

Commande vectorielle avec observateur de vitesse d'une pompe asynchrone couplée à un générateur photovoltaïque

G. Boukettaya^{1*}, R. Andoulsi¹ et A. Ouali²

¹ Laboratoire des Nanomatériaux et Systèmes pour l'Energie,
Centre de Recherche et des Technologies de l'Energie, B.P. 95, Hammam Lif, 2050, Tunisie

² Unité de Recherche sur la Commande Avancée et le
Management de l'Energie, ENIS, B.P.W, 3038, Tunisie

Résumé - L'objectif de ce papier est d'assurer une commande vectorielle sans capteur associée à une électropompe asynchrone immergée. La configuration de ce système comporte un générateur photovoltaïque, un bus PV, un filtre PV connecté à un hacheur survolteur, un bus DC et un onduleur de tension alimentant une machine asynchrone couplée à une pompe centrifuge. L'objectif de ce système consiste à assurer un fonctionnement à puissance maximale du système photovoltaïque pour diverses conditions climatiques. L'adaptation entre le générateur photovoltaïque et la charge a été effectuée, moyennant le convertisseur DC/DC. Une technique de commande vectorielle sans capteurs est développée et présentée dans ce papier. Cette technique de commande basée sur l'observateur adaptatif de Luenberger d'ordre réduit a permis d'assurer une parfaite reconstitution des grandeurs de commande, qui est nécessaire pour le bon fonctionnement de la structure d'étude, tout en réduisant la complexité du système. La construction de cet observateur est basée sur la théorie de stabilité au sens de Lyapunov. De bonnes performances en régimes statique et dynamique ont pu être observées après simulation de la structure proposée avec la stratégie de commande sans capteur.

Mots clé: Système photovoltaïque - Contrôle MPPT - Commande vectorielle - Observateur adaptatif.

1. INTRODUCTION

Le pompage photovoltaïque se fait par l'intermédiaire d'un moteur, que ce soit à courant continu ou alternatif, entraînant une pompe qui lui est directement couplée pour subvenir aux besoins en alimentation d'eau potable particulièrement en milieu rural ou pour des sites isolés soit pour des besoins d'irrigation ou d'abreuvement pour le bétail [1]. Le choix d'une pompe se fera en fonction des caractéristiques hydrauliques de l'installation envisagée (débit, hauteur manométrique totale, etc.) et également en fonction des conditions particulières d'utilisation (puits, forage, pompage de rivière, etc.) [1, 2]. En général, pour les faibles niveaux de pompage, on utilise des pompes de surface alors que pour les profondeurs plus importantes, on utilise des pompes immergées. A la première ère de la promotion du photovoltaïque, et à cause du manque de souplesse de la commande des moteurs asynchrones, on utilisait les moteurs à courant continu. Depuis l'évolution de l'électronique de puissance et des nouvelles techniques de commande des machines électriques, les pompes à moteur asynchrone, qu'elles soient en surface ou immergées [3], sont désormais les plus utilisées.

La commande vectorielle introduite par Blaschke [4, 5], fût la première technique capable de doter la machine asynchrone de nouvelles performances au moins comparables à celle de la machine à courant continu. Cette technique consiste à réécrire

* boukettayaghada@yahoo.fr - ridha.andoulsi@crtten.rnrt.tn - abderrazak.ouali@enis.rnu.tn

le modèle dynamique de la machine asynchrone dans un référentiel tournant avec le flux du rotor. Par cette transformation, il suffit de maintenir le flux du rotor constant pour assurer le découplage entre la vitesse et le flux de la machine. Dans la littérature, plusieurs méthodes sont proposées pour découpler la commande dans le cas de la régulation du flux du stator, flux du rotor et flux d'entrefer du moteur asynchrone.

Pour notre application, la pompe centrifuge étant immergée, et l'accès à l'arbre de la machine est généralement impossible. La vitesse mécanique étant une grandeur de commande, il y a alors nécessité de remplacer le capteur de vitesse. D'autre part, l'industrie se montre souvent intéressée par la réduction du nombre de capteurs. En effet, ces derniers contribuent à augmenter la complexité et le coût de l'installation.

Ainsi, la commande sans capteur mécanique (vitesse, position et couple de charge) est devenue un sujet de préoccupation majeur, en essayant de faire remplir la fonction du capteur avec des algorithmes de calcul qui vont ainsi reconstruire la vitesse de la machine [6]. Il existe de nombreuses techniques d'observation classées en fonction de trois critères différents [7, 8].

Le premier critère se base sur la nature du système considéré. On distingue des observateurs pour les systèmes linéaires et non linéaires. Le deuxième critère est fonction de l'environnement. On distingue alors deux types: l'observateur déterministe qui ne prend pas en considération les perturbations externes du système et l'observateur stochastique qui se base sur la présence des bruits.

Le dernier critère est la dimension du vecteur d'état. On a l'observateur d'ordre plein ou réduit. Les méthodes d'estimation de la vitesse ainsi développées sont divisées en deux groupes. Le premier utilise les composantes fondamentales des tensions et des courants statoriques: on parle d'estimation indirecte, le second se base sur l'injection des composantes à hautes fréquences pour l'alimentation et sur l'utilisation des harmoniques d'encoches de la machine: on parle d'estimation directe [5].

2. PRESENTATION ET MODELISATION DE LA STRUCTURE

Cette structure présentée à la figure 1, comporte un générateur photovoltaïque, un bus PV, un filtre PV connecté à un hacheur MPPT, un bus DC et un onduleur de tension lié à la charge qui est dans notre application une pompe asynchrone immergée de puissance égale à 750 W. Le gisement solaire est caractérisé par une puissance nominale de l'ordre de 960 W sous les conditions standard d'ensoleillement et de température ($E = 1000 \text{ W/m}^2$, $T = 25 \text{ °C}$).

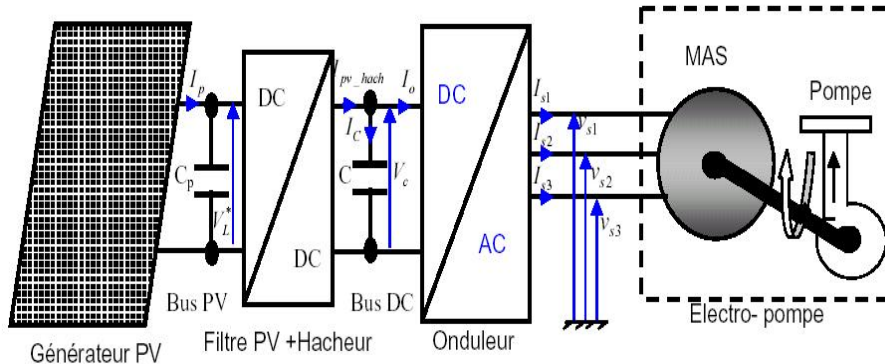


Fig. 1: Représentation de la structure de pompage photovoltaïque

2.1 Le générateur solaire

Les cellules solaires photovoltaïques sont des semi-conducteurs capables de convertir directement la lumière en électricité. La courbe caractéristique, montrée dans la figure 2, se distingue par la tension à circuit ouvert V_{co} , la tension à puissance maximale V_{popt} , le courant de court-circuit I_{cc} et le courant à puissance maximale I_{popt} .

Rauschenbach [9] a développé des équations qui permettent de générer la courbe caractéristique $I_p(V_p)$ d'une cellule à partir de ces 4 valeurs.

Le courant aux bornes de la cellule PV est tel que :

$$I_p = I_{cc} \left[1 - c_1 \left(\exp\left(\frac{V_p}{c_2 \cdot V_{co}}\right) - 1 \right) \right] \quad (1)$$

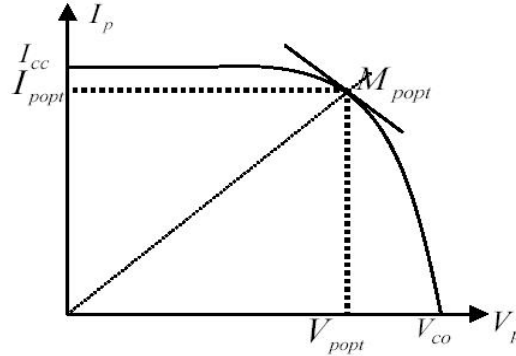


Fig. 2: Caractéristique Courant –Tension $I_p(V_p)$ du générateur solaire

Les constantes c_1 et c_2 sont définies par:

$$\begin{cases} c_1 = \left(1 - I_{popt} / I_{cc}\right) \exp\left(-V_{popt} / c_2 \cdot V_{co}\right) \\ c_2 = \frac{(V_{popt} / V_{co}) - 1}{\ln\left(-I_{popt} / I_{cc}\right)} \end{cases} \quad (2)$$

La tension correspondante au maximum de puissance V_{popt} est calculée par l'équation:

$$V_{popt} = V_{popt-s} \left[1 + \Delta V_{popt}(T - T_s)\right] + K_1 V_T \ln(E/E_s) + K_2 \left[V_T \ln(E/E_s)\right]^2 \quad (3)$$

où V_{popt-s} est la tension au point de puissance maximale en condition standard [10], ΔV_{popt} est le coefficient de température de la tension au point de puissance maximale, K_1 et K_2 sont des paramètres constants.

Le courant correspondant au maximum de puissance I_{popt} est calculé par l'équation:

$$I_{popt} = I_{popt-s} \cdot (E/E_s) \left[1 + \Delta I_{popt}(T - T_s)\right] \quad (4)$$

où I_{popt-s} est le courant au point de puissance maximale en condition standard ; ΔI_{popt} est le coefficient de température de courant au point de puissance maximale.

2.2 Le hacheur

Le hacheur a pour objectif de générer une tension variable V_p à partir de la tension du bus continu côté charge V_c :

$$\begin{cases} V_{\text{hach_pv}} = m_{\text{hach}} \cdot V_c \\ i_{\text{pv-hach}} = m_{\text{hach}} \cdot i_L \end{cases} \quad (5)$$

Où m_{hach} est l'indice de modulation du hacheur (fonction de conversion), avec:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} (V_p - V_{\text{hach_pv}} - R_L i_L) \quad (6)$$

L est l'inductance pour la limitation des ondulations de courant et R_L est la résistance de fuite de la bobine.

2.3 L'onduleur

Dans le repère de Park, les tensions simples modulées par le convertisseur du côté charge, dépendent des tensions de réglage du convertisseur [5, 10].

$$\begin{cases} v_{sd} = (V_c/2) v_{sdc} \\ v_{sq} = (V_c/2) v_{sqc} \end{cases} \quad (7)$$

Le courant modulé par le convertisseur a pour expression

$$i_s = \frac{1}{2} (v_{sdc} \cdot i_{sd} + v_{sqc} \cdot i_{sq}) \quad (8)$$

2.4 La pompe asynchrone

La motopompe AC est constituée d'un moteur asynchrone à cage et d'une pompe de type centrifuge [12]. Dans l'étude proposée, la caractéristique de la pompe utilisée est décrite par:

$$C_r = k \omega_r^2 \quad (9)$$

Où C_r est le couple de charge de la pompe, k est le coefficient constant lié à la pompe et ω est la vitesse de rotation électrique de la machine asynchrone.

Le modèle d'état du moteur dans le repère fixe lié au stator est représenté par:

$$\begin{cases} \dot{X} = A(\Omega).X + BU \\ Y = CX \end{cases} \quad (10)$$

Avec: $X = [i_{s\alpha} \ i_{s\beta} \ \psi_{r\alpha} \ \psi_{r\beta}]^T$ le vecteur d'état, $U = [v_{s\alpha} \ v_{s\beta}]^T$ le vecteur de commande et Y le vecteur de sortie. Ω étant la vitesse mécanique de rotation associée à la pompe.

$$\gamma_1 = \frac{(L_m^2/L_r^2)R_r + R_s}{\sigma L_s}; \quad \gamma_2 = \frac{L_m}{L_r L_s \sigma}; \quad \tau_r = \frac{L_r}{R_r}; \quad \sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_r L_s}$$

$$B = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ et}$$

$$A(\Omega) = \begin{pmatrix} -\gamma_1 & 0 & \frac{\gamma_2}{\tau_r} & \gamma_2 p \Omega \\ 0 & -\gamma_1 & -\gamma_2 p \Omega & \frac{\gamma_2}{\tau_r} \\ \frac{L_m}{\tau_r} & 0 & -\frac{1}{\tau_r} & -p \Omega \\ 0 & \frac{L_m}{\tau_r} & p \Omega & -\frac{1}{\tau_r} \end{pmatrix}$$

L'équation mécanique du moteur s'écrit:

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_{em} - C_r \quad (11)$$

4. COMMANDE DE LA MAS

4.1 Commande vectorielle de la MAS

Cette méthode est basée sur le choix d'un repère de référence, lié au flux rotorique. Si on décompose le courant statorique dans le repère de Park, en ses composantes i_{sd} suivant le flux rotorique et i_{sq} en quadrature avec son flux, on met en évidence une commande découplée du flux et du couple [7].

Dans cette application, on effectue un découplage par compensation définie par:

$$\begin{cases} v_{sd} = v_{sdc1} - v_{sdc} \\ v_{sq} = v_{sqc1} - v_{sqc} \end{cases} \quad (12)$$

Avec

$$\begin{cases} v_{sdc} = \omega_s \sigma L_s i_{sq} + \frac{L_m}{L_r^2} R_r \psi_r \\ v_{sqc} = -\omega_s \sigma L_s i_{sd} - \frac{L_m}{L_r} \omega \psi_r \\ v_{sdc1} = \sigma L_s i_{sd} + \left(R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) i_{sd} \\ v_{sqc1} = \sigma L_s i_{sq} + \left(R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) i_{sq} \end{cases} \quad (13)$$

Pour calculer le régulateur de flux, on utilise la méthode de l'optimum symétrique.

La fonction de transfert du système est approchée par:

$$G_\phi(s) = \frac{\alpha_1}{\tau_r s \left(1 + \frac{1}{\gamma_1} s \right)} \quad (14)$$

Le gain proportionnel et intégral sont définis respectivement par:

$$K_p = \frac{\tau_r \gamma_1}{\alpha_1 \sqrt{a}} \quad \text{et} \quad K_i = \frac{\tau_r \gamma_1^2}{\alpha_1 a \sqrt{a}} \quad (15)$$

Le rapport a est défini tel que $\Delta\phi$ est compris entre 45° et 60° :

$$a = \operatorname{tg}^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2} + \frac{\pi}{4}\right) \quad (16)$$

Pour calculer le régulateur de couple, on utilise la méthode du placement de pôles. La fonction de transfert du système est définie par:

$$G_c(s) = \frac{K_c}{1 + \tau_c s} \quad (17)$$

Avec: $K_c = p \gamma_2 \psi_r^*$ et $\tau = \frac{1}{\gamma_1}$

On considère un régulateur défini par:

$$C(s) = \frac{1 + \tau_{1c} s}{\tau_{2c} s} \quad (18)$$

La fonction de transfert en boucle fermée peut alors être ramenée à une fonction de premier ordre approché de constante de temps égale à τ_{Cem} . On a alors :

$$\tau_{1c} = \tau \text{ et } \tau_{2c} = \tau_{Cem} K_c \quad (19)$$

Pour calculer le régulateur de vitesse, on utilise la méthode de l'optimum symétrique. La fonction de transfert du système est définie par:

$$G_\Omega = \frac{1}{J.s(1 + \tau_c.s)} \quad (20)$$

Le gain proportionnel et intégral sont définis respectivement par:

$$K_{p\Omega} = \frac{J}{\sqrt{a} \cdot \tau_c} \text{ et } K_{i\Omega} = \frac{J}{a \sqrt{a} \cdot \tau_c^2} \quad (21)$$

4.2 Commande sans capteur de la MAS

Dans la pratique, les observateurs déterministes peuvent prendre deux formes différentes [15, 16]: observateur d'ordre réduit où seulement les variables d'état non mesurables du système sont reconstruites, et l'observateur d'ordre complet pour lequel toutes les variables d'états sont reconstruites. Notre but étant d'estimer le flux et la vitesse mécanique de la machine asynchrone, si ses dernières grandeurs sont considérées comme variables d'état, la construction d'un observateur non linéaire va être plus difficile [9, 17]. Pour cela, les flux sont considérés comme des variables d'état tandis que la vitesse est considérée comme un paramètre. Le repère fixe lié au stator est utilisé, ainsi la matrice d'état va dépendre uniquement de la vitesse mécanique.

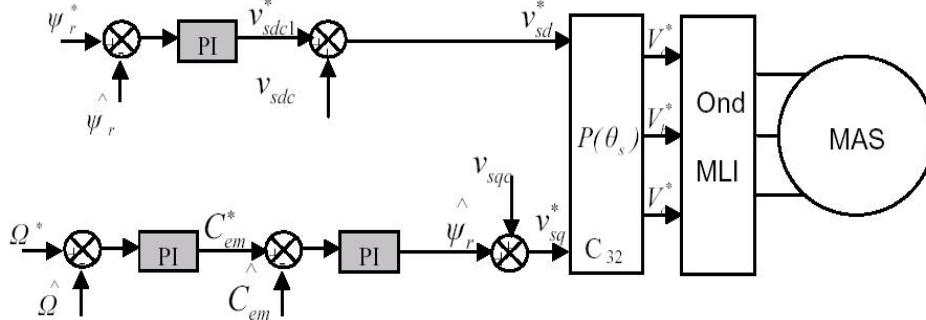


Fig. 3: Structure de la commande vectorielle en tension du moteur asynchrone

La figure 4 représente le schéma synoptique de l'observateur étudié.

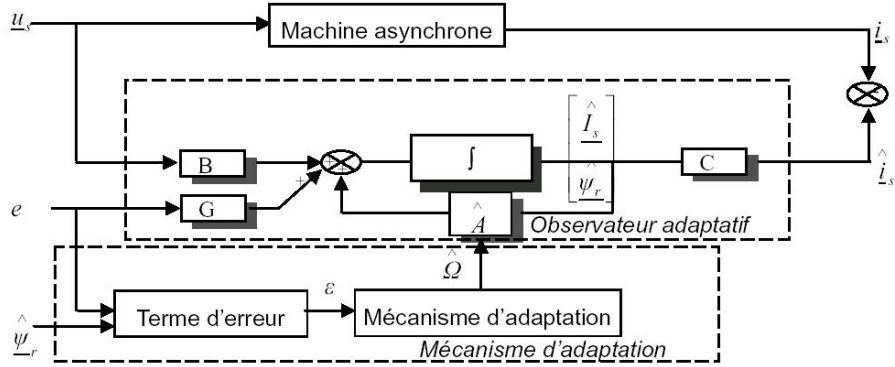


Fig. 4: Schéma synoptique de l'observateur adaptatif de Luenberger

L'observateur de Luenberger est un observateur construit à partir d'un modèle déterministe du processus considéré. La théorie de cet observateur pour les modèles linéaires a été présentée par D.G. Luenberger au début des années 70 [14].

Pour la validation expérimentale, la matrice d'état A du système, doit être recalculée à chaque instant d'échantillonnage. Afin d'assurer une implémentation en temps réel fonctionnant à fréquence suffisante, nous devons réduire la complexité de l'observateur. Nous procéderons donc à la réduction de l'ordre de l'observateur, en considérant les courants statoriques comme des entrées. Le vecteur d'état de l'observateur est alors complètement en flux rotorique.

On considère la distribution suivante du modèle d'état de la machine asynchrone:

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} \hat{g} \\ \hat{i}_s \\ \hat{g} \\ \hat{\Psi}_r \\ \hat{Y} = \hat{i}_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12}(\Omega) \\ A_{21} & A_{22}(\Omega) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{i}_s \\ \bar{\Psi}_r \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_0 \\ d_4 \end{pmatrix} \cdot (U) \end{cases} \quad (22)$$

avec

$$A_{11} = \begin{pmatrix} -\gamma_1 & 0 \\ 0 & -\gamma_1 \end{pmatrix}, \quad A_{12}(\Omega) = \begin{pmatrix} \frac{\gamma_2}{\tau_r} & \gamma_2 p \Omega \\ -\gamma_2 p \Omega & \frac{\gamma_2}{\tau_r} \end{pmatrix}, \quad A_{21} = \begin{pmatrix} \frac{L_m}{\tau_r} & 0 \\ 0 & \frac{L_m}{\tau_r} \end{pmatrix}$$

$$A_{22}(\Omega) = \begin{pmatrix} -\frac{1}{\tau_r} & -p \Omega \\ p \Omega & -\frac{1}{\tau_r} \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad B_0 = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \end{pmatrix}$$

L'observateur de flux d'ordre réduit est défini par:

$$\hat{\bar{\Psi}}_r = A_{22}(\hat{\Omega}) \hat{\bar{\Psi}}_r + A_{21} \bar{i}_s + G \begin{pmatrix} \hat{g} \\ \hat{i}_s - \bar{i}_s \end{pmatrix} \quad (23)$$

tel que: $G = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix}$ est la matrice d'observabilité d'ordre réduit.

Le développement du modèle (23) de l'observateur d'ordre réduit donne en utilisant l'équation (22):

$$\frac{\hat{g}}{\hat{\psi}_r} = A_{22}(\hat{\Omega})\hat{\psi}_r + A_{21}\bar{i}_s + G \left(A_{11}\bar{i}_s + A_{12}(\Omega)\hat{\psi}_r + B_0 U - \dot{\bar{i}}_s \right) \quad (24)$$

En effectuant le changement de variable suivant:

$$\hat{z} = \hat{\psi}_r + G\bar{i}_s \quad (25)$$

Le nouveau modèle d'état de l'observateur d'ordre réduit est:

$$\frac{\hat{z}}{\hat{g}} = M\hat{z} - MG\bar{i}_s + (A_{21} + GA_{11})\bar{i}_s + GB_0 U \quad (26)$$

Avec: $M = A_{22}(\hat{\Omega}) + GA_{12}(\hat{\Omega})$

Soit e le vecteur représentant l'erreur d'estimation du flux:

$$e = \hat{\psi}_r - \bar{\psi}_r = [e_{\psi_{r\alpha}} \cdot e_{\psi_{r\beta}}]^T \quad (27)$$

L'équation différentielle représentant l'erreur d'estimation des états est établie en effectuant la différence entre les équations (23) et (22), on a alors:

$$\dot{\hat{e}} = (A_{22}(\Omega) + GA_{12}(\Omega))e + \Delta A_{22}\psi_r \quad (28)$$

Avec: $\Delta A_{22} = A_{22}(\hat{\Omega}) - A_{22}(\Omega)$

Pour assurer la convergence de l'observatoire, on doit assurer la stabilité asymptotique du système (28).

L'objectif de construction d'un observateur adaptatif se traduit donc par la détermination des coefficients de la matrice G et de la loi définissant $\hat{\Omega}$ pour avoir un système asymptotiquement stable.

Pour déterminer la loi de commande d'estimation de la vitesse mécanique, on définit la fonction de Lyapunov suivante:

$$V = e^T P e + \lambda(\Delta\Omega)^2 \quad (29)$$

où λ est un coefficient de pondération positif.

Pour que le système (28) soit dit quadratiquement stable, il faut que la dérivée de la fonction de Lyapunov soit définie négative.

La condition de stabilité est alors définie par l'inéquation:

$$e^T \left\{ (A_{22}(\hat{\Omega}) + GA_{12}(\hat{\Omega}))^T P + P (A_{22}(\hat{\Omega}) + GA_{12}(\hat{\Omega})) \right\} e + 2c_p \Delta\Omega (e_{\psi_{r\beta}} \hat{\psi}_{ra} - e_{\psi_{ra}} \hat{\psi}_{r\beta}) + 2\lambda \Delta\Omega \frac{d\hat{\Omega}}{dt} < 0 \quad (30)$$

La première condition de Lyapunov est:

$$(A_{22}(\hat{\Omega}) + GA_{12}(\hat{\Omega}))^T P + P (A_{22}(\hat{\Omega}) + GA_{12}(\hat{\Omega})) < 0 \quad (31)$$

La vérification de la première condition de Lyapunov va assurer la détermination des coefficients de la matrice d'observabilité.

On définit par $M = A_{22}(\hat{\Omega}) + GA_{12}(\hat{\Omega})$ la matrice d'état de l'observateur réduit modifié.

Si M est stable, alors il existe deux matrices $P = P^T > 0$ et $Q = Q^T > 0$ tel que:

$$M^T P + PM = -Q < 0 \quad (32)$$

Alors, la matrice de l'observateur réduit modifié est stable et vérifie la première condition de Lyapunov pour les conditions suivantes choisies sur la matrice d'observabilité G tel que:

$$\begin{cases} g_{12} = g_{21} = 0 \\ g_{22} = g_{11} < 0 \end{cases} \quad (33)$$

La seconde condition de Lyapunov est:

$$2\zeta p \Delta \Omega \left(e_{\psi_{r\beta}} \hat{\psi}_{r\alpha} - e_{\varphi_{r\alpha}} \hat{\psi}_{r\beta} \right) + 2\lambda \Delta \Omega \frac{d\hat{\Omega}}{dt} < 0 \quad (34)$$

La résolution de la seconde condition de Lyapunov (34) donne la loi d'adaptation associée à la vitesse:

$$\frac{d\hat{\Omega}}{dt} = -\zeta \frac{p}{\lambda} \Delta \Omega \left(e_{\psi_{r\beta}} \hat{\psi}_{r\alpha} - e_{\varphi_{r\alpha}} \hat{\psi}_{r\beta} \right) \quad (35)$$

5. RESULTATS DE SIMULATION

Les simulations effectuées pour valider l'étude développée, ont été effectuées sous Matlab – Simulink. La pompe asynchrone étudiée de puissance égale à 750 W et de constante de couple $k = 2.77 \cdot 10^{-5}$, possède les caractéristiques suivantes:

$$R_s = 10.62, \quad R_r = 7, \quad L_s = 1.05, \quad L_r = 1.07, \quad M = 1.02, \quad J = 0.01, \quad p = 1, \quad f = 0$$

Pour une consigne de vitesse fixée à 100π , on observe dans la figure 5, que la réponse de la commande sans capteur avec observateur d'ordre réduit suit parfaitement la référence.

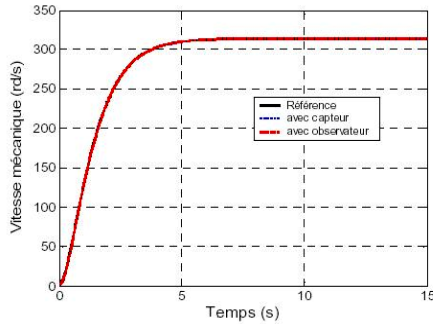


Fig. 5: Vitesse mécanique

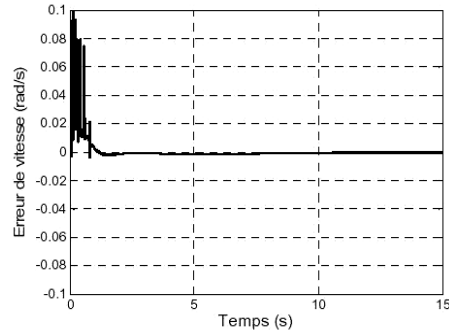


Fig. 6: Erreur en vitesse

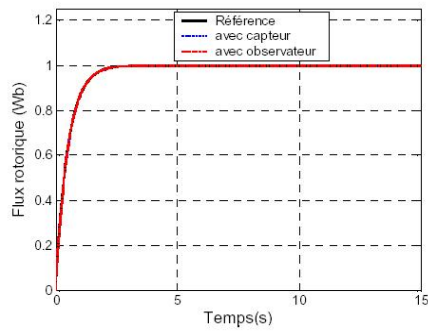


Fig. 7: Flux rotorique

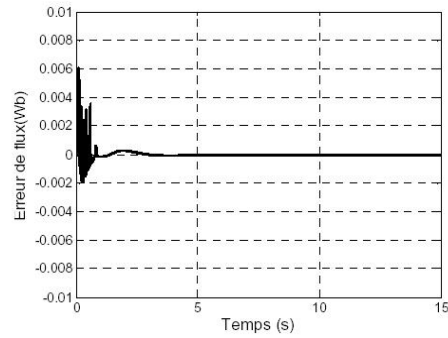


Fig. 8: Erreur de flux

En effet l'erreur de vitesse représentée à la figure 6 est presque nulle. La vitesse reconstituée, a le même profil que celle mesurée. De même le flux rotorique suit parfaitement celui imposée par la consigne de référence comme illustrée à la figure 7.

L'erreur en flux représentée à la figure 8 est de l'ordre de 10^{-3} . La commande vectorielle avec observateur est alors validée. Le courant statorique dans le repère de Park est représenté dans la figure 9.

On peut alors remarquer que le courant reconstitué par le vecteur d'état de l'observateur est de même profil que celui mesurée. Le couple de la machine asynchrone, représenté dans la figure 10, converge en régime permanent vers le couple de charge imposée par la pompe.

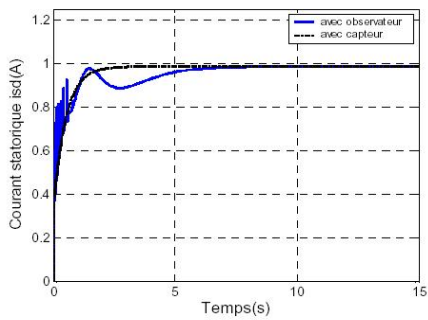


Fig. 9: Courant statorique

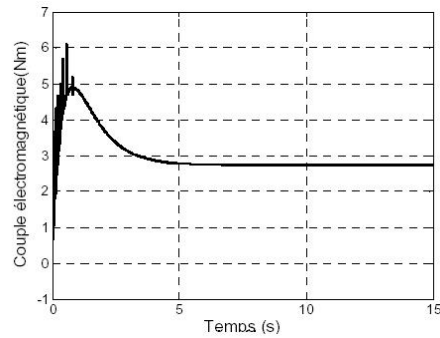


Fig. 10: Couple électromagnétique

6. CONCLUSION

Ce papier propose une étude d'une chaîne de pompage photovoltaïque. La modélisation et la simulation du système global, muni d'une commande vectorielle avec observateur de vitesse, ont été effectuées. La technique proposée de calcul de la matrice de gain de l'observateur de Luenberger constitue une approche assez simple donnant une estimation correcte de la vitesse mécanique de la machine asynchrone associée à la pompe. Les résultats obtenus de la commande établie sont satisfaisants du point de vue rapidité de convergence et stabilité.

REFERENCES

- [1] S.R. Bull, '*Renewable Energy Today and Tomorrow*', Proceeding of the IEEE, Vol. 89, N°8, August 2001.
- [2] A. Moussi and A. Torki, '*An Improved Efficiency Permanent Magnet Brushless DC Motor PV Pumping System*', Larhyss, Journal du Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface, Recherche 2000-2001.
- [3] W.L. Wallace, L.I. Jingming and G. Shangbin, '*The Use of Photovoltaics for Rural Electrification in Northwestern China*', Presented at the 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy conversion, 6-10 July 1998, Vienna, Austria.
- [4] J.P. Cardon et J.P. Hautier, '*Modélisation et Commande de la Machine Asynchrone*', Méthode et Pratique de l'Ingénieur, Edition Technip. 2001.
- [5] A. Habbadi, '*Commande Numérique d'une Machine Asynchrone Alimentée par un Onduleur de Tension MLI*', Mémoire de Doctorat, 2000.
- [6] H. Tamrabe, '*Robustesse d'un Contrôle Vectoriel de Structure Minimal d'une Machine Asynchrone*', Mémoire de Magister, Université de Batna, 2006.
- [7] S. Chaouach, '*Commande Vectorielle Robuste d'une Machine à Induction sans Capteur de Vitesse*', Mémoire de Doctorat, 2005, Batna.
- [8] A. Paladugu and B.H. Chowdhury, '*Sensorless Control of Inverter-Fed Induction Motor Drives*', Electric Power Systems Research, Vol. 77, pp. 619 – 629, 2007.
- [9] H.S. Rauschenbach, '*Solar Cell Array Design Handbook*', Van Nostrand-Reinhold, NY, 1980.
- [10] W. Xiao, W.G. Dunford and A. Capel, '*A Novel Modelling Method for Photovoltaic Cells*', IEEE Power electronics specialists conference, PESC, Aachen, Germany, 2004.
- [11] J.P. Hautier et J.P. Caron, '*Convertisseurs Statiques: Méthodologie Causale de Modélisation et de Commande*', Edition Technip, Paris, 1999.
- [12] A.A. Ghoneim, '*Design Optimisation of Photovoltaic Powered Water Pumping Systems*', Energy Conversion and Management, Vol. 47, pp. 1449 - 1463, 2006.
- [13] C.C. Chan, W.S. Leung and C.W. Ng, '*Adaptive Decoupling Control of Induction Motor Drives*', IEEE Trans. Indust. Electr. Vol. 37, N°1, pp. 41 – 47, 1990.
- [14] D.G. Luenberger, '*An Introduction to Observers*', IEEE, Trans. Autom. Contr., Vol. 16, N°6, pp. 596 - 602, 1971.
- [15] H. Kubota, K. Matsuse and T. Nakano, '*DSP-Based Speed Adaptive Flux Observer of Induction Motor*', IEEE Trans. Industry Appl., Vol. 29, N°2, pp. 344 – 348, 1993.
- [16] G. Yang and T. Chin, '*Adaptive-Speed Identification Scheme for a Vector-Controlled Speed Sensorless Inverter-Induction Motor Drive*', IEEE Transactions on industrial electronics, Vol. 29, N°4, 1993.
- [17] N. Bensialia, C. Chaigne, S. Tnami, E. Etien and G. Champenois, '*Optimal Observer Design for Sensorless Control of Induction Motor in Regenerating Mode*', IEEE, 1-4244-0194, s4:6-11, 2006.