

CONTROLE DE LA PUISSANCE D'EXTRACTION D'UN AEROGENERATEUR

La. MERAD, Lo. MERAD, M. BENEKROUF, N. BENMEDDAH and B. BENYOUCEF

Laboratoire de Matériaux et des Energies Renouvelables
~ Université Abou Bakr BELKAID B.P : 119 Tlemcen 13000 Algérie
Tél. / Fax : 043.21.58.89 & 90 / 043.20.43.30 / 043.28.56.85
E-mail : pem_merad@mail.univ-tlemcen.dz

Résumé - Il est plus intéressant d'utiliser des sources d'énergie renouvelables telles que le vent, les océans et le soleil pour obtenir de l'énergie électrique. dans notre cas on veut augmenter la puissance d'extraction d'un aergenerateur de 1500watt, pendant les variations de la vitesse du vent, et ce selon le comportement dynamique du système, qui est dans notre cas, un système hybride. pour cela nous proposons deux méthodes opérationnelles :

Premier méthode : opération de maintien de la distribution des vitesses du vent a une valeur constante dans le cas d'un système isole.

Deuxième méthode : opération de synchronisation du système relie a un réseau. dans notre cas, la simulation montre que le système isole est plus efficace que le système de faible puissance, car la puissance de sortie du système isole sera plus adéquate ainsi nous avons proposé une stratégie de contrôle de l'aérogénérateur.

mots clés – Contrôle, automatisme, électricité, énergie éolienne, vent, système hybride, vitesse, réseaux.

I. INTRODUCTION

La protection de d'environnement met en relief l'intérêt accorde de plus en plus a l'énergie éolienne ainsi les aerogenerateurs sont de mieux en mieux dimensionnées chaque année, et utilisées a grande échelle, sont reliées en réseaux. cependant, l'énergie éolienne utilisées comme source appoint dans des régions isolées ou montagneuses nécessiterait des éoliennes plus simple avec un potentiel éolien plus grand.

De ce fait, un modèle d'aérogénérateur a été étudié afin d'être productif de façon autonome. C'est un système hybride, composé d'un rotor Darrieus assisté de deux rotors Savonius, d'un générateur de charge et d'une batterie et qui est aussi opérationnel en un point de puissance maximale c'est à dire de vitesse maximale constante. Ainsi, on conçue des systèmes de 1.5 Kw pour tester les caractéristiques de sortie sur le site de Tlemcen.

Puis, on a testé un système hybride de 200watts comprenant un alternateur dans des conditions opératoires très variées. Les essais effectuées ont confirmé le choix du système hybride.

De plus, des études théoriques ont mis en relief les caractéristiques de notre système. Ainsi, le modèle utilisé en simulation est conforme aux résultats expérimentaux. Ensuite, on a choisi un système de plus grande dimensions mais de mémé géométrie. Puis, on a étudié le comportement du système choisi lors de variations de la vitesse du vent et ce du point de vue des dimensions et des caractéristiques dynamiques. Aussi notre aérogénérateur est utilisées dans des sites bien déterminées mais on sait notre système fonctionne dans des conditions très aléatoires tel que changement de la direction de la vitesse du vent, angle de frappe des pales, coup de foudre, chute brutale de la température....etc. parce que il est exposé a des hauteurs plus hautes que la hauteur de mesure de la vitesse du vent qui est généralement 10m a.d.s mais tous ces problèmes citées on une solution relativement fiable. Le problème majeur est la variation brutale de la vitesse du vent ce qui implique une chute brutale de la puissance délivrée par l'aérogénérateur donc une chute du rendement de la machine donc il est impérativement d'avoir une stratégie de contrôle du système pour notre cas un système de contrôle basé sur un contrôle progressive d'alimentation pour un aérogénérateur de 1500watt installé à une hauteur de 25m a.d.s qui permet d'alimenter 14 foyers en énergie électrique de moyenne consommation. [1, 2]

Tous ces problèmes créent des turbulences local au niveau de l'aérogénérateur surtout la variation brutal de la vitesse du vent et donc saturation magnétique d'ou la nécessité d'une stratégie de contrôle. [3]

Les résultats obtenues nous permettent de modéliser un aérogénérateur autonome.

II. DESCRIPTION D'UN AERGENERATEUR

C'est un système hybride formé d'un rotor Darrieus couplé à deux rotors Savonius

- d'un générateur
- d'une batterie
- et d'un système de contrôle.

A. Système hybride

- Un rotor à deux pales Darrieus d'ascension
- Deux rotors Savonius d'entraînement, posé à 90° l'un de l'autre à l'intérieur du rotor Darrieus.

Le rotor Darrieus ne peut démarrer seul car le couple est deux fois plus faible dans le domaine des vitesse de pointe.

En utilisant la configuration hybride, l'éolienne peut démarrer seule sans apport extérieur de puissance. Cependant, la puissance totale de sortie est plus faible par rapport à celle produite en utilisant le rotor Darrieus seul, à cause des interactions mécaniques entre les rotors Darrieus et Savonius. Celles ci seront évitées en installant les rotors Savonius à l'extérieur du rotor.

B. Système de contrôle

Il existe deux méthodes :

- Rapport de vitesse de pointe constante pour un système standard.
- Synchronisation par connexion à un réseau.

Les points de fonctionnement et les caractéristiques de chaque système sont illustrées par la figure (1).

Dans le premier cas, le système fonctionne en un point de puissance maximale correspondant a un rapport de vitesses constant, et ce à des vitesses très grandes. (la vitesse de rotation permise par les pales limite l'extraction, de la puissance.)

Le système de charge se compose d'un aérogénérateur et d'une batterie la batterie. La tension de l'armature est maintenue constante pour égaler la tension la batterie afin de rendre efficace l'opération de charge. Dans ce cas, et avec un système autonome, la batterie servira de filtre dans le cas de variations de puissance et de réserve d'énergie si l'énergie éolienne varie. Le courant de l'armature est régulé par un transistor placé entre le générateur et la batterie afin de contrôler aussi la vitesse de rotation.

Dans le deuxième cas, la charge varie pour maintenir une vitesse de rotation donnée malgré les variations de vitesse du vent.

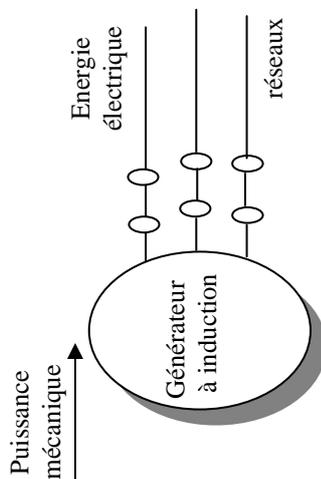


Fig. 1. Opération de synchronisation avec le réseau

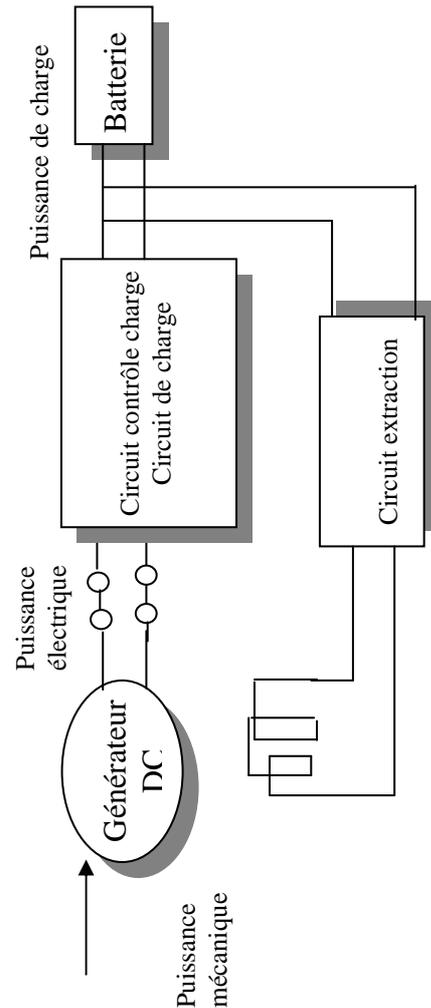


Fig. 2 . Opération de maintenir le rapport de vitesse constant

III. INFLUENCE DE CES METHODES

- *l'état stationnaire*

On compare les caractéristiques statiques dans chaque cas : La relation entre la vitesse du vent et la puissance de sortie qui permet de charger la batterie le premier cas et alimenter le générateur dans le deuxième cas ; est illustrée dans la figure 2 .

Dans le premier cas, l'énergie éolienne peut être efficacement convertie en énergie mécanique car le coefficient de puissance est maintenue à une valeur maximale. Dans un large domaine de vitesses. En termes de puissance de sortie, la puissance de charge à la sortie du générateur diminue de 10% à cause des pertes de charge dans le régulateur de courant de l'armature.

Cependant, dans le deuxième cas, la puissance de sortie du générateur est extraite et utilisée directement, en l'absence du système de contrôle de la vitesse de rotation : Ainsi, la puissance de sortie du générateur est plus grande, au voisinage d'une

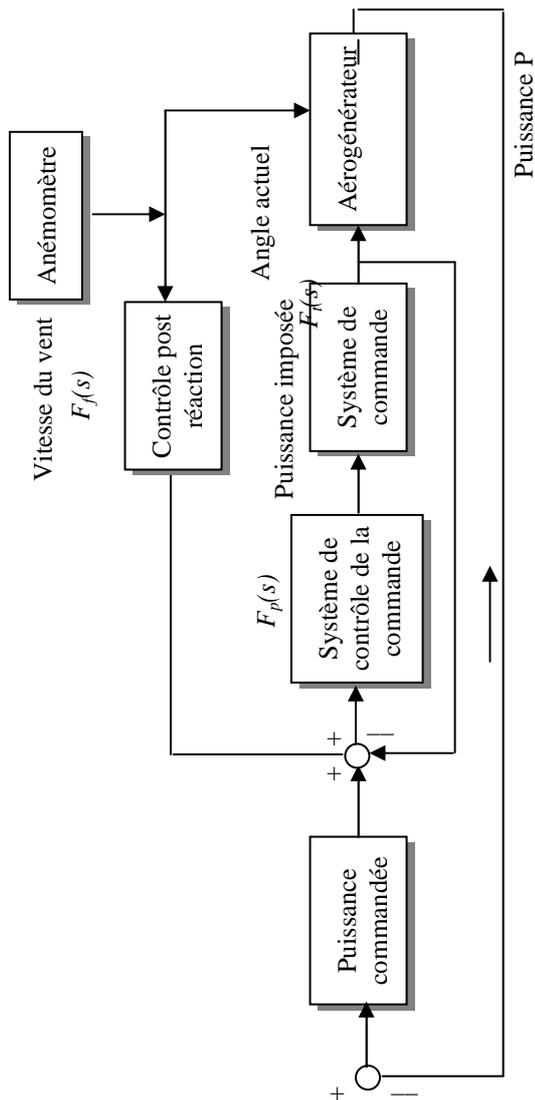


Fig. 4. Schéma synoptique du Système de contrôle

V. CARACTERISTIQUES DU SYSTEME DE PRODUCTION D'ELECTRICITE

La production d'énergie électrique nécessite deux types de générateurs fonctionnant :

- Soit à vitesse constante (dispositif de limitation de vitesse du rotor éolien).
- Soit à vitesse variable.

Quelque soit le mode de fonctionnement des générateurs, la plage de vitesses varie entre 750 et 3000 tr/min d'où l'intérêt d'utiliser un multiplicateur de vitesses entre le générateur et l'aérogénérateur.

$$K = \frac{N_g}{N} \quad (9)$$

Avec :

N_g : Vitesse de rotation du générateur [tr/min].

Les aérogénérateurs ayant un rendement faible nécessitent l'utilisation d'un système de régulation

électrique ou mécanique, un système de stockage (batteries) et un générateur à courant continu existant sous deux formes :

- Machines synchrones (électricité),
- Machines asynchrones (moteurs, surtout si faible puissance).

La génératrice asynchrone est alimentée par une source de courant réactif pour éviter l'usage de batteries et peut fonctionner :

- Soit à vitesse constante et à la fréquence nominale.
- Soit à vitesse variable.

A. Fonctionnement à vitesse constante et fréquence nominale

Chaque génératrice asynchrone est caractérisée par un réseau de courbes [3, 4] ; la tension u dépend de la puissance active fournie et de la valeur des condensateurs ; pour maintenir la tension u constante, il faut adapter p réactive fournie à la puissance active.

Si la puissance mécanique fournie par l'aérogénérateur est constante et si on alimente la génératrice à charge constante, il faut ajuster la charge avec la valeur des condensateurs d'excitation ; la puissance mécanique et la puissance active variant, il faudra un dispositif de régulation de la tension u , la fréquence n étant constante agit sur :

- Puissance mécanique d'entraînement de l'aérogénérateur.
- Puissance active (charge électrique).
- Puissance réactive (condensateur).

B. Fonctionnement à vitesse variable

Dans ce mode de fonctionnement la fréquence n est constante mais la tension u varie avec le couple mécanique d'entraînement et la puissance électrique ; les pertes par effet joule du rotor étant plus importantes, le rendement de la machine se trouve diminué.

VI. GENERATEUR ET RAPPORT DE TRANSMISSION

La puissance nominale du générateur est donnée par la relation suivante :

$$P_{ng} \geq P_{max} \quad (10)$$

Avec :

P_{ng} : Puissance nominale du générateur [watt],

P_{max} : Puissance maximale disponible sur l'arbre [watt].

Le choix le plus fiable de la vitesse de fonctionnement, donne un rapport de transmission faible ; les pertes étant faibles, le prix revient et le rendement du générateur seront faibles aussi.

Pour des vitesses de fonctionnement de l'aérogénérateur et du générateur données, le rapport de transmission s'écrit :

$$K_t = \frac{N_{ng}}{N_{max}} \quad (11)$$

Avec : N_{ng} : Vitesse de rotation nominale du générateur [tr/min].

N_{max} : Vitesse de rotation de l'aérogénérateur [tr/min].

L'énergie électrique fournie est donnée par la relation suivante :

$$P_e = \eta_g \cdot P_m \quad (12)$$

Avec : P_e : Puissance électrique [watt],

P_m : Puissance mécanique [watt],

η_g : Rendement du générateur [-].

Le modèle mathématique qui exprime la variation des pertes du générateur en fonction de la puissance électrique fournie, en utilisant les caractéristiques nominales de la machine, est donnée par la relation suivante :

$$W_g = a \cdot (1 + b^2) \cdot P_{ng} \quad (13)$$

Avec : W_g : Pertes du générateur [joules].

ou le paramètre a est une constante qui dépend des caractéristiques nominales de la machine [7, 8] et le paramètre b est le facteur de charge du générateur.

Ces paramètres sont définis comme suit :

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{1 - \eta_{ng}}{2 \cdot \eta_{ng}} \\ b &= \frac{P_e}{P_{ng}} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Avec : η_{ng} : Rendement nominal du générateur [-].

Enfin la puissance mécanique que doit fournir l'aérogénérateur au générateur est donnée par la relation suivante :

$$P_m = P_e + a \cdot (1 + b^2) \cdot P_{ng} \quad (15)$$

Avec : P_m : Puissance mécanique [watt].

Le terme $a \cdot P_{ng}$ représente les pertes à vide du générateur ; à partir de ces pertes le générateur commence à débiter.

VII. SYSTEME DE PRODUCTION D'ELECTRICITE

Le maximum d'énergie électrique fournie découle de la fiabilité du couplage entre le système de transmission et le générateur. Les figures (5) et (6) représentent respectivement la variation de la puissance électrique fournie et de la puissance mécanique disponible sur l'arbre en fonction de la

vitesse de rotation du rotor, ainsi que la variation de la puissance électrique en fonction de la puissance mécanique [5, 6, 9].

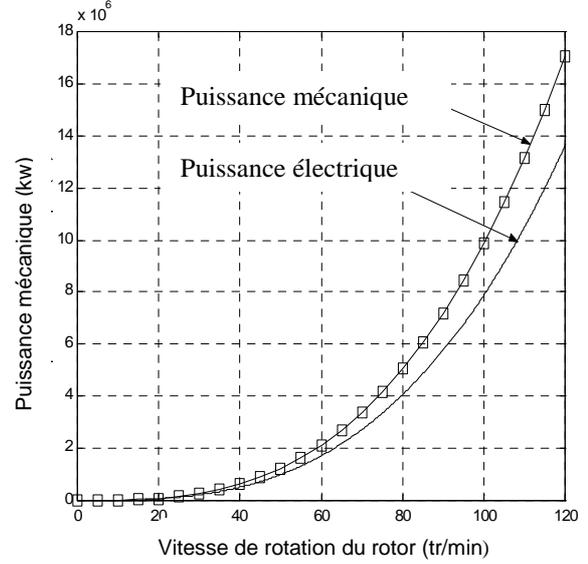


Fig. 5 . variation de l'énergie mécanique et électrique en fonction de la vitesse de rotation

Le générateur commence à débiter dès que la puissance mécanique est supérieure aux pertes à vide ; pour un générateur de puissance nominale 2 kWatt et de rendement nominal égal à 0.80, les pertes à vide seraient de 0.25 kWatt environ, et les pertes de transmission par le multiplicateur de vitesses estimées à 0.1324 kWatt.

Donc le système commence à produire lorsque la puissance mécanique sur l'arbre de l'aérogénérateur est supérieure à la somme des deux pertes précédentes.

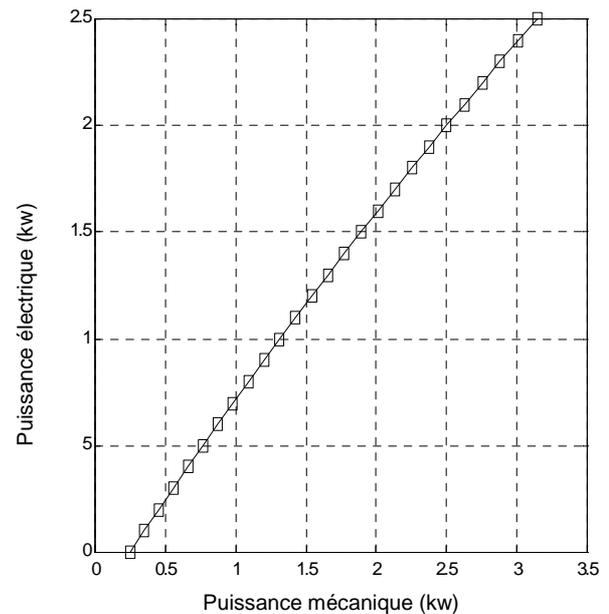


Fig. 6. Variation de la puissance électrique en fonction de la puissance mécanique

VIII. PROTECTION CONTRE LE COUP DE Foudre

Les aérogénérateurs sont généralement placés sur des endroits hauts, eux mêmes plus hauts que les obstacles environnants. Ils sont donc souvent les points d'écoulement normaux des charges d'électricité statique pendant les orages [5, 6].

Si, par construction, le générateur lui-même n'est pas sensible aux coups de foudre car il est enfermé dans une enceinte métallique reliée à la terre (cage de Faraday), il n'en est pas de même de l'installation à laquelle il est relié, et qui est très souvent détruite par les surtensions se propageant par le câble électrique.

Il est donc essentiel par mesure de sécurité de :

- Relier le pylône support de l'aérogénérateur à une bonne prise de terre (inférieure à 3Ω).
- Disposer des éclateurs à gaz sur l'arrivée des câbles électriques de l'aérogénérateur. La tension d'amorçage de ces éclateurs est d'environ deux fois la tension maximale du générateur électrique :
 - Dynamo : tension à vide fois 2.
 - Alternateur : tension à vide efficace fois 2.

Ces éclateurs seront reliés à la prise de terre par une ligne aussi directe que possible.

IX. CONCLUSION

Dans le premier cas et pour un système autonome, le facteur dominant d'extraction de la puissance mécanique est la constante de temps du système tournant, est plus de la perte de charge électrique du système de contrôle de charge.

Cependant, un système plus grand n'est pas toujours avantageux ses caractéristiques dynamiques étant moins bonnes par rapport à un système plus petit.

Dans le deuxième cas, est par connexion au réseau, la puissance extraite dépend largement des dimensions. Aussi nous avons proposé un système ou une stratégie de contrôle de la puissance d'un aérogénérateur qui est due à la variation brutale de la vitesse du vent pour des raisons climatiques et surtout géographiques (position de l'aérogénérateur) pour le cas de 1500 watt et sa hauteur de 25 m a.d.s, pour cela le système donne satisfaction pour de faible puissance nominale, plus de 18% seulement de la variation qui était avant de 60% pour les faibles puissances, ainsi le système commence à produire de l'énergie électrique après qu'il dépasse les deux types de pertes causées pendant la transformation de l'énergie d'un type à l'autre ainsi le système est protégé contre les coups de foudre par une simple prise de terre et des dynamos qui permettent à l'aérogénérateur de fonctionner dans de bonnes conditions.

REFERENCES

[1] L. MERAD., « Contribution à l'étude d'un système d'aérogénérateur à rendement élevé », Thèse de

Magister, Université Abou Bekr BELKAID, Tlemcen, Mai 2002.

[2] G. WATSON., « Electrical research helps », T.A.P Wind power, Science and Technology Now, ISSUE, N°6, pp. 9-11, Winter 1994 - 1995.

[3] D. BODAMER., « Catch the Wind », Department of Civil Engineering, pp. 50-54, July 1999.

[4] D. FERETIC., Z. TOMSIC., N. CAVLINA., « Feasibility analysis energy utilisation in Croatia », Faculty of Electrical Engineering Company, Department of Power Systems, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia, July 7, 1999.

[5] J. MARTIN., « Energie éolienne » édition Technique de l'Ingénieur, B 1360, pp. 3-21, 1980.

[6] E.H. LYSEN., « Introduction to Wind Energy », édition S.W.D, 2^{ème} édition, the Netherlands, May 1983.

[7] J. HASLETT., « The capacity credit of wind power : A theoretical analysis », Solar Energy, Vol. 26, pp. 391-401, January 1981.

[8] D. MEIER., D. IRLINGER., O. KEMPF., « Electronique et conversion de puissance », Edition Ellipses, 1999.

[9] P. COSTA., V. BOITIER., « Electronique de puissance et électrotechnique », Edition Ellipses, 1997.

[10] M. MOKHTARI., A. MESBAH., « Apprendre et Maîtriser Matlab », springer-verlag, Berlin, Heidelberg, 1997.