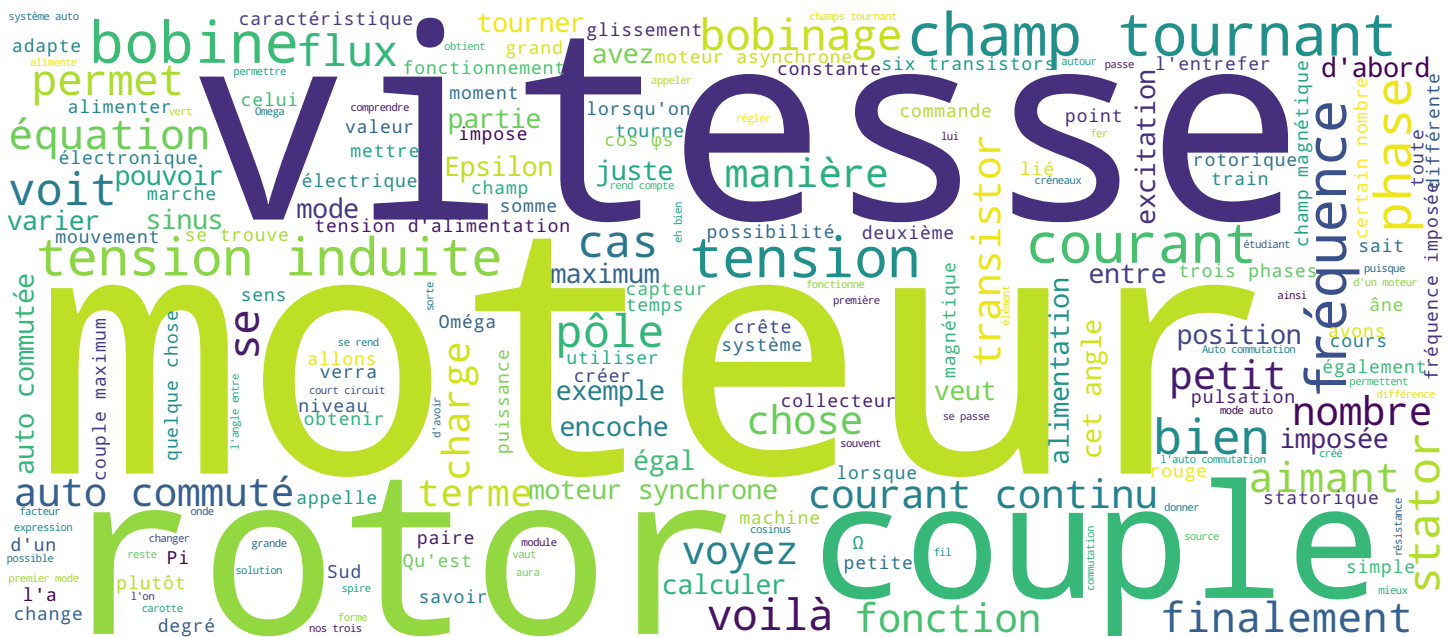
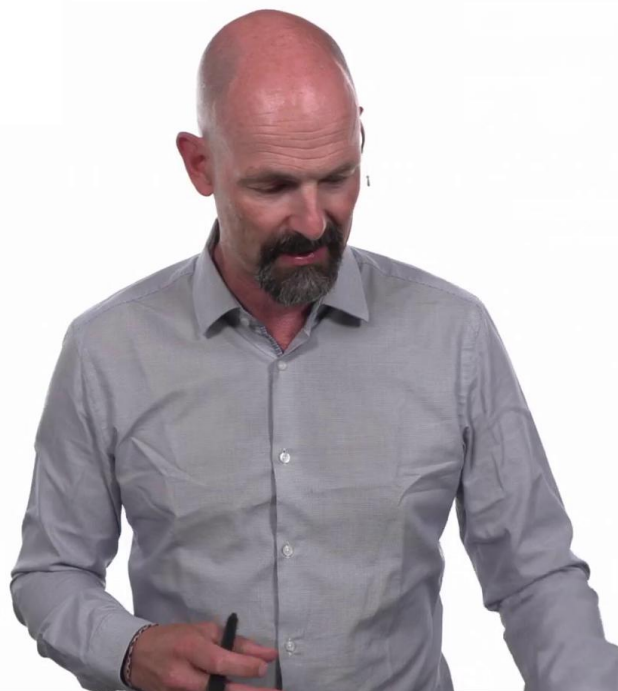


Prof. Perriard & Dr Koechli



- Marche à fréquence imposée
- Auto-commutation
- Electronique de commande



Madame, monsieur bonjour! Bienvenue à ce module consacré au moteur synchrone, mais plus particulièrement à ce qu'on appelle l'auto commutation. On va d'abord voir puisqu'on a vu l'équation de couple, on a vu l'alimentation à tension courant, on va voir maintenant comment on peut alimenter ce moteur-là finalement de manière un peu différente parce qu'on a bien vu dans l'équation de tension que le couple variait avec cet angle ϵ , mais variait aussi avec la fréquence alors est-ce qu'on fait varier un est-ce qu'on fait varier l'autre on va se rendre compte qu'on a des fonctionnements ou plutôt des comportements du moteur complètement différent. Et donc ça va donner finalement deux modes de fonctionnement différents donc un, le plus fréquemment utilisé pour les petites machines qu'on appelle l'auto commutation.

Notes

Summary



0m 04s

Marche à fréquence imposée

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

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

2 modes : f imposé $\rightarrow \Omega$ fixe

On va donc voir aussi comment pratiquement on va mettre en place l'électronique de commande qui permet de contrôler soit la fréquence soit cet angle ε entre la tension induite et la tension d'alimentation tout d'abord la marche à fréquence imposée donc j'aimerais juste rappeler et donc reposer l'équation qui nous a permis de trouver le coup on a donc $\Gamma = 3\hat{U}/2\Omega Z_s [\hat{U} \cos[(\varphi_s - \varepsilon) - \hat{U} \cos \varphi_s]]$. On peut changer un tout petit peu ceci en disant bon on sait que la tension induite divisée par la vitesse c'est la constante de tension du tout le coefficient de tension induite donc on va écrire $\Gamma = 3K_e/2Z_s [\hat{U} \cos[(\varphi_s - \varepsilon) - K_e \Omega \cos \varphi_s]]$ voilà une autre manière d'écrire la même chose. Alors, deux choses ici sont visibles. On a dit que le couple peut varier avec ε , c'est assez évident ici, mais aussi avec la fréquence. Pourquoi? parce que la fréquence va directement influencer ici ce qu'on a dans l'impédance Z_s puis que Z_s avec $\langle R + j\Delta \rangle$ on a le Ω et donc on a la fréquence qui aussi peut varier. Alors je vous propose en fait deux choses, on va voir deux modes. Ce premier mode c'est la fréquence qui est imposée et si la fréquence est imposée, la vitesse sera fixe. Pourquoi?

Notes

Summary



0m 51s

Marche à fréquence imposée

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

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

2 Modes : f imposé $\rightarrow \Omega$ fixe $\rightarrow \varepsilon$ varie et s'adapte à la charge
 ε imposé $\rightarrow \Omega$ variable $\rightarrow f$ s'adapte à la charge

Parce que comme vous le savez si la fréquence est imposée le champ tournant à cause du fait que la fréquence est imposée, le champ tournant est à une vitesse fixe donc le rotor est à une vitesse fixe aussi, mais à ce moment-là pour que le couple puisse changer, il faut que Epsilon varie et on va dire s'adapte à la charge. Mais il y'aurait une deuxième possibilité, c'est de dire et bien on prend Epsilon je décide d'imposer Epsilon. Pourquoi pas à ce moment-là la vitesse devient variable et c'est la fréquence qui s'adapte à la charge, autrement dit, la vitesse à la fin. Donc deux modes complètement différents, on pourrait presque dire inversé, mais ce n'est pas comme ça qu'on le voit. Un va donc s'appeler marche à fréquence imposée c'est le premier mode, et le deuxième on va l'appeler Auto commutée. Donc on va d'abord voir cette marche à fréquence imposée tout d'abord de manière un peu rapide et on va se concentrer sur l'auto commutation.

Notes

Summary



Mode : f imposé : $\rightarrow \omega$

on impose alors la vitesse Ω

alors : Z_s , φ_s , \hat{u}_i sont définis

De plus, on impose la tension $\hat{u}_1 \rightarrow \varepsilon$ seul paramètre libre pour varier le couple

On dit que le moteur est "en boucle ouverte"

ε s'adapte à la charge jusqu'au

Alors tout d'abord, la marche à fréquence imposée donc le premier mode est la fréquence imposée. Donc je l'ai déjà dit avant, si on impose la fréquence, on impose alors la vitesse Ω je vous rappelle si on impose la fréquence on pose ω la pulsation qui alimente les trois phases du moteur. Alors si la fréquence et donc Ω sont imposés, Z_s et bien on a $\langle R + \Delta \rangle$ dedans donc c'est imposée, φ_s est imposée, la tension induite \hat{u}_i si la vitesse est imposée alors la tension induite est imposée. Donc on peut dire que ses trois grandeurs sont définies et qu'on ne peut rien changer. De plus on va dire que pour notre analyse on impose la tension d'alimentation \hat{u}_1 , alors on voit comme je l'ai déjà dit juste avant que ε est le seul paramètre libre pour varier le couple comme on l'a vu au module précédent quand on a cherché le maximum de couple, cet angle va augmenter, augmenter pour donner toujours plus de couples au moteur, mais arrivés au couple maximum quand $\varepsilon \varphi_s$ le moteur va s'arrêter et décroche. [00 :06 :05] On dit souvent que le moteur est en boucle ouverte dans ce mode. ε s'adapte à la charge jusqu'au maximum de couple.

Notes

Summary



4m 18s

Node : f imposé : $\rightarrow \omega$

on impose alors la vitesse Ω

alors : τ_s , φ_s , \hat{u}_i sont définis

De plus, on impose la tension $\hat{u}_1 \rightarrow \varepsilon$ seul paramètre libre pour varier le couple

On dit que le moteur est "en boucle ouverte"

ε s'adapte à la charge jusqu'à un maximum de couple $P_{max} : \varepsilon_{critique} \rightarrow \varepsilon = \varphi_s$

Si $P > P_{max} \rightarrow \varepsilon > \varepsilon_{critique} \rightarrow$ Moteur "Décroche"

Donc le couple maximum est obtenu à ε critique quand $\langle \varepsilon = \varphi_s \rangle$ et si le couple devient plus grand que le couple maximum alors ε devient plus grand de ε critique et on dit que le moteur décroche et quand le moteur décroche il s'arrête. Si vous voulez que l'électronique continue d'alimenter ce moteur, le champ tournant continu de tourner, mais le rotor n'est plus < croché au champ tournant > donc il décroche il s'arrête c'est pour ça qu'on dit aussi souvent qu'il est en boucle ouverte donc l'électronique ne sait pas que le moteur s'est arrêté. Alors ça c'est un mode qu'on appelle fréquence imposée ou on va simplement appeler ce moteur, moteur synchrone parce que c'est un moteur synchrone, mais par opposition au deuxième mode qu'on va voir maintenant ou on va appeler ça moteur Auto commuté ou même on va aller même plus loin vous le verrez plu tard.

Notes

Summary



Mode Auto-commuté :

\hat{M}_s imposé et ε imposé

ici f est libre, la vitesse s'adapte à la charge !

ε

Le deuxième mode qu'on va voir maintenant c'est le mode auto commuté donc pour le mode auto commuté on a notre tension d'alimentation qui est imposée et également ε imposé comme on l'a dit avant on verra comment pratiquement on fait. Alors ici dans ce cas là, la fréquence est libre la vitesse s'adapte à la charge donc ici lorsque vous prenez le moteur qui est Auto commuté vous mettez le doigt sur l'arbre qui est en train de tourner vous essayer de le freiner, et bien la vitesse va ralentir. Dans le mode précédent c'est ε qui va changer, mais la vitesse ne va jamais changer plus qu'en essayant de freiner le rotor, le champ tournant ayant toujours la même vitesse le rotor doit aller à la même vitesse que champ tournant et donc on n'a aucune variation de vitesse, mais juste l'angle de l'antenne qui change. Dans le mode à fréquence imposé ici dans le mode auto commuté et bien voilà que le seul paramètre libre, c'est la fréquence et donc la vitesse va s'adapter le moteur est dit auto commuté ou auto synchrone et ici on a toujours une solution donc le moteur ne décroche jamais.

Notes

Summary



7m 33s

Mode Auto-commuté :

\hat{M}_s imposé et ϵ imposé

ici f est libre, la vitesse s'adapte à la charge !

En fait il a les caractéristiques d'un Moteur DC classique.

En fait il a les caractéristiques d'un moteur DC classique donc on va souvent appeler ce moteur auto commuté moteur soit synchrone Auto commuté soit moteur à courant continu sans collecteur qui permet de montrer que ce moteur est en train de se comporter comme un moteur à courant continu classique et c'est ça l'immense intérêt d'un tel système. Alors pour bien comprendre parce que c'est assez compliqué de comprendre comment on impose ce fameux Epsilon, je vous rappelle l'angle entre tension induite et tension d'alimentation autrement dit l'angle entre le maximum du champ tournant dans le stator et le rotor qui est composé d'aimants permanents. En somme est-ce que ces deux vecteurs qui tourne sont colinéaires ou pas. Et en fait c'est cet angle Epsilon qu'on va fixer ici et la fréquence va s'adapter.

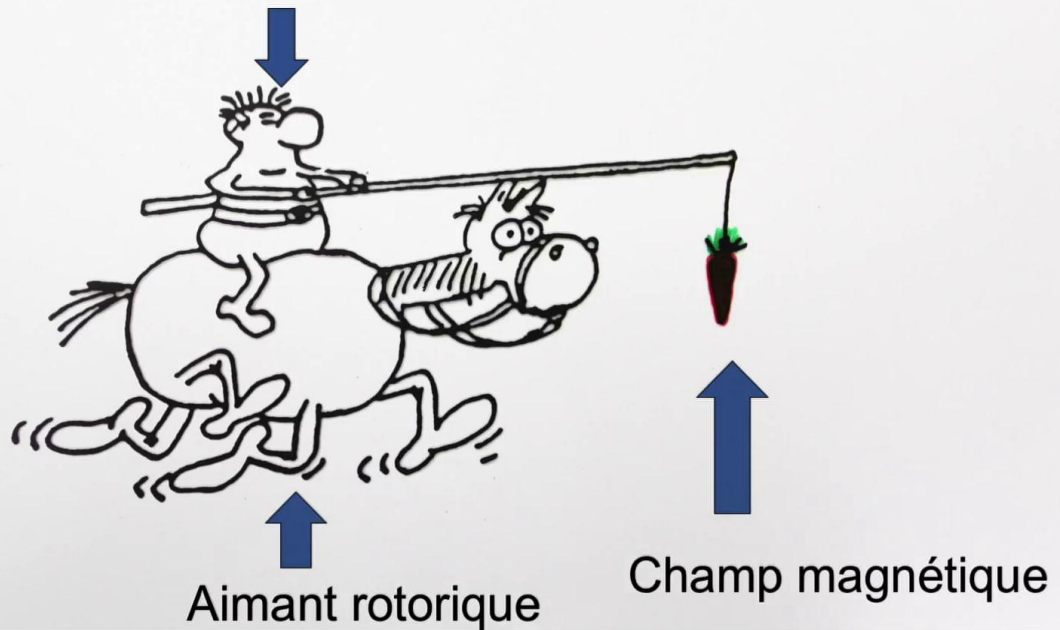
Notes

Summary



9m 01s

Système auto-commuté



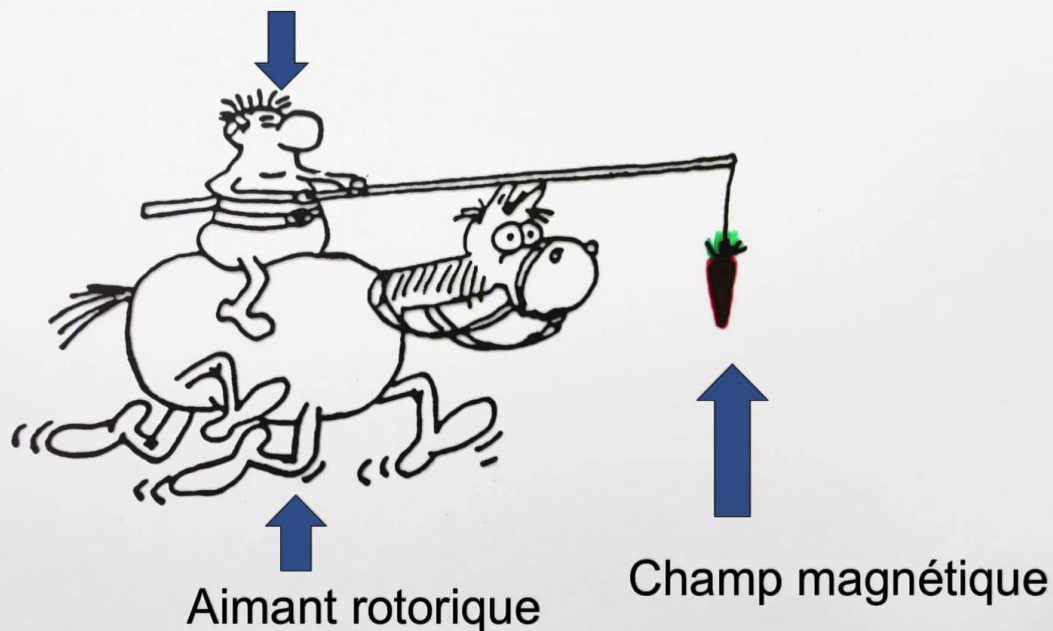
Alors voilà une petite présentation de ce que peut-être l'auto commutation je commence par une petite fable si on veut vous pouvez très clairement voir ici l'âne représenter par exemple par l'étudiant. Je m'excuse madame et monsieur, le professeur qui est avec l'âne et le diplôme qui est la carotte qui permet de faire avancer l'étudiant pour aboutir à ces études alors c'est la première fable, mais vous voyez très très vite qu'on peut inverser les rôles et finalement l'âne c'est peut être plutôt le professeur, l'étudiant qui est sur l'âne et finalement la carotte c'est les papiers, l'excitation donc le monde en fait vous pouvez prendre beaucoup d'exemples comme ceci pour expliquer à peu près la même chose. Maintenant dans notre cas on a l'aimant qui est en fait l'âne qui cours après quelque chose c'est le champ tournant or on a un l'aimant rotorique et le champ tournant et on a décalage entre l'aimant et son tournant entre autres ici c'est la distance qu'on a avec le bras et c'est le système auto commuté qui va régler.

Notes

Summary



Système auto-commuté



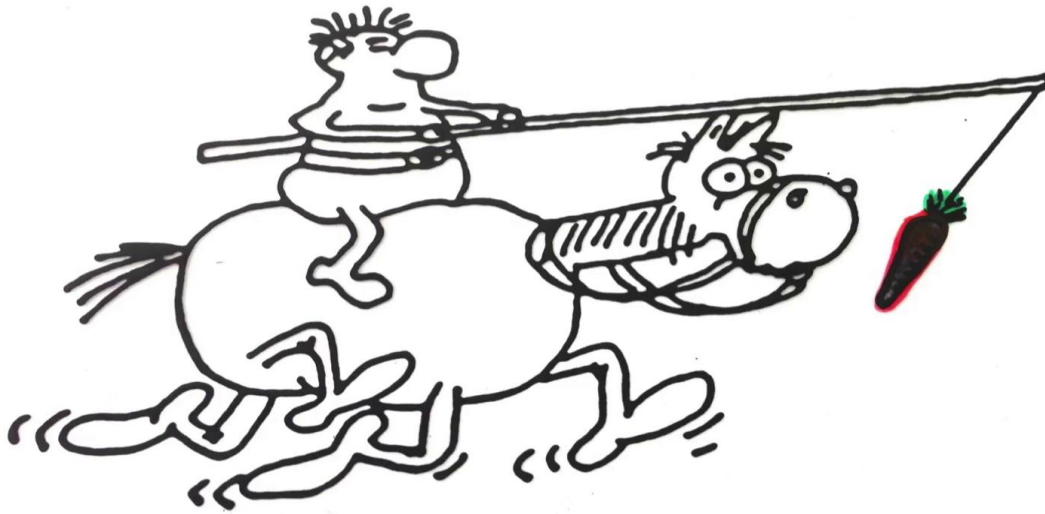
On a dit dans le système auto commuté que Epsilon est fixé donc ici on va tenter ou le système Auto commuté va tenter de garder la carotte par trop loin de la bouche de l'âne et régler de telle manière que les membres avancent relativement bien évidemment si cet angle est grand tu es bien système s'arrête système ne fonctionne plus donc on ne peut pas avoir n'importe quel Epsilon pour faire fonctionner le moteur.

Notes

Summary



11m 22s



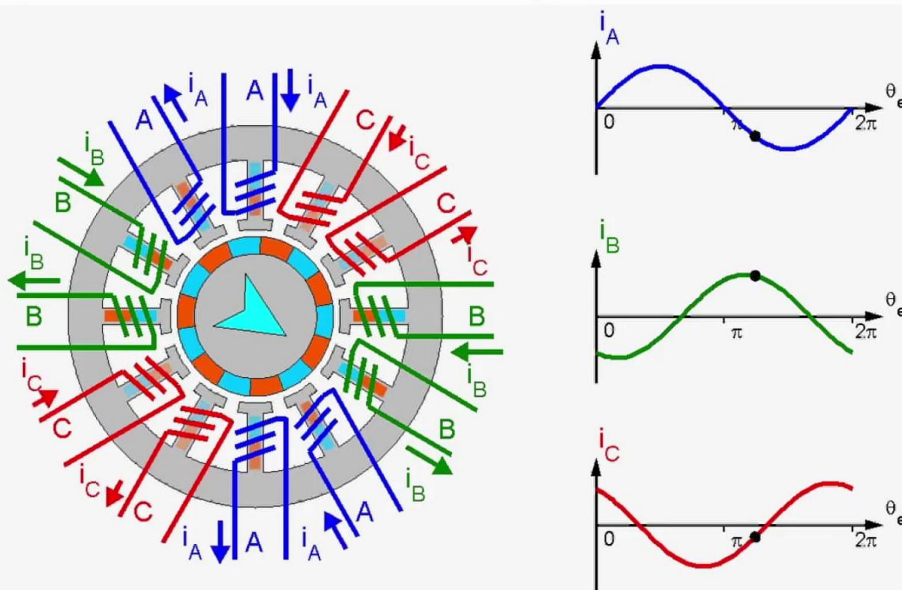
De même si Epsilon est trop petit c'est la même chose, on a un système qui n'est pas Auto commuté et qui ne fonctionne pas mieux si on a le rotor qui est en cours de marches qui est en train de tourner on pourrait avoir un même une adaptation de cet angle Epsilon en fonction de la vitesse, pour obtenir encore de meilleures caractéristiques on verra dans un film projeté dans un autre module qu'on a la possibilité de faire cette adaptation d'Epsilon en fonction de la vitesse soit pour avoir le maximum de coupe pendant toute la plage de fonctionnement, ou alors le meilleur rapport couple sur courant pour avoir une sorte de rendement énergétique.

Notes

Summary



Electronique de commande, multipôles



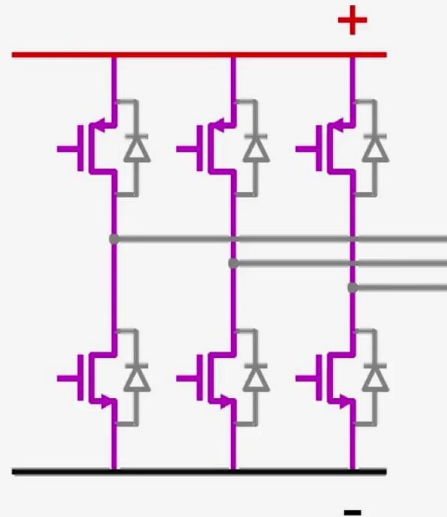
Alors tout d'abord je reviens ici sur une petite chose aussi importante c'est que je vous ai toujours montré des exemples où il y a trois bobines et il y'a deux pôles, mais en fait tout ce que je vous raconte ici c'est tout aussi valable pour un moteur tel qu'il est représenté ici avec plein de bobines et multipôles et vous voyez que là la seule chose qui change c'est finalement la vitesse on démultiplie donc on a une vitesse du rotor plus lente que si on avait juste deux pôles, mais le principe dont j'essaie de vous parler ici est strictement le même avec ses multiples pôles ou avec juste deux pôles comme avant, mais on va revenir à deux pôles pour mieux expliquer, mais c'est juste pour vous puissiez aussi comprendre que ça existe pour toutes les solutions polaires et nombre de dents et nombre de phases. On peut ajouter ici ces sinusoïdales normalement devrait alimenter nos trois phases avec des sinus, mais la réalité est un petit peu différente, pour les tout petits moteurs c'est cher d'avoir les alimentations sinusoïdales. Qu'est-ce qu'on a en disposition souvent on a une alimentation continue DC comment fait quelque chose d'un peu près sinusoïdal avec juste du DC. Et bien on va voir que pour alimenter nos trois phases, un minimum de six transistors est nécessaire, mais suffit à recréer une forme d'onde proche de celle du sinus.

Notes

Summary



Electronique de commande, onduleur



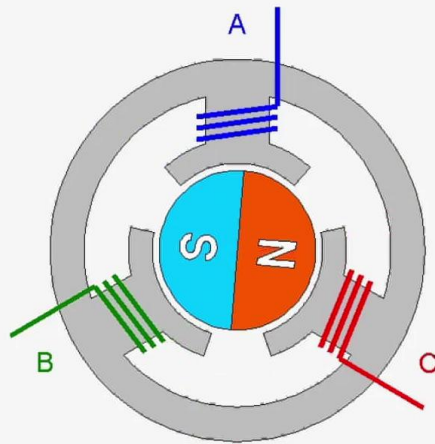
On a ici ces fameux six transistors avec une alimentation DC avec le plus et le moins, et je peux alimenter ces transistors qui sont munis d'une diode de roue libre pour permettre l'extinction du courant donc soit on est en mode ouvert soit on est en mode bloquer on a là les six diodes de roues libres qui permettent de refermer le courant. Alors maintenant on peut imaginer un certain nombre de possibilités, bien sûr on va interdire que chacun des deux transistors n'est de même branche circule parce que sinon on a un court-circuit va et on branche les points milieu sur les trois phases du moteur.

Notes

Summary



Electronique de commande, commutation à 120 degrés



A	B	C
+	-	
+		-
	+	-
-	+	
-		+
	-	+

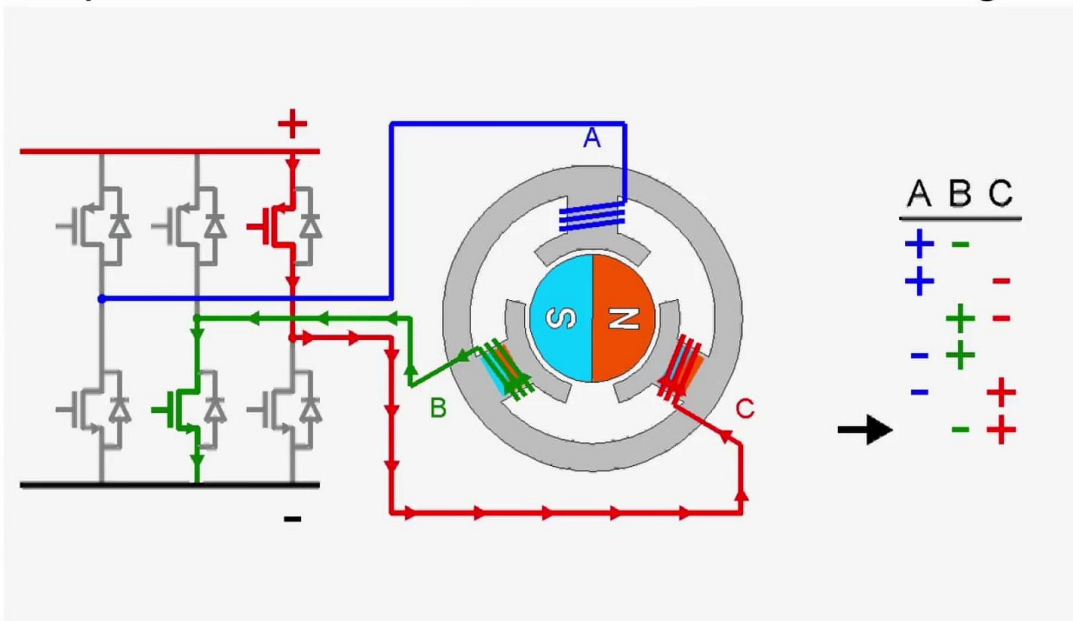
Quelle forme on va obtenir si on alimente ses transistors d'une manière intelligente alors donc maintenant on a ces six transistors, on a notre moteur avec notre rotor et on souhaite donc faire un champ tournant qui fasse tourner ce rotor et j'insiste encore contrôler ce fameux Epsilon. Alors voilà ce qu'on pourrait imaginer ce qu'on va faire, ce sont des créneaux vous voyez ces créneaux c'est pas tout à fait un sinus, mais finalement ces créneaux nous permettent de faire comme un sinus pendant 120 degrés le transistor est allumé éteint et puis négatif et on recommence en tout cas pour A. ceci nous donne une sorte de table d'alimentation pour savoir quand enclencher les transistors les six transistors pour avoir les phases ABC commutées de manière correcte donc on aura toujours deux phases enclencher et une phase qui est éteinte c'est ce qu'on appelle la commutation à 120 degrés parce que la bobine est alimentée durant 120 degrés électrique et est éteint pendant 60 degrés électrique.

Notes

Summary



Electronique de commande, commutation à 120 degrés



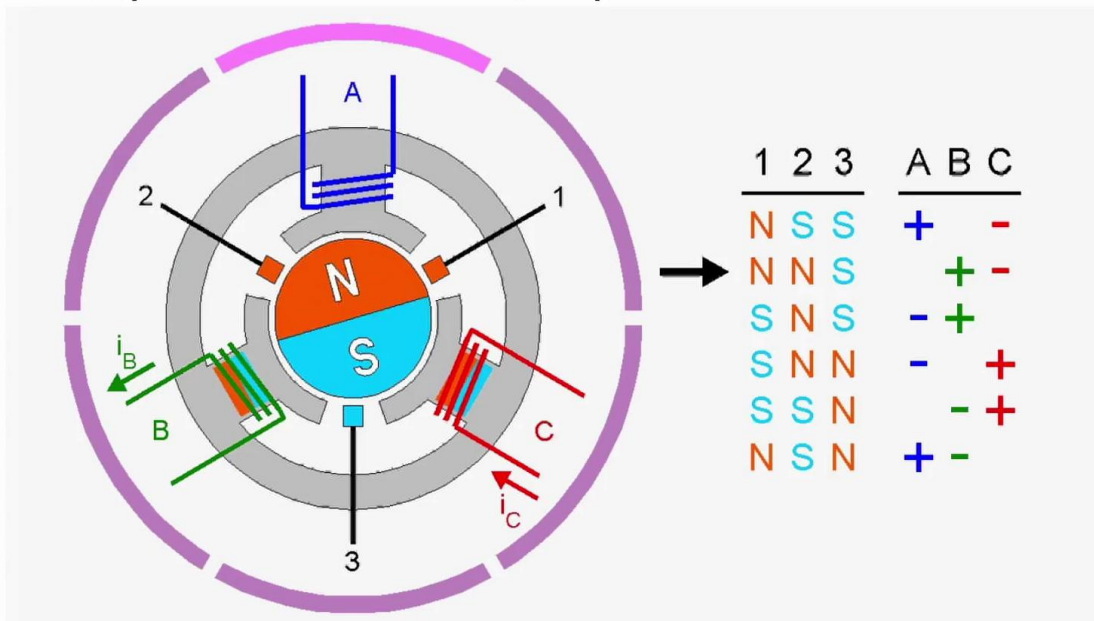
Alors maintenant voyons comment on connecte le moteur à nos transistors et voilà vous avez le transistor bleu et rouge ou vert et rouge ou bleu et vert et vous voyez qu'il y'a toujours deux phases dans lequel le courant circule. Et ce moyen permet de faire trois formes d'ondes très proches du sinus, alors qu'entre le plus et le moins des six transistors c'est une batterie, une simple tension DC, mais en fait à l'intérieur du moteur nous refabriquons trois tensions d'alimentation pseudo sinusoïdale pour faire un champ tournant, maintenant vous voyez quand on change de transistor et bien c'est quand le rotor nord-sud a fait suffisamment d'avance s'est lié à la position du rotor c'est donc lié à cet Epsilon.

Notes

Summary



Electronique de commande, capteur de Hall



Et dont toute l'importance de savoir où se trouve le rotor pour dire quand je passe à la séquence suivante d'alimentation de mes transistors c'est ce qu'on appelle là Auto commutation, mais pour ça il faut connaître la position du rotor et pour se faire on va utiliser des capteurs hall ou d'autres possibilités, mais c'est la manière évidemment la plus simple en ayant trois sortes de halls placées dans d'entre fer il nous est possible de détecter le passage entre le Nord et Sud d'un aimant et c'est ce passage entre Nord et Sud de l'aimant qui nous dit où se trouve l'aimant quand nous savons où se trouve l'aimant et à l'aide des trois informations des capteurs hall on peut fabriquer une table qui nous dit quand nous devons faire le changement d'un état à l'autre dans transistors. C'est ce qu'on appelle réellement ici l'Auto commutation. Donc comme vous le voyez il faut une électronique de commande qui nous permet de fabriquer nos trois pseudo sinus, il nous faut des capteurs pour nous dire quand faire le changement, et donc on a une électronique liée au moteur qui finalement nous permet à la fin d'avoir un comportement normal d'un moteur électrique qui tourne.

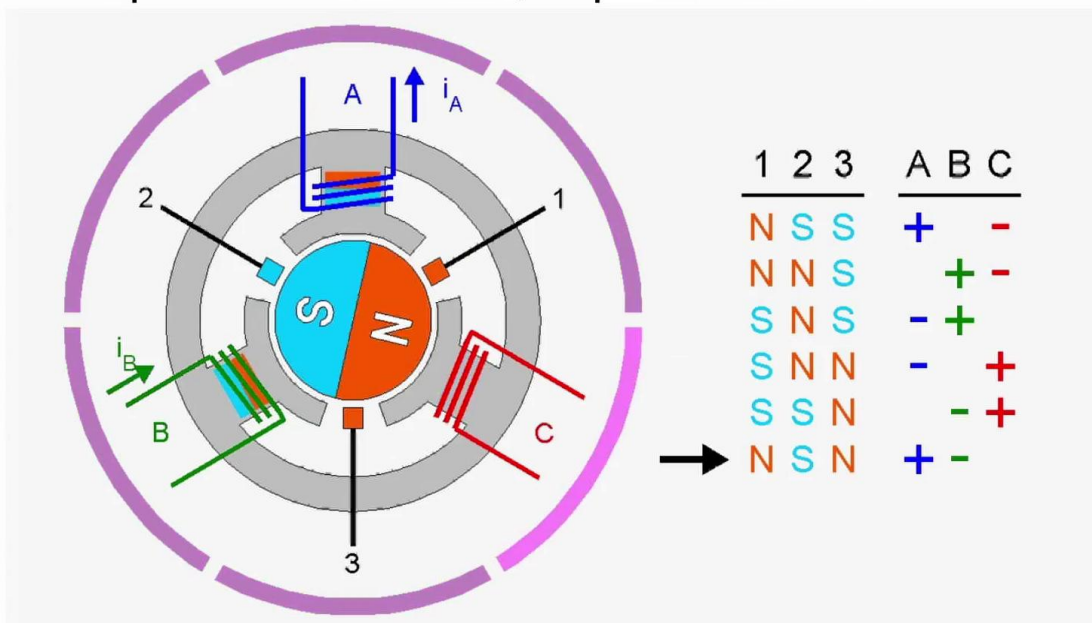
Notes

Summary



17m 00s

Electronique de commande, capteur de Hall



Dans ce cadre-là, le moteur peut accélérer par lui-même comme vous le voyez ici dans cette petite animation. Mais si on le freîne, il va s'adapter à la charge et la fréquence va ralentir je dirais automatiquement il se comporte ici exactement comme un moteur à courant continu classique d'où son nom voilà comme vous l'avez vu ici grâce à une électronique de commande adaptée, le moteur synchrone peut être auto commuté, il se transforme alors <en moteur à courant continu>.

Notes

Summary



18m 16s



- Grace à une électronique de commande adaptée, le moteur synchrone peut être auto-commuté
- Pour l'auto-commuté, l'électronique de commande a besoin de connaître la position du rotor
- Lorsque le moteur est auto-commuté, il adapte sa vitesse à la charge lorsque la tension est constante. Il se comporte comme un moteur DC

Pour l'Auto commutée on a besoin d'une électronique qui connaît la position du rotor souvent on utilise comme on l'a vu ici des ondes de hall, mais on verra qu'on peut aussi utiliser d'autre principe et même le moteur lui-même qu'on appelle alors sans capteur qui permet de s'auto détecter la position du rotor et lorsqu'il est auto commutée, il adapte sa vitesse à la charge très importante de savoir qu'auto commutée veut dire le moteur s'adapte à la charge et donc il se comporte comme un moteur d'essai classique merci beaucoup.

Notes

Summary



18m 56s