

Conclusion générale

Actuellement, l'utilisation des techniques présentées dans ce mémoire concerne de nombreuses applications relatives aux machines et à leur commande.

Les algorithmes génétiques sont utilisés pour l'identification des paramètres de modèles et pour le réglage et l'optimisation des régulateurs et des estimateurs.

La logique floue est utilisée en régulation de bien des manières. Le régulateur peut être classique et rendu adaptatif par un superviseur flou ou alors être entièrement flou.

Par contre, la logique floue n'est pas utilisée pour la modélisation de systèmes rencontrés dans ce domaine puisqu'on estime que les équations de la physique conduisent à un modèle de connaissance suffisamment représentatif de la réalité dans le domaine du génie électrique.

Les réseaux de neurones ont, quant à eux, deux principales utilisations, en "approximateur" universel et en "classificateur". La capacité d'apprentissage d'un réseau de neurones sur un ensemble de données lui permet d'adopter une réaction conforme face à des cas peu différents de ceux auxquels il a été habitué. La classification permet la distinction et la formation de groupes ayant des caractéristiques similaires, parfois cachées. Le diagnostic de défaut est l'application la plus rencontrée dans ce cas de figure.

Le perceptron a longtemps été le seul réseau de neurones à être utilisé à cause de sa simplicité. La puissance des calculateurs augmentant, on commence à rencontrer les RBF et des réseaux plus complexes qui ne sont pas à propagation directe.

L'estimation des paramètres et de l'état de la machine n'est pas en reste puisque les méthodes à base de logique floue et de réseaux de neurones se retrouvent de plus en plus souvent dans les algorithmes dits de "contrôle intelligent". Ainsi, on s'évertue à allier la puissance de calcul des DSP actuels à ces techniques dans le but d'augmenter la robustesse de la commande ou de réduire le nombre de capteurs utilisés. Le sujet qui a suscité le plus d'études dans ce domaine est sans doute celui de la commande sans capteur de vitesse.

Notre travail a consisté à étudier ces techniques et leur application dans le but de commander une machine asynchrone. Nous avons essayé de les présenter d'une manière suffisamment complète et synthétique pour permettre la compréhension de leur fonctionnement et l'approfondissement des études menées.

La mise au point d'un algorithme génétique et son utilisation dans un processus d'optimisation ont montré l'adéquation de cette méthode pour l'identification des paramètres de la machine. C'est une bonne alternative aux méthodes classiques basées sur des algorithmes de gradient. Elle permet, en effet, d'éviter le problème de dérivation et d'être moins sensible à la présence de minimums locaux. La méthode convient particulièrement quand il s'agit d'optimiser plusieurs paramètres en même temps.

En ce qui concerne la logique floue et les réseaux de neurones, compte tenu de l'immense champ d'applications, nous avons restreint notre étude à la régulation au sein d'une commande vectorielle de la machine. Nous nous sommes intéressés aux régulateurs de vitesse classiquement utilisés et à leur remplacement par différents types de régulateurs flous et neuronaux. Les résultats de l'étude montrent qu'il n'y a pas de supériorité notable en ce qui concerne les performances de ces nouveaux régulateurs, le système commandé étant correctement connu. Il est cependant difficile de comparer les différents régulateurs. Nous avons choisi pour ce faire de les ramener avec les mêmes gains en entrée et en sortie à un système normalisé de sorte que leurs surfaces de contrôle ne dépendent que des caractéristiques intrinsèques des régulateurs et non pas des facteurs d'échelle ou des gains.

Nous avons mis en évidence, à travers une analyse dans le plan de phase et à l'aide des surfaces de contrôle, que si le régulateur flou correspondant à un régulateur IP anti-saturation donne les mêmes performances lors des changements de consignes, il est toutefois plus lent

face à une perturbation de charge mécanique. Cette lacune est comblée par le régulateur neuronal de type perceptron. L'approximation de la surface du contrôleur flou par le réseau de neurones a permis de lisser les reliefs de la surface aux endroits concernés, c'est à dire là où l'incrément de commande est beaucoup plus faible que celui du contrôleur IP. Le choix d'un nombre réduit de neurones autorisant ce lissage conduit également à des temps de calcul raisonnables.

La lourde procédure d'apprentissage peut, dans un premier temps, être évitée par l'introduction de réseaux de neurones à fonction de base radiale. Grâce aux propriétés de placement et de sélectivité de leurs fonctions d'activation, ces réseaux permettent d'intégrer des informations "à priori" sur le système. Une optimisation plus fidèle de la surface de contrôle floue a rendu leur comportement plus proche de celui du contrôleur flou correspondant que de celui du régulateur neuronal à perceptron.

En définitive, il n'est pas question d'obtenir, à l'aide de ces régulateurs, des performances très supérieures à celles des contrôleurs classiques convenablement choisis et optimisés. Ce qui est intéressant, c'est la manière dont s'opère la conception, la mise au point et le réglage de ces nouveaux régulateurs.

Ces techniques conviennent alors particulièrement aux cas des systèmes complexes à modéliser. La logique floue offre un cadre formel pour une synthèse linguistique intégrant des considérations heuristiques. Les réseaux de neurones permettent, quant à eux, d'adopter l'approche "boîte noire" du système et de ne considérer que ses entrées et ses sorties.

Nous avons également abordé le problème des variations de paramètres de la machine et d'une mauvaise identification et de leur incidence sur le contrôle vectoriel de la machine asynchrone. Une étude paramétrique utilisant les différents régulateurs a permis d'étayer nos conclusions.

Nous avons étendu ce problème au cas où la machine présente des défauts de structure, plus spécialement des ruptures de barres rotoriques. Un modèle plus complet de la machine a permis de rendre compte des phénomènes que l'on retrouve expérimentalement lorsque ces défauts se produisent. Nous avons alors mis en évidence le comportement d'une telle machine fonctionnant avec un contrôle vectoriel. Lors de ruptures de barres, les différents régulateurs étudiés perçoivent ces défauts comme un couple résistant perturbateur. Ils le compensent en adoptant un couple électromagnétique antagoniste. Ceci introduit une nouvelle manière de diagnostiquer les défauts rotoriques.

Le dernier volet de cette étude concerne un sujet particulièrement intéressant ; la commande vectorielle sans capteur mécanique. De très nombreuses méthodes ont été et continuent d'être proposées.

Nous dressons tout d'abord un état de l'art et nous présentons les principales méthodes. Nous considérons que le problème crucial réside dans l'intégration des f.e.m. de la machine pour la reconstitution des flux. Nous proposons alors une solution simple à appliquer dès lors que l'on dispose d'un calculateur numérique pour implanter la commande. La compensation dynamique des offsets apparaissant sur ces signaux permet d'obtenir une commande fiable jusqu'à de très basses vitesses et, qui de plus, est stable.

Lors d'un des derniers congrès, nous avons pu constater, qu'actuellement, ce même problème de compensation d'offset fait également l'objet de recherches intensives dans d'autres laboratoires.

Le travail de recherche a conduit au développement d'un outil de simulation et d'analyse de fonctionnement de machines asynchrones en régime commandé. Des efforts particuliers ont

par ailleurs été développés afin de valider notre étude, à chaque étape, à l'aide d'essais expérimentaux. Cette approche expérimentale, permet de confronter les résultats de simulation avec la réalité et de garder en tête que les méthodes étudiées doivent avoir comme finalité une implantation expérimentale.

Les travaux effectués donnent lieu à plusieurs voies de recherche qu'il nous apparaît utile de creuser. Tout d'abord en ce qui concerne les algorithmes génétiques, il serait intéressant de comparer notre approche à celle où les mutations et les croisements sont fixés non pas par des tailles de sous-populations mais par des probabilités que ces phénomènes aient lieu.

Nous avons commencé à considérer la généralisation des régulateurs flous et neuronaux à tous les régulateurs du schéma de contrôle vectoriel, mais le temps de calcul requis (sur notre DSP actuel) pour les régulateurs de courant devient très important et ne permet plus l'acquisition de données sans perturber le fonctionnement du programme de commande qui s'exécute sur le DSP.

L'étude et la mise en place de superviseurs flous ou neuronaux pour l'optimisation et le contrôle du fonctionnement du schéma de commande de la machine est également un projet très important.

La modélisation et le fonctionnement en régime dégradé est un sujet de recherche qui se poursuit actuellement dans notre laboratoire. Il s'agit d'aller vers une simplification du modèle, tout en conservant les caractéristiques intrinsèques de la structure du rotor.

En ce qui concerne la commande sans capteur, nous disposons maintenant d'une commande vectorielle en couple performante et qui ne nécessite pas de capteur mécanique. L'utilisation d'enroulements supplémentaires de la machine a même permis d'éviter l'utilisation de la valeur de la résistance statorique pour l'estimation des flux. Cependant l'estimation de la vitesse reste à améliorer. Il convient dorénavant d'utiliser les signaux de flux obtenus par la méthode proposée et de les coupler aux méthodes d'estimation de la vitesse qui requièrent une connaissance précise des flux.

Suite aux problèmes soulevés, plus particulièrement, en annexe 3, il convient de concevoir des machines destinées à la commande. Elles doivent être spécialement adaptées afin de supporter des tensions pic-à-pic plus importantes et fonctionner pour une tension nominale adaptée à celle que peut fournir le pont continu de l'onduleur de tension utilisé. Un soin particulier doit également être accordé aux paramètres de la machine.

Au niveau de l'implantation de la commande, de récentes études concernent le développement de composants intégrant un très grand nombre de processeurs flous ou de réseaux neuronaux. Les commandes spécifiques de plus en plus rapides et pointues évoluent des dispositifs à base de DSP vers des structures moins coûteuses à base de FPGA et d'ASIC.

La commande rapprochée et le concept de "mécatronic" vont permettre la miniaturisation, la baisse des coûts de fabrication et donc la diffusion encore plus large des dispositifs commandés.

Annexes

1. Annexe 1 : Paramètres des machines étudiées

1.1. Machine 1

Plaque signalétique :

Constructeur : CEN

U : 220/380 V.

I_n : 21/12 A.

Ω_n = 1420 tr/mn.

P_n = 5,5 kW.

1.1.1. Première identification

Vecteur de paramètres 1 [KHE 95]

$R_s=2,25 \Omega$ $R_r=0,7 \Omega$ $L_s=0,1232 \text{ H}$ $L_r=0,1122 \text{ H}$ $M=0,1118 \text{ H}$ $\tau_s=0,0546 \text{ s}$ $\tau_r=0,160 \text{ s}$ $\sigma=0,09$	$J=0,038 \text{ kg m}^2$ (machine seule) $a_2=0,049 \text{ Nm s/rd}$ $J_f=0,0124 \text{ kg m}^2$
---	--

Tableau A.1

1.1.2. Deuxième identification

Les paramètres mécaniques sont issus d'une identification sur une courbe de ralentissement. Les paramètres électromagnétiques sont le résultat d'une optimisation par algorithme génétique sur un démarrage à vide.

Vecteur de paramètres 2

$R_s=2,2513 \Omega$ $\tau_s=0,06526 \text{ s}$ $\tau_r=0,1975 \text{ s}$ $\sigma=0,0423$	$J=0,059 \text{ kg m}^2$ (moteur + frein) $a_1=0 \text{ Nm s}^2/\text{rd}^2$ $a_2=0,01438 \text{ Nm s/rd}$ $a_3=0,5012 \text{ Nm}$
---	---

Tableau A.2

1.2. Machine 2

Plaque signalétique :

Constructeur ABB

U : 220/380 V.

I_n : 4,5/2,6 A.

Ω_n = 2850 tr/mn.

P_n = 1,1 kW.

Les paramètres du modèle dq sont issus d'une optimisation par algorithme génétique sur un démarrage à vide (Vitesse et courant statorique sur 0,7 s)

$R_s=7,828 \Omega$ $\tau_s=0,0833 \text{ s}$ $\tau_r=0,1415 \text{ s}$ $\sigma=0,0466$	$J=0,006093 \text{ kg m}^2$ $a_1=0 \text{ Nm s}^2/\text{rd}^2$ $a_2=0,000725 \text{ Nm s/rd}$ $a_3=0 \text{ Nm}$
---	---

Tableau A.3

Les paramètres du modèle à mailles sont issus de mesures :

$R_s=7,828 \Omega$ $J=0,006093 \text{ kg m}^2$ $a_1=0 \text{ Nm s}^2/\text{rd}^2$ $a_2=0,000725 \text{ Nm s/rd}$ $a_3=0 \text{ Nm}$	Rayon=0,03575 m Longueur=0,065 m Entrefer=0,00025 m Ns=160 Nr=16 $L_{sl}=0,018 \text{ H}$ $R_{b \text{ sain}}=150 \cdot 10^{-6} \Omega$ $R_{b \text{ cassée}}=0,03 \Omega$ $R_{e \text{ sain}}=72 \cdot 10^{-6} \Omega$ (totale) $L_b=10^{-7} \text{ H}$ $L_e=10^{-7} \text{ H}$ (totale)
---	---

Tableau A.4

D'où le modèle dq équivalent :

$\tau_s=0,0752 \text{ s}$
 $\tau_r=0,145 \text{ s}$
 $\sigma=0,0487$

2. Annexe 2 : Présentation du logiciel MASVECT

Nous avons développé tout au long de ce travail de recherche nos propres outils de simulation et de visualisation de données. Le logiciel principal, nommé MASVECT, est écrit en BC++ 4.5™. Totalement orienté objet, aussi bien en ce qui concerne les classes de ses composants : machines TMachine (modèle dq), TMachineSpe (modèle à maille), qu'en ce qui concerne l'environnement graphique pour lequel il est destiné (Windows 95™).

Ainsi, l'on retrouve comme classe fenêtre principale TSimulWindow dérivée de la classe TWindow de l'OWL de Borland (Object Windows Library).

Cette classe incorpore les classes machines et observateurs ainsi que pratiquement toutes les fonctions de gestion des événements (changement de références, couples de charge...), des différents mode de commande, la gestion des fichiers de sauvegarde des données de la machine, des résultats de simulation et des fichiers expérimentaux destiné à l'optimisation. Elle encapsule également toutes les boîtes de dialogues destinées au paramétrage du logiciel.

MASVECT est actuellement composé de plus de 9000 lignes de code source en C++ et 2200 lignes de ressources (.rc) réparties en plusieurs fichiers gérés par un projet (ide) unique.

Il n'est pas possible ici de décrire toutes les fonctionnalités du logiciel MASVECT, nous en présentons ci-dessous les principales :

- Choix du modèle de la machine (*dq* ou à maille), branchement de la machine (étoile ou triangle).
- Marche normale de la machine asynchrone, démarrage sur le réseau triphasé.
- Commande vectorielle : rotorique, statorique, directe ou indirecte...
- Utilisation ou non de l'onduleur à MLI, des termes de découplage...
- Commande en courant / régulation de vitesse.
- Choix de tous les types de régulateur présentés.
- Possibilité de simuler des essais statiques.
- Commande directe du couple (DTC).
- Programmation d'événements survenant pendant la simulation sur la vitesse de référence, le couple de charge, les ruptures de barres (choix des barres, des portions d'anneau et de la gravité des défauts).
- Optimisation de certains régulateurs de vitesse suivant des critères ISE par algorithme génétique (GA).
- Optimisation des paramètres de la machine sur la base de fichiers expérimentaux (optimisation simultanée pondérée de la vitesse et du courant statorique).
- Génération des surfaces de contrôle floues et neuronales.
- Appel du logiciel de tracé de courbes GRAPH pour l'affichage des grandeurs sélectionnées et qui sont d'ailleurs sauvegardé dans un fichier de résultats (.dat) également accessible aux logiciels de traitement commerciaux (Excel...).
- Sauvegarde des données relatives aux paramètres de la machine, de la simulation et des grandeurs à afficher dans un fichier au format propriétaire (.mas).
- Le logiciel GRAPH permet d'afficher les courbes issus de la simulation. Il est automatiquement appelé par MASVECT. Il est toutefois utilisable en tant que visualisateur universel puisqu'il accepte des fichiers de données standards et s'adapte dynamiquement au nombre de variables contenues et à la longueur des vecteurs. GRAPH est une interface à documents multiples (MDI). Il permet d'afficher une ou plusieurs variables sur une même fenêtre en fonction de la première colonne (le temps généralement). Il est également possible de choisir des colonnes particulières de manières à présenter les variations des grandeurs sur un diagramme polaire et même d'en faire l'animation en fonction du temps. Des changements dynamiques de l'échelle et une manipulation entièrement à la souris permettent d'agrandir et de déplacer la zone de visualisation sur un graphe, rendant l'analyse de la simulation aisée et intéressante.

Evidemment, ces fonctionnalités sont accessibles à l'aide du seul module sans besoin de recompiler ou de retoucher au code source du logiciel.

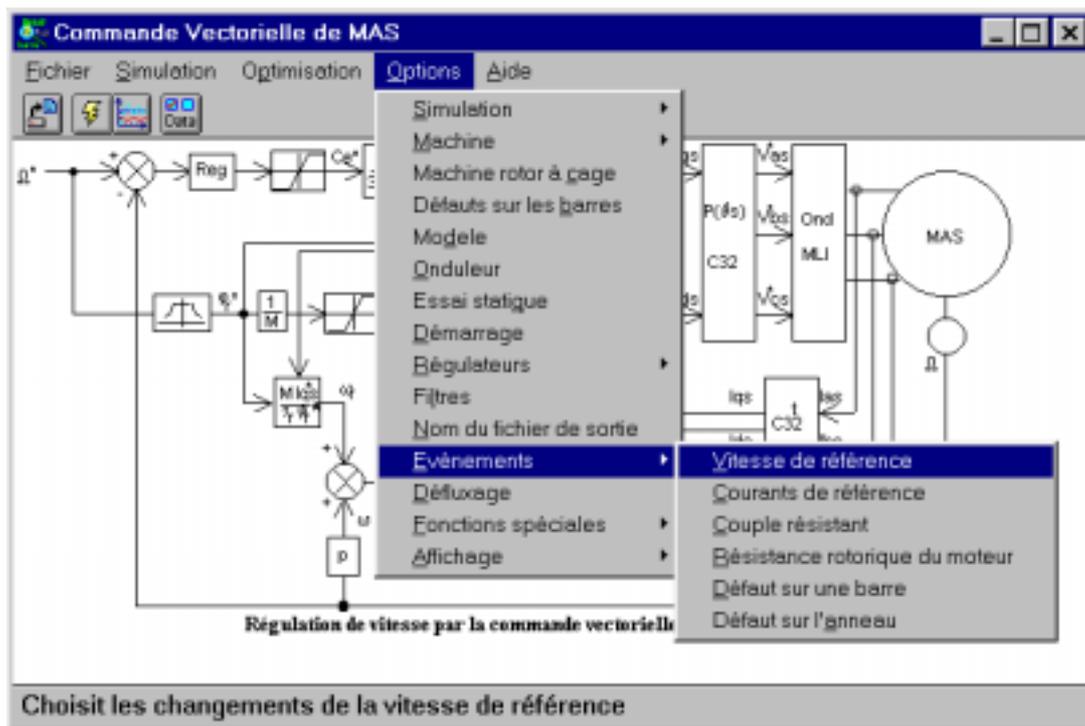


Figure A.1 Fenêtre d'affichage du logiciel MASVECT

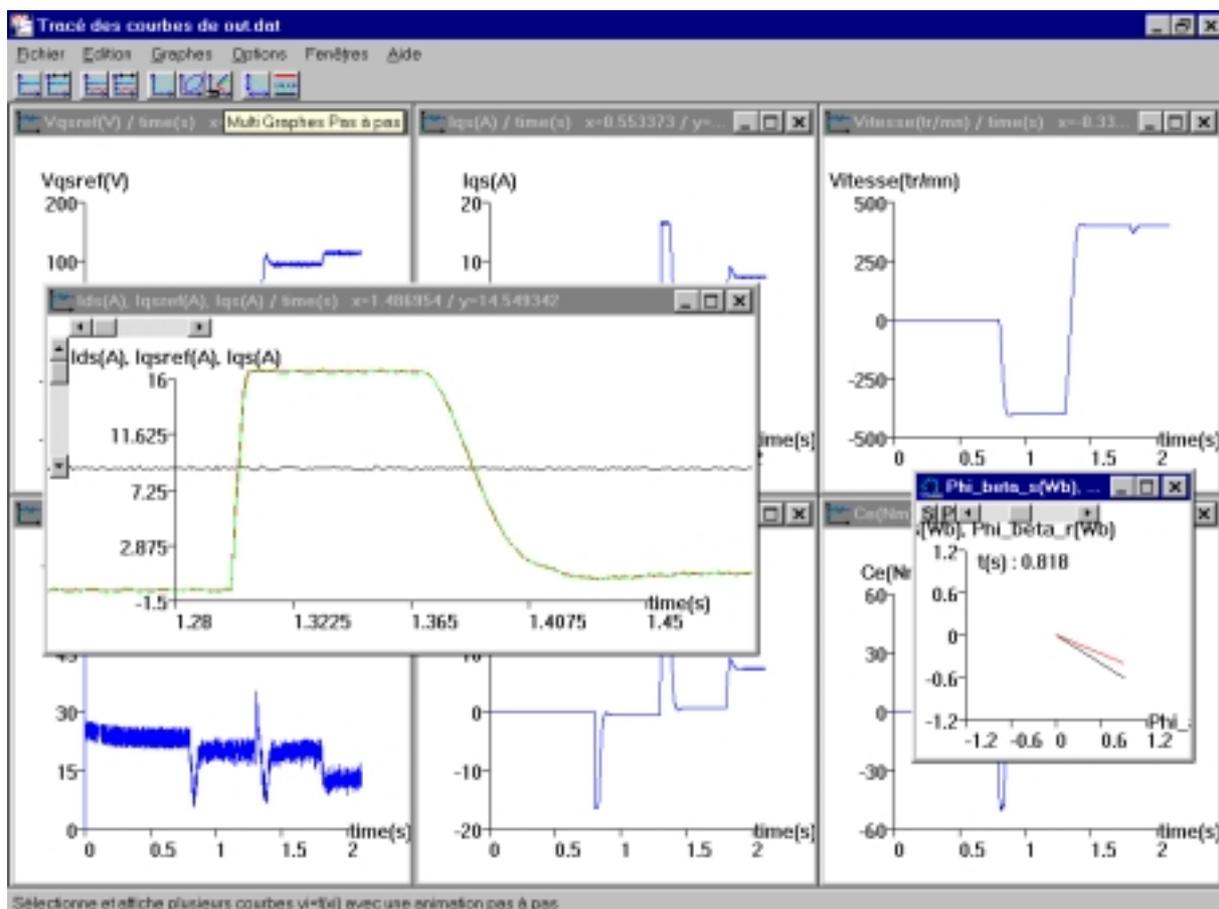


Figure A.2 Fenêtre d'affichage du logiciel de tracé de courbes GRAPH

3. Annexe 3 : Description du dispositif expérimental

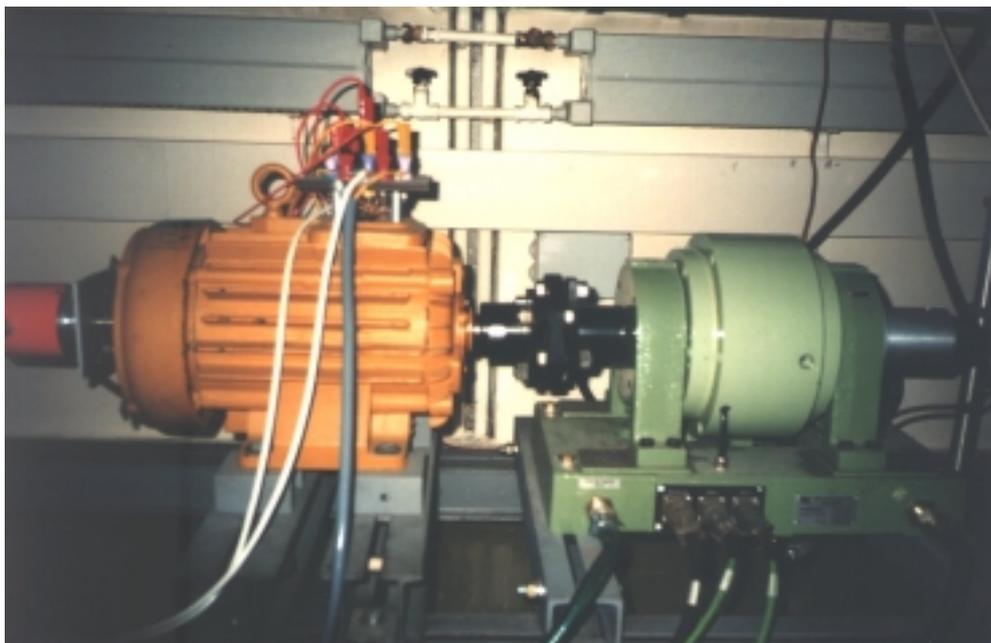


Figure A.3 Photographies du banc d'essai

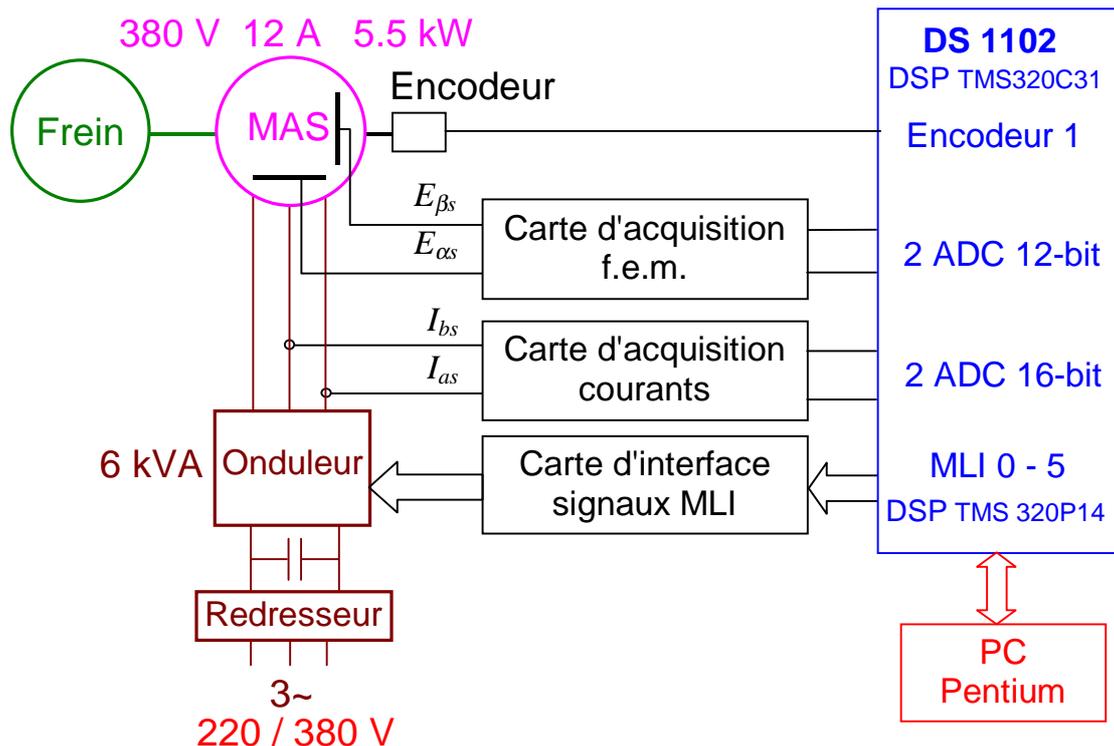


Figure A.4 Schéma du banc d'essai

La figure A.4 représente le schéma synoptique du banc expérimental. La machine asynchrone comporte des bobines supplémentaires placées dans les encoches statoriques, de manière à pouvoir mesurer les f.e.m. sur les deux axes en quadrature du stator.

Le moteur est couplé à un frein à poudre dont l'électronique permet de le commander en régulation de flux ou en régulation de couple. L'encodeur incrémental utilisé en commande vectorielle indirecte (IRFO) a une résolution de 4096 pas par tour.

L'onduleur de tension est à base d'IGBT pilotés à 10 kHz. La carte d'interface permet d'attaquer les IGBT avec un motif de MLI centré généré à partir des six signaux MLI issus des comparateurs du DSP P14 (à virgule fixe).

Ce dernier a été re-programmé par voie logicielle et synchronisé avec son DSP maître; le TMS 320C31 (à virgule flottante) qui exécute le programme de contrôle de la machine. Cette synchronisation, extérieure à la carte DS 1102, permet, à l'aide d'un timer distinct de celui dédié à la MLI, de déclencher une interruption matérielle sur le DSP C31. Elle déclenche les conversions des ADC. La lecture des convertisseurs se faisant indépendamment de ce processus, pendant une interruption propre au processeur maître. Ceci permet de faire l'acquisition des courants et des f.e.m. de façon synchronisée, au milieu du motif MLI, quand les signaux sont le moins perturbés. L'impact sur la qualité de la régulation est considérable; les courants sont nettement moins chahutés et la machine est très silencieuse. Ce procédé a par ailleurs été utilisé dans [VRA 98].

Le DSP à virgule flottante (C31) est programmé directement en langage C, sans utiliser l'environnement MATLAB – Simulink – RTW. Ceci dans le but d'optimiser le temps de calcul et de pouvoir implanter directement les routines écrites pour le logiciel MASVECT, développé en parallèle à la mise en œuvre expérimentale, avec un minimum de changement de code. Les comparaisons qui en résultent sont également plus rigoureuses.

L'utilisation d'un bus continu à partir d'un redresseur à six diodes connecté au réseau ne permet de disposer que de 540 V de tension maximale (514 V de tension moyenne). Or, une machine prévue pour fonctionner sous une tension de 380 V doit disposer de $220\sqrt{2} = 311$ V max par phase. La tension maximale, dont on dispose via l'onduleur commandé en MLI calculée, est de $E / 2 = 540 \text{ V} / 2 = 270 \text{ V}$ à vide au lieu de 311 V nominale.

Les performances en terme de vitesse de base ¹⁷ se trouvent donc considérablement réduites. Ainsi, on est en buté de tension bien avant d'atteindre la vitesse nominale de la machine. De plus, comme on doit toujours garder une marge de tension pour que les régulateurs de courant puissent fonctionner correctement, le défluxage doit se faire plus bas encore en vitesse.

Les courants sont régulés indépendamment sur les deux axes d et q . Néanmoins, l'amplitude du vecteur tension résultant doit être inférieure ou égale à $E / 2$.

Afin de s'assurer de cette condition, des limites fixes imposeraient $V_{ds \text{ ref lim}} = V_{qs \text{ ref lim}} = E / 2 / \sqrt{2}$. Ce qui diminue encore la marge de manœuvre.

Une astuce consiste à ne limiter que $V_{ds \text{ ref}}$ à cette valeur et calculer à chaque fois la limite de $V_{qs \text{ ref}}$:

$$V_{qs \text{ ref lim}} = \sqrt{\left(\frac{E}{2}\right)^2 - V_{ds \text{ ref}}^2}$$

Cela nécessite néanmoins du temps de calcul supplémentaire pour le DSP sur la boucle interne de commande. Au sein de cette boucle, s'effectuent différentes opérations, citons parmi elles, la lecture des convertisseurs (ADC), le calcul de l'angle de Park et des termes de découplage, les transformations ainsi que la régulation des courants.

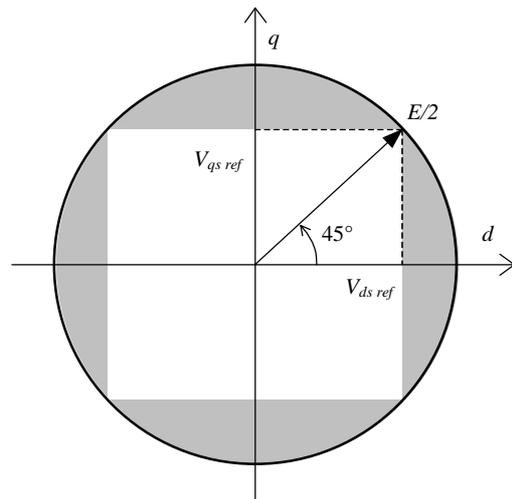


Figure A.5 Limitation de la sortie des régulateurs de courant

Il reste cependant la possibilité de connecter la machine en triangle, mais cette opération ne permet pas d'assurer un courant homopolaire nul, ce qui peut être néfaste en cas de non-symétrie de la machine et/ou de l'alimentation. De plus, la tension du pont E (540 V) se retrouve appliquée aux bornes de l'enroulement d'une phase au lieu de deux phases en série dans le cas d'un branchement étoile.

Ceci nous amène donc à la conclusion qu'il faut des machines spécialement dimensionnées pour être utilisées en commande. Avec des tensions d'alimentation plus basses et une meilleure isolation des enroulements statoriques. En effet, des études ont montré le vieillissement accéléré des enroulements des machines conventionnelles alimentées en MLI avec l'apparitions de décharges partielles [MBA 96].

Données concernant les boucles de régulation :

Période de MLI

$$T_{MLI} = 100 \mu\text{s}$$

¹⁷ La vitesse de base correspond à la limite au delà de laquelle on commence à défluxer la machine.

Régulateurs de Courant (PI) avec termes de découplage :

$$T_e=200 \mu\text{s}$$

$$K_p=19,7$$

$$K_i=0,75$$

Régulateur de vitesse (IP anti-saturation) :

$$T_e=1 \text{ ms}$$

$$K_p=2,0$$

$$K_i=0,1$$

$$T_i=1,0$$

Régulateur de vitesse (Flou) :

$$FE=0.025$$

$$FdE=0.5$$

$$FdU=4$$

Type du régulateur	Temps d'exécution sur le DSP TMS 320C31 cadencé à 40 MHz
IP anti-saturation	8 μs
Régulateur Flou à 3 fonctions d'appartenance	30 μs
Régulateur Flou à 5 fonctions d'appartenance	63 μs
Régulateur neuronal (perceptron)	37 μs
Régulateur neuronal (RBF)	52 μs

Tableau A.5

Régulateur de position (P) :

$$T_e=2 \text{ ms}$$

$$K_p=30,0$$

Nomenclature

Symbole	Signification	Unité
σ	Coefficient de dispersion de Blondel	
θ	Position du rotor	rd
ω	Vitesse électrique du rotor = $p\Omega$	rd/s
Ω, ω_m	Vitesse mécanique	rd/s, tr/mn
τ_r	Constante de temps rotorique	s
ω_r	Pulsation rotorique	rd/s
τ_s	Constante de temps statorique	s
ω_s	Pulsation statorique	rd/s
a	angle électrique entre deux mailles rotoriques	rd
a_1, a_{10}	Coefficient de frottement dynamique	Nm s ² /rd ²
a_2, a_{20}	Coefficient de frottement visqueux	Nm s/rd
a_3, a_{30}	Coefficient de frottement sec	Nm
dE	Dérivée de l'erreur	
e	Entrefer	m
E	Erreur	
I	Courant de phase	A
J	Moment d'inertie	kg m ²
J_f	Moment d'inertie du frein	kg m ²
K_d, T_d	Coefficients du régulateur du courant d'axe d	
K_p, K_i, T_i	Coefficients du régulateur discrétisé	
K_q, T_q	Coefficients du régulateur du courant d'axe q	
K_v, T_v	Coefficients du régulateur de vitesse	
L	Longueur active du rotor	m
L_b	Inductance d'une barre rotorique	H
L_e	Inductance totale de l'anneau de court circuit	H
L_r	Inductance cyclique rotorique	H
L_s	Inductance cyclique statorique	H
L_{sl}	Inductance de fuite statorique	H
M	Mutuelle cyclique	H
N_r	Nombre de barres rotoriques	
N_s	Nombre de spires statoriques par phase	
p	Nombre de paires de pôles	
p	Opérateur de Laplace	
P	Puissance	W
$P(\theta)$	Matrice de rotation dans le plan	
R	Rayon de la machine au milieu de l'entrefer	m
$R_{b\ cassée}$	Résistance d'une barre rotorique cassée	Ω
$R_{b\ sain}$	Résistance d'une barre rotorique saine	Ω
R_e	Résistance totale de l'anneau de court circuit	Ω
R_r	Résistance rotorique	Ω
R_s	Résistance statorique	Ω
T_{qd}	Retard dans la boucle de régulation d'axe d	s
T_{vd}	Retard dans la boucle de régulation de vitesse	s
T_{vf}	Retard dû au filtre de vitesse	s

U	Tension entre phases	V
w_{ij}^m	Poids reliant la sortie du neurone (i) de la couche ($m-1$) au neurone (j) de la couche (m).	
$X_{\beta s}, X_{\alpha s}$	Grandeurs statoriques dans le repère (α, β) fixé au stator	
X^*, X_{ref}	Grandeur de consigne ou de référence	
X_{dq}	Vecteur de composantes d et q	
X_{dr}	Grandeur rotorique d'axe d (repère dq)	
X_{ds}	Grandeur statorique d'axe d (repère dq)	
X_n	Grandeur normalisée	
X_{qr}	Grandeur rotorique d'axe q (repère dq)	
X_{qs}	Grandeur statorique d'axe q (repère dq)	

Glossaire

Acronyme	Signification
A/N	Analogique / Numérique
ADC	Analog to Digital Converter
ASIC	Application Specific Integrated Circuit
DRFO	Direct Rotor Flux Orientation
DSC	Direct Self-Control
DSFO	Direct Stator Flux Orientation
DSP	Digital Signal Processor
DTC	Direct Torque Control
EKF	Extended Kalman Filter
ELO	Extended Luenberger Observer
FFT	Fast Fourier Transformation
Fitness	Critère d'adéquation
FPGA	Field Programmable Gate Array
GA	Genetic Algorithm
IAE	Integral of Absolute Error
IC	Intelligent Control
IRFO	Indirect Rotor Flux Orientation
ISE	Integral of Square Error
ISFO	Indirect Stator Flux Orientation
MLI	Modulation de Largeur d'Impulsion
MRAS	Model Reference Adaptive Systems
RAN	Réseau Adaptatif Non-linéaire
RBF	Radial Basis Function

Bibliographie

- [AOK 90] Aoki, S.; Kawachi, S; Sugeno, M., "Application of fuzzy control logic for dead-time processes in a glass melting furnace," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 38, pp. 251-265, 1990.
- [BAG 94] Baghli, L., *Réalisation d'un environnement graphique avec base de données pour l'analyse et la simulation de réseaux électriques*, Projet de Fin d'Etudes, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Juin 1994, 115p.
- [BAG 95a] Baghli, L., "Méthodes de commande du moteur asynchrone pour un cahier de charge précis," Rapport bibliographique, INPL, Nancy, Avril 1995, 27p.
- [BAG 95b] Baghli, L., *Commande vectorielle d'une machine asynchrone à enroulements de mesure de f.e.m.*, Rapport de stage de DEA, Université Henri Poincaré, Nancy, Juillet 1995, 76p.
- [BAG 96a] Baghli, L.; Razik, H.; Rezzoug, A., "A field oriented control method using decoupling terms for induction motors," in *Proc. 2nd EPE Chapter symposium on electric drive design and applications*, Nancy, 4-6 June 1996, pp.147-151.
- [BAG 96b] Baghli, L.; Razik, H.; Rezzoug, A., "Régulation floue de la vitesse dans une commande vectorielle de la machine asynchrone par orientation du flux rotorique," *LFA'96 Rencontres Francophones sur la logique floue et ses Applications*, Nancy, 4-5 Décembre 1996, pp.40-46.
- [BAG 97a] Baghli, L.; Hein, D.; Razik, H.; Rezzoug, A., "Modelling rotor cage induction motors for fault detection," in *Proc. IEEE-SDEMPED'97*, Carry-le-Rouet, France, 1-3 Sept. 1997, pp. 41-47.
- [BAG 97b] Baghli, L.; Razik, H.; Rezzoug, A., "Comparison between fuzzy and classical speed control within a field oriented method for induction motors," in *Proc. EPE'97*, Trondheim, Norway, 8-10 September 1997, vol. 2, pp. 2.444-2.448.
- [BAG 97c] Baghli, L.; Razik, H.; Rezzoug, A., "Neuro-Fuzzy Controller in a Field Oriented Control for Induction Motors," in *Proc. EPE'97*, Trondheim, Norway, 8-10 September 1997, vol. 1, pp. 1.096-1.101.
- [BAG 97d] Baghli, L.; Hein, D.; Razik, H.; Rezzoug, A., "Défauts rotoriques de la machine asynchrone; Modèles pour le diagnostic," in *Proc. AGIS'97*, Angers, France, 11 Dec. 1997, pp. 23-25.
- [BAG 98] Baghli, L.; Razik, H.; Rezzoug, A., "A stator flux oriented drive for an induction motor with extra (α , β) coils," in *Proc. IECON'98*, Aachen, Germany, August 31st - September 4th 1998, vol. 4, pp. 2522-2526.
- [BAR 94] Barbier, C. E.; Nogarede, B.; Verniers, F., "Optimisation of the electric vehicle drive system control strategy using global system approach," in *Proc. ICEM'94*, 1994, pp. 341-346.

- [BEL 98] Bellaaj-Mrabet, N.; Jelassi, K., "Comparaison de méthodes d'identification des paramètres d'une machine asynchrone," *Eur. Phys. Journal, AP*, vol. 3, pp. 71-80, 1998.
- [BEN 91] Ben ammar, F.; Pietrzak-David, M.; De Fornel, B.; Mirzaian, A., "Field oriented control of high-power motor drives by Kalman filter flux observation," in *Proc. EPE'91*, Firenze, 1991, pp. 2.182-2.187.
- [BEN 92] Ben-Brahim, L.; Kawamura, A., "A fully digitized field oriented controlled induction motor drive using only current sensors," *IEEE Trans. Indus. Electron.*, vol. 39, n°3, pp. 241-249, June 1992.
- [BEN 95] Benhidjeb, A., *Contribution à l'étude de la commande d'un système de type pont roulant. Comparaison expérimentale des méthodes analytiques et floues*, Thèse de Doctorat de l'Université de Haute Alsace, 1995.
- [BEN 98a] Bentounsi, A.; Nicolas, A., "Transient and steady-state analysis of induction motors with cage faults," in *Proc. IMACS-CESA'98*, Nabeul-Hammamet, Tunisie, 1-4 April 1998, vol. 1, pp. 429-433.
- [BEN 98b] Ben-Brahim, L.; Tadakuma, S., "Practical considerations for sensorless induction motor drive system," in *Proc. IECON'98*, August 31st - September 4th 1998, Aachen, Germany, pp. 1002-1007.
- [BEN 98c] Benbouzid, M. E. H., "A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection," in *Proc. IECON'98*, August 31st - September 4th 1998, Aachen, Germany, pp. 1950-1955.
- [BLA 72] Blaschke, F., "The principle of field orientation as applied to the new transvektor closed-loop control system for rotating-field machines," *Siemens Review*, XXXIX, n°5, pp. 217-220, 1972.
- [BOR 90] Borne, P.; Dauphin-Tanguy, G.; Richard, J-P; Rotella, F.; Zambettakis, I., *Commande et optimisation des processus*, Technip, 1990, 303p.
- [BOS 86] Bose, B. K., *Power electronics and AC drives*, Prentice Hall, 1986, 402p.
- [BOS 95] Bose, B. K.; Simões, M. G.; Crepelius, D. R.; Rajashekara, K.; Martin, R., "Speed sensorless hybrid vector controlled induction motor drive," in *Proc. IEEE IAS Ann. Mtg.*, 1995, pp. 137-143.
- [BOU 94] Boualem, B.; Piriou, F., "Modelling of induction motor accounting for skewed slots effects," in *Proc. ICEM'94*, 1994, pp. 699-704.
- [BUH 86] Bühler, H., *Réglages échantillonnés, Traitement par la transformation en Z*, vol. 1, Presses Polytechniques Romandes, 2^{ème} ed. 1986, 382p.
- [BUH 88] Bühler, H., *Conception des systèmes automatiques*, Complément du traité de l'électricité, Presses Polytechniques Romandes, 1988, 542p.

- [BUH 94] Bühler, H., *Réglages par logique floue*, Presses Polytechniques Romandes, 1994, 181p.
- [BUR 97] Burton, B.; Kamran, F.; Harley, R. G.; Habetler, T. G.; Brooke, M. A.; Poddar, R., "Identification and control of induction motor stator currents using fast on-line random training of a neural network," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 33, pp. 697-704, May/June 1997.
- [CAR 95] Caron, J. P.; Hautier, J. P., *Modélisation et commande de la machine asynchrone*, Ed Technip, 1995, 279p.
- [CHA 94] Chan, C. C.; Leung, W. S.; Williams, B.W., "An A.C. drive system for electrical vehicles," in *Proc. ICEM'94*, 1994, pp. 831-834.
- [CHA 96] Chapuis, Y-A., *Commande directe du couple d'une machine asynchrone par le contrôle direct de son flux statorique*, Thèse de Doctorat de l'INP de Grenoble, 1996.
- [CHE 90] Chen, S. ; Billings, S.; Grant, P., "Non linear system identification using neural networks," *International Journal of Control*, vol. 51, n°6, pp. 1191-1214, 1990.
- [CHE 94] Chen, C-L.; Chen, W-C., "Fuzzy controller design by using neural network techniques," *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol. 2, n°3, pp. 235-244, Aug. 1994.
- [CHE 96] Chen, C. H., *Fuzzy logic and neural network handbook*, IEEE Press, 1996.
- [CHO 97] Chouiter, D-R., *Conception et réalisation d'une commande robuste de machine asynchrone*, Thèse de Doctorat de Ecole Centrale de Lyon, 1997.
- [CIL 97a] Cilia, J.; Asher, G. M.; Bradley, K. J.; Sumner, M., "Sensorless position detection for vector-controlled induction motor drives using an asymmetric outer-section cage," *IEEE Trans. Indus. Appli.*, vol. 33, n°5, pp. 1162-1169, Sept./Oct. 1997.
- [CIL 97b] Cilia, J.; Asher, G. M.; Bradley, K. J.; Sumner, M., "Control of a shaft-sensorless position induction motor using an asymmetric outer-section cage," in *Proc. EPE'97*, Trondheim, Norway, 8-10 September 1997, vol. 4, pp. 4.486-4.491.
- [DAK 91] Dakhouche, K.; Roye, D., "Digital vector control of induction machine using a PWM inverter," in *Proc. EPE'91*, pp. 2.227-2.230.
- [De D 94a] De Doncker, R. W.; Novotny, D. W., "The universal field oriented controller," *IEEE Trans. Indus. Appli.*, vol. 30, n°1, pp. 92-100, Jan./Feb. 1994.
- [De D 94b] De Doncker, R. W.; Profumo, F.; Pastorelli, M., "Self-tuning of tapped stator winding induction motor servo drives using the universal field-oriented controller," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 9, n°4, pp. 357-366, July 1994.

- [De V 92] De Villier, J.; Barnard, E., "Backpropagation neural nets with one and two hidden layers," *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 4, n°1, pp. 136-141, January. 1992.
- [DEG 97] Degner, M. W.; Lorenz, R. D., "Wide bandwidth flux, position and velocity estimation in AC machines at any speed (including zero) using multiple saliencies," in *Proc. EPE'97*, Trondheim, Norway, 8-10 September 1997, vol. 1, pp. 1.536-1.541.
- [DEN 90] Dente, J.; Faria, R.; Labrique, F.; Robyns, B., "A low cost digital field oriented control system for an induction actuator," in *Proc. IMACS – TCI'90*, Nancy, 19-21 Sept. 1990, pp.31-36.
- [DER 94] Derouane, B.; Friedrich, G., "Comparative study of different control strategies for the induction machine in automotive applications with on board energy," in *Proc. ICEM'94*, 1994, pp. 156-161.
- [DOD 98] Dodds, S. J.; Vittek, J., "Magnetic Flux Estimator with Automatic Correction of Drift Distortion," *The Scientific Works and Studies of the University of Zilina*, Electrotechnical Series, Slovak Republic, vol. 22, 1998, pp. 5-15.
- [DOR 96] Dorrell, D. G.; Paterson, N. C.; Watson, J. F., "The causes and quantification of sideband currents for use in rotor fault detection systems for cage induction motors," in *Proc. ICEM'96*, 1996, Vigo, Spain, vol. 3, pp. 414-419.
- [DOR 97] Dorrell, D. G.; Thomson, W. T.; Roach, S., "Analysis of airgap flux, current and vibration signals as a function of the combination of static and dynamic airgap eccentricity in 3-phase induction motors," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 33, n°1, pp. 24-34, Jan./Feb. 1997.
- [DOU 94] Douine, B., *Commande vectorielle directe de la machine asynchrone : estimation de flux et de vitesse*, Rapport de stage de D.E.A. INPL, 1994, 46p.
- [DU 94] Du, T.; Vas, P.; Stronach, A. F.; Brdys, M. A., "Application of Kalman filters and extended Luenberger observers in induction motor drives," in *Proc. Intelligent Motion*, June 1994, pp. 369-387.
- [DU 95] Du, T.; Vas, P.; Stronach, A. F., "Real-time DSP implementation of an extended observer in a high-dynamic performance induction motor drive," in *Proc. EPE'95*, Sevilla, Spain, 1995, pp. 3.045-3.049.
- [ELL 98] Elloumi, M.; Ben-Brahim, L.; Al-Hamadi, M. A., "Survey of speed sensorless controls for IM drives," in *Proc. IECON'98*, August 31st - September 4th 1998, Aachen, Germany, pp. 1018-1023.
- [EL-S 94] El-Sharkawi, M. A.; Huang, S. J., "Ancillary techniques for neural network applications," *IEEE International Conf. On Neural Networks*, NY, USA, 1994, vol. 6, pp. 3724-3729.

- [EL-S 97] El-Sharkawi, M. A.; Huang, T. C.; El-Samahi, A., "Intelligent control for high performance drives," in *Proc. IEEE International Electric Machines and Drives Conf*, Milwaukee, 18-21 May 1997, pp. TA2-1.1-TA2-1.6.
- [FAI 95] Faidallah, A., *Contribution à l'identification et à la commande vectorielle des machines asynchrones*, Thèse de Doctorat de l'INP de Lorraine, 1995.
- [FIL 96] Filippetti, F.; Franceschini, G.; Tassoni, C.; Vas, P., "Impact of speed ripple on rotor fault diagnosis of induction machines," in *Proc. ICEM'96*, Vigo, Spain, 1996, vol. 2, pp. 452-457.
- [FIL 98] Filippetti, F.; Franceschini, G.; Tassoni, C.; Vas, P., "AI techniques in induction machines diagnosis including the speed ripple effect," *IEEE Trans. Indus. Appli.*, vol. 34, n°1, pp. 98-108, 1998.
- [FLA 94] Flaus, J-M., *La régulation industrielle, régulateur PID, prédictif et flous*, Hermès, 1994, 349p.
- [FRA 90] Franceschini, G.; Pastorelli, M.; Profumo, F.; Tassoni, C.; Vagati, A., "About the gain choice of flux observer in induction servo-motors," in *Proc. IECON'90*, pp. 601-606.
- [FU 95] Fu, Y., *Commande vectorielle des machines à courant alternatif, Etude des problèmes liés à la numérisation des régulateurs*, Thèse de Doctorat de l'Université Catholique de Louvain, 1995.
- [GAL 93] Gallichet, S.; Foulloy, L., "Fuzzy equivalence of classical controllers," in *Proc. EUFIT'93*, Aachen, 1993, pp. 1567-1573.
- [GAL 95] Gallichet, S.; Foulloy, L., "Fuzzy controllers : synthesis and equivalences," *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol 3, n°2 pp. 140-148, May 1995.
- [GAR 94] Garcia, G. O.; Stephan, R. M.; Watanabe, E. H., "Comparing the indirect field-oriented control with a scalar method," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 41, n°2, pp. 201-207, April 1994.
- [HAL 97] Halpin, S. M.; Burch, R. F., "Application of neural networks to industrial and commercial power systems : A tutorial overview," *IEEE Trans. Indus. Appli.*, vol. 33, n°5, pp. 1355-1361, Sept./Oct. 1997.
- [HAR 82] Hargis, C.; Gaydon, B. G.; Kamash, K., "The detection of rotor defects in induction motors," in *Proc. ICEM-Design and Application*, London, UK, 1982, pp. 216-220.
- [HEI 98] Hein, D., *Identification de la machine asynchrone en vue du diagnostic de pannes*, Thèse CNAM de Paris, Centre Associé de Metz, 1998.

- [HIS 97] Hissel, D.; Maussion, P.; Gateau, G.; Faucher, J., "Fuzzy logic control optimization of electrical systems using experimental designs," in *Proc. EPE'97*, Trondheim, Norway, 8-10 September 1997, vol. 1, pp. 1.090-1.095.
- [HIS 98] Hissel, D.; Maussion, P.; Faucher, J., "On evaluating robustness of fuzzy logic controllers through Taguchi methodology," in *Proc. IECON'98*, Aachen, Germany, August 31st - September 4th 1998, vol. 1, pp. 17-22.
- [HO 88] Ho, Y. Y. E.; Sen, C. P., "Decoupling control of induction motor drives," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 35, n°2, pp. 253-262, May 1988.
- [HOL 93] Holtz, J., "Methods for speed sensorless control of AC drives," in *Proc. IEEE PCC-Yokohama*, 1993, pp. 415-420.
- [HOL 98] Holtz, J., "Sensorless position control of induction motors – an emerging technology," in *Proc. IECON'98*, August 31st - September 4th 1998, Aachen, Germany, pp. I1-I12.
- [HUR 98] Hurst, K., D.; Habetler, T. G.; Griva, G.; Profumo, F., "Zero-speed tacholeless IM torque control : simply a matter of stator voltage integration," *IEEE Trans. Indus. Electron.*, vol. 34, n°4, pp. 790-795, Jul./Aug. 1998.
- [ILA 94] Ilas, C.; Bettini, A.; Ferraris, L.; Griva, G.; Profumo, F., "Comparison of different schemes without shaft sensors for field oriented control drives," in *Proc. IECON'94*, pp. 1579-1588.
- [JAN 89] Janecke, M.; Kremer, R.; Steuerwald, G., "Direct self-control (DSC), a novel method of controlling asynchronous machines in traction applications," in *Proc. EPE'89*, pp. 75-81.
- [JAN 94] Jansen, P. L.; Lorenz, R. D.; Novotny, D. W., "Observer-based direct field orientation : analysis and comparison of alternative methods," *IEEE Trans. Indus. Appli.*, vol. 30, n°4, pp. 945-953, Jul./Aug. 1994.
- [JAN 95] Jansen, P. L.; Lorenz, R. D., "Transducerless position and velocity estimation in induction and salient AC machines," *IEEE Trans. Indus. Appli.*, vol. 31, n°2, pp. 240-247, Mar./Apr. 1995.
- [JAN 96] Jansen, P. L.; Lorenz, R. D., "Transducerless field orientation concepts employing saturation-induced saliencies in induction machines," *IEEE Trans. Indus. Appli.*, vol. 32, n°6, pp. 1380-1393, Nov./Dec. 1996.
- [JEL 91] Jelassi, K., *Positionnement d'une machine asynchrone par la méthode du flux orienté*, Thèse de Doctorat de l'INP de Toulouse, 1991.
- [JOD 94] Jodouin, J-F., *Les réseaux de neurones; principes et définition*, Hermes, 1994, 124p.

- [KAT 97] Kataoka, Y.; Kubota, H.; Matsuse, K., "Sensorless vector control of induction machines with stator voltage offset compensation," in *Proc. EPE'97*, Trondheim, Norway, 8-10 September 1997, vol. 4, pp. 4.508-4.511.
- [KAZ 95] Kazmierkowski, M. P.; Kasprowicz, A. B., "Improved direct torque and flux vector control of PWM inverter-fed induction motor drives," *IEEE Trans. Indus. Electron.*, vol. 42, n°4, pp. 344-349, Aug. 1991.
- [KER 84] Kerszenbaum, I.; Landy, C. F., "The existence of large inter-bar currents in three phase squirrel cage motors with rotor-bar and/or end-ring faults," *IEEE Trans. on Power Apparatus and System*, vol. 103, n°7, pp. 1854-1862, July 1984.
- [KET 92] Ketata, R., *Méthodologies de régulation numérique incluant la logique floue*, Thèse de Doctorat de l'INSA de Toulouse, 1992.
- [KHE 95] Khenfer, N., *Machines asynchrone : ses modèles, son identification et sa commande*, Thèse de Doctorat de l'INP de Lorraine, 1995.
- [KIE 95] Kiendl, H; Rüger, J. J., "Stability analysis of fuzzy control systems using facet functions," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 45, pp. 135-156, 1992.
- [KIM 98] Kim, Y-H.; Kim, S-S.; Hong, I-P., "Speed sensorless vector control of high-speed induction motors using intelligent control algorithm," in *Proc. IECON'98*, August 31st - September 4th 1998, Aachen, Germany, pp. 888-892.
- [KIN 77] King, P. J.; Mamdani, E. H., "The application of fuzzy control systems to industrial processes," *Automatica*, vol. 13, pp. 235-242, 1977.
- [KLI 88] Kliman, G. B.; Stein, J.; Endicott, R. D.; Madden, R. W., "Noninvasive detection of broken rotor bars in operating induction motors," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 3, n°4, pp. 873-878, Dec. 1988.
- [KOS 69] Kostenko, M.; Piotrovski, L., *Machines électriques*, vol. 2, Mir Moscou, Moscow, 1969.
- [KUL 97] Kulkarni, A. S.; El-Sharkawi, M. A., "Speed estimator for induction motor drives using an artificial neural network," in *Proc. IEEE International Electric Machines and Drives Conf*, Milwaukee, 18-21 May 1997, pp. MD2-2.1- MD2-2.3.
- [LEE 97] Lee, J-S.; Takeshita, T.; Matsui, N., "Stator-flux-oriented sensorless induction motor drive for optimum low-speed performance," *IEEE Trans. Indus. Appl.*, vol. 33, n°5, pp. 1170-1176, Sept./Oct. 1997.
- [LEM 91] Lemaire-Semail, B.; Bouillaut, F.; Razeq, A., "Modélisation et commande vectorielle d'un moteur asynchrone saturé avec contrôle dynamique du flux," *Journal Phys. III*, vol. 1, pp. 1509-1528, 1991.

- [LEO 91a] Leonhard, W., "30 years space vectors, 20 years field orientation, 10 years digital signal processing with controlled AC-drives, a review (Part 1)," *EPE Journal*, vol. 1, n°1, pp. 13-20, July 1991.
- [LEO 91b] Leonhard, W., "30 years space vectors, 20 years field orientation, 10 years digital signal processing with controlled AC-drives, a review (Part 2)," *EPE Journal*, vol. 1, n°2, pp. 89-102 October 1991.
- [LEO 96] Leonhard, W., *Control of electrical drives*, 2nd ed. Springer-Verlag, 1996, 420p.
- [LES 81] Lesenne, J.; Notelet, F.; Segulier, G., *Introduction à l'électrotechnique approfondie*, Technique et Documentation, 1981, 247p.
- [LES 86] Lessmeier, R.; Schumacher, W.; Leonhard, W., "Microprocessor-controlled AC-servo drives with synchronous or induction motors : which is preferable ?," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 1A-22, n°5, pp. 812-819, Sept./Oct. 1986.
- [LEV 95] Levrat, E., *logique floue*, Cours de DEA, non publié, CRAN, Nancy, 1995.
- [LIN 93] Lin, F. J.; Liaw, C. M, "Control of indirect field-oriented induction motor drives considering the effect of dead-time and parameter variations," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 40, n°5, pp. 486-495, Oct. 1993.
- [LIP 86] Lipo, T. A.; Chang, K. C., "A new approach to flux and torque-sensing in induction machines," *IEEE Trans. Indus. Appli.*, vol. 22, n°4, pp. 731-737, Jul./Aug. 1986.
- [LUT 96] Lutaud-Brunet, M., *Identification et contrôle de processus par réseaux neuro-flous*, Thèse de Doctorat de l'Université de d'Evry Val d'Essonne, 1996.
- [MAM 74] Mamdani, E. H., "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant," *Proceedings of IEEE*, vol. 12, pp. 1585-1588, 1974.
- [MAM 75] Mamdani, E. H.; Assilian, S., "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 7, pp. 311-323, 1975.
- [MAM 76] Mamdani, E. H., "Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers," *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 8, pp. 325-334, 1976.
- [MAN 94] Manes, C.; Parasiliti, F.; Tursini, M., "Comparison of rotor flux estimation in induction motors with a nonlinear observer and the extended Kalman filter," in *Proc. IECON'94*, pp. 2149-2154.
- [MAN 96] Manolas, S. T., Tegopoulos, J., Papadopoulos, M., "Analysis of squirrel cage induction motors with broken rotor bars," in *Proc. ICEM'96*, Vigo, Spain, 1996, vol. 3, pp. 19-23.

- [MAU 98] Maussion, P.; Hissel, D., "Optimized fuzzy logic controller parameters for open-loop stable or evolutive electromechanical systems," in *Proc. IECON'98*, Aachen, Germany, August 31st - September 4th 1998, vol. 1, pp. 23-27.
- [MBA 96] Mbaye, A., "Existence possible de décharges partielles dans l'isolation statorique des moteurs asynchrones basse tension alimentés par onduleur MLI," in *Proc. JCGE'96*, 1-3 avril 1996, Lyon, France, pp. 262-265.
- [MCC 43] McCulloch, W. S. ; Pitts, W., "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity," *Bulletin of Mathematical biophysics*, vol. 5, pp. 115-133, 1943.
- [MEN 92] Mendes, E.; Lemaire-Smail, B., "Reconstitution du flux rotorique pour la commande vectorielle des moteurs asynchrones," *Journées de la SEE Groupe Nord*, 2 Déc. 1992, 20p.
- [MIC 97] Michels, K., "Fuzzy control for electrical drives ?," in *Proc. EPE'97*, Trondheim, Norway, 8-10 September 1997, vol. 1, pp. 1.102-1.105.
- [MIL 96] Miller III, W. T.; Sutton, R. S.; Werbos, P. J., *Neural networks for control*, Ed. The MIT Press, 1996, 524p.
- [MIR 94] Mir, S. A.; Zinger, D. S.; Elbuluk, M. E., "Fuzzy controller for inverter fed induction machines," *IEEE Trans. Indus. Appli.*, vol. 30, n°1, pp. 78-84, Jan./Feb. 1994.
- [NEA 94] Neacsu, D. U.; Stinescu, R.; Raducanu, L.; Donescu, V., "Fuzzy logic control of an V/f PWM inverter-fed drive," in *Proc. ICEM'94*, 1994, pp. 12-17.
- [OHI 85] Ohinishi, K.; Suzuki, H.; Miyachi, K.; Terashima, M., "Decoupling control of secondary flux and secondary current in induction motor drive with controlled voltage source and its comparaison with volt/hertz control," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 1A-21, n°1, pp. 241-247, Jan./Feb. 1985.
- [OUR 92] Ourth, T.; Nguyen Phuoc, V. T.; Pietrzak-David, M.; De Fornel, B., "Sensorless speed control of induction motor drives using observer based vector control," in *Proc. ICEM'92*, pp. 858-862.
- [PEN 94] Peng, F. Z.; Fukao, T., "Robust speed identification for speed-sensorless vector control of induction motors," *IEEE Trans. Indus. Appli.*, vol. 30, n°5, pp. 1234-1240, Sept./Oct. 1994.
- [PIC 94] Picton, P., *Introduction to neural networks*, Ed. Macmillan, 1994, 168p.
- [PIE 92] Pietrzak-David, M.; De Fornel, B., "Comparaison et synthèse des procédés de commande vectorielle," *Journées de la SEE Groupe Nord*, Lille, 2 Déc. 1992, 18p.

- [PIE 96] Pierlot, N., *Application des réseaux neuronaux à la commande en vitesse d'une charge mécanique entraînée par machine asynchrone*, Thèse de Doctorat de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, 1996.
- [PIL 97] Pillay, P.; Nohan, R.; Haque, T., "Application of genetic algorithms to motor parameter determination for transient torque calculations," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 33, pp. 1273-1282, Sept./Oct. 1997.
- [PRE 97] Precup, R-E.; Preitl, S., "Popov-type stability analysis method for fuzzy control system," in *Proc. EUFIT'97*, Aachen, Germany, 8-11 September 1997, pp. 1306-1310.
- [PRO 91] Profumo, F.; Pastorelli, M; Ferraris, P.; De Doncker, R. W., "Comparison of universal field oriented (UFO) controllers in different reference frames," in *Proc. EPE'91*, Firenze, 1991, pp. 4.689-4.695.
- [RAJ 96] Rajashekara, K.; Kawamura, A.; Matsuse, K., *Sensorless Control of AC Motor-Drives*, IEEE PRESS, 1996, 498p.
- [RAM 93] Rambault, L., *Conception d'une commande floue pour une boucle de régulation*, Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, 1993.
- [RAZ 98a] Razik, H.; Baghli, L.; Rezzoug, A., "Neuro-Fuzzy speed control of an induction motor," in *Proc. IMACS-CESA'98*, Nabeul-Hammamet, Tunisie, 1-4 April 1998, vol. 1, pp. 1026-1030.
- [RAZ 98b] Razik, H.; Baghli, L.; Rezzoug, A., "Adaptive Neuro-Fuzzy Speed Control of an Induction Motor," in *Proc. PEMC'98*, Prague, Czech Republic, 8-10 September 1998, vol. 3, pp. 34-39
- [REN 95] Renders, J. M., *Algorithmes génétiques et réseaux de neurones*, Ed. Hermès, 1995, 349p.
- [REZ 98] Rezzoug, A.; Baghli, L.; Razik, H., "Commande floue et domotique," in *Proc. Journées 1998 de la Section Electrotechnique, CLUB E.E.A*, Nancy, France, 29-30 Janvier 1998, pp. 1-11.
- [RIT 94] Ritchie, E.; Deng, X.; Jokinen, T., "Dynamic model of three-phase squirrel cage induction motors with rotor faults," in *Proc. ICEM'94*, 1994, pp. 694-698.
- [ROB 92] Roboam, X.; Hapiot, J. C.; De Fornel, B.; Andrieux, C., "Contrôle d'une machine asynchrone par estimation robuste de la vitesse," *Journal Phys. III*, vol. 2, pp. 439-453, 1992.
- [ROB 98] Robyns, B.; Hautier, J. P.; Buyse, H., " Fuzzy logic based multi-model field oriented control of induction motors," in *Proc. IMACS-CESA'98*, Nabeul-Hammamet, Tunisie, 1-4 April 1998, vol. 1, pp. 1037-1042.

- [ROG 93] Roger Jang, J. S.; Sun, C. T., "Functional equivalence between radial basis function networks and fuzzy inference systems," *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 4, n°1, pp. 156-159, 1993.
- [ROY 92] Roye, D.; Diallo, D., "La commande vectorielle du moteur asynchrone : aspects pédagogiques," *Journées de la SEE Groupe Nord*, Lille, 2 Déc. 1992, 12p.
- [SCH 89] Schauder, C., "Adaptive speed identification for vector control of induction motors without rotational transducers," in *Proc. IEEE IAS Ann. Mtg.*, 1989, pp. 493-499.
- [SCH 92] Schroedl, M., "Sensorless control of induction motors at low speed and standstill," in *Proc. ICEM'92*, pp. 863-867.
- [SCH 94] Schroedl, M.; Elin, V., "Electric vehicle with robust sensorless induction motor drive," in *Proc. ICEM'94*, 1994, pp. 338-340.
- [SCH 96] Schierling, H., "Self-commissioning - a novel feature of modern inverted-fed induction motor drives," in *Proc. Intern. Conf. on Power Electronics and Variable Speed Drives*, 13-15 July 1998, London, UK, pp. 287-290.
- [SOB 96] Sobczyk, T. J.; Vas, P.; Tassoni, C., "Models for induction motors with air-gap asymmetry for diagnostic purposes," in *Proc. ICEM'96*, Vigo, Spain, 1996, vol. 2, pp. 79-84.
- [SPE 96] Specht, D. F., "Probabilistic neural networks and general regression neural networks," in *Fuzzy logic and neural network handbook*, Chen, C. H., IEEE Press, McGraw Hill, 1996, pp. 3.1-3.44.
- [STE 91] Stephan, R. M., "Field oriented and field acceleration control for induction motors : is there a difference ?," in *Proc. IECON'91*, pp. 567-572.
- [STR 93] Strefezza, M.; Dote, Y., "Radial basis neural network adaptive controller for servomotor," in *Proc. ISIE'93*, Budapest, 1993, pp. 747-752.
- [STR 95] Stronach, A. F.; Vas, P., "Fuzzy-neural control of variable-speed AC drives," in *Proc. Intelligent Motion*, June 1995, pp. 117-129.
- [TAK 83] Takagi, T.; Sugeno, M., "Derivation of fuzzy control rules from human operator's control actions," in *Proc. IFAC Symp. On Fuzzy Information, Knowledge Representation and Decision Analysis*, July 1983, pp. 55-60.
- [TAK 85] Takahashi, I.; Noguchi, T., "A new quick response and high efficiency control strategy of an induction motor," in *Proc. IEEE IAS Ann. Mtg.*, 1985, pp. 496-502.
- [TAN 92] Tanaka, K; Sugeno, M., "Stability analysis and design of fuzzy control systems," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 45, pp. 135-156, 1992.

- [THI 97] Thiria, S.; Lechevallier, Y.; Gascuel, O.; Canu, S., *Statistique et méthodes neuronales*, Ed. Dunod, 1997.
- [THO 97] Thomson, W. T.; Rankin, D.; Dorrell, D. G., "On line current monitoring to diagnose airgap eccentricity, an industrial case history of a large high-voltage three-phase induction motor," in *Proc. IEEE International Electrical Machines and Drives Conference Record*, Milwaukee, USA, 1997, vol. MA2/4, pp. 1-3.
- [TZO 96] Tzou, Y-Y.; Lee, W-A.; Lin S-Y., "Dual-DSP sensorless speed control of an induction motor with adaptive voltage compensation," in *Proc. PESC'96*, 1996, vol. 1, pp. 351-357.
- [VAS 90] Vas, P., *Vector control of AC machines*, Ed. Oxford University Press, 1990, 332p.
- [VAS 93] Vas, P., *Parameter estimation, condition monitoring and diagnosis of electrical machines*, Ed. Oxford University Press, 1993, 360p.
- [VAS 94a] Vas, P.; Filippetti, F.; Franceschini, G.; Tassoni, C., "Transient modelling oriented to diagnostics of induction machines with rotor asymmetries," in *Proc. ICEM'94*, 1994, pp. 62-67.
- [VAS 94b] Vas, P.; Le, J.; Stronach, A. F.; Lees, P., "Artificial neural network based control of electromechanical systems," *IEE International Conf. On Control*, London, UK, 21-24 March 1994, vol. 2, pp. 1065-1070.
- [VAS 95] Vas, P.; Stronach, A. F.; Neuroth, M., "A fuzzy-controlled speed sensorless induction motor drive with flux estimator," in *Proc. ICEM'95*, 11-13 September 1995, pp. 315-319.
- [VRA 98] Vranka, P.; Griva, G.; Profumo, F., "Practical improvement of a simple V-I flux estimator for sensorless F.O. controllers operating in the low speed region," in *Proc. IECON'98*, August 31st - September 4th 1998, Aachen, Germany, pp. 1615-1620.
- [WAN 94] Wang, P.; Kwork, D. P., "Optimal design of PID process controllers based on genetic algorithms," *Control Eng. Practice*, vol. 2, n° 4, pp. 641-648, 1994.
- [WES 92] Westerholt, E. V., Pietrzak-David, M.; De Fornel, B., "Extended state estimation of nonlinear modeled induction machines," in *Proc. PESC'92*, Toledo, 1992, pp 271-278.
- [WES 97] Westerholt, E. V., "A PCMCIA DSP-card to boost inverter performance : sensorless drive control via extended Kalman filter," in *Proc. EPE'97*, Trondheim, Norway, 8-10 September 1997, vol. 4, pp. 4.498-4.503.
- [WIL 98] Wilamowski, B. M., "Analog VLSI hardware for fuzzy systems," in *Proc. IECON'98*, August 31st - September 4th 1998, Aachen, Germany, pp. 52-55.

- [XU 88] Xu, X.; De Doncker, R.; Novotny, D. W., "A stator flux oriented induction machine drive," in *Proc. IEEE PESC*, 1988, pp. 870-876.
- [XU 91] Xu, X.; Novotny, D. W., "Implementation of direct stator flux orientation control on a versatile DSP based system," *IEEE Trans. Indus. Appl.*, vol. 27, n°4, pp. 694-700, 1991.
- [YAH 95] Yahoui, H., *Contribution à la surveillance et du diagnostic des machines électriques*, Thèse de Doctorat de l'Université Claude Bernard – Lyon 1, 1995.
- [ZAD 65] Zadeh, L. A., "Fuzzy Sets," *Information and Control*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [ZEL 94] Zelazny, M.; Giri, F.; Bennani T., *Systèmes asservis : commande et régulation, Synthèse, application, instrumentation*, T2, Eyrolles, 1994.
- [ZIN 90] Zinger, D. S.; Profumo, F.; Lipo, T. A.; Novotny, D. W., "A direct field-oriented controller for induction motor drives using tapped stator windings," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 5, n°4, pp. 446-453, Oct. 1990.
- [ZOL 96] Zolghadri, M. R.; Pelissou, C.; Roye, D., "Start up of a global direct torque control system," in *Proc. PESC'96*, pp. 370-374.