

Observateur Adaptatif Interconnecté pour la Commande Sans Capteur de l'Actionneur Synchrone

Jesus DE LEON, Mohamed Assaad HAMIDA , Alain GLUMINEAU

Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes

Juin 2012

Plan

1 Introduction

- MSAP
- Pourquoi du “sans” capteur ??
- Commande sans capteur

Plan

1 Introduction

- MSAP
- Pourquoi du “sans” capteur ??
- Commande sans capteur

2 Commande par Backstepping pour la machine synchrone

- Backstepping ??
- Modèle du moteur dans un repère dq tournant
- Calcul de la commande

Plan

1 Introduction

- MSAP
- Pourquoi du “sans” capteur ??
- Commande sans capteur

2 Commande par Backstepping pour la machine synchrone

- Backstepping ??
- Modèle du moteur dans un repère dq tournant
- Calcul de la commande

3 Observateur adaptatif interconnecté

- Modèle interconnecté de la machine
- Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)
- Analyse de stabilité

Plan

1 Introduction

- MSAP
- Pourquoi du “sans” capteur ??
- Commande sans capteur

2 Commande par Backstepping pour la machine synchrone

- Backstepping ??
- Modèle du moteur dans un repère dq tournant
- Calcul de la commande

3 Observateur adaptatif interconnecté

- Modèle interconnecté de la machine
- Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)
- Analyse de stabilité

4 Résultats de simulation

- Cas nominal
- Variations de $\pm 50\%$ la résistance statorique
- Variations de $\pm 20\%$ sur les inductances

Plan

- 1 Introduction
 - MSAP
 - Pourquoi du “sans” capteur ??
 - Commande sans capteur
- 2 Commande par Backstepping pour la machine synchrone
 - Backstepping ??
 - Modèle du moteur dans un repère dq tournant
 - Calcul de la commande
- 3 Observateur adaptatif interconnecté
 - Modèle interconnecté de la machine
 - Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)
 - Analyse de stabilité
- 4 Résultats de simulation
 - Cas nominal
 - Variations de $\pm 50\%$ la résistance statorique
 - Variations de $\pm 20\%$ sur les inductances
- 5 Conclusion et perspectives

Plan

1 Introduction

• MSAP

- Pourquoi du “sans” capteur ??
- Commande sans capteur

2 Commande par Backstepping pour la machine synchrone

- Backstepping ??
- Modèle du moteur dans un repère dq tournant
- Calcul de la commande

3 Observateur adaptatif interconnecté

- Modèle interconnecté de la machine
- Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)
- Analyse de stabilité

4 Résultats de simulation

- Cas nominal
- Variations de $\pm 50\%$ la résistance statorique
- Variations de $\pm 20\%$ sur les inductances

5 Conclusion et perspectives

MSAPPS

La machine synchrone à aimants permanents est une machine utilisée dans un grand nombre de domaines (traction, machines-outils, conversion d'énergie, ...).

Avantages :

- absence d'enroulement rotorique.
- puissance massique importante.
- absence de balais et de collecteur.

Inconvénients :

- prix des aimants permanents.

Plan

1 Introduction

- MSAP
- Pourquoi du “sans” capteur ??
- Commande sans capteur

2 Commande par Backstepping pour la machine synchrone

- Backstepping ??
- Modèle du moteur dans un repère dq tournant
- Calcul de la commande

3 Observateur adaptatif interconnecté

- Modèle interconnecté de la machine
- Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)
- Analyse de stabilité

4 Résultats de simulation

- Cas nominal
- Variations de $\pm 50\%$ la résistance statorique
- Variations de $\pm 20\%$ sur les inductances

5 Conclusion et perspectives

Sans Capteur pourquoi ???

Avantages :

- économie du capteur
- réduction de l'encombrement
- réduction des pannes

Difficulté :

- Perte d'observabilité à basse vitesse.

Plan

1 Introduction

- MSAP
- Pourquoi du “sans” capteur ??
- **Commande sans capteur**

2 Commande par Backstepping pour la machine synchrone

- Backstepping ??
- Modèle du moteur dans un repère dq tournant
- Calcul de la commande

3 Observateur adaptatif interconnecté

- Modèle interconnecté de la machine
- Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)
- Analyse de stabilité

4 Résultats de simulation

- Cas nominal
- Variations de $\pm 50\%$ la résistance statorique
- Variations de $\pm 20\%$ sur les inductances

5 Conclusion et perspectives

Commande Sans Capteur

Dans la littérature, plusieurs techniques d'observations de la position et de la vitesse de rotation ont été proposées parmi lesquelles on peut citer :

- Les techniques basées sur le modèle de la machine :
 - les techniques basées sur l'estimation de la force électromotrice.
 - les techniques basées sur le filtre de Kalman.
 - les observateurs par modes glissants.
 - l'observateur de Luenberger.
- les techniques d'observation sans modèle.
- les techniques basées sur la saillance du rotor et l'injection de signaux.

Plan

- 1 Introduction
 - MSAP
 - Pourquoi du “sans” capteur ??
 - Commande sans capteur
- 2 **Commande par Backstepping pour la machine synchrone**
 - **Backstepping ??**
 - Modèle du moteur dans un repère dq tournant
 - Calcul de la commande
- 3 Observateur adaptatif interconnecté
 - Modèle interconnecté de la machine
 - Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)
 - Analyse de stabilité
- 4 Résultats de simulation
 - Cas nominal
 - Variations de $\pm 50\%$ la résistance statorique
 - Variations de $\pm 20\%$ sur les inductances
- 5 Conclusion et perspectives

Définitions et Objectif (1)

Définition : Le Backstepping est une méthode récursive de construction de lois de commande non linéaire à partir de fonctions de Lyapunov, qui assurent la stabilité du système bouclé.

Objectif : Permettre la poursuite des variables de sorties (courant i_d et vitesse) à des trajectoires prédéfinies.

Définitions et Objectif (1)

Définition : Le Backstepping est une méthode récursive de construction de lois de commande non linéaire à partir de fonctions de Lyapunov, qui assurent la stabilité du système bouclé.

Objectif : Permettre la poursuite des variables de sorties (courant i_d et vitesse) à des trajectoires prédéfinies.

Conception de la commande Integral Backstepping

La conception du contrôleur est obtenu en trois étapes :

Définitions et Objectif (1)

Définition : Le Backstepping est une méthode récursive de construction de lois de commande non linéaire à partir de fonctions de Lyapunov, qui assurent la stabilité du système bouclé.

Objectif : Permettre la poursuite des variables de sorties (courant i_d et vitesse) à des trajectoires prédéfinies.

Conception de la commande Integral Backstepping

La conception du contrôleur est obtenu en trois étapes :

- Définition des erreurs de suivis, (erreur de suivi de vitesse, erreur de suivi de courant i_d).

Définitions et Objectif (1)

Définition : Le Backstepping est une méthode récursive de construction de lois de commande non linéaire à partir de fonctions de Lyapunov, qui assurent la stabilité du système bouclé.

Objectif : Permettre la poursuite des variables de sorties (courant i_d et vitesse) à des trajectoires prédéfinies.

Conception de la commande Integral Backstepping

La conception du contrôleur est obtenu en trois étapes :

- Définition des erreurs de suivis, (erreur de suivi de vitesse, erreur de suivi de courant i_d).
- Recherche d'une loi de commande par Backstepping forçant les variables de sorties (la vitesse et le courant i_d) vers leur trajectoires de référence.

Définitions et Objectif (1)

Définition : Le Backstepping est une méthode récursive de construction de lois de commande non linéaire à partir de fonctions de Lyapunov, qui assurent la stabilité du système bouclé.

Objectif : Permettre la poursuite des variables de sorties (courant i_d et vitesse) à des trajectoires prédéfinies.

Conception de la commande Integral Backstepping

La conception du contrôleur est obtenu en trois étapes :

- Définition des erreurs de suivis, (erreur de suivi de vitesse, erreur de suivi de courant i_d).
- Recherche d'une loi de commande par Backstepping forçant les variables de sorties (la vitesse et le courant i_d) vers leur trajectoires de référence.
- Ajout d'intégrateurs dans la conception récursive du Backstepping pour éliminer certaines classes de signaux incertains (variations paramétriques, perturbations,...).

Plan

- 1 Introduction
 - MSAP
 - Pourquoi du “sans” capteur ??
 - Commande sans capteur
- 2 **Commande par Backstepping pour la machine synchrone**
 - Backstepping ??
 - **Modèle du moteur dans un repère dq tournant**
 - Calcul de la commande
- 3 Observateur adaptatif interconnecté
 - Modèle interconnecté de la machine
 - Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)
 - Analyse de stabilité
- 4 Résultats de simulation
 - Cas nominal
 - Variations de $\pm 50\%$ la résistance statorique
 - Variations de $\pm 20\%$ sur les inductances
- 5 Conclusion et perspectives

Modèle du moteur synchrone dans un repère dq tournant

$$\left\{ \begin{array}{lcl} \frac{d\theta}{dt} & = & \omega \\ \frac{d\omega}{dt} & = & \frac{P}{J} [(L_d - L_q)i_d + \phi_f]i_q - \frac{f_v}{J}\omega - \frac{T_l}{J} \\ \frac{di_d}{dt} & = & -\frac{R_s}{L_d}i_d + P\frac{L_q}{L_d}\omega i_q + \frac{1}{L_d}v_d \\ \frac{di_q}{dt} & = & -P\frac{\phi_f}{L_q}\omega - P\frac{L_d}{L_q}\omega i_d - \frac{R_s}{L_q}i_q + \frac{1}{L_q}v_q \end{array} \right. \quad (1)$$

Modèle du moteur synchrone dans un repère dq tournant

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\theta}{dt} = \omega \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{P}{J} [(L_d - L_q)i_d + \phi_f]i_q - \frac{f_v}{J}\omega - \frac{T_l}{J} \\ \frac{di_d}{dt} = -\frac{R_s}{L_d}i_d + P\frac{L_q}{L_d}\omega i_q + \frac{1}{L_d}v_d \\ \frac{di_q}{dt} = -P\frac{\phi_f}{L_q}\omega - P\frac{L_d}{L_q}\omega i_d - \frac{R_s}{L_q}i_q + \frac{1}{L_q}v_q \end{array} \right. \quad (1)$$

où

p	Nombre de paires de pôles	ψ_f	Flux magnétique
Ω	Vitesse de rotation	θ	Position angulaire du rotor
R_s	Résistance statorique	L_d, L_q	Inductances statoriques
f_v	Coefficient de frottement visqueux	J	Moment d'inertie
$i_{d,q}$	Courants statoriques (d, q)	$v_{d,q}$	Tensions statoriques

Plan

- 1 Introduction
 - MSAP
 - Pourquoi du “sans” capteur ? ?
 - Commande sans capteur
- 2 **Commande par Backstepping pour la machine synchrone**
 - Backstepping ? ?
 - Modèle du moteur dans un repère dq tournant
 - **Calcul de la commande**
- 3 Observateur adaptatif interconnecté
 - Modèle interconnecté de la machine
 - Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)
 - Analyse de stabilité
- 4 Résultats de simulation
 - Cas nominal
 - Variations de $\pm 50\%$ la résistance statorique
 - Variations de $\pm 20\%$ sur les inductances
- 5 Conclusion et perspectives

Boucle de vitesse. pour résoudre le problème de suivi de vitesse on définit l'écart suivant :

$$z_{\Omega} = \Omega^* - \Omega + K'_{\Omega} \int_0^t (\Omega^* - \Omega) dt \quad (2)$$

avec $K'_{\Omega} \int_0^t (\Omega^* - \Omega) dt$ est l'intégrale de l'écart de vitesse. Avec l'introduction de cet action nous assurons la convergence de l'erreur vers zéro pour une classe de signaux incertains dans la dynamique de l'écart. (Traore 2011)

En dérivant cet écart on obtient :

$$\dot{z}_{\Omega} = \dot{\Omega}^* - \frac{p}{J}(L_d - L_q)i_d i_q^* + \frac{f_v}{J}\Omega - \frac{p}{J}\Phi_f i_q^* + \frac{1}{J}T_l + K'_{\Omega}(\dot{\Omega}^* - \Omega). \quad (3)$$

Considérons la fonction candidate de Lyapunov $V_{\Omega} = \frac{1}{2}z_{\Omega}^2$

Afin d'assurer $\dot{V}_{\Omega} = -K_{\Omega}z_{\Omega}^2$ un choix serait $\dot{z}_{\Omega} = -K_{\Omega}z_{\Omega}$ où $K_{\Omega} > 0$.

Pour cela on définit l'entrée virtuelle i_q^*

$$i_q^* = \frac{J}{p\Phi_f} [K_{\Omega}z_{\Omega} + \dot{\Omega}^* + \frac{f_v}{J}\Omega + K'_{\Omega}(\Omega^* - \Omega) - \frac{p}{J}(L_d - L_q)i_d i_q^* + \frac{1}{J}T_l]. \quad (4)$$

Boucle de courant i_q . A partir de la boucle de vitesse, l'entrée virtuelle est définie par i_q^* . Pour déterminer la loi de commande globale nous définissons :

$$z_q = i_q^* - i_q + z_q' \quad (5)$$

avec $z_q' = K_q' \int_0^t (i_q^* - i_q) dt$ est l'intégrale de l'écart de courant. Nous considérons la fonction candidate de Lyapunov suivante :

$$V_q = V_{z\Omega} + \frac{1}{2} z_q^2 + \frac{1}{2} z_q'^2. \quad (6)$$

Le dérivée temporelle de cette équation est donnée par :

$$\dot{V}_q = -K_\Omega z_\Omega^2 + z_q \left(\frac{p}{J} \Phi_f z_\Omega + \dot{z}_q \right) + z_q' \left(-\frac{p}{J} \Phi_f z_\Omega + \dot{z}_q' \right). \quad (7)$$

Pour assurer la stabilité du système ($\dot{V}_q \leq 0$) il est suffisant de satisfaire les conditions suivantes :

$$\begin{cases} \frac{p}{J} \Phi_f z_\Omega + \dot{z}_q &= -K_q z_q \\ -\frac{p}{J} \Phi_f z_\Omega + \dot{z}_q' &= -K_q' z_q' \end{cases} \quad (8)$$

avec K_q, K_q' des constantes positives. Pour satisfaire ses conditions il nous suffit de prendre la commande suivante :

$$u_q = L_q [K_q z_q + 2 \frac{p}{J} \Phi_f z_\Omega - k_q' z_q' + p \frac{\Phi_m}{L_q} \Omega + \frac{R_s}{L_q} i_q + \dot{i}_q^*]. \quad (9)$$

Boucle de courant i_d . Afin d'annuler le couple réactant, le courant $i_d = 0$ est asservi à zéro ($i_d^* = 0$),

$$z_d = i_d^* - i_d + z_d'$$

Prenons la fonction candidate de Lyapunov

$$V_d = V_\Omega + V_q + \frac{1}{2}z_d^2 + \frac{1}{2}z_d'^2. \quad (10)$$

Cela nous donne :

$$\dot{V}_d = -k_\Omega z_\Omega^2 - k_q z_q^2 - k_q' z_q'^2 - k_d z_d^2 - k_d' z_d'^2$$

et

$$\dot{i}_{sd} = -z_{id} + z_{id}' + i_d^*.$$

Afin d'assurer la stabilité du système, la commande u_d est donnée par :

$$u_d = L_d [K_d z_d + \frac{R_s}{L_d} i_q - p \frac{L_q}{L_d} i_q \Omega + k_d' z_d'] \quad (11)$$

Plan

- 1 Introduction
 - MSAP
 - Pourquoi du “sans” capteur ??
 - Commande sans capteur
- 2 Commande par Backstepping pour la machine synchrone
 - Backstepping ??
 - Modèle du moteur dans un repère dq tournant
 - Calcul de la commande
- 3 Observateur adaptatif interconnecté
 - **Modèle interconnecté de la machine**
 - Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)
 - Analyse de stabilité
- 4 Résultats de simulation
 - Cas nominal
 - Variations de $\pm 50\%$ la résistance statorique
 - Variations de $\pm 20\%$ sur les inductances
- 5 Conclusion et perspectives

Modèle interconnectés de la MSAPPS

On suppose que la résistance statorique est constante et inconnue. Le modèle (1) peut être vu comme une interconnection entre deux sous-systèmes :

$$\Sigma_1 \begin{cases} \dot{X}_1 &= A_1(y)X_1 + g_1(X_2) + \Phi_1 u \\ y_1 &= C_1 X_1 \end{cases} \quad (12)$$

$$\Sigma_2 \begin{cases} \dot{X}_2 &= A_2(y)X_2 + g_2(X_1, X_2) + \Phi_2 u + \Phi T_I \\ y_2 &= C_2 X_2 \end{cases} \quad (13)$$

où

$$A_1(\cdot) = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{i_q}{L_q} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, A_2(\cdot) = \begin{bmatrix} 0 & p \frac{L_q}{L_d} i_q \\ 0 & -\frac{f_v}{J} \end{bmatrix}, \Phi_1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_q} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$g_1(\cdot) = \begin{bmatrix} -p \frac{L_d}{L_q} \Omega i_d - p \frac{\phi_f}{L_q} \Omega \\ 0 \end{bmatrix}, g_2(\cdot) = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_d} i_d \\ \frac{p}{J} \Phi_f i_q i_d + \frac{p}{J} (L_d - L_q) i_q \end{bmatrix}, \Phi_2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_d} \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{J} \end{bmatrix}, C_1 = C_2 = [1 \ 0], X_1 = \begin{bmatrix} i_q \\ R_s \end{bmatrix}, X_2 = \begin{bmatrix} i_d \\ \Omega \end{bmatrix},$$

Plan

- 1 Introduction
 - MSAP
 - Pourquoi du “sans” capteur ??
 - Commande sans capteur
- 2 Commande par Backstepping pour la machine synchrone
 - Backstepping ??
 - Modèle du moteur dans un repère dq tournant
 - Calcul de la commande
- 3 Observateur adaptatif interconnecté
 - Modèle interconnecté de la machine
 - **Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)**
 - Analyse de stabilité
- 4 Résultats de simulation
 - Cas nominal
 - Variations de $\pm 50\%$ la résistance statorique
 - Variations de $\pm 20\%$ sur les inductances
- 5 Conclusion et perspectives

Principe :

- + Dans le cas où un SNL peut être écrit comme une interconnection entre plusieurs sous-systèmes satisfaisants certaines conditions, un observateur peut être synthétisé
- + Concevoir un observateur pour tout le système à partir de la synthèse séparée des observateurs pour chaque sous-système, en supposant que pour chaque observateur calculé, les états des autres sous-systèmes soient disponibles.

Hypothèse :

- Supposons que les signaux (u, X_1) et (u, X_2) soient des entrées régulièrement persistantes et connues pour Σ_2 et Σ_1 respectivement.

Principe :

- + Dans le cas où un SNL peut être écrit comme une interconnection entre plusieurs sous-systèmes satisfaisants certaines conditions, un observateur peut être synthétisé
- + Concevoir un observateur pour tout le système à partir de la synthèse séparée des observateurs pour chaque sous-système, en supposant que pour chaque observateur calculé, les états des autres sous-systèmes soient disponibles.

Hypothèse :

- Supposons que les signaux (u, X_1) et (u, X_2) soient des entrées régulièrement persistantes et connues pour Σ_2 et Σ_1 respectivement.
- A_1 est globalement Lipchitz par rapport à X_1 .

Principe :

- + Dans le cas où un SNL peut être écrit comme une interconnection entre plusieurs sous-systèmes satisfaisants certaines conditions, un observateur peut être synthétisé
- + Concevoir un observateur pour tout le système à partir de la synthèse séparée des observateurs pour chaque sous-système, en supposant que pour chaque observateur calculé, les états des autres sous-systèmes soient disponibles.

Hypothèse :

- Supposons que les signaux (u, X_1) et (u, X_2) soient des entrées régulièrement persistantes et connues pour Σ_2 et Σ_1 respectivement.
- A_1 est globalement Lipchitz par rapport à X_1 .
- A_2 est globalement Lipchitz par rapport à X_1 .

Principe :

- + Dans le cas où un SNL peut être écrit comme une interconnection entre plusieurs sous-systèmes satisfaisants certaines conditions, un observateur peut être synthétisé
- + Concevoir un observateur pour tout le système à partir de la synthèse séparée des observateurs pour chaque sous-système, en supposant que pour chaque observateur calculé, les états des autres sous-systèmes soient disponibles.

Hypothèse :

- Supposons que les signaux (u, X_1) et (u, X_2) soient des entrées régulièrement persistantes et connues pour Σ_2 et Σ_1 respectivement.
- A_1 est globalement Lipchitz par rapport à X_1 .
- A_2 est globalement Lipchitz par rapport à X_1 .
- g_1 est globalement Lipchitz par rapport à X_2 .

Principe :

- + Dans le cas où un SNL peut être écrit comme une interconnection entre plusieurs sous-systèmes satisfaisants certaines conditions, un observateur peut être synthétisé
- + Concevoir un observateur pour tout le système à partir de la synthèse séparée des observateurs pour chaque sous-système, en supposant que pour chaque observateur calculé, les états des autres sous-systèmes soient disponibles.

Hypothèse :

- Supposons que les signaux (u, X_1) et (u, X_2) soient des entrées régulièrement persistantes et connues pour Σ_2 et Σ_1 respectivement.
- A_1 est globalement Lipchitz par rapport à X_1 .
- A_2 est globalement Lipchitz par rapport à X_1 .
- g_1 est globalement Lipchitz par rapport à X_2 .
- g_2 est globalement Lipchitz par rapport à X_1 , uniformément par rapport à X_1 .

$$\begin{cases} \dot{Z}_1 &= A_1(y)Z_1 + g_1(y_2, Z_2) + \Phi_1(u) + S_1^{-1}C_1^T(y_1 - \hat{y}_1) \\ \dot{S}_1 &= -\rho_1 S_1 - A_1^T(y)S_1 - S_1 A_1(y) + C_1^T C_1 \\ \dot{\hat{y}}_1 &= C_1 Z_1 \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} \dot{Z}_2 &= A_2(y)Z_2 + g_2(y, Z_1) + \Phi_2(u) + \Phi \hat{T}_l + KC_1^T(y_1 - \hat{y}_1) \\ &\quad + (\varpi \Lambda S_\theta^{-1} \Lambda^T C_2^T + \Gamma S_x^{-1} C_2^T)(y_2 - \hat{y}_2) \\ \dot{\hat{T}}_l &= \varpi S_\theta^{-1} \Lambda^T C_2^T (y_2 - \hat{y}_2) + B(Z_1)(y_1 - \hat{y}_1) + B_1(Z_1)(y_2 - \hat{y}_2) \\ \dot{S}_x &= -\rho_x S_x - A_2^T(Z_1, y)S_x - S_x A_2(Z_1, y) + C_2^T C_2 \\ \dot{S}_\theta &= -\rho_\theta S_\theta + \Lambda^T C_2^T C_2 \Lambda \\ \dot{\Lambda} &= (A_2(y) - \Gamma S_x^{-1} C_2^T C_2) \Lambda + \Phi \\ \dot{\hat{y}}_2 &= C_2 Z_2 \end{cases} \quad (15)$$

avec $Z_1 = [\hat{i}_q \ \hat{R}_s]^T$ et $Z_2 = [\hat{i}_d \ \hat{\Omega}]^T$ sont les états estimés de X_1 et X_2 . $S_1^{-1}C_1^T$ est le gain de l'observateur (14) et $\varpi \Lambda S_\theta^{-1} \Lambda^T C_2^T + \Gamma S_x^{-1} C_2^T$ et KC_1^T sont les gains de l'observateur (15).

Plan

- 1 Introduction
 - MSAP
 - Pourquoi du “sans” capteur ??
 - Commande sans capteur
- 2 Commande par Backstepping pour la machine synchrone
 - Backstepping ??
 - Modèle du moteur dans un repère dq tournant
 - Calcul de la commande
- 3 Observateur adaptatif interconnecté
 - Modèle interconnecté de la machine
 - Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)
 - Analyse de stabilité
- 4 Résultats de simulation
 - Cas nominal
 - Variations de $\pm 50\%$ la résistance statorique
 - Variations de $\pm 20\%$ sur les inductances
- 5 Conclusion et perspectives

Dans le but d'assurer la stabilité du système global (Observateur+Commande) nous considérons la fonction candidate de Lyapunov suivante :

$$\begin{aligned} V_{oc} &= V_o + V_c \\ &= \epsilon_1^T S_1 \epsilon_1 + \epsilon_2^T S_x \epsilon_3 + \epsilon_3^T S_\theta \epsilon_3 \\ &\quad + \frac{1}{2} z_\Omega^2 + \frac{1}{2} z_q^2 + \frac{1}{2} z_q'^2 + \frac{1}{2} z_d^2 + \frac{1}{2} z_d'^2 \end{aligned} \quad (16)$$

Sa dérivée temporelle est :

$$\begin{aligned} \dot{V}_{oc} &\leq -\delta V_o + \mu \varphi \sqrt{V_o} \\ &\quad - p \frac{\Phi_f}{J} z_\Omega C_1 \epsilon_1 + \left(\frac{f_v}{J} + k_\omega + k'_\omega \right) z_\Omega L_1 \epsilon_2 \\ &\quad + \frac{z_\Omega}{J} \epsilon_2 + k_q z_q^2 + k'_q z_q'^2 + k_d z_d^2 + k'_d z_d'^2. \end{aligned} \quad (17)$$

On choisit les constantes de la commande et de l'observateur de telle sorte que la dérivée soit définie négative $\rightarrow$ convergence asymptotique du système.

Plan

- 1 Introduction
 - MSAP
 - Pourquoi du “sans” capteur ? ?
 - Commande sans capteur
- 2 Commande par Backstepping pour la machine synchrone
 - Backstepping ? ?
 - Modèle du moteur dans un repère dq tournant
 - Calcul de la commande
- 3 Observateur adaptatif interconnecté
 - Modèle interconnecté de la machine
 - Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)
 - Analyse de stabilité
- 4 Résultats de simulation
 - Cas nominal
 - Variations de $\pm 50\%$ la résistance statorique
 - Variations de $\pm 20\%$ sur les inductances
- 5 Conclusion et perspectives

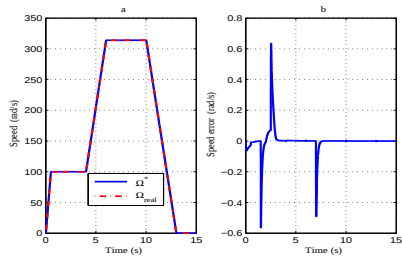


FIGURE : 1 a. Vitesse mesurée & Vitesse de référence b. Erreur de suivi

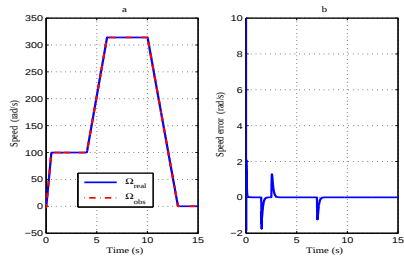


FIGURE : 2 a. Vitesse observée& Vitesse mesurée b. Erreur d'observation

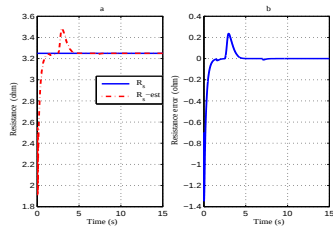


FIGURE : 3 a. Résistance estimée& Résistance b. Erreur d'estimation

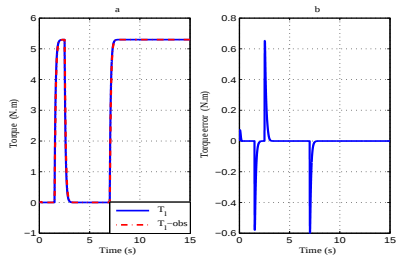


FIGURE : 4 Cas nominal. a. Couple de charge observé & Couple de charge b. Erreur d'observation

Plan

- 1 Introduction
 - MSAP
 - Pourquoi du “sans” capteur ??
 - Commande sans capteur
- 2 Commande par Backstepping pour la machine synchrone
 - Backstepping ??
 - Modèle du moteur dans un repère dq tournant
 - Calcul de la commande
- 3 Observateur adaptatif interconnecté
 - Modèle interconnecté de la machine
 - Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)
 - Analyse de stabilité
- 4 Résultats de simulation
 - Cas nominal
 - **Variations de $\pm 50\%$ la résistance statorique**
 - Variations de $\pm 20\%$ sur les inductances
- 5 Conclusion et perspectives

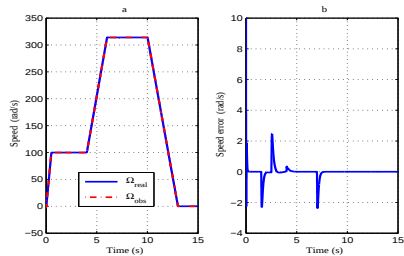


FIGURE : 5 a. Vitesse observée & Vitesse mesurée b. Erreur d'observation

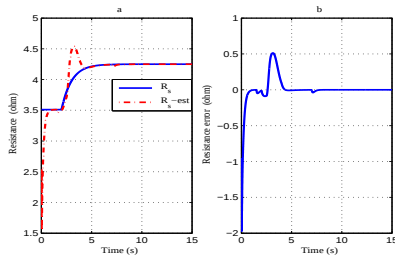


FIGURE : 6 a. Résistance estimée& Résistance b. Erreur d'estimation

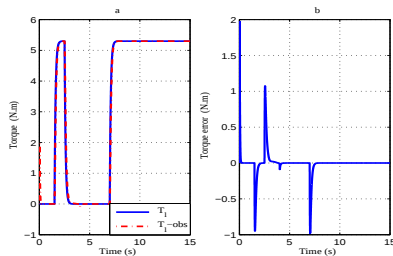


FIGURE : 7 a. Couple de charge observé& Couple de charge b. Erreur d'observation

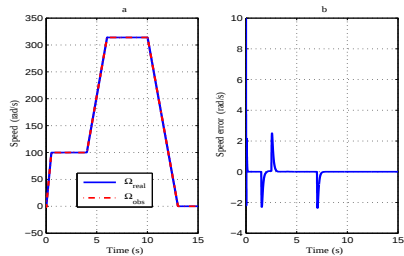


FIGURE : 8 a. Vitesse observée & Vitesse mesurée b. Erreur d'observation

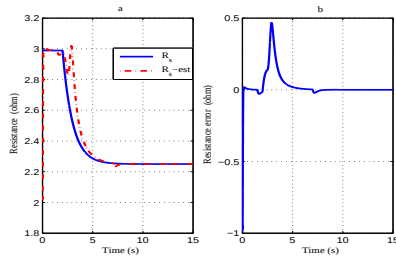


FIGURE : 9 a. Résistance estimée& Résistance b. Erreur d'estimation

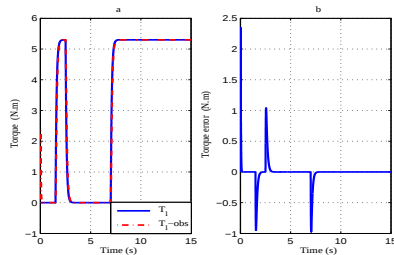


FIGURE : 10 a. Couple de charge observé& Couple de charge b. Erreur d'observation

Plan

- 1 Introduction
 - MSAP
 - Pourquoi du “sans” capteur ??
 - Commande sans capteur
- 2 Commande par Backstepping pour la machine synchrone
 - Backstepping ??
 - Modèle du moteur dans un repère dq tournant
 - Calcul de la commande
- 3 Observateur adaptatif interconnecté
 - Modèle interconnecté de la machine
 - Modèle de l'observateur (Besançon, 1998)
 - Analyse de stabilité
- 4 Résultats de simulation
 - Cas nominal
 - Variations de $\pm 50\%$ la résistance statorique
 - Variations de $\pm 20\%$ sur les inductances
- 5 Conclusion et perspectives

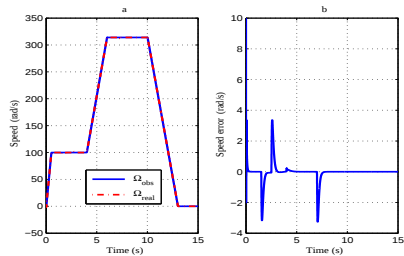


FIGURE : 11 a. Vitesse observée & Vitesse mesurée b. Erreur d'observation

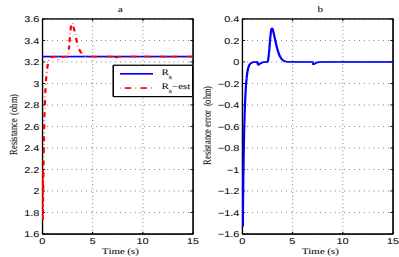


FIGURE : 12 a. Résistance estimée& Résistance b. Erreur d'estimation

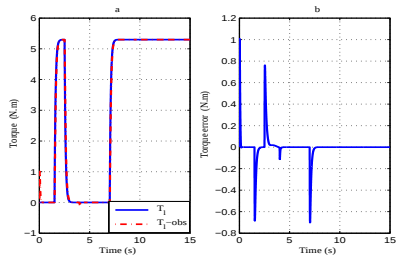


FIGURE : 13 a. Couple de charge observé & Couple de charge b. Erreur d'observation

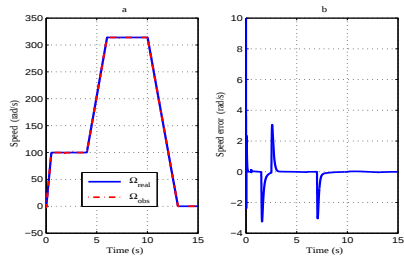


FIGURE : 14 a. Vitesse observée & Vitesse mesurée b. Erreur d'observation

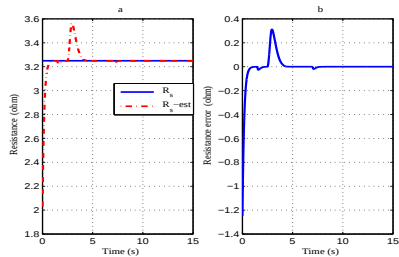


FIGURE : 15 a. Résistance estimée& Résistance b. Erreur d'estimation

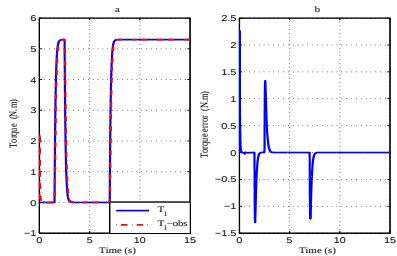


FIGURE : 16 a. Couple de charge observé & Couple de charge b. Erreur d'observation

Conclusions

- Une commande non linéaire par Backstepping pour la machine synchrone a été présentée,
- Un observateur adaptatif pour la commande sans capteur est proposé .
- Preuve de Stabilité globale de l ensemble (Commande + Observateur) .
- Des simulations avec des tests de robustesse montrent la qualité de la commande associée à l'observateur .

Perspectives

- $\Rightarrow$ La validation expérimentale du travail présenté

It's That