

Commande adaptative de la machine synchrone à aimant permanent

Abdennour DISSA, Wail RZKI, Pr Farid NACRI
 Department de Génie Electrique
 Université de Batna, Algeria
dissa1abdennour@gmail.com r-wail@hotmail.fr

Résumé— Actuellement la commande adaptative est d'une grande importance dans le domaine de contrôle. Cette commande est dominante dans les systèmes qui présentent des incertitudes, des perturbations structurales et des variations de l'environnement [1]. Le principale objet de la commande adaptative est la synthèse de la loi d'adaptation, pour l'ajustement automatique en temps réel des régulateurs des boucles de commande, afin de réaliser ou de maintenir un certain niveau de performance quand les paramètres du procédé à commander sont difficiles à déterminer ou variant avec le temps. L'intérêt de la commande adaptative apparait essentiellement au niveau des perturbations paramétriques, c'est-à-dire agissant sur les caractéristiques du processus à commander, les perturbations agissant sur les variables à réguler ou à commander.

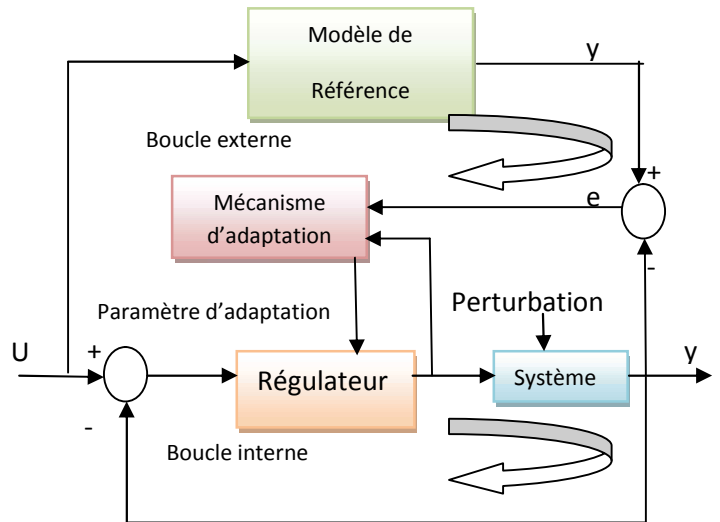


Fig.1 schéma de commande adaptative à modèle de référence

I. INTRODUCTION

Dans cet article nous allons établir une commande adaptative à modèle de référence basé sur un contrôle vectoriel appliqué à une machine synchrone à aimants permanents, cette étude est menée en exploitant la théorie de l'hyperstabilité. La commande adaptative est conçue pour la boucle de la vitesse.

II. COMMANDE ADAPTATIVE A MODEL DE REFERANCE.

Plusieurs recherches ont été développées pour aboutir à diverses structures de systèmes adaptatifs à modèle de référence. Ces dernières sont utilisées dans de larges domaines pour résoudre une variété importante de problèmes rencontrés en commande, identification et estimation d'état. De tels système sont composés par deux boucles fermées ; une boucle interne principale et l'autre externe[7].

La boucle interne comprend le système à commander et le régulateur dont les que la différence entre la sortie du modèle de référence et celle du processus soit minimale.

III. PRINCIPE D'ADAPTATION DES PARAMETRES :

Pour concevoir une commande adaptative à modèle de référence, il faut remplir certaines hypothèses en considérant deux cas : idéal et général.

Dans le cas idéal, les hypothèses suivantes sont émises, à savoir :[9]

- ✓ Le modèle de référence doit être un modèle de système linéaire invariante dans le temps ;
- ✓ Le modèle de référence et le système à commander doivent être de même ordre ;

En cas d'adaptation paramétrique, tous les paramètres de système à commander doivent être accessibles pour l'adaptation ;

- ✓ Durant le processus d'adaptation, les paramètres du système ajustable dépendent seulement du mécanisme d'adaptation (condition de non stationnaire) ;
- ✓ Aucun signal autre que celui du vecteur d'entrée, n'agit sur le système ;
- ✓ La différence initial entre les paramètres du modèle et ceux du système est connue ;
- ✓ Le vecteur d'état d'entrée et de sortie est mesurable.

Le concept d'hyper stabilité traite les propriétés de stabilité des processus commandés par retour d'état. Ces processus sont représentés par deux blocs comme le montre la figure (2) ci-dessous :

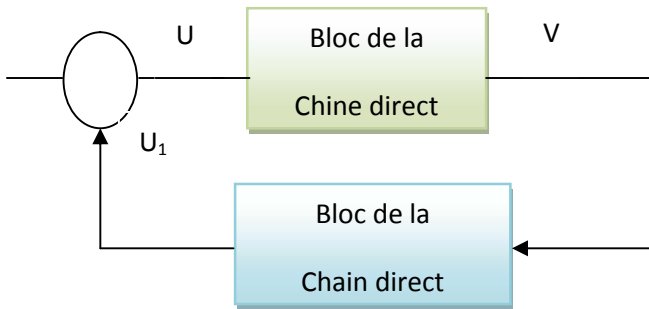


Fig.2 Schéma d'une commande basée sur la théorie de l'hyperstabilité

Le bloc de la chaîne direct (feedforward block) est donné par les équations suivant

$$\dot{X} = A(t).x + B(t).U \quad (7)$$

$$Y = c(t).x + D(T).U \quad (8)$$

Si le bloc feedback satisfait l'inégalité (2), alors les propriétés de la stabilité de (X) dépend entièrement de la fonction de transfert du bloc feedforward G(p) :

$$G(p) = D(p) + C(p) [pI - A(p)]^{-1} B(p) \quad (9)$$

D'après le théorème d'hyperstabilité, on tire [6]:

- Le point d'équilibre (X = 0) est asymptotiquement hyperstable (ou globalement asymptotiquement stable) si la fonction de transfert G(p) est réelle strictement positive.

- Le point d'équilibre (X = 0) est hyperstable (ou globalement stable) si la fonction du transfert G(p) est réelle positive.

Donc, pour appliquer cette approche à un système MARC, on précède aux étapes suivantes :

1^{ère} étape : Transformer le système MARC à son système équivalent composé de deux blocs

2^{ème} étape : Trouver la première partie de la loi d'adaptation qui apparaît dans la chaîne de retour (feedback block) qui doit satisfaire l'inégalité de Popov.

3^{ème} étape : Trouver la partie restante de la loi d'adaptation qui apparaît dans la chaîne directe (feedforward block) dont la fonction de transfert est réelle positive (ou réelle strictement positive), ceci assure la stabilité globale (ou stabilité asymptotiquement globale) du système.

IV. APPLICATION DE LA COMMANDE ADAPTATIVE:

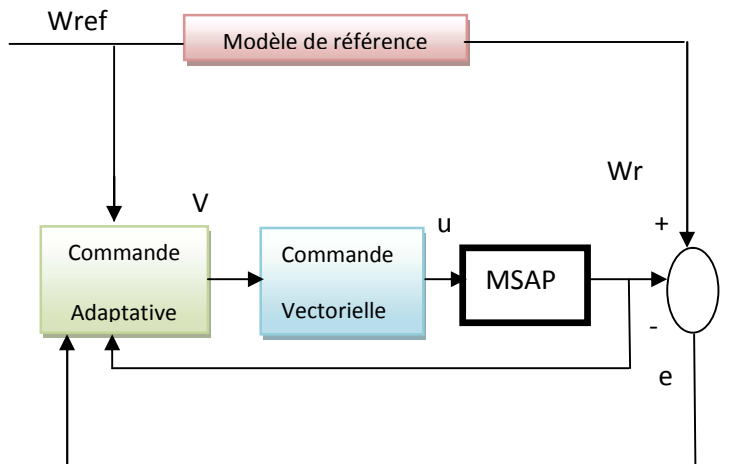


Fig.3 Schéma de la commande adaptative à modèle de Référence

Le système est décrit par l'équation suivant :

Le modèle de référence pour le système linéaire du premier ordre est donné par la figure

$$\frac{1}{K} \cdot \frac{dw_m}{dt} + w_m = w_{ref} \quad (10)$$

$$e = (W_m - W_r) \quad (11)$$

Alors on peut formuler une commande adaptative de la MSAP basée sur un contrôle vectoriel commandé par les variables (I_{dref}, I_{qref}). La loi de commande Ce et W_{ref} sont considérées comme référence de commande.

$$I_{dref} = 0 \quad (12)$$

$$I_{qref} = \frac{c_e}{p\phi_f} \quad (13)$$

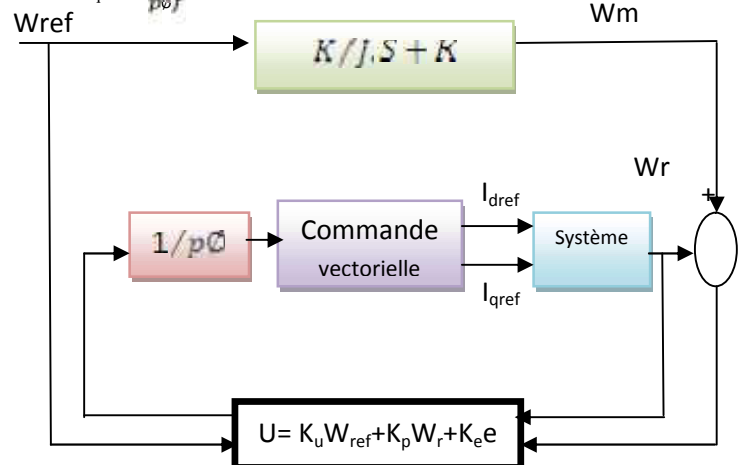


Fig.4 Commande adaptative à modèle de référence simplifié

La loi de commande U est donnée par

$$C_e = K_u w_{ref} + K_p w_r + K_e e \quad (14)$$

Avec les valeurs de K_u et K_p sont :

$$K_p = \int_0^t \alpha \cdot y \cdot w_r^T dt + \beta \cdot y \cdot W_r^T \Rightarrow Kps = \alpha \cdot y \cdot wr^T s + \beta \cdot y \cdot Wr^T \quad (15)$$

$$K_u = \int_0^t \alpha \cdot y \cdot w_{ref}^T dt + \beta \cdot y \cdot W_{ref}^T \Rightarrow Kus = \alpha \cdot y \cdot wref^T s + \beta \cdot y \cdot Wref^T \quad (16)$$

A noter que les gains utilisés dans le cas de la commande vectorielle sont constantes et dépendent uniquement des paramètres de la machine étudiée. Par contre en commande adaptative, ces gains ne seront plus fonction de la paramètres de la machine, mais auront une forme générale qui pouvant être utilisée pour toutes les machines dont les paramètres α et β sont des constantes.

L'expression de y est donnée par :

$$Y = C_{11}(W_m - W_r) \quad (17)$$

C_{11} : est une constante positive.

Pour notre machine, on utilise les gains K_u et K_p dont les paramètres α et β

Sont comme suit :

$$\alpha = 25$$

$$\beta = 0.005$$

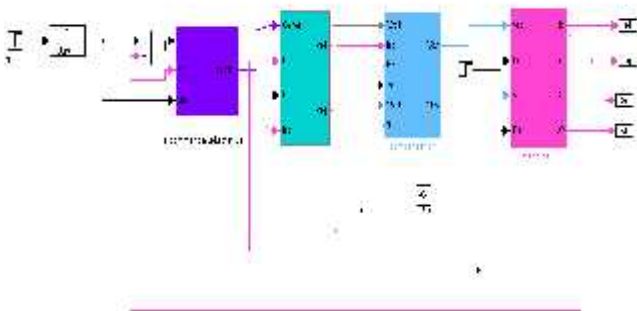


Fig.5 Schéma bloc représentant le système global de la commande

IV. Résultats de simulation :

Les figures (6) (6.a) montre les résultats de simulation de la vitesse, l'erreur entre le modèle et le système ainsi que le couple et les courants, on a présenté la réponse du système et celle du modèle pour une variation de référence de 0 à 100 rad/s. En premier lieu, on remarque un temps de réponse de la vitesse très court de l'ordre de 0.01s. Malgré ceci la vitesse au démarrage ne suit pas exactement la vitesse du modèle par la suite, on remarque un suivi parfait du modèle ce qui est vérifié par l'erreur entre la réponse du système et celle du modèle. L'application de la perturbation n'influe pas sur le système, on a alors un suivi parfait. Le courant I_d est égal à zéro ce qui prouve que le découplage est maintenu.

Dans les figures (7) et (7.a) on a effectué des tests de robustesse en augmentant la vitesse à $t = 0.5s$. et en inversant celle-ci dans la figure (8), on constate que la variation n'influe pas sur le système, on a alors un suivi parfait.

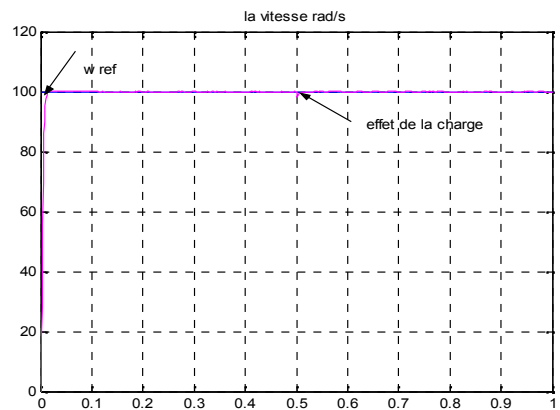


Fig.6 résultats de simulation de la vitesse

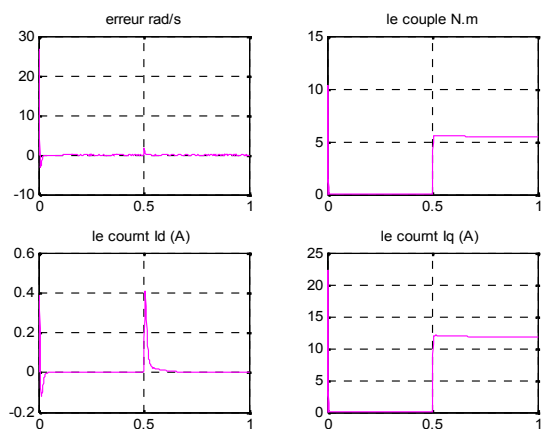


Fig.6.a présentation de l'erreur de la vitesse, couple et courant (I_d , I_q)

V. CONCLUSION :

On a présenté dans ce chapitre l'étude et l'application d'une structure adaptative à modèle de référence basée sur le même choix du courant $I_d = 0$. La contribution proposée est l'introduction des gains adaptatifs variables pour le calcul de la loi de commande, ce qui permettra d'augmenter les performances du système. On a remarqué à travers les résultats de simulation que la réponse du système et celle du modèle sont en bonne concordance

VI. BIBLIOGRAPHIE

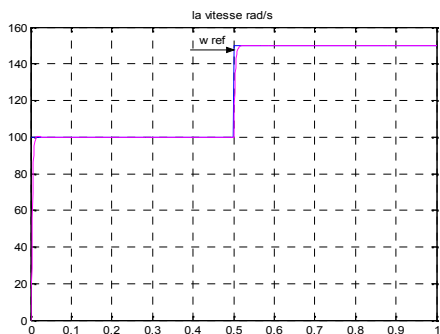


Fig. 7 Résultats de simulation lors de tests de robustesse en augmentant la vitesse à $t = 0.5$

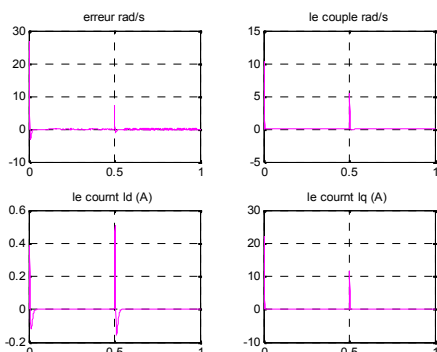


Fig.7.a présentation de l'erreur de la vitesse, couple et courant (I_d, I_q)

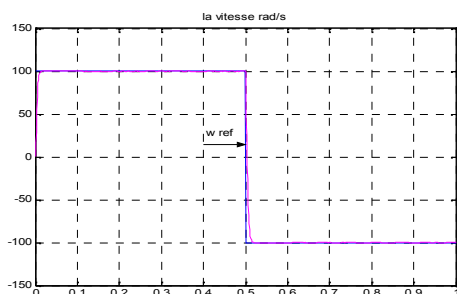


Fig.8 Résultats de simulation lors de l'inversion de la vitesse

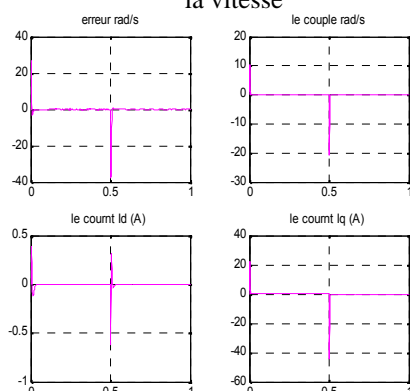


Fig.8.a présentation de l'erreur de la vitesse, couple et courant (I_d, I_q)

[1] Akkari Nadia, « Commande Adaptative de la Machine Asynchrone a Double Alimentation par des sources de tension », Mémoire de Magister en Electricité Industrielle, Université de Batna 2005

[2] Ramdane Amel, « Commande par EMCS d'une Machine à Induction Alimentée par un convertisseur de Fréquence », Mémoire de Magister en Electrotechnique, Université de Batna 2004

[3] Mimoun Zelmat « Automatisation des processus industriels » Tome 2 Commande modale et adaptative.OFF : Des Publications universitaires 03 – 2001

[4] Rogelio. Iozaro, Damia, Taoutaou Identification et Commande Adaptative Hermes Science Europe Ltd 2001

[5] Benmokrane Tayeb, « Commande adaptative à modèle de référence a induction alimentée par un convertisseur de fréquence », Mémoire de Magister en Electronique Industrielle, Université de Batna 2002.

[6] Seghairi Nassima et Djebbeb Soumia, « Commande d'une MSAP par régulation adaptative flou à modèle de référence », Mémoire d'Ingéniorat en Electrotechnique, Université de Batna [2000].

[7] H.Benchoubane, « Investigation into a minimal controller synthesis algorithm », Ph.D.Thesis, University of Bristol, UK, 1991.

[8] P.V.Osburn, H.P.Whitaker et A.Kezer, «New developments in the design of adaptive control systems», Institute of aeronautical sciences, paper 61-39, 1961.

[9] P.C.Parks, «Lyapunov redesign of model reference adaptive control», IEEE trans, on A.C, vol.11, pp 362-367