HAL
open science

Observateur super twisting pour un moteur synchrone à aimants permanents montés en surface

Dalila Zaltni, Malek Ghanes, Jean-Pierre Barbot, Abdelkrim Naceur

To cite this version:

Dalila Zaltni, Malek Ghanes, Jean-Pierre Barbot, Abdelkrim Naceur. Observateur super twisting pour un moteur synchrone à aimants permanents montés en surface. CIFA, Jun 2010, Nancy, France. hal-00772753

HAL Id: hal-00772753

https://inria.hal.science/hal-00772753v1

Submitted on 11 Jan 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Observateur super twisting pour un moteur synchrone à aimants permanents montés en surface

D. ZALTNI [1,2], M. GHANES[1], J-P. BARBOT[1], M. N. ABDELKRIM[2]

[1]ECS, ENSEA,
6 avenue du Ponceau, 95014 Cergy-Pontoise Cedex, France

[2]MACS, ENIG,
Rue Omar Al Khattab, 6029 Gabes, Tunisie

{dalila.zaltni, ghanes, barbot}@ensea.fr

Résumé— **Dans ce papier, une méthode d'estimation de la vitesse et de la position d'un moteur synchrone à aimants permanents montés en surface est proposée. La méthode utilise une structure de système avec un modèle de référence adaptatif (MRAS) basé sur un observateur super twisting (à mode glissant d'ordre 2) afin d'assurer la robustesse tout en éliminant le phénomène du "chattering". Cet observateur permet d'estimer les Forces Contre Electromotrices (FCEMs) en utilisant comme seules mesures les courants statoriques. Cependant l'estimation de la vitesse provenant des FCEMs estimées pose un problème de signe pour l'estimation de la vitesse à basse vitesse. Ce problème est résolu en rajoutant à l'observateur une structure MRAS. Par ailleurs, un système de permutation Estimateur/Observateur est donnée pour l'estimation de la position et s'affranchir ainsi des problèmes à zéro vitesse du moteur synchrone. L'observateur proposé est testé en simulation sur les trajectoires du benchmark "commande sans capteur mécanique du moteur synchrone" de l'IRCCyN afin de montrer ses qualités de robustesse vis-à-vis des perturbations externes et des variations paramétriques et aussi de pouvoir la comparer ultérieurement avec d'autres techniques sur le même moteur avec un même cahier des charges.**

I. Introduction

Les commandes classiques d'un moteur synchrone telles que la commande vectorielle, linéarisante, non linéaire, etc..., nécessitent la connaissance de la position et de la vitesse. Souvent la position du rotor et la vitesse sont mesurées par un codeur incrémental ou un résolveur. Cependant, les capteurs mécaniques augmentent le coût et l'encombrement et réduisent la fiabilité du système dans certaines applications industrielles. Plusieurs méthodes d'estimation de la position et de la vitesse du moteur synchrone ont été proposées dans la littérature, on peut citer : les méthodes d'injection du signal à haute fréquence [1], les techniques basées sur l'intelligence artificielle [2], les observateurs d'ordre complet et d'ordre réduit [3], le filtre de Kalman étendu [4], les méthodes basées sur l'approche LMI [5], les méthodes MRAS [12], [13]. D'autres méthodes peuvent être trouvées dans [6], [7], [8]. Comparativement à d'autres techniques, la technique des modes glissants offre des avantages attractifs tels qu'une robustesse vis-à-vis des perturbations et une faible sensibilité aux variations paramétriques quand le régime glissant est établi [14], [15], [16]. Cependant, ce phénomène de "chattering" existe dans les techniques à mode glissant conventionnelles et constitue un obstacle pour les applications pratiques. Un mode glissant d'ordre supérieur ([17], [18], [19], [20]) est une des solutions permettant d'éliminer ce phénomène tout en gardant les propriétés de robustesse. Dans cet article, en ne mesurant que les courants statoriques, un observateur super twisting (à mode glissant d'ordre 2) est développé pour estimer les forces contre électromotrices (FCEMs) d'un moteur synchrone à aimants permanents monté en surface. L'estimation de la vitesse par le biais des FCEMs estimées pose un problème de signe à basse vitesse. Pour pallier ce problème, une structure MRAS est ajoutée à l'observateur dans laquelle ce dernier est utilisé comme modèle de référence. Un modèle dépendant de la vitesse estimée est utilisé comme modèle ajustable permettant de fournir les FCEMs estimées. Les sorties du modèle de référence (observateur) et du modèle ajustable sont par la suite introduites dans un mécanisme d'adaptation basé sur les modes glissant assurant la convergence de la vitesse estimée vers la vitesse réelle. La position rotorique est obtenue à partir de la phase des FCEMs estimées. Par ailleurs, à zéro vitesse, les FCEMs sont pratiquement inexistantes, la position du moteur ne peut pas être déterminée. Une solution basée sur un système de permutation Estimateur/Observateur est proposée dans cet article pour s'affranchir de ces problèmes à zéro vitesse du moteur synchrone. L'observateur est testé en simulation sur les trajectoires du Benchmark "commande sans capteur mécanique du moteur synchrone" de l'IRCCyN et a montré des bonnes performances de robustesse. Ce papier est organisé comme suit: Dans la deuxième section, le modèle mathématique du moteur est présenté. Dans la troisième section, l'observateur super twisting ainsi que sa structure MRAS sont devellopés. Les résultats de simulation sont présentés dans la quatrième section. Enfin, une conclusion vient illustrer le travail effectué.

II. Modèle du moteur synchrone

Le modèle mathématique du moteur synchrone à aimants permanents monté en surface utilisé est représenté dans le

repère fixe (α-β) par les équations 1 et 2 [21],[22].

$$\begin{pmatrix} \dot{i}_\alpha \\ \dot{i}_\beta \end{pmatrix} = \frac{1}{L_0}\left[\begin{pmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{pmatrix} - R\begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{pmatrix} - \omega_e K_e \begin{pmatrix} -\sin(\theta_e) \\ \cos(\theta_e) \end{pmatrix}\right] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_e &= \frac{P}{J}\phi_m(-sin(\theta_e)i_\alpha + cos(\theta_e)i_\beta) - \frac{f_v}{J}\omega_e \\ &- \frac{T_l}{J} \end{aligned} \quad (2)$$

avec
ω: la vitesse rotorique
$\omega_e = P\omega$: la vitesse rotorique électrique
R: la résistance statorique
L_0: l'inductance statorique
P: le nombre de paires de pôles
J: le moment d'inertie
ϕ_m: le flux du rotor
f_v: le frottement visqueux
T_l: le couple de charge
$[i_\alpha \quad i_\beta]^T$, $[u_\alpha \quad u_\beta]^T$: les vecteurs des courants et tensions statoriques respectivement dans le repère (d-q)
K_e: la constante des FCEMs.
θ_e: la position rotorique.

III. Conception de l'observateur

Le diagramme synoptique de l'observateur super twisting (à mode glissant d'ordre 2) auquel est ajouté une structure MRAS est présenté dans la Fig.1. Ce diagramme est composé d'un modèle de référence (qui est l'observateur), d'un modèle ajustable et un mécanisme d'adaptation. Dans ce diagramme la vitesse mécanique est considérée lentement variable par rapport aux dynamiques électriques.

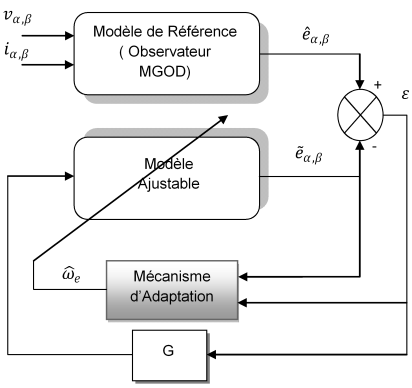

Fig. 1. Diagramme synoptique de l'observateur

A. Modèle de Référence

Le modèle de référence est un observateur super twisting (à mode glissant d'ordre 2) qui permet de reconstruire les FCEMs E_α et E_β en utilisant comme seules mesures les courants statoriques. Ce modèle de référence ne dépend pas de la vitesse.

A.1 Bref rappel sur l'observateur super twisting

Le dérivateur super twisting (à mode glissant d'ordre 2) est donné dans sa forme générale par l'algorithme suivant [18]:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{z}}_1 &= u_1 + \lambda_1|\epsilon_1|^{\frac{1}{2}}sgn(\epsilon_1) \\ \dot{u}_1 &= \alpha_1 sgn(\epsilon_1) \end{aligned} \quad (3)$$

avec $\epsilon_1 = z_1 - \hat{z}_1$, λ_1, $\alpha_1 > 0$ et u_1 sont respectivement les paramètres et la sortie du dérivateur, z_1 est la variable à estimer et:

$$sgn(\epsilon_1) = \begin{cases} 1 & si \quad \epsilon_1 > 0 \\ -1 & si \quad \epsilon_1 < 0 \\ \in [-1 \quad 1] & si \quad \epsilon_1 = 0 \end{cases}$$

alors après convergence de ϵ_1 vers 0, on a $u_1 = \dot{z}_1$.

A.2 Application au moteur synchrone

Soit $x = [x_1 \quad x_2]^T = [i_\alpha \quad i_\beta]^T$. En considérent que les dynamiques des courants de l'equation (1), on peut écrire :

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= ax_1 - bE_\alpha + cu_\alpha \\ \dot{x}_2 &= ax_2 - bE_\beta + cu_\beta \end{aligned} \quad (4)$$

avec

$$\begin{aligned} E_\alpha &= -\omega_e \sin(\theta_e) \\ E_\beta &= \omega_e \cos(\theta_e) \end{aligned} \quad (5)$$

En appliquant l'algorithme du dérivateur super twisting (3) au système (4), on obtient :

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}_1 &= ax_1 - b\hat{E}_\alpha + cu_\alpha + \lambda_1|e_1|^{\frac{1}{2}}sgn(e_1) \\ \dot{\hat{E}}_\alpha &= \alpha_1 sgn(e_1) \quad (6) \\ \dot{\hat{x}}_2 &= ax_2 - b\hat{E}_\beta + cu_\beta + \lambda_2|e_2|^{\frac{1}{2}}sgn(e_2) \\ \dot{\hat{E}}_\beta &= \alpha_2 sgn(e_2) \quad (7) \end{aligned}$$

avec $e_1 = x_1 - \hat{x}_1$, $e_2 = x_2 - \hat{x}_2$ et λ_1, λ_2, α_1, α_2 des paramètres constants positifs.
La dynamique de l'erreur d'observation est donnée par :

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= -be_{E_\alpha} - \lambda_1|e_1|^{\frac{1}{2}}sgn(e_1) \\ \dot{e}_{E_\alpha} &= f_1(\omega_e, e_{E_\beta}) - \alpha_1 sgn(e_1) \\ \dot{e}_2 &= -be_{E_\beta} - \lambda_2|e_2|^{\frac{1}{2}}sgn(e_2) \\ \dot{e}_{E_\beta} &= f_2(\omega_e, \hat{E}_\alpha) - \alpha_2 sgn(e_2) \end{aligned} \quad (8)$$

avec $e_{E_\alpha} = E_\alpha - \hat{E}_\alpha$, $e_{E_\beta} = E_\beta - \hat{E}_\beta$ et $f_1(\omega_e, e_{E_\beta}) = -b\omega_e e_{E_\beta}$ et $f_2(\omega_e, e_{E_\alpha}) = b\omega_e e_{E_\alpha}$.
En se servant des résultats proposés dans [19] et [16] concernant l'algorithme du super twisting (3) dédié à

l'observateur (6), le corollaire suivant est énoncé :

Corollaire: Pour toutes conditions initiales $x(0)$, $\hat{x}(0)$, il existe un choix de λ_i et α_i, $i = 1, 2$ tel que l'état observé $\hat{x}$ converge en temps fini vers l'état réel x, i.e. $\hat{x}_1 \longmapsto x_1$ et $\hat{x}_2 \longmapsto x_2$ alors e_1, e_2, $\dot{e}_1$ et $\dot{e}_2$ convergent à zéro et par conséquant $\hat{E}_\alpha \longmapsto E_\alpha$ et $\hat{E}_\beta \longmapsto E_\beta$.
Ainsi, la convergence de l'erreur d'observation est obtenue en une étape et en temps fini [16].
Les paramètres de l'observateur λ_i et α_i, $i = 1, 2$ sont calculés de la façon suivante : [16]:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &> f_1^+ \quad et \quad \lambda_1 > (f_1^+ + \alpha_1)\sqrt{\frac{2}{\alpha_1 - f_1^+}} \\ \alpha_2 &> f_2^+ \quad et \quad \lambda_2 > (f_2^+ + \alpha_2)\sqrt{\frac{2}{\alpha_2 - f_2^+}} \end{aligned} \tag{9}$$

avec $f_1^+ = max(f_1(\omega_e, e_{E_\beta}))$, $\quad et \quad f_2^+ = max(f_2(\omega_e, e_{E_\alpha}))$

Remarque. III.1: On peut remarquer que l'estimée de la vitesse ω_e peut être obtenue à partir des estimées $\hat{E}_\alpha$ et $\hat{E}_\beta$, voir (5), $\omega_e = \mp\sqrt{E_\alpha^2 + E_\beta^2}$. Les $\hat{E}_\alpha$ et $\hat{E}_\beta$ convergent en temps fini respectivement vers E_α et E_β. Ce procédé d'estimation de la vitesse pose un problème de signe à basse vitesse. Pour résoudre ce problème, une structure MRAS est utilisée dans laquelle l'observateur super twisting sert de modèle de référence.

B. Le modèle ajustable

Ce modèle est ajustable par la vitesse estimée et il permet de calculer les FCEMs estimées $\tilde{E}_{\alpha,\beta} = [\tilde{E}_\alpha \quad \tilde{E}_\beta]^T$ en utilisant l'équation suivante:

$$\dot{\tilde{E}}_{\alpha,\beta} = \tilde{\omega}_e J \tilde{E}_{\alpha,\beta} + G(\hat{E}_{\alpha,\beta} - \tilde{E}_{\alpha,\beta}) \tag{10}$$

où $\tilde{\omega}_e$ sera donnée par la suite, $\hat{E}_{\alpha,\beta} = [\hat{E}_\alpha \quad \hat{E}_\beta]^T$ provenant de l'observateur qui après un temps T_1 a convergé vers $E_{\alpha,\beta} = [E_\alpha \quad E_\beta]^T$ et $J = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$. Pour la convergence, une boucle de retour est introduite avec le gain de retour:

$$G = g\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

où g est une constante positive.

C. Le mécanisme d'adaptation

Si l'erreur d'estimation de vitesse existe, elle va donner lieu à une erreur d'estimation des FCEMs:

$$\tilde{e}_{E_{\alpha,\beta}} = \hat{E}_{\alpha,\beta} - \tilde{E}_{\alpha,\beta} \tag{11}$$

Remarque. III.2: Le modèle ajustable est activé qu'une fois la convergence de l'observateur super twisting est vérifiée $t > T_1$. L'observateur nous donne en temps fini E_α et E_β.
L'équation de l'erreur (11) devient après ce temps fini T_1 :

$$\tilde{e}_{E_{\alpha,\beta}} = E_{\alpha,\beta} - \tilde{E}_{\alpha,\beta} \tag{12}$$

Cette erreur avec la sortie du modèle adjustable $\tilde{E}_{\alpha,\beta}$ sont utilisées pour construire la surface S suivante :

$$S = \tilde{e}_{E_{\alpha,\beta}}^T J \tilde{E}_{\alpha,\beta} \tag{13}$$

Pour des raisons de convergence, la vitesse estimée est donnée comme suit :

$$\tilde{\omega}_e = M sgn(S) sgn(\tilde{E}_{\alpha,\beta}^T E_{\alpha,\beta}) \tag{14}$$

avec M une constante positive.
Les FCEMs provenant du modèle de référence (de l'observateur) après un temps fini T_1 sont égales à celles du moteur :

$$\begin{aligned} \dot{\hat{E}}_{\alpha,\beta} &= \dot{E}_{\alpha,\beta} \\ &= \omega_e J E_{\alpha,\beta} \end{aligned} \tag{15}$$

Pour montrer que le mode glissant peut être forcé à la surface de glissement $S = 0$, il faut montrer qu'il existe M suffisamment grande tel que la surface est attractive:

$$S\dot{S} < 0 \tag{16}$$

Le calcul de la dérivée de (13) qui utilise les expressions des dérivées des FCEMs données par (10) et (15), est donnée par :

$$\dot{S} = -\tilde{\omega}_e[E_{\alpha,\beta}\tilde{E}_{\alpha,\beta}^T] + \omega_e E_{\alpha,\beta}^T \tilde{E}_{\alpha,\beta} - g\tilde{e}_{E_{\alpha,\beta}}^T J \tilde{E}_{\alpha,\beta} \tag{17}$$

Sachant que $\tilde{\omega}_e$ est donnée par l'équation (14), il est clair à partir de (17) qu'une valeur suffisamment grande de M peut nous conduire à la condition (16). Ainsi, le mode glissant est forcé à la surface et quand le mode glissant s'établit, on a $S = 0$.
La méthode de "boundary layer" décrite dans [14] est utilisée pour trouver la commande équivalente $\tilde{\omega}_{e,eq}$. Quand le mode glissant se produit, on peut avoir $S = \tilde{e}_{E_{\alpha,\beta}}^T J \tilde{E}_{\alpha,\beta} = 0$) et $\dot{S} = 0$. La vitesse équivalente $\tilde{\omega}_{e,eq}$ de l'équation (14) tend vers la vitesse réelle :

$$\tilde{\omega}_{e,eq} = \omega_e \tag{18}$$

La vitesse équivalente représente les composantes basses fréquences du terme discontinu (14). Ainsi, quand les composantes hautes fréquences de la fonction de commutation $sgn(S)$ se produisent, les composantes basses fréquences sont obtenues en utilisant un Filtre Passe Bas et elles représentent la vitesse estimée.

D. Estimation de la position du moteur

Les FCEMs $\hat{E}_\alpha$ et $\hat{E}_\beta$ provenant de l'observateur (6) convergent en temps fini T_1 respectivement vers les FCEMs réelles du moteur E_α et E_β. Après ce temps de convergence de l'observateur ($t > T_1$), la position estimée est obtenue à partir de la phase des FCEMs du moteur comme suit:

$$\begin{aligned} \hat{\theta}_e &= \arctan 2(\frac{-\hat{E}_\alpha}{\hat{E}_\beta}) \\ &= \arctan 2(\frac{-E_\alpha}{E_\beta}). \end{aligned} \tag{19}$$

Cependant, il est montré dans [22] que la position du moteur n'est pas observable à vitesse et accélération nulles. Pour résoudre ce problème, un système de permutation Estimateur/Observateur à été proposé pour assurer l'estimation de la position rotorique dans toute les plages de vitesse et s'affranchir ainsi des problèmes d'inobservabilité de la position rotorique à zéro vitesse. L'observateur de la position est donné par (19) et l'estimateur de la position est obtenue en intégrant la vitesse estimée donnée par (18). La position est égale à la valeur donnée par l'observateur de position quand le moteur fonctionne à haute vitesse et permute sur l'estimateur quand la vitesse devient inférieure à une valeur de seuil. Cette valeur de seuil est choisie par l'utilisateur tel que l'observateur de position (19) est dans la zone observable du moteur. La valeur initiale de l'estimateur de position est par l'observateur de position juste avant que ce dernier ne soit rentrer dans la zone inobservable du moteur.

IV. Résultats de simulation

Dans ce paragraphe, les résultats de simulation obtenus en utilisant l'environnement Matlab/Simulink sont présentés. Le moteur testé est un moteur synchrone à aimants permanents monté en surface. Ses caractéristiques nominales sont données par le tableau 1. Les paramètres de l'observateur sont donnés dans le tableau 2.

A. Benchmark

L'observateur proposé est testé en boucle ouverte sur les trajectoires du Benchmark "commande sans capteur mécanique du moteur synchrone" de l'IRCCyN [23]. Dans ce Benchmark (Fig.2) sont définis deux trajectoires de références: la vitesse de référence (Fig. 2(a)) et le couple de charge (Fig. 2(b)). Initialement, le moteur démarre de zéro et accélère jusqu'à atteindre une vitesse de 40 rad/s et garde cette vitesse constante jusqu'à t=1.5s. Le couple de charge est appliqué entre t=0.5s et t=1s. Cette première phase permet de tester et d'évaluer les performances et la robustesse de l'observateur à basse vitesse avec un couple de charge nominal. At t=1.5s, le moteur est amené à sa vitesse nominale (157 rad/s). Le couple de charge est appliqué de nouveau à t=3s. Cette deuxième phase a pour but de tester les performances dynamiques et la robustesse des observateurs à haute vitesse. Par la suite, tout en maintenant le couple de charge, le moteur est décéléré jusqu'à sa vitesse nulle qui est maintenue constante (vitesse et accélération nulle) jusqu'à t=6s. Cette dernière phase permet de mettre en évidence le phénomène d'inobservabilité du moteur synchrone à vitesse et accélération nulle. Enfin, le moteur est contrôlé en dehors des conditions inobservables. Des tests de robustesse sont définis par la variation de +50% de la résistance statorique, +20% sur l'inductance statorique (Fig. 6) et +15% sur le flux rotorique.

L'observateur proposé est testé dans le cas nominal (paramètres identifiés) et dans le cas des tests de robustesse. Les résultats obtenus dans la cas nominal sont présentés par les figures 3 et 4 tandis que ceux des test de robustesse sont présentés par la figure 5 pour variation de +50% de la résistance statorique, la figure 6 pour une variation de +20% de l'inductance statorique et la figure 7 pour variation de +15% sur flux rotorique.

B. Résultats sur la vitesse estimée

On peut remarquer que la vitesse estimée suit bien la vitesse de référence avec une bonne dynamique et précision dans le cas nominal (Fig. 3 and 4) et de robustesse (Fig. 5, 6 and 7). L'observateur proposé est robuste vis-à-vis des perturbations externes (couple de charge) (Fig. 3 and 4) et des variations paramétriques (Fig. 5, 6 and 7). Néanmoins, une erreur apparaît au moment du changement rapide de vitesse (par exemple dans la Fig. 3 à t=1.6 s) car dans ce cas la dynamique de la vitesse n'est pas lentement variable par rapport aux dynamiques électriques. Généralement ce changement rapide de dynamique n'est pas un comportement physique, il est seulement effectué pour montrer les limites de performances de l'observateur proposé.

C. Résultas sur la position estimée

Pour l'estimation de la position rotorique, deux tests ont été effectués. Dans le premier test (Fig. 3), seulement l'observateur de position (16) est utilisé. La Fig. 3(b) montre la position estimée qui suit parfaitement la position réelle avec une bonne précision et une bonne robustesse vis-à-vis du couple de charge. Cependant, à vitesse et accélération nulles, la position étant pas observable, l'observateur de position (16) donne une mauvaise estimation de la vitesse. Ce problème est résolu dans le deuxième test (Fig.4) dans lequel le système de permutation Estimateur/Observateur détaillé dans la section (III-D) est utilisé. La robustesse de l'observateur de position intégrant l'estimateur de position à basse vitesse est montré par les figures 5, 6 et 7. On peut constater que la la position est bien estimée sur toute la plage de fonctionnement du moteur. Cependant, on peut constater que la position estimée est sensible seulement à la variation de la résistance statorique (Fig.4).

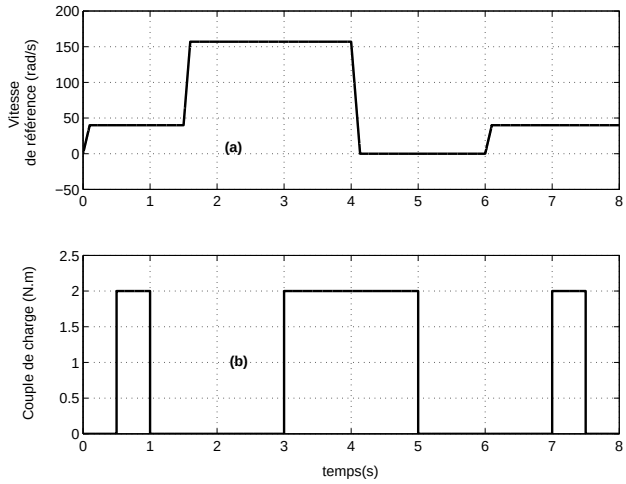

Fig. 2. Trajectoires du Benchmark: (a) Vitesse de référence (rad/s), (b) Couple de charge (N.m)

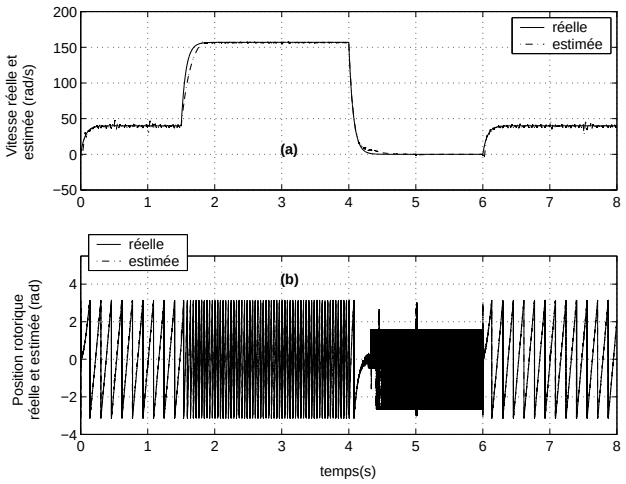

Fig. 3. Cas nominal: (a) Vitesse réelle et estimée (rad/s), (b) Position réelle et estimée (rad)

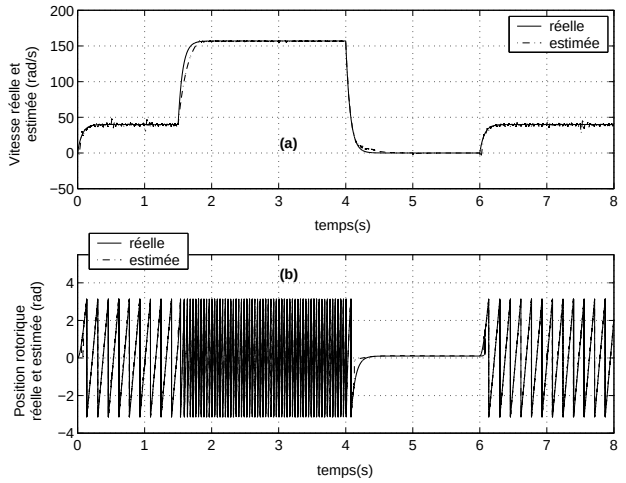

Fig. 4. Permutation Estimateur/Observateur: Cas Nominal: (a) Vitesse réelle et estimée (rad/s), (b) Position réelle et estimée (rad)

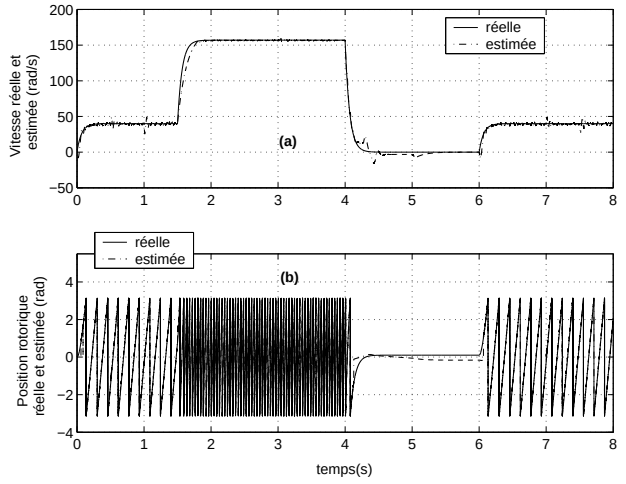

Fig. 5. Permutation Estimateur/Observateur: +50% de variation de la résistance statorique: (a) Vitesse réelle et estimée (rad/s), (b) Position réelle et estimée (rad)

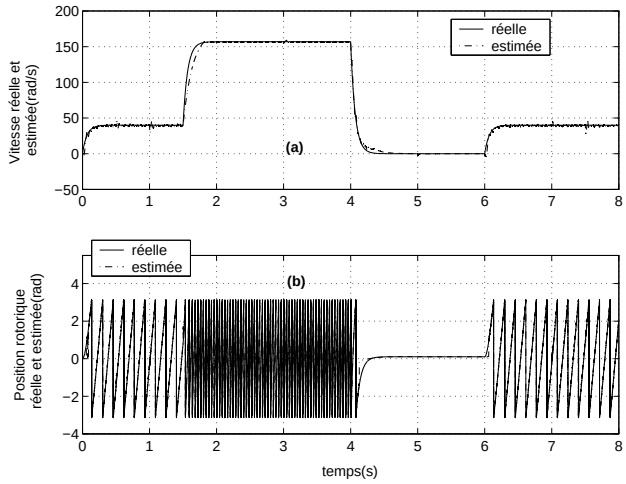

Fig. 6. Permutation Estimateur/Observateur: +20% de variation de l'inductance statorique: (a) Vitesse réelle et estimée (rad/s), (b) Position réelle et estimée (rad)

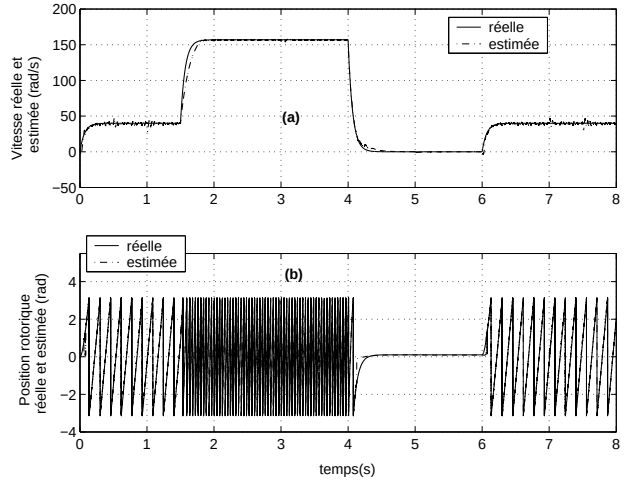

Fig. 7. Permutation Estimateur/Observateur: +15% de variation de flux rotorique: (a) Vitesse réelle et estimée (rad/s), (b) Position réelle et estimée (rad)

V. Conclusion

Dans ce papier, un observateur à mode glissant d'ordre 2 d'un moteur synchrone à aimant permanent sans capteur mécanique est proposé. Cet observateur permet d'estimer les forces électromotrices (FCEMs) du moteur en utilisant comme seules mesures les courants statoriques. L'estimation de vitesse via les FCEMs estimées pose un problème de signe à basse vitesse. Ce problème est résolu en ajoutant à l'observateur une structure MRAS. Par ailleurs, l'estimation de la position à partir des FCEMs estimées étant impossible à zéro vitesse. Par conséquent un système de permutation Estimateur/Observateur permettant de s'affranchir de cette difficulté a été proposé. L'observateur proposé a été testé en simulation sur les trajectoires de Benchmark " Commande sans Capteur mécanique du moteur synchrone" de l'IRCCyN et a montré des bonnes qualités de robustesse vis-à-vis des perturbations externes et des variations paramétriques.

Références

[1] J. H. Jang, S. K. Sul, J. I. Ha, et al, Sensorless Drive of Surface-Mounted Permanent Magnet Motor by High Frequency Signal Injection based on Magnetic Saliency, *IEEE Trans. Industry Appl.*, Vol. 39, No. 4, 2003, pp. 1031-1039.

[2] H. R. Lie, J. H. Wang, S. S. Gu, et al, A Neural-Network-based Adaptative Estimator of Rotor Position and Speed for Permanant Magnet Synchronous Motor, *Proc. IEEE ICEMS 2001.*, Vol. 2, 2001, pp. 735-738.

[3] J. Solsona, M. I. Valla and C. Muravchik, A Non linear Reduced Order Observer for Permanent Magnet Synchronous Motors, *IEEE trans. Ind. Electr.*, Vol. 43, No. 4, 1996, pp. 492-497.

[4] S. Bolognani, L. Tubiana and M. Zigliotto, Extented Kalman Filter tuning in Sensorless PMSM Drives, *IEEE trans. Ind. Appl.*, Vol. 39, No. 6, 2003, pp. 1741-1747.

[5] K. Y. Lian, C. H. Chiang, and H. W. Tu, LMI-based Sensorless Control of Permanent Magnet Synchronous Motors, *IEEE trans. Ind. Elect.*, Vol. 54, No. 5, 2007, pp. 1054-1061.

[6] A. Consoli, S. Musumeci, A. Ractiti and A. Testa, Sensorless Vector and Speed Control of Brushless Motor Drives, *IEEE Trans. Ind. Elect.*, Vol. 41, 1994, pp. 91-95.

[7] C. French and P. Acarnley, Control of Permanent Motor Drives using à New Position Estimation Technique, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 32, 1996, pp. 1089-1097.

[8] O. Ostlund and M. Brokemper, Sensorless Rotor Position Detection from Zero to Rated Speed for an Integrated PM Synchronous Motor Drive, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 32, 1996, pp. 1158-1165.

[9] C. Schauder, Adaptative Speed Identification for Vector Control of Induction Motors without Rotational Transducers, *IEEE trans. Ind. Appl.*, Vol. 28, No. 5, 1992, pp. 2769-2778.

[10] S. Maiti, C. Chakraborty, Y. Hori and M. C. Ta, Model Reference Adaptative Controller-Based Rotor Resistance and Speed Estimation Techniques for Vector Controlled Induction Motor Drive Utilizing Reactive Power, *IEEE trans. Ind. Elect.*, Vol. 55, No. 2, 2008, pp. 594-601.

[11] C. M. Ta, T. Uchida and Y. Hori, MRAS-based Speed Sensorless Control for Indution Motor Drives using Instantaneous Reactive Power, *Proc. 27th IEEE Conf. on Ind. Elect. Soc.*, 2001, pp. 1417-1422.

[12] Y. S. Kim, S. K. Kim and Y. A. Kwon, MRAS based Sensorless Control of Permanent Magnet Synchronous Motor, *SICE Annual Conf., Fukui, August 4-6, 2003, pp. 1632-1638.*

[13] M. M. Kojabadi and C. Liuchen, Sensorless PMSM drive with MRAS-based adaptive speed estimator, *Proc. 37th IEEE Spec. conf. on Pow. Elect., 18-22 June 2006, Jeju*, 2006, pp. 1-5.

[14] V. Utkin, J. Guldner and J. Shi, *Sliding mode control in electromechanical systems, London*: 1st Edition, Taylor et Francis, 1999.

[15] M. Ghanes and G. Zheng, On Sensorless Induction Motor Drives: Sliding-Mode Observer and Output Feedback Controller, *IEEE Transactions on Industrial Electronics (TIE)*, Vol.56, N°9, p. 3404-3413, September 2009.

[16] W. Perruquetti, J. P. Barbot, *Sliding mode Control in engineering,* New York: Marcel Dekker, 2002.

[17] G. Bartolini, A. Ferrara and E. Usani, Chattering Avoidance by Second-Order Sliding Mode Control, *IEEE trans. Autom. Cont.*, Vol. 43, No. 2, 1998, pp. 241-246.

[18] L. Fridman, A. Levant, Sliding modes of higher order as a natural phenomenon in control theory. In Robust control via variable structure and Lyapunov techniques, Lecture notes in control and information Science 217. F. Garofalo, L. Glielmo Ed. Springer Verlag London, 1996, pp. 107-133.

[19] A. Levant, Robust exact differentiation via sliding mode technique, *Automatica*, Vol. 34, No. 3, 1998, pp. 379-384.

[20] I. Boiko, M. I. Castellanos, L. Fridman: Super twisting algorithm-based step-by-step sliding mode observers for nonlinear systems with unknown inputs. Int. J. Systems Science, 2007, 38(10): 803-815.

[21] Z. Chen, M. Tomita, S. Doki and S. Okuma, An Extended Electromotive Force Model for Sensorless Control of Interior Permanent-Magnet Synchronous Motors, *IEEE trans. Ind. Elect.*, Vol. 50, No. 2, 2003, pp. 288-295.

[22] D. Zaltni, M. Ghanes, J.P. Barbot and M.N. Abdelkrim, *Observability study and observer design for PMSM control*, Submitted to AJC, 2009.

[23] A. Glumineau, R. Boiliveau (IRCcyN), L. Loron (IREENA), "www.irccyn.ec-nantes.fr/hebergement/bancEssai", 2008.

TABLE I

Charactéristiques du MSAP

Puissance nominale P_n	$1.7kW$
Vitesse nominale ω_n	$157rad.s^{-1}$
Tension nominale U_n	$380V$
Courant nominal I_n	$3.8A$
Nombre des paires de pôles P	3
Inductance statorique L_d	0.027H
Inductance statorique L_q	0.027H
Résistance statorique R	3.3 Ω
Flux rotorique ϕ_m	0.341
Moment d'inertie J	$0.0026kg.m^2$
Frottement visqueux f_v	$0.0034kg.m^2.s^{-1}$

TABLE II

Paramètres de l'observateur

α_1	5.10^5
λ_1	580
α_2	5.10^5
λ_2	800
M	1500
g	100