

Commande Multi-modèle du moteur à courant Continu

Bensafia Yassine, Ladaci Samir, Khetab Khathir
Bensafiay@yahoo.fr
 Université de Skikda

Résumé— Le diagnostic de défaillances des systèmes industriels, s'il est réalisé avec efficacité ou s'il permet de détecter de façon précoce une dégradation, représente un des moyens pour contribuer à gagner des points de productivité. La nécessité de sécurité et de fiabilité est en core plus cruciale lorsqu'il s'agit de systèmes pour lesquels une fausse manoeuvre peut coûter très cher, notamment des vies humaines. Un système de diagnostic de défauts comporte trois fonctions : détection, la localisation et l'identification. L'objectif de cet article est l'utilisation de l'approche multimodèle pour la détection et le diagnostic de défauts du moteur à courant continu afin d'assurer un fonctionnement acceptable malgré la présence de défauts et ce pour une certaine durée. Huit modèles correspondant au moteur sain et sept défauts ont été considérés. Ainsi, une banque de huit contrôleurs a été conçue en utilisant une commande optimale. Pour détecter et identifier un défaut, la réponse du moteur est comparée à celle de chacun des modèles prédéfinis. Ce qui permet au superviseur de sélectionner à chaque instant le contrôleur adéquat correspondant à l'indice de performance minimal. Les résultats obtenus ont montré que cette approche permet de détecter et d'accommoder tous les défauts étudiés.

Mots clés—Commande, Diagnostic, Défauts, supervision, Machine à courant continu.

I- INTRODUCTION

COMPTE tenu de la fréquence d'utilisation des moteurs à courant continu dans l'industrie, la détection précoce des défauts dans ces machines est devenu un enjeu économique important [4].

Traditionnellement, la sûreté du fonctionnement d'un système dynamique est assurée en utilisant la redondance matérielle. Cette dernière très pénalisante en termes de poids, de puissance consommée, du volume et des coûts de maintenance. Pour remédier à ces problèmes, actuellement, les approches de redondance analytiques sont utilisées. Deux familles de techniques sont actuellement utilisées : sans ou avec modèle. Notre travail traite l'une des méthodes de redondance analytique avec modèle qui est l'approche multimodèle [3],[6].

Huit modèles correspondant au moteur sain et sept défauts ont été considérés. Ces derniers sont obtenus en identifiant les paramètres du moteur en provoquant ces défauts artificiellement. Ainsi, une banque de huit

contrôleurs a été conçue en utilisant une technique de commande optimale [8]. Pour détecter et identifier un défaut, la réponse du moteur est comparée à celle de chacun des modèles prédéfinis. Ce qui permet au superviseur de sélectionner à chaque instant le contrôleur adéquat correspondant à l'indice de performance minimal [1],[3]. Les résultats obtenus ont montré que cette approche permet de détecter et d'accommoder tous les défauts étudiés.

II. MODELE D'ETAT DU MOTEUR A COURANT CONTINU

Le modèle d'état de la vitesse de moteur est donné par:

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b_0 \end{bmatrix}$$

Le modèle d'état du couple de moteur est donné par:

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_0 - a_1 b_1 \end{bmatrix}$$

Avec:

$$a_0 = \frac{Ra.fr + K_T \cdot K_e}{L.J_1}, \quad a_1 = \frac{Ra.J_1 + L.fr}{L.J_1},$$

$$b_0 = \frac{K_T}{L.J_1}, \quad b_1 = \frac{K_T}{L}$$

III. DIFFERENTS MODELES DU MOTEUR A COURANT CONTINU

A. Le Modèle Sain

Le tableau suivant montre les paramètres nominaux du moteur à courant continu à aimant permanent utilisé [1].

Tableau 1
LES PARAMETRES NOMINAUX DU MOTEUR A COURANT CONTINU A AIMANT PERMANENT

Puissance nominale P	120W	Coefficient de F.E.M (K _e)	3,57 x 10 ⁻² V/(Tr/min)
Tension nominale U	24V	Moment d'inertie J	1,42 x 10 ⁻⁵ MMS
Résistance R _a	1,21Ω	Coefficient de frottement fr	2,45 x 10 ⁻³ NMS/(Tr/min)
Inductance L	5,24 x 10 ⁻³	Vitesse nominale H	2668 Tr/min

Pour avoir les équations d'état du modèle sain du moteur à courant continu à aimant permanent il suffit de remplacer les paramètres précédents dans les équations de la vitesse et du couple.

B. Les Différents Modèles de Défauts

Le tableau 2 montre les différents défauts :

Tableau 2
LES DIFFERENTS DEFAUTS

N° du Défaut	Défaut
0	aucune injection
1	Augmentation de la résistance Ra de 0.5 Ω
2	Augmentation de la résistance Ra de 1,4Ω
3	Usure de balais
4	coupure de la bobine de rotor
5	Court circuit entre deux lames adjacentes.
6	Déconnexion de la bobine de la lame du collecteur.

Dans le but d'obtenir les différents modèles de défauts, les auteurs dans [2] ont injecté les différents défauts au moteur à courant continu à aimant permanent en estimant ses paramètres à chaque fois.

Les paramètres estimés du moteur avec la présence de différents défauts précédents sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 3
LES PARAMETRES DES DIFFERENTS MODELES DE DEFAUTS

N° du Défaut	R _a (Ω)	L x 10 ⁻³ (H)	K _e x 10 ⁻³	J x 10 ⁻⁵	fr x 10 ⁻⁵
0	1,203	5,584	8,574	1,416	2,450
1	1,703	5,5837	8,399	1,3949	2,489
2	2,03	6,4942	8,490	1,519	2,020
3	1,769	6,0798	9,124	1,567	2,468
4	1,794	5,7591	8,639	1,568	2,453
5	1,174	4,405	7,340	1,221	4,014
6	1,436	8,755	8,065	1,485	4,323

IV. CONCEPTION DES CONTROLEURS

Nous pouvons approcher la conception d'un contrôleur de deux manières [6] :

- Assigner un contrôleur pour un groupe de modèles, c'est à dire, un contrôleur pouvant commander un faisceau de modèles, qui est semblable à la conception robuste.
- Assigner un contrôleur pour chaque modèle.

Dans notre travail, nous avons assigné pour chacun des modèles un contrôleur adéquat en utilisant la commande optimale dont le principe est illustré par la procédure de la programmation dynamique de Bellman. Voir (1) au bas de page.

$$U^*(N-j) = K(N-j).X(N-j), K(N-j) = -[R + B^T.p(j-1).B]^{-1}.B^T.p(j-1).A \quad \text{Tel que } j=1, \dots, N$$

$$p(j) = [A + B.K(N-j)]^T.p(j-1).[A + B.K(N-j)] + K^T(N-j).R.K(N-j) + Q \quad (1)$$

$$J^*(N-j) = -\frac{1}{2} X^T(N-j).P(j).X(N-j) \quad \text{Avec } p(0)=H$$

V. ARCHITECTURE DU SYSTEME MULTIMODELE

L'architecture de la commande multimodèle d'un moteur à courant continu est illustrée par la figure 1 [3] :

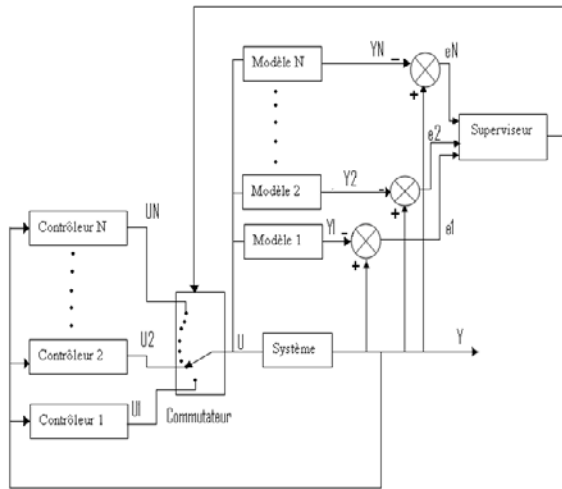


Fig. 1. Architecture de la commande multimodèle

V. APPLICATION DE L'APPROCHE MULTIMODELE SUR LE MOTEUR A COURANT CONTINU

Nous avons associé au processus huit modèles en parallèle ; un modèle sain et sept modèles de défauts. Nous avons conçu pour chaque modèle son contrôleur adéquat. L'objectif de notre étude est de ramener le système réel à son mode de fonctionnement de référence, c'est à dire : Vitesse (281.37 rad/s), couple (0.066 N.m) et cela quelle que soit l'influence de l'un des défauts sur le système.

Après la détection d'un défaut, le service de maintenance doit prendre en charge l'équipement (réparation ou changement). Ainsi, normalement, nous ne devons nous intéresser qu'à la transition de fonctionnement du modèle sain vers un défaut. Le cas multi-défauts n'a pas été considéré. Cependant, pour tester l'efficacité du superviseur, on se permet de réaliser les commutations entre les différents modèles. Mais ceci ne correspond pas au fonctionnement réel du moteur. L'apparition d'un nouveau défaut n'implique jamais la disparition de l'ancien. Les commutations entre les différents modèles ne servent que pour le test de l'étage de supervision durant l'étude de simulation [9].

A. COMMANDE DE LA VITESSE

Nous avons utilisé l'indice de performance pour la commutation donnée par [5]:

$$J_i(k) = \alpha \cdot e_i^2(k) + \beta \cdot \sum_{j=1}^{N1} e_i^2(k-j) \cdot \exp(-j\lambda)$$

Les valeurs adéquates des paramètres sont les suivantes : $N1=1000$, $\alpha = 0.45$; $\lambda=10.5$; $\beta=0.06$.

Tel que : $N1$ est le nombre d'échantillon.

La figure 2 représente la commutation entre les différents contrôleurs.

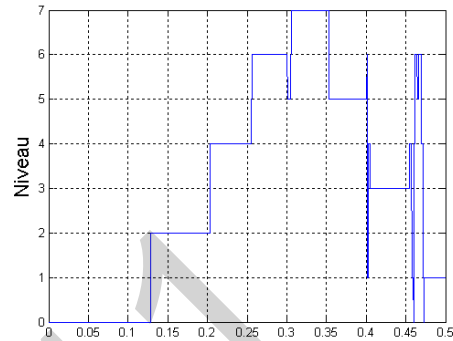


Fig.2. Commutation entre les différents contrôleurs

D'après la figure 2, on remarque l'instabilité de commutations entre les contrôleurs (C2 et C3), (C4 et C5) et surtout entre (C5 et C6). Tel que chaque niveau i ($i=0, \dots, 6$) correspond au contrôleur C_i .

Pour éviter ces commutations rapides qui sont néfastes sur le système, nous avons appliqué l'algorithme d'hystérésis [7].

La figure 4 représente la commutation entre les modèles avec le paramètre d'hystérésis $\delta=0.1$

Nous remarquons la stabilité de commutation entre les différents contrôleurs.

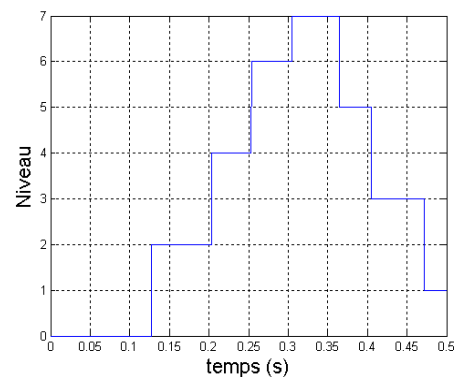


Fig.3. Commutation entre les différents contrôleurs après l'application de l'algorithme d'hystérésis

La figure 4 représente la vitesse du moteur obtenue après l'application de l'approche multimodèle :

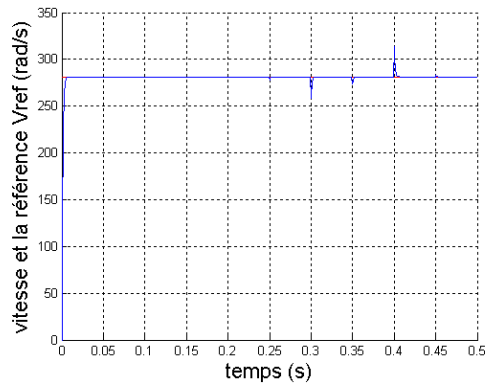


Fig.4. Allure de la vitesse du moteur à courant continu avec la commande multimodèle

A chaque fois que le système est soumis à un défaut, le superviseur agit sur l'un des contrôleurs (varier le signal de commande) pour faire ramener le système à la référence désiré.

B. COMMANDE DU COUPLE

Nous avons utilisés le même indice de performance $J_i(k)$ avec le choix suivant pour les paramètres : $N1=1000$, $\alpha = 0.7$ $\lambda=5$; $\beta=0.04$.

La figure 5 représente la commutation entre les différents contrôleurs :

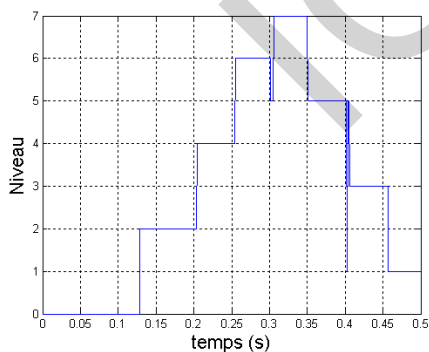


Fig. 5. Commutation entre les différents contrôleurs

D'après la figure 5, on remarque l'instabilité de commutations entre les contrôleurs (C2 et C3) tel que

superviseur commute vers le contrôleur C4 et entre (C4 et C5) tel que le système commute vers le contrôleur C6.

Pour éviter ces commutations rapides qui seront néfastes sur le système, on va appliquer l'algorithme d'hystérésis.

La figure 6 représente la commutation entre les modèles avec $\delta=0.001$:

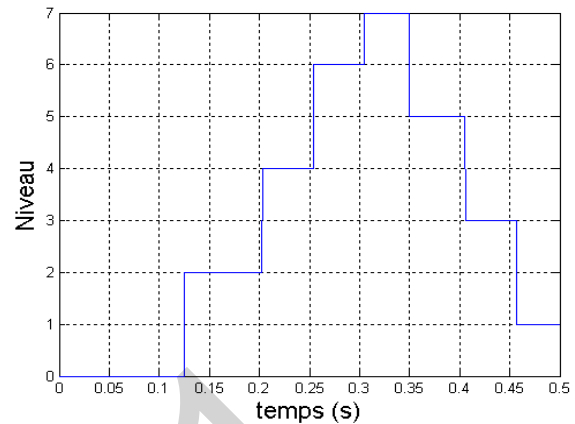


Fig.6. Commutation entre les différents contrôleurs après l'application de l'algorithme d'hystérésis

La figure 7 représente le couple du moteur obtenu après l'application de l'approche multimodèle :

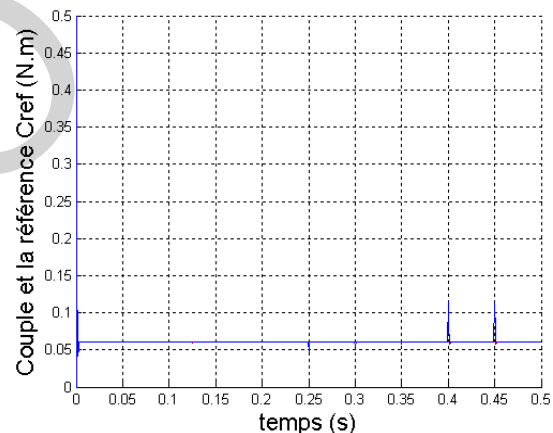


Fig. 7. Allure de couple du moteur à courant continu après la commande

On remarque une bonne compensation de tout les défauts et le système arrive rapidement ($Tr=0.003$) à reprendre son fonctionnement désiré (couple : 0.06 N.m).

Au moment de la présence de défaut, il y a une légère perturbation. Cette dernière a pu être surmontée par le système au fil du temps grâce à l'intervention de l'un des contrôleurs sélectionné par le superviseur.

VI. CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans cet article expose une contribution à la détection et le diagnostic des défauts d'un moteur à courant continu en utilisant l'approche

multimodèle. Le principe consiste à générer des résidus permettant de détecter les défauts et les diagnostiquer.

Pour élaborer notre étude, nous avons commencé par la modélisation du moteur à courant continu avec ses différents défauts et nous avons appliqué l'approche multimodèle pour la supervision du système complet.

Notre objectif a été de trouver une commande qui conduit le système à un objectif désiré (vitesse et couple de référence) malgré l'existence d'un défaut. Les résultats de simulation ont confirmé les avantages de la commande multimodèle tel que le bon suivi de la consigne et le maintien de la stabilité malgré l'occurrence du défaut. De même, ces résultats ont prouvé l'apport de l'approche multimodèle pour détecter et diagnostiquer les défauts.

RÉFÉRENCES

- [1] M.Oudghiri, " Commande Multi-modèle tolérante aux défaut : Application au contrôle de la dynamique d'un véhicule automobile" Thèse de doctorat , Université de Picardie Jules Verne ,Ecole doctorale en science et santé, Octobre 2008.
- [2] X.Q. Liu and H.Y. Zhang, "Fault detection and Diagnosis of permanent-Magnet DC Motor based on parameter estimation and neural network," IEEE Transaction on industrial electronics, Vol.47, No.5, pp.1021-1030, Octobre 2000.
- [2] M.R. ZEMOURI, "Contribution à la surveillance des systèmes de production à l'aide des réseaux de neurones dynamiques : Application à la e-maintenance," Thèse de doctorat, L'UFR des Sciences et Techniques de l'Université de France-Comté, Novembre 2003.
- [3] K. S. Narendra and J. Balakrishnan , "Improving Transient Response of adaptive Control Systems using Multiple Models and Switching," IEEE Transaction on automatic Control, Vol.39, N0.9, pp.1861-1865, September 1994.
- [4] M. BASSEVILLE, "On Fault Detectability and Isolability," Publication Interne No 1240, université Rennes, Avril 1999.
- [5] H. Lehouche, "Reconfigurable control based on learning approach,"Mémoire de magister, Université de béjaia, 2003.
- [6] A. AKHENAK, "Conception d'observateurs non linéaires par approche multimodèle : application au diagnostic," Thèse doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, décembre 2004.
- [7] A. S. Morse, G. C. Goodwin, "Application of Hysteresis Switching in Parameter adaptive Control," IEEE Transaction on Automatic Control, AC-37(9): pp.1343-1354, September 1992.
- [8] N. Gopal, "Digital Control Engineering," Wiley and Sons Editions, 1988 .
- [9] Olivier ondel , " Diagnostic par Reconnaissance des Formes : Application a un Ensemble Convertisseur – Machine Asynchrone" , Ecole doctorale électronique, électrotechnique, automatique de lyon, Octobre 2006.