LENTILLE MAGNÉTIQUE MULTIPOLAIRE A AIMANT PERMANENT A CONVERGENCE RÉGLABLE ⁽¹⁾

Par C. AUDOIN et A. SEPTIER,
Institut d'Électronique, Orsay.

Résumé. — Nous montrons que, par la modification de la structure du circuit magnétique des lentilles multipolaires à aimant permanent, il est possible de faire varier, à l'aide d'un shunt magnétique, l'induction magnétique en un point donné de l'entrefer, sans en altérer la symétrie. Les résultats obtenus avec une lentille hexapolaire d'essai sont décrits.

Abstract. — We show that by modifying the magnetic circuit structure of permanent-magnet multipolar lenses, it is possible to vary the magnetic flux density in the gap without altering the field symmetry, by means of a magnetic shunt. Results obtained with an hexapolar test lens are described.

Des champs magnétiques à symétrie $2N$ -polaire ($N = 2, 3, 4 \dots$ pour une symétrie quadripolaire, hexapolaire, octopolaire), sont utilisés dans la technique des accélérateurs de particules chargées et des appareils à jet atomique neutre [1], [2].

Dans le circuit magnétique de ces lentilles, la force magnétomotrice peut être obtenue, soit par le passage d'un courant, soit à l'aide d'un matériau à « aimantation permanente ».

L'emploi d'aimants permanents présente des avantages pratiques certains (faible encombrement, absence de dissipation d'énergie par effet Joule, stabilité dans le temps) mais entraîne aussi une servitude : la valeur de l'induction magnétique en un point donné de la lentille est fixe. Le réglage de la convergence de la lentille est cependant fort utile dans les mises au point préliminaires, en particulier lorsqu'il s'agit de séparer des atomes d'un jet formé par une tuyère pour laquelle le calcul des vitesses de sortie n'est pas possible avec précision.

Par une modification de la structure du circuit magnétique nous avons supprimé cet inconvénient. Les blocs aimantés (fig. 1) sont disposés à la périphérie de la lentille. Un shunt magnétique mobile constitué de $2N$ portions égales de couronne circulaire dérive une partie du flux magnétique traversant les aimants permanents et permet, en faisant tourner la couronne, de régler l'induction magnétique dans la région centrale de l'entrefer, et par là aussi la convergence de la lentille. Les pièces polaires ont une forme telle que la longueur du bloc aimanté soit suffisant et que sa forme soit géométriquement simple.

Circuit magnétique de la lentille sans shunt. —

Un aimant hexapolaire a été réalisé afin de mesurer la variation de l'induction magnétique dans la région utile lors de la rotation du shunt.

⁽¹⁾ Brevet C. N. R. S. n° 28452.

FIG. 1. — A gauche, structure à shunt magnétique ; A droite, structure classique.

Le circuit magnétique a été déterminé en utilisant une méthode de calcul mise au point pour une lentille de structure conventionnelle [3]. Elle fournit ici une valeur approximative des caractéristiques du circuit magnétique : les lignes d'induction traversant les flancs des pièces polaires sont supposées circulaires et orthogonales à celles-ci ; de plus, il n'a pas été tenu compte du flux de fuite, à la périphérie de la lentille.

L'aimant réalisé a une longueur de 6 cm, un diamètre extérieur de 109 mm pour un entrefer dont le cercle de gorge a un diamètre de 6 mm. Le dièdre limitant les pièces polaires dans la région centrale de l'entrefer a un angle au sommet de $2\alpha = 40^\circ$. En utilisant du Ticonal 800, la valeur calculée de l'induction magnétique au sommet d'une pièce polaire est de 0,75 T. La valeur mesurée selon une méthode

décrite précédemment est de 0,63 T. L'écart maximum, en valeur relative, entre les valeurs mesurées en face de chaque pôle est de 5 %, ce qui correspond à la dispersion sur les caractéristiques du Ticonal, mesurées pour chacun des six blocs. Le flux de fuite de la périphérie est de 9 % du flux total à travers les blocs aimantés. Il est possible d'obtenir une valeur plus élevée de l'induction au sommet d'un pôle en accroissant la longueur des blocs aimantés ce qui peut être obtenu, sans augmentation du diamètre extérieur, d'une part en donnant à l'angle α une valeur de 15° si l'on accepte un plus grand écart entre la répartition du champ dans l'entrefer et la répartition correspondant à une symétrie hexapolaire pure [4], d'autre part en rapprochant du centre de la lentille le passage du dièdre à la lame à faces parallèles.

Dans une lentille hexapolaire de structure conventionnelle de diamètre extérieur 150 mm nous avons par ailleurs obtenu 0,69 T au sommet des pôles distants de l'axe de 3 mm et l'accord avec le calcul était satisfaisant.

Réglage de l'induction magnétique dans l'entrefer.

— Deux types de shunts magnétiques ont été expérimentés. Ils sont constitués de portions de couronnes circulaires dont l'étendue angulaire utile est de 34° pour l'un, 55° pour l'autre. L'entrefer est dans les deux cas de 0,5 mm et le diamètre extérieur total de la lentille de 130 mm.

L'induction magnétique est mesurée à l'aide d'une bobine rectangulaire dont l'axe de symétrie parallèle au grand côté coïncide avec l'axe de symétrie de la lentille. La mesure de la variation du flux coupé lors d'une rotation de 60° autour de cet axe permet de déterminer, en valeur relative, l'influence de la position du shunt sur la valeur de l'induction magnétique dans l'entrefer.

Les résultats de mesure sont rassemblés sur la figure 2. Les valeurs de l'induction sont rapportées à celles qui sont mesurées lorsque la lentille est aimantée sans shunt. La courbe n° 2 représente les résul-

tats obtenus lorsque le shunt a effectué quelques tours et a été démonté. Les courbes n° 2 et n° 3 montrent que la gamme de réglage est de 30 % de la valeur obtenue sans shunt. Elle pourrait d'ailleurs être accrue en réduisant l'entrefer entre le shunt et le talon des pièces polaires. Le shunt n'introduit pas d'écart relatif supplémentaire entre les valeurs de l'induction mesurée en face de chaque pôle, et une rotation de 50 tours ne modifie pas de façon mesurable les valeurs initialement observées.

FIG. 2.

Nous tenons à remercier ici J. C. Mouza qui a effectué la plupart des mesures sur cet aimant d'essai.

Manuscrit reçu le 30 mars 1966.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] SEPTIER (A.), *Advances in Electronics and Electron Physics*, Academic Press, New York, 1961, vol. XIV, p. 85.
- [2] LEMONICK (A.), PIPKIN (F. M.) et HAMILTON (D. R.), *Review of Scientific Instruments*, 1955, **26**, n° 12.
- [3] AUDOIN (C.), *J. Physique*, 1965, **26**, 71 A.
- [4] AUDOIN (C.), *Revue de Physique Appliquée*, 1966, **1**, 2.