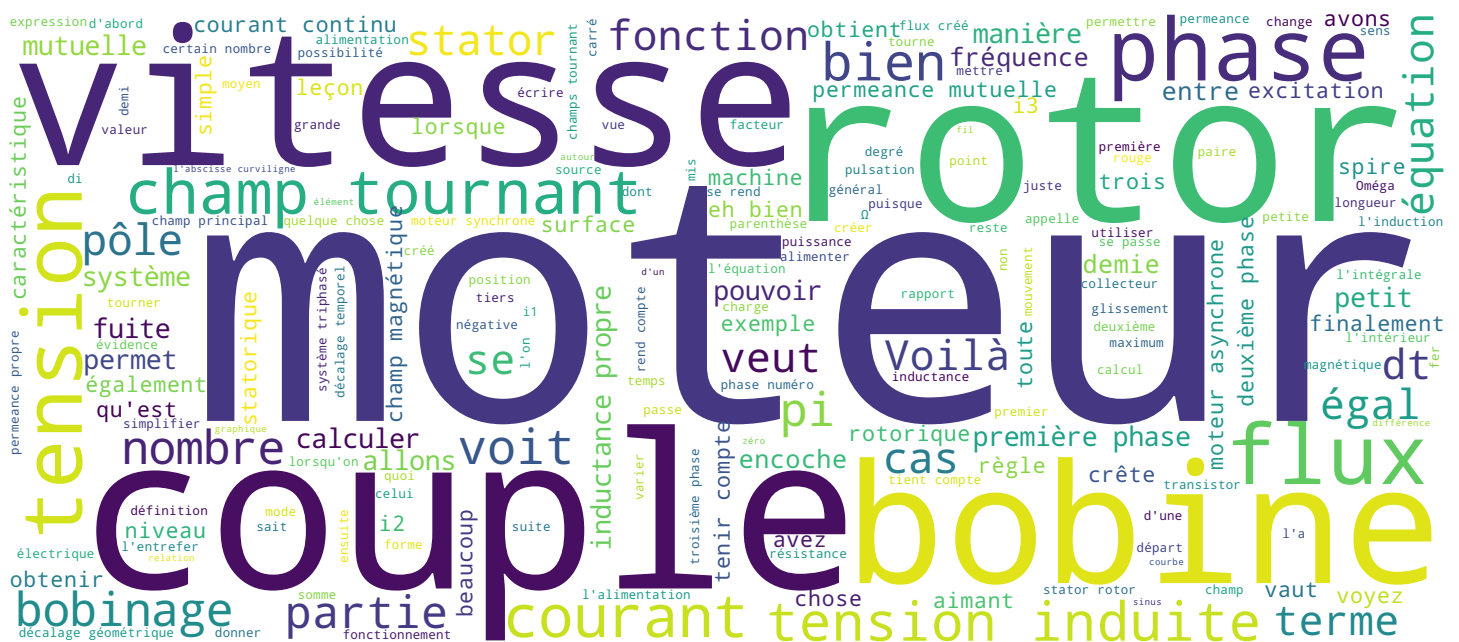


# Champ tournant et bobinage : Systèmes polyphasés

## Conversion électromécanique

Prof. Perriard &amp; Dr Koechli



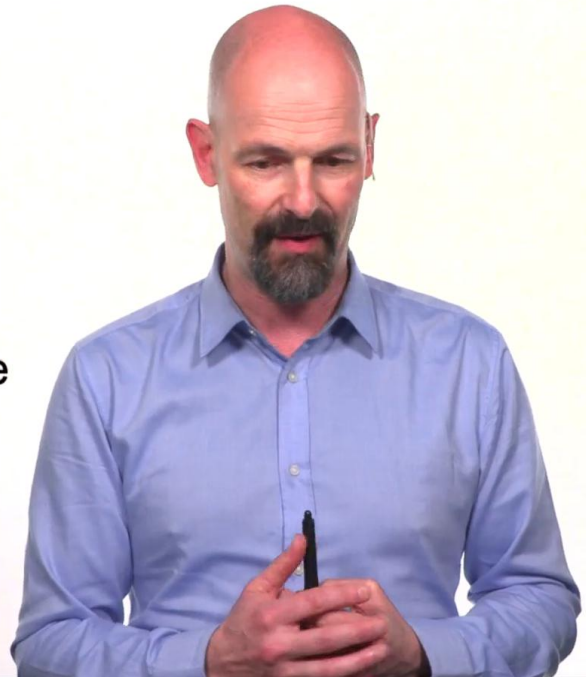
## Search MOOC



## Video



- Règles pour obtenir un champ tournant
- Equation de tension induite générale
- Définition de l'inductance de phase



Mesdames, messieurs, bonjour. Dans cette leçon, nous allons voir les règles pour obtenir un champ tournant. Nous avons déjà vu dans les leçons précédentes certaines de ces règles nous allons voir de manière générale maintenant quelles sont les règles à appliquer pour avoir le décalage spatial et le décalage temporel afin d'avoir un champ tournant. De plus nous allons poser l'équation générale de tension induite pour un bobinage polyphasé donc pas seulement deux voire trois ou quatre phases. Et de voir ensuite la définition de l'induction de phase pour tenir compte de la mutuelle puisqu'on ne va pas avoir l'inductance propre du bobinage mais également l'inductance mutuelle des autres bobinages aux alentours des phases. Donc voir comment on peut tenir compte de tout ça sachant qu'on a toujours un bobinage symétrique qui est dans notre moteur, dans notre machine. Donc finalement un certain nombre de règles de simplification vont pouvoir être appliquées, qui vont comme vous allez le voir aboutir à un résultat très simple à la fin.

Notes

Summary



0m 04s

Bobinage : décalage géométrique de  $\frac{2\pi}{m}$

$m = m_b$  de phase

Alimentation : " temporel de  $\frac{2\pi}{m}$

Sauf pour  $m = 2$  :  $\frac{\pi}{2}$

En introduction je vais donc rappeler quand on a un système sinusoïdal quand le système est symétrique quelles sont les règles pour obtenir un champ tournant ? Comme on l'a vu, il y a deux conditions fondamentales pour obtenir un champ tournant. Sur le bobinage lui-même donc sur l'aspect spatial. On a besoin d'un décalage géométrique entre les phases. Ensuite pour l'alimentation comment on alimente ces différentes phases. On a besoin d'un décalage temporel pour alimenter ces phases. Alors ce décalage géométrique et temporel peut s'écrire ainsi un décalage géométrique de  $2\pi$  sur  $m$  qui doit être appliqué en fonction du nombre de phases que l'on a dans le système  $M$  étant le nombre de phases et en même temps un décalage, mais cette fois ci temporel, de  $2\pi$  sur  $m$  également donc on a le même décalage spatiale et le même décalage temporel de  $2\pi$  sur  $M$ . Il y a néanmoins une exception et cette exception c'est pour le cas où  $m$  vaut 2. Donc lorsque  $M$  vaut 2 lorsqu'on a deux phases uniquement ce décalage temporel et spatial vaut simplement  $\pi$  sur 2 et non pas  $2\pi$  sur 2 donc qui nous donnerait  $\pi$  et qui donnerait une impossibilité de construction du bobinage. Donc lorsque  $M$  vaut 2 lorsque on a deux phases le décalage géométrique est temporel vaut  $\pi$  sur 2. Lorsqu'on a plus que deux phases donc 3 4 et ainsi de suite, le décalage géométrique et temporel vaut de  $\pi$  sur  $M$ .

Notes

Summary



1m 06s

Hypothèse : Système triphasé :

$$u_1 = R_1 \cdot i_1 + \underbrace{L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt} + L_{13} \frac{di_3}{dt}}_{\text{Stator}} + \underbrace{\frac{d}{dt} \psi_{sn}}_{\text{rotor}}$$

l'équation de tension induite. Je vais l'écrire maintenant vu d'une phase par exemple la phase numéro une en tenant compte du fait qu'on peut avoir d'autres phases pour toute cette démonstration. On va faire l'hypothèse qu'on a un système triphasé. La tension induite ou la tension en vue de la phase numéro une s'écrit : tout d'abord  $r_1 i_1$ , donc les pertes ohmiques dans la phase triviale, puis inductive propre des  $i_1$  sur DT plus la mutuelle avec la deuxième phase  $di_2$  sur DT plus la mutuelle avec la troisième phase des  $di_3$  sur DT plus une éventuelle variation entre le stator et le rotor. Donc vous voyez ça fait beaucoup de termes ça nous donne une assez grosse relation. Et si on veut ici mieux préciser on peut dire que les inductances qui sont ici sont du ressort du stator puisqu'on a l'inductance propre  $L_{11}$ , la mutuelle avec la deuxième phase la mutuelle avec la troisième phase. Et la dernière partie qui est l'interaction avec le rotor concerne essentiellement le rotor. La question est comment tenir compte maintenant de inductances mutuelles ? Vous voyez ici on a trois termes avec l'induction propre ce qui fait beaucoup.

Notes

Summary



2m 56s

Hypothèse : Système triphasé :

$$u_1 = R_1 \cdot i_1 + \underbrace{L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt} + L_{13} \frac{di_3}{dt}}_{\text{Staton}} + \underbrace{\frac{d}{dt} \psi_{sn}}_{\text{noton}}$$

Est ce qu'il n'y a pas un moyen ici de simplifier cette relation et de voir par le fait que notre système est toujours symétrique si on peut calculer ce  $L_{12}$  ou  $L_{13}$  et voir ce qu'il vaut par rapport à  $L_{11}$  ? ça va être l'enjeu de la suite de cette leçon.

Notes

Summary



4m 41s

$$L_{11} = N^2 \mathcal{L}_{11} = N^2 (\mathcal{L}_h + \mathcal{L}_{\sigma_1})$$

$$L_{12} = N^2 \mathcal{L}_{12}$$

$$\mathcal{L}_{11} = \frac{\Phi_{11}}{\theta_1} \quad \mathcal{L}_{12} = \frac{\Phi_{12}}{\theta_1}$$

l'inductance propre  $L_{11}$  vaut par définition le nombre de spires au carré fois la perméance mutuelle  $\mathcal{L}_{11}$  et cette perméance mutuelle c'est aussi la perméance de champs principal celle qui est le flux qui est créée par la première phase et qui passe dans cette première phase Plus les fuites qu'on va appeler  $\sigma_1$ . Plutôt la perméance de fuite qui caractérise ce flux de fuite. Concernant la mutuelle maintenant  $L_{12}$ . Qu'est ce que c'est ? Bien si on avait le nombre de spires en général c'est le même nombre de spires. Donc on va avoir  $n_1$  fois  $n_2$  mais donc normalement  $n$  carrés aussi fois la perméance mutuelle. Mais que vaut cette perméance mutuelle si on a pu écrire de manière assez simple ce que valait la perméance propre la perméance mutuelle. C'est un peu plus compliqué. Alors par définition qu'est ce que c'est donc la perméance propre comme on le sait c'est le flux propre créé par la première phase qui passe dans la première phase divisée par le potentiel teta 1. La mutuelle, qu'est ce que c'est. Eh bien c'est ce flux mutuel c'est à dire quel est le flux qui est créé par la phase une mais qui va être captée ou vue par la phase numéro 2 divisée aussi par Teta 1 ce qu'il nous faut faire c'est donc calculer ce flux mutuelle fi 1 2.

Notes

Summary



5m 00s

$$L_{11} = N^2 \mathcal{L}_{11} = N^2 (\mathcal{L}_h + \mathcal{L}_{\sigma_1})$$

$$L_{12} = N^2 \mathcal{L}_{12}$$

$$\mathcal{L}_{11} = \frac{\Phi_{11}}{\theta_1} \quad \mathcal{L}_{12} = \frac{\Phi_{12}}{\theta_1}$$

$$B_1 = \hat{B} \sin \frac{\pi y}{\tau_p}$$

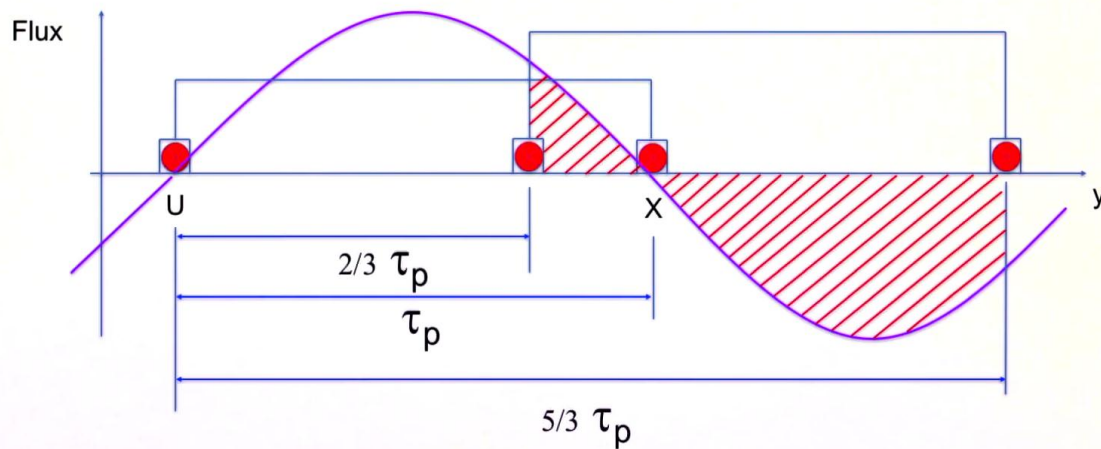
Calculer en intégrant sur la portion que voit la deuxième phase le flux qui est créé par la première phase. Pour ce faire on va donc utiliser une relation comme on a dit dès le départ de ces leçons on utilise l'hypothèse que tout est sinusoïdal. Donc l'induction que l'on va utiliser ici est de type suivant : on va avoir l'induction créée ou vue créée par la phase une B 1 c'est b crête et c'est un sinus de  $\pi y$  sur  $\tau_p$  pour le relier à l'aspect spatial le long de l'entrefer ? Alors pour vous donner une idée un tout petit peu plus clair de ce que signifie cette équation, j'ai fait un graphique qui est représenté ici.

Notes

Summary



6m 42s



Sur ce graphique, tout d'abord on a u et x qui sont ici donc U et X sont l'entrée et la sortie de la première phase. Notre première encoche est l'encoche en face et on a une deuxième phase décalée de  $2\pi$  sur 3 qui est ici et là. La question est. On a ici une forme qui est la forme violette. C'est le flux qui est créé par la première phase. Quelle est la partie de ce flux de cette première phase donc ici en violet qui est vu par la seconde phase. Alors j'ai ici assurée pour que vous puissiez bien voir ce fameux flux vu par la deuxième phase mais du flux créé par la première c'est donc cette partie hachurée en rouge qui n'est autre que l'intégrale sous la courbe de ce flux. Donc c'est ce que nous devons calculer et nous devons le faire entre quoi et quoi. Entre la borne qui est deux tiers de  $T_p$  comme ici et la borne 5 tiers de  $T_p$  ici au bout. Ceci nous donne les bornes géométriques d'intégration pour notre flux que nous allons faire maintenant.

Notes

Summary



7m 38s

$$\Phi_{11} = l \int_0^{\tau_p} \hat{B} \sin \frac{\pi y}{\tau_p} \cdot dy = \frac{2}{\pi} \tau_p \cdot l \hat{B}$$

$$\Phi_{12} = l \int_{\frac{2}{3}\tau_p}^{\frac{5}{3}\tau_p} \hat{B} \sin \frac{\pi y}{\tau_p} dy = \frac{2}{\pi} \tau_p \cdot l \hat{B} \left(-\frac{1}{2}\right)$$

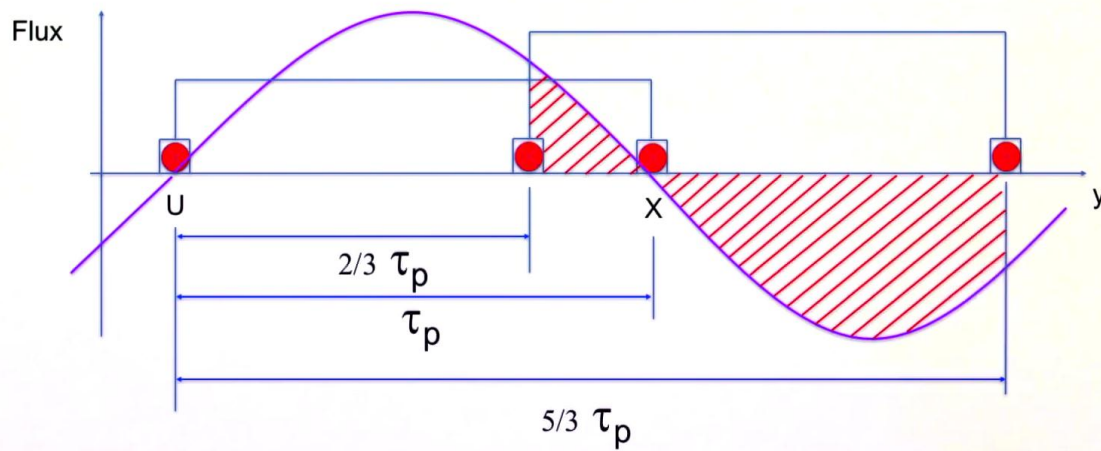
Tout d'abord calculant le flux créé par la phase une se fi 1 1 c'est l'intégrale de 0 à  $\tau_p$ . De quoi ? Et bien de  $B$  crête sinus  $\pi y$  sur  $\tau_p$  fois  $dy$ , on va intégrer l'abscisse curviligne et fois la longueur pour avoir une surface donc on a ici l'intégrale de  $B$  DS. Mais comme la longueur, ou la profondeur si vous voulez, ne change pas on intègre que sur l'abscisse curviligne et de 0 à  $\tau_p$ . Ceci nous donne quelque chose qu'on connaît déjà. C'est  $\frac{2}{\pi} \tau_p l$  et  $B$  Crête on voit là un calcul qu'on a déjà fait ensemble dans les leçons précédentes et qui est donc plus ou moins facile à refaire ici. Ce qui nous intéresse ce n'est pas le flux principal ici ou le flux propre de la phase une mais c'est bien le mutuel c'est à dire la partie qui va être vue par la seconde phase. Nous devons donc intégrer entre deux tiers de  $\tau_p$  et 5 tiers de  $\tau_p$  notre  $B$  crête sinus  $\pi y$  sur  $\tau_p$  toujours notre  $dy$  et je remets le  $L$  ici devant pour faire la surface. Qu'est ce qu'on obtient eh bien on obtient ici  $\frac{2}{\pi} \tau_p l B$  crête et on obtient un moins une demie qui apparaît quand on fait avec les bornes d'intégration. Le deux tiers de  $\tau_p$  à cinq tiers de  $\tau_p$  ce qui veut dire que on obtient très exactement la même valeur de flux qu'avant mais négative et avec un facteur un demi.

Notes

Summary



8m 58s



je reviens en arrière sur la courbe pour que vous puissiez voir ici la surface, vous voyez que la surface est bien plus négative on va dire on peut voir ici apparaître une demie on a une partie ici de cette surface qui est très exactement compensée par celle là et le reste de cette surface de flux est un flux négatif.

Notes

Summary



11m 03s

$$\begin{aligned}\Phi_{11} &= \ell \int_0^{\tau_p} \hat{B} \sin \frac{\pi y}{\tau_p} \cdot dy = \frac{2}{\pi} \tau_p \cdot \ell \hat{B} \\ \Phi_{12} &= \ell \int_{\frac{2}{3}\tau_p}^{\frac{5}{3}\tau_p} \hat{B} \sin \frac{\pi y}{\tau_p} dy = \frac{2}{\pi} \tau_p \cdot \ell \hat{B} \left(-\frac{1}{2}\right) = -\frac{1}{2} \Phi_{11} \\ \Rightarrow L_{12} &= -\frac{1}{2} L_h\end{aligned}$$

Donc on peut écrire ici que ceci vaut moins une demie du flux du champ principal créé juste avant et c'est ça la clé ça veut dire quoi ? ça veut dire que sachant comment calculer les permeances, notre permeance mutuelle 1 2 est en faite égale à moins une demie la permeance de champs principale  $\Lambda H$ . Et ça c'est extrêmement important ça va nous permettre de faire une très très grande simplification. La mutuelle comme on le voit ici c'est la moitié de l'inductance propre. j'ai mis ici l'inductance de champ principal et non pas  $\Phi_{11}$  ou  $\Lambda_{11}$  puisque après je vais tenir compte des fuites et donc pour être plus général je me permets de mettre juste ici  $\Lambda H$  mais on pourrait écrire  $\Lambda_{11}$  si vous vouliez mieux comprendre.

Notes

Summary



11m 25s

$$\begin{aligned}
 u_1 &= R_1 \cdot i_1 + L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} + L_h \frac{di_1}{dt} - \frac{1}{2} L_h \frac{di_2}{dt} - \frac{1}{2} L_h \frac{di_3}{dt} + \frac{d\psi_{sn}}{dt} \\
 &= R_1 \cdot i_1 + L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} + L_h \frac{d}{dt} \left( i_1 - \frac{1}{2} i_2 - \frac{1}{2} i_3 \right) + \frac{d\psi_{sn}}{dt}
 \end{aligned}$$

$$\text{On : } i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad i_1 = -i_2 - i_3$$

$$\rightarrow \left( i_1 - \frac{1}{2} i_2 - \frac{1}{2} i_3 \right) = i_1 + \frac{1}{2} \left($$

Ainsi si je reviens à l'équation du départ : U égal à R i + L sigma 1, Je vais tenir compte des fuites maintenant. L h di 1 sur dt moins une demie di 2 sur dt, il faut que je mette quand même L h, moins une demie L H di 3 sur dt parce qu'évidemment j'ai pas fait la démonstration ici mais si on a pour la permeance 1/2 ce moins un demi on a de même pour 1/3 le même moins une demie. Plus la variation stator rotor sur dt. On peut mettre ces L h en évidence et ça donne. Voilà le résultat avec L h mis en évidence et on a les courants i1 moins une demi i2 moins une demi i3 plus la partie relation stator rotor. Ce qui est intéressant maintenant c'est de voir est ce qu'on ne peut pas encore simplifier cette parenthèse on a cette soustraction des courants. Or nous savons que i1 plus i2 plus i3 dans un système symétrique triphasé c'est égal à zéro. On peut donc sortir i1 et écrire que i1 c'est moins i2 moins i3. Ainsi i2 moins i3 qu'on retrouve dans la parenthèse en haut vont pouvoir être remplacés. Regardez je prends la parenthèse donc i 1 moins une demie i2 moins une demie i3. Cette parenthèse devient i 1 tout d'abord et puis plus une demie et je met en évidence j'ai moins i2 moins i3 mais moins i2 moins i3 c'est i1.

Notes

Summary



$$u_1 = R_1 \cdot i_1 + L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} + L_h \frac{di_1}{dt} - \frac{1}{2} L_h \frac{di_2}{dt} - \frac{1}{2} L_h \frac{di_3}{dt} + \frac{d\psi_{sn}}{dt}$$

$$= R_1 \cdot i_1 + L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} + L_h \frac{d}{dt} \left( i_1 - \frac{1}{2} i_2 - \frac{1}{2} i_3 \right) + \frac{d\psi_{sn}}{dt}$$

$$O_n : i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad i_1 = -i_2 - i_3$$

$$\rightarrow \left( i_1 - \frac{1}{2} i_2 - \frac{1}{2} i_3 \right) = i_1 + \frac{1}{2} (-i_2 - i_3) = i_1 + \frac{1}{2} i_1 = \frac{3}{2} i_1$$

Donc je voulais écrire encore moins  $i_2$  moins  $i_3$ . Mais c'est  $i_1$  et donc on obtient que cette parenthèse est en fait 3 demi de  $i_1$ . Et c'est ça la simplification ultime qui nous permet d'écrire de manière extrêmement simplifiée maintenant l'induction de phase qui tient compte non seulement de l'inductance propre mais également de l'indépendance mutuelle de la 2ème et de la troisième phase.

Notes

Summary



$$L_s = L_{r1} + \frac{3}{2} L_h \quad \text{par définition : inductance équivalente de phase}$$

$$u_1 = R_1 i_1 + L_s \frac{di_1}{dt} + \frac{d\psi_{s1}}{dt}$$

Ceci nous permet donc de terminer et d'écrire maintenant par définition ce que vaut cet inductance  $L_s$ , inductance de phase avec la partie des fuites et cette partie qui tient compte tout qui est équivalent avec cette partie qui tient compte de l'inductance propre et des inductances mutuelles des autres phases vue par la phase numéro une. On a donc ici par définition, l'inductance équivalente phase. Alors qu'est ce que ça change ça change que l'équation maintenant de tension qu'on a présenté au départ avec les mutuelles à l'intérieur va se simplifier de cette manière. Vous voyez ici que on a la partie ohmique  $r_1 i_1$  puis une seule composante  $L_s \frac{di_1}{dt}$  qui tient compte de tout l'inductance propre, les mutuelles et même les fuites. Et enfin l'interaction entre stator rotor. Uniquement trois termes et c'est ça la beauté finalement de cette possibilité grâce à la symétrie qu'on a dans le stator de pouvoir calculer cette inductance mutuelle par rapport à son inductance propre.

Notes

Summary





- La perméance mutuelle est  $-1/2$  la perméance propre lorsque tout est symétrique dans un système triphasé
- L'inductance de phase  $L_s$  contient toutes la composantes propre, mutuelle et de fuite
- L'équation de tension de phase devient alors simple et facile d'emploi

Voilà pour conclure, on a vu dans cette leçon que la perméance mutuelle est moins une demi perméance propre lorsque tout est symétrique dans le système triphasé. l'inductance de phases  $L_s$  contient donc la composante propre mutuelle et de fuite on a toutes les composantes intégrées dans une seule et unique valeur. Et enfin l'équation de tension de phase devient alors simple et facile d'emploi facile à manipuler. Merci.

Notes

Summary



16m 52s