

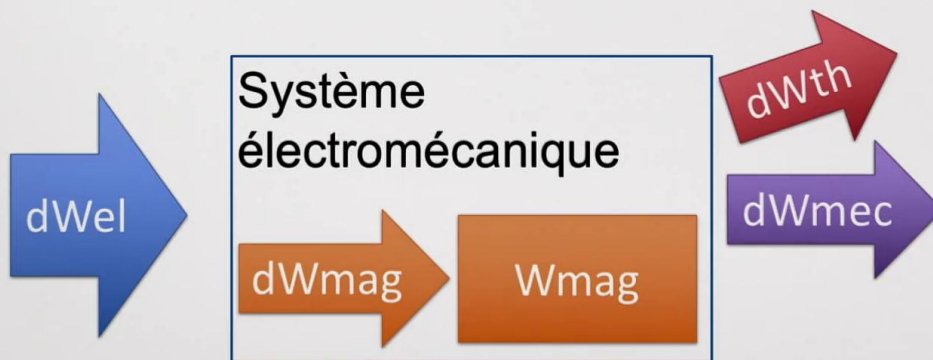
Bonjour. On arrive à la partie centrale du cours. Curieusement, aujourd'hui, on va faire beaucoup de mathématiques, même si je vous en épargne une grande partie. Enfin, le but, c'est d'établir l'expression générale de la force électromagnétique dans un système électromécanique quelconque. Pour ce faire, on va s'appuyer sur le premier principe de la thermodynamique et puis faire un petit bilan d'énergie. Ce bilan d'énergie, on va le faire sur notre système électromécanique. Bon, qu'est ce qu'on cherche à avoir dans un système électromécanique? On cherche à faire en sorte que si on lui fournit de l'énergie électrique et nous crée de l'énergie mécanique ou. Vice versa, c'est à dire qu'une génératrice en veut peut être fournir de l'énergie mécanique et récupérer de l'énergie électrique. Ça, c'est le principe du système électromécanique. À vraiment se concentrer sur la partie moteur de ceci et cette partie moteur. C'est de dire on donne de l'énergie ou de la puissance électrique et on récupère de la puissance mécanique. Voilà, et on va mettre l'énergie électrique d'un côté de l'équation. Et puis l'énergie mécanique de l'autre.

Notes

Summary



0m 04s



$$dW_{el} = dW_{mag} + dW_{th} + dW_{mec}$$

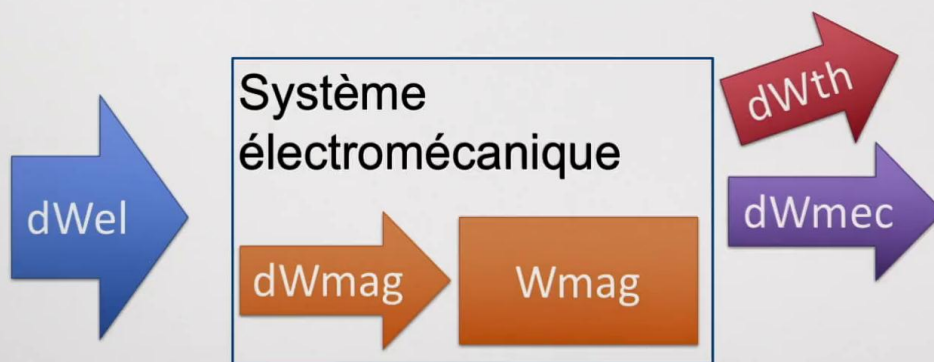
Le seul souci qu'on a, c'est que pour pouvoir fonctionner dans un monde réel où les rendements parfaits n'existent pas, eh bien on va avoir forcément des pertes. Et il va y avoir une puissance thermique ou une énergie thermique qui est créée en même temps que notre énergie mécanique. Et puis, si on utilise des circuits magnétiques, eh bien, on a vu qu'il y aurait forcément de l'énergie magnétique qui est entrainé en jeu. Et donc, on va avoir un accroissement ou en tout cas une variation de l'énergie magnétique dans notre système électromécanique. L'équation de. C'est ce bilan d'énergie est relativement simple, c'est à dire que la somme de tout ce qui est apportée au système est nulle ou. Ce qui est apporté au système, c'est à dire l'accroissement d'énergie électrique, eh bien, est égale à l'accroissement d'énergie magnétique. Plus l'accroissement d'énergie thermique. Ou les pertes thermiques, les pertes d'une puissance. Dans ce cas là, on parle plutôt d'accroissement d'énergie. Et puis. L'accroissement d'énergie mécanique. Ça, c'est notre bilan d'énergie avec d'un côté ce qu'on donne à notre système et de l'autre côté ce que on en tire, en sachant que l'énergie magnétique, elle, peut varier dans les deux sens, elle peut être positive ou négative.

Notes

Summary



1m 41s



$$dW_{el} = dW_{mag} + dW_{th} + dW_{mec}$$

Et lorsqu'on n'utilise. Une puissance mécanique positive. Et puis, si je la passe de l'autre côté de l'équation, une puissance électrique négative, on est une convention moteur. On pourrait être une convention génératrice. Si on change de signe, on passe tout le monde de l'autre côté de l'équation. Nous, on va rester un contre une convention moteur, c'est à dire que on produit de la puissance mécanique. Et cette puissance est positive ou se taire. Accroissement d'énergie est positif puisque là, on n'a pas la variable temporelle qui intervient. Voilà, ça, c'est le bilan d'énergie.

Notes

Summary



3m 39s

$$dW_e = \sum_{j=1}^K u_j i_j \cdot dt = \sum_j R_j i_j^2 dt + \sum_j d\psi_j i_j$$

$u_j = R_j i_j + \frac{d\psi_j}{dt}$

$$dW_{th} = \sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt$$



Ces divers terme, c'est la variation d'énergie électrique, cette variation, on peut l'écrire à partir de la puissance électrique. P. Il faut un incrémenter. Puis ça, on peut simplifier ou écrire différemment en introduisant la loi de la tension induite. Pour chacun des circuits électriques, il y a quatre circuits électriques qui sont indexés avec la lettre CHI. Je remplace, donc je vais avoir. Deux sommes une somme de ces termes si une somme de ces termes là qui vont être multipliés par le courant et l'agrément de temps pour calculer la variation d'énergie électrique. Ce qui nous donne notre variation des énergies électriques. Quel premier terme? Maintenant, la même chose pour la variation d'énergie thermique. Je vais l'écrire ici. Supposer qu'on n'a que des pertes joules. Ou des pertes qui sont. Modèle Isabelle par des pairs Joëlle. Cédric Arrêts. Et puis, comme c'est une variation, eh bien on a un incrément de temps qui apparaît. OK, c'est pour le thermique, on garde le meilleur ou le plus difficile pour la fin. On va faire la variation d'énergie, même mécanique, puis on finira par l'énergie magnétique. Alors la variation d'énergie mécanique, c'est le travail d'une force.

Notes

Summary



4m 25s

Obtention d'une force

$$dW_{el} = \sum_{j=1}^K i_j \cdot d\psi_j = \sum_j R_j i_j^2 dt + \sum_j d\psi_j i_j$$

$i_j = R_j i_j + \frac{d\psi_j}{dt}$

$$W_{mag} = \sum_{j=1}^K \int_0^{\psi_j} i_j d\psi_j \quad dW_{mag} =$$

$$dW_{th} = \sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt \quad dW_{mec} = \sum_{m=1}^n F_m \cdot dx_m$$

Ce coup là, incréments sur les degrés de liberté et pour chacun de ces degrés, on a une force. Puis un incrément. De l'abscisse curviligne qui nous donne son travail. Ensuite, il nous reste l'énergie magnétique, l'énergie magnétique, je vais réécrire son équation. Alors, l'énergie magnétique? Globale sur quatre circuits électriques. C'est une intégrale. Sur le flux totalisait. Pour chacun de ces circuits électriques. Du courant. d'EPCI. Ça, c'est l'énergie magnétique, maintenant son accroissement ou ça va sans variations. C'est un peu plus compliqué. Là, je suis obligé de passer par des équations aux dérivées partielles, c'est à dire que je vais calculer l'accroissement d'énergie magnétique. Et puis, je vais avoir. Humble, qui va me fournir des dérivées partielles, ça va être soit le courant ou le flux totalisés. Pour ce qui est des circuits électriques. Et puis les l'abscisse curviligne pour ce qui est des équations mécaniques, c'est à dire que mon énergie magnétique de mon système électromécanique va dépendre de la position de ce qui bouge. Et puis soit du courant, soit du flux totalisés, et pas pas des deux, parce que ces deux variables là sont vraiment indépendantes.

Notes

Summary



$$dW_{el} = \sum_{j=1}^K i_j \cdot d\psi_j = \sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt + \sum_{j=1}^K d\psi_j i_j$$

$$W_{mag} = \sum_{j=1}^K \int_0^{\psi_j} i_j d\psi_j$$

$$dW_{mag} = \sum_{j=1}^K \frac{\partial W_{mag}}{\partial \psi_j} d\psi_j + \sum_{m=1}^n \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} dx_m$$

$$\sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt$$

$$dW_{th} = \sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt$$

$$dW_{mec} = \sum_{m=1}^n F_m \cdot dx_m$$

Donc, je peux choisir soit les courants, soit les flux totalisés. Alors, je fais. Une somme des variations à la première variation, ça va être pour les variations liées aux parti électriques ou électromagnétiques. Je vais devoir calculer les dérivées partielles. Et là, je dois choisir, soit je prends des courants, soit je prends des flux, je regarde mon expression. d'Énergie magnétique. Et puis, je me dis que si je veux calculer une dérivées partielles de l'énergie magnétique en fonction du. Du courant. Les abscisses curvilignes Constantin. Eh bien, je vais avoir un gros souci. Par contre, si je fais la dérivée partielle en fonction des flux, ça va être relativement simple puisque ici, j'ai une intégrale. Je vais choisir les flux. Par simplicité. Et puis. Il me reste la partie mécanique, alors celle là, je dois l'assommer sur M. OK, bon, je remplace direct cette partie là, donc ça. Ça va valoir la dérivée de cette expression là. Et donc je vais avoir ici. Et. J. Ce qui est quand même un beau plus simple. Bon, ben maintenant, je vais reprendre mon bilan d'énergie en remplaçant chacun des termes, je commence par l'accroissement d'énergie électrique. Je l'ai écrit. Je reporte ça.

Notes

Summary



9m 47s

$$\begin{aligned}
 dW_{el} &= \sum_{j=1}^K \psi_j i_j \cdot dt = \sum_j R_j i_j^2 dt + \sum_j d\psi_j i_j & dW_{th} &= \sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt & dW_{mec} &= \sum_{m=1}^n F_m \cdot dx_m \\
 \psi_j &= R_j i_j + \frac{d\psi_j}{dt} \\
 W_{mag} &= \sum_{j=1}^K \int_0^{\psi_j} i_j d\psi_j & dW_{mag} &= \sum_{j=1}^K \frac{\partial W_{mag}}{\partial \psi_j} d\psi_j + \sum_{m=1}^n \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} dx_m \\
 \cancel{\sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt} + \cancel{\sum_{j=1}^K d\psi_j i_j} &= \cancel{\sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt} + \cancel{\sum_{j=1}^K i_j d\psi_j} + \sum_{m=1}^n \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} \cdot dx_m + \sum_{m=1}^n F_m dx_m \\
 \sum_{m=1}^n \left(\frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} + F_m \right) dx_m &= 0 \quad \Rightarrow \quad F_m = - \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m}
 \end{aligned}$$

Ça, c'est égal à l'accroissement d'énergie thermique. Et puis l'énergie magnétique. Et enfin, l'énergie mécanique. OK, maintenant, on se rend compte que il y a des termes qui peuvent être des deux côtés de l'équation. Premier terme qui peut simplifier? Ben c'est facile, c'est celui là. OPH. Deuxième terme, on voit que les produits sont dans le mauvais ordre. Là, on agit d'EPCI gypsies, d'EPCI J-J. Mais en gros, c'est bien la même grandeur. Et donc, ce qui nous reste, c'est que. On a. Cette somme. Et là, je peux vraiment la mettre. Dans une seule somme qui va être égale à zéro. Donc, la somme de ces termes vaut 0. Je vais l'écrire. On voit que c'est la même variable. Et puis. C'est les mêmes sommes. Donc ça va simplifier. Et puis là, si on veut que cette somme soit toujours nulle, en sachant que ces termes ci peuvent être n'importe lesquels, ça peut valoir n'importe quoi. On peut avoir des variations de l'abscisse curviligne dans notre système électromécanique qui sont n'importe lesquelles. Eh bien, la seule manière d'y arriver, c'est que ça, ça soit toujours nul. Donc ça, ça doit être égal à zéro. Et donc, on a que la force sur le degré de liberté, M. C'est. L'opposé de.

Notes

Summary



$$\begin{aligned}
 dW_{el} &= \sum_{j=1}^K \psi_j i_j \cdot dt = \sum_j R_j i_j^2 dt + \sum_j d\psi_j i_j & dW_{th} &= \sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt & dW_{mec} &= \sum_{m=1}^n F_m \cdot dx_m \\
 \psi_j &= R_j i_j + \frac{d\psi_j}{dt} & dW_{mag} &= \sum_{j=1}^K \frac{\partial W_{mag}}{\partial \psi_j} d\psi_j + \sum_{m=1}^n \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} dx_m \\
 W_{mag} &= \sum_{j=1}^K \int_0^{\psi_j} i_j d\psi_j \\
 \sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt + \sum_{j=1}^K d\psi_j i_j &= \sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt + \sum_{j=1}^K i_j d\psi_j + \sum_{m=1}^n \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} \cdot dx_m + \sum_{m=1}^n F_m dx_m \\
 \sum_{m=1}^n \left(\frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} + F_m \right) dx_m &= 0 \quad \Rightarrow \quad F_m = - \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} = - \frac{dW_{mag}}{dx_m} \Big|_{\psi_j = cte}
 \end{aligned}$$

La dérivée de l'énergie magnétique. Aucun des ronds. Et puis ça. On peut l'écrire d'une autre manière, c'est à dire qu'on sait que les dérivées partielles, on peut les obtenir en faisant des dérivés total, mais on doit maintenir les autres variables constantes. Donc, en gros, on peut obtenir la même chose avec des dérivés total. Mais. Bon, maintenant, les autres variables constantes. Bon, ça, ça nous arrange pas tellement on a bien une expression de la force, ça, c'est cool. Par contre, il faut maintenir les flux totalisés constant. Et puis ça, c'est c'est compliqué, c'est à dire qu'à priori, on va pas avoir souvent des cas où on doit calculer des forces ou on maintient les flux totalisés constant dans les systèmes. Ça durable, ça, c'est. C'est plutôt les courants. Ça en a constants quand on fait bouger nos nos systèmes. Et donc. Il va falloir trouver une manière de résoudre ce problème là. C'est là que la kohen rjillo magnétique intervient parce qu'on sait que l'aqua énergie est magnétique. Eh bien, elle est là. Les deux variables fut totalisés, est courant qui sont inversés. Donc là, on va avoir une intégrale, une fonction du courant dans le terme de flux totalisés.

Notes

Summary



$$\begin{aligned}
 dW_{el} &= \sum_{j=1}^K u_j i_j \cdot dt = \sum_j R_j i_j^2 dt + \sum_j d\psi_j i_j & dW_{th} &= \sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt & dW_{mec} &= \sum_{m=1}^n F_m \cdot dx_m \\
 u_j &= R_j i_j + \frac{d\psi_j}{dt} \\
 W_{mag} &= \sum_{j=1}^K \int_0^{\psi_j} i_j d\psi_j & dW_{mag} &= \sum_{j=1}^K \frac{\partial W_{mag}}{\partial \psi_j} d\psi_j + \sum_{m=1}^n \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} dx_m \\
 \sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt + \sum_{j=1}^K d\psi_j i_j &= \sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt + \sum_{j=1}^K i_j d\psi_j + \sum_{m=1}^n \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} \cdot dx_m + \sum_{m=1}^n F_m dx_m \\
 \sum_{m=1}^n \left(\frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} + F_m \right) dx_m &= 0 \Rightarrow F_m = - \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} = - \frac{dW_{mag}}{dx_m} \Big|_{\psi_j = cte} \\
 W'_{mag} &= \sum_{j=1}^K \int_0^{\psi_j} i_j d\psi_j & dW_{mag} (W'_{mag}) &
 \end{aligned}$$

Et donc, si on arrive à exprimer la variation d'énergie magnétique en fonction de la variation de écoénergie magnétique, eh bien, on va être arrivé à une expression qui est beaucoup plus simple à mettre en oeuvre et c'est ce qu'on va faire. Donc, en fait, ce qu'on fait, c'est que on écrit les énergies magnétiques avec en prime. Comme je l'ai dit, c'est une somme. Avec une intégrale sur le Coran. d'Influx totalisés. Et puis, on exprime l'énergie magnétique en fonction ou la variation d'énergie magnétique en fonction de. Les énergies magnétiques. Ça, on arrive, je vous en fait cadeau et on refait les mêmes. Et même développement, je trouvais plus sympa de faire ça avec l'énergie magnétique parce que c'est quelque chose qu'on arrive à peu près à comprendre. Ça a un sens physique. Maintenant, si on le fait avec la énergie magnétique, il y a plus de sciences physiques, donc c'est beaucoup plus compliqué de faire le bilan et on fait beaucoup de maths. Si on fait cette expression, la plus sage vous en fait cadeau. Mais le développement, c'est à peu près la même chose. Les raisonnements, les points clés du développement restent les mêmes et on obtient la formule qu'on cherche, c'est à dire qu'on arrive à la force qui, elle, va être la dérivée de la côte énergie magnétique.

Notes

Summary



$$\begin{aligned}
 dW_{el} &= \sum_{j=1}^K U_j i_j \cdot dt = \sum_j R_j i_j^2 dt + \sum_j d\psi_j i_j & dW_{th} &= \sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt & dW_{mec} &= \sum_{m=1}^n F_m \cdot dx_m \\
 U_j &= R_j i_j + \frac{d\psi_j}{dt} \\
 W_{mag} &= \sum_{j=1}^K \int_0^{\psi_j} i_j d\psi_j & dW_{mag} &= \sum_{j=1}^K \frac{\partial W_{mag}}{\partial \psi_j} d\psi_j + \sum_{m=1}^n \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} dx_m \\
 \sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt + \sum_{j=1}^K d\psi_j i_j &= \sum_{j=1}^K R_j i_j^2 dt + \sum_{j=1}^K i_j d\psi_j + \sum_{m=1}^n \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} \cdot dx_m + \sum_{m=1}^n F_m dx_m \\
 \sum_{m=1}^n \left(\frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} + F_m \right) dx_m &= 0 \Rightarrow F_m = - \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} = - \frac{dW_{mag}}{dx_m} \Big|_{\psi_j = cte} \\
 W'_{mag} &= \sum_{j=1}^K \int_0^{\psi_j} i_j d\psi_j & dW_{mag} (W'_{mag}) \\
 F_m &= \frac{\partial W'_{mag}}{\partial x_m} = \frac{dW'_{mag}}{dx_m} \Big|_{i_j = cte}
 \end{aligned}$$

C'est pas si compliqué que ça. Ce coup là, on n'a plus le signe négatif. Et puis là, dans ce cas là, on bien là la dérivée totale de l'énergie magnétique. En fonction de l'abscisse curviligne de notre degré de liberté. Mais ce coup là, on va maintenir les courants constants. Qui sont les autres variables? Qui nous permettent de caractériser notre circuit électrique quand on fait le développement avec l'énergie magnétique. On doit maintenir les flux totalisés constants grâce à l'énergie magnétique. On va devoir maintenir les courants constants et ça, ça nous arrange bien parce que ça, ça nous permet de faire des calculs dans des systèmes saturés où on a des idées, des dérivés qui sont qui deviennent calculable grâce au fait qu'on maintienne non pas des flux totalisés, mais des courants constants. Wala.

Notes

Summary





- Bilan d'énergie:

$$dW_{el} = dW_{mag} + dW_{th} + dW_{mec}$$

- Méthode de la dérivée de la coénergie

$$F_m = \frac{\partial W'_{mag}}{\partial x_m} = \left. \frac{dW'_{mag}}{dx_m} \right|_{i_j = \text{cte}}$$

Nous y sommes arrivés en faisant un bilan d'énergie sur notre système électromécanique. Nous avons vu que toute variation d'énergie électrique se traduit par une variation des énergies mécanique et thermique produite par notre système et de l'énergie magnétique qui est stockée. Avec ça, nous avons pu établir une expression générale pour la force électromagnétique comme étant la dérivée de la K énergie magnétique, et ça reste relativement complexe. Et puis, ce n'est pas forcément très intuitif, mais on en a une. Ce n'est pas tout ça. Il va falloir simplifier ces expressions et les appliquer à des exemples concrets, des systèmes concrets, et ça, c'est tout un programme pour les prochaines fois.

Notes

Summary



20m 23s