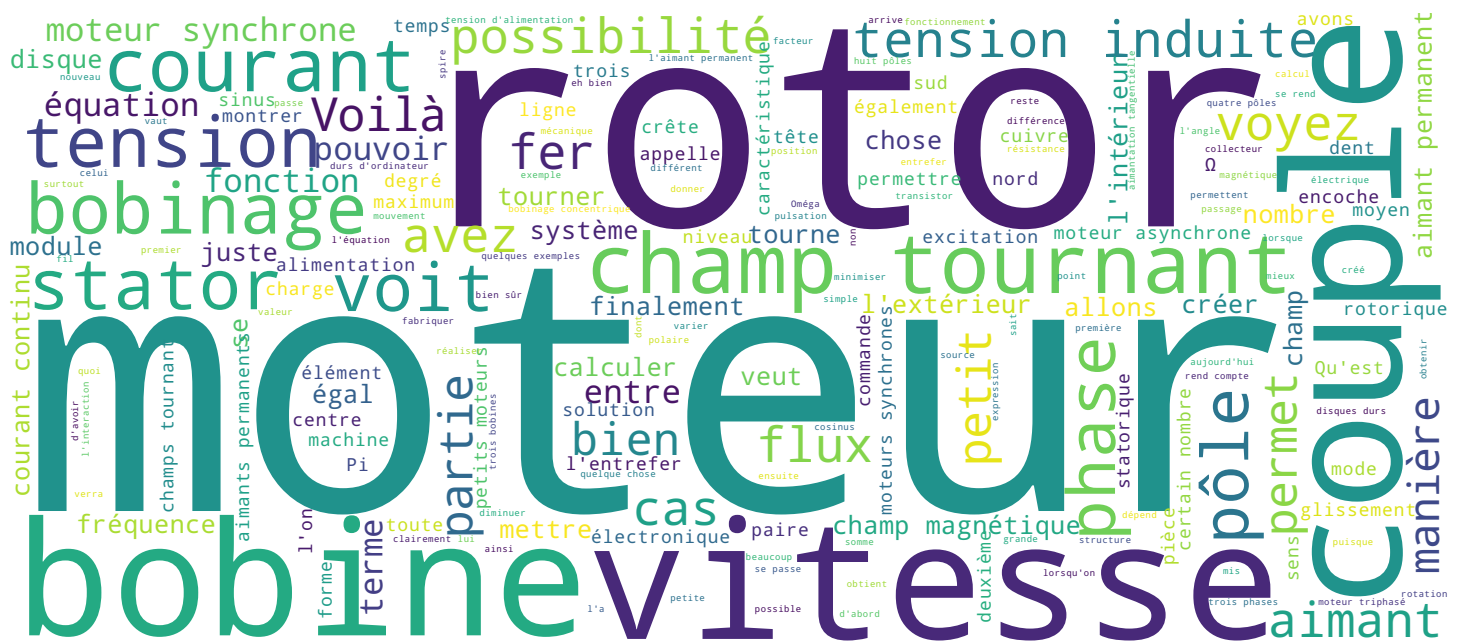


## Prof. Perriard &amp; Dr Koechli



- Bobinage polyphasé pour créer un champ tournant
- Interaction avec un rotor pour la conversion
- Multitude de possibilités



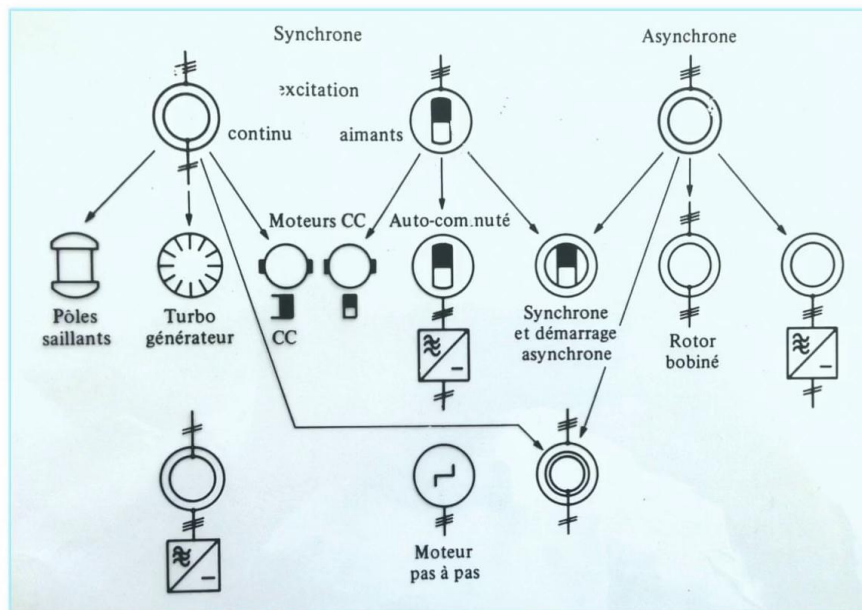
Madame, monsieur, bonjour. Dans ce module consacré à la structure des moteurs synchrones, nous allons voir que nous avons besoin, comme nous le savions déjà avec le module sur les champs tournants d'un bobinage polyphasé pour créer un champ tournant. On va voir aussi que cette création de champs tournants, ce que l'on souhaite, c'est l'interaction avec le rotor. Et on va voir surtout ici, qu'il y a une multitude de possibilités pour construire les bobinages qui permettent de fabriquer ce champ tournant. On va voir ici, et peut-être pour être pas trop exhaustif dans ce module, des moteurs synchrones particuliers, dans le sens où on va axer ce module sur une analyse des petits moteurs. J'entends par là des moteurs de quelques watts à quelques centaines de watts au grand maximum. Les choses deviennent assez différentes lorsqu'on parle de dizaines de kilowatts, centaines de kilowatts. Les machines se construisent autrement. Ici, la problématique est plutôt d'être petit et de faire une intégration au mieux avec ce que l'on a et peut-être pas forcément d'avoir un rendement des machines à 100 %, ce qui est bien sûr ce que l'on souhaite quand on a des moteurs de très grandes puissances.

Notes

Summary



0m 04s

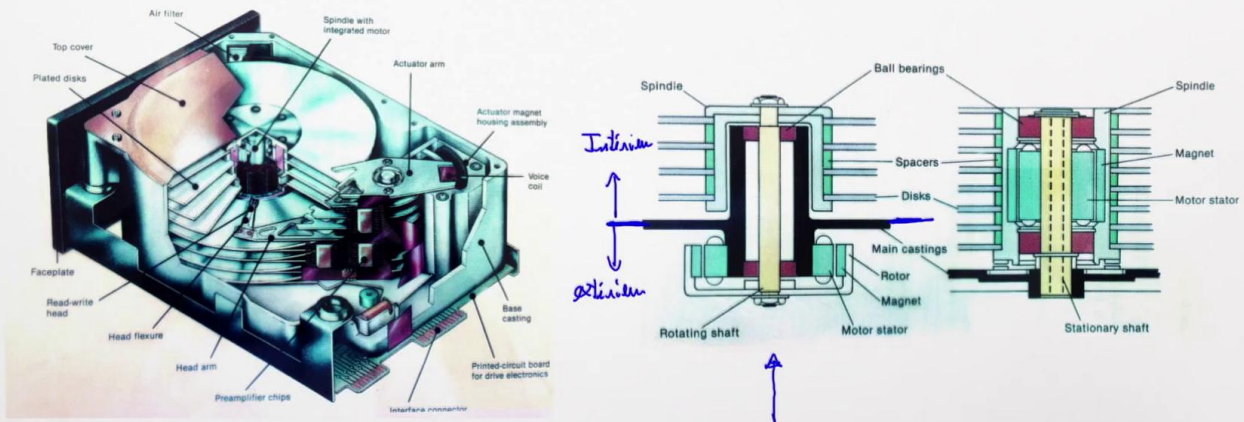


Voilà ici un tableau repris du livre du professeur Jufer qui permet de nous montrer un tout petit peu mieux les possibilités que nous avons. On a deux grandes familles. On s'occupe aujourd'hui des moteurs synchrones. On aura aussi un module sur les moteurs asynchrones mais on voit qu'on a même des moteurs qui se trouvent entre ces deux familles, juste pour pouvoir vous rendre compte de la difficulté qu'on a parfois à faire une classification. Une chose est sûre, la machine synchrone se définit par le fait que le rotor va suivre le champ tournant à la même vitesse que le champ tournant. Finalement, c'est ça qui va faire notre définition, mais pour faire ce champ tournant, plein de possibilités et surtout, pour mettre un rotor à l'intérieur, encore plus de possibilités. Là aussi, parce que ce sont des petites machines qui nous intéressent, des petits moteurs, nous allons nous concentrer sur les moteurs à aimants permanents, même si je vais vous donner ici quelques exemples, parfois, de moteurs réticents on a juste une barre de fer, par exemple, ou une croix en fer dans le rotor ou comme rotor.

Notes

Summary





L'évolution des moteurs synchrones à aimants permanents a été grandement avancée, si on peut dire, grâce aux fabricants de disques durs d'ordinateur. Les disques durs d'ordinateur ont eu très vite besoin fin, des années 80 et début des années 90, de stocker beaucoup d'informations. On a trouvé un moyen de mettre de l'information sur des disques magnétiques. Il fallait faire tourner ces disques magnétiques et mettre des têtes de lecture qui viennent balayer ces disques pour enregistrer ou pour lire les différentes informations numériques qui y sont écrites. Or, l'avancée ici, c'est un, de permettre de tourner toujours plus vite avec les disques et donc de stocker toujours plus d'informations par unité de temps, mais également de permettre une grande stabilité de rotation. Ces deux éléments du cahier des charges ont fait que tout à bord, et vous avez ici un cas où on a le moteur qui est sous les disques, vous voyez très clairement le passage ici. Là, on a la séparation avec en haut l'intérieur du disque et ici l'extérieur du disque. Et à l'extérieur, on met le moteur et on connecte par un arbre, donc tout ce qu'il y a de plus logique.

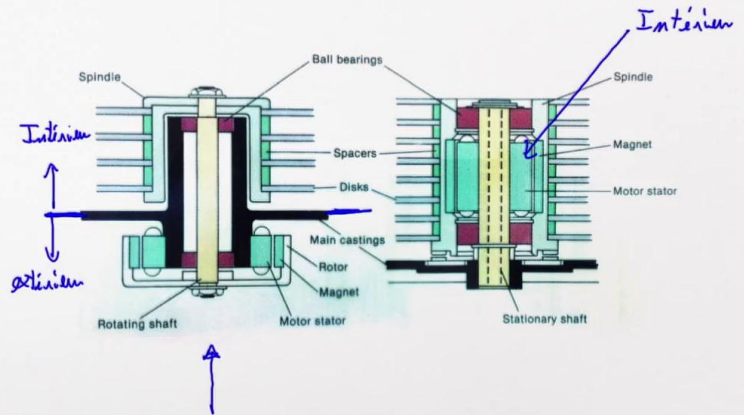
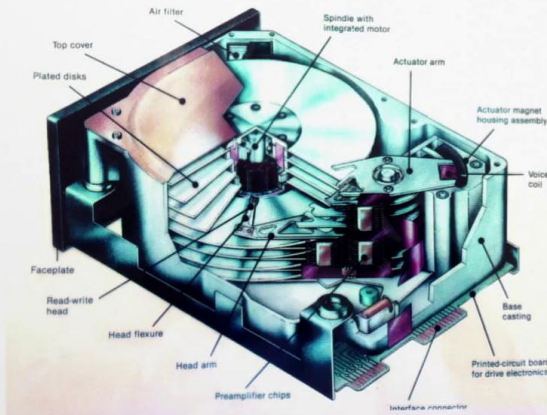
Notes

Summary



2m 30s

# Structure des moteurs synchrones

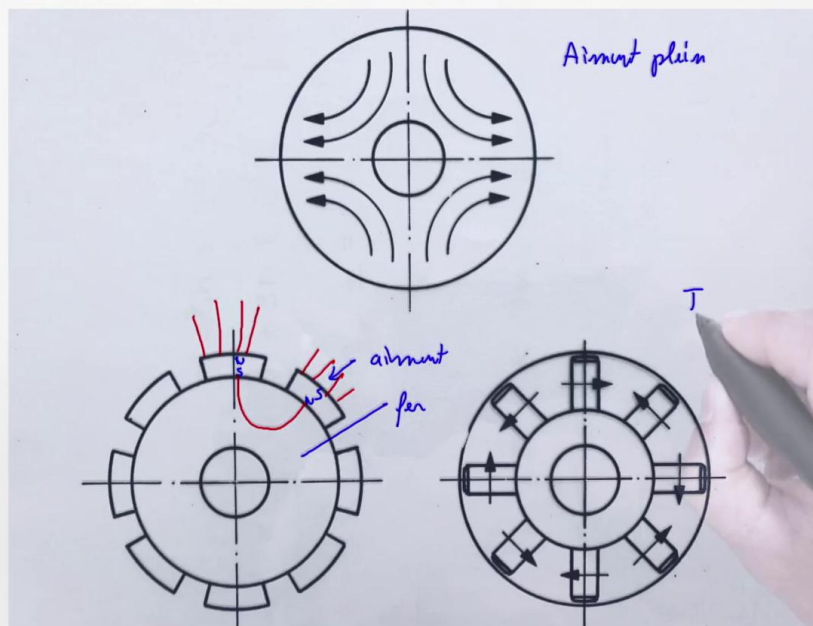


Sauf que l'air est contrôlé à l'intérieur du disque magnétique pour éviter toute poussière et tout élément de défaut. Cette connexion intérieur-extérieur a posé un certain nombre de problèmes, jusqu'à ce que les ingénieurs se disent : « On pourrait mettre finalement le moteur ici, à l'intérieur du disque maintenant » et les deux sont à l'intérieur. On a les disques, on a le moteur et tout ça fait un. C'est un bel exemple d'intégration. Les ingénieurs ont dû, finalement, miniaturiser ce moteur, le rendre toujours plus performant avec un prix aussi attractif que possible.

Notes

Summary





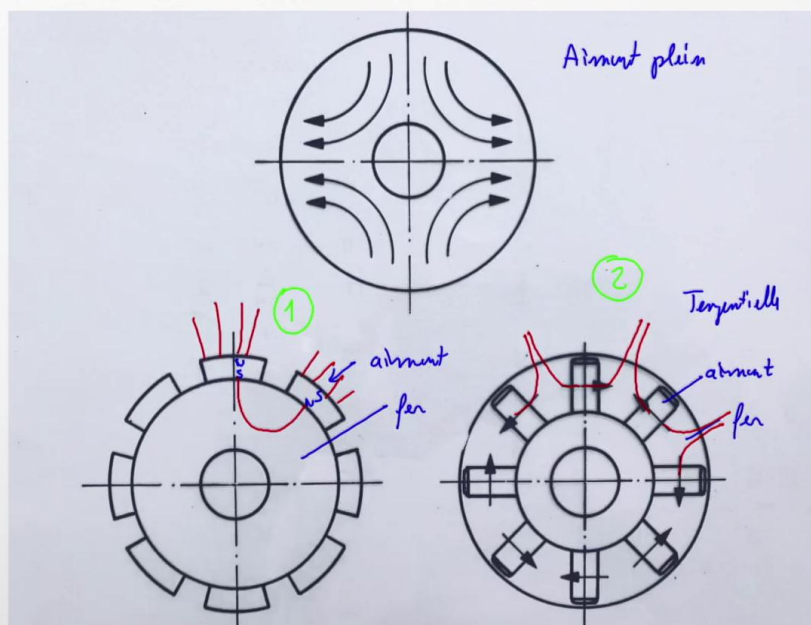
Maintenant, comment peut-on faire le rotor ? On va se concentrer maintenant sur le rotor à aimant permanent, comme je l'ai dit tout à l'heure, mais on voit déjà que là aussi on a de nouveau plein de portes qui s'ouvrent et plein de possibilités pour réaliser ces pôles avec un aimant. Peut-être le plus évident, c'est ici un disque plein ou un cylindre plein, donc aimant plein. Ici, il est polarisé en quatre pôles, donc vous avez le nord, le sud, le nord, le sud, et entre eux deux, une transition. Ce genre de magnétisation donne quelque chose d'assez lisse dans l'entrefer, donc assez proche certainement d'une induction sinusoïdale. Autres possibilités, c'est de mettre ici un anneau, un cylindre en fer, donc en éléments magnétiques, et de mettre ici un aimant qu'on appelle des fois tuile, parce qu'il a la forme d'une tuile. Et cet aimant va être magnétisé, par exemple, nord-sud, nord-sud, etc. Que vont faire les lignes de champ ? Les lignes de champ vont passer ainsi, se refermer là et ici on fabrique un champ magnétique dit radial dans l'entrefer, ce qui peut aussi être intéressant pour certaines machines. Une dernière solution qui s'offre à nous, c'est l'aimantation dite tangentielle.

Notes

Summary



4m 36s

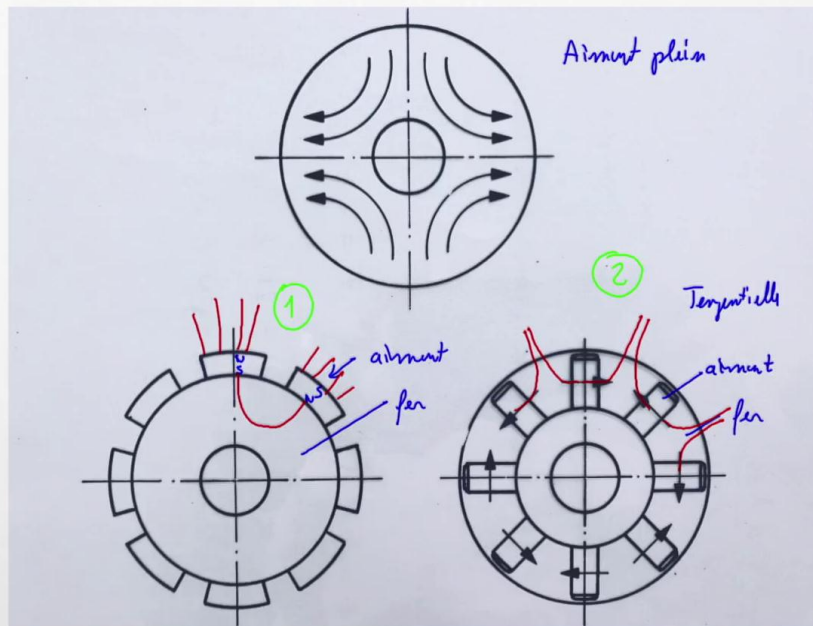


Cette aimantation tangentielle consiste à avoir du fer toujours ici et d'avoir un aimant permanent ou des aimants permanents qui sont mis de manière un peu étrange radialement dans cette pièce de fer. Vous voyez la magnétisation qui est indiquée ici avec les flèches. On va alors fabriquer un champ magnétique ainsi et de nouveau refabriquer un nord, un sud, un nord, un sud. On ne déroge pas à la règle, les trois magnétisations font la même chose, mais ici avec une chose intéressante. Remarquez que dans ce cas ici numéro un, une ligne de champ, si j'essaye de la suivre, passe par un aimant, puis passe par un autre aimant. Donc la ligne de champ traverse deux aimants. Dans mon exemple numéro deux, c'est différent. Une ligne de champ traverse une seule fois l'aimant et puis remonte. Et donc ceci nous permet, comme on sait que l'aimant permanent a une perméabilité relative proche de l'air, donc assez mauvaise finalement comme conducteur, c'est un mauvais conducteur magnétique, la magnétisation tangentielle nous permet de minimiser, si on veut, ce passage par un matériau qui conduit mal le champ magnétique. On arrive à augmenter l'induction dans notre fer avec la solution tangentielle.

Notes

Summary



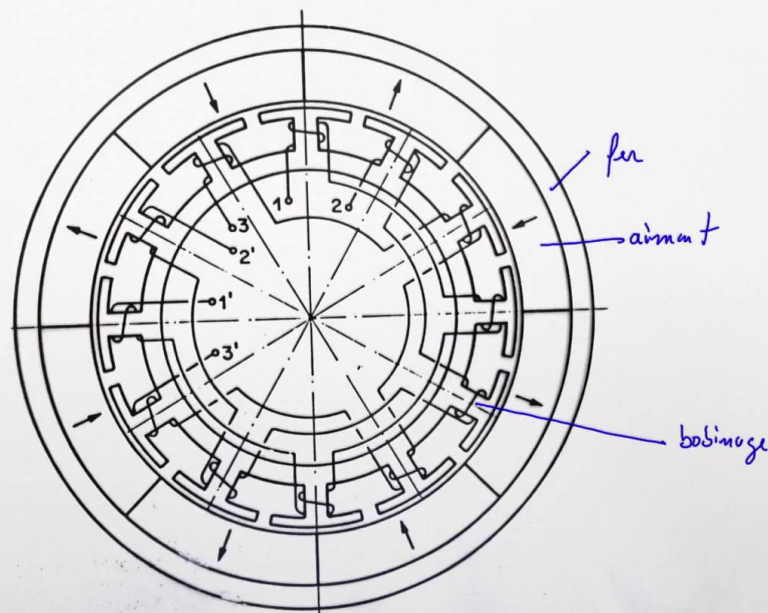


Mais le grand défaut de cette aimantation tangentielle, c'est sa complexité, puisque vous voyez qu'il faut tenir ces aimants radialement dans ces pièces en fer. Il faut que tout ce rotor tienne ensemble et tourne. C'est un défi aussi mécanique après, pour faire que tout ceci fonctionne.

Notes

Summary



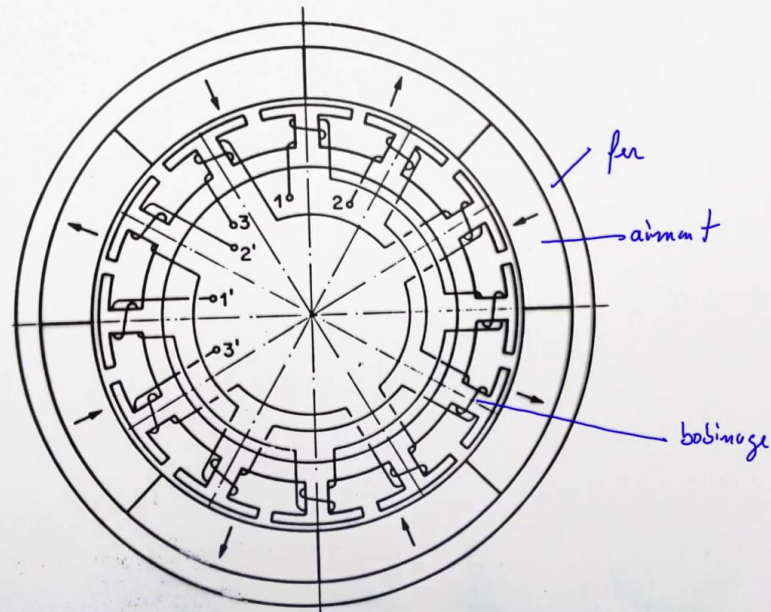


Voici maintenant un aimant permanent. Ici, la solution où on a la pièce en fer au centre, les aimants tuiles collés. On a ici clairement quatre pôles qui sont réalisés et on a mis ce rotor dans un stator maintenant avec un certain nombre de dents, un certain nombre d'encoches qui vont fabriquer le champ tournant. Et l'interaction va alors jouer pour réaliser le champ tournant qui interagit avec les quatre pôles de l'aimant permanent et qui vont le faire tourner. Une autre solution avec le même stator qu'on a vu précédemment, mais ici avec ce rotor à aimantation tangentielle, on voit ici pratiquement aucune différence de l'extérieur. Mais évidemment, les caractéristiques de ce moteur seront différentes puisqu'on aura certainement ici une induction magnétique plus élevée et normalement, un couple plus élevé pour le même diamètre de moteur. Voilà encore une autre structure. J'en ai pris quelques-unes pour vous montrer quelques exemples. Ici, juste pour que l'on comprenne bien, on a du fer ici, on a des aimants qui sont ici et on a le bobinage qui est ici, au centre. C'est juste pour vous montrer qu'il est aussi possible d'avoir les bobinages au centre, la partie fixe au centre.

Notes

Summary





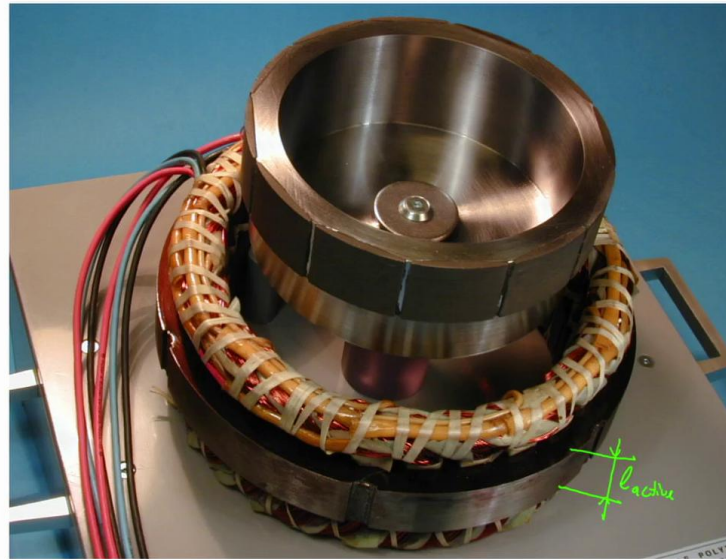
On a donc un stator ici, au centre et on a le rotor à l'extérieur qui tourne à l'extérieur. On appelle ça un moteur synchrone à rotor externe ou à rotor extérieur. Ne pas forcément croire que ce qui est à l'extérieur, c'est le stator et à l'intérieur, c'est le rotor. C'est ce qui tourne qui est le rotor et c'est ce qui est fixe qui est le stator.

Notes

Summary



9m 43s



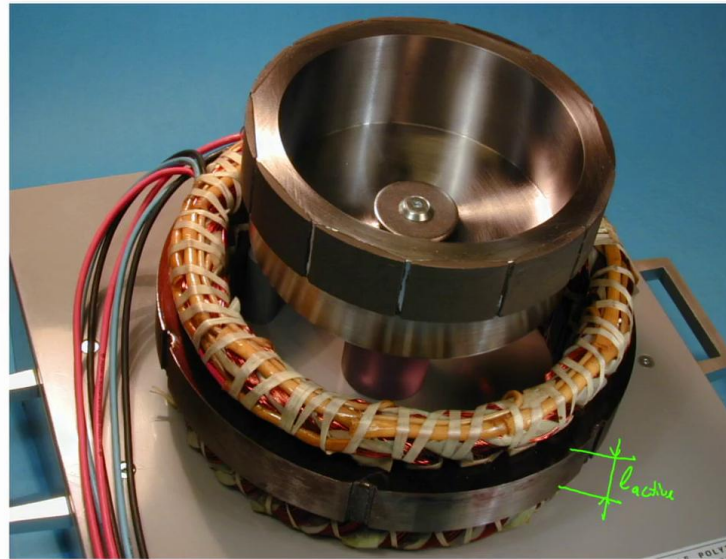
Voilà maintenant quelques images pour vous montrer de manière un peu plus spécifique avec quelques exemples. Je vous parlais dans le module précédent de la développante ou des têtes de bobine et que souvent, dans les petites machines, dans les petits moteurs, on essaye de faire des bobinages concentriques. On va tourner autour de la dent pour gagner de la place dans la hauteur ou dans la longueur du moteur. Vous avez cet effet très clairement indiqué ici. Vous avez finalement la partie active, vous la voyez là. C'est cette partie entre les deux flèches longueur active c'est l'épaisseur du stator en fer. C'est celle qui va permettre de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique. Mais tout ce qu'il y a au-dessus que vous voyez là, donc toute cette partie-là, ainsi que toute la partie de dessous, ce sont des bobinages de cuivre qui ne servent à rien. Enfin, qui ne servent à rien, on s'entend ? C'est pour refermer le circuit électrique, c'est évident. Mais ce bobinage ne va faire aucune conversion électromécanique à cet endroit. Il va donc faire quoi ? Créer des pertes joules, parce que le courant qui passera dans les bobinages dessus et dessous la longueur active notée en vert va finalement ne faire qu'une seule chose, c'est produire des pertes et donc diminuer le rendement du moteur.

Notes

Summary



10m 05s



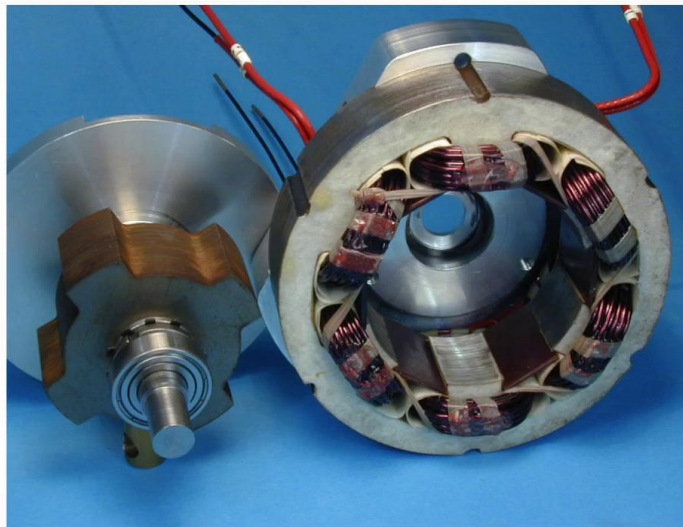
Vous avez ici un rotor avec ici une structure un petit peu particulière. Ce moteur a été utilisé pour faire un moteur de véhicule électrique.

Notes

Summary



11m 32s



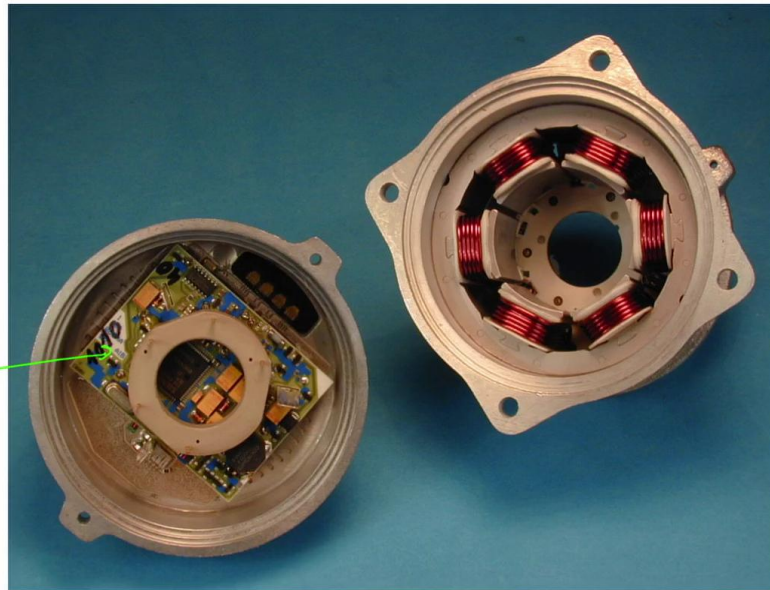
Une tout autre conception, mais pour vous montrer ici une autre possibilité avec un bobinage qui est lui concentrique, très clairement autour de la dent. Et là, le rotor est juste fait de fer, c'est donc un moteur réluctant. On a déjà vu certaines de ces images lorsque je vous ai parlé du champ tournant.

Notes

Summary



Électronique de commande



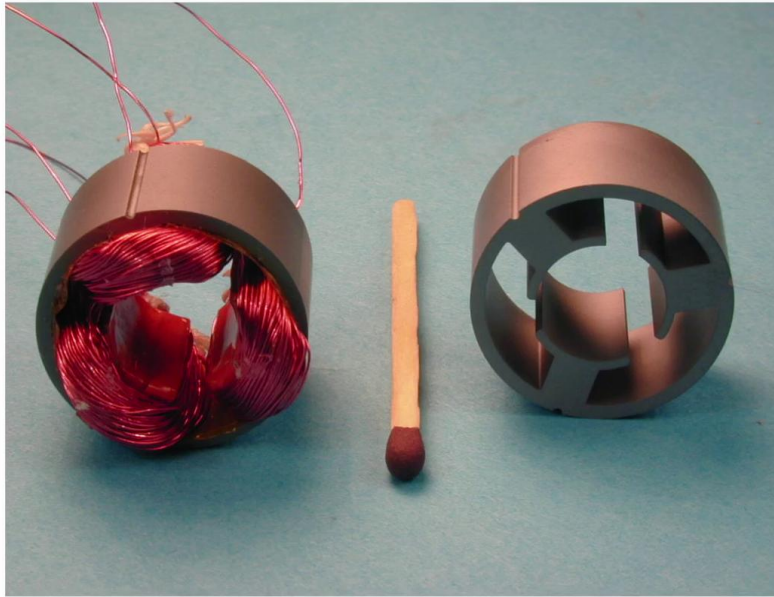
Ici, un moteur synchrone assez particulier. Je vous ai aussi déjà montré cette photo dans le module précédent. On voit très clairement de nouveau qu'on a un bobinage concentrique. On a même beaucoup de place : « perdue ». On a optimisé ceci pour des questions de prix, de fabricabilité. Mais ce que vous voyez, c'est surtout la partie qui est ici à gauche. Et cette partie, c'est l'électronique de commande. Cette électronique de commande va, d'une manière ou d'une autre, modifier les caractéristiques d'alimentation que l'on donne au bobinage pour rendre ce moteur intéressant. Ça reste un moteur synchrone, mais on va lui donner un nouveau nom en fonction du type d'alimentation qu'on va donner. On entrera dans les détails plus tard, mais vous voyez ici une intégration extrêmement bien faite de cette électronique qui se trouve directement derrière le moteur. On va donc plutôt parler ici même d'un entraînement électrique puisqu'on n'a pas que le moteur ici sur cette photo, mais le moteur et son électronique associés. Et on pourrait même imaginer le moteur, l'électronique et son réducteur ou un autre élément mécanique pour changer la vitesse ou réduire la vitesse.

Notes

Summary



12m 10s

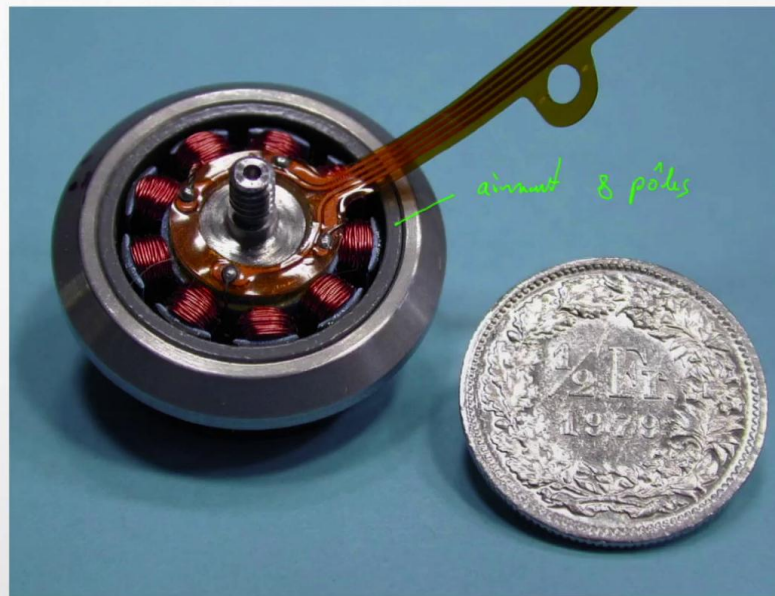


Voilà ici un tout petit moteur, toujours moteur synchrone à aimant permanent, concentré et on voit ici aussi de nouveau l'effet finalement des développantes, donc cette partie du cuivre qui nous intéresse pas mais qu'on essaie de minimiser. Ici, on a un moteur relativement petit et finalement, on commence à avoir peu de possibilités de bobinage pour pouvoir faire les choses de manière correcte quand on est si petit. Donc, distribuer le bobinage deviendrait relativement difficile pour ceux qui savent de quoi je parle avec la distribution d'un bobinage.

Notes

Summary





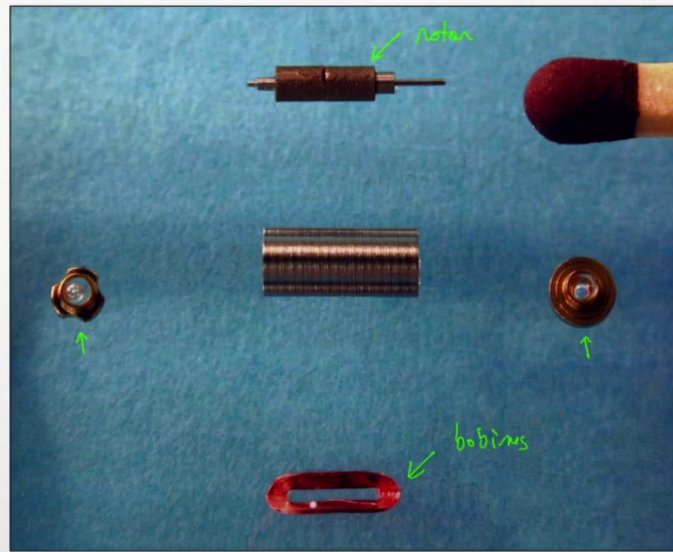
Voilà, ici un magnifique moteur synchrone utilisé dans l'entreprise Seagate pour les disques durs d'ordinateur à l'époque. Vous voyez ici aussi un bobinage particulier. Ce bobinage a neuf encoches. C'est un moteur triphasé, trois phases. Ces neuf encoches créent huit pôles et ces huit pôles sont également retrouvés au rotor. Le rotor est ici sur cet anneau. Ça, c'est l'aimant permanent, un aimant à huit pôles ou quatre paires de pôles.

Notes

Summary



13m 59s

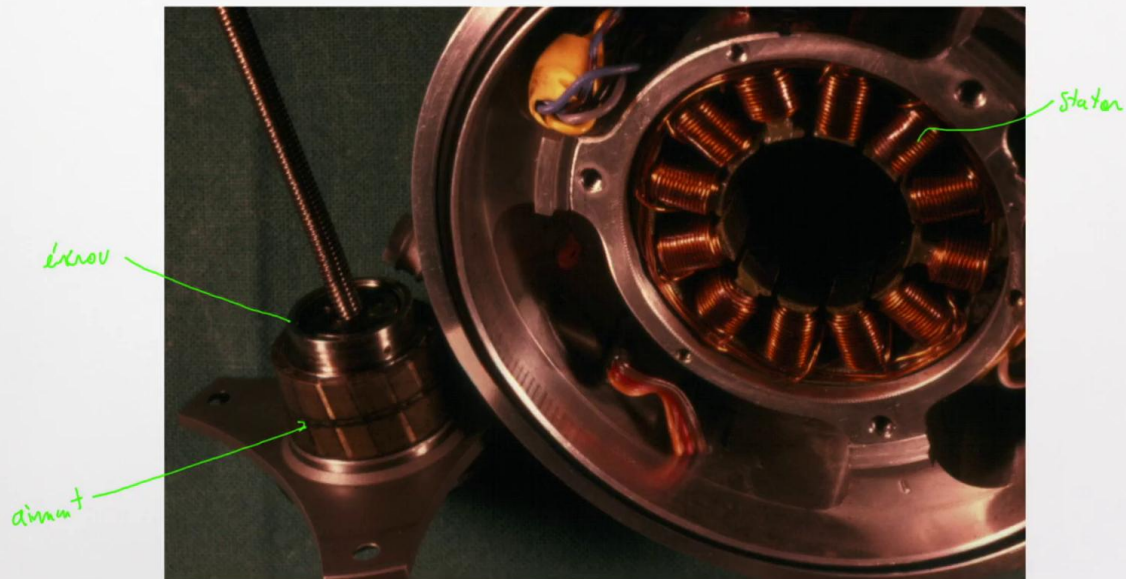


Voilà encore un tout petit moteur. Là, on arrive dans le minuscule... Le diamètre extérieur fait 3 millimètres. Vous avez ici le rotor qui est minuscule, évidemment. Dans ces tailles, on a finalement peu de possibilités de faire une de polarité très grande. Là, c'est un moteur deux pôles et on a ici une des bobines du moteur. Bien sûr, on a besoin d'au minimum deux bobines, mais ici, on a trois bobines, c'est un moteur triphasé, symétrique, avec trois bobines qui sont mises sur la circonférence. Et les deux pièces que vous voyez ici, ce sont les roulements. Ces deux pièces sont des roulements si petits, mais qui permettent de guider le rotor à des vitesses relativement élevées.

Notes

Summary





Voilà aussi un bel exemple de moteur avec ici, non pas son électronique de commande comme je vous l'ai montré avant, mais ici avec son réducteur intégré. Vous avez ici un stator qui permet de créer le champ tournant et vous avez ici le rotor avec clairement les aimants permanents qui sont posés en forme de tuiles et même penchés. C'est un moyen de réduire le couple réactant. Mais le rotor est lui-même l'écrou d'une visse à rouleau satellite. Et cet écrou sur cette vis sans fin permet finalement de transformer le mouvement rotatif en un mouvement linéaire. Là, vous avez une belle intégration de nouveau et qu'on va plutôt appeler un entraînement électrique à ce stade.

Notes

Summary



15m 29s



- Pour les petits moteurs synchrones, l'aimant permanent est intéressant
- Une grande diversité de possibilité est offerte en changeant les nombres de phase, pôle et encoches
- Pour les petits moteurs, un bobinage concentrique est souvent utilisé pour diminuer la longueur des têtes de bobine

En conclusion, comme vous l'avez vu, pour les petits moteurs synchrones, l'aimant permanent est intéressant. On le verra aussi quand on parlera des modules sur les lois de similitude. On peut démontrer que c'est un meilleur rendement lorsque le moteur devient petit, d'avoir un aimant permanent. On a une grande diversité de possibilités, vous l'avez vu, offertes en changeant les nombres de phases, de pôles, d'encoches, de formes. Je n'ai bien sûr pas assez de temps pour vous montrer toutes les possibilités. Pour les petits moteurs, on l'a vu aussi, j'ai insisté plusieurs fois, un bobinage concentrique est souvent utilisé nous permet de diminuer la longueur des têtes de bobine. Il nous permet donc d'intégrer mieux la géométrie, finalement, de notre moteur dans un système plus important tel qu'un robot ou un autre élément dans lequel le moteur doit fonctionner. Voilà, merci beaucoup. À la prochaine fois.

Notes

Summary



16m 25s