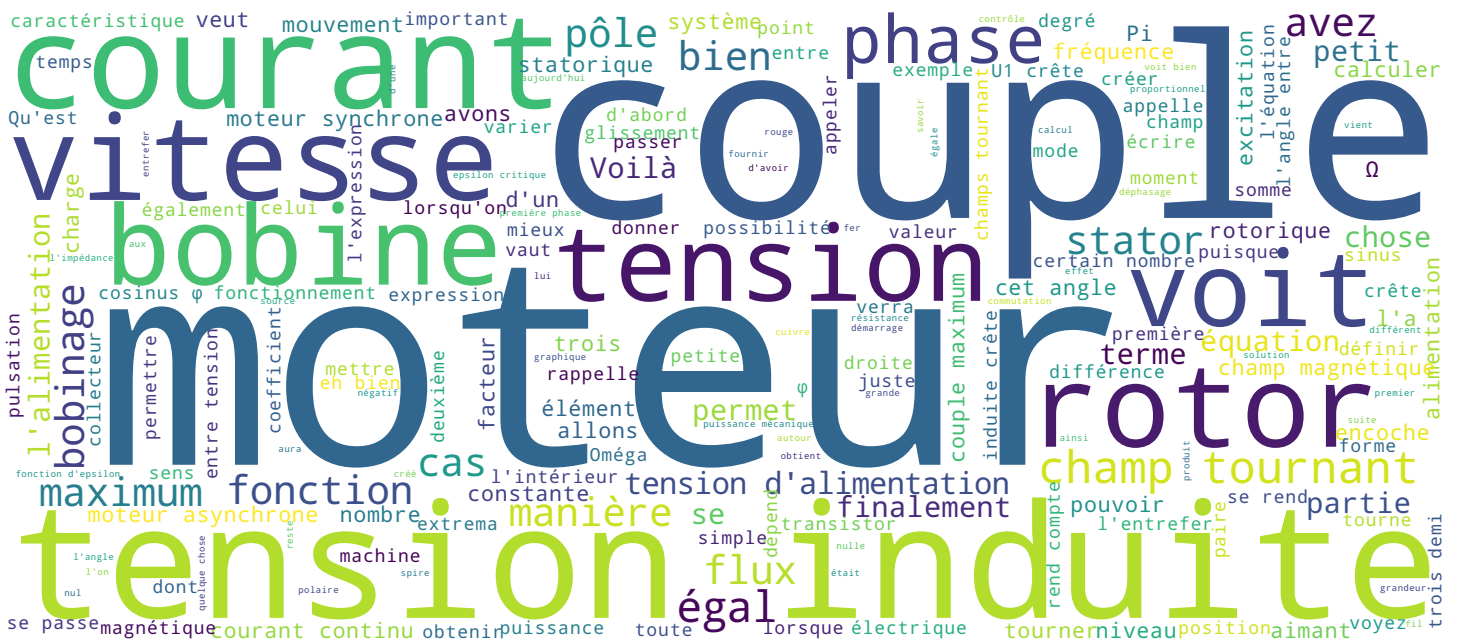
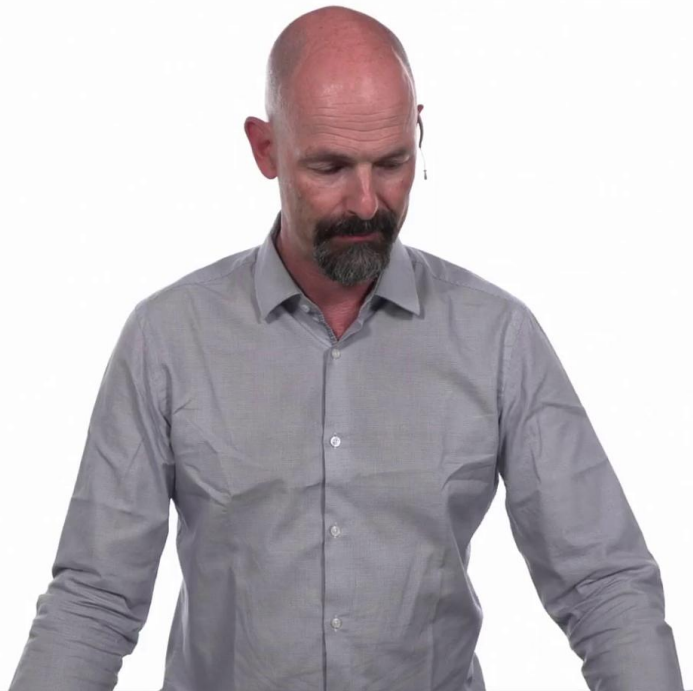


## Prof. Perriard &amp; Dr Koechli





- Alimentation en courant
- Alimentation en tension
- Extrema de couple

Madame, monsieur, bonjour. Dans ce module consacré au mode d'alimentation des moteurs synchrones. Nous allons voir essentiellement les deux manières de pouvoir alimenter un moteur synchrone. Il s'agit de l'alimentation en courant d'abord qui est la plus simple, ensuite de l'alimentation en tension. Pour le moment, on ne parle que de l'alimentation, mais pas de comment on contrôle le moteur. On va donc voir ces deux éléments qui vont nous amener à nous poser la question, y a-t-il un extrema de couple ? Lorsqu'on alimente ces moteurs de cette manière et nous verrons qu'il en existe en effet un et qui va nous permettre par la suite de définir alors l'auto-commutation ou comment on commute ou on fait tourner ou on contrôle ce moteur.

Notes

Summary



0m 03s

## Alimentation en courant

$$\eta = \frac{3}{2} \frac{1}{\Omega} \hat{U}_i \hat{I}_1 \cos \varphi$$

Optimum pour  $\varphi = 0$

$$\eta = \frac{3}{2\Omega} \hat{U}_i \hat{I}_1 = \frac{3 U_{i1} \cdot I_1}{\Omega}$$

$$K_e = \frac{\hat{U}_i}{\Omega}$$

Tout d'abord, l'alimentation en courant. Pour faire une alimentation en courant, finalement, on l'a vu et je le rappelle ici, on a l'équation de couple,  $(3/2)(1/\Omega)$ , la tension induite crête, le courant crête de phase fois ce cosinus  $\varphi$  et je vous rappelle que  $\varphi$  c'est l'angle entre la tension induite et le courant. On voit bien ici qu'on a un optimum ou un maximum pour  $\varphi$  qui vaut zéro. Autrement dit, lorsqu'on a la tension induite et le courant parfaitement en phase, alors on a le couple qui est le maximum équivaut alors, ce couple vaut trois demi sur  $\Omega$  multiplié par la tension induite crête et le courant crête. Maintenant si on rapporte ces deux grandeurs crêtes en valeur efficace, on a deux fois la racine de deux qui va nous donner un deux qui élimine ce qu'on a sous le trois et qui nous permet d'obtenir  $3U_{i1}I_1$  sur  $\Omega$ . Autrement dit, on va dire, notre moteur est proportionnel, on voit ici le couple est proportionnel au courant. Cette grandeur peut être mis en forme de facteur. Je vous rappelle qu'on avait défini le facteur de tension induite. Ce facteur de tension induite qui vaut tension induite de mouvement sur  $\Omega$ . Et ici on voit tension induite crête sur  $\Omega$ .

Notes

Summary



0m 49s

## Alimentation en courant

$$P = \frac{3}{2} \frac{1}{\Omega} \hat{U}_{i1} \hat{I}_1 \cos \psi$$

Optimum pour  $\psi = 0$

$$P = \frac{3}{2\Omega} \hat{U}_{i1} \hat{I}_1 = \frac{3 U_{i1} \cdot I_1}{\Omega} = \frac{3}{2} K_e \cdot \hat{I}_1 = K_n \hat{I}_1$$

$$K_e = \frac{\hat{U}_i}{\Omega}$$

Définition :  $K_n$  : coef du couple  $\neq K_e$

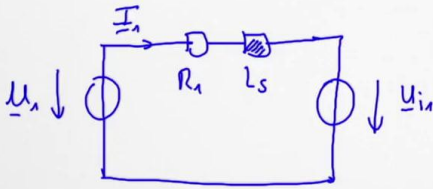
Et là on voit que ceci est égal à trois demi. Ce facteur de tension induite fois le courant  $I_1$  crête. Et si on veut écrire ça sous forme d'une constante fois le courant, Alors on voit qu'on a ici ce qu'on peut appeler : «La constante de couple.» qui est aussi fois le courant. Et très important ici, on voit par définition que ce  $K_m$  qui est ce qu'on appelle la constante ou le coefficient de couple. Et ceci est différent de la constante de tension induite, faire très attention, alors que dans les moteurs à courant continu, comme on peut le voir dans les modules consacrés au moteur à courant continue classique, ce coefficient de couple est le même que le coefficient de tension induite. À faire très attention de bien savoir que dans le moteur synchrone, on a une différence entre ces deux valeurs.

Notes

Summary



## Alimentation en tension



$$\underline{z}_s = R_s + j\omega L_s = z_s e^{j\varphi_s}$$

$$\varphi_s = \text{angle de l'impédance } z_s$$

$$\hat{u}_1 = \underline{z}_s \cdot \hat{i}_1 + \hat{u}_{in}$$

Maintenant l'alimentation en tension, quelle est finalement la différence ? La différence est que, comme on l'a vu, le couple est la multiplication de la tension induite fois le courant. Or, Ici si on veut alimenter en tension, quel est alors le courant qu'on a dans le circuit ? On peut faire un petit schéma pour une phase pour se rendre compte de la problématique qu'on a ici. La tension  $U_1$ , on a ensuite l'impédance donc  $R_1$  et ici une inductance  $L_s$  et on va avoir une tension induite de mouvements que je note ici comme ça juste pour la modéliser. Et ce que l'on veut, c'est, mais il y a un courant ici qui va passer Et c'est ce courant qui va produire le couple. Alors si maintenant on alimente en tension, y a-t-il un moyen finalement de résoudre un certain nombre d'équations pour trouver quel est alors ce couple ? Alors on peut commencer par l'impédance,  $Z_s$  l'impédance de phase qui vaut  $R_s$  plus  $j\omega L_s$  ou écrit autrement  $Z_s$  et  $\varphi_s$ . Voilà un nouvel angle encore une fois. On a  $\varphi_s$ , cet angle  $\varphi_s$  c'est l'angle de l'impédance,  $Z_s$ . On peut réécrire l'équation qu'on avait déjà écrite pour la première phase, c'est-à-dire  $U_1$  crête est égal à  $Z_s$  fois  $I_1$  crête et la tension induite de mouvement.

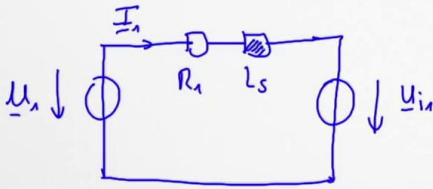
Notes

Summary



3m 50s

## Alimentation en tension



$$\underline{z}_s = R_s + j\omega L_s = z_s e^{j\varphi_s}$$

$$\varphi_s = \text{angle de l'impédance } z_s$$

$$\hat{u}_1 = \underline{z}_s \cdot \hat{i}_1 + \hat{u}_{ia}$$

$$\hat{i}_1 = \frac{\hat{u}_1 - \hat{u}_{ia}}{\underline{z}_s}$$

$$\hat{i}_2 = \hat{i}_1 e^{j\frac{-\pi}{3}}$$

$$\hat{i}_3 = \hat{i}_1 e^{j\frac{-4\pi}{3}}$$

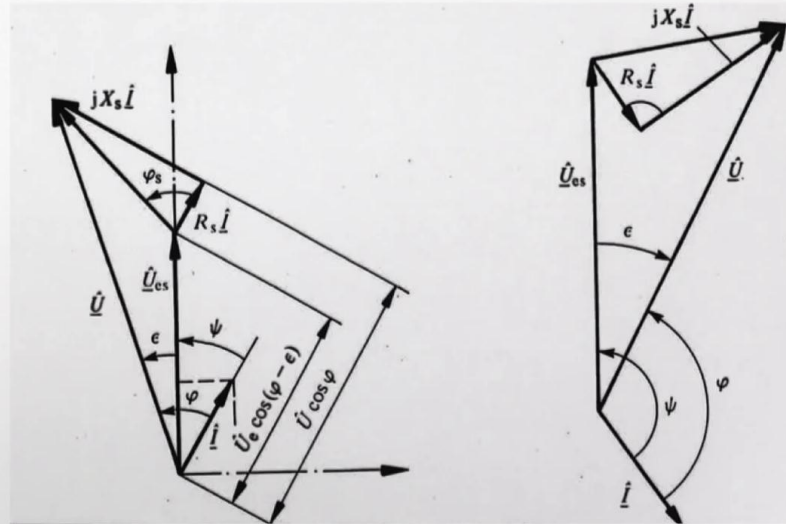
De là, on peut extraire le courant que l'on cherche et ce courant vaut  $U1$  crête moins  $U_{i1}$  crête sur  $Z_s$ . Évidemment, on peut écrire la même chose pour  $I_2$  et la même chose pour  $I_3$ . Je l'écris ici de manière plus simplifiée, donc  $I_2$  crête va être  $I_1$ ,  $I_j$  moins deux  $\pi$  sur trois puisqu'on a un simple décalage et  $I_3$ . De la même manière, ce sera rapporté à  $I_1$ , c'est la même chose que  $I_1$ , mais déphasé de moins quatre  $\pi$  sur trois. On voit maintenant ici qu'on a la possibilité d'obtenir  $I_1$ , d'obtenir  $I_2$ , d'obtenir  $I_3$ . J'aimerais vous montrer maintenant dans un diagramme des phasors un tout petit peu tous ces éléments.

Notes

Summary



## Alimentation en tension



Vous avez ici sur ces graphiques les différents éléments, alors peut-être que je vais les notées ici, plus précisément pour que vous puissiez les voir. Donc vous vous souvenez que nous avons indiqué en premier lieu que la tension induite qui est ici notée par  $U_{es}$  est notre référence. On a la tension d'alimentation qui est ici et on voit bien que le déphasage entre tension induite et tension d'alimentation, c'est cet angle  $\epsilon$  qu'on retrouve ici également. Deuxième élément, on a le déphasage entre le courant qui est ici en bas et la tension induite qui est ici et ce déphasage comme on l'a dit, c'est  $\Psi$ . Et enfin, dernier déphasage, c'est finalement le déphasage de l'impédance entre tension d'alimentation et courant et c'est  $\varphi$ . Vous avez ici les trois angles assez bien représentés avec la construction géométrique pour  $R_s I$  et donc vous avez ici une belle représentation de tous ces vecteurs dont on a parlé précédemment et qui nous permettent maintenant d'écrire le résultat final. On va prendre les résultats qu'on a pour I1, I2, I3, les remettre dans l'équation de couple qu'on a vu en premier lieu et je vous donne ici la conclusion finalement de ce qu'on va obtenir.

Notes

Summary



## Alimentation en tension

$$P = \frac{3}{2} \frac{\hat{U}_i}{\Omega Z_s} \left[ \hat{U}_1 \cos(\varphi_s - \varepsilon) - \hat{U}_i \cos \varphi_s \right]$$

Cette conclusion, c'est que le couple va maintenant être égal à trois demi, fois la tension induite crête sur  $\Omega Z_s$  qui multiplie,  $U_1$  crête cosinus  $(\varphi_s - \varepsilon)$  moins  $U_i$  cosinus  $\varphi_s$ . C'est une équation relativement compliquée avec un certain nombre d'éléments. On voit ici cet élément qui dépend de la tension induite, cet élément qui dépend de la tension d'alimentation. Mais une chose est sûre, dans cette équation-là, il y a bien un maximum et la seule chose qui nous permette finalement de faire le maximum du couple, c'est en jouant sur cette partie ici. Si l'intérieur de ce cosinus est égal à zéro, alors on aura un maximum. On ne peut pas toucher le cosinus  $\varphi_s$  parce que  $\varphi_s$ , c'est l'angle de l'impédance et l'angle de l'impédance ne peut pas être modifié une fois que le moteur est construit. On va maintenant s'occuper de savoir, y a-t-il ici un maximum, on vient de le dire où il était. Et il faudra qu'on comprenne un tout petit peu mieux comment on va pouvoir jouer avec ça. On voit très vite que le couple donc dépend d'épsilon  $\varphi_s$  comme on l'a dit, c'est intrinsèque au moteur, la tension d'alimentation oui, ça, c'est un élément sur lequel on pourrait jouer. Et la tension induite de mouvement est directement liée à la vitesse. On voit qu'un des éléments ici qui est très important, c'est ce fameux epsilon, je vous rappelle l'angle entre la tension induite et la tension d'alimentation.

Notes

Summary



8m 10s

## Extrema de couple

Pour  $\hat{U}_1$  et  $\Omega$  imposés, le couple est fonction de  $\varepsilon$

$$\Gamma = \frac{3}{2} \frac{\hat{U}_{i1}}{\Omega Z_s} \left[ \hat{U}_1 \cos(\varphi_s - \varepsilon) - \hat{U}_{i1} \cos \varphi_s \right]$$

0  
↓  
Maximum

$$\varphi_s = \varepsilon = \arctan \frac{\omega L_s}{R_s}$$

$$\rightarrow \Gamma_{\max} = \frac{3}{2} \frac{\hat{U}_{i1}}{\Omega Z_s} \left[ \hat{U}_1 - \hat{U}_{i1} \cos \varphi_s \right]$$

Maintenant, les extremas de couple, comment obtenir ou comment pouvoir voir finalement où est le maximum. On va dire qu'on a une tension d'alimentation qui est constante ou plutôt imposée de même que la vitesse. On dit, le couple va être comme on l'a vu un peu avant, le couple va être une fonction d'epsilon. Je vous réécris l'équation. Le couple est maximum lorsque cette partie ici est nulle. Et là, on a le maximum. Quand est-ce qu'on a  $\varphi_s$  qui est égal à epsilon et on va l'écrire  $\varphi_s = \varepsilon$  et qui est égal à l'arc tangente de  $\omega L_s$  sur  $R_s$ . Et dans ces circonstances-là, le couple est maximum et il vaut, on va écrire  $M_{\max}$  est égal à trois demi  $U_i$  sur  $\Omega Z_s$  et là, on n'a plus que  $U_1 - U_i \cos \varphi_s$ . Ça, c'est le couple maximum lorsqu'on alimente en tension et lorsqu'on a imposé notre epsilon cet angle en fonction de  $\varphi_s$ . On verra après comment pratiquement on va imposer ce fameux angle pour qu'il soit égal à ce que l'on veut et donc qu'on ait le maximum de couple.

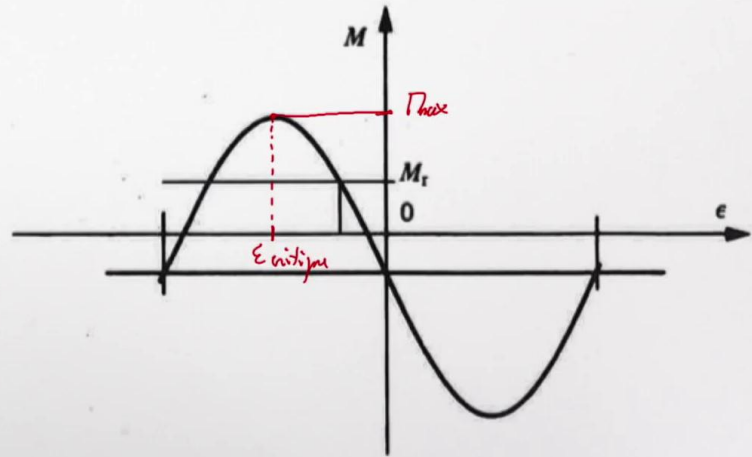
Notes

Summary



## Extrema de couple

$$\epsilon_{critique} \Rightarrow P_{max}$$



On voit ici sur ce graphique finalement le maximum, oui là, on voit le maximum en fonction du couple et en fonction d'epsilon. Vous avez un moment résistant qui est noté ici  $M_r$ , on a ici clairement le couple qui va être le couple maximum qui peut être positif ou négatif et on va définir ici cet angle epsilon comme la valeur critique. Ce epsilon critique donne en fait le couple max, va nous donner le couple maximum. Alors que se passe-t-il ? l'angle, souvenez-vous de l'animation qu'on a vu à l'introduction, l'angle entre le rotor qui définit l'angle de la tension induite avec la tension d'alimentation, cet angle augmente, on le voit ici sur ce graphe, il augmente jusqu'à arriver à un couple maximum. L'angle interne entre tension induite et tension d'alimentation change pour pouvoir fournir le couple nécessaire jusqu'à ce que le moteur atteigne le couple maximum qu'il peut fournir. Au-delà que se passe-t-il ? Au-delà, on va voir après dans le fonctionnement, mais on peut déjà dire que dans le cas où on laisse  $\epsilon$  s'adapter à la charge, alors en arrivant au couple max, il va décrocher et le moteur va s'arrêter.

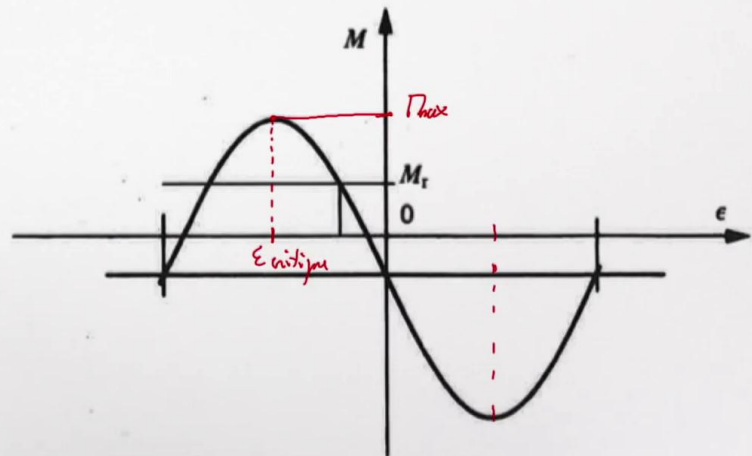
Notes

Summary



## Extrema de couple

$\epsilon_{critique} \Rightarrow P_{max}$



Sur ce graphique, vous avez encore le moment résistant qui est noté, vous avez un autre epsilon critique qui est ici, pour la partie négative et qui permet de voir que cet epsilon où le moteur va pouvoir fonctionner entre epsilon critique de gauche et l'epsilon critique de droite, donc de négatif jusqu'à positif et balayer toute une plage de couple et fournir du couple à la sortie de son arbre.

Notes

Summary



13m 32s



- L'alimentation en courant donne une expression du couple simple
- L'alimentation en tension montre la dépendance du couple en fonction de  $\varepsilon$  et de la fréquence d'alimentation
- L'analyse de l'expression du couple avec l'alimentation en tension montre qu'il y a deux extrema de couple lorsque  $\varepsilon$  est égal à  $\varphi_s$

Voilà pour conclure, on vient de voir les différents modes d'alimentation. On a vu que l'alimentation en courant donne une expression du couple très simple, c'est simplement proportionnel à la tension induite et au courant. Bien sûr, il faut avoir une alimentation qui permet de contrôler le courant pour fonctionner dans ce mode-là. L'alimentation en tension est un peu plus complexe, elle montre la dépendance du couple en fonction d'epsilon, cet angle et de la fréquence d'alimentation. Enfin, l'analyse de l'expression du couple en fonction de l'alimentation en tension montre qu'on a deux extremas de couple lorsque epsilon est égal à ce fameux  $\varphi_s$  et nous permet d'envisager la possibilité de peut-être toujours fonctionner au maximum du couple ou pas toujours en fonction du maximum de couple, c'est ce qu'on verra dans les prochains modules sur ce moteur synchrone. Merci beaucoup.

Notes

Summary



14m 01s