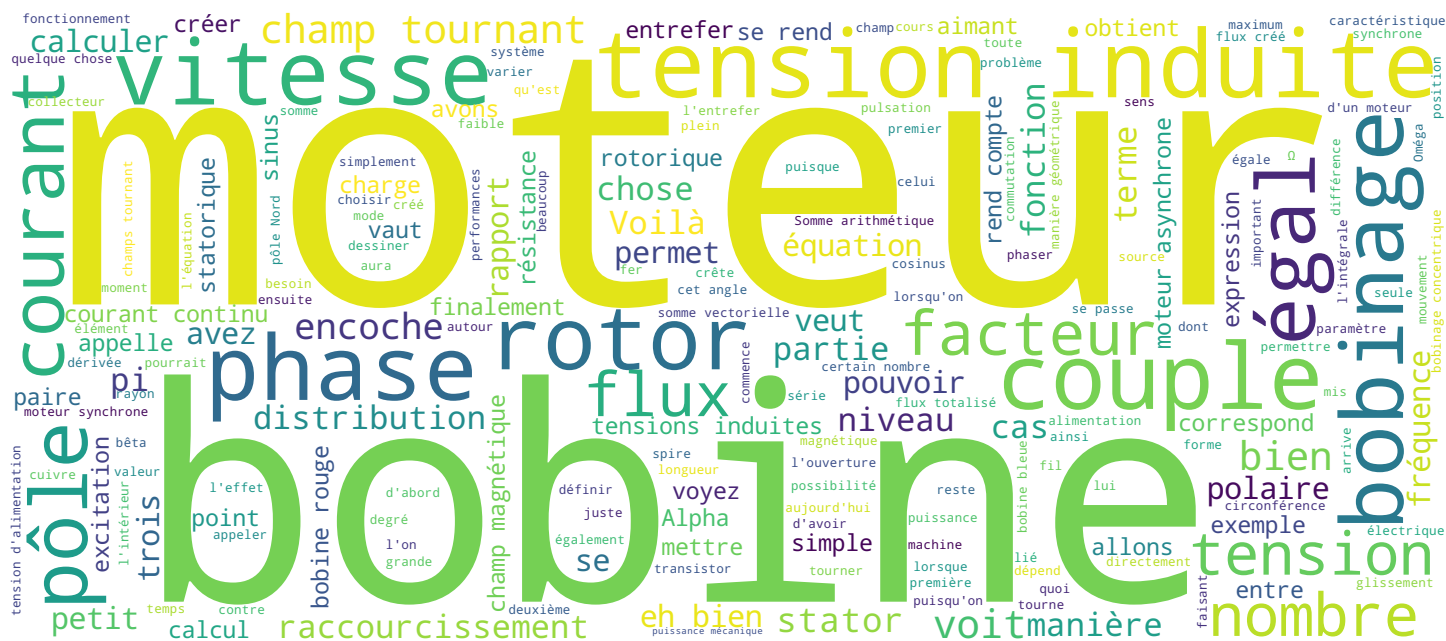


Champ tournant et bobinage :

Facteurs de bobinage

Conversion électromécanique

Prof. Perriard & Dr Koechli



Search MOOC



Video



$$U = Ri + \frac{d\varphi}{dt}$$

Bonjour. Aujourd'hui nous allons tenter de comprendre quel est l'effet du bobinage sur les performances des moteurs. Comme il y a des centaines d'ouvrages qui traitent uniquement de bobinage dans la littérature. C'est un point très important du dimensionnement des moteurs dont on ne va avoir qu'une toute petite partie. Lorsqu'on dimensionner un moteur électrique, on va choisir son nombre de pôles et aussi son nombre d'encoches entre autres. C'est généralement des paramètres qu'on va faire varier pour essayer de trouver le moteur optimal qui correspond à notre cahier des charges. Pour pouvoir le faire il nous faut une manière de quantifier l'effet de nos choix sur les performances du moteur. Cet effet se mesure principalement sur la tension induite et sur la résistance du moteur. On ne va pas s'occuper de la résistance parce que ça c'est relativement facile à calculer. Ce qui va nous intéresser aujourd'hui c'est l'effet des paramètres du bobinage sur la tension induite du moteur. Alors la tension induite du moteur on la connaît bien. On peut écrire l'équation de tension sur une des phases du moteur ça c'est quelque chose qu'on a déjà vu plein de fois au cours de conversion électromécanique.

Notes

Summary



0m 04s

Tension induite - Facteurs de bobinage

$$U = Ri + \frac{d\psi}{dt}$$

$$\psi = k_w N \phi$$

$$k_w = k_z \cdot k_s$$

On voit qu'on a un terme qui est lié à la dérivée du flux totalisé. Le flux totalisé on va pouvoir l'écrire comme étant proportionnel au flux que voit l'entrefer du moteur qui circule dans l'entrefer du moteur, du nombre de spires puisque c'est un flux totalisé. Puis on va y ajouter un facteur de bobinage qui mesure justement l'influence du bobinage sur le flux totalisé. Alors ce facteur de bobinage on va le décomposer en deux termes on va avoir un facteur de distribution K_z puis un facteur de raccourcissement K_s . Alors le facteur de raccourcissement. On va voir à quoi il correspond.

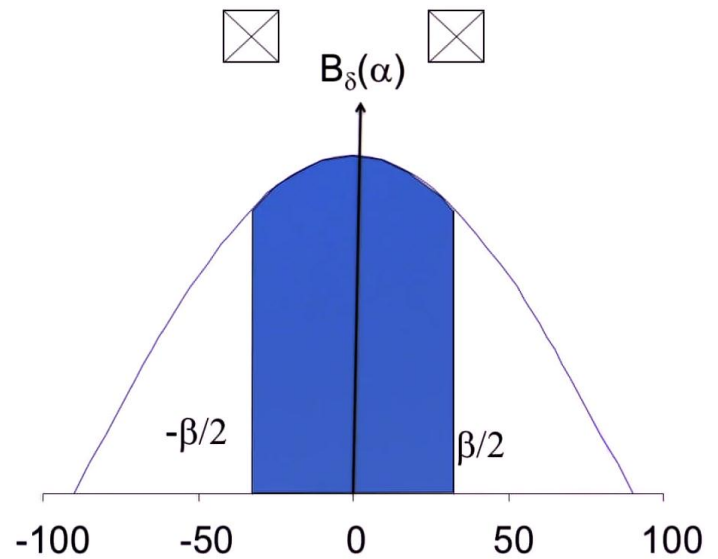
Notes

Summary



1m 35s

s : ouverture de la bobine [mm]



Le facteur de raccourcissement. Il mesure en fait l'effet de la manière dont la bobine est construite et puis du flux qu'elle voit qui n'est pas forcément le l'instant du flux d'un pôle. Alors pour pouvoir représenter les choses, je vous fais dessiner la courbe d'induction dans l'entrefer. Ça c'est l'induction dans l'entrefer du moteur et vous voyez qu'on l'a estimée comme étant un signe du solide. Il peut y avoir quelques harmoniques mais a priori on ne va pas s'en occuper aujourd'hui. Et puis je vous ai également dessiné une bobine dont chacun des côtés se trouve représenté ici et vous voyez que cette bobine est plus courte que le pas polaire qui va d'ici à là et donc elle va ne voir que cette partie du flux magnétique. Le flux c'est l'intégrale de B fois une surface. Et donc vous aurez dans la bobine que cette partie du flux. Alors quel est le facteur de raccourcissement ? Pour ça on va avoir besoin de définir tout d'abord quelle est l'ouverture de la bobine donc quelle est la distance entre ce point ainsi et ce point là ? ça on va l'appeler s et ça c'est l'ouverture de la bobine. En fait c'est des millimètres ou des mètres. J'ai à l'habitude des petits moteurs donc j'ai mis des millimètres.

Notes

Summary

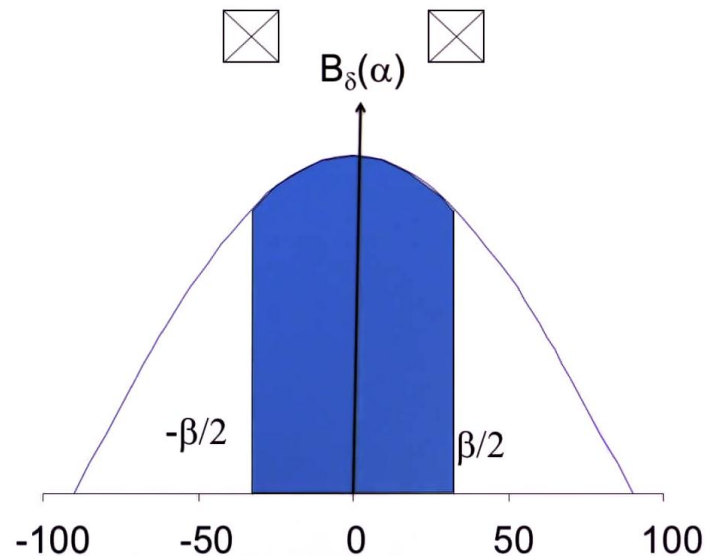


S : ouverture de la bobine [mm]

$$\beta = \frac{S}{\tau_p} \pi$$

$$\phi_s = \phi \frac{\int_{-\beta/2}^{\beta/2} \cos \alpha d\alpha}{\int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos \alpha d\alpha} = K_s \phi$$

$$K_s = \frac{2 \sin(\beta/2)}{\beta} = \sin\left(\frac{S}{\tau_p} \cdot \frac{\pi}{2}\right)$$



On peut également calculer l'angle bêta à partir de cette ouverture. Ça on l'obtient en partie avec une expression en fonction du pas polaire. Ça c'est l'angle électrique qui est lié à l'ouverture de bobine. Puis que vaut le flux que voit la bobine ? C'est assez facile faut faire l'intégrale dans le flux que voit la bobine. On va l'appeler filiale. Puis c'est égal au flux total et on fait le rapport des intégrales donc entre bêta sur 2 et bêta sur 2 de mon cosinus de Alpha d Alpha. L'autre flux eh bien c'est simple c'est l'intégrale entre -pi sur 2 pi sur 2 puisqu'on a l'entier du pôle. Et ça pourra l'appeler s. cette expression ici c'est K S. Si on effectue l'intégrale et bien on obtient k s égal à 2 fois le sinus de bêta sur 2. ça c'est ça cette intégrale c'est de remplaçant l'expression de bêta qu'on a ici, bien le sinus de S sur Ta p. Voilà pour le raccourcissement.

Notes

Summary



Facteur de distribution: principe



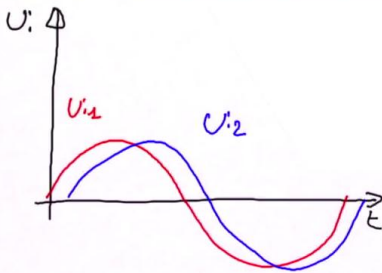
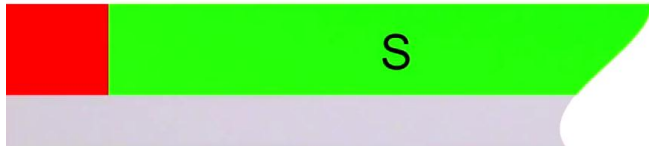
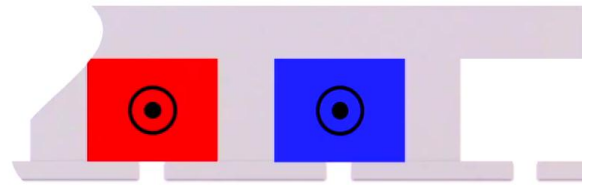
Maintenant on a un autre facteur qui est le facteur de distribution il y a des fois où on n'arrive pas à mettre toutes les bobines d'une phase dans une seule encoche. On doit faire plusieurs bobines pour pouvoir obtenir une répartition correcte de la phase dans les encoches. C'est ce que vous dessinez ici donc vous avez ici une première bobine et puis ici une deuxième bobine en bleu. Et puis ces deux bobines font partie de la même phase. Si on n'avait pas fait comme ça on devrait faire des encoches très profondes et puis on n'arriverait pas à faire les choses de manière efficace au niveau du bobinage. Donc on a mis les bobines dans les encoches et on a dû les répartir. Pour pouvoir comprendre ce qui se passe au niveau de la tension induite. Eh bien j'ai pris le cas particulier d'un moteur à aimants permanents. Donc vous voyez qu'ici j'ai dessiné un pôle sud en un pôle Nord, il reste un pôle Nord ici. Et puis on va supposer que cet aimant se déplace comme ça dans, lorsque le moteur tourne en fait. Alors qu'est ce qui se passe au niveau des tensions induites. Alors je vais les dessiner. Donc si on dessine les tensions induites en fonction du temps eh bien on obtient pour la bobine rouge une sinusoïde.

Notes

Summary



Facteur de distribution: principe



Ça c'est une. Puis en fait ce qui va se passer c'est que comme la bobine bleue est décalée par rapport à la bobine rouge eh bien on va avoir aussi un décalage temporel dans la tension induite de la bobine bleue par rapport à la tension induite de la bobine rouge. C'est ce qu'on a alors, j'exagère peut-être un peu. Voilà on a un décalage entre ces deux tensions induites. c'est en décalage qu'on peut également représenter sous forme de phases. C'est à dire que ma bobine rouge si c'est la référence un phaser U_{i1} puis la bobine bleue j'aurai un phaser U_{i2} décalé. Si on imagine que ces deux bobines font partie de la même phase, Eh bien on va devoir les mettre en série pour les mettre en parallèle puisqu'elles sont déphasées on va devoir les mettre en série et on se rend compte que la somme de ces deux phasers ne va pas être égale à la somme arithmétique de leur norme. Comment est-ce qu'on calcule ça ?

Notes

Summary



Facteur de distribution: calcul



$$k_z = \frac{\text{Somme vectorielle } U_i}{\text{Somme arithmétique } U_i} \leq 1$$

Soit q : le nombre d'encoches par pôle et par phase

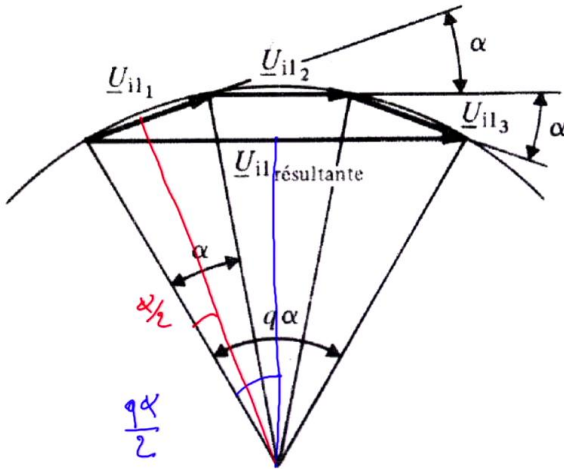
$$\tau_z = \frac{\tau_p}{q \cdot 3} \Rightarrow \alpha = \frac{\pi}{z_p} z_z = \frac{\pi}{3q}$$

je fais le dessin, j'ai mon U_{i1} , j'ai mon U_{i2} puis j'ai une tension induite résultat. Notre facteur de distribution va être égal à la somme vectorielle des U_i divisé par la Somme arithmétique. Voilà et ça sera forcément plus petit ou égal à 1 c'est à dire que dès le moment où je distribue mon bobinage et bien je vais avoir un facteur de distribution qui est plus petit que 1. On commence le calcul. Pour ça il va falloir que je définisse ce qu'on appelle un nombre d'encoches par pôles et par phases c'est qu'on va appeler Q . Donc on va définir ce qu'on appelle le pas d'Inter qui correspond à la partie de la circonférence de l'entrefer occupée par une ? appelée $\tau_a Z$ et ça c'est égal à pas polaire $\tau_a p$ divisé par Q . Et puis le nombre de phases c'est trois dans le cas d'un système triphasé. ça sous forme angulaire, en angle électrique, on peut obtenir simplement avec le rapport de π et du pas polaire. Donc α c'est l'angle qui correspond à une encoche, l'angle électrique qui correspond à une encoche.

Notes

Summary



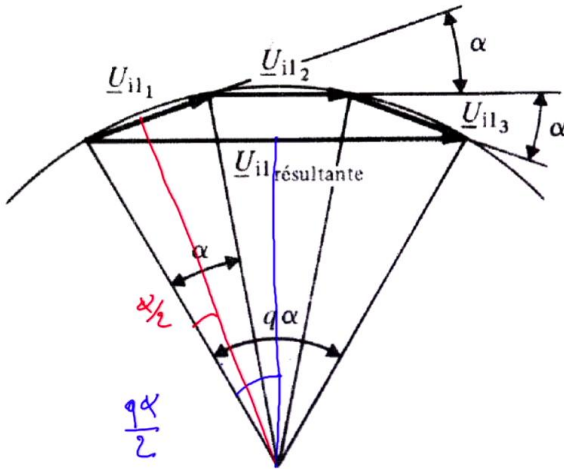


pour ça, ça nous permet déjà de commencer les calculs, ça va surtout nous permettre de représenter le tout de manière géométrique alors je vous ai fait un petit dessin pour pouvoir faire le calcul de la somme vectorielle et de la Somme arithmétique des tensions induites. L'idée c'est de faire, de résoudre ce problème de manière géométrique on mettant chacune des tensions induites sur la circonférence d'un cercle donc on va choisir le rayon du cercle de telle manière à ce que l'angle qui est couvert par un des vecteurs tension induite soit justement égal à Alpha. Alpha est un angle électrique d'une encoche. C'est une manière géométrique de résoudre le problème. puis commence quand on arrive à calculer la somme vectorielle des tensions induites. Ben simplement en calculant cette longueur si elle commence quand on arrive à calculer la somme arithmétique des tensions induites pas simplement en faisant la somme de ces petits vecteurs là. Alors de manière géométrique, qu'est ce que ça donne ? Pour calculer la somme vectorielle je prends je dessine ceci et puis je me rends compte que cet angle ici passait $Q \text{ Alpha sur } 2$. Au niveau arithmétique je fais la même chose ici. Cet angle ici c'est $\text{Alpha sur } 2$.

Notes

Summary





$$K_2 = \frac{2R \cdot \sin \frac{q\alpha}{2}}{2R \cdot q \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{1}{2q \sin \frac{\pi}{6q}}$$

$$\alpha = \frac{\pi}{3q}$$

Que vaut mon facteur de distribution dans ce cas là ? Et bien c'est la somme vectorielle. Donc c'est le rayon de mon cercle fois le sinus de $Q \cdot \frac{\alpha}{2}$ sur 2 fois 2 puisque j'ai deux fois cette distance. Puis je fais la même chose au niveau de la Somme arithmétique sauf que ce coulage doit être multiplié par le nombre d'encoches qui va être égal à Q . Les deux r se simplifient. Et puis on va encore noter l'expression de α qu'on avait exprimée tout à l'heure. α c'est $\frac{\pi}{3q}$ et puis on obtient un autre facteur de distribution. C'est $\frac{1}{2q \sin \frac{\pi}{6q}}$. Voilà pour le facteur de distribution.

Notes

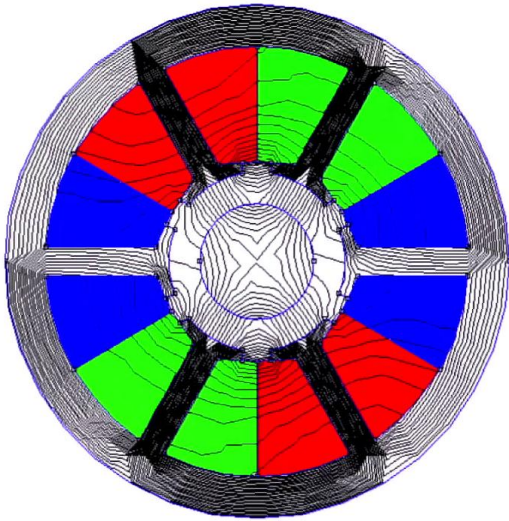
Summary



Exemple de bobinage raccourci

$$p=2, m=3, z=6$$

$$K_z=1$$



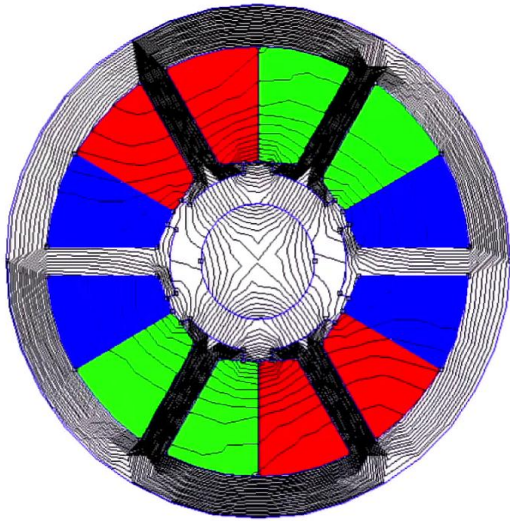
On va faire un certain nombre d'exemples maintenant le cas le plus simple. C'est un exemple de bobinage diamétrale donc vous avez une bobine qui est en vert. Ici une bobine bleue une bobine rouge et il y a un pas polaire qui est égal à π donc qui est égal à la moitié de la circonférence de l'entrefer. Donc, que vaut le nombre de pôles ? 2. Le nombre de paires de pôles est égal à 1 le nombre de phases c'est égal à 3 le nombre d'encoches est égal à 6. Et puis on n'a pas de raccourcissement donc k_s vaut 1 puisque la spire est diamétrale. Elle recouvre l'entier du pôle. Puis on n'a pas de distribution on a une bobine par phase. le raccourcissement et la distribution nous donne 1 donc notre facteur de bobinage c'est 1. Ce bobinage n'a aucune influence sur la tension induite du moteur. Là j'ai un autre bobinage ben on a 2 bobines par phase par exemple sur cette phase verte une première bobine ici et une deuxième bobine ici c'est du bobinage concentrique. On a aussi quatre pôles 1 2 3 4. P : Nombre de paires de pôles est égal à 2 Le nombre de phases est égal à 3 puis Z Le nombre d'encoches est égal à 6. On a de nouveau pas de distribution donc notre k_z est égal à 1.

Notes

Summary



Exemple de bobinage raccourci



$$p=2, m=3, z=6$$

$$K_z = 1$$

raccourcissement

$$s = \frac{\pi D}{z} = \frac{2p z_p}{z}$$

$$K_s = \sin \frac{s}{z_p} \cdot \frac{\pi}{z} = \sin \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.87$$

$$K_w = K_s = 0.87$$

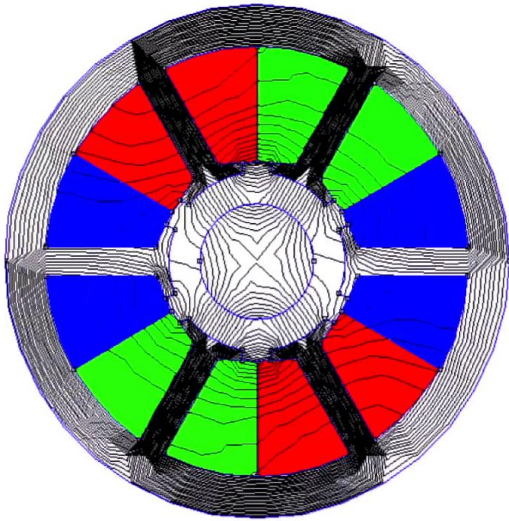
Pourtant on a quand même deux bobines par phase. Mais si on regarde les deux bobines ces deux là elles voient exactement le même flux au même moment elles ont vraiment le flux créé par ce pôle si le flux créé par ce pôle ci sont vraiment synchrones, pas de distribution. Par contre on a du raccourcissement donc on va calculer l'ouverture d'encoches donc c'est l'entrefer global sur Z sur le nombre d'encoches. On l'exprime en fonction du pas polaire. On a un pas polaire qui va vouloir encore de la circonférence. Et puis on peut écrire directement notre coefficient de raccourcissement avec la formule adéquate. Et en faisant les calculs on obtient si on voit que, en fait, on a trois encoches par pôle et donc un raccourcissement qui va nous manger pratiquement 13 % de la tension induite. notre K W va être égal à k s. Donc là on se rend compte que ce bobinage si bien nous nous diminue la tension induite de d'environ 13 %. Alors pourquoi est ce qu'on utilise ce bobinage à deux bobines au lieu d'une. Et puis les bobines elles ont un effet sur la tension induite qui n'est pas top parce qu'on a beau mettre des aimants on a beau mettre du fer.

Notes

Summary



Exemple de bobinage raccourci



$$p = 2, m = 3, z = 6$$

$$K_z = 1$$

raccourcissement

$$s = \frac{\pi D}{z} = \frac{2p z_p}{z}$$

$$K_s = \sin \frac{s}{z_p} \cdot \frac{\pi}{z} = \sin \frac{2}{3} \frac{\pi}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.87$$

$$K_w = K_s = 0.87$$

L'utilisation n'est pas idéale puisqu'on n'a que 87% du flux qui est utile pour créer de la tension induite. Par contre c'est un bobinage concentrique bien le chemin utilisé pour bobiner est donc la longueur du fil utilisé pour bobiner vont être plus courtes. Et ça ça veut dire que en gros on aura une résistance qui est beaucoup plus faible. Donc ce qu'on perd au niveau de la tension induite de mouvement de notre moteur eh bien on va le gagner au niveau de la résistance.

Notes

Summary





- La manière de réaliser le bobinage a un effet sur la tension induite
- Cet effet peut être modélisé au moyen d'un facteur de bobinage:
- Facteur de raccourcissement
- Facteur de distribution

Alors aujourd'hui nous avons vu que la manière de réaliser le bobinage d'un moteur avait un effet sur sa tension induite et donc directement sur ses performances. Cet effet peut être quantifié par des facteurs de bobinage, un facteur de raccourcissement qui tient compte de l'ouverture de la bobine par rapport à la taille du pôle et un facteur de distribution qui nous permet de calculer l'effet de la répartition des phases dans les encoches du moteur. Et encore tout plein de subtilités du bobinage comme l'effet sur les harmoniques qu'on pourrait aussi aborder de la même manière. Mais comme je l'ai dit tout à l'heure ça sort largement du cadre du cours d'aujourd'hui.

Notes

Summary



20m 49s