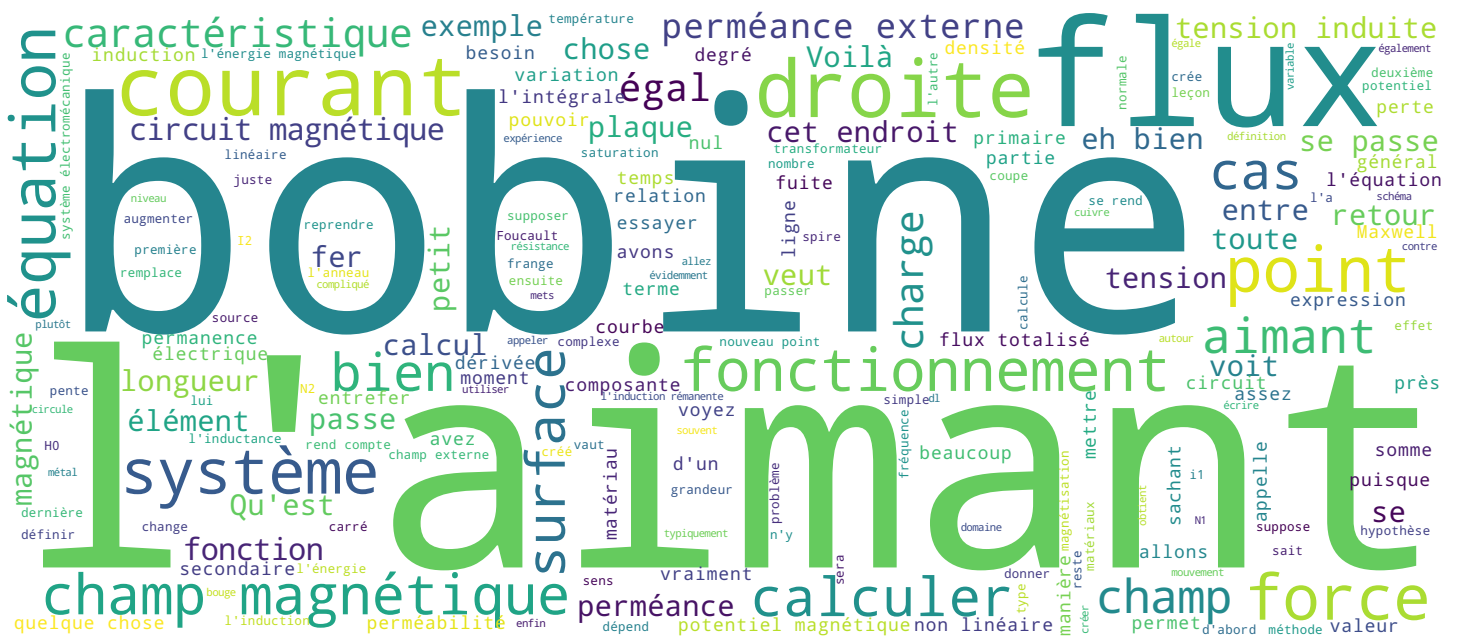


Aimants: point de fonctionnement

Conversion électromécanique

Prof. Perriard & Dr Koechli

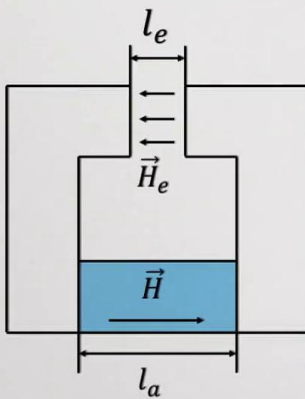


Search MOOC



Video





$$\oint H dl = NI$$



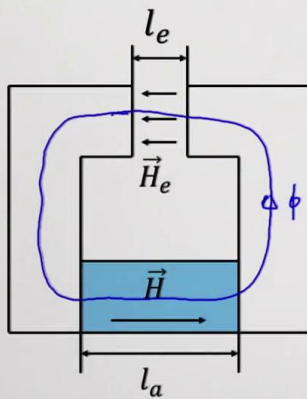
Bonjour. Nous avons établi les caractéristiques de l'aimant la dernière fois. Sa droite de retour nous donne une relation qui lie B et H dans l'aimant. Donc, ça fait une équation pour deux inconnues. Il faut donc une deuxième équation. Celle-là, on va l'obtenir en considérant ce qui se trouve autour de l'aimant. On va se baser sur un cas simple. Donc, un aimant avec des parties ferromagnétiques qu'on va supposer avoir une perméabilité magnétique infinie, et puis une perméance externe ici, une perméance d'entrefer qui est le système le plus simple, on va dire, pour notre petite démonstration. Et puis ensuite, on va la généraliser à quelque chose qui est beaucoup plus complexe et qui est totalement général de tout type de caractéristique externe, on va dire. Ou de circuit magnétique externe à l'aimant permanent. Donc, notre aimant permanent qui est dans un circuit magnétique. Qu'est-ce qu'on a comme équations à disposition pour essayer de résoudre ça et essayer de lier B et H ? La première à laquelle on pense, c'est la loi d'Ampère. Ou égal $\oint H dl = NI$. Ici, on va supposer que le courant, il y a pas de bobine nulle part, donc le courant qui circule dans pas de bobine, c'est comme s'il était nul.

Notes

Summary



0m 04s



$$\oint H dl = NI \quad I = 0$$

$$H \cdot l_a + H_e \cdot l_e = 0$$

c

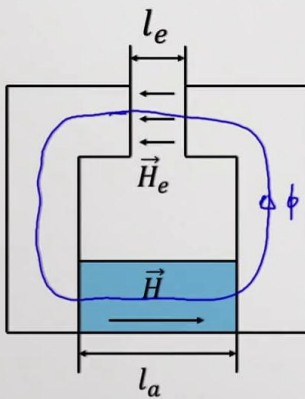
On verra un peu plus tard que s'il n'est pas nul, on peut reprendre cette équation. Si on rajoute une bobine ici, on peut reprendre cette équation et rerésoudre le système de la même manière que je vais le faire maintenant. En posant un courant non nul s'il y a une bobine dans le circuit. Pour le moment, il y en a pas. Alors, je fais un circuit magnétique. Et puis, je vais faire mon circuit magnétique là-dedans. Donc je passe là-dedans. Et puis, si je suppose qu'il y a pas de fuite, qu'il y a pas de frange, qu'on a un système avec $\mu_{\text{fer}} = \infty$, on a deux composantes d'Ampère : le champ dans l'aimant, H , fois la longueur de l'aimant, et puis le champ dans l'entrefer ou le champ dans la perméance externe, on va dire, fois sa longueur. Puis ça, ça va être égal à 0. Ça, c'est pour une première équation. Et puis, on se rend compte qu'on a une équation mais au lieu d'enlever une inconnue, j'en ai rajouté une. Donc il va falloir encore une autre équation. La deuxième équation qui est assez standard dans ce genre de problème, c'est de considérer l'équation du flux. Le flux qui est conservé, c'est toujours une densité de flux ou une induction magnétique fois une surface.

Notes

Summary



2m 07s



$$\oint H dl = NI \quad I = 0$$

$$H \cdot l_a + H_e l_e = 0$$

$$\phi = B \cdot A_a = B_e A_e = H_e \mu_e A_e$$

$$H_e = \frac{B A_a}{A_e \mu_e}$$

$$H \cdot l_a + \frac{B A_a l_e}{A_e \mu_e} = 0$$

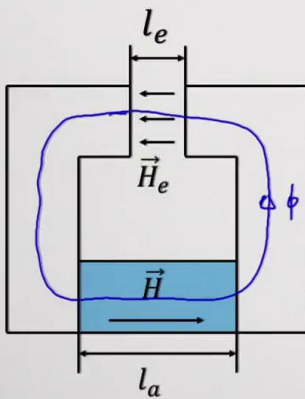
$$B = - \frac{A_e \mu_e \cdot l_a}{A_a l_e} \cdot H$$

Donc ici on va prendre le B de l'aimant fois la surface de l'aimant. Et la surface de l'aimant, c'est cette grandeur ici, puisque c'est la surface qui est perpendiculaire au flux ou normale au flux, donc cette grandeur ici, fois la profondeur de notre système électromécanique. De notre dispositif, puisque là, on n'a pas encore un système électromécanique, il y a rien qui bouge pour le moment. Et ce flux, il va être le même tout le long. Donc en fait, le flux dans l'aimant et le flux dans la perméance externe, ça va être les mêmes, on suppose qu'on a pas de fuite. Et puis, je peux remplacer B par H. Il suffit de multiplier H par sa perméabilité. La perméabilité, ici, de la perméance externe. Et j'obtiens une équation de H_e , qui est ce que je cherche, en fonction de B. Et donc, je vais avoir mon H_e en fonction de B, de l'induction dans l'aimant. Champ magnétique dans la perméance externe en fonction de l'induction dans l'aimant. Et je remplace. Je remplace ici. Et donc... Il faut que je l'écrive juste, ici c'est plus. Et puis ça, c'est égal à 0. Après, j'arrive à isoler B. Et j'ai une relation qui lie l'induction magnétique dans l'aimant au champ magnétique qu'il parcourt.

Notes

Summary





$$\oint H dl = NI \quad I = 0$$

$$H \cdot l_a + H_e l_e = 0$$

$$\phi = B \cdot A_a = B_e A_e = H_e \mu_e A_e$$

$$H_e = \frac{B A_a}{A_e \mu_e}$$

$$H \cdot l_a + \frac{B A_a l_e}{A_e \mu_e} = 0$$

$$B = - \frac{A_e \mu_e \cdot l_e}{A_a l_a} \cdot H \quad \frac{A_e \mu_e}{l_e} = \mathcal{L}_e = \int_{S_e} \frac{\mu_e dA_e}{l_e}$$

$$B = - \mathcal{L}_e \frac{l_a}{A_a} \cdot H$$

Donc, avec l'équation de la droite de retour, je vais pouvoir déterminer ce qu'on appelle le point de fonctionnement de l'aimant. Ça, c'est pour un cas particulier qui est celui d'une perméance relativement simple. On peut très bien généraliser ceci en remarquant qu'à cet endroit ici, on a une perméance qui est la perméance du... De la perméance externe, justement, de mon petit circuit. Et donc, si on écrit que... Ceci c'est λ_e , on peut remplacer et puis on obtient que notre induction dans l'aimant, c'est une fonction de λ_e . On peut aussi généraliser λ_e en disant que dans le cas le plus général, c'est une petite intégrale sur la surface externe avec un terme différentiel pour la surface. Ça, ça nous permettrait de tenir compte de toutes les fuites et de toutes les franges, etc... Et dans un circuit magnétique qui est beaucoup plus complexe, il suffit d'avoir... de calculer la perméance externe à l'aimant permanent pour pouvoir remplacer λ_e par sa valeur et obtenir une relation qui lie B et H . Et on se rend compte que cette relation, c'est une droite de pente négative qui passe par l'origine. On va la représenter sur la caractéristique de l'aimant.

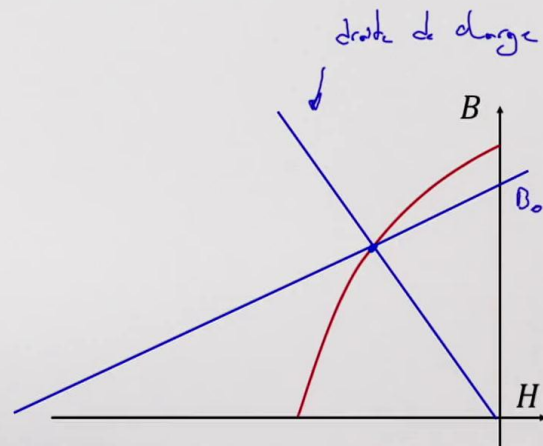
Notes

Summary



$$B = -\Lambda_e \frac{l_a}{A_a} H$$

$$B = B_0 + \mu_d H$$



Je l'ai reportée ici. Donc, c'est une droite de pente négative. Ça donne quelque chose comme ça. Et puis, qui passe par l'origine. En tout cas, à peu près. OK, donc ça veut dire que si j'ai un aimant magnétisé dans un circuit magnétique, lorsque je coupe le champ magnétique, on va avoir la caractéristique de l'aimant. Ce qu'on va appeler la droite de charge, ça, la caractéristique liée à ce qu'il y a autour de l'aimant, qui nous donne un point de fonctionnement qui est ici. J'ai coupé le champ de magnétisation, mon aimant se stabilise ici. Si je remets un peu de champ, on sait qu'on doit tracer une droite parallèle à la tangente au point où on a l'induction rémanente, donc ça fait à peu près par là. À peu près. Et puis je vais la poursuivre, histoire que j'ai un peu tout. La caractéristique, on sait que cette droite, on l'appelle la droite de retour. J'ai donné son équation ici. Et puis ici, on aura B_0 . Et puis, on a notre point de fonctionnement qui est à cet endroit-là. Si maintenant, je vais ouvrir l'entrefer ou... Non, pas ouvrir l'entrefer. Si je vais coller mon aimant contre une plaque en acier, par exemple. Si je colle mon aimant contre une plaque en acier ou si je referme l'entrefer, je vais avoir cette perméance μ_e qui va augmenter.

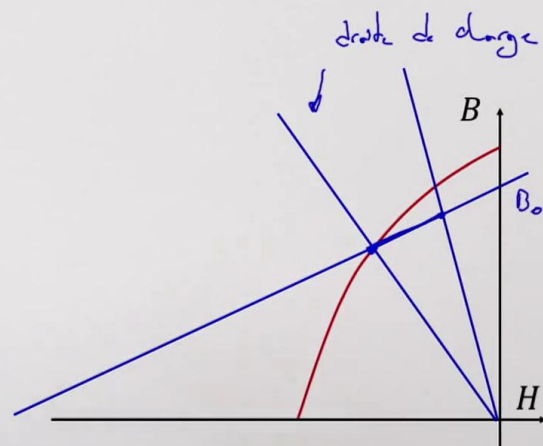
Notes

Summary



$$B = -\Lambda_e \frac{l_a}{A_a} H$$

$$B = B_0 + \mu_d H$$



Cette perméance va augmenter et donc, ça veut dire que la pente de la droite va augmenter. On imagine que je colle mon petit système de tout à l'heure contre une plaque en métal, je passe d'une perméance qui contient l'entrefer à une perméance qui la contient plus. Et donc, je vais avoir une perméance qui est beaucoup plus grande. Et donc, je vais avoir un nouveau point de fonctionnement qui va être celui-ci. Là, j'avais la droite de charge sans plaque en métal ou à entrefer grand. Là, j'ai une droite de charge avec plaque en métal ou à entrefer réduit. Puis si je varie entre les deux positions, je vais avoir un domaine de fonctionnement qui va se situer sur ces deux endroits. Je répète encore une fois. À cause de la droite de charge, je détermine un point de fonctionnement. Ce point de fonctionnement, je peux le faire changer si je change la perméance externe. En sachant que la longueur de l'aimant et la surface de l'aimant ne vont pas varier. Si je change cette perméance externe, ça va me donner un nouveau point de fonctionnement que je dois calculer en faisant l'intersection de la droite de charge et de la droite de retour. En sachant que, dans la plupart des cas, la caractéristique rouge est en fait linéaire.

Notes

Summary

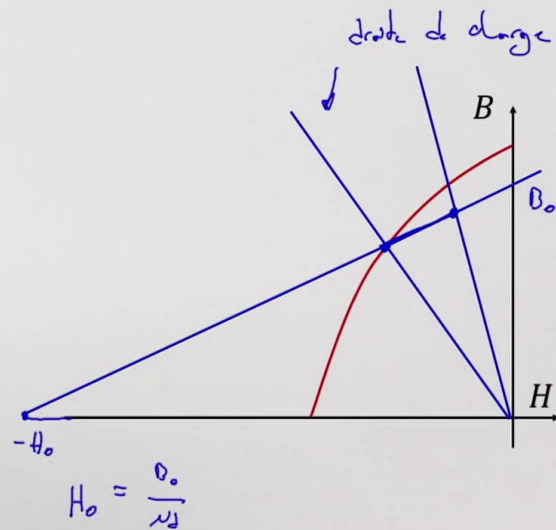


11m 22s

$$B = -\Lambda_e \frac{l_a}{A_a} H$$

$$B = B_0 + \mu_d H$$

$$B = B_0 \frac{\mu_c}{\mu_c + \mu_d \frac{A_a}{l_a}}$$



Et donc, je m'excite pas à faire des intersections avec des caractéristiques non linéaires de manière graphique ou je ne sais quoi. Il y a encore un point qui est intéressant de noter ici. C'est le point qui est l'intersection entre cette caractéristique et l'axe des H, en fait. Donc, à cet endroit ici. Et ce point-là va être $-H_0$. Et ce H_0 , on peut le calculer à partir d'ici. Donc, c'est le point quand B est nul. Donc, si on dit qu'on a $-H_0$ ici, H_0 , ça vaut B_0 / μ_d . Ça, ça va nous permettre de faire des petits calculs après. Comment est-ce qu'on calcule ce point ici ? Il y a le cas général où la caractéristique n'est pas non linéaire. Donc, on prend ces deux équations ici et puis on les résout. Là, je vous ai pas mis les maths parce qu'on en fait déjà assez comme ça. Donc je vous donne direct la réponse. C'est-à-dire que B dépend de B_0 , qui peut être égal à l'induction rémanente dans le cas d'une caractéristique linéaire. Elle dépend de la perméance externe. Et puis de l'imperméabilité de l'aimant. Donc, les caractéristiques de l'aimant : sa perméabilité, sa surface et puis sa longueur. Sachant que la longueur de l'aimant, c'est la longueur qui est dans la direction de magnétisation de l'aimant, puis la surface, c'est la surface qui lui est normale.

Notes

Summary

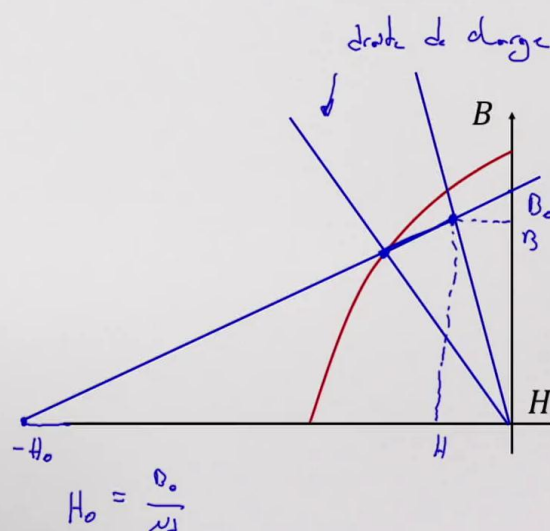


$$B = -\Lambda_e \frac{l_a}{A_a} H$$

$$B = B_0 + \mu_d H$$

$$B = B_0 \frac{\mu_c}{\mu_c + \mu_d \frac{A_a}{l_a}}$$

$$H = -H_0 \frac{\mu_d \frac{A_a}{l_a}}{\mu_c + \mu_d \frac{A_a}{l_a}}$$



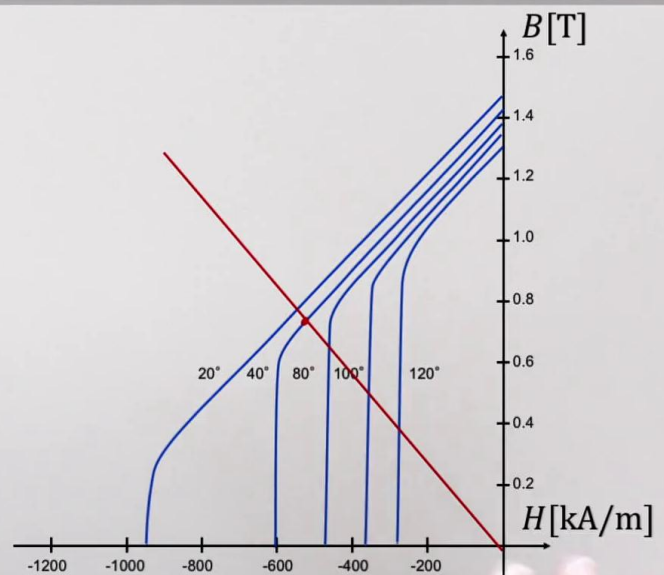
Et puis on peut aussi écrire l'équation pour H. Donc ça, ça va nous donner B. Ici, B. Ça, c'est B₀. Et puis, on peut calculer également l'équation pour H. Alors, je vous ai dit que dans la plupart des cas, on n'a pas besoin de tenir compte de la caractéristique non linéaire.

Notes

Summary



15m 33s



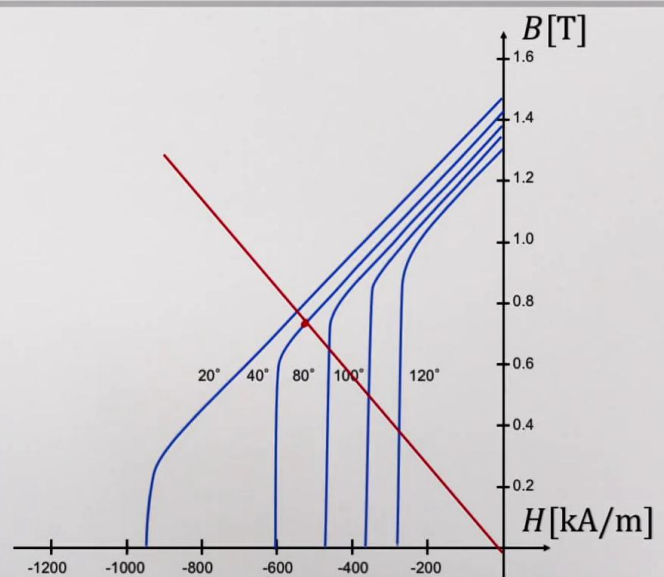
Le cas casse-pied, c'est quand on chauffe les aimants. Alors ça, vous allez pas en voir souvent dans les exercices, mais quand même, je vous le mentionne. Savoir que si on chauffe l'aimant, si on a un système avec, on va dire, une droite de charge qui a cette allure-ci, au repos, quand tout va bien, on se rend compte que notre aimant, il va être OK lorsqu'on est à 40 degrés. On n'a pas de démagnétisation parce que simplement avec la température, on a beau avoir une caractéristique qui change, mais elle va reprendre sa valeur initiale après. Par contre si on passe à 100 degrés, on a démagnétisé. Même à 80 déjà. 100, on est sur cette courbe-ci. Puis à 120, on a commencé sérieusement à démagnétiser, parce qu'en gros, la prochaine fois qu'on remonte, on peut pas remonter sur la même caractéristique. On va remonter sur une droite de retour. En fait, on va avoir une induction qui reste faible. Donc ça va pas fonctionner. Donc c'est pour ça qu'il faut faire gaffe avec les caractéristiques non linéaires. C'est vraiment dans ces cas-là que c'est utile de faire des calculs de droites de charge et de les comparer avec les caractéristiques des aimants permanents.

Notes

Summary



16m 28s



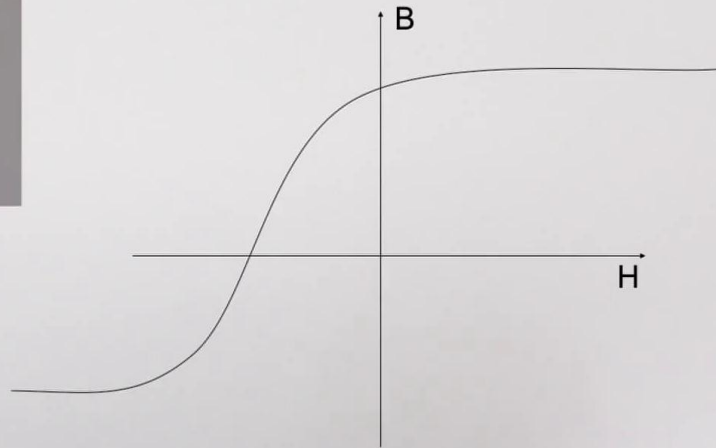
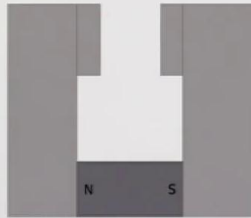
En sachant que, typiquement, dans les systèmes médicaux, vous passez les outils à l'autoclave. L'autoclave, ça doit tenir des températures qui sont au-delà de 140 degrés ou même 150, donc vous allez prendre un peu de marge et avoir, justement, des températures d'aimant à 150 degrés qui vous garantissent que vous êtes pas démagnétisé.

Notes

Summary



18m 05s



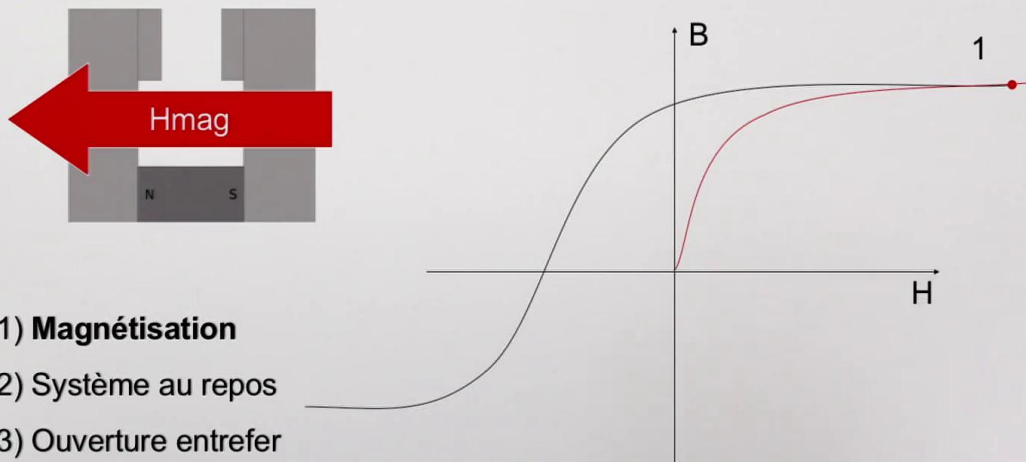
- 1) Magnétisation
- 2) Système au repos
- 3) Ouverture entrefer
- 4) Fermeture entrefer
- 5) Champ externe

Donc, en résumé, si j'ai un aimant dans un entrefer, dans un circuit magnétique plutôt, avec un entrefer, il y a toutes les étapes de la vie de l'aimant, de ce qui peut arriver à l'aimant. La première c'est la magnétisation.

Notes

Summary





- 1) Magnétisation
- 2) Système au repos
- 3) Ouverture entrefer
- 4) Fermeture entrefer
- 5) Champ externe

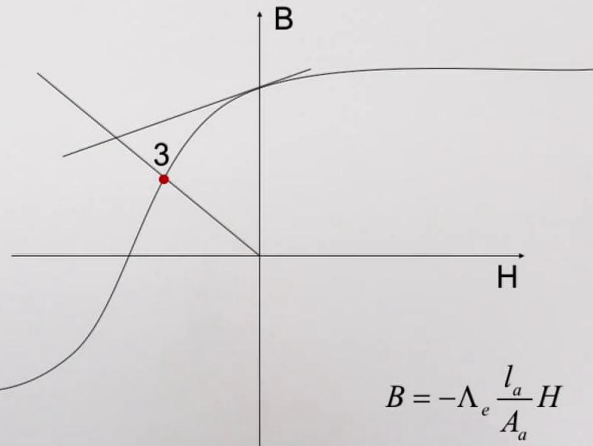
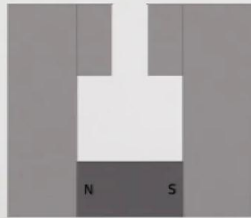
Donc j'applique un champ magnétique externe et je vais avoir ma courbe de première magnétisation et donc, le point de fonctionnement, ça va être à cet endroit, ici. Avec le champ externe. Donc, je coupe mon champ externe. En général, je peux pas le maintenir énormément parce que c'est des champs qui sont plutôt de l'ordre, au niveau de l'induction, de plusieurs Tesla.

Notes

Summary



19m 00s



- 1) Magnétisation
- 2) Système au repos
- 3) Ouverture entrefer
- 4) **Fermeture entrefer**
- 5) Champ externe

$$B = -\Lambda_e \frac{l_a}{A_a} H$$

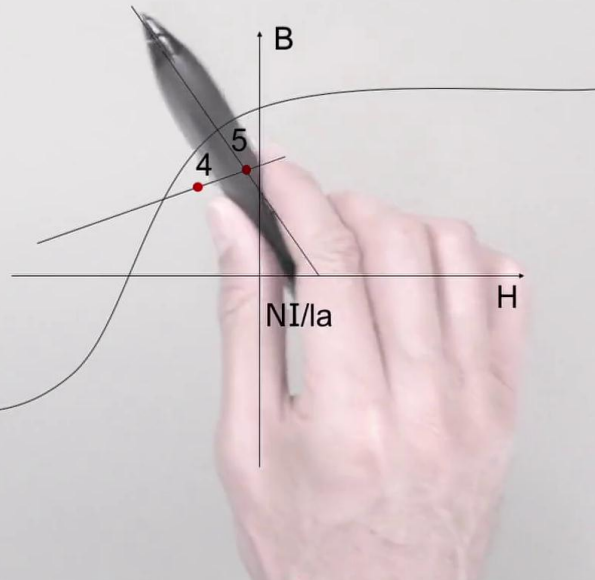
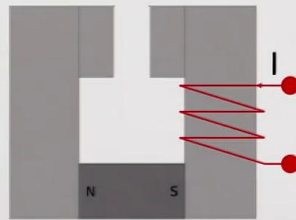
$$B = B_0 + \mu_d H$$

Donc ça veut dire que je vais avoir des courants nécessaires pour les générer qui sont très élevés. Ensuite, je coupe. Qu'est-ce qui se passe ? Je vais pas rester ici, je vais avoir mon point de fonctionnement. Donc, je vais devoir calculer mon point de fonctionnement avec mon entrefer. Mon point de fonctionnement, comment est-ce que je le calcule ? Je fais ma droite de charge. Et puis, la droite de charge, elle a cette équation ici. Et puis, j'ai un aimant qui va travailler depuis cet endroit. Si on imagine qu'on élargit notre entrefer, ça va faire diminuer la perméance externe. J'élargis l'entrefer, donc je vais avoir une droite de charge qui va avoir une pente plus faible. Donc, je vais avoir un effet de démagnétisation de l'aimant. À cet endroit-ci. Et je vais être avec un point de fonctionnement au point 3. On suppose qu'on remet l'entrefer original, donc il a de nouveau la même taille qu'avant. Pour calculer le nouveau point de fonctionnement, je dois tracer la tangente à l'endroit où on a un champ magnétique nul. Et puis, je trace une parallèle à cette droite par mon point de fonctionnement, et c'est ma droite de retour.

Notes

Summary





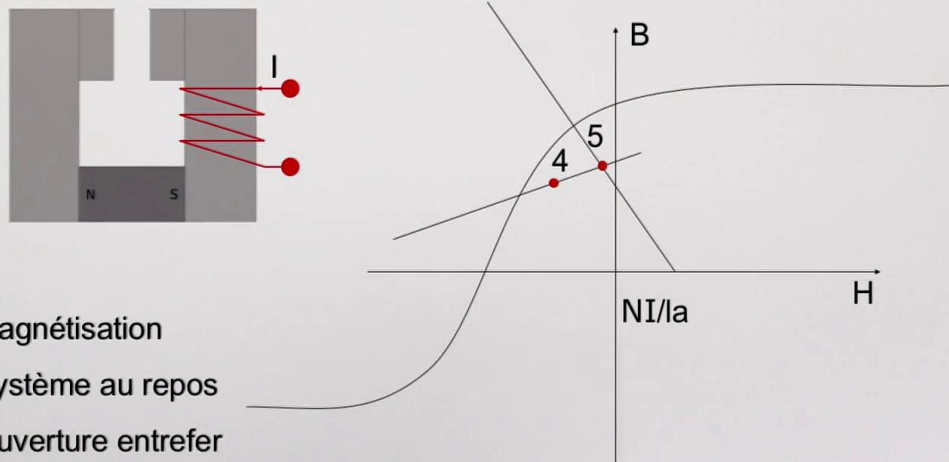
- 1) Magnétisation
- 2) Système au repos
- 3) Ouverture entrefer
- 4) Fermeture entrefer
- 5) **Champ externe**

Et puis, pour calculer le nouveau point de fonctionnement, je reprends ma droite de charge que j'avais avant puisque mon entrefer est plus petit. La dernière chose, c'est quelque chose qu'on n'a pas vu. Qu'est-ce qui se passe lorsqu'on rajoute un champ externe ? J'ai dit tout à l'heure que dans les équations, on supposait qu'on avait un courant nul. Et si on a un courant non nul, qu'est-ce qui se passe ? C'est le champ externe, donc je mets une bobine dans mon circuit magnétique. Donc, je vais avoir un terme NI dans mon équation qui n'est plus nul. Et puis, si vous faites les équations à la maison, c'est un bon exercice à faire, vous vous rendez compte que ça me décale ma droite de charge d'un champ magnétique qui est égal à NI divisé par la longueur de l'aimant. La longueur de l'aimant dans ce sens-là. Et donc j'ai un cinquième point de fonctionnement qui va se trouver ici. C'est d'ailleurs comme ça qu'on magnétise l'aimant. On va avoir une bobine, alors pas forcément à cet endroit-là, ça peut être une bobine qui englobe le tout et qui crée un champ magnétique dans tout le circuit.

Notes

Summary





- 1) Magnétisation
- 2) Système au repos
- 3) Ouverture entrefer
- 4) Fermeture entrefer
- 5) **Champ externe**

Lorsqu'on veut vraiment magnétiser un aimant non linéaire, c'est en général ce qu'on va essayer de faire, pour essayer de pouvoir avoir un point de fonctionnement qui est relativement proche de l'induction rémanente ou de l'endroit où on a la courbe qui coupe l'axe des inductions. Et puis on va laisser le circuit magnétique et magnétiser le tout. Il faut des champs qui sont extrêmement élevés dans ce cas-là. Mais ça, c'est relativement peu fréquent de nos jours, qu'on se serve encore d'aimants de ce type-là. Voilà pour le résumé des divers points de fonctionnement et des fonctionnements de l'aimant. En sachant que dans la plupart des aimants, on va avoir une caractéristique qui est une droite, et donc on n'aura pas besoin de se préoccuper de droites de retour qui sont différentes des équations de la caractéristique principale.

Notes

Summary





- Droite de charge

$$B = -\Lambda_e \frac{l_a}{A_a} H$$

- Droite de retour

$$B = B_0 + \mu_d H$$

- Point de fonctionnement

$$B = B_0 \frac{\Lambda_e}{\Lambda_e + \mu_d A_a / l_a}$$

$$H = -H_0 \frac{\mu_d A_a / l_a}{\Lambda_e + \mu_d A_a / l_a}$$

L'induction et le champ magnétique dans l'aimant nous donnent son point de fonctionnement. Pour l'obtenir, on a besoin de deux équations. Celle de sa caractéristique propre. La plupart du temps, on l'a dit, ça correspond à la droite de retour. Et puis celle de sa caractéristique externe, la droite de charge. Et puis, la résolution du système de ces deux équations nous donne le point de fonctionnement de l'aimant.

Notes

Summary



23m 29s