz
First magnet J	2a	2b	2c
Second magnet J'	2A	2B	2C
O O'	a	b	c

Magnet dimensions

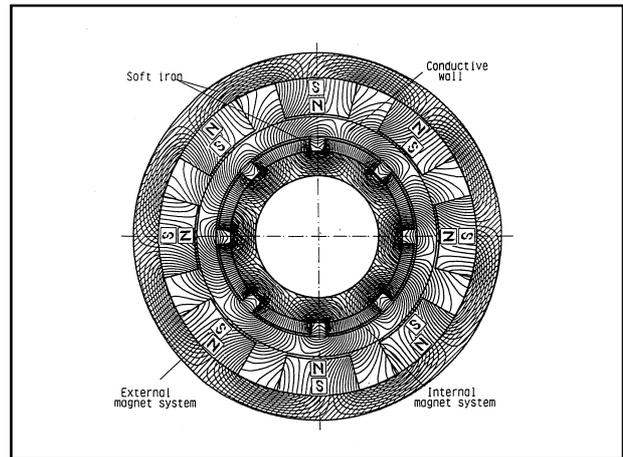
Calcul des systèmes à aimants permanents
1- Circuit ouvert

Calcul à grande distance :
Méthode dipolaire

Calcul à courte distance :
Calcul analytique 2D
Calcul analytique 3D

Calcul à l'intérieur de l'aimant :
Calcul par le champ démagnétisant Hd

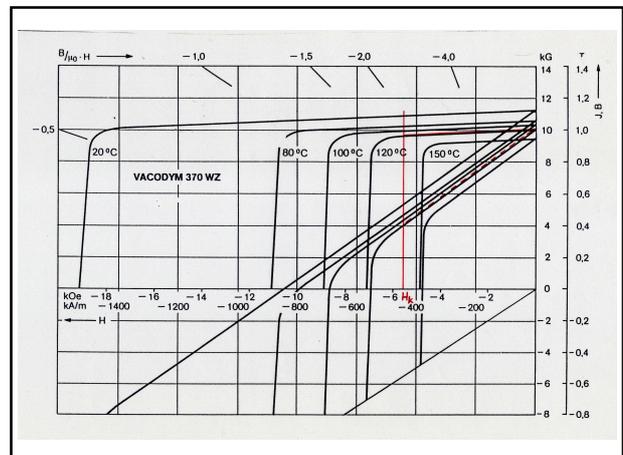
Calcul numérique :
Calcul par Eléments Finis, Différences Finies, etc



Calcul des systèmes à aimants permanents
1- Circuit ouvert

2- Circuit fermé

Calcul simplifié
Résolution graphique



Calcul des systèmes à aimants permanents

1- Circuit ouvert

2- Circuit fermé

Calcul simplifié

Résolution graphique

Calcul numérique :

Calcul par Eléments Finis

