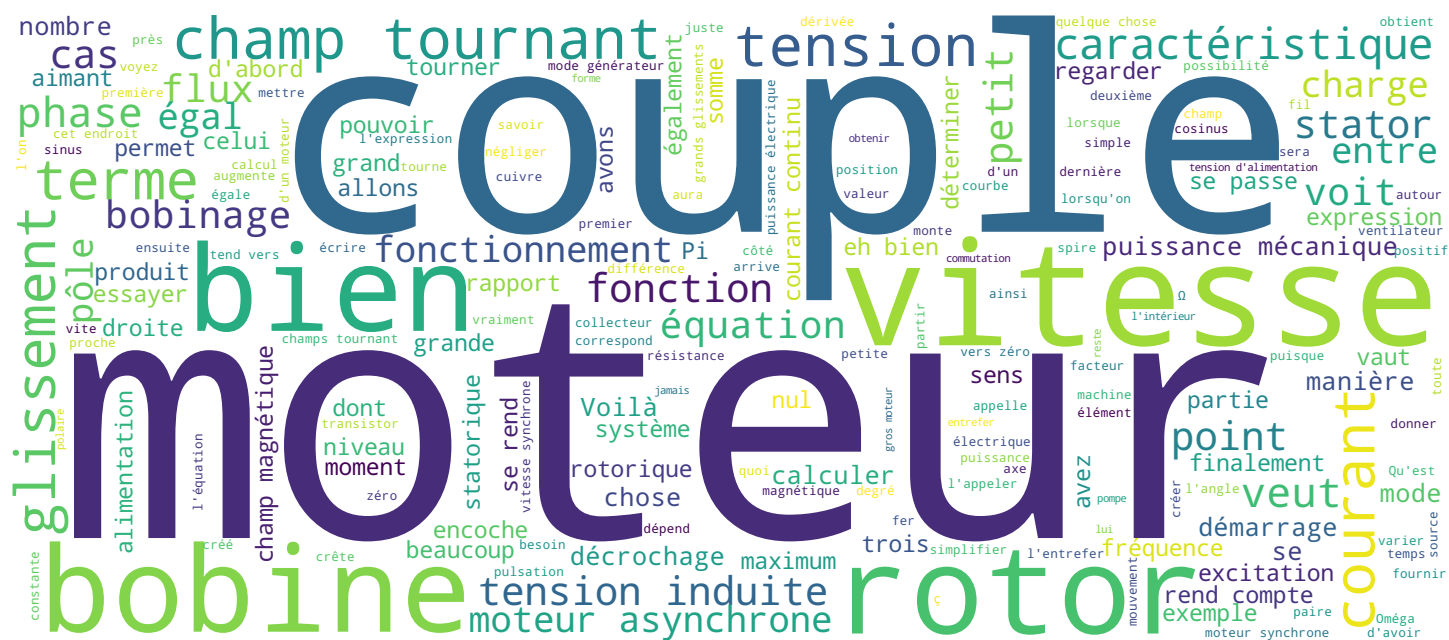
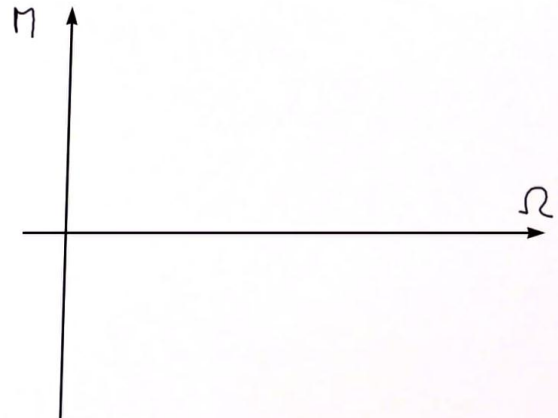


Conversion électromécanique

Prof. Perriard & Dr Koechli



$$M = \frac{3R'_r \sigma_s^2 U_s^2}{\left[(R_e + R'_r / s)^2 + X_{cc}^2 \right] s \Omega_s}$$



Bonjour. Le programme d'aujourd'hui, c'est de tracer la caractéristique de couple ou aussi appelée caractéristiques couple/vitesse du moteur asynchrone. Le but c'est aussi de déterminer ses points caractéristiques, pour ce faire on va supposer qu'on a une alimentation à tension et à fréquence fixe et on va déterminer cette caractéristique pour partir de l'expression du couple qu'on a obtenu la dernière fois. Ensuite nous allons analyser cette caractéristique et voir quels sont les modes de fonctionnement du moteur asynchrone et aussi ses points de fonctionnement particulier. Voilà alors on va repartir de l'expression du couple qu'on a obtenu la dernière fois que je vous ai déjà écrites ici et puis on va calculer l'expression, vous représenter plutôt l'expression du couple en fonction du glissement et on va essayer de dessiner cette expression ou cette courbe à côté. Alors je vais tracer des axes notre caractéristique c'est un couple en fonction d'un glissement ou d'une vitesse. Donc la vitesse va varier dans ce sens-là et puis le glissement on va voir que en fait son axe varie dans l'autre sens.

Notes

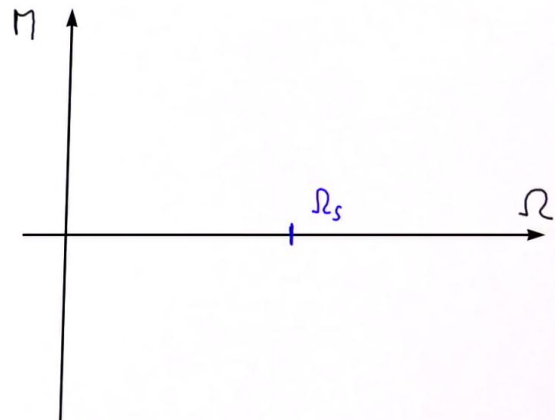
Summary



0m 04s

$$M = \frac{3R'_r \sigma_s^2 U_s^2}{\left[(R_e + R'_r / s)^2 + X_{cc}^2 \right] s \Omega_s}$$

$s \rightarrow 0$
 $\frac{R'_r}{s} \gg R_e, \left(\frac{R'_r}{s} \right)^2 \gg X_{cc}^2$
 $M = \frac{3\sigma_s^2 U_s^2}{s}$



Alors on va essayer de représenter cette expression ci à côté sur un graphique, pour ça on va essayer de regarder ce qui se passe pour des points particuliers, la première chose qu'on va faire c'est de regarder ce qui se passe pour des petits glissements donc s tend vers zéro. s tend vers zéro ça veut dire quoi ? ça veut dire qu'on va se retrouver avec des vitesses qui sont proches de la vitesse du champ tournant ou de la vitesse synchrone, Quand s vaut 1 on démarre et quand s vaut 0 on se retrouve à peu près au niveau de la vitesse synchrone. Qu'est ce qui se passe quand s est très petit mais on se rend compte que le terme déterminant c'est celui-ci. Et donc que R'_r sur s va être beaucoup plus grand que le terme de résistance équivalent interne. Et puis on va aussi avoir que le terme R'_r sur s^2 et bien il va être beaucoup plus grand que notre X_{cc}^2 , deux choses on peut négliger ce terme ci par rapport à celui-là et puis on peut négliger ce terme ci par rapport à celui-là et on se retrouve avec une expression du couple pour les petits glissements qui est largement simplifiée.

Notes

Summary



$$M = \frac{3R'_r \sigma_s^2 U_s^2}{\left[(R_e + R'_r / s)^2 + X_{cc}^2 \right] s \Omega_s}$$

$s \rightarrow 0$

$$\frac{R'_r}{s} \gg R_e, \left(\frac{R'_r}{s} \right)^2 \gg X_{cc}^2$$

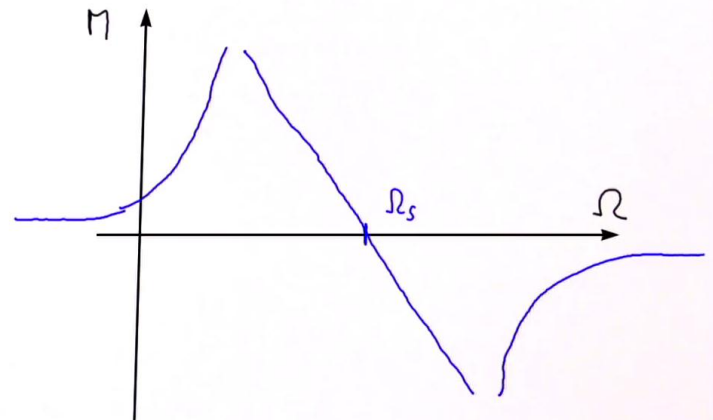
$$M = \frac{3 \sigma_s^2 U_s^2}{R'_r \Omega_s} \cdot s$$

$s \rightarrow \infty$

moteurs avec $P_{mec} > 100W$

$$\frac{R'_r}{s}, R_e \ll X_{cc}$$

$$M = \frac{3 R'_r \sigma_s^2 U_s^2}{X_{cc} \Omega_s} \cdot \frac{1}{s}$$



Qu'est-ce que c'est que cette expression du couple en fonction du glissement au niveau géométriques, c'est une droite et c'est une droite qui croît avec le glissement, comme le glissement va dans le sens contraire de la vitesse, on a bien une droite qui diminue avec la vitesse. On a fait pour les petits gris ce glissement, on est proche du point de vitesse synchrone et puis maintenant il nous faut faire pour les grands glissements. Pour les grands glissements, et bien ce terme si va être extrêmement petit et on va le négliger et puis ce terme ci va être petit par rapport au terme de réactance, mais ça c'est uniquement valable dans les gros moteurs. Dans les gros moteurs on ne peut pas se permettre d'avoir des grandes résistances pas ça veut dire des grosses pertes joule. Donc dans les moteurs dont la puissance est plus grande que 100 W on a que R'_r / s , R_e sont beaucoup plus petits que X_{cc} . Dans ce cas-là notre couple électro magnétique peut également être simplifié, qu'est-ce que c'est que cette courbe ci ? C'est quelque chose qui est inversement proportionnelle aux glissements donc c'est une hyperbole, donc pour les grands glissements, on va avoir quelque chose qui tend vers zéro pour l'infini et puis qui croient puis la même chose de ce côté.

Notes

Summary



$$M = \frac{3R'_r \sigma_s^2 U_s^2}{\left[(R_e + R'_r/s)^2 + X_{cc}^2 \right] s \Omega_s}$$

$$s \rightarrow 0$$

$$\frac{R'_r}{s} \gg R_e, \left(\frac{R'_r}{s} \right)^2 \gg X_{cc}^2$$

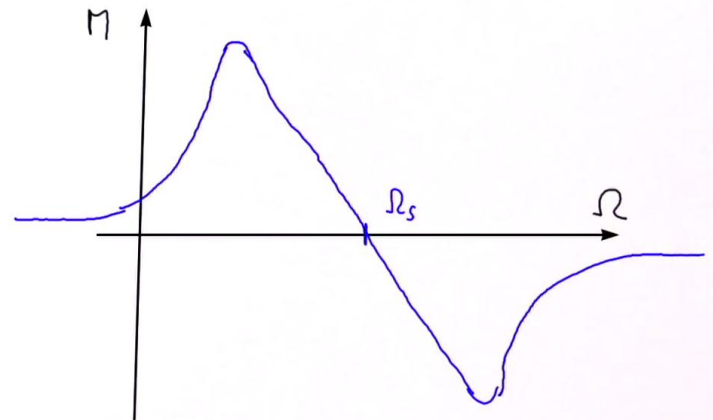
$$M = \frac{3 \sigma_s^2 U_s^2}{R'_r \Omega_s} \cdot s$$

$$s \rightarrow \infty$$

moteurs avec $P_{mec} > 100W$

$$\frac{R'_r}{s}, R_e \ll X_{cc}$$

$$M = \frac{3 R'_r \sigma_s^2 U_s^2}{X_{cc} \Omega_s} \cdot \frac{1}{s}$$

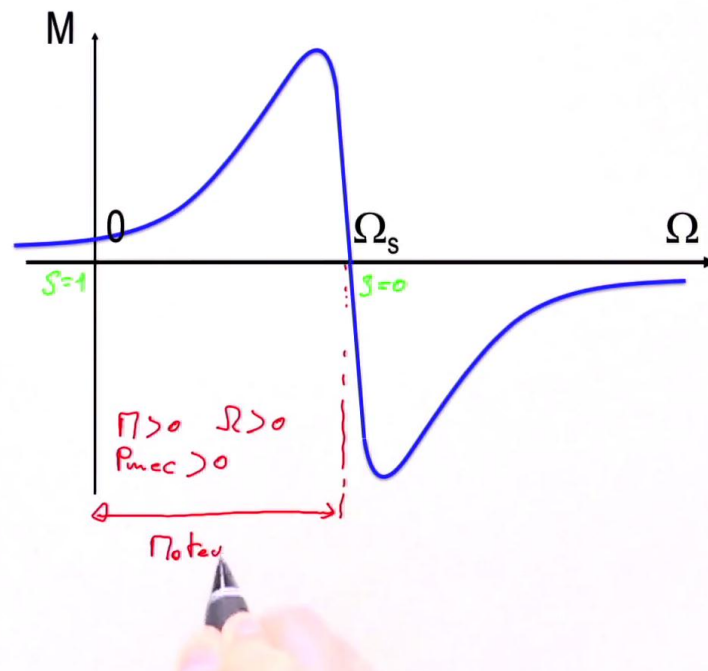


Et puis on peut relier les points à peu près et on obtient une caractéristique de couple du moteur asynchrone. Elle peut avoir plein de formes différentes en particulier l'allure où la pente de cette droite et plus ou moins raide en fonction des paramètres du moteur. Et puis si on a des petits moteurs on va avoir cette hyperbole qui se transforme en une courbe un petit peu plus ronde et puis avec des couples au démarrage qui sont un peu plus élevés. L'allure générale reste la même et je vous l'ai dessiné à la slide suivante, donc cette caractéristique de couple la voici.

Notes

Summary



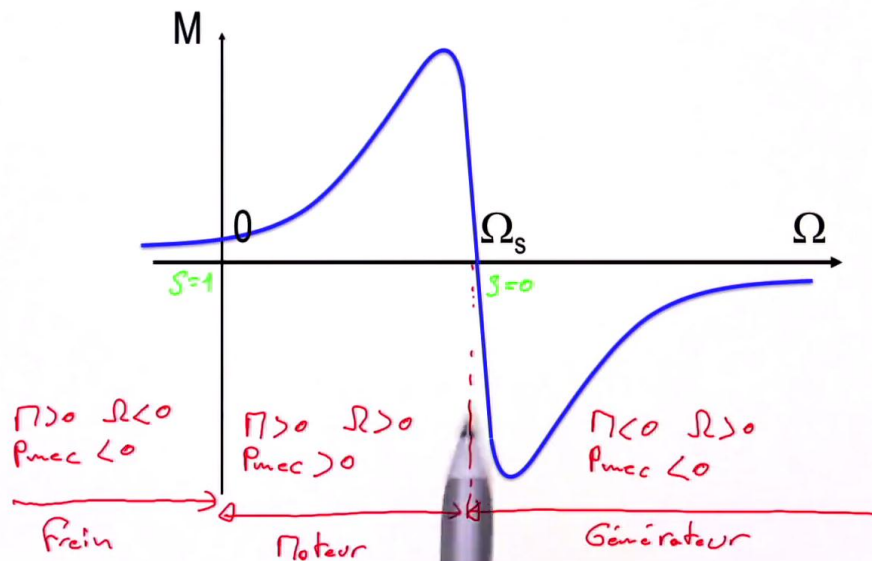


Une caractéristique de couple alors représentée ici de manière générale avec une pente de la droite qui est un petit peu plus raide qu'auparavant. On va essayer de regarder quels sont les modes de fonctionnement notre moteur, alors tout d'abord on va regarder quels sont les dépendances en fonction du glissement, je vais écrire les valeurs caractéristiques au niveau du glissement. Donc ici si on regarde le glissement à cet endroit $S = 0$ et puis ici on va avoir au démarrage S égale 1, le glissement il est négatif dans ce sens-là puis il est positif et devient de plus en plus grand dans ce sens-là. Quels sont les modes de fonctionnement de notre moteur, ici on a un couple positif et une vitesse positive, donc m plus grande 0 et ω plus grande que 0. La puissance mécanique c'est le produit du couple fois la vitesse donc si les deux sont positifs elle est également positive. Donc entre ce point-ci et le point où on est en démarrage et bien on a un fonctionnement où notre machine électrique nous donne du couple et de la vitesse positive et une puissance mécanique positive on est en mode moteur.

Notes

Summary



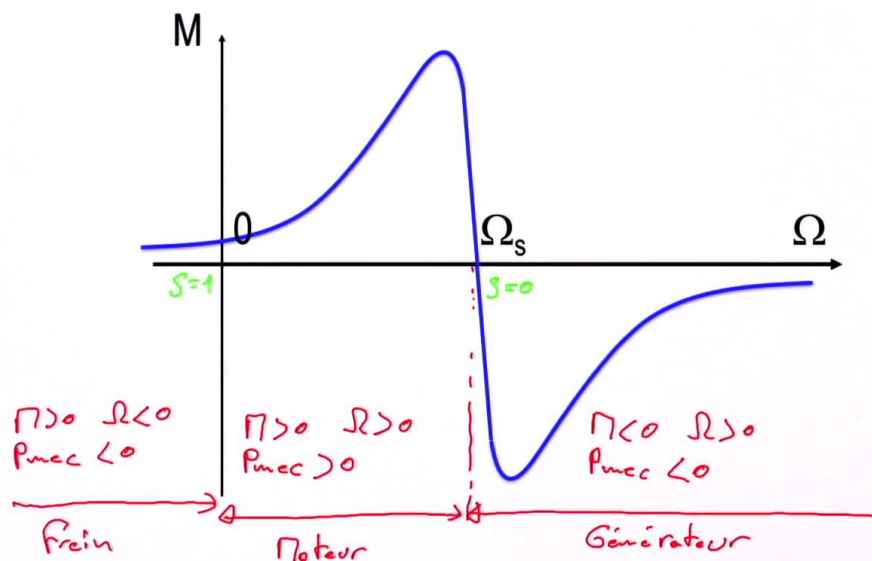


Juste à côté après au moment où le moteur va plus vite que la vitesse du champ tournant ou le rotor tourne plus vite que le champ tournant, eh bien on a un couple qui devient négatif, notre vitesse est toujours positive, notre puissance mécanique devient négative, qu'est-ce que ça veut dire de la puissance mécanique négative quand on a ce qu'on appelle la convention moteur. Ça veut dire qu'en fait notre moteur il va consommer de la puissance mécanique et puis produire de la puissance électrique et donc ici on est en mode générateur. Puis le dernier quart et bien c'est à cet endroit où on a toujours un couple positif mais la vitesse devient négative et donc notre puissance mécanique devient aussi négative, ça veut dire qu'on consomme de la puissance mécanique. Si on regarde un peu les équations on se rend compte qu'on ne produit pas de puissance électrique, donc on la dissipe dans les résistances du moteur. Donc ici on n'est pas en mode générateur on est en mode frein, donc là ce n'est vraiment pas l'endroit où on veut aller pour travailler avec notre moteur asynchrone. On veut se trouver soit en mode moteur soit éventuellement en mode générateur même quand on veut freiner.

Notes

Summary





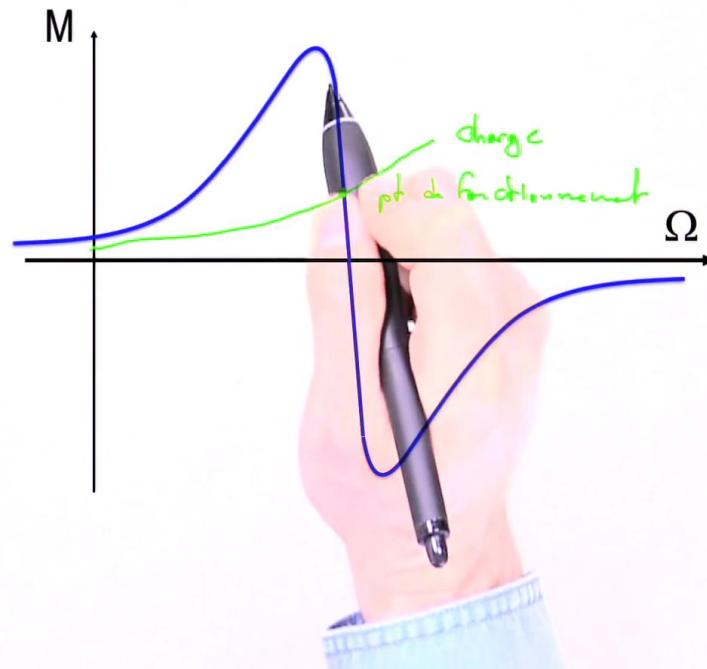
On a un meilleur temps de se situer en mode générateur qu'en mode frein puisque au moins on récupère un peu de puissance électrique dans ce cas-là, ce qui n'est pas forcément le cas ici où on va la dissiper dans les résistances du moteur et donc ça va chauffer.

Notes

Summary



9m 37s



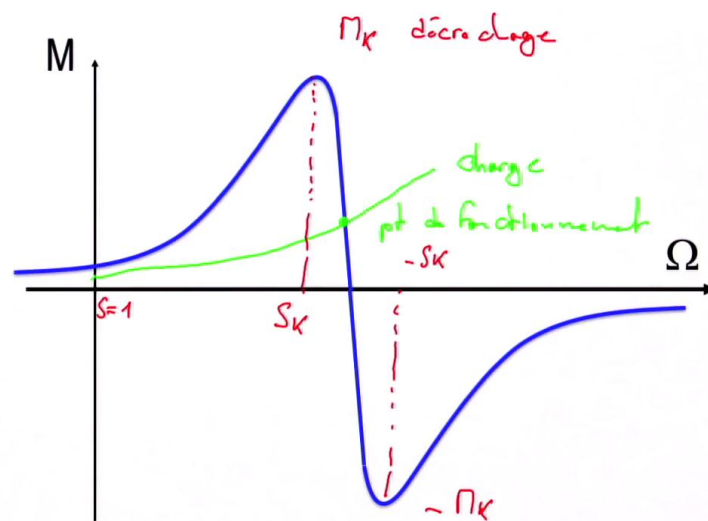
Il y'a d'autres choses qu'on peut remarquer avec cette caractéristique de couple, on va imaginer qu'on a une charge un ventilateur par exemple, et puis que cette charge a où elle aussi une caractéristique de couple en fonction de la vitesse. Donc ça veut dire qu'au début et bien on n'a pas besoin de beaucoup de couples pour faire démarrer notre ventilateur ou une autre pompe et puis ça augmente de manière quadratique avec la vitesse. Ça c'est notre charge, à cet endroit au démarrage si notre couple moteur est plus grand que le couple de la charge est bien la somme des couples est plus grande que 0 et donc par Newton et bien on va avoir un produit inertie fois accélération qui est plus grand que 0 et donc notre moteur va se mettre à accélérer. Alors, il accélère jusqu'au moment où on a une somme des couples nul et puis c'est le moment c'est lorsque le couple moteur et le couple de la charge sont égaux et là notre vitesse se stabilise et on a un point de fonctionnement. Si pour une raison ou une autre et bien notre charge augmente, la puissance mécanique qu'on doit fournir et va l'être plus grande, le couple va augmenter, il augmente et puis le point de fonctionnement se stabilise toujours quand la charge et le couple sont égaux.

Notes

Summary



9m 55s



Ça monte ça monte ça monte puis on arrive à ce point-là et puis là le moteur ne peut plus fournir un couple supérieur et donc si notre charge augmente et bien le moteur va s'arrêter. Puisque la somme des couples va devenir négative et le moteur s'arrête et ce point-là on va l'appeler le point de décrochage. Ici on aura le couple de décrochage de notre moteur asynchrone, par symétrie on va également avoir un décrochage en génératrice, le glissement associé ce sera le glissement de décrochage, au démarrage et bien notre glissement il est égal à 1.

Notes

Summary



$$M = \frac{3R'_r \sigma_s^2 U_s^2}{\left[(R_e + R'_r / s)^2 + X_{cc}^2 \right] s \Omega_s}$$

Démarrage $s=1$

Décrochage s_k max de $\Pi \Rightarrow \frac{d\Pi}{ds} = 0$

$$\begin{aligned} \frac{d\Pi}{ds} &= \frac{3R'_r \sigma_s^2 U_s^2}{\Omega_s} \cdot \frac{d}{ds} \left(\frac{1}{R_{es}^2 + 2R_e R'_r + R'_r{}^2 / s + X_{cc}^2 s} \right) \\ &= \frac{-1}{F(s)^2} \cdot \frac{dF(s)}{ds} \end{aligned}$$

Et puis au décrochage il va falloir qu'on calcule que ce que vaut le glissement, alors pour ça on va reprendre notre équation de couple et puis bon au démarrage c'est simple, On a $S = 1$, on injecte ça dans l'équation de couple et on obtient le couple de démarrage. Le décrochage c'est un petit peu plus compliqué, on va calculer s_k le glissement au décrochage qui correspond au maximum de notre couple et le maximum d'une fonction eh bien on peut le calculer en calculant sa dérivée et puis en disant qu'elle va être égal à zéro pour calculer les extrêmes. Alors d'abord il y'a une constante tout ce qui ne dépend pas du glissement, c'est à dire tout ça et puis ensuite il y'a la dérivée de ce qui dépend du glissement. Et j'effectue le produit, cette fonction ici on va l'appeler F de S , c'est $R_{es}^2 + 2R_e R'_r + R'_r{}^2 / s + X_{cc}^2 s$, ça c'est F de s . Et on se rend compte que en fait on peut la dériver simplement en faisant la dérivée d'une fraction et puis en multipliant par la dérivée interne. Et on se rend compte assez vite que ça, ça ne peut jamais être nul, le pire ça peut être infinie mais ça ne peut jamais être nul, le terme qui peut être nul c'est ce terme-là.

Notes

Summary



12m 40s

$$M = \frac{3R'_r \sigma_s^2 U_s^2}{\left[(R_e + R'_r/s)^2 + X_{cc}^2 \right] s \Omega_s}$$

Démarrage $s=1$

Décrochage s_K max de $\eta \Rightarrow \frac{d\eta}{ds} = 0$

$$\begin{aligned} \frac{d\eta}{ds} &= \frac{3R'_r \sigma_s^2 U_s^2}{\Omega_s} \cdot \frac{d}{ds} \left(\frac{1}{R_e^2 + 2R_e R'_r/s + R_r'^2/s^2 + X_{cc}^2 s} \right) \\ &= \frac{-1}{f(s)^2} \cdot \frac{df(s)}{ds} \\ \frac{df(s)}{ds} &= R_e^2 - \frac{R_r'^2}{s^2} + X_{cc}^2 = 0 \Rightarrow s_K = \frac{\pm R_r'}{\sqrt{R_e^2 + X_{cc}^2}} \end{aligned}$$

Donc on va simplifier les choses et on va dire que si on veut que la dérivée du couple s'annule et bien cette fonction si c'est-à-dire le dérivé de ça doit être égale à zéro. Alors je fais là que les calculs, ça c'est facile, ce terme ci s'annule, il reste celui-là qui est écrit ici et puis ça dérive et c'est également facile et c'est égal à zéro. Et donc notre glissement critique peut être calculé en résolvant cette équation c'est une équation du deuxième degré triviale et la solution eh bien c'est la fonction suivante. À partir de là on peut calculer le glissement décrochage on va le réinjecter dans l'équation du couple et puis ça nous donne le couple de décrochage et on a tout ce qu'il nous faut pour pouvoir calculer les divers points de fonctionnement de notre moteur. Ça nous donne en fait les limites, démarrage décrochage pour être sûr que notre moteur va satisfaire notre application.

Notes

Summary





- Caractéristique de couple
- Modes de fonctionnement:
 - Moteur
 - Génératrice
 - Frein.
- Démarrage, décrochage

Aujourd'hui nous avons vu la caractéristique de couple d'un moteur asynchrone alimenté à fréquence fixe. Elle a une allure particulière qui la rend spécialement intéressante. Elle nous permet de déterminer les divers modes de fonctionnement du moteur est aussi de savoir si un moteur peut nous donner le couple nécessaire pour satisfaire le cahier des charges d'une application quelconque, par exemple une pompe, un ventilateur, une machine industrielle, un télésiège que sais-je ? Avec la caractéristique de couple on peut répondre aux questions suivantes, est ce que le moteur va fournir assez de couple au démarrage ? dans quels cas est-ce qu'il va décrocher ? quel est son point de fonctionnement nominal ? Et puis tout ça on va pouvoir le déterminer en regardant la caractéristique de couple du moteur choisi ou plutôt on va pouvoir choisir un moteur qui soit adaptée à notre application en regardant sa caractéristique le couple dont les spécifications. C'est donc un outil absolument indispensable que nous avons étudié aujourd'hui.

Notes

Summary



16m 33s