



$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

Madame, Monsieur, bonjour, dans cette leçon, nous allons voir les équations de Maxwell qui sont la base, la clé pour comprendre la conversion électromécanique, c'est à dire la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique ou vice versa. Ces équations, découvertes par le célèbre physicien James Clerk Maxwell, l'ont été durant le 19ème siècle et depuis lors, n'ont jamais été mises en défaut. Alors, j'aimerais vous énumérer ces équations. Elles sont aujourd'hui au nombre de quatre grâce à l'écriture mathématique dont nous, nous pouvons que nous pouvons utiliser, par exemple le rotationnel, la divergence, le gradient. Et vous allez voir ces quatre équations. Je vais d'abord les écrire et ensuite on essaiera de décrire quels sont les éléments qui constituent ces équations. Et vous verrez une certaine symétrie aussi dans ces équations. Tout d'abord, le rotationnel du champ magnétique qui est égal à j plus d. D. Sur des t. J'écris après ce que sont ces différents éléments. Pour le moment, on observe déjà. De champ électrique est égal à moins de bébé sur. Ensuite, Divergence de B est égal à zéro. Et enfin. Divergence de D est égal à Ro Q. Alors peut être quelques explications maintenances Roku qui est ici?

Notes

Summary



0m 04s

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_v$$

↑  
Densité de  
charge volumique

$H$  : Champ magnétique

$B$  : Champ d'induction magnétique

$E$  : Champ électrique

$D$  : Déplacement électrique

C'est ce qu'on appelle la densité de charge volumique. On a alors maintenant les célèbres éléments  $H$ , le champ magnétique. On a  $B$ , le champ d'induction magnétique. Evidemment, entre  $H$  et  $B$ , on a toujours une grande intro au début, quand on travaille avec ces équations, de comprendre quelle est la différence entre le champ magnétique et le champ d'induction. Il aura une leçon, une autre leçon dédiée à ceci pour mieux expliquer ce que je peux déjà vous dire, c'est que. Le champ magnétique, c'est la cause d'un courant créant un champ magnétique qui passe dans une matière et le champ d'induction magnétique. C'est là le résultat qu'on peut mesurer ou voir quelque chose qu'on appelle le champ d'induction magnétique, qui n'est autre que la densité de flux magnétique dans la matière. On a ensuite un élément important aussi qui s'appelle  $D$  ici. D'abord, pardon, champ électrique, mais celui là, en général, on le connaît déjà. En tout cas, on a déjà été familiarisé avec le champ électrique et alors le  $D$ . Qu'est ce que  $D$ ? C'est ce qu'on appelle le déplacement électrique. Vous avez ici dans cette équation tout en haut, le rotationnel de  $H$  est égal à  $J$  plus la variation de ce déplacement électrique.

Notes

Summary



1m 42s

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_v$$

↑  
Densité de  
charge volumique

$H$  : Champ magnétique

$B$  : Champ d'induction magnétique

$E$  : Champ électrique

$D$  : Déplacement électrique

$J$  : Densité de courant

Qu'est ce que ça veut dire? On a ici puisque vous avez les équations de Maxwell qui régissent le monde électromagnétique. Je dirais pour toutes les fréquences. On a des éléments qui sont négligeables à basse fréquence et le contraire à haute fréquence. Typiquement, le  $J$ , c'est la densité de courant notée ici. C'est à dire la quantité de courant par mètre carré que j'ai dans une matière, par exemple un fil de cuivre, un courant qui passe, j'ai une densité de courant. Ce sont des électrons physiquement transportés par un matériau conducteur alors que le déplacement électrique, le déplacement électrique, c'est. Une sorte de. Ont le nom le décrit ainsi pour véhiculer l'énergie à travers un élément non conducteur et qui nous permet en somme de pouvoir déterminer l'énergie transmise dans l'air à travers un diélectrique à. Ainsi, tout l'aspect ondulatoire antennes est contenu. Si vous voulez ou on peut décrire la phénoménologie grâce à ce déplacement électrique, donc. Etant donné que nous, nous allons dans la conversion électromécanique, nous baser sur des basses fréquences quand on dit basses fréquences jusqu'à grosso modo 100 kHz, ce terme DD sur d'été va être petit.

Notes

Summary



$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_v$$

↑  
Densité de  
charge volumique

$H$  : Champ magnétique

$B$  : Champ d'induction magnétique

$E$  : Champ électrique

$D$  : Déplacement électrique

$J$  : Densité de courant

En régime quasi-statique (fréquence basse)

$\Rightarrow \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$  est négligeable par rapport à  $\vec{J}$

Donc, en régime quasi statique, on va l'inscrire ainsi. Quasi statique. Ou. Fréquences basses? On peut dire que cet élément d'aide sur d'été est négligeable. Par rapport.  $J$ . On va donc simplifier ces équations de Maxwell pour ne retenir finalement que les trois premières que vous avez ici, ainsi que la simplification dans la première où on aura supprimé ce déplacement électrique qui, à basse fréquence, va être négligeable. Ainsi.

Notes

Summary



5m 20s

En quasi-statique :

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

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$\mu$  : perméabilité magnétique  $\left[ \frac{Vs}{Am} \right]$

Je me permets de Dumet et de réécrire, donc en quasi statique. On a les équations suivantes rotationnelle maintenant de H est égal à J. On néglige donc le déplacement électrique rotationnelle de est égal à moins DB sur DT. Ça ne change pas par rapport à avant. Comme le vecteur déplacement est supprimé, on a la divergence de D qui n'apparaît plus. Par contre, on a. La divergence de B est égale à 0 très importante et on a une équation de liaison dont, en général on a déjà entendu parler que vous avez certainement déjà vu d est égal à mut fois h. Donc quand on parlait avant de cette différence entre. C'est quoi le champ magnétique? C'est quoi le champ d'induction magnétique? Vous avez ici un lien avec un élément dont on va parler dans la prochaine leçon, qui est la perméabilité magnétique. Ce MU, c'est par définition ce qu'on appelle la perméabilité. Magnétiques. Et on voit que c'est le rapport entre B et H, cette perméabilité magnétique, qui est en volts seconde par ampère et mètre en général, est rapportée à la la perméabilité magnétique du vide. Est la plus. Et donc, on écrit en général que ce mue dans n'importe quel matériau, c'est muséaux fois un mu dit relatif et ce musée héros est une constante constante du vide qui vaut quatre fois.

Notes

Summary



En quasi-statique :

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \cdot \vec{H} &= \vec{j} \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} &= - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 \\ \vec{B} &= \mu \vec{H}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu &= \text{perméabilité magnétique} \left[ \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \right] \\ &= \mu_0 \cdot \mu_r \quad \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}\end{aligned}$$

$$\text{Fe, Co, Ni} \neq \mu_0$$

Dix mois cette. Il y a un élément assez intéressant, c'est que on va en reparler, mais dans les matériaux magnétiques. Est ce qu'un matériau est bon conducteur, magnétique ou pas? On en connaît en général. On sait qu'un aimants permanents, ça, en tout cas, ça, ça. Il y a du champ magnétique rémanent. On sait que le fer attire les aimants. Donc, il doit y avoir un bon conducteur magnétique. Qu'en fait, il y a très peu de matériaux qui conduisent bien le champ magnétique et ces matériaux là vont avoir une perméabilité magnétique qui augmente tout le reste. L'air, le vide, le bois, le plastique. N'importe quel autre matériau aura. Une perméabilité magnétique égale à celle du vide, donc la constante muséaux, donc ce qu'on peut dire, c'est qu'à part quelques éléments dans l'univers comme le fer, comme le cobalt, comme le nickel, qui. N'ont pas la même valeur que zéro. Tout le reste va être. Amuseront donc l'air en particulier, ça veut dire qu'on a très peu d'éléments de matériaux dans la nature qui conduisent bien le champ magnétique, mais nous en reparlerons. Juste pour donner un ordre de grandeur pour ces matériaux là, on peut atteindre des murs relatifs, c'est à dire le mur réel.

Notes

Summary



8m 25s



En quasi-statique :

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

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$\mu$  : permeabilité magnétique  $\left[ \frac{Vs}{Am} \right]$

$$= \mu_0 \cdot \mu_r \quad \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

$Fe, Co, Ni \neq \mu_0$

$\hookrightarrow \mu_r = [10 \dots 10'000]$

Ce sera un mur relatif au musée Erro qui seront de l'ordre de 10 à 10000. Donc, on peut être jusqu'à 10 000 fois meilleur que le père quand on a des matériaux ferromagnétiques, par exemple, et en plus, traiter comme tel.

Notes

Summary



9m 59s





- Equations de Maxwell
- Champ magnétique  $H$
- Champ d'induction magnétique  $B$
- Perméabilité

Voilà, vous avez vu durant cette leçon les équations de Maxwell, les simplifications que nous avons faites pour éliminer en somme, le terme très haute fréquence que nous n'utiliserons pas dans ce cours de conversion électromécanique. Nous avons défini le champ magnétique  $H$  de même que le champ d'induction magnétique  $B$ . Nous avons vu l'interaction qu'il y a entre les deux. Par cette découverte de la perméabilité magnétique.

Notes

Summary



10m 20s