





1. deg liberté  
Force 1 bobine, 1 circuit.



Madame Monsieur, Bonjour, bienvenue à cette leçon qui va être consacrée aux systèmes dynamiques. Pourquoi consacrer une leçon aux systèmes dynamiques? Bien parce que, comme vous allez le voir, tout change par rapport à ce que nous avons étudié lorsqu'on analysait un système réducteur ou un système polarisé et qu'on calculait une force ou un couple, mais statique. Et les choses sont très différentes lorsque le système se met à bouger. On va avoir une influence du système mobile sur les bobinages, le bobinage qui alimente le système et donc, par réaction, une modification du comportement global du système électromagnétique. Alors, tout d'abord, quelles sont les équations qui régissent un système dynamique? Alors, la première chose que l'on peut dire, c'est que. On va faire toutes nos équations ici pour un système à un degré de liberté. Pas chercher la force. Et notre système aura. Une bobine. Et un circuit? L'idée, c'est de simplifier un tout petit peu l'analyse pour qu'on en comprenne bien la finalité de ces équations et pas les complexifier dès le départ. Première chose qu'on peut dire on a une force ou un couple ici, ce sera la force.

Notes

Summary



0m 04s



1. des libertés  
Force d bobine, 4 circuit.

$$a) \overline{F} = \frac{1}{2} \frac{dL_b}{dx} \phi_b^2 + \frac{dL_{ab}}{dx} \phi_a \phi_b + \frac{1}{2} \frac{dL_a}{dx} \phi_a^2$$

$$b) u = R \cdot i + \frac{d\phi}{dt}$$

$$c) \sum F = m \cdot a$$

$$\sum \tau = J \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2}$$

$\uparrow$  inertie                       $\uparrow$  accélération ang

On a une force et cette force, de manière générale, dans un système électromagnétique ou d'un système. Électromagnétique De manière générale, je ne parle pas là de la classification. On a la bobine qui crée une force. On a un effet mutuel. Entre par exemple un aimant et une bobine et on a la force. Seul. C'est de manière très générale pour calculer la force. On ne sait pas encore forcément à quel système a, mais voilà, je pose les généralités. Deuxième équation l'alimentent. Ici, au moins une bobine. Si je l'alimente, je sais que dans cette bobine, je peux écrire l'équation de tension qui régit ce qui se passe dans cette bobine et je peux donc écrire que E.U. Est égal à r fois plus la variation du flux totalisés. Et puis, il y a. Une troisième équation, souvent d'ailleurs oubliée de la plupart des personnes qui s'occupent de systèmes dynamiques, c'est que si il y a quelque chose qui bouge, je peux écrire que la somme des forces, c'est la masse fois l'accélération ou pour un système tournant somme des couples est égal à inerties fois l'accélération. La variation de l'accélération angulaire dans l'inertie. Du système et l'accélération? Ongulaire avec cette équation, je peux calculer ce qui se passe de manière dynamique.

Notes

Summary





1. des libertés  
Force 1 bobine, 4 circ. s.

$$a) \overline{F} = \frac{1}{2} \frac{dL_b}{dx} \phi_b^2 + \frac{dL_{ab}}{dx} \phi_a \phi_b + \frac{1}{2} \frac{dL_a}{dx} \phi_a^2$$

$$b) u = R \cdot i + \frac{d\psi}{dt}$$

$$c) \begin{aligned} \Sigma F &= m \cdot a \\ \Sigma \tau &= J \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2} \end{aligned}$$

$\uparrow$  inertie                       $\uparrow$  accélération angulaire

En effet, la force, elle, est liée ici au courant dans la bobine. Le courant dans la bobine, il est lié à la tension qu'on impose par exemple aux bornes de cette bobine, mais également au fait que d'EPCI sur d'étés va changer si l'objet bouge et l'objet bouge parce qu'il y a une force, et cette force s'applique sur la masse et donc va créer un mouvement.

Notes

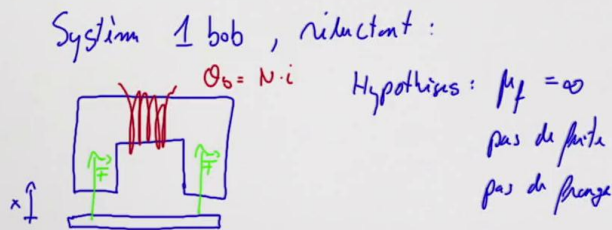
Summary



3m 34s



# Exemple à une bobine



$$\Psi = L \cdot i \quad / \quad L = \text{cte} : \text{pas de mouvement}$$

$$F = \frac{1}{2} \frac{dL}{dx} \cdot i^2 \quad \text{ou} \quad \frac{1}{2} \frac{d\Phi}{dx} \Phi_b^2$$

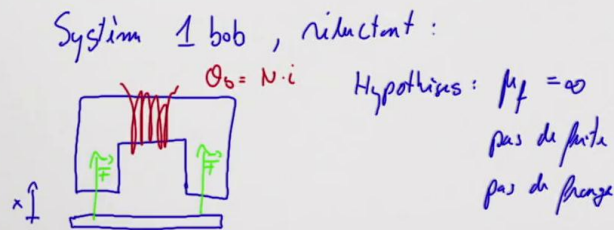
Alors? Exemple avec une bobine. Donc on a un système, comme on l'a dit avant, avec une seule bobine. Et on va dire qu'il est réducteur en plus, donc pas d'aimants permanents dans ce système. Alors je vous présente ce système en prend un bête. Fer à cheval comme ceci avec une bobine qui est mise ici, tête à bobine est égale à une fois. Et puis on a une plaque qui est ici sous. Et il va y avoir une force qui tend. A. Attirer cette plaque vers mon fer à cheval quand je mets du courant dans la bobine. Alors hypothèse? On va dire pour ce petit exemple, le buffet est infini. Pas de fuite. Et pas de frange. Alors, quelle est la force dans un tel système? La force, c'est, on l'a déjà vu plusieurs fois. C'est une demi variation de l'inductance par rapport à X. Si, mais. Si X est ici multiplié par le courant dans la bobine au carré, ou alors c'est une demi variation de la permanence de cette bobine. Fois le potentiel de la bobine au carré. Alors jusque là, on a toujours considéré que si le flux totalisés qui est égal à l'inductance fois, c'était normalement une constante. Et quand elle est constante, c'est inductances. Il n'y a pas de mouvement. Pourquoi l'inductance ou la permanence qui dépend de l'entre fer ici?

Notes

Summary







$$F = \frac{1}{2} \frac{dL}{dx} \cdot i^2 \text{ ou } \frac{1}{2} \frac{dL}{dx} \Phi_b^2$$

$$\psi = L \cdot i \quad \begin{cases} L = \text{cte} : \text{pas de mouvement} \\ L(x, i) \text{ général} \end{cases}$$

↓ on néglige la saturation :  $L(x)$

$$u = Ri + \frac{d\psi}{dt} = R \cdot i + \frac{d}{dt} (L \cdot i) \\ = R \cdot i + L \frac{di}{dt}$$

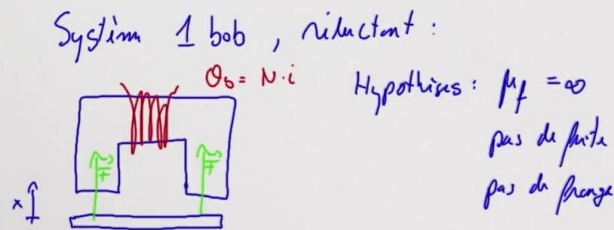
Si l'entre fer est considéré comme fixe, eh bien je peux calculer une permanence, je peux dériver, calculer la force. On m'a appelé cette force la force statique. Mais si maintenant, effectivement, la pièce bouge et se rapproche du fer à cheval, Delta change et alors elle change également change avec X et même, de manière générale, avec le courant. Pourquoi? Puisque si on tient compte de la saturation, on va avoir une permanence magnétique, cette permettre une permanence du fer. Cette permanence du fer dépend du mur du fer et se mue du fer dépend de l'état de saturation. Donc mon aile général de la bobine va dépendre aussi de qui? Alors si on comme ici, si on néglige la saturation. Alors, on peut dire qu'elle ne dépend plus que de X, mais pas de I. Elle va dépendre que du fait que l'entrée fert diminue et réduit. Alors, je peux écrire l'équation suivante ue est égale. Donc UE et galleries plus d'EPCI sur des terres qu'on a rappelé juste avant. Et maintenant, on peut l'écrire puisqu'on l'a répété aussi bien aux dérivé de psi, donc dérivés de l? Fois i. Et si on fait cette dérivée, on obtient cette fois ci deux termes. Elle dit surendetter plus il dl sur d'E.T.

Notes

Summary







$$F = \frac{1}{2} \frac{dL}{dx} \cdot i^2 \text{ ou } \frac{1}{2} \frac{dL}{dx} \Phi_b^2$$

$$u - u_{\text{induct}} = Ri + L \frac{di}{dt}$$

$$\psi = L \cdot i \quad \begin{cases} L = \text{cte} : \text{pas de mouvement} \\ L(x, i) \text{ général} \end{cases}$$

↓ on néglige la saturation :  $L(x)$

$$\begin{aligned} u &= Ri + \frac{d\psi}{dt} = R \cdot i + \frac{d}{dt} (L \cdot i) \\ &= R \cdot i + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt} \\ &= R \cdot i + L \frac{di}{dt} + \underbrace{i \frac{dL}{dx} \frac{dx}{dt}}_{\frac{d\psi}{dt}} \end{aligned}$$

*Notes:*  $\frac{dx}{dt}$  is labeled "vitesse" and  $u_{\text{induct}}$  is labeled "u<sub>i</sub> mut".

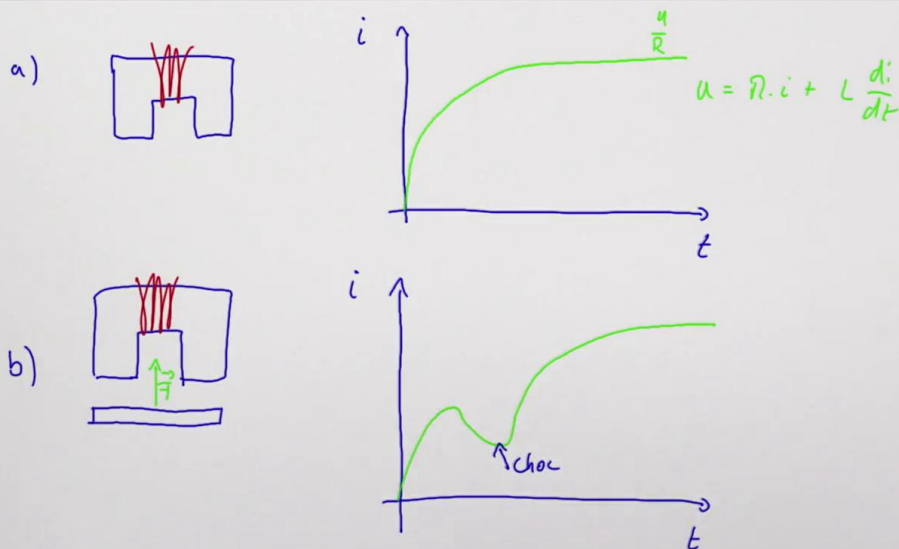
Et si on va un tout petit peu plus loin, on écrit plutôt ceci autrement. Ceci nous fait R.I.S. Plus elle d.i. Surendetter, plus i dl sur dx fois dx sur d'Eté et je fais apparaître ici la vitesse. De la pièce qui est en train de bouger parce qu'il y a une force et tout cet élément ici. On va l'appeler. La tension induite de mouvements. C'est la tension induite qui est. Générez si on veut, par le fait qu'il y a un mouvement, il n'y a pas de mouvement. Si c'est statique, on a juste galéré plus L.D. Et surendetter, et le tout ce qui est ici, c'est bien sûr des sur d'étés qu'on a dérivé dès le départ, donc on arrive. À l'équation suivante si je soustraient jamais eu d'un côté, je soustraient la tension induite de mouvement. J'obtient r i plus elle y dt. Donc, on va faire une petite démonstration, cette démonstration, vous la trouvez sous une autre leçon du mook que vous pouvez visionner. Que je rappelle ici de manière théorique et des résultats qu'on trouve.

Notes

Summary







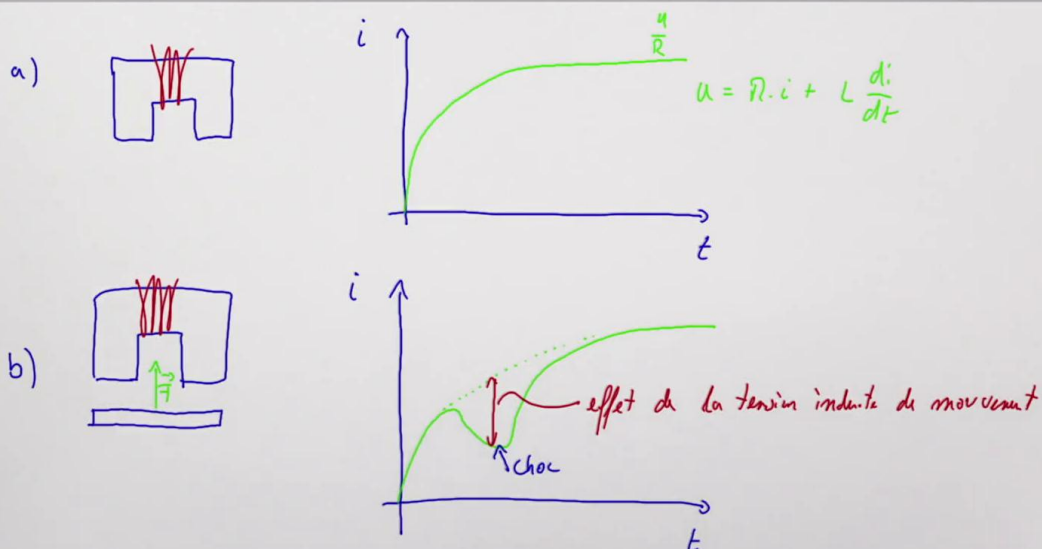
Donc cette démonstration qui est donc. Je le rappelle, ce fer à cheval. Avec. La bobine et une plaque ou pas de plaque d'abord. Premier cas on a juste ce fer à cheval, on ne met pas de pièces en face et on obtient un graphique. Si ici j'écris ici où je représente en fonction du temps, je vais avoir une forme puisqu'on a eu égales est plus LDS sur. Et on a une exponentielle croissante. Donc on a eu égales  $r$   $i$  plus  $l$  des surendetter et on tend vers une somme de  $U$  sur  $r$ . Ça, c'est électrotechniques premières années, donc c'est juste un élément statique, il n'y a pas de mouvement, il n'y a rien. Deuxième. Parti de la démonstration, on prend le même fer à cheval, mais maintenant, on va mettre cette plaque. Il va y avoir une force. Et la plaque va bouger. On refait le même graphique. Il en fonction du temps dans la bobine. Qu'est ce que j'obtiens? Bien la démonstration. Nous dit que ça va faire quelque chose comme ceci. Donc, un truc un peu étrange pourquoi on a ce truc un peu étrange? Parce qu'ici, en plus, si vous regardez la démo. Il y a un choc à un certain moment, on entend la plaque qui tape contre le fer à cheval. En fait, si on n'avait pas eu. De pièces.

Notes

Summary







On aurait continué notre exponentielle comme avant ici, mais cette partie là. Qui diminue en fait le courant dans la bobine. C'est l'effet. De là. Tension induite? Deux mouvements. Si vous voulez ça, presque un effet régulateur au moment où ça bouge, on l'a écrit avant. Moins la tension induite de mouvement, la tension induite de mouvement vient s'opposer, vient diminuer la tension aux bornes de la bobine. Et donc, si on diminue la tension, on diminue le courant. Mais au moment où on a le choc, la pièce est collée contre le fer à cheval et alors on reprend une équation sans mouvement, sans tension induite de mouvement et donc on retrouve une exponentielle croissante normale.

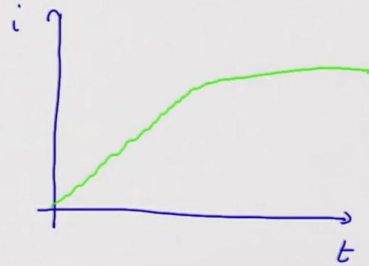
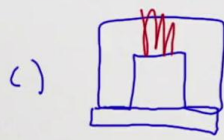
Notes

Summary



11m 00s





car  $L(x, i)$

$$u = \underbrace{Ri}_{a} + \underbrace{L \frac{di}{dt}}_{b} + \underbrace{i \frac{\partial L}{\partial x} \cdot v + i \frac{\partial L}{\partial i} \frac{di}{dt}}_{c}$$

$\frac{d\psi}{dt}$

a: Tension induite  
de transformation

b)

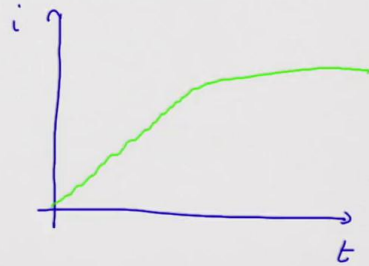
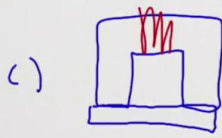
Troisième. Elements de la démo, On a le fer à cheval. Toujours avec la bobine, on met la plaque, mais cette fois ci, on la place déjà contre le fer à cheval, on met du courant et on regarde toujours ce qui se passe avec le courant en fonction du temps. Et là, on obtient dans la démo un truc tout à fait étrange, plutôt du style comme ceci et ça, on a pas du tout une exponentielle. Pourquoi? Pourquoi? Parce que. Elle n'est pas qu'une fonction de X, mais bien aussi deux. Et là, vous avez typiquement la démonstration de cet effet lié à la saturation. Alors évidemment, dans la démo qu'on a filmé, on a pris un système ferromagnétique mauvais, donc le fer en guillemets mauvais et donc la saturation est présente très rapidement, donc de manière générale. On peut dire que. On a eu un graphique plus elle se surendette. Plus il dl sur des X fois la vitesse, plus il dl sur des fois, Daiei sur des thèmes et on fait apparaître maintenant trois termes. Qui sont des termes de tensions induites. Le tout étant bien sûr la variation du flux totalisés d'EPCI sur des terres. Que sont ces termes? Le terme A on va appeler ceci la tension induite. De transformation. Le point numéro 2.

Notes

Summary







car  $L(x, i)$

$$u = Ri + L \frac{di}{dt} + i \frac{\partial L}{\partial x} \cdot v + i \frac{\partial L}{\partial i} \frac{di}{dt}$$

$\underbrace{\hspace{100px}}_a$ 
 $\underbrace{\hspace{100px}}_b$ 
 $\underbrace{\hspace{100px}}_c$

$\underbrace{\hspace{150px}}_{\frac{d\psi}{dt}}$

a: Tension induite de transformation

b: Tension induite de mouvement

c: Tension induite de saturation

On va appeler ceci la tension induite. De mouvements. Puisque il dépend de la vitesse. Et le dernier? La tension induite. De saturation. Puisque cette tension induite va apparaître lorsqu'il y a de la saturation, alors je ne vous le cache pas, on va négliger très volontiers et très fréquemment cette tension de saturation puisqu'on va tout faire pour ne pas avoir dans nos systèmes électromagnétiques de saturation.

Notes

Summary





$$F = \frac{1}{2} \frac{dL}{dx} i^2 \quad \rightarrow \quad \frac{dL}{dx} = \frac{2F}{i^2}$$

$$u = R \cdot i + L \frac{di}{dt} + \frac{2F}{i} \cdot v$$

> 0 Tension induite  
du mouvement.

Alors voyons maintenant, en ayant étudié ces systèmes, ces différentes tensions induites, ce qui se passe dans un système sans aimants à une bobine, donc un système réducteur pour un système réducteur. La force, c'est donc une demi dl sur des X fois le courant au carré. Donc on peut écrire que dl sur DX, c'est 2 fois la force sur le courant au carré. Donc maintenant, attention u est égal à r fois i plus l d.i. Surendetter plus ce qu'on a calculé avant. Donc i dl sur dx fois la vitesse devient en fait. On peut remplacer Mandell RDX par deux fois, la force sur huit fois la vitesse, donc vous avez ici très clairement l'apparition de la force dans une équation de tension qui vous montre le lien qu'il y a dans les systèmes dynamiques entre forces, tension et le mouvement. Et donc, ceci est plus grand que zéro. Dès qu'on a quelque chose qui bouge et c'est la tension induite de mouvements. La force ne pouvant pas être négative à cause du courant qui est toujours mis au carré, on a ce système qui est toujours positif.

Notes

Summary



14m 38s



hyp: néglige la saturation

$$\mathcal{U} = R \cdot i + \frac{d\psi}{dt} = R \cdot i + L \frac{di}{dt} + \frac{d\psi_{ab}}{dt}$$

$$\frac{d\psi_{ab}}{dt} = N \frac{d\Phi_{ab}}{dt} = N \Phi_a \frac{d\lambda_{ab}}{dt} = N \cdot \underbrace{\Phi_a}_{\mu_i \text{ de mut}} \frac{d\lambda_{ab}}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}$$

Maintenant, dans les systèmes polarisés, c'est un tout petit peu plus complexe. Donc j'aimerais dans les systèmes avec Caiman, vous montrer ce que ça va donner et faire ainsi un peu une généralisation. Donc je répète que c'est  $r$  fois  $i$  plus. d'EPCI Surendetter, c'est donc être fois in. Elle D.I. Sur la tension et du detransformation et puis on va dire d'EPCI Abebe sur d'E.T. Donc la tension induite de mouvement. Si on néglige la saturation ici, on va. Hypothèse on néglige. La saturation, il aura pas de tension induite de saturation en cas de tension induite ici. Qu'est ce que c'est que ce si a b sur dt? Donc je cherche bien la tension induite de mouvement maintenant entre aimant bobine dans un système polarisé. Donc par définition, le PSI c'est  $n$  fois le flux, donc  $n$  fois le flux mutuel bobine et donc le flux mutuel. C'est le potentiel. Fois la permanence. DT. Et puis, je fais apparaître volontairement maintenant ce qu'on a fait avant. Donc à fois. Donc, la variation, mais pas par rapport à d'étés par rapport à ADX fois DX sur DT, puis comme ça, je fais apparaitre la vitesse. Et donc, vous avez ici la tension induite. De mouvements. Pour un système. Polarisee. Calculons maintenant la force.

Notes

Summary



16m 09s



hyp: néglige la saturation

$$\mathcal{M} = N \cdot i + \frac{d\psi}{dt} = N \cdot i + L \frac{di}{dt} + \frac{d\psi_{ab}}{dt}$$

$$\frac{d\psi_{ab}}{dt} = N \frac{d\Phi_{ab}}{dt} = N Q_a \frac{d\lambda_{ab}}{dt} = N \cdot Q_a \underbrace{\left( \frac{d\lambda_{ab}}{dx} \right)}_{\mu_i \text{ de mut}} \cdot \frac{dx}{dt}$$

calcul de la Force:

$$F = \frac{d\lambda_{ab}}{dx} \cdot Q_a \cdot Q_b = \underbrace{\left( \frac{d\lambda_{ab}}{dx} \right)}_{\text{constante}} Q_a \cdot N \cdot i = K \cdot i$$

Cette force, qu'est ce que c'est dans un système polarisé? C'est la variation de la mutuelle fouettait à fois testable. C'est donc. La variation en tête à tête a b fois j'écris si le potentiel de l'aimant et le potentiel de la bobine, c'est n fois y. Et ceci est une constante dans les systèmes. Électromagnétiques aidant, on obtient une chose assez simple. C'est une constante fois le courant et je vous fais remarquer que cet élément est ici dans la tension induite de mouvement est le même qu'ici. Alors j'aimerais faire ici ce lien encore pour vous montrer. Et on l'a vu que cette variation. De la permanence mutuellement bobine des États peut être calculée par la place, mais on peut le démontrer ici. Celia.

Notes

Summary



18m 04s



lien avec Laplace:

$$\vec{F} = i d\vec{l} \wedge \vec{B}$$

$$F = l \cdot N \cdot B_g \cdot i = K \cdot i$$

$$U_i = N \cdot \Phi_a \frac{d\lambda_{ab}}{dx} \cdot v$$

$$\frac{U_i}{v} = N \cdot \Phi_a \cdot \frac{d\lambda_{ab}}{dx}$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_K$

Donc, lien. Avec la place. La force de la place, de manière générale, c'est idéal Cross B. Mais quand on a un seul degré de liberté comme d'actionneurs qu'on est en train d'étudier, on obtient  $i$  l. Par exemple  $n$ . Le  $b$  dans l'autre. Faire foi le courant, ça n'est rien d'autre que d'une constante foi. Donc, vous avez ici ce lien. Cette constante LNB n'est autre que la variation de la permanence aimant bobine qu'on a calculé juste précédemment multipliée par le nombre de spires multiplié par le potentiel magnétique de l'aimant. Donc, on a. D'une manière ou d'une autre? La force est une constante multipliée par le courant et la tension induite qu'on a calculé avant  $n$  tête à variation de la mutuelle aimant bobine. La vitesse est donc on a une idée sur la vitesse qui vaut  $n$  fois tête à 1 fois la variation de la mutuelle aimant bobine, et ceci n'est autre que la constante  $K$ . Que nous avons dans la force de la place, on a soit la possibilité de calculer cette variation de la permet l'enseignement bobine par rapport à la position, soit on le calcule en calculant par la place, ce soit le contraire.

Notes

Summary



19m 11s



Méthode de résolution :

$$\sum F = ma$$

$$m \frac{dv}{dt} = K \cdot i \quad \rightarrow \quad i = \frac{m}{K} \cdot \frac{dv}{dt}$$

$$u = R \cdot i + L \frac{di}{dt} + K \cdot v$$

$$\frac{d^2 v}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dv}{dt} + \frac{K^2}{mL} \cdot v = u \frac{K}{L \cdot m}$$

Pour finir, j'aimerais vous montrer comment on résout un tel système, donc les ou la méthode de résolution. Donc, on a bien sûr la somme des forces qui vaut  $M1$ , a lâché dans un système. Avec une force, on peut bien sûr faire la même chose avec le couple. On a donc la masse fois la variation de la vitesse. Qui est égal à  $K$  fois  $i$ . C'est la force électromagnétique. On peut sortir le  $i$  qui vaut  $M$  sur quatre fois cette variation de vitesse et on le remet dans l'équation  $U$  est égal à 1 fois ou plus  $L$   $i$  surendetter. Plus le cas pour la vitesse induite de mouvements, comme on la définit juste avant, et si on remplace. Le courant  $i$  dans cette équation différentielle, on obtient alors l'équation suivante donc variation au carré de la vitesse  $r$   $L$ .  $DV$  sur  $dt$  plus  $K$  et sur  $mL$  Poivey. Et ceci est égal à une fois  $ca$  sur  $L$ . Fois la masse. Et il faut intégrer cette équation différentielle de deuxième ordre en intégrant, on aura la vitesse en fonction du temps et en ayant cette vitesse en fonction du temps. On voit ce lien pas si simple lorsqu'on a un système dynamique en mouvement. Et donc, tant qu'on calcule des forces et des couples statiques, on va dire c'est assez facile. Et dès que le système commence à bouger, on voit le lien entre tension courant, force, mouvement qui rend les choses nettement plus complexes.

Notes

Summary



20m 47s





- Effet dynamique sur le calcul de la force et de la tension
- Calcul pour les systèmes réluctant et polarisé
- Mise en évidence du coefficient de tension induite et du coefficient de la force pour les systèmes polarisés

En conclusion, on a vu l'effet dynamique sur le calcul de la force de la tension. J'ai pu vous montrer ceci pour des systèmes reluant temps comme pour les systèmes polarisés, et nous avons également mis en évidence, chose très importante, ce coefficient de tension induite et ce coefficient de la force qui est le même pour les systèmes polarisés. Ce fameux cas qui va nous être très utile pour l'étude des moteurs tournant puisqu'on va se rendre compte que dans un moteur à courant continu, on a bien ce couple qui est égal à 4 fois le courant, ce qui est dû à toute cette analyse que nous venons de faire sur les systèmes dynamiques. Merci.

Notes

Summary



22m 42s