

# Générateurs Axiaux à Entrefer Lisse

Tudor AMBROS, Diana DIMOV

Université Technique de Moldavie, Faculté de l'énergie  
MD-2004, Chişinău, bd. Ştefan cel Mare, 168

**Résumé** — L'analyse des générateurs à flux magnétique axial excités par des aimants permanents est réalisée pour sélectionner une construction technologique simple fiable est efficace. En application la méthode de l'élément fini dans la description du champ magnétique du générateur à entrefer lisse on a constaté que le spectre des harmoniques de la courbe de l'induction magnétique s'est réduite essentiellement, mais le rendement a augmenté. A la base des paramètres calculés on a élaboré le modèle mathématique.

**Termes d'Index** – générateur, axial, stator, aimants permanents, harmoniques, entrefer.

## I. INTRODUCTION

Avec la réduction des sources énergétiques traditionnelles s'impose le problème de la production de l'énergie électrique par des méthodes moins connues et peu étudiées. A l'heure actuelle les sources les plus importantes sont: la transformation directe de l'énergie solaire, du vent et de l'écoulement de l'eau.

Dans ce contexte apparaissent de nouvelles exigences vis à vis des convertisseurs de transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique c'est à dire vis à vis des générateurs électriques.

En cas de couplage des convertisseurs électromécaniques aux turbines d'air ou d'eau il faut monter un multiplicateur mécanique pour augmenter la rotation des générateurs électriques cylindriques car ceux-ci ne permettent pas d'être efficacement projetés à un grand nombre de pôles et, par conséquence, à une rotation élevée.

Dans les sources [1, 2] on recommande en ce cas d'utiliser des générateurs électriques de flux magnétique axial ayant grands diamètres et un grand nombre de pôles. Les générateurs axiaux ont deux performances indiscutables au couplage mécanique avec les moteurs éoliens et les turbines hydrauliques éliminent le multiplicateur et compensent les forces axiales produites de ces moteurs.

Dans cet article on étudie les générateurs synchrones axiaux à aimants permanents dans lesquels le contact électrique et les pertes dans le rotor sont exclus.

Ce problème se rapporte à l'élaboration d'un générateur à construction axiale technologique simple et à rendement élevé.

## II. LA RECONSTRUCTION DU GENERATEUR SYNCHRONE

La structure constructive des générateurs axiaux est connue (Fig. 1). Dans les entailles du stator 1 enroulé des bandes d'acier électrotechnique est monté l'enroulement 2 annulaire. Sur les deux parties du stator sont montés deux rotors 3 aux aimants permanents orienté vers le stator. Si le nombre de pôles est grand on peut utiliser 2 enroulements plats séparés dans les entailles statoriques formées sur les deux parties du stator (Fig. 2). Dans on a démontré que les

générateurs synchrones axiaux deviennent efficaces si le nombre de pôles:

$$p \geq \frac{\lambda \cdot \pi}{K_d \cdot \left[ 1 - \left( \frac{D_i}{D_c} \right)^2 \right]} \quad (1)$$

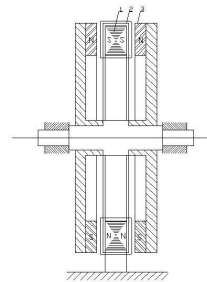


Fig. 1 Générateur synchrone à deux rotors et enroulement annulaire

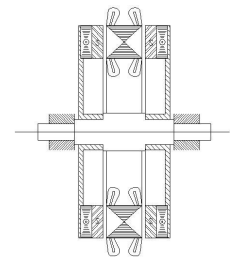


Fig. 2 Générateur synchrone à deux enroulements séparés

Du point de vue technologique l'enroulement annulaire statorique est difficile à réaliser. Pour simplifier la technologie du montage de l'enroulement sur le stator on a proposé l'enroulement formé de section de configuration spaciale qui diffèrent des section de la machine électrique habituelle seulement par le mode de fixation et la technologie du montage est facile à réaliser. Mais les entailles statoriques, d'habitude ouvertes, déforment la courbe d'induction magnétique de l'entrefer d'après l'axe  $d$  (Fig. 4).

La présence des harmoniques dans la courbe de l'induction magnétique des pertes supplémentaires.

Les pertes provoquées par ce spectre immense réduisent essentiellement le rendement du générateur.

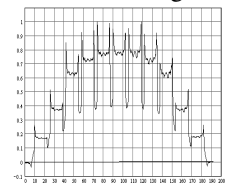


Fig. 4 La courbe de la variation de l'induction dans l'entrefer dent

## III. GENERATEUR SYNCHRONE A AIMANTS PERMANENTS

Depuis les années '70 dans les machines électriques synchrones et de courant continu on a commencé à introduire des aimants permanents formés d'éléments SmCo qui disposent d'une haute induction remanente avec la tension du champ magnétique élevée et de la courbe de démagnétisation linéaire qui ont la température de travail de 250-300 °C. Mais ces aimants coutent cher. La génération suivante des aimants fabriqués de NdFeB ont contribué à la réduction du prix des aimants sur le marché mondial. A

l'aide de ces aimants on peut élever la valeur de l'induction magnétique d'entrefer de la machine pqr dessus 1 T.

Ainsi on a élaboré un générateur synchrone sans entaille sur le stator. L'enroulement statorique est assemblé et monté des sections spaciales, directement sur le jug statorique. La Fig. 5 présente des éléments constructifs et la réalisation technologique du modèle expérimental du générateur synchrone axial à aimants permanents à deux rotors.



Fig. 5 La technologie de la confection du stator du générateur synchrone à aimants permanents sans entailles sur le paquet statorique

Grace à la valeur élevée de l'induction magnétique produite par aimants permanents, la densité du flux magnétique de l'entrefer touche la valeur de 0,6 T suffisante pour un générateur axial de petite puissance. Il est important que la courbe de l'induction magnétique de l'entrefer calculée par la méthode de l'élément fini ne contienne pas des harmoniques d'ordre supérieur et que la courbe d'induction du jug statorique soit une ligne droite à l'axe des abscisses.

Le tableau du champ magnétique d'après les axes **d** et **q** et les courbes de la variation des inductions magnétiques de l'entrefer et le jug sont présentés dans la Fig. 6 , a, b, c.

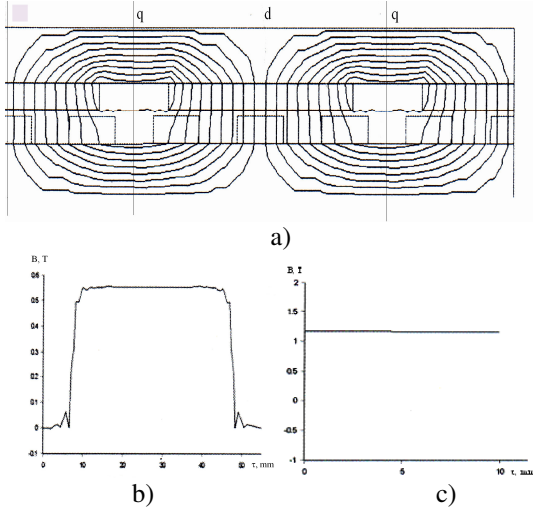


Fig. 6 Le tableau du champ magnétique - a; dans l'entrefer - b; dans le jug statorique - c

En appliquant la méthode d'élément fini on a calculé les paramètres du générateur synchrone et on a élaboré le modèle mathématique dans les axes **d** et **q**.

Les équations d'équilibre des tensions d'après l'axe longitudinale et transversale sont données selon [5]

$$\begin{aligned}
 -U_d &= r \cdot i_d + \frac{d\Psi_d}{dt} - \Psi_q \cdot \omega \\
 -U_q &= r \cdot i_q + \frac{d\Psi_q}{dt} - \Psi_d \cdot \omega
 \end{aligned} \quad (2)$$

ou:  $\Psi_d = \Psi_{dm} \omega + X_d i_d$ ;  $\Psi_q = X_q \cdot i_q$

La réaction de l'induit d'après l'axe **d** agit contrairement au flux magnétique produit par les aimants:

$$\Psi_{dm} = f(i_d) \quad (3)$$

L'équation du couple magnétique:

$$M_{em} = \Psi_d \cdot i_q - \Psi_q \cdot i_d \quad (4)$$

Sur la Fig. 7 on présente les oscillogrammes de la variation des courants à régime de courant circuit triphasé du générateur synchrone à aimants permanents sans zone de denture.

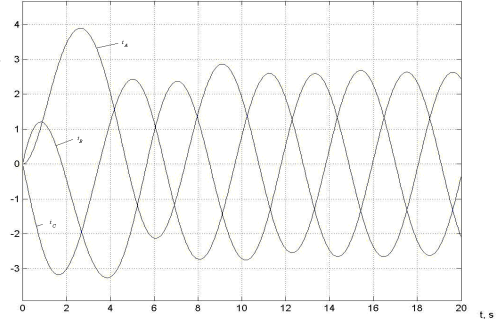


Fig. 7 Les oscillogrammes de la variation des courants de phase

Des oscillogrammes on observe que la valeur des courants de choc est plus réduite que dans les générateurs synchrones habituels. Ce phénomène s'explique par la taille considérable de l'entrefer du générateur.

#### IV. CONCLUSIONS

La transformation de l'énergie régénérable dispersée en énergie électrique est difficile à cause du couplage des turbines à eau et des moteurs éoliens aux générateurs électriques, les premiers étant d'une rotation réduite et les derniers d'une rotation élevée.

Cet article présente une étude sur les générateurs à flux magnétique axial de rotation réduite de moins de 300 rot/min, exécutées à un grand nombre de pôles des aimants permanents.

En vertu de l'analyse de diverses constructions des générateurs axiaux, l'étude du champ magnétique du modèle expérimental et du modèle mathématique dans les axes **d** et **q**, on a constaté que:

- La construction du générateur sans entaille est plus efficace;
- La courbe d'induction magnétique ne contient pas d'harmoniques d'ordre supérieur;
- Les valeurs des courants de choc dans le court circuit se réduisent considérablement.

#### REFERENCES

- [1] T. Ambros, A. Câmpeanu, L. Iazlovețchi. Generator sincron axial pentru minihidrocentrale, Energetica, nr.1, pp.33 – 35, 2004.
- [2] B. J. Chalmers, E. Spooner, "An Axial-Flux Permanent – Magnet for a Gearless Wind Energy System", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.14, No.2, pp.251 – 257, June 1999.
- [3] T. Ambros, L. Iazlovețchi, D. Gulpescu, "Considération sur le calcul du bruit produit par les moteurs électriques utilisés dans les systèmes de ventilation", A Patra Conferința Internațională de Sisteme Electromecanice și Energetice, Chișinău, 2003.
- [4] T. Ambros, A. Câmpeanu, L. Iazlovețchi, "Mathematic modelling of a synchronous generator with permanent magnets", A patra Conferință Internațională de Sisteme Electromecanice și Energetice, Chișinău, 2003.