



HAL
open science

Comparaison des systèmes de mesure et influence de la direction de laminage sur les pertes magnétiques et sur la courbe anhystérétique

Oussama Hamrit, Frederic Mazaleyrat, Martino Lobue, Olivier de La Barriere,
Michel Lecrivain

► **To cite this version:**

Oussama Hamrit, Frederic Mazaleyrat, Martino Lobue, Olivier de La Barriere, Michel Lecrivain. Comparaison des systèmes de mesure et influence de la direction de laminage sur les pertes magnétiques et sur la courbe anhystérétique. Symposium de Génie Électrique 2014, Jul 2014, Cachan, France. hal-01065168

HAL Id: hal-01065168

<https://hal.science/hal-01065168>

Submitted on 18 Sep 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Comparaison des moyens de mesure et influence de la direction de laminage sur les pertes magnétiques et sur la courbe anhystérétique

Oussama HAMRIT, Olivier DE LA BARRIERE, Frédéric MAZALEYRAT, Martino LOBUE, Michel LECRIVAIN

SATIE : Laboratoire des Systèmes et Applications des Technologies de l'Information et de l'Energie, UMR CNRS 8029, Ecole Normale de Cachan

RESUME – Dans ce papier, on compare différents moyens de mesure et on propose une formule empirique qui corrige les mesures obtenues sur un cadre d'Epstein pour obtenir les pertes locales dans le matériau. On s'intéresse également à l'influence de la direction de laminage sur les pertes et sur la courbe anhystérétique.

MOTS-CLES – Pertes magnétique, cadre d'Epstein, Perméamètre (SST), Moyenne fréquence, direction de laminage.

1. Introduction

Dans les applications exigeantes du Génie Electrique telles que le véhicule hybride, les machines électriques, ainsi que leur système de refroidissement, sont dimensionnés « au plus juste », étant donné que dans ces systèmes embarqués, la masse constitue un critère de première importance [1]. Dans ce contexte, une estimation approximative des pertes peut facilement mener à des solutions non viables sur le plan thermique. Les pertes fer étant une composante fondamentale du rendement de la machine, il apparaît donc indispensable de les estimer de manière correcte. Cette tâche est devenue encore plus délicate avec l'engouement récent pour les machines haute vitesse (donc haute fréquence), qui laissent présager des gains importants en termes de couple massique [2].

La méthode de caractérisation la plus répandue des matériaux magnétiques laminés est sans conteste le cadre d'Epstein (CE) avec 700 tours pour les bobinages primaires et secondaires, et compensation du flux dans l'air [3]. Ce moyen de caractérisation offre l'avantage d'être reproductible et relativement aisé à mettre en œuvre (le champ est mesuré directement par le courant), mais il importe de se demander si la valeur des pertes ainsi mesurée n'est pas biaisée par le principe même de la mesure, et correspond vraiment à la valeur des pertes locales dans la tôle, qui importe dans une optique de conception de machines électriques. L'étude sera faite dans des tôles FeSi à grains non orientés, coupé sous forme de bande de 300mm sur 30mm.

Dans une première partie, après avoir défini une méthode de mesure locale des pertes, un perméamètre (SST) *Single Sheet Tester* équipé d'un système de mesure locale de l'induction et du champ magnétique, nous montrerons que le CE induit une sous-estimation systématique des pertes. Après identification de la raison physique du phénomène, une méthode de correction empirique des valeurs mesurées sera proposée, valide à basse fréquence (1 à 400 Hz) et à moyenne fréquence (400Hz à 10kHz). Puis nous montrerons qu'au-delà du kilohertz, l'erreur devient inacceptable, à cause des effets capacitifs entre les spires du cadre. Si nous utilisons le CE de la norme [4] (200 tours), beaucoup moins répandu mais permettant de réduire les capacités entre spires, des meilleurs résultats peuvent être obtenus. Cette section sera donc l'occasion de comparer les valeurs obtenues avec les deux cadres d'Epstein [3] et [4], et avec la mesure locale, en fonction de la fréquence.

Dans une deuxième section, nous nous intéressons aux mesures hors direction de laminage. En effet, dans les machines électriques fabriquées dans les applications telles que la traction hybride, les tôles du stator sont découpées d'un seul tenant [5], et ce paramètre n'est pas contrôlable vu que l'orientation des directions du flux change par rapport à la direction de laminage d'un pas dentaire à un autre. Par conséquent, il est utile de pouvoir fournir aux concepteurs de machines une valeur de pertes moyennée suivant les directions différentes. Dans ce contexte, il apparaît important de se demander si la méthode préconisée par la norme de remplissage du CE avec des tôles laminées dans les directions $0^\circ/30^\circ/60^\circ/90^\circ$ [6] fournit réellement une valeur des pertes moyennes.

2. Etude des mesures sur CE

Dans cette partie, le SST avec une mesure locale de champ et de l'induction magnétique est le moyen de mesure de référence, les effets capacitifs dans la bobine du champ H (Hcoil) et la bobine de l'induction B (Bcoil) ont été évité par une technique qui sera détaillé dans l'article complet.

2.1 SST vs CE en basse fréquence (1 - 400Hz, BF)

On s'intéresse à l'écart observée entre la mesure locale de référence (SST), et le CE 700 tours primaire/secondaire, qui constitue le moyen de mesure le plus répandu [3]. Pour identifier la raison physique de cet écart, des mesures locales avec Hcoil sur CE ont été réalisé, on a observé une diminution des pertes lorsqu'on rapproche la Hcoil des coins due à la division de l'induction par deux à ce niveau. Une correction de la mesure sur CE qui donnera la mesure locale sera proposée en détail dans l'article complet.

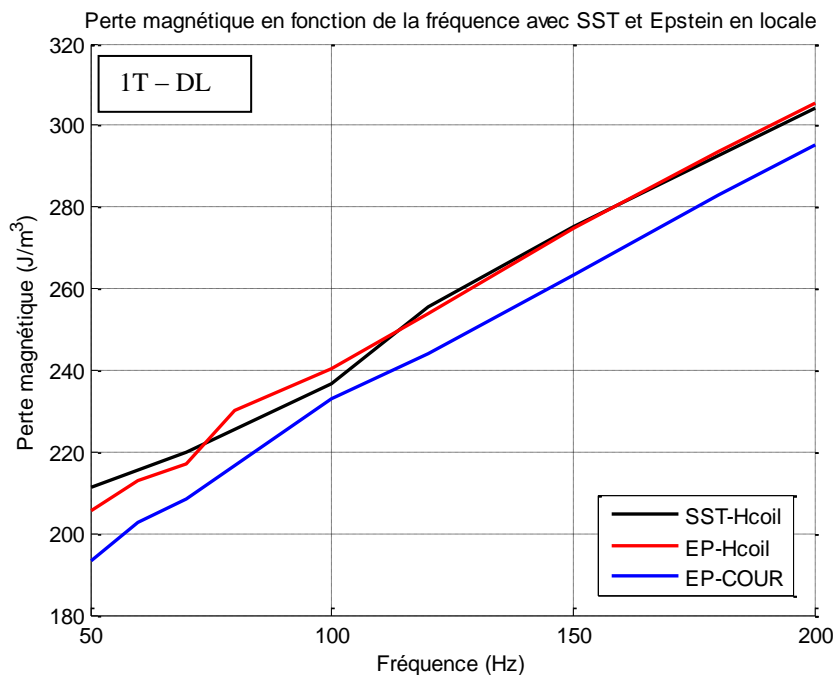


Figure 1: Mesure locale et globale sur SST et CE (1T-DL)

2.2 SST vs CE en moyenne fréquence (400Hz – 10kHz, MF)

L'écart entre le CE 700 tours et le SST se creuse en plus haute fréquence à cause des effets capacitifs au primaire, au secondaire et entre les deux [7]. Les mesures sur le CE ont été réalisées sur une quantité de tôle réduite pour limiter la puissance apparente. Cela étant que si on utilise un CE 200 tours comme le préconise la norme [3], On retrouve le même écart obtenu entre SST et CE 700 à BF. Une comparaison des pertes en fonction de la fréquence entre les mesures CE 700 tours et CE 200 tours sera exposé, on démontrera qu'il faut passer au CE 200 tours pour éviter une grande erreur. En effet cela semble important car les besoins de mesures en MF et haute fréquence sont sans cesse plus importants avec les machines haute vitesse.

3. Influence de la direction de laminage

La problématique est d'étudier si les pertes et la courbe anhystérétique obtenues sur le CE en suivant la convention (tôles 0°/30°/60°/90°) correspondent bien à la moyenne des pertes mesurées dans une variété de directions. Pour cela la référence sera le CE avec des tôles coupées dans une unique direction.

3.1 Influence de la direction de laminage sur le cycle d'hystérésis et les courbes anhystérétiques

Dans cette partie, on va comparer les courbes anhystérétique dans des directions différentes, leur moyenne et la courbe obtenue en chargeant le CE suivant les directions $0^\circ/30^\circ/60^\circ/90^\circ$ comme le dicte la norme [6]. Les courbes de comparaison seront présentées dans l'article complet.

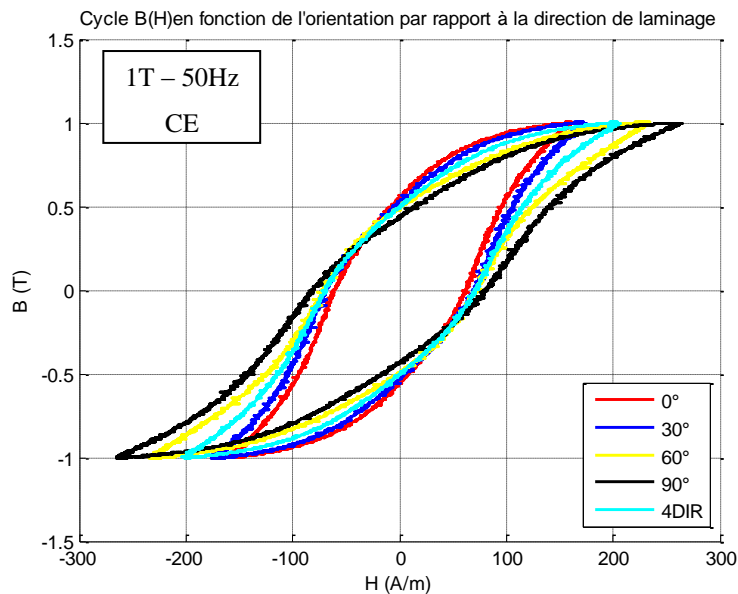


Figure 2 : Cycles B(H) en fonction de la direction de découpe par rapport à la DL (1T-50Hz)

On présente dans la figure 2 les cycles d'hystérésis à 50 Hz – 1T dans les quatre directions séparés, puis selon la convention [6].

3.2 Influence de la direction de laminage sur les valeurs de pertes mesurées

Une comparaison des pertes dans les différentes directions obtenue sur CE et SST avec la mesure conventionnelle sur CE chargé dans les quatre directions $0^\circ/30^\circ/60^\circ/90^\circ$ à MF sera présentée dans l'article complet.

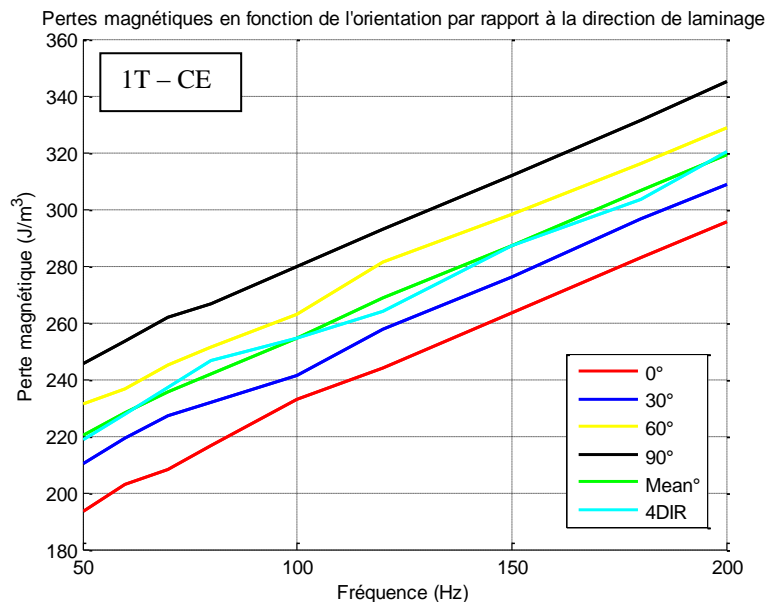


Figure 3 : Pertes magnétique en fonction de la fréquence pour différents direction de découpe par rapport à la DL (1T sur CE)

La figure 3 montre les pertes magnétiques en fonction de la fréquence dans des directions différentes, les pertes d'une mesure selon la convention et la moyenne des pertes dans les différentes directions, les mesures ont été réalisées sur un CE 700 tours. On observe ici que la moyenne des pertes dans les quatre directions est égale à la valeur des pertes mesurée dans un cadre chargé selon la convention $0^\circ/30^\circ/60^\circ/90^\circ$.

4. Conclusion

Dans ce travail, on démontre la nécessité d'utiliser un CE avec 200 tours à partir de 400 Hz et on propose une formule analytique empirique qui corrige les mesures sur le CE pour obtenir les caractéristiques locales du matériau. On montre également que la moyenne des pertes dans différentes directions est égale à la valeur des pertes mesuré sur un cadre d'Epstein chargé des les quatre directions selon la convention [7]. On expose également l'influence de la direction de découpe sur la courbe anhystérétique.

5. Références

- [1] O. de la Barrière, S. Hlioui, H. Ben Ahmed, M. Gabsi and M. LoBue, « PM Axial Flux Machine Design for Hybrid Traction » Oil Gas Sci. Technol. – Rev. IFP, Volume 65, Number 1, Janvier-Février 2010, pp203-218.
- [2] H-W Cho, K-J Ko, J-Y Choi, H-J Shin, and S-M Jang, "Rotor Natural Frequency in High-Speed Permanent-Magnet Synchronous Motor for Turbo-Compressor Application," IEEE Trans. Magn., vol. 47, no. 10, pp. 4258-4261, 2011.
- [3] Norme Internationale IEC 60404-2 ed3.1 Consol. with am1 (2008-06), Partie 2: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des tôles et bandes magnétiques au moyen d'un cadre Epstein.
- [4] Norme Internationale IEC 60404-10 (1988-08), Magnetic materials. Part 10: Methods of measurement of magnetic properties of magnetic sheet and strip at medium frequencies
- [5] Nedjar, B., Hlioui, S., Amara, Y., Vido, L., Gabsi, M., & Lecrivain, M. (2011). A New Parallel Double Excitation Synchronous Machine. IEEE Transactions on Magnetism, 47(9), 2252–2260. doi:10.1109/TMAG.2011.2134864
- [6] Fausto Fiorillo et Isaak D. Mayergoyz (Décembre 2004), «Characterization and Measurement of Magnetic Materials»
- [7] L. Brugel, P. Brissonneau, A. Kedous, J.C. Perrier, Journal of Magnetism and Magnetic Materials Volume 41, issues 1–3, February 1984, Pages 230–232.