

Etude vibro-acoustique d'un bobinage dentaire par quartier à barres cylindrique pour Moteur Synchrone à Aimant Permanent.

Philippe Enrici, Mourad Aitakkache, Daniel Matt, Carole Henaux

Institut d'Électroniques et des Systèmes (IES)-CNRS UMR 5214, Université de Montpellier, Montpellier 34095, France

RESUME – Cet article présente une étude vibro-acoustique d'un moteur synchrone à aimants permanents basse tension dédiés à un bateau électrique. Le moteur a un enroulement dentaire original développé dans notre laboratoire appelé bobinage dentaire par quartier. L'originalité de cet enroulement consiste en l'utilisation de barres pleines cylindriques. L'application visée est une application de loisir aussi l'utilisation d'un moteur synchrone à vitesse variable peut générer des vibrations. Celles-ci étant source de bruit qui peut être gênantes pour la machine et son environnement. Cette étude a été réalisée avec un logiciel à éléments finis (COMSOL) pour définir les contraintes vibro acoustique. Une description du bobinage, les caractéristiques du prototype dimensionné et réalisé au laboratoire et l'étude vibro acoustique sont présentés.

Mots-clés— Bruit et vibrations, bobinage à barre, bobinage dentaire, bateau électrique, moteur synchrone à aimant.

1. INTRODUCTION

Le moteur étudié dans cet article est destiné à une application de propulsion de bateau électrique par POD (nacelle orientable installée sous la coque d'un navire) comme présenté sur la Figure 1.

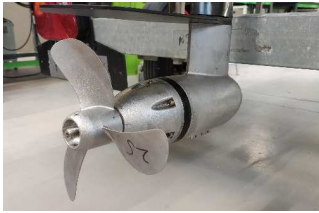


Fig. 1. Vue d'un POD.

En plus de l'impact positif sur l'environnement d'un bateau électrique comparé à motorisation thermique, le passage à l'électrique permet les avantages suivants :

- Amélioration du rendement énergétique.
- Réduction du volume interne.
- Réduction importante de l'encombrement et du poids des machines à bord du navire.
- Utilisation du propulseur comme gouvernail
- Simplification de la liaison machine hélice.

La puissance choisie est imposée par la législation française qui correspond à la limite de puissance pour obtenir une licence de bateau soit une puissance P de 4,5 kW. L'entraînement est à attaque directe, sans réducteur mécanique, afin d'éviter des

interventions de maintenances supplémentaire. La vitesse de rotation N est de 1500 tr/min qui est la vitesse de rotation de l'hélice. Pour des raisons de sécurité la tension choisie pour ces moteurs est de 60V qui est le niveau de référence VLV (CLASS A) pour les véhicules électriques.

Pour améliorer les performances des moteurs à aimants permanents utilisés dans notre application, l'un des paramètres sur lesquels nous pouvons agir est l'augmentation de la fréquence de fonctionnement en augmentant le nombre de paires de pôles p, le moteur étudié dans notre cas à 52 pôles.

2. BOBINAGE ETUDIÉ

2.1. Bobinage dentaire par quartier

Les bobinages dentaires sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles pour leurs têtes de bobines très compactes et une tolérance aux défauts élevée grâce à la séparation physique des bobines [1]. Dans cet article, le bobinage dentaire présenté à la Figure 2 a la particularité d'avoir chaque phase logée dans un quartier (série d'encoche successive ou le pas d'encoche τ_u est égal au pas polaire) séparé physiquement d'une dent dite de déphasage δ_{ph} permettant d'assurer un déphasage de 120° entre les grandeurs électriques [2].

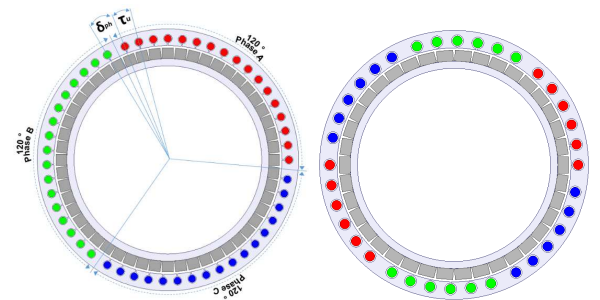


Fig. 2. Bobinage par quartier

Pour ce type de bobinage, nous avons une relation équation 1 pour le dimensionnement de l'angle de déphasage et une condition (Tableau 1) reliant le nombre d'encoches N_s au nombre de pôle $N_R = 2p$.

$$\delta_{ph} = \frac{2\pi - \frac{2\pi}{N_R}(N_s - n)}{n} \quad (1)$$

Avec n le nombre de quartier du bobinage.

Tableau 1. Condition de réalisation

N_s multiple de 3 et impair	N_s multiple de 3 et pair
$N_R = N_S \pm 1, +3, +5$	$N_R = N_S \pm 2, +4$

Le spectre de la F.m.m. du bobinage est présentée sur la Figure 3.

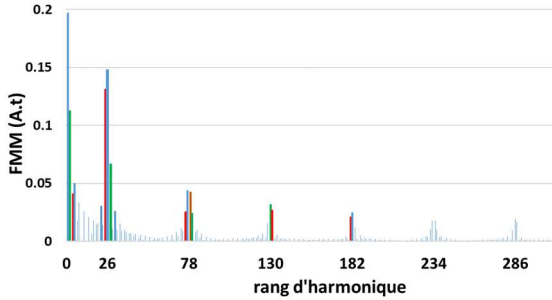


Fig. 3. Spetcre f.m.m.

Le couplage harmonique des champs se fait sur les rangs multiples de 26.

L'utilisation de barre massives entraine des pertes joules additionnelle dû à la distribution de la densité de courant dans celle-ci. Une étude des pertes supplémentaires a été réalisé sur les deux bobinages [3].

2.2. Prototype

Pour notre application, le rotor du moteur est constitué d'aimants montés en surface de forme parallélépipédique Hauteur d'aimant $H_a = 4,5\text{mm}$, largeur d'aimants $l_a = 4,84\text{mm}$. La longueur du moteur $L_z = 150\text{mm}$. Pour le moteur, Figure 4, les matériaux utilisés sont à savoir des tôles magnétiques M270-35A pour le stator et le rotor et du NdFeB pour les aimants avec $B_r = 1.26\text{ T}$ et $H_c = -912,000\text{ A/m}$.



Fig. 4. Vue du prototype

Une vue de la f.e.m simulée et mesurée est présentée sur la Figure 5.

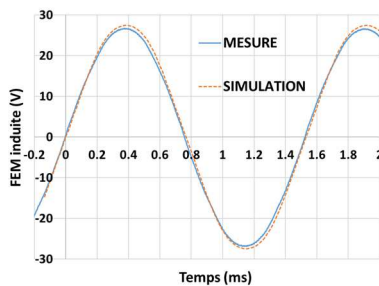


Fig. 5. F.e.m du moteur

3. ETUDE VIBRO-ACOUSTIQUE

L'étude des forces électromagnétiques qui sont la source des vibrations dans le moteur nous a permis de faire l'étude vibro-acoustique de celui-ci [4]. La figure 7 présente l'évolution des pulsations propres en fonction de la vitesse de rotation.

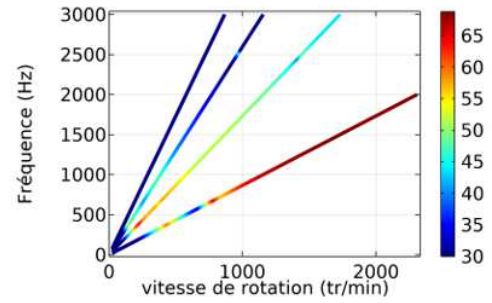


Fig. 6. Diagramme de campbell (dB)

La Figure 8 est une représentation des déformations du moteur simulé par COMOL.

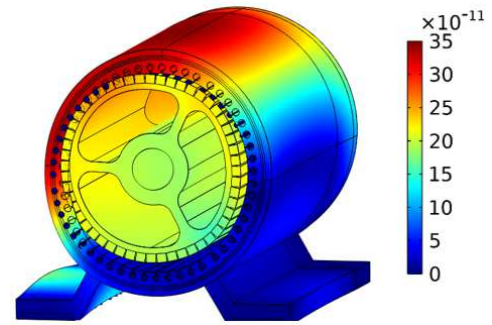


Fig. 7. Aplmitude du déplacement (m)

Le niveau de Bruit obtenu par cette étude est proche du niveau de bruit lors des essais en charge de ce moteur.

4. CONCLUSIONS

L'originalité de ce bobinage à barre cylindrique pour des applications de propulsion pour des moteurs basse tension a pu être mis en évidence. L'étude vibro-acoustique a été faite pour différentes configuration de bobinages par quartier et comparée à un bobinage classique répartie.

5. REMERCIEMENTS

Nous remercions la région Occitanie pour la bourse doctorale permettant le financement du doctorant.

6. REFERENCES

- [1] N. Bekka, "Modélisation et optimisation d'actionneurs rotatifs fort couple pour système embarqués » Thèse de doctorat, IREENA., Univ. Nantes, 2015.
- [2] P. Enrici, N. Boubaker, D. Matt, « Bar Winding for the Low-Voltage Motorization of an Electric Tractor », International Conference on Electrical Machines (ICEM 2020), Gothenburg, Sweden, 2020. DOI: 10.1109/ICEM49940.2020.9270906.
- [3] M. Aitakkache, P. Enrici, D. Matt, N. Boubaker, and L. Piscini, "Concept, Feasibility of Cylindrical Bar Winding for Low Voltage Permanent Magnet Synchronous Motor," Energies, vol. 15, no. 4, p. 1507, Feb. 2022, doi: 10.3390/en15041507
- [4] J. Le Besnerais, P. Pellerey, V. Lanfranchi et autres, « Bruit acoustique d'origine magnétique dans les machines synchrones, » dans Machines électriques tournantes : conception, construction et commande, Editions T.I., d3581,2016,