



La Variation de Vitesse au cœur des applications industrielles

Il était une fois, le moteur électrique... L'histoire de cet actionneur pourrait sembler si banale qu'elle ne mériterait d'être déclinée qu'au passé... lointain !

Et pourtant... L'intégration toujours plus poussée des composants électroniques permet aujourd'hui de concevoir des variateurs de vitesse électroniques capables de calculer en temps réel les lois de commande des moteurs électriques asynchrones : c'est la "commande vectorielle des flux" qui, appliquée à ces moteurs robustes et économiques, permet d'obtenir des performances proches de celles fournies par les moteurs synchrones et à courant continu.

Du coup, un large domaine d'applications industrielles s'ouvre à cette gamme de machines électriques : ce sont les contraintes liées à ces applications que nous allons analyser dans ce Guide Technique afin de voir comment cette nouvelle génération de variateurs de vitesse sait y répondre.

Pour ceux qui voudront approfondir leurs connaissances dans ce domaine, le Guide est complété par des nombreuses annexes techniques sous forme de documents téléchargeables.

p.1

Historique

p.2

La commande vectorielle des moteurs asynchrones

p.3

La commande vectorielle dans les applications industrielles

p.6

Conclusions

p.7

Guide de choix

Historique

Depuis que l'homme sait mettre au service de son imagination les objets qui l'entourent, il n'a cessé d'élever sa condition en créant d'innombrables procédés techniques de déplacement et de transformation de la matière d'œuvre. Souvent, la maîtrise des mouvements est à la base de ces procédés : c'est le cas pour de nombreuses applications industrielles qui nécessitent un contrôle de vitesse et de position de ses actionneurs. Parmi ceux-ci, le moteur électrique est probablement le plus employé à ce jour.

Les lois qui régissent la dynamique des mouvements de rotation nous montrent que le contrôle du couple appliqué à un mobile permet d'en maîtriser la vitesse et la position.

Le moteur électrique à courant continu répond parfaitement à cet impératif : il suffit de contrôler son courant d'induit pour en contrôler son couple. En outre, il est nécessaire de pouvoir élaborer un modèle de l'application aussi proche que possible de la réalité : il faut pouvoir prendre en compte les régimes transitoires qui sont plus contraignants que les régimes établis afin que les modèles soient utilisables aussi bien en régime statique que dynamique. Ce qui n'est pas facile à faire pour le moteur asynchrone...

Mais le moteur à courant continu reste, par construction, cher et pose des problèmes d'usure et de maintenance : beaucoup d'applications, sensibles au rapport coût/fiabilité, ont dû se contenter des performances intrinsèques moindres du moteur asynchrone.

Depuis quelques années, grâce à la mise au point de calculateurs "temps réel" rapides et de leur intégration dans des microcircuits électroniques, on exploite de plus en plus les machines asynchrones, de fabrication simple et qui ne posent pas de problèmes de maintenance. On ne savait pas réaliser le découplage courant induit/flux inducteur (il n'y a pas d'excitation) sur une machine asynchrone afin de la contrôler comme un moteur à courant continu : c'est maintenant chose faite !

La commande vectorielle des moteurs asynchrones

A première vue, commander un moteur asynchrone comme si c'était un moteur à courant continu paraît tenir du tour de magie. Et pourtant... Regardons de plus près les principes de fonctionnement.

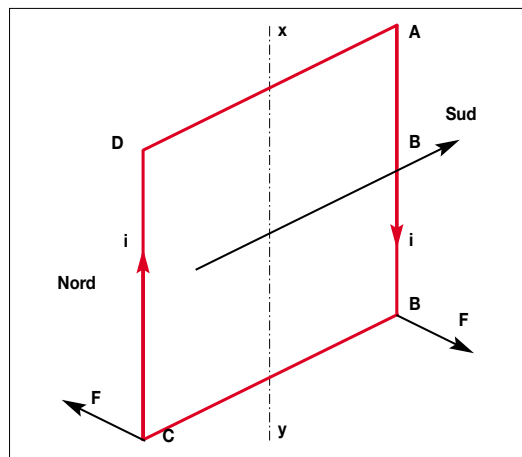


Fig. 1

La partie tournante (rotor) d'un moteur asynchrone à cage est constituée d'un ensemble de boucles conductrices immergées dans le flux magnétique créé par le courant électrique qui circule dans la partie fixe (stator) du moteur : $\Phi_s = K_s \cdot I_s$

Toute variation de ce flux produit une tension (force contre-électro-motrice - f.c.e.m.) dans les boucles conductrices du rotor qui provoque la génération d'un courant induit : $I_r = K_m \cdot d\Phi_s/dt$

Celui-ci, à son tour, donne naissance dans le rotor à un flux magnétique : $\Phi_r = K_r \cdot I_r$

Le flux du rotor Φ_r cherche à s'aligner au flux du stator Φ_s pour le contrebalancer, un peu comme deux aimants s'alignent pour faire correspondre leurs pôles Nord et Sud (Fig. 1). C'est ce phénomène qui fait tourner le rotor avec un couple proportionnel à $\Phi_s \cdot \Phi_r$.

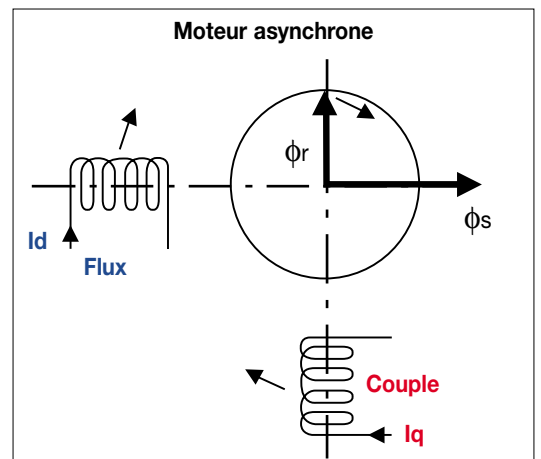


Fig. 2

Cette approche simplifiée du moteur asynchrone permet néanmoins de mettre en évidence les deux lois distinctes de génération des flux magnétiques à l'intérieur du moteur et qui sont justement mises à profit par les techniques de la commande vectorielle. Puisque, à la base, c'est la variation du flux inducteur Φ_s qui provoque le mouvement (raison pour laquelle, au passage, le moteur asynchrone ne fonctionne pas en courant continu), nous avons affaire à des signaux électriques variables : la vision simplifiée ci-dessus doit être donc complétée par l'introduction des impédances complexes (inductances) des circuits du stator et du rotor qui leur confèrent des comportements dynamiques différents.

C'est ici qu'intervient la puissance de calcul des "puces" embarquées dans les variateurs électroniques modernes : elles sont maintenant capables d'interpréter en temps réel les signaux électriques aux bornes d'un moteur asynchrone et de les décomposer en deux mesures corrélées aux flux magnétiques du stator et du rotor (Fig. 2).

Ces informations sont complétées par la connaissance préalable des caractéristiques électromagnétiques et

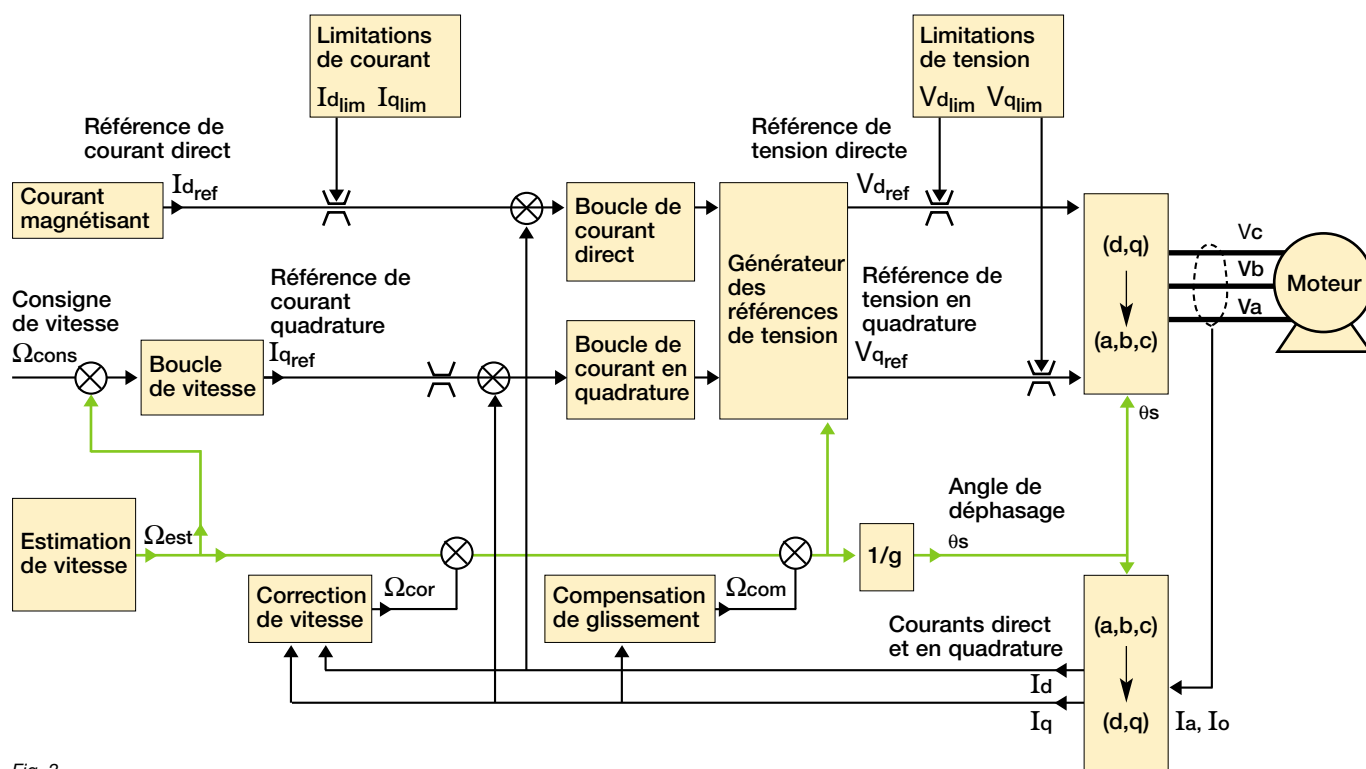


Fig. 3

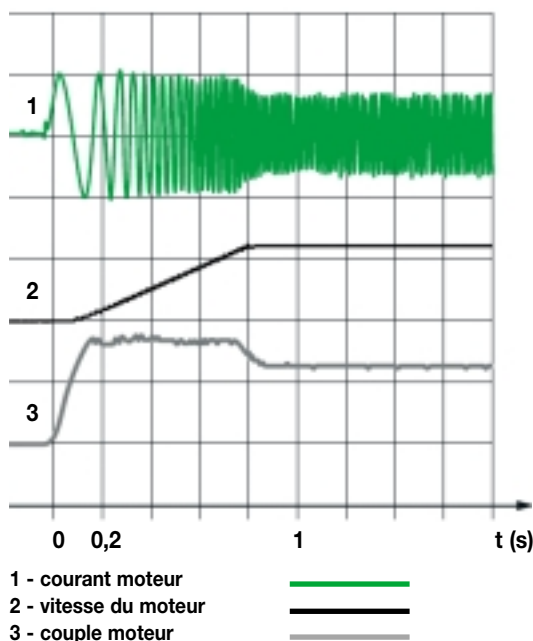


Fig. 4

1 - courant moteur
 2 - vitesse du moteur
 3 - couple moteur

mécaniques du moteur ainsi que de la vitesse du moteur (soit réelle par capteur de mesure, soit estimée à partir de la fréquence du signal issu du variateur). Elles permettent de réguler le courant "direct" (I_d) qui contrôle le flux statorique et le courant "en quadrature" (I_q) qui contrôle le flux rotorique, donc le couple du moteur. A partir de ces signaux de régulation, le variateur reconstruira ainsi les signaux électriques triphasés nécessaires à la commande du moteur (Fig. 3).

La suite est, oserais-je dire, banale : avec un variateur électronique à contrôle vectoriel de flux, l'utilisateur peut piloter le moteur asynchrone avec la même souplesse qu'un moteur à courant continu. Le tour est joué : les résultats sont impressionnants, comme en témoigne l'oscillogramme ci-contre ! (Fig. 4).

La commande vectorielle dans les applications industrielles

Résumons. Grâce à la "commande vectorielle de flux", nous avons les moyens de contrôler séparément le flux du stator et du rotor sur toute la plage de vitesse du moteur. Nous pouvons donc envisager de faire fonctionner le moteur asynchrone avec la loi de commande qui convient le mieux : commande en vitesse, en courant, à couple constant, à puissance (couple • vitesse angulaire) constante, etc. En outre, les puissances de calcul des microprocesseurs installés dans un variateur de vitesse électronique moderne autorisent la prise en compte d'événements externes afin d'adapter, voire de changer, la loi de commande du moteur au cours du cycle de mouvement. Cette double souplesse rend l'ensemble "variateur à commande vectorielle de flux / moteur asynchrone" apte à répondre aux besoins spécifiques de la plupart

des applications industrielles. A titre d'exemple, non exhaustif, nous allons mettre en évidence la contribution de la commande vectorielle de flux au cœur des applications de manutention (convoyeurs, palettiseurs, enrouleurs), de pompage (pompes, centrifugeuses, extrudeuses, ventilateurs), de levage (grues, ponts roulants, ascenseurs) et d'emballage (encaisseuses, étiqueteuses, remplisseuses, banderoleuses) : la commande vectorielle de flux trouvera sa place dans le contrôle de mouvement de fonctions communes à plusieurs applications :

Fonctions	Applications			
	Manutention	Pompage	Levage	Emballage
Commande en couple	■	■		■
Freinage			■	■
Equilibrage	■	■		■
Positionnement	■		■	
Mesure de charge			■	

Voyons en détail chacune de ces fonctions, ainsi que les performances obtenues en utilisant un variateur électronique à commande vectorielle de flux de la gamme Altivar 71 Telemecanique.

Commande en couple

Cette fonction permet de contrôler le couple transmis par l'arbre du moteur asynchrone, de manière à maîtriser les efforts appliqués à la matière d'œuvre. La commande en couple est nécessaire sur des applications comme les enrouleurs/dérouleurs de câble (Fig. 5), les enrouleurs et les banderoleuses qui utilisent une matière d'œuvre "fragile" (bande de papier ou film plastique). Dans ces cas, une force de traction constante est requise.

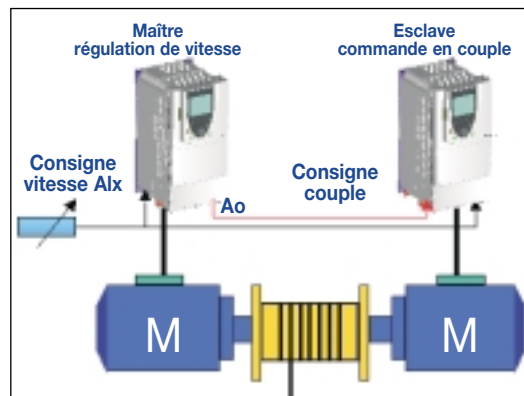


Fig. 5

Egalement, la commande en couple est utilisée par les pompes d'extraction, de dosage ou d'extrusion afin d'obtenir un flux de matière à pression constante. Les performances obtenues sont :

- précision < 5 % du couple nominal
- plage de régulation ± 200 % du couple nominal



Freinage

La fonction de freinage gère la séquence des actions effectuées par le frein mécanique du moteur afin d'assurer le maintien de la charge en toutes circonstances : c'est un exemple de mise en œuvre des interactions entre les parties analogique et logique d'un variateur de vitesse électronique.



Le freinage s'applique sur des mouvements verticaux (ascenseurs), horizontaux (ponts roulants) et de rotation (grues) avec des phases de démarrage et d'arrêt sans à-coups : pour ce faire, lors du démarrage, le couple moteur est appliqué progressivement (rampe) et le frein n'est ouvert que lorsqu'un seuil prééglé du couple est atteint. Lors d'une phase d'arrêt, la fonction de freinage exploitera la capacité de la commande vectorielle de flux à piloter le mouvement jusqu'au zéro de la vitesse du mobile. L'arrêt se fait ainsi sous contrôle du moteur et le frein mécanique n'intervient que pour immobiliser la charge dans sa position d'arrêt (Fig. 6).

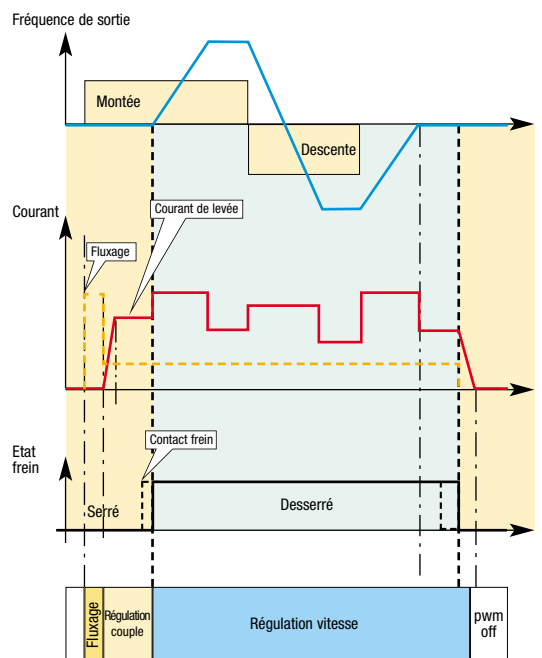


Fig. 6

Equilibrage

La fonction "équilibrage" est une adaptation de la commande en tension du moteur asynchrone destinée aux applications comportant des charges avec balourd, comme les pompes d'extraction du pétrole et les presses d'emboutissage ou de découpe.



Cette fonction force la limitation du couple à zéro lorsque la balourd agit en poussant la charge et fait ainsi passer le moteur dans le quadrant "générateur" du diagramme "couple/vitesse" (Fig. 7). La charge n'étant pas freinée par le moteur lors de cette phase transitoire, on évite ainsi d'infliger des contraintes mécaniques au système et de dissiper de l'énergie dans une résistance de freinage.

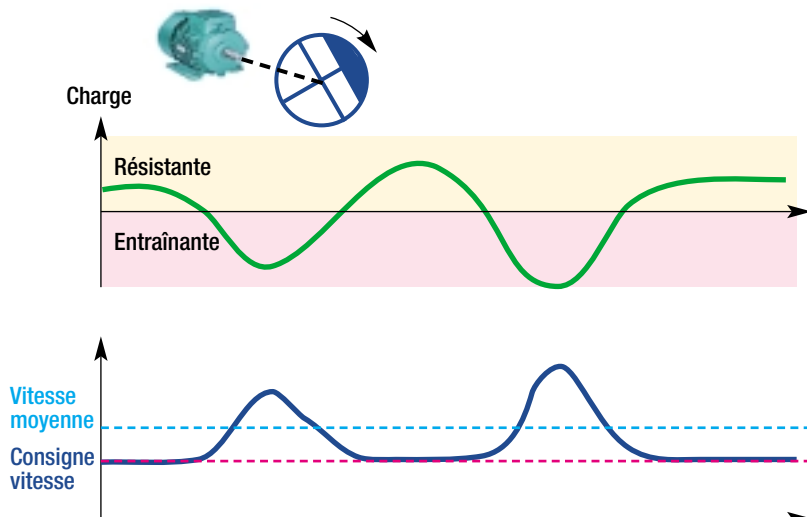


Fig. 7

Positionnement sur fin de course

Cette fonction permet de gérer le ralentissement et l'arrêt d'un mobile en fin de trajectoire, à partir des informations délivrées par deux fins de course "tout ou rien", un capteur de ralentissement et un capteur d'arrêt.

De nombreuses applications industrielles utilisent cette méthode de positionnement qui n'exige pas l'emploi d'un codeur de position, incrémental ou absolu, et reste donc très économique : convoyeurs, chariots, élévateurs, etc.



La mise en œuvre de cette fonction de positionnement, avec une commande moteur traditionnelle, présente l'inconvénient de demander des temps d'arrêt d'autant plus longs que la vitesse de passage du mobile au point de ralentissement est faible : la consigne passe en "vitesse lente" (LSP), le mobile ralentit "naturellement" et poursuit en vitesse lente jusqu'au point d'arrêt (Fig. 8).

Avec les capacités apportées par la commande vectorielle de flux, ce temps de positionnement peut être notablement réduit : lors du passage au point de ralentissement, le variateur modifie la consigne sur une rampe de vitesse (supérieure à la rampe naturelle de ralentissement - courbe en rouge) pour amener le mobile à la "vitesse lente" (LSP) juste avant le point d'arrêt, en optimisant ainsi le temps total de positionnement.

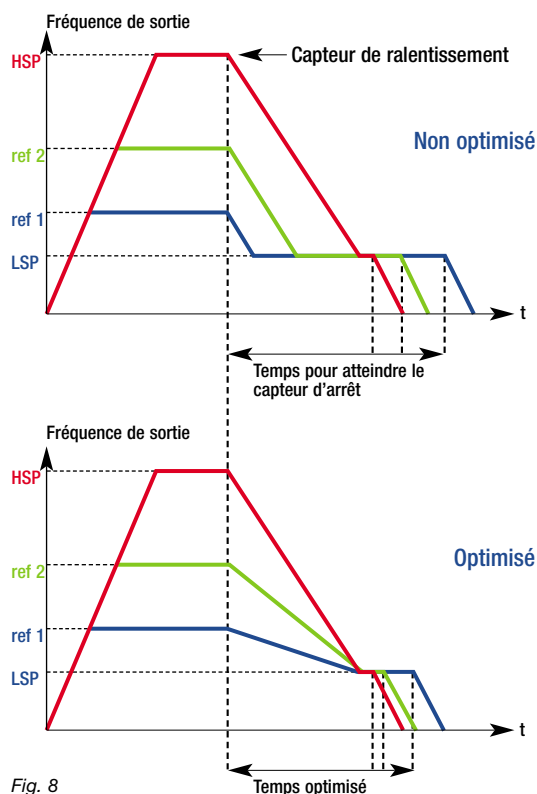


Fig. 8



Mesure de charge

Dans les applications de levage comportant des capacités de mesurage de la charge (jauge de contrainte, capteur dynamométrique, etc.), l'emploi de la commande vectorielle de flux permet de réaliser des démarrages sans à-coups en montée comme en descente.

La mesure de charge est utilisée par le variateur pour fournir au moteur, avant la levée du frein, un couple à l'arrêt exactement équivalent au couple imposé par la charge : cette fonction est donc active dans tous les quadrants de fonctionnement du moteur asynchrone. Elle est typique des applications d'ascenseurs équilibrés par contrepoids sur une valeur moyenne de la charge transportée : à cabine vide, le contrepoids est entraînant, et inversement à cabine pleine (Fig. 9).

Exemple de courbe de calibration pour un ascenseur

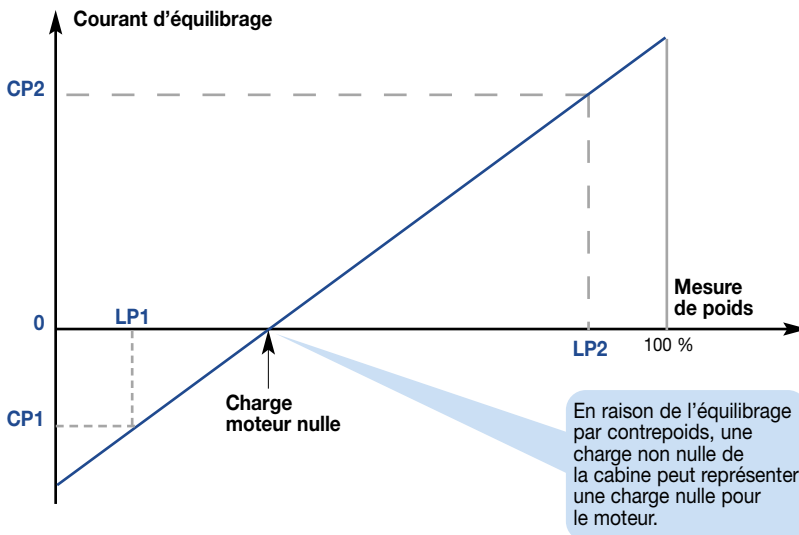


Fig. 9

Annexes bibliographiques téléchargeables

- > **Les moteurs électriques**
Cahier Technique n°207 – Schneider Electric – 2004
- > **Démarrateurs et variateurs de vitesse électroniques**
Cahier Technique n°208 – Schneider Electric – 2003
- > **La variation de vitesse : rappels techniques et pratiques**
Expert Automatismes v2 – Schneider Electric – 2001
- > **Introduction à la commande vectorielle des moteurs asynchrones**
- > **Guide de choix des variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones**
Telemecanique – 2005
- > **Altivar 71 : Présentation** – Telemecanique – 2005
- > **Altivar 71 : Affiches** – Telemecanique – 2005
- > **Altivar 71 : Vidéo “Levage ATV 71”** – Telemecanique – 2005

Conclusions

Nous venons de voir, très rapidement, les apports de la commande vectorielle de flux à quelques unes des fonctions de contrôle de mouvement qui sont au cœur des principales applications industrielles. Il est évident que d'autres domaines applicatifs s'approprient, dans un futur proche, cette technologie qui bénéficie des avantages techniques et économiques associés aux moteurs asynchrones. Il en est un, à titre d'exemple, qui pourrait rapidement l'intégrer à son choix d'offres de motorisation : les transports terrestres. Imaginons les automobiles, camions et autobus de demain...

- Un “moteur-roue” pourrait être développé sur le principe du moteur asynchrone : il équiperait directement chaque roue motrice et améliorerait de 20 à 40 % le rendement de la motorisation en supprimant les poids et les pertes dues aux transmissions mécaniques et à la boîte de vitesse.
- Un système de récupération d'énergie, associé au variateur de vitesse à commande vectorielle de flux, pourrait aussi être développé. Il transformerait, lors des phases de ralentissement, l'énergie cinétique du véhicule, aujourd'hui perdue en échauffement des freins, en énergie électrique et la stockerait à bord. L'usage des freins mécaniques en serait réduit aux opérations de parking ou d'urgence, en supprimant la pollution due aux métaux lourds des plaquettes de frein qui s'usent. En trajet urbain le parcours d'un véhicule est fait d'accélération et de freinages ; en récupérant l'énergie, la consommation en ville pourrait être considérablement réduite. En conséquence, la pollution qui en découle (en admettant l'usage des carburants fossiles comme source primaire d'énergie embarquée) en serait réduite d'autant. Le chapitre de l'électrotechnique consacré aux moteurs électriques vient d'être révolutionné en douceur. Toutes les technologies coexisteront, bien entendu, mais, grâce à la commande vectorielle de flux, le territoire du moteur asynchrone est amené à s'étendre de manière inéluctable, comme le dit si bien le slogan associé à la toute nouvelle gamme de variateurs électroniques Altivar 71 Telemecanique : “Place à l'évolution !”

Guide de choix



	Altivar 11	Altivar 31	Altivar 38	Altivar 71
Gamme de puissance pour réseau 50... 60 Hz (kW)	0,18...2,2	0,18...15	0,75...315	0,37...500
Monophasé 100... 120 V (kW)	0,18...0,75	-	-	-
Monophasé 200... 240 V (kW)	0,18...2,2	0,18...2,2	-	0,37...5,5
Triphasé 200... 230 V (kW)	0,18...2,2	-	-	-
Triphasé 200... 240 V (kW)	-	0,18...15	-	0,37...75
Triphasé 380... 460 V (kW)	-	-	0,75...315	-
Triphasé 380... 480 V (kW)	-	-	-	0,75...500
Triphasé 380... 500 V (kW)	-	0,37...15	-	-
Triphasé 525... 600 V (kW)	-	0,75...15	-	-
Entraînement				
Fréquence de sortie	0,5...200 Hz	0,5...500 Hz	0,1...500 Hz	0...1000 Hz
Type de contrôle	Moteur asynchrone	Contrôle vectoriel de flux sans capteur	Contrôle vectoriel de flux sans capteur	Contrôle vectoriel de flux avec ou sans capteur, loi tension/fréquence (2 ou 5 points), ENA System
	Moteur asynchrone	-	-	Contrôle vectoriel sans retour vitesse
Surcouple transitoire	150...170 % du couple nominal moteur	170...200 % du couple nominal moteur	110 % du couple nominal moteur pendant 60 sec.	220 % du couple nominal moteur pendant 2 secondes, 170 % pendant 60 secondes
Fonctions				
Nombre de fonctions	26	50	44	> 150
Nombre de vitesses présélectionnées	4	16	8	16
Nombre d'entrées/sorties	Entrées analogiques	1	3	2...3
	Entrées logiques	4	6	4...6
	Sorties analogiques	-	1	1...2
	Sorties logiques	1	-	0...1
	Sorties à relais	1	2	2
Communication				
Intégrée	-	Modbus et CANopen	Modbus	Modbus et CANopen
En option	-	Ethernet TCP/IP, DeviceNet, Fipio, Profibus DP	Ethernet TCP/IP, Fipio, Modbus Plus, InterBus, Profibus DP, AS-Interface, Uni-Telway, CANopen, DeviceNet, METASYS N2, Lonworks	Ethernet TCP/IP, Fipio, Modbus Plus, InterBus, Profibus DP, Modbus/Uni-Telway, DeviceNet

Ce Guide Technique a été rédigé par Fulvio Filippini, expert en contrôle industriel à l'Agence Nationale Enseignement - Schneider Electric France.

Avertissement

Schneider Electric dégage toute responsabilité consécutive à l'utilisation incorrecte des informations et schémas reproduits dans le présent guide et ne saurait être tenu responsable ni d'éventuelles erreurs ou omissions, ni de conséquences liées à la mise en œuvre des informations et schémas contenus dans ce guide.