

Choix de matériaux magnétiques pour des machines à griffes

L. LI^{1,2}, A. FOGGIA¹, A. KEDOUS-LEBOUC¹ et J.C. MIPO²

¹ G2Elab, Laboratoire de Génie électrique de Grenoble, Grenoble INP-UJF-CNRS UMR 5269

ENSIEG - BP 46 - 38402 Saint-Martin-d'Hères Cedex

² Valeo Equipements Electriques Moteur, 2, Rue André Boule, 94046 Créteil Cedex

E-mail: li.li5@valeo.com

Résumé — La machine à griffes est largement utilisée dans l'industrie automobile grâce à sa fabrication simple et son faible coût. Afin de mieux satisfaire les cahiers des charges de clients qui deviennent de plus en plus exigeants, de nombreux travaux sont faits pour améliorer les performances de ces machines. Le but de cette étude est de voir la possibilité d'améliorer leurs caractéristiques en utilisant différents matériaux magnétiques. La comparaison entre une machine de matériaux traditionnels et celle du matériau de hautes performances (FeCo AFK 502) est faite par la méthode d'éléments finis.

Mots clés : machine à griffes, méthode d'éléments finis, matériau de hautes performances

I. INTRODUCTION

La machine à griffes a une grande application dans le secteur automobile (Figure 1). Malgré ses nombreux avantages, son rendement, environ 70% actuellement, est toujours un des soucis principaux [1] [2]. Il en est de même pour son comportement thermique car le sur-échauffement observé introduit des pertes supplémentaires, des anomalies ou des arrêts complets.

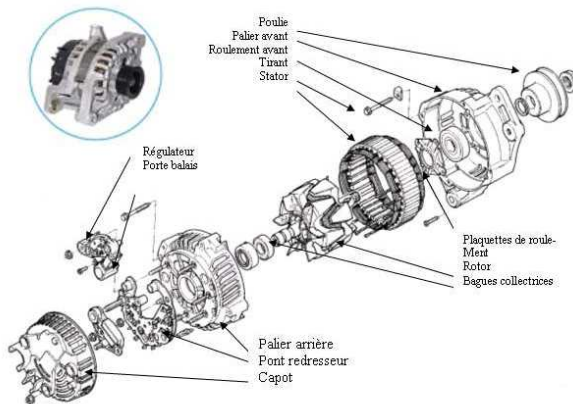


FIG. 1 Vue éclatée d'un alternateur à griffes

On propose alors d'utiliser le matériau AFK 502, un alliage à 50%Co de type Fe49%Co2%V qui conjugue tous les avantages techniques au niveau des perméabilités, champ coercitif, résistance mécanique et pertes magnétiques [3]. En remplaçant les matériaux traditionnels par AFK 502, on réduit les pertes fer, ce qui prend une importance dans les pertes totales aux vitesses élevées.

II. MACHINE AVEC DES MATERIAUX TRADITIONNELS

Les simulations sont faites dans un premier temps pour une machine traditionnelle dont le stator est en M800-50A (Figure 2) et le rotor en acier doux (SAE 1006, Figure 3) à une vitesse de rotation de 1800 tr/min puis de 6000 tr/min respectivement, en mode alternateur dont la puissance est de 2 kW. La machine débite dans une batterie à travers un pont redresseur.

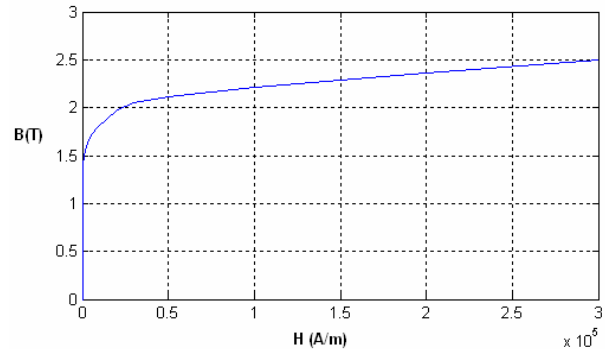


FIG. 2 Courbe B (H) du matériau M800-50A

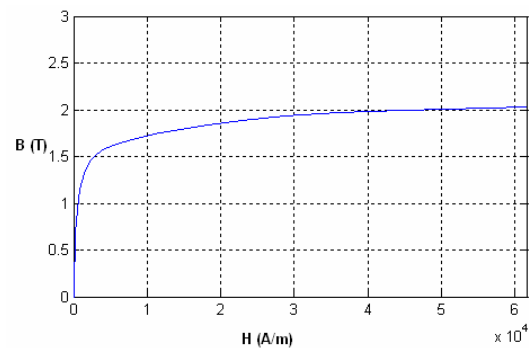


FIG. 3 Courbe B (H) du matériau SAE 1006

A. Rotation à 1800 tr/min

Par Flux 3D, on obtient un courant de 85A aux bornes de la batterie à 1800 tr/min.

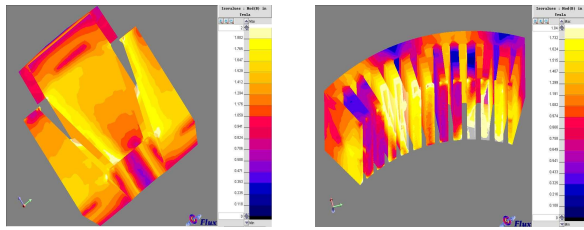


FIG. 4 Dégradé de l'induction magnétique au rotor et au stator à 1800 tr/min

On constate des fortes saturations sur la surface des griffes et la culasse à cette basse vitesse. Ainsi les pieds de dents statoriques sont très fortement saturés (Figure 4).

B. Rotation à 6000 tr/min

On trouve 124A à 6000tr/min avec la même machine du paragraphe A.

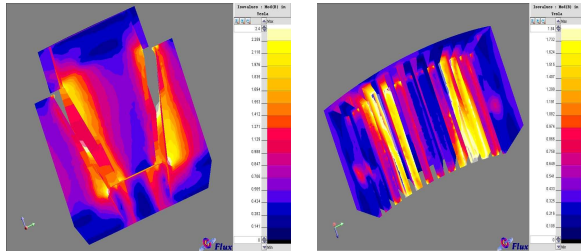


FIG. 5 Dégradé de l'induction magnétique au rotor et stator à 6000 tr/min

On constate que la machine n'est pas très saturée car elle est pratiquement en court-circuit à haute vitesse (Figure 5). On voit que la saturation apparaît plus facilement sur la surface des griffes et les pieds de dents statoriques.

III. MACHINE AVEC DE NOUVEAUX MATERIAUX

Vu que la forte saturation locale apparaît sur la griffe, les pieds de dents, on n'attribue d'abord AFK 502 (Figure 6) qu'à la région volumique rotor, et puis qu'à la région stator et finalement aux deux régions.

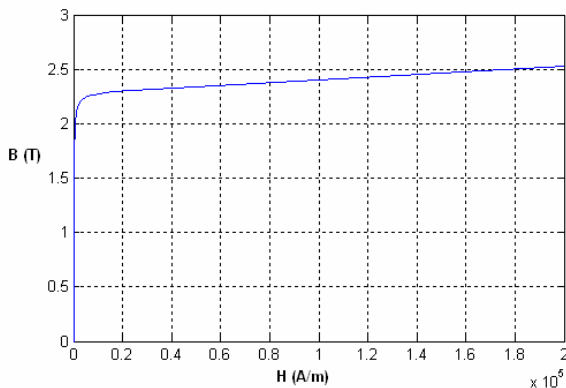


FIG. 6 Courbe B (H) du matériau AFK 502

A. Rotor en matériau AFK 502

Le résultat de simulation que nous avons obtenu à 1800 tr/min est très intéressant. Le courant atteint 102A au lieu de 85A dans le cas précédent, soit une augmentation de 20%. Ceci est interprété par le fait que la saturation apparaît plus vite dans une machine construite avec les matériaux classiques qu'avec celle dont le rotor est en AFK 502. Plus la machine est saturée, plus de pertes se produisent.

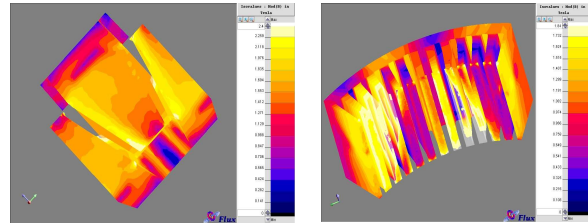


FIG. 7 Dégradé de l'induction magnétique au rotor et stator à 1800 tr/min

Cependant, l'écart n'est pas très important à 6000 tr/min. On obtient un courant de 126A au lieu de 124A. En effet, l'état magnétique du circuit n'est pas modifié en remplaçant le FeSi par le FeCo car le matériau n'est pas saturé dans ces conditions de fonctionnement. (Figure 7-8)

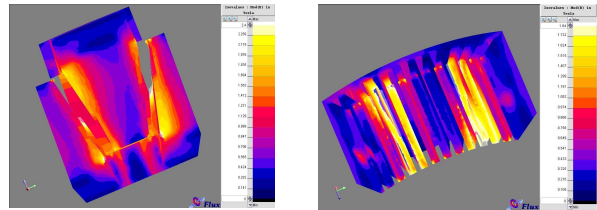


FIG. 8 Dégradé de l'induction magnétique au rotor et stator à 6000 tr/min

B. Stator de matériau AFK 502

En remplaçant le matériau M800-50A par de l'AFK 502, on n'a pas obtenu un résultat si prometteur que dans la partie III.A.

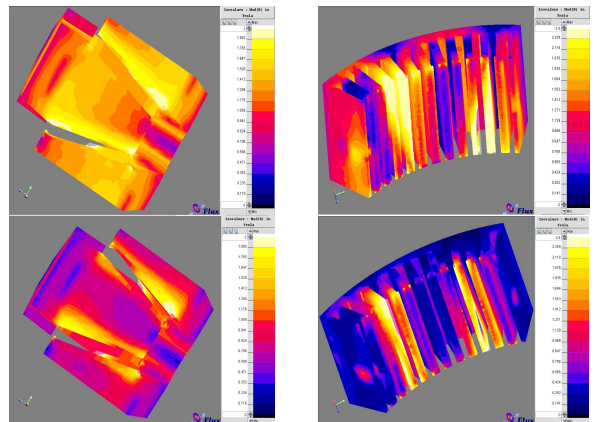


FIG. 9 Dégradé de l'induction magnétique à 1800 tr/min et 6000 tr/min

On a trouvé un courant de 88A à 1800 tr/min et 123A à 6000 tr/min. L'utilisation AFK 502 au stator n'améliore

quasiment pas l'état de saturation, et le courant non plus (Figure 9).

C. Rotor et stator en AFK 502

On confirme qu'un stator en AFK 502 n'apporte pas d'amélioration par rapport à un stator en matériau conventionnel. Comparé au cas dans la section III.A où on a trouvé 102A à 1800 tr/min et 126A à 6000 tr/min, on a cette fois un courant de 105A à 1800 tr/min et 125A à 6000 tr/min. Cette infime différence ne justifie pas l'adoption du matériau AFK 502 au stator.

IV. NOMBRE DE SPIRES PAR PHASE OPTIMAL

On utilise le diagramme de Behn-Eschenburg représenté par la FIG. 10

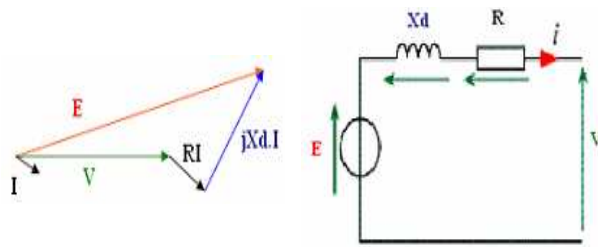


FIG. 10 Diagramme vectoriel et schéma électrique par phase du modèle de Behn-Eschenburg

- E : f.e.m. à vide
- X_d : réactance interne
- R : résistance
- V : tension imposée par la batterie

A grande vitesse, on peut considérer que la résistance est négligeable devant la réactance. On suppose que les 3 phases sont couplées en étoile ce qui impose un courant en phase avec la tension. On a alors,

$$E^2 = V^2 + X_d^2 \cdot I^2 \quad (1)$$

Dans l'hypothèse de Behn Eschenburg, la f.e.m. à vide est proportionnelle au nombre de spires par phase et la réactance est proportionnelle au carré du nombre de spires. On a donc,

$$E = k_f N_s \quad (2)$$

$$X_d = k_s N_s^2 \quad (3)$$

où k_f, k_s sont des constantes qui représentent la vitesse de rotation.

A partir de l'équation (1), on a

$$I = \frac{1}{X_d} \sqrt{E^2 - V^2} \quad (4)$$

Donc, la condition pour rendre I maximal pour une vitesse de rotation donnée est :

$$\frac{dI}{dN_s} = 0 \quad (5)$$

La solution de cette équation différentielle conduit à un nombre de spires optimum qui est :

$$E = V\sqrt{2} \quad (6)$$

Cette démonstration nous montre l'existence d'un nombre de spires optimum pour rendre le courant maximal, à une vitesse donnée, la méthode pas à pas peut être utilisée pour retrouver cette valeur. Comme cela est indiqué au TABLEAU 2, la machine débite le plus quand elle est en 8 spires à 1800 tr/min.

V. CONCLUSION

Les simulations nous confirment que les caractéristiques de machines peuvent être améliorées en remplaçant les matériaux traditionnels par des matériaux magnétiques spéciaux qui sont plus performants en termes de polarisation magnétique à saturation, de perméabilités, pertes magnétiques etc. Ainsi, on peut envisager de réduire l'encombrement des machines et de ce fait augmenter le rendement massique. Mais un simple remplacement de matériaux classiques par des matériaux de hautes gammes n'apporte pas forcément une amélioration significative des caractéristiques des machines, car la topologie de la machine n'est pas forcément optimisée.

Dans le cas étudié, comparé à un rotor en matériau traditionnel, le courant est augmenté de 20% à 1800 tr/min pour une machine avec un rotor en AFK. Par conséquent, on peut alors réduire le nombre de spires au stator en maintenant le courant ce qui permet de réduire la résistance et donc les pertes Joule (cf. TABLEAU 2).

Cependant, le fait d'utiliser AFK 502 au stator n'apporte qu'une augmentation très légère en courant pour cette structure. Il n'est donc pas nécessaire de concevoir une machine tout en matériaux « nobles », vu que ses apports peuvent être très limités.

Une autre solution envisageable et à un coût plus abordable est de ne remplacer le matériau traditionnel par AFK 502 qu'au noyau du rotor, un chemin que le flux emprunte le plus, et où il y a alors plus de saturation qu'ailleurs.

TABLEAU 1. Comparaison de courant pour les différents matériaux utilisés

Matériau	Rotor	SAE 1006	AFK 502	SAE 1006	AFK 502
	Stator	M800-50A	M800-50A	AFK 502	AFK 502
Courant	1800 tr/min	85A	102A	88A	105A
	6000 tr/min	124A	126A	123A	125A

TABLEAU 2. L'évolution de courant en fonction du nombre de spires

Nombre de spires		9	8	7
Courant	1800 tr/min	102A	105A	93A
	6000 tr/min	126A	142A	162A

REFERENCES

- [1] L. Bouarroudj. Contribution à l'étude de l'alternateur à griffes Application au domaine automobile. Thèse de doctorat de l'INPG, 2005
- [2] Y. Tamto. Optimisation d'un alternateur automobile par la méthode des plans d'expériences. Stage de fin d'études de l'INPG, Juin 2005
- [3] A. Kedous-Lebouc. Matériaux magnétiques en génie électrique, Volume 1, 1^{ère} édition, Hermès-Lavoisier, Juin 2005
- [4] Y. Huang, J. Zhu, Y. Guo, Z. Lin, Q. Hu, Design and analysis of a high-speed claw pole motor with soft magnetic composite core, IEEE transactions on magnetics, Vol. 43, No. 6, pp. 2492-2494, June 2007