

Printed from

Journal of Scientific Research

<http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>

Système de Génération Eolien Sans Electronique de Commande

M. DAHBI ^{1,2}, A. BENATIALLAH ², M. SELLAM ³

¹ Université de Bechar,

² Laboratoire des Energies Environnement et Système d'Information, Université Africain, Adrar

³ Laboratoire, ENERGARID, Université de Bechar, Algerie,
Email: dahbimaamar@yahoo.fr

Published on 10 July 2013

The Editor, on behalf of the Editorial Board and Reviewers, has great pleasure in presenting this number of the Journal of Scientific Research. This journal (ISSN 2170-1237) is a periodic and multidisciplinary journal, published by the University of Bechar. This journal is located at the interface of research journals, and the vulgarization journals in the field of scientific research. It publishes quality articles in the domain of basic and applied sciences, technologies and humanities sciences, where the main objective is to coordinate and disseminate scientific and technical information relating to various disciplines.

The research articles and the development must be original and contribute innovative, helping in the development of new and advanced technologies, like the studies that have concrete ideas which are of primary interest in mastering a contemporary scientific concepts. These articles can be written in Arabic, French or English. They will not be published in another journal or under review elsewhere. The target readership is composed especially of engineers and technicians, teachers, researchers, scholars, consultants, companies, university lab, teaching techniques and literary ... The journal is obtainable in electronic form, which is available worldwide on the Internet and can be accessed at the journal URL:

<http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>.

Director of Journal

Pr. BELGHACHI Abderrahmane

Editor in Chief

Dr. HASNI Abdelhafi d

Co-Editor in Chief

Dr. BASSOU Abdesselam

Editorial Member

TERFAYA Nazihe

BOUIDA Ahmed

LATFAOUI Mohieddine

MOSTADI Siham

Reviewers board of the Journal.

Pr. KADRY SEIFEDINE (The American University in KUWAIT)
Pr. RAZZAQ GHUMMAN Abdul (Al Qassim University KSA)
Pr. PK. MD. MOTIUR RAHMAN (University of Dhaka Bangladesh)
Pr. MAHMOOD GHAAZAW Yousry (Al Qassim University KSA)
Pr. KHENOUS Houari Boumediene (King Khalid University KSA)
Pr. RAOUS Michel (Laboratory of Mechanic and Acoustic France)
Pr. RATAN Y. Borse (M S G College Malegaon Camp India)
Pr. LEBON Frédéric (University of Aix-Marseille 1 France)
Pr. MONGI Ben Ouédou (National Engineering School of Tunis)
Pr. BOUKELIF Aoued (University of Sidi Bel Abbes Algeria)
Pr. DJORDJEVICH Alexandar (University of Hong Kong)
Pr. BENABBASSI Abdelhakem (University of Bechar Algeria)
Pr. BOULARD Thierry (National Institute of Agronomic Research France)
Pr. LUCA Varani (University of Montpellier France)
Pr. NEBBOU Mohamed (University of Bechar Algeria)
Dr. FELLAH Zine El Abidine Laboratory of Mechanic and Acoustic France)
Dr. ZHEN Gao (University of Ontario Institute of Technology Canada)
Dr. OUERDACHI Lahbassi (University of Annaba Algeria)
Dr. HADJ ABDELKADER Hicham (IBISC – University of Evry France)
Dr. KARRAY M'HAMED ALI (National Engineering School of Tunis)
Dr. ALLAL Mohammed Amine (University of Tlemcen Algeria)
Dr. FOUCHAL Fazia (GEMH - University of Limoges France)
Dr. TORRES Jeremi (University of Montpellier 2 France)
Dr. CHANDRAKANT Govindrao Dighavka (L. V. H. College of Panchavati India)
Dr. ABID Chérifa (Polytech' University of Aix-Marseille France)
Dr. HAMMADI Fodil (University of Bechar Algeria)
Dr. LABBACI Boudjema (University of Bechar Algeria)
Dr. DJERMANE Mohammed (University of Bechar Algeria)
Dr. BENSALI Abd-El-Hamid (University of Tlemcen)
Dr. BENBACHIR Maamar (University of Bechar Algeria)

Pr. BALBINOT Alexandre (Federal University of Rio Grande do Sul Brazil)
Pr. TEHIRICHI Mohamed (University of Bechar Algeria)
Pr. JAIN GOTAN (Materials Research Lab., A.C.S. College, Nandgaon India)
Pr. SAIDANE Abdelkader (ENSET Oran Algeria)
Pr. DI GIAMBERARDINO Paolo (University of Rome « La Sapienza » Italy)
Pr. SENGOUGA Nouredine (University of Biskra Algeria)
Pr. CHERITI Abdelkarim (University of Bechar Algeria)
Pr. MEDALE Marc (University of Aix-Marseille France)
Pr. HELMAOUI Abderrachid (University of Bechar Algeria)
Pr. HAMOUINE Abdelmadjid (University of Bechar Algeria)
Pr. DRAOUI Belkacem (University of Bechar Algeria)
Pr. BELGHACHI Abderrahmane (University of Bechar Algeria)
Pr. SHAILENDHRA Karthikeyan (AMRITA School of Engineering India)
Pr. BURAK Barutcu (University of Istanbul Turkey)
Pr. LAOUFI Abdallah (University of Bechar Algeria)
Dr. SELLAM Mebrouk (University of Bechar Algeria)
Dr. ABDUL RAHIM Ruzairi (University Technology of Malaysia)
Dr. BELBOUKHARI Nasser (University of Bechar Algeria)
Dr. CHIKR EL MEZOUAR Zouaoui (University of Bechar Algeria)
Dr. BENACHAIBA Chellali (University of Bechar Algeria)
Dr. KAMECHE Mohamed (Centre des Techniques Spatiales, Oran Algeria)
Dr. MERAD Lotfi (Ecole Préparatoire en Sciences et Techniques Tlemcen Algeria)
Dr. BASSOU Abdesselam (University of Bechar Algeria)
Dr. ABOU-BEKR Nabil (University of Tlemcen Algeria)
Dr. BOUNOUA Abdennacer (University of Sidi bel abbes Algeria)
Dr. TAMALI Mohamed (University of Bechar Algeria)
Dr. FAZALUL RAHMAN Mohd Hafiz (University of Malaysia)
Dr. ABDELAZIZ Yazid (University of Bechar Algeria)
Dr. BERGA Abdelmadjid (University of Bechar Algeria)
Dr. Rachid KHALFAOUI (University of Bechar Algeria)
Dr. SANJAY KHER Sanjay (Raja Ramanna Centre for Advanced Technology INDIA)

Journal of Scientific Research

P.O.Box 417 route de Kenadsa

08000 Bechar - ALGERIA

Tel: +213 (0) 49 81 90 24

Fax: +213 (0) 49 81 52 44

Editorial mail: jrs.bechar@gmail.com

Submission mail: submission.bechar@gmail.com

Web: <http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>



Système de Génération Eolien Sans Electronique de Commande

M. DAHBI^{1,2}, A. BENATIALLAH², M. SELLAM³

¹ Université de Bechar, Email: dahbimaamar@yahoo.fr

² Laboratoire des Energies Environnement et Système d'Information, Université Africain, Adrar, Algerie,

Email: benetiallah.ali@gmail.com

³ Laboratoire, ENERGARID, Université de Bechar, Algerie, Email: Selma09@gmail.com

Abstract – Dans ce travail, un système sans commande électronique est présenté et optimisé pour fournir la plus grande quantité de puissance possible. Ceci permet d'obtenir un système performant avec très peu de composants, ce qui est un autre avantage pour les emplacements éloignés.

A partir du modèle du système, les équations de la puissance mécanique et de la puissance électrique du générateur sont obtenues en utilisant deux scénarios.

Les trois courbes de puissance ont été calculées pour ces trois niveaux de tensions, en utilisant les mêmes paramètres pour l'alternateur et le rotor que précédemment.

Les résultats obtenus montrent également que le niveau de voltage de la batterie fluctue constamment durant le fonctionnement du système. On a également pu constater que le fonctionnement de l'alternateur est influencé par le niveau de voltage vu à ses bornes, lié au niveau de voltage de la batterie pour une installation en réseau autonome. Plus le voltage de la batterie est élevé, plus l'alternateur doit tourner à une vitesse de rotation élevée afin d'induire une tension supérieure à celle de la batterie et établir un courant de charge. La charge est supposée consommer toute l'énergie produite.

Keywords: énergie éolienne, sans commande, électronique, normatif IEC 61400-12-1.

I. Introduction

L'énergie éolienne est aujourd'hui la source renouvelable non conventionnelle la plus compétitive et qui a le taux de croissance le plus élevé [1]. Elle représente déjà une des formes d'énergie renouvelable les plus importantes pour la production d'énergie électrique [2]. La quantité d'électricité produite dans le monde soit par les grandes fermes éoliennes soit par des petits systèmes de conversion d'énergie éolienne est en croissance constante.

L'application la plus courante des petits systèmes éoliens individuels est de les installer dans des endroits isolés ou dans des lieux où le réseau public d'électricité n'arrive pas du fait d'une extension du réseau trop chère et pour les quels l'aménagement de systèmes diesel n'est pas justifié au niveau économique et/ou environnemental [3].

Généralement, les structures fonctionnant à 3 vitesses variable et commandées électroniquement permettent de maximiser la quantité d'énergie produite par les systèmes de conversion d'énergie éolienne [4][5]. Ces systèmes sont complexes, chers et ont besoin d'étages de conversion électrique complémentaires associés à des structures de commande particulièrement adaptées.

Dans ce travail, un système sans commande électronique est présenté et optimisé pour fournir la plus grande quantité de puissance possible. Ceci permet d'obtenir un système performant avec très peu de composants, ce qui est un autre avantage pour les emplacements éloignés.

Lors de l'utilisation de systèmes de génération éoliens, la simplicité du système de production permet de diminuer les coûts de maintenance et d'augmenter la fiabilité.

Le système étudié est présenté à la figure.1. Il est composé d'une turbine éolienne à axe horizontal tripale qui prend l'énergie de la masse d'air en mouvement, d'une boîte de vitesses élévatrice qui adapte les vitesses de rotation de l'éolienne et du générateur, d'une machine synchrone à aimants permanents pour la conversion électromécanique, d'un pont à diodes qui fait la conversion électrique AC/DC et d'un groupe de batteries pour le stockage d'énergie. La charge est supposée consommer toute l'énergie produite.

Ce système sera utilisé pour des applications individuelles. A partir du modèle du système, les équations de la puissance mécanique et de la puissance électrique du générateur sont obtenues.

Le modèle statique du système est décrit dans une première partie. On étudie les variations maximales de la courbe de puissance en fonction du voltage. Les niveaux de

tension sont ceux de la pile acide-plomb à décharge profonde, puisqu'il s'agit de la pile la plus largement répandue pour ce type d'application, le niveau moyen correspond au voltage nominal de la batterie, 24 V. Le niveau bas correspond au voltage de la batterie vide 21V et le niveau élevé correspond au voltage de la batterie pleine et soumise à un fort courant de charge 32V pour le premier scénario. Dans le deuxième scénario, nous utilisons les trois niveaux de tension fixés par la norme IEC 61400-12-1 [6] : 22.8V, 25.2V et 28.8V. Les trois courbes de puissance ont été calculées pour ces trois niveaux de tensions, en utilisant les mêmes paramètres pour l'alternateur et le rotor que précédemment. Les trois courbes de puissance résultantes sont présentées à la figure 7.

Les calculs doivent être effectués pour une petite éolienne de 1680W. D'un rayon de 1.8m et une puissance nominale de 1680 watts pour un vent de 12 m/s. L'éolienne utilise un alternateur synchrone à aimants permanents, ayant 4 paires de pôles et générant un courant triphasé. Le courant est redressé avec un pont redresseur à diode afin de recharger une batterie d'accumulateurs de 24 volts de tension nominale.

Les résultats obtenus montrent également que le niveau de voltage de la batterie fluctue constamment durant le fonctionnement du système. On a également pu constater que le fonctionnement de l'alternateur est influencé par le niveau de voltage vu à ses bornes, lié au niveau de voltage de la batterie pour une installation en réseau autonome. Plus le voltage de la batterie est élevé, plus l'alternateur doit tourner à une vitesse de rotation élevée afin d'induire une tension supérieure à celle de la batterie et établir un courant de charge.

De plus, lors de l'étude du rotor, il a été mentionné qu'en raison de l'aérodynamisme des pales, le rotor doit tourner à une vitesse de rotation bien précise, pour un vent donné, afin d'extraire un maximum d'énergie. Ainsi, une variation du niveau de voltage de la batterie entraîne une modification de la vitesse de rotation de l'alternateur et du rotor, qui lui est relié directement, modifiant alors ses performances aérodynamiques.

II. Modèle du Système

Le système étudié est présenté à la figure.1. Il est composé d'une turbine éolienne à axe horizontal tripale qui prend l'énergie de la masse d'air en mouvement, d'une boîte de vitesses élévatrice qui adapte les vitesses de rotation de l'éolienne et du générateur, d'une machine synchrone à aimants permanents pour la conversion électromécanique, d'un pont à diodes qui fait la conversion électrique AC/DC et d'un groupe de batteries pour le stockage d'énergie. La charge est supposée consommer toute l'énergie produite.

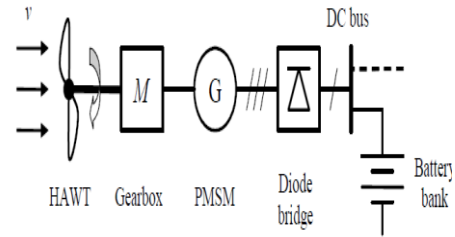


Figure 1 : Système éolien individuel avec stockage d'énergie.

II.1. Système Mécanique

La puissance mécanique P_t qu'une turbine éolienne peut extraire d'une masse d'air traversant la surface balayée par son rotor est [7] :

$$P_{wind}(t) = \frac{1}{2} \rho A_w v(t)^3 C_p(\lambda) \quad (1)$$

ρ est la densité de l'air (Kg/m³), A_w est la surface balayée par le rotor de l'éolienne (m²), v est la vitesse du vent et C_p est le coefficient de puissance de la turbine. Ce dernier dépend du rapport de vitesses λ (ou TSR, tip speed ratio) [8, 9], et il est caractérisé par les propriétés de la turbine éolienne (axe horizontal ou vertical, nombre et forme des pales, etc.)

$$TSR = \lambda = \frac{\Omega \cdot R}{v} \quad (2)$$

La caractéristique non linéaire du coefficient de puissance C_p peut s'approximer soit par une fonction polynomiale (Borowy et Salameh, 1997) [5], soit par une fonction rationnelle par l'approximation « Vannier-morales –Lopez » [10]. La forme rationnelle proposée dans l'équation (3) a l'avantage de montrer de façon explicite

des informations telles que le TSR maximale pour un C_p positif. λ_0 et la valeur approximative du TSR optimal pour C_p maximal :

$$C_p(\lambda) = \frac{G \cdot \lambda (\lambda_0 - \lambda)}{a^2 + (\lambda_0 - \lambda)^2} \quad (3)$$

Les paramètres G , λ_0 et a sont à déterminer. Une régression non linéaire doit se faire pour trouver ces paramètres. La figure 2 présente la courbe C_p utilisée.

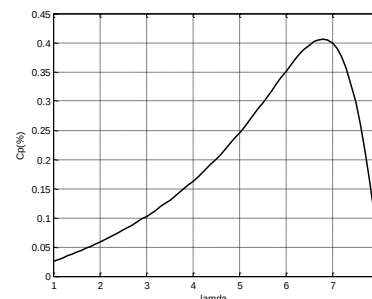


Figure 2 : Courbe du C_p du rotor

Pour adapter la vitesse de rotation relativement lente de la turbine éolienne à celle du générateur, une boîte d'engrenage (boîte de vitesses) peut s'utiliser. Pour des raisons de simplicité, l'équation (4) est utilisée comme modèle de ce système de transmission mécanique dans laquelle M représente le rapport de transformation (ou transmission) de la boîte, Ω est la vitesse de rotation de l'arbre lent de la turbine éolienne et Ω_G celle de la machine électrique (arbre rapide) :

$$\Omega_G = M \cdot \Omega$$

La vitesse de rotation de l'arbre du générateur et la vitesse du champ électromagnétique ω (fréquence ou pulsation électrique) sont liées par une relation faisant intervenir le nombre de paires de pôles de la machine p ($\omega = p \cdot \Omega_G$). La puissance mécanique de l'éolienne peut alors s'exprimer en fonction du rapport de transmission M , de la pulsation électrique ω et de la vitesse du vent v :

$$P_t = \frac{\rho \cdot A \cdot R \cdot G}{2} \cdot \frac{\omega \cdot (\lambda_0 \cdot p \cdot M \cdot v - R \cdot \omega)}{(a \cdot p \cdot M \cdot v)^2 + (\lambda_0 \cdot p \cdot M \cdot v - R \cdot \omega)^2} \cdot v^3 \quad (5)$$

Si on souhaite faire intervenir la vitesse de rotation de la turbine Ω , (5) permet aussi d'écrire la relation suivante :

$$P_t = \frac{\rho \cdot A \cdot R \cdot G}{2} \cdot \frac{\Omega \cdot (\lambda_0 \cdot v - R \cdot \Omega)}{(a \cdot v)^2 + (\lambda_0 \cdot v - R \cdot \Omega)^2} \cdot v^3 \quad (6)$$

II.2. 2.2 Système Electrique

Générateur à aimants permanents

Le générateur est une machine synchrone à aimants permanents qui est modélisée simplement par une source de tension avec une impédance en série. Le circuit équivalent et le diagramme de Behn-Eschenburg sont montrés à la figure 3. Les composantes fondamentales pour la tension u_s et le courant i_s sont supposés en phase car la charge est un simple redresseur à diodes (figure .4) [10].

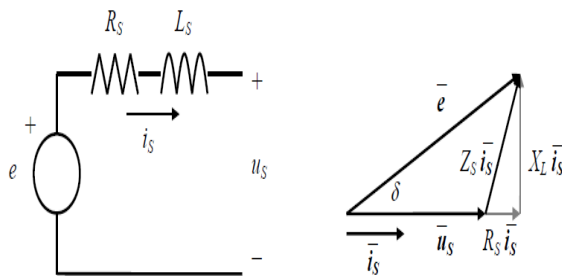


Figure 3. Schéma équivalent du générateur synchrone et diagramme de Behn- Eschenburg associe.

Les relations découlant de ce modèle simplifié de la machine sont les suivantes :

$$e = \psi_r \cdot \omega \Rightarrow E = \frac{e}{\sqrt{2}} = \frac{\psi_r \cdot \omega}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \psi_r \cdot \omega$$

$$\omega = p \cdot \Omega \quad \Omega_G = M \cdot \Omega$$

$$\Rightarrow E = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot p \cdot M \cdot \psi_r \cdot \Omega$$

(4) E : Valeur efficace de la composante fondamentale de tension induite par les aimants dans le bobinage du stator de la machine (f.e.m.)

ψ_r : Flux crête reçu par une bobine du stator venant des aimants

ω : vitesse de rotation du champ magnétique (pulsation électrique ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$)).

p : Nombre de paires de pôles de la machine.

Ω_G : vitesse de rotation de l'arbre du générateur

($\omega = p \cdot \Omega_G$).

Ω : vitesse de rotation de l'arbre de la turbine ($\Omega_G = M \cdot \Omega$).

M : Rapport de la boîte de vitesses (multiplicatrice ou élévatrice)

III. Redresseur triphasé à diodes

La relation entre les tensions des cotes AC et DC du circuit électrique de puissance peut se mettre sous la forme :

$$u_s = G_{ac} \cdot U_{DC} \quad (7)$$

u_s est la valeur crête de la tension fondamentale phase-neutre à l'entrée du redresseur (aux bornes de la machine).

U_{DC} est la tension batterie (U_{batt}).

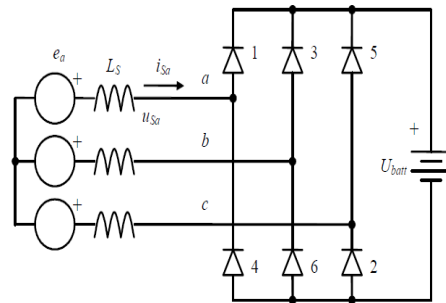


Figure 4 : Schéma équivalent de la machine connecte au redresseur et a la batterie.

Le coefficient G_{ac} correspond donc au rapport entre ces deux grandeurs.

Connaissant l'allure de la tension u_a , une analyse des composantes de Fourier permet de connaître la valeur du gain de tension antérieurement défini en (7).

$$G_{ac} = \frac{2}{\pi}$$

Pour connaître maintenant le courant continu I_{DC} , on sait que le redresseur a diodes a des courants pratiquement en phase avec les tensions d'entrée (facteur de déplacement $\cos(\varphi)$ quasiment unitaire). Donc, à partir d'une relation énergétique et en négligeant les pertes dans les diodes, on peut obtenir une expression de la valeur du courant de charge de la batterie en fonction de la valeur crête du courant de la machine avec i_s :

$$I_{DC} = \frac{3}{2} \cdot G_{ac} \cdot i_s$$

IV. Interaction Machine à Aimants Permanents–Redresseur à diodes

Une fois connues les tensions e et u_s , il reste à connaître la valeur du courant de ligne.

Pour cela, le diagramme de Behn-Eschenburg du modèle simplifié de la machine (figure 3) permet d'obtenir l'équation vectorielle (10) :

$$\begin{aligned} \bar{e} &= \bar{u}_s + Z_s \cdot \bar{i}_s \\ F(\delta, i_s) &= \begin{cases} e \cos \delta - R_s \cdot i_s - u_s \\ e \sin \delta - X_L \cdot i_s \end{cases} \end{aligned} \quad (10)$$

Grâce à quelques opérations algébriques sur le système précédent, il est possible d'aboutir à une seule expression d'une seule variable, le courant de la machine i_s . S'il s'agit d'un polynôme de second degré ; ce polynôme et ses solutions sont :

$$\begin{aligned} (R_s^2 + X_L^2) \cdot i_s^2 + (2 \cdot R_s \cdot u_s) \cdot i_s + (u_s^2 - e^2) &= 0 \\ i_{s1,2} &= \frac{-R_s \cdot u_s \pm \sqrt{R_s^2 \cdot u_s^2 + (R_s^2 + X_L^2) \cdot (e^2 - u_s^2)}}{(R_s^2 + X_L^2)} \\ i_s &= \frac{1}{(R_s^2 + X_L^2)} \cdot \left[\sqrt{R_s^2 \cdot u_s^2 + (R_s^2 + X_L^2) \cdot (e^2 - u_s^2)} - R_s \cdot u_s \right] \end{aligned} \quad (12)$$

Cette expression n'est valable qu'à partir du moment où les valeurs de la force électromotrice e deviennent supérieures à la tension du réseau alternatif u_s .

La valeur de la puissance délivrée par la machine peut alors s'exprimer en fonction des valeurs efficaces ou des valeurs maximales

$$(8) \quad \Omega_G = M \cdot \Omega$$

$$P_m = 3 \cdot U_s \cdot I_s = \frac{3}{2} \cdot u_s \cdot i_s$$

$$(13)$$

$$P_m = \frac{3}{2} \cdot \frac{u_s}{(R_s^2 + X_L^2)} \cdot \left[\sqrt{R_s^2 \cdot u_s^2 + (R_s^2 + X_L^2) \cdot (e^2 - u_s^2)} - R_s \cdot u_s \right] \quad (14)$$

Dans cette équation, il y a deux grandeurs qui sont dépendantes de la fréquence : la tension induite e et la réactance de la machine X_L . Alors, en les remplaçant par leurs expressions dans le domaine fréquentiel à régime sinusoïdal, $X_L = \omega \cdot L_s$ et $e = \psi_r \cdot \omega$ on obtient une expression de la puissance de la machine définie par les paramètres R_s et L_s , et par la tension de batterie u_s qui est une grandeur fixe dans ce cas. La seule variable dans l'équation est la fréquence ou pulsation électrique ω :

$$P_m = \frac{3}{2} \cdot \frac{u_s}{(R_s^2 + \omega^2 L_s^2)} \cdot \left[\omega \sqrt{R_s^2 \cdot \psi_r^2 + (L_s^2) \cdot (\psi_r^2 \cdot \omega^2 - u_s^2)} - R_s \cdot u_s \right] \quad (15)$$

Cette expression peut s'écrire aussi de la manière suivante, en fonction de la vitesse de rotation de l'éolienne au lieu de celle du générateur en tenant compte du nombre de paires de pôles de la machine et du multiplicateur de vitesse du système (16) :

$$P_m = \frac{3}{2} \cdot \frac{u_s}{(R_s^2 + (p \cdot L_s \cdot M \cdot \Omega)^2)} \cdot \left[p \cdot M \cdot \Omega \sqrt{R_s^2 \cdot \psi_r^2 + L_s^2 \cdot [(p \cdot M \cdot \psi_r \cdot \Omega)^2 - u_s^2]} - R_s \cdot u_s \right] \quad (16)$$

V. Paramètres du système

Les caractéristiques mécaniques de la turbine éolienne, les paramètres de la fonction d'approximation du coefficient de puissance et les paramètres du générateur à aimants permanents sont résumés dans les tableaux 2.1, 2.2 et 2.3 [10]:

Tableau 1 : Coefficient de la fonction d'approximation du C_p

Paramètres	Valeur
Gain (G)	0.19
Facteur (α)	1.56
TSR maximal (λ_0)	8.08

Tableau2 : Paramètres de la turbine éolienne

Paramètres	Valeur
Rayon (R)	1.8m
Surface de balayage (A)	10.18m ²
Coefficient de c puissance maximal ($C_{p \max}$)	0.42
TSR optimal (λ_{opt})	6.8
Vitesse du vent nominale (v_N)	12m/s
Vitesse de rotation nominale (Ω_N)	700tr/min

Tableau3 : paramètres du générateur à aimants permanents

Paramètres	Valeur
Couple nominale (T_N)	8N.m
Vitesse de rotation nominale (Ω_N)	200tr/min (210 rad/s)
Puissance nominale (P_N)	1680W
Tension nominale (v_N)	110V(ac)
Resistance du bobinage de stator (R_s)	0.9585 Ω
Induction de bobinage de stator (L_s)	5.25mH
Flux induit par les aimant (Ψ_r)	0.1827Wb
Nombre de pair de poles (p)	4

VI. Résultats et discussions

Tous les simulations présentées dans ce travail sont réalisées sur une petite éolienne relié à une batterie d'accumulateurs via un pont redresseur, dont les paramètres sont mentionnés dans les tableaux précédentes. En utilisant l'environnement Matlab.

L'ensemble des résultats de simulation et les graphiques sont représentés dans les figures (5, 6, 7, 8 et 9)

La figure 5 donne la puissance mécanique du rotor en fonction de la vitesse de rotation pour différentes vitesses de vent. Chaque courbe est calculée pour une vitesse de vent différente. Pour chaque vitesse de vent, il y a une vitesse de rotation optimale permettant au rotor de fonctionner au coefficient de puissance maximal. À ce moment, l'angle d'incidence du vent relatif permet d'avoir l'angle d'attaque idéal.

On peut observer que pour 9 m/s la valeur maximale atteint la valeur nominale ; donc, pour les vitesses de vent plus élevées (11 et 13 m/s sur la figure), une régulation doit être mise en place pour éviter d'endommager l'éolienne.

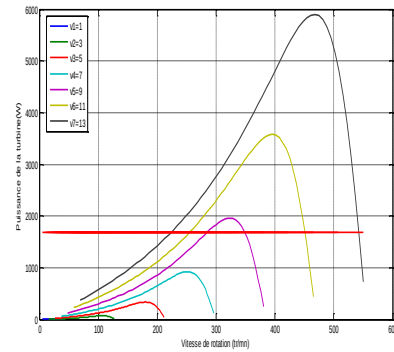


Figure 5 : Puissance de sortie de la turbine éolienne en fonction de sa vitesse de rotation

Sur la figure 6, trois courbes de puissance de l'alternateur ont été tracées, pour trois niveaux de voltage différents, en utilisant les équations de la section 4. Les niveaux de tension sont ceux de la pile acide-plomb à décharge profonde, puisqu'il s'agit de la pile la plus largement répandue pour ce type d'application. Le niveau moyen correspond au voltage nominal de la batterie, 24 V. Le niveau bas correspond au voltage de la batterie vide 21V et le niveau élevé correspond au voltage de la batterie pleine 32V et soumise à un fort courant de charge. Ces voltages correspondent aux valeurs limites que l'on peut retrouver lors du fonctionnement de l'éolienne.

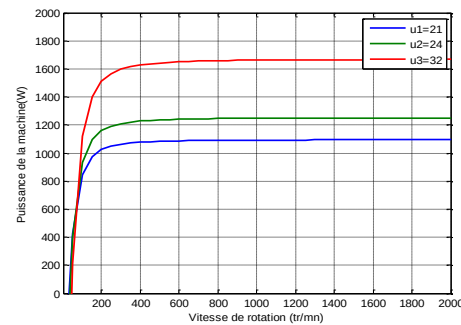


Figure 6 : Puissance de sortie de la machine en fonction de sa vitesse de rotation ; pour les différents niveaux de voltage de batterie.

On peut remarquer que plus la tension de la batterie est élevée, plus l'alternateur doit tourner à une vitesse de rotation élevée avant de commencer à débiter une puissance. On constate également que plus la tension est élevée, plus la puissance maximale est également élevée. En réalité, l'alternateur peut ne pas être en mesure de supporter une telle puissance. Les fils imposent une tension et un courant limite.

Pour une batterie ayant un voltage nominal de 24V, les trois niveaux de tension fixés par la norme sont : 22.8V, 25.2V et 28.8V. Les trois courbes de puissance ont été calculées pour ces trois niveaux de tensions, en utilisant les mêmes paramètres pour l'alternateur et le rotor que précédemment. Les trois courbes de puissance résultantes sont présentées à la figure 7.

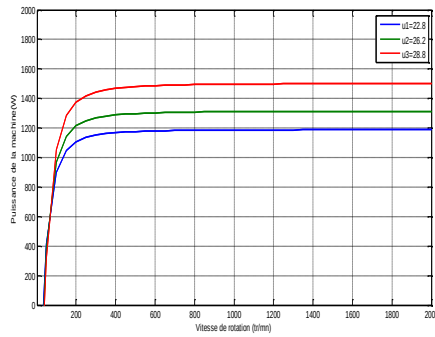


Figure 7 : Puissance de sortie de la machine en fonction de sa vitesse de rotation ; pour les différents niveaux de tension suggérés par la norme IEC

La figure suivante montre comment la puissance évolue en fonction de la vitesse de rotation de la machine, avec plusieurs valeurs pour la tension de la batterie et une valeur de M constante.

On peut observer sur les figures 8 et 9 qu'avec des tensions de batterie faibles, la machine peut commencer à fournir de la puissance à une vitesse de rotation basse. Cependant, avec une tension de batterie réduite, la valeur maximale de puissance produite par le système est aussi plus faible.

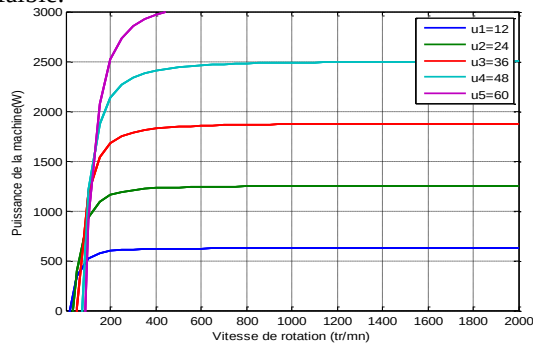


Figure 8 : Puissance de sortie de la machine en fonction de sa vitesse de rotation ; pour les différents niveaux de tension

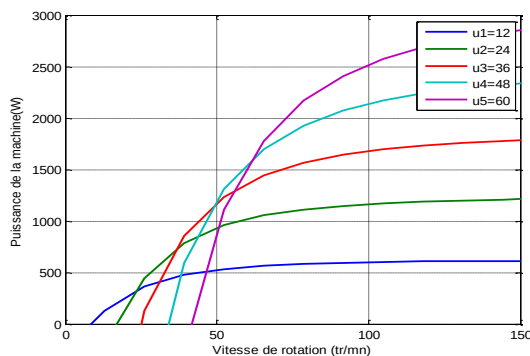


Figure 9 : Puissance de sortie de la machine en fonction de sa vitesse de rotation ; pour les différents niveaux de tension

Ceci est intéressant pour le système éolien, car la plage d'opération de vitesses élargie permet de fournir de la puissance pendant plus de temps, à des vitesses de vent qui sont plus probables statistiquement (vents faibles). L'inconvénient est que pour les valeurs données de la vitesse sur la plage de fonctionnement, à tension réduite la puissance transmise sera aussi inférieure. Il se pose donc

un problème de comment choisir correctement la tension de batterie qui permettra de mieux utiliser le système.

VII. Conclusion

Dans ce travail, un système sans commande électronique est présenté et optimisé pour fournir la plus grande quantité de puissance possible. Ceci permet d'obtenir un système performant avec très peu de composants, ce qui est un autre avantage pour les emplacements éloignés.

Nous avons donc proposé une configuration sans électronique de puissance active ni commande MPPT tel qu'utilisé dans la plupart des petites éoliennes classiques.

Les résultats obtenus montrent également que le niveau de voltage de la batterie fluctue constamment durant le fonctionnement du système. On a également pu constater que le fonctionnement de l'alternateur est influencé par le niveau de voltage vu à ses bornes, lié au niveau de voltage de la batterie pour une installation en réseau autonome. Plus le voltage de la batterie est élevé, plus l'alternateur doit tourner à une vitesse de rotation élevée afin d'induire une tension supérieure à celle de la batterie et établir un courant de charge.

De plus, lors de l'étude du rotor, il a été mentionné qu'en raison de l'aérodynamisme des pales, le rotor doit tourner à une vitesse de rotation bien précise, pour un vent donné, afin d'extraire un maximum d'énergie. Ainsi, une variation du niveau de voltage de la batterie entraîne une modification de la vitesse de rotation de l'alternateur et du rotor, qui lui est relié directement, modifiant alors ses performances aérodynamiques.

REFERENCES

- [1] S. Mathew, "Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and economics.Spring", Germany, 2006
- [2] "World Energy Council, Survey of energy resources", Elsevier, 2004.
- [3] E.Hau, "Wind Turbine Fundamentals, Technologies, Application, Economics.Spring", Germany, 2006
- [4] B.S.Browny; M.Z..Salameh, "Dynamic Responce of a Stand -Alone wind Energy Conversion System with Battery Energy Storage to Wind Gust", IEEE Transaction on Energy conversion, Vol.12, N° 1;73-78, March 1997.
- [5] D. A. M. Broe, S. Drouillet, V. Gevorgian, "A Peak Power Tracker for Small Wind Turbines in Battery Charging applications", IEEE Transaction on Energy Conversion , Vol.14, N° 4;1630-1635; 1999.
- [6] J.D. Langlois, "Modélisation et Etude des Performances des systèmes éoliens Hors Réseau .Mémoire de Maitrise en génie Mécanique", thèse de doctorat, Université du Québec, Montréal, 13 avril 2006.
- [7] M .Dahbi, A. Benatallah, M. Sellam, "Feasibility of Hybrid (Wind-Solar) Power Systems for Adrar, Algeria", International Conference on Energy and Sustainable Development 29-30 November 2011, Adrar.
- [8] G. L. Johnson, "Wind Energy Systems". USA: Prentice-Hall, 1985.
- [9] J. M. Mejia, F. hejne, R. Smith, L.F. Rodriguez, O. fernandez, I. Dynner, "Simulation of Wind Energy Output at Guajira. Colombia", Renewable Energy Vol. 31. P.P. 383-399, 2006;
- [10] M. Lopez, "Contribution à l'Optimisation d'un Système de Conversion Eolien pour une Unité de Production Isolée", Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale Sciences et technologies de l'Information des Télécommunication et des Systemes, Paris-Sud 11.

Journal of Scientific Research

P.O.Box 417 route de Kenadsa

08000 Bechar - ALGERIA

Tel: +213 (0) 49 81 90 24

Fax: +213 (0) 49 81 52 44

Editorial mail: jrs.bechar@gmail.com

Submission mail: submission.bechar@gmail.com

Web: <http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>
