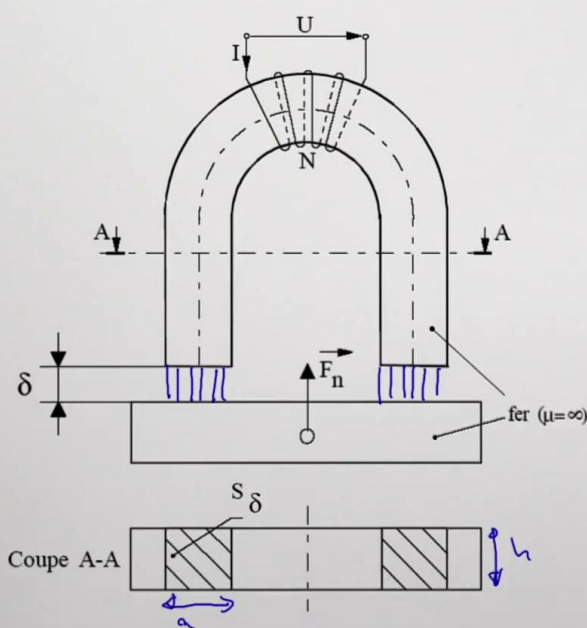


Exemple: force d'attraction



$$dF_n = \frac{1}{2} \mu (H_n^2 - H_t^2) dA \quad dF_t = \mu H_n H_t dA$$

H: $\mu_{\text{fer}} = \infty$, pas de fuites, pas de franges

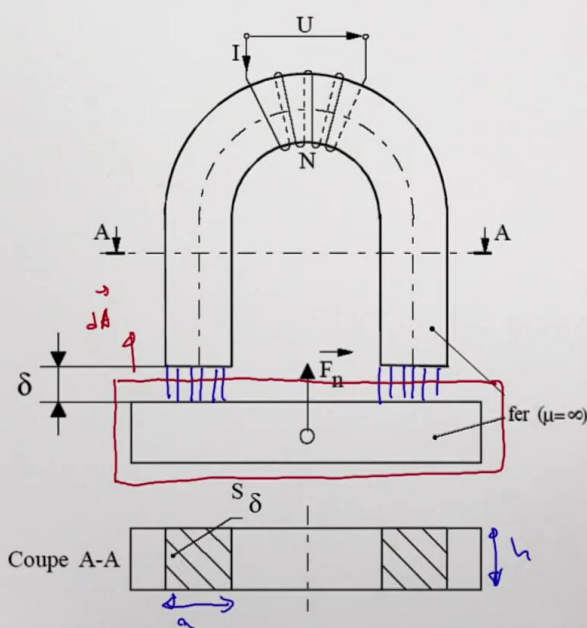
Bonjour. La dernière fois nous avons découvert la méthode du tenseur de Maxwell. C'est vrai que c'était un peu frustrant de faire une démonstration mathématique sans voir une application de la méthode. Nous allons donc y remédier immédiatement et appliquer cette méthode aux exemples de forces d'attraction et de centrage sur les actionneurs réticents que nous connaissons déjà. Le premier actionneur réticent, c'est celui-ci. C'est celui qui attire un barreau, et on a une vue en coupe de notre barreau qui nous permet de définir deux grandeurs. Celle-là, c'est la largeur de notre barreau, et puis ça, c'est sa profondeur. On fait les hypothèses traditionnelles, c'est-à-dire qu'on a μ_{fer} est égal à l'infini, on n'a pas de fuites, puis, on n'a pas de franges. Je rappelle que les fuites, c'est les lignes de champ qui passent dans la bobine sans passer dans le barreau, et les franges, c'est celles qui ne sont plus toutes droites, qui viennent sur les côtés. Notre champ magnétique, il va être comme ceci dans l'entrefer. Comment est-ce qu'on applique la méthode du tenseur de Maxwell ? On doit choisir une surface. Cette surface on peut la choisir de manière à ce que ça soit facile de faire les calculs.

Notes

Summary



Exemple: force d'attraction



$$dF_n = \frac{1}{2} \mu (H_n^2 - H_t^2) dA \quad dF_t = \mu H_n H_t dA$$

H: $\mu_{\text{fer}} = \infty$, pas de fuites, pas de franges

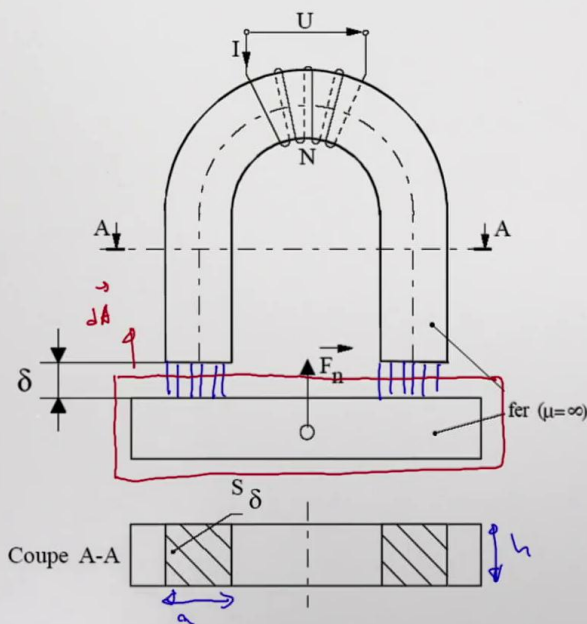
Comme notre champ magnétique est uniquement normal, (il n'y a pas de franges), vertical dans mon dia, je vais choisir une surface qui lui est perpendiculaire. Qui entoure bien sûr le barreau, mais qui est perpendiculaire à mon champ magnétique. Comme ça, je n'aurai qu'une composante normale du champ magnétique à gérer. C'est ce que je vais faire. Je vais dessiner ma surface. Je dois passer dans l'entrefer, je vais entourer le barreau, et puis là, c'est un peu moins un souci parce que là, le champ magnétique est nul, donc je peux passer où je veux. Là, c'est vraiment dans l'entrefer que c'est intéressant d'avoir une surface qui est bien perpendiculaire. Mon élément de surface, il va être comme ça. OK. On a plus ou moins une idée de ce qui se passe maintenant avec cette surface. Il va falloir intégrer le champ magnétique sur la surface donc partout où il n'y a pas de champ magnétique, ça va être nul, il ne va pas y avoir de forces. Puis partout ailleurs, il va falloir utiliser ces deux expressions. Pour ça, il faut calculer le champ H_n et le champ H_t . Si j'ai bien choisi ma surface, comme dans ce cas, je n'ai pas de composante tangentielle, donc mon champ H_t va être nul.

Notes

Summary



Exemple: force d'attraction



$$dF_n = \frac{1}{2} \mu (H_n^2 - H_t^2) dA \quad dF_t = \mu H_n H_t dA = 0$$

H: $\mu_{\text{fer}} = \infty$, pas de fuites, pas de fanges

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = NI = H_{\text{fer}} l_{\text{fer}} + 2 H_{\delta} \delta = NI$$

$$H_{\text{fer}} = \frac{B_{\text{fer}}}{\mu_{\text{fer}}} = 0$$

$$H_{\delta} = H_n = \frac{NI}{2\delta}$$

$$dF_n = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{N^2 I^2}{4 \delta^2} dA$$

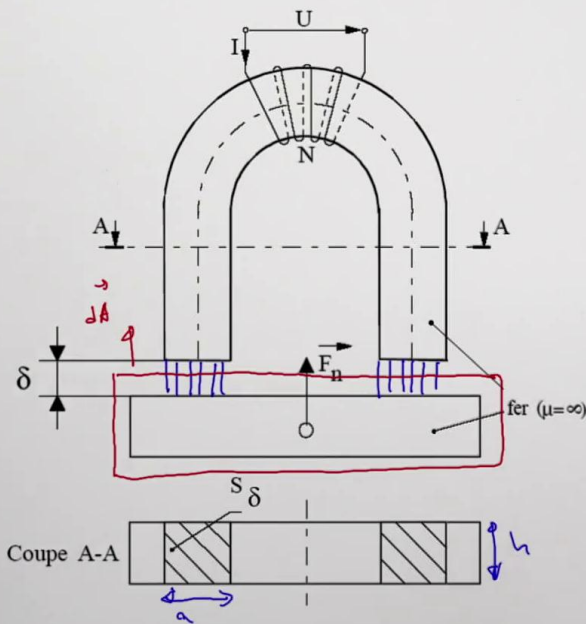
Ça, ça disparaît et ça, c'est égal à zéro. Ça va entraîner que ma force tangentielle, dans ces endroits-là, elle va être nulle. Il ne me reste plus qu'à calculer la composante H_n . H_n , qu'est-ce que c'est ? C'est le H dans l'entrefer $H\delta$. Pour calculer le H dans l'entrefer, je prends la loi d'Ampère : c'est l'intégrale de Hdl qui vaut les courants qui sont englobés par mon intégrale ou par mon circuit. Si je fais un circuit fermé, ça donne NI , puis, si je fais mon circuit comme ceci, je vais avoir, on va dire, un H dans le fer fois la longueur du fer plus un H dans l'entrefer fois la longueur de l'entrefer. Là, ça va être 2 fois δ , puis ça, ça va valoir NI . On sait que H_{fer} est égal à B_{fer} sur μ_{fer} . Ça, comme μ_{fer} est égal à l'infini, ça va valoir zéro. Ça, ça va valoir zéro, donc on a que mon $H\delta$ qui est égal à H_n , ça vaut NI qui est divisé par les deux δ . Après, ça devient trivial parce que je remplace ça là-dedans et puis, je vais intégrer sur toute la surface ici. On calcule l'élément de force. μ , c'est μ_0 . H_n^2 , on le remplace, et puis, il nous reste encore l'élément de surface. On va avoir ça partout sur ces deux surfaces, donc, il suffit de multiplier par les surfaces elles-mêmes.

Notes

Summary



Exemple: force d'attraction



$$dF_n = \frac{1}{2} \mu (H_n^2 - H_t^2) dA \quad dF_t = \mu H_n H_t dA = 0$$

$H: \mu_{\text{fer}} = \infty$, pas de fuites, pas de fanges

$$H_n = H_s \quad \int \vec{H} d\vec{l} = NI = \underbrace{H_{\text{fer}} \cdot l_{\text{fer}}}_{\rightarrow 0} + 2 H_s \delta = NI$$

$$H_{\text{fer}} = \frac{B_{\text{fer}}}{\mu_{\text{fer}}} = 0$$

$$H_s = H_n = \frac{NI}{2\delta}$$

$$dF_n = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{N^2 I^2}{4 \delta^2} dA$$

$$F_n = \frac{\mu_0 a h}{4 \delta^2} N^2 I^2$$

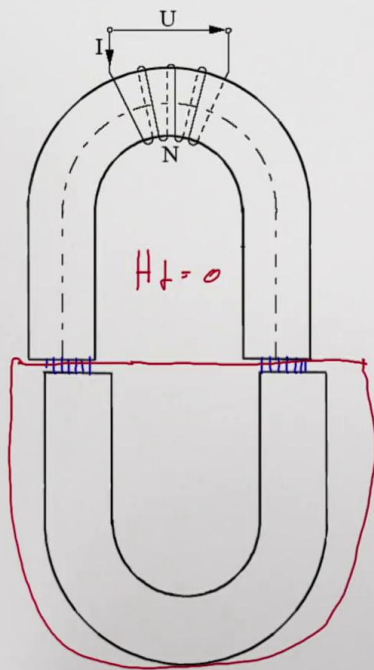
L'intégrale est triviale : il y a deux surfaces, donc on va avoir 2 a fois h , fois ceci. Ça nous donne une expression où les deux surfaces se simplifient avec le $1/2$, puis on a une expression qui ressemble méchamment à celle qu'on avait lorsqu'on a calculé cette force-ci avec la méthode de la dérivée de l'énergie. On voit juste que la chose qui change, c'est qu'on avait un signe moins. Là, on est obligés de déterminer le signe avec la méthode simplifiée du tenseur de Maxwell, en fonction de la manière dont les choses se déroulent. J'ai envie de dire, on sait que le barreau va être attiré dans ce cas-là. Là, le signe ne peut plus être déterminé de la même manière qu'avant avec le résultat des équations puisqu'on a des grandeurs qui sont des carrés dans ce cas-là. Ça, c'est pour la force normale.

Notes

Summary



Exemple: force de centrage



$$dF_n = \frac{1}{2} \mu (H_n^2 - H_t^2) dA$$

$$dF_t = \mu H_n H_t dA$$

$F_t = 0$

$$F_t = -\frac{\mu_0 h}{4\delta} N^2 I^2$$

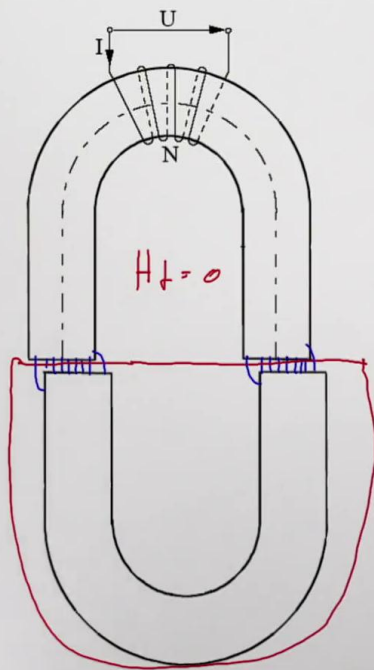
Force tangentielle ou de centrage : là, c'est beaucoup plus trivial. Si on reprend exactement les mêmes hypothèses que tout à l'heure, on ne va avoir du champ magnétique qu'ici. Je vais faire une surface qui entoure mon élément mobile. Là, c'est moins un problème puisqu'il n'y a pas de champ magnétique. Aux seuls endroits où il y a du champ magnétique, il y a un truc qu'on remarque, c'est qu'on a une composante tangentielle nulle. La composante d'attraction normale, on va pouvoir la calculer, ça, ce n'est pas un problème. La composante tangentielle, on se rend compte que si on fait les hypothèses qu'on a faites, ça, c'est nul, donc notre force tangentielle va être nulle, alors que la force tangentielle qu'on avait obtenue la dernière fois, elle était non-nulle. À titre de rappel, c'était une expression qui était négative, qui dépendait de h , de l'entrefer, et puis du potentiel magnétique au carré. Donc, on voit que, dans ce cas-là, la dérivée de l'énergie et Maxwell donnent des résultats différents. On sait par l'expérience que si on met les bouts de ces fers l'un en face de l'autre et puis qu'on met du courant dans la bobine, on va avoir un centrage et donc on va avoir une force qui est non nulle.

Notes

Summary



Exemple: force de centrage



$$dF_n = \frac{1}{2} \mu (H_n^2 - H_t^2) dA$$

$$dF_t = \mu H_n H_t dA$$

$F_t = 0$

$$F_t = -\frac{\mu_0 h}{4\delta} N^2 I^2$$

Pourquoi est-ce que, dans ce cas-là, avec Maxwell, on calcule une force nulle ? Simplement à cause des hypothèses. Les hypothèses sont vraiment fondamentales avec Maxwell, parce que, de fait, on va avoir des franges, donc on va avoir des lignes de champ qui font comme ça... qui font comme ça... et ces lignes de champ-là, elles vont faire que la composante tangentielle du champ n'est pas nulle. Donc l'hypothèse qu'on a faite, elle est fautive et dans le cas de Maxwell, comme on fait l'intégrale uniquement sur la surface... On ne fait pas un calcul de densité d'énergie sur tout le système, on ne fait vraiment le calcul qu'à la surface. ...on a un petit souci lorsqu'on ne connaît pas parfaitement le champ magnétique sur cette surface. Donc attention. Attention aux hypothèses avec le tenseur de Maxwell, parce que ça peut vous amener à avoir des résultats qui sont erronés.

Notes

Summary





- Méthode efficace
- Pas de dérivée
- Permet de tenir compte de la saturation
- Attention aux hypothèses

En résumé, la méthode du tenseur de Maxwell est vraiment très intéressante, parce qu'elle permet de calculer des forces très rapidement sur des systèmes qui peuvent être saturés. Il n'y a pas de restrictions à ce niveau-là. Pour ce faire, il suffit de connaître le champ magnétique sur une surface qui englobe la partie mobile de l'actionneur ou le rotor du moteur, mais malheureusement, cet avantage est aussi le principal inconvénient de cette méthode. Il est donc indispensable d'avoir fait les bonnes hypothèses pour obtenir des résultats corrects, en particulier pour calculer les forces tangentielles, où les franges ne peuvent plus être négligées.

Notes

Summary



12m 01s