

Influence de la vitesse de la montée du champ magnétique sur la pénétration du champ magnétique dans une pastille supraconductrice

Bruno DOUINE, Jean LEVEQUE, Kevin BERGER
Université de Lorraine, GREEN

RESUME - L'utilisation des pastilles supraconductrices dans les moteurs électriques est envisagée depuis quelques années. La connaissance de la diffusion du champ magnétique dans une pastille supraconductrice est primordiale pour leur utilisation optimale. L'article présente l'influence de la vitesse de montée du champ magnétique sur la pénétration du champ magnétique étudiée à l'aide de simulations numériques comparées avec des résultats expérimentaux. L'influence de la valeur de n exposant de la loi en puissance liant le champ électrique et la densité de courant dans un supraconducteur est aussi étudiée à l'aide de simulations numériques. Une formule liant le champ de pénétration complète B_p à ces différents paramètres en est déduite.

Mots-clés— pastille supraconductrice, diffusion du champ magnétique, supraconducteur HTc

1. INTRODUCTION

La découverte de la supraconductivité à la température de l'azote liquide il y a une vingtaine d'années a donné beaucoup d'espoir dans la fabrication d'applications industrielles à base d'éléments supraconducteurs en génie électrique. Des pastilles supraconductrices ont déjà été utilisées dans des prototypes de machines électriques soit en tant qu'écrans magnétiques ou en tant qu'aimants supraconducteurs. L'aimantation de pastilles supraconductrice a déjà été étudiée par de nombreux auteurs. A basse température ($T=4K$, température de l'Hélium liquide) le modèle utilisé pour calculer l'aimantation des pastilles est le modèle de Bean. Ce modèle prend comme hypothèse que les courants circulants dans le matériau supraconducteur ont une densité de courant toujours égale à la densité de courant critique J_c . Ce modèle permet de réaliser des calculs analytiques d'aimantation de pastilles dans des cas simples (champ magnétique axial) et des géométries simples (cylindre). A plus haute température, par exemple à 77K température de l'azote liquide, le modèle utilisé pour la relation champ électrique, densité de courant est le suivant :

$$E = E_c \left(\frac{J}{J_c} \right)^n = \frac{E_c}{J_c} \left(\frac{J}{J_c} \right)^{n-1} J \quad (1)$$

Avec ce modèle le calcul de l'aimantation d'une pastille supraconductrice est fait à l'aide de simulations numériques.

Le sujet principal de cet article est l'étude de l'influence de la vitesse de montée du champ magnétique appliquée à une

pastille cylindrique supraconductrice sur l'aimantation de cette pastille. Le champ magnétique appliqué est axial (Fig.1).

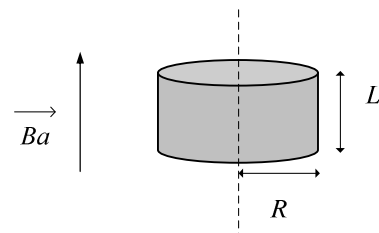


Fig.1 Pastille supraconductrice soumise à un champ magnétique appliqué B_a axial

La grandeur caractéristique de la diffusion du champ magnétique dans la pastille supraconductrice est le champ de pénétration complète B_p . Avec le modèle de Bean la formule du champ de pénétration complète B_{PB} est la suivante

$$B_{PB} = \frac{\mu_0 J_c L}{4} \cdot \ln \left(\frac{\sqrt{R^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} + R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} - R} \right) \quad (2)$$

L est la longueur de la pastille et R le rayon de la pastille (Fig. 1). On voit que B_{PB} ne dépend pas de V_b .

2. ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA VITESSE DE MONTEE ET DE LA VALEUR DE N SUR B_p

Si on utilise le modèle en puissance (1) dans les simulations numériques de diffusion du champ magnétique dans une pastille supraconductrice, V_b et n ont une influence. Sur Fig.2 et Fig. 3 on s'aperçoit que la variation de B_p en fonction de $\ln V_b$ et celle en fonction de la valeur de n sont quasi linéaires. On peut donc identifier une formule B_p en fonction de $\ln V_b$ et n :

$$B_p = B_{PB} \left(1 + \frac{\alpha \ln V_b + \beta}{n} \right) \quad (3)$$

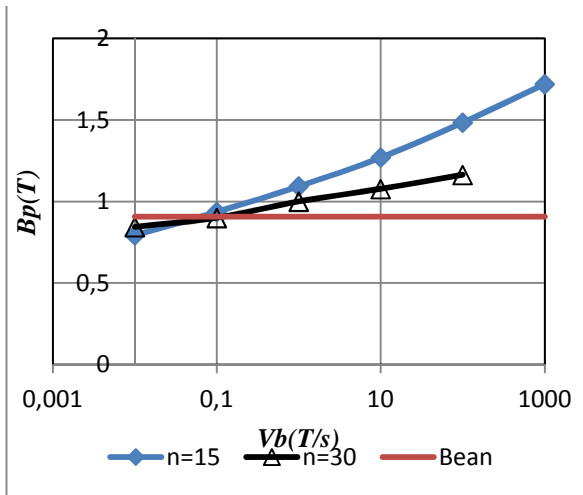


Fig.2 Influence de la vitesse de montée du champ magnétique sur B_p

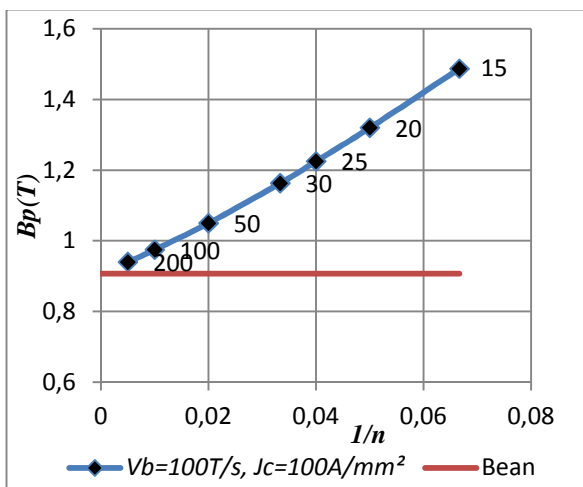


Fig.3 Influence de la valeur de n sur B_p

Un des intérêts de (3) est de pouvoir déterminer la valeur de n à partir de la mesure de B_p pour deux valeurs de V_b . Ceci est actuellement impossible avec les méthodes classiques de caractérisation de pastilles supraconductrices qui ne donnent que la valeur de la densité de courant critique J_c [5].

3. CONCLUSIONS

Une étude numérique a montré qu'il existe une relation quasi linéaire la vitesse de montée du champ magnétique ou de la valeur de n et B_p . Une formule reliant les trois grandeurs existe donc. La mesure de B_p pour deux vitesses de montée du champ magnétique appliquée permet de calculer la valeur de n d'une pastille supraconductrice.

4. REFERENCES

- [1] Abderrezak. Rezzoug, Jean Leveque, Bruno Douine, Smail Mezani, « Superconducting machines », dans « Non-conventional electrical machines », Wiley, pp.191-255, 2012.
- [2] Philippe Masson, Jean Leveque, Denis Netter, Abderrezak. Rezzoug, « Experimental study of a new kind of superconducting inductor », I.E.E.E. Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 13(2), pp. 2239-2242, 2003
- [3] Bruno Douine, Frédéric Sirois, Jean Leveque, Kevin Berger, Charles-Henri Bonnard, The-Cuong Hoang, Smail Mezani, «A New Direct Magnetic Method for Determining J_c in Bulk Superconductors From Magnetic Field Diffusion Measurements», I.E.E.E. Trans. on Appl. Supercond., vol. 22 (3), 9001604, 2012
- [4] A. Forkl, « Magnetic flux distribution in single crystalline, ceramic and thin film high-Tc-superconductors », Physica Scripta, T49, pp. 148-158, 1993.
- [5] P. Vanderbemden, « Determination of critical current in bulk high temperature superconductors by magnetic flux profile measuring methods », Thèse de Doctorat, Université de Liège, 193 p., 1999.