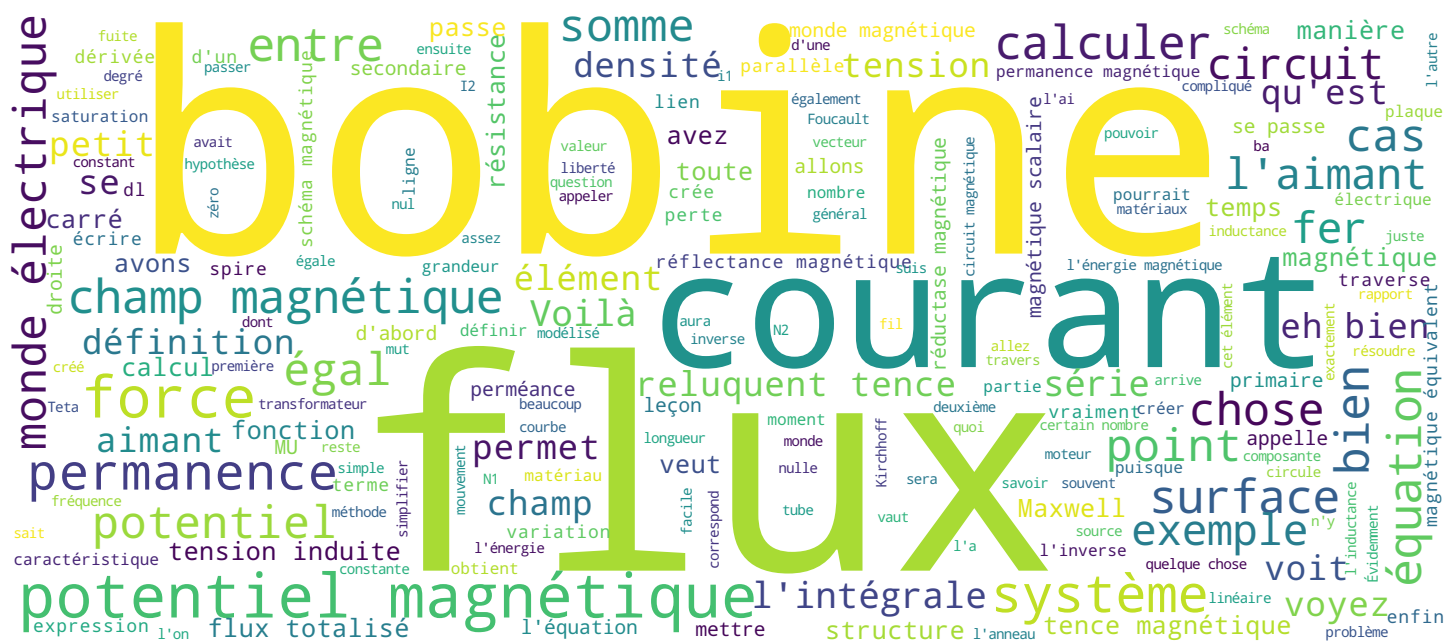


## Potentiel magnétique scalaire

## Conversion électromécanique

Prof. Perriard &amp; Dr Koechli



# Réductance et perméance

## Conversion électromécanique

Prof. Perriard & Dr Koechli

Madame, Monsieur, bonjour, dans cette leçon, nous allons voir et définir ce que sont la réductance et la perméance et avant ça, définir ce qu'est le potentiel magnétique scalaire qui nous permettra d'ailleurs d'aboutir à la fin à une mode ou une façon de modéliser sur le modèle de Kirchhoff que nous avons. Que vous avez déjà vu en électrotechniques?

Notes

Summary



# Définition du potentiel magnétique scalaire

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}$$

1<sup>de</sup> loi :

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

Tout d'abord, le potentiel magnétique scalaire à ne pas confondre avec le potentiel magnétique vecteur qui n'est pas du tout la même chose et son potentiel magnétique scalaire nous vient de. De la relation de Maxwell que l'on a déjà vue dans les leçons précédentes, qui nous dit que le rotationnel du champ magnétique? Autre que la densité de courant  $\vec{J}$ . Vous savez, puisqu'on l'a déjà vu dans une leçon, que avec un degré de liberté en supprimant. La partie vectorielle, finalement, qui va dans les trois directions si on n'a plus qu'une seule direction, on peut écrire et en appliquant la forme intégrale de cette équation. Rotationnel de  $\vec{H}$  est égal à  $\vec{J}$ . On obtient que l'intégrale sur une boucle fermée  $\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l}$  sur un contour. On fait la somme des  $\vec{H} \cdot d\vec{l}$  est égale à l'intégrale sur une surface de  $\vec{J} \cdot d\vec{S}$ . Encore une fois, je vais souvent le répéter. Un lien? Incroyable entre le monde magnétique  $\vec{H} \cdot d\vec{l}$  et le monde électrique.  $\vec{J} \cdot d\vec{S}$ . Alors qu'est ce que c'est que  $\vec{J} \cdot d\vec{S}$ ? C'est dans une bobine, un courant que l'on agit. On a une densité de courant. Il faut que ce soit des électrons qui circulent dans un courant. C'est la bobine de notre actionneur, donc notre bobine.

Notes

Summary



0m 31s

# Définition du potentiel magnétique scalaire

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}$$

1 des lib :

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S} = N \cdot I = \Phi_{\text{bob}}$$

Pot. Mag.
Pot. Mag.

Potentiel  
Magnétique

Il y a du courant qui passe dans cette bobine et on doit intégrer sur une surface. Cette bobine peut avoir plusieurs spires et donc. Quand on intègre sur une surface HDS, on obtient. Le nombre de spires fois le courant qui traverse dans cette bobine une image bascule pour le moment en disant que c'est constant, mais ça pourrait être minuscule. De manière plus générale. Vous avez ici la définition du potentiel magnétique scalaire. Ceci est et on va lui donner une lettre qu'on va toujours utiliser. C'est Teta qui va nous permettre de définir le potentiel magnétique d'une bobine ou de la bobine. Évidemment, ici, c'est un potentiel magnétique. Ceux ci ici est un potentiel magnétique. Ceci est aussi un. Potentiel magnétique et donc ceci est le potentiel magnétique de la bobine. Alors ici, c'est de la bobine. Mais si je calcule h des l ou h l dans une partie d'un circuit, je trouve alors le potentiel magnétique correspondant à ce que je suis en train de calculer. Mais quand je fais l'intégrale sur une boucle fermée. L'équation de Maxwell me dit que ça doit être égal au potentiel magnétique vu par la bobine et c'est le nombre de spires fois le courant.

Notes

Summary



2m 01s

# Définition du potentiel magnétique scalaire

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j}$$

1 des. lib :

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{s} = N \cdot I = \Theta_{\text{bob}} \quad \text{Potentiel Magnétique}$$

Pot. Mag.      Pot. Mag.

Donc on va retrouver ce potentiel magnétique scalaire à peu près tout le temps puisque quand on aura une bobine traversée par un courant avec un certain nombre de spires, automatiquement, on pourra déterminer quel est le potentiel magnétique scalaire de cette bobine considérée.

Notes

Summary



3m 40s

# Définition de la réluctance magnétique

$$\mathcal{O}_{12} = \int_1^2 H dl = \int_1^2 \frac{B}{\mu} dl = \int_1^2 \frac{B \cdot S}{\mu \cdot S}$$

Ceci nous permet maintenant d'arriver à la définition de ce qu'on appelle la réluctance magnétique. Alors, peut-être avant de vous dire ce que c'est que la réluctance magnétique, on va réécrire un certain nombre de choses que l'on a écrites juste avant. Et j'essaie d'imaginer quel est le potentiel magnétique entre un point et un point numéro deux dans l'espace sur une structure. Comment je peux calculer? Ce potentiel magnétique, c'est l'intégrale de  $H$  dans le potentiel magnétique, par exemple, entre 1 point 1 et 2, ça va être l'intégrale entre 1 et 2 de  $H dl$ . Alors, laissez-moi un tout petit peu triturer cette équation pour faire apparaître quelque chose. Donc, si maintenant je veux remplacer  $H$  par le champ d'induction magnétique, je sais qu'il y a un lien entre les deux et ce lien, c'est  $B = \mu H$ . Donc je peux écrire que  $H = B / \mu$ . Des. Maintenant, vous êtes d'accord que si je multiplie par la surface en haut et en bas, je ne modifie pas l'équation, donc j'ai le droit d'écrire  $B \cdot S$  fois la surface divisée par  $\mu$  divisée par la surface. Comme ça, je n'ai rien changé, mais je fais apparaître ici  $b$ .

Notes

Summary



3m 57s

$$\begin{aligned}\Theta_{12} &= \int_1^2 H dl = \int_1^2 \frac{B}{\mu} dl = \int_1^2 \frac{B \cdot S}{\mu \cdot S} dl \\ &= \Phi \int_1^2 \frac{dl}{\mu \cdot S} \\ &\quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Réluctance Magnétique}} \\ \Theta_{12} &= R_m \cdot \Phi\end{aligned}$$

S. L'induction magnétique à la surface, comme l'induction magnétique et la densité de flux. Fois la surface, j'obtiens le flux et je sors le flux de l'équation et j'obtiens ce flux multiplié par l'intégrale 1 et 2. Alors b fois, s disparaît et reste dl sur mu fois s dl sur mu fois s. Par définition, nous allons dire que c'est la relouent tence. Magnétiques. Donc, cette réluctance magnétique qui correspond dans le monde électrique à la résistance électrique et que vous voyez ici par certains effets est identique. Cette réductase magnétique, c'est donc entre deux points des ailes sur MU, soit la surface S, et on obtient alors le potentiel. Magnétiques Teta 1 2, qui est égal à la relooke tence magnétique fois le flux. Vous voyez ici cette équation qui fait penser à une certaine loi daubes, n'est ce pas? U est égal à r fois i. Et ici on a le potentiel. Teta est égal à rélfectance magnétique fois le flux fi. Là encore, une analogie possible est la raison pour laquelle on on indique ici la relouent tence que parce qu'il a fallu trouver un autre mot que résistance, résistance magnétique aurait été possible même, mais risque de créer des problèmes quand après, on a à la fois des bobines avec des résistances.

Notes

Summary



5m 17s



# Définition de la réluctance magnétique

$$\Theta_{12} = \int_1^2 H dl = \int_1^2 \frac{B}{\mu} dl = \int_1^2 \frac{B \cdot S}{\mu \cdot S} dl$$

$$= \Phi \int_1^2 \frac{dl}{\mu \cdot S}$$

Réductance Magnétique.

$$\Theta_{12} = R_m \cdot \Phi$$

$$R_m = \int_1^2 \frac{dl}{\mu \cdot S}$$

$$0 \leq R_m \leq R_{max}$$

car  $\mu$  ne peut pas être nulle

Il a été décidé d'inventer ce mot Luc Tence, qui définit si un objet qui freine ou pas le champ magnétique. Cette réductase magnétique. Ici, vous voyez comme MU, qui est ici au dénominateur, ne peut pas être égal à zéro. Donc, on a cette réluctance magnétique qui ne peut pas finalement s'annuler et qui ne peut pas paraître. Elle peut s'annuler quand MU est infini, mais elle ne peut pas l'être infinie. Elle est, elle arrive à un maximum tant qu'on a. C'est très luxe. Tence. Qui est comprise en général entre 1, 0 et 1. Une reluke tence, on va l'appeler Max, car MU ne peut pas être nul. La perméabilité magnétique ne peut pas être nulle au plus bas. Elle peut valoir muze, airault, la constante du vide, mais pas zéro. Ça, c'est une grande différence par rapport au monde électrique dont on doit absolument se souvenir en tout temps.

Notes

Summary





# Définition de la perméance magnétique

Définition :  $\Lambda = \frac{1}{R_m} = \int \frac{\mu \cdot ds}{\ell} \quad [H]$

On va inventer maintenant une autre grandeur encore qu'on appelle la permanence. Ce n'est pas très difficile maintenant qu'on a défini la réfectance, la définition de la permanence. Et là, on va devoir faire appel à nous à une nouvelle lettre grecque pour pouvoir définir cet élément. Donc, par définition, la permanence est le lamda grec et c'est l'inverse de la reluque tance magnétique. Donc sous sa forme intégrale, c'est l'intégrale de mu fois ds sur une longueur et. Mais pas dit avant exprès l'unité de la permanence, c'est le Henry et donc l'unité de temps, c'est l'inverse du Henri. Et donc, on va voir, puisque vous savez que des @henri normalement, ça vous fait penser à une inductance. On va voir plus tard. Évidemment, le lien qu'il y a entre une inductance électrique et la permanence magnétique que vous voyez ici, elles sont liées, totalement liées grâce aux équations de tension qui nous le prouveront en temps utile lorsqu'on définira l'inductance magnétique. Pourquoi définir finalement la permanence magnétique dans le monde électrique quand on a travaillé qu'avec des résistances, on n'a pas travaillé ou rarement avec l'inverse de la résistance?

Notes

Summary



8m 34s

# Définition de la perméance magnétique

Définition :  $\mathcal{L} = \frac{1}{R_m} = \int \frac{\mu \cdot ds}{\ell} \quad [H]$

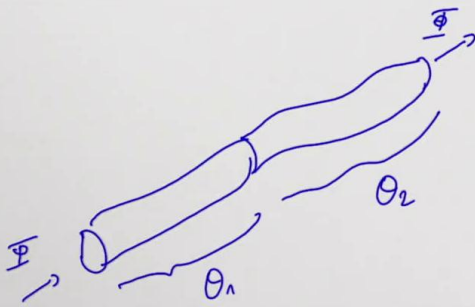
Eh bien, dans le monde magnétique, parce que nous sommes souvent avec des structures en parallèle, il se trouve que c'est plus facile à résoudre les problèmes avec la permanence magnétique que les réflectance magnétiques. Temps. Je sais qu'en général, les étudiants n'aiment pas tellement, en tout cas de prime abord, préfèrent l'idée d'utiliser la loupe magnétique et pas son inverse. Mais vous verrez à l'usage. Qu'il est plus simple d'utiliser, de modéliser le tout avec les permanences magnétos. Conductance magnétique, bien sûr. Possible. Vous pouvez utiliser l'un et l'autre, forcément que ça va marcher. Je dis juste que c'est. Plus facile à gérer. La résolution du circuit est plus simple lorsque l'on part avec les permanences magnétiques.

Notes

Summary



9m 56s



$$\Theta_1 = R_{m1} \cdot \Phi$$

$$\Theta_2 = R_{m2} \cdot \Phi$$

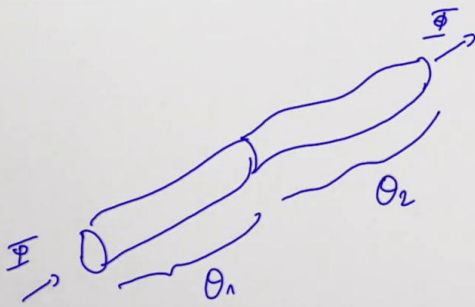
$$\begin{aligned} \Theta &= \Theta_1 + \Theta_2 = (R_{m1} + R_{m2}) \Phi \\ &= R_{tot} \Phi \end{aligned}$$

Les propriétés associées, alors, évidemment, ce sont des choses. Vous allez voir assez simple, on ne va pas passer beaucoup de temps là dessus, mais finalement, quand on a deux réductance magnétiques qui sont en série ou deux réductance en parallèle. Qu'est ce qu'il en est alors? Essayons juste de voir la mise en séries et la mise en parallèle. Prenons un. Un tube de flux, un autre tube de flux. Et puis là, il y a un flux qui rentre et c'est le même qui sort. On a vu que le flux était conservé, mais ici, il y a un potentiel à 1 et ici, il y a un potentiel à 2. Et donc, on sait par la loi d'Ohm magnétique que  $\Theta_1$ , c'est la réductance magnétique 1 fois le flux et le potentiel 2 c'est la réductance magnétique 2 fois ce même flux puisqu'aux. Là, on les a mis en série. J'essaye de calculer ce qui se passe en série, le potentiel magnétique du tube. C'était à un flux à 2 et donc c'est la réductance magnétique plus réductance magnétique deux fois le flux. Vous voyez, je veux en venir. C'est presque trivial, la réductance totale des deux qui sont en série, c'est simplement la somme des réductances magnétiques de base. On s'en serait douté, mais enfin, on l'a fait donc en série.

Notes

Summary





$$\mathcal{O}_1 = R_{m1} \cdot \Phi$$

$$\mathcal{O}_2 = R_{m2} \cdot \Phi$$

$$\mathcal{O} = \mathcal{O}_1 + \mathcal{O}_2 = (R_{m1} + R_{m2}) \Phi$$

$$= R_{tot} \Phi$$

En série :  $R_{eq} = \sum R_m$

//  $R_{eq} = \frac{1}{\sum \frac{1}{R_m}}$

En série :  $\mathcal{L}_{eq} = \frac{1}{\sum \frac{1}{\mathcal{L}_m}}$

//  $\mathcal{L}_{eq} = \sum \mathcal{L}_m$

Pour les réluctance magnétiques, on a que la réluctance équivalente, c'est la somme des réluctances magnétiques partielles. Et en parallèle, je fais pas la démonstration, mais parce que c'est exactement comme pour la résistance électrique, on a que la réluctance équivalente. C'est l'inverse de la somme des inverses de la réluctance magnétique. On peut faire exactement la même chose pour la perméance maintenant, je me permets de faire un petit trait ici et puis de noter la même chose en série. Et en parallèle. Alors ici, en série, on a la perméance équivalente qui est un sur la somme des inverses de la perméance. Magnétique. Et puis, en parallèle, la perméance équivalente. C'est la somme des perméances magnétiques. Donc, rien de bien compliqué, mais le fait est que comme on a, comme je vous l'ai dit avant souvent des branches parallèles en électromagnétisme, par exemple, des moteurs avec des branches qui partent et qui sont en parallèle. Évidemment, là, la perméance a certains atouts puisque quand on est en parallèle, les perméances s'additionnent.

Notes

Summary



$$\Theta_{12} = R_{m12} \cdot \Phi$$

On arrive à un point important, c'est que maintenant, on a des relouques. Ça signifie une résistance aux champs magnétiques. On a un flux qui ressemble fort à un courant électrique dans le monde électrique. Là, c'est un flux magnétique. On a un potentiel magnétique qui correspond comme deux gouttes d'eau aussi à une tension. Et puis, on a surtout cette loi d'Ohm qu'on a écrite avant cette loi d'Ampère magnétique. Le potentiel entre le point 1 et le point 2, c'est la résistance magnétique entre le point 1 et le point 2, multipliée par le flux qui la traverse. Donc, on a ici une correspondance assez évidente avec le monde électrique. Ça nous permet de dire ah, mais quand on avait un monde électrique, on a modélisé la tension. D'une certaine manière, on a modélisé le passage du courant par des fils, on a modélisé la résistance par des petits rectangles, on a modélisé le courant qui était sur ces fils, etc. Etc, etc. Donc, la question est de savoir ce qu'on pourrait pas appliquer. Une modélisation identique, c'est à dire par Kirchhoff, par des circuits, par des schémas magnétiques équivalents. Pouvons nous reconstituer une modélisation des équations magnétiques?

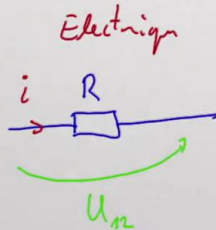
Notes

Summary



13m 55s

$$\Phi_{12} = R_{m12} \cdot \Phi$$



Magnétique

Mais dans le monde pseudo électrique, la réponse est oui et ceci va nous permettre d'utiliser tout ce que nous connaissons dans la résolution de circuits. A travers l'électrotechnique par Kirchhoff. Tout ceci dans le théorème de Thévenin de Norton. Principe de superposition tout pourra être réutilisé pour le monde magnétique, à la condition de bien faire attention d'appliquer les théorèmes de l'électrotechnique lorsqu'on le peut, en électromagnétisme, par exemple. Le principe de superposition? Vous savez qu'on ne peut pas le faire lorsque l'on n'est pas linéaire. Typiquement, lorsqu'on tient compte de la saturation, nous ne sommes pas linéaires, nous sommes saturés en mode électromagnétique, donc nous ne pouvons pas utiliser forcément tout. Enfin, la base, par exemple les Marilène, nous pourrions facilement l'utiliser. Alors ça veut dire quoi? Ça veut dire que dans le monde électrique, eh bien on avait, si j'essaie de simplifier comme ça le monde électrique et le monde magnétique. On a donc ici, dans le monde électrique, une résistance qui est définie par un carré, un courant qui traverse ici et entre les deux, une tension aux bornes  $U_{12}$ . Dans le monde maintenant. Magnétique. On va dire que.

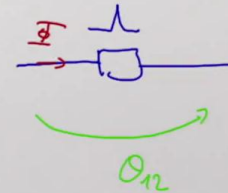
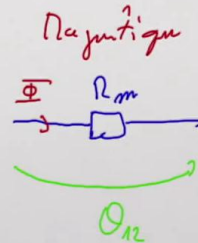
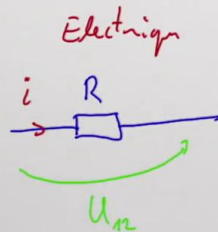
Notes

Summary



15m 18s

$$\Theta_{12} = R_{m12} \cdot \Phi$$



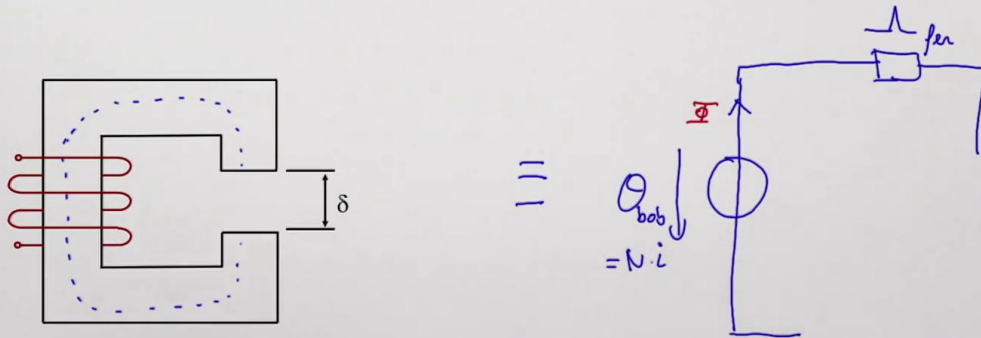
On a aussi un symbole. Ce symbole ne va pas chercher de midi à 14 heures, ce sera un carré pour la reluc, tance magnétique. Ce sera d'ailleurs aussi un carré pour la permanence magnétique. Un choix l'inductance. Permanence Joret ici. Le potentiel 1/2. Et ici? Le flux qui traverse ma structure, voilà la manière de modéliser maintenant ce qu'on appelle un schéma magnétique équivalent. Donc, on fait un schéma magnétique en reprenant la terminologie électrique, mais dont les grandeurs qui sont ici potentiel flux, réactance sont toutes des grandeurs magnétiques. Donc, attention à ne pas mélanger les deux. Évidemment, lorsqu'on a une bobine dans un circuit magnétique. Attention d'être sûr de savoir si je suis dans un monde électrique ou dans un monde magnétique. Petit exemple pour que vous puissiez mieux comprendre.

Notes

Summary







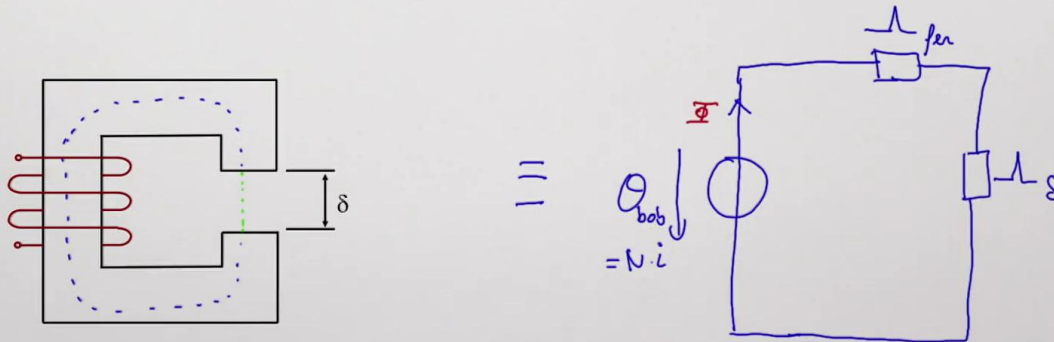
Donc, voilà un schéma schéma qu'on a déjà pris une fois pour un exemple de calcul de champs magnétiques avec une bobine avec un circuit de faire avec un autre fer. Donc si, si, je veux modéliser cet élément, cet actionneurs électromagnétique, je peux dans le monde des schémas magnétiques équivalents. Essayer de reproduire ce qui est ici. D'abord, j'ai une bobine qui va créer un flux dans cette structure qui crée le champ magnétique et donc qui crée le flux dans cette structure. Alors, je vais peut être mettre ici le fait que je vais faire une équivalence. Alors j'ai tout d'abord. Ici, un potentiel, c'est le potentiel  $\mathcal{E}$  de la bobine. Je vous rappelle que  $\mathcal{E}$  de la bobine, c'est une fois  $N$ . Ce  $N$  fois, ce potentiel crée un flux qui va. Être crée dans la structure ferromagnétique. Et donc. Je traverse ici. On va appeler ça une réductase ou une permanence de fer comme ça permet de faire. Cette permanence de fer correspond à. Tout ce qui est ici, c'est à dire la structure de fer. On pourrait dire Ramayana en haut et en bas, y a sur le côté. Oui, on pourrait mettre partout des permanences, de faire toutes ces permanences, de faire serait en série. On les remettrait ensemble à travers une seule.

Notes

Summary



18m 05s

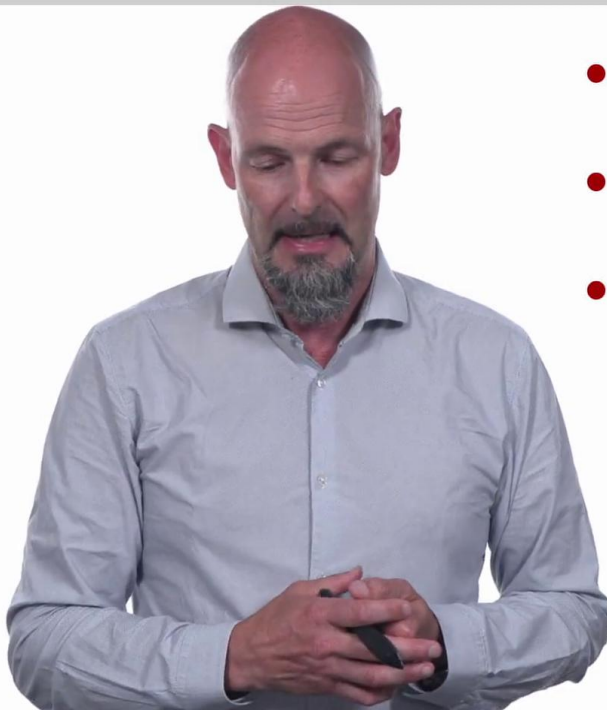


On peut en mettre 10 ou une. Ça revient au même. Du moment quand on tient compte au moins deux. Et puis après, il y a encore un autre élément ici qui est dans l'entre fer. Alors ici, dans l'autre affaire, j'ai. Une autre permanence est la permanence dite d'entraide et voilà, le schéma magnétique équivalent de ceux de cet objet électromécanique est constitué. On peut donc utiliser maintenant ce schéma magnétique équivalent pour résoudre le circuit, par exemple. Ces deux permanences sont en série. Je les mets ensemble. J'ai le potentiel, j'ai la permanence. Je multiplie le potentiel par la permanence et j'obtiens le flux. J'ai automatiquement calculé le flux qui circule dans cette structure sans avoir à me poser trop de questions. Mais on utilise ce que je connais déjà du monde électrique par la modélisation de Kirchhoff.

Notes

Summary





- Potentiel magnétique
- Réluctance et perméance
- Schéma magnétique équivalent

Voilà, nous avons donc vu dans cette leçon ce qu'est le potentiel magnétique. La définition du potentiel magnétique. On a vu ensuite, grâce à la définition de ce potentiel, qu'on pouvait définir une réductrice et une permanence qui correspondent en somme à la résistance magnétique. Dans le monde électrique. On a pu donc voir une sorte de loi d'Ohm magnétique qui nous permet de déterminer le lien qu'il y a entre potentiel et flux et enfin comment faire un chemin magnétique équivalent qui nous permet d'utiliser tout ce que nous avons vu comme technique en électrotechnique pour résoudre les circuits que nous allons pouvoir dorénavant appliquer au monde de l'électromagnétisme. Merci.

Notes

Summary



20m 39s