

Servomoteurs brushless : c'est le capteur qui fait souvent la différence



▼ Lorsque l'on veut réaliser un asservissement en position ou en vitesse, le moteur brushless est souvent incontournable, surtout si l'on recherche de la performance. Mais dans un asservissement en boucle fermée, le moteur n'est pas tout ! L'électronique a bien sûr son importance. Mais le plus important, c'est le capteur. Trois types de capteurs s'affrontent : le résolveur, le codeur incrémental et le codeur incrémental avec sorties sinusoïdales. Robustesse, précision, dynamique, temps de réponse etc. : selon les critères recherchés, l'un ou l'autre sera préféré. C'est ce qu'explique ici Infranor.

Le développement de l'automatisation dans les processus industriels crée une demande de machines-outils et de robots plus précis et plus rapides. Pour y répondre, les systèmes de contrôle du mouvement font appel à des asservissements utilisant des

moteurs brushless AC (alimentés en courant alternatif). Pour que les boucles d'asservissement aient la plus large bande passante possible, pour permettre une rotation sans à-coup à très basse vitesse, les mesures de vitesse et de position du moteur doivent être faites avec le maximum de résolution et de précision.

Toute servocommande avec moteur brushless comporte un capteur de position monté sur

l'arbre. Ce capteur de position joue un rôle très important dans la boucle d'asservissement car ses indications sont utilisées pour réaliser la commande de vitesse/position mais aussi pour contrôler le couple. L'asservissement comporte en effet deux boucles : l'une pour la vitesse/position, l'autre pour le couple (voir schéma "Asservissement d'un moteur brushless"). L'amplitude du courant appliqué au moteur permet de commander le couple tandis que la phase du courant est liée à la position du rotor (commutation du courant).

Le choix du capteur dépend des besoins de l'application : les modèles les plus fréquemment rencontrés sont les résolveurs, les codeurs incrémentaux et les codeurs sinusoïdaux. Chacun a trouvé un champ d'application privilégié.

Les résolveurs sont surtout utilisés dans les applications de robotique. Ils sont très robustes et fournissent une valeur de la position absolue du moteur. Ces informations sont indispensables pour permettre aux organes de la boucle d'asser-

vissement de couple d'appliquer les courants de commutation du moteur et à la boucle d'asservissement de vitesse/position de contrôler la vitesse et la position du moteur.

Les codeurs sont surtout utilisés sur les machines-outils, et plus particulièrement les machines de tournage et d'usinage où une grande précision est requise. Ils sont également utilisés sur les entraînements directs (rotatifs ou linéaires), où la charge est directement montée sur la partie mobile du moteur. Dans ces cas-là, comme il n'y a pas de réducteur, il faut un grand nombre d'impulsions par tour pour obtenir la mesure de la position avec la précision nécessaire.

Il faut noter que si les codeurs sont de type incrémental, il faut disposer de signaux supplémentaires (afin de pouvoir assurer la commutation du courant du moteur brushless), qui peuvent être fournis par exemple par un détecteur de la position des aimants du moteur à la mise sous tension (rappelons que le moteur brushless est un moteur synchrone à aimant permanent).

L'essentiel

- ▶ Les moteurs brushless CA sont très réputés pour leurs performances en asservissement
- ▶ Les asservissements numériques posent avec plus d'acuité la question du choix du capteur le mieux adapté
- ▶ La technique de numérisation des signaux des capteurs doit être choisie avec soin
- ▶ En terme de performances, le codeur avec sorties sinusoïdales et impulsions est de loin le mieux placé

Pour évaluer l'aptitude de ces capteurs à remplir les exigences d'une application, il faut examiner une à une les besoins de l'application en termes de résolution, précision, linéarité, type de mesure de position (absolue ou relative), temps de réponse (retard de la mesure), sensibilité au bruit électrique, gamme de température, sensibilité aux chocs mécaniques et aux vibrations, ainsi que le nombre de connexions nécessaires.

Les résolveurs, les plus robustes

Le résolveur est un capteur de position couramment utilisé avec les servomoteurs brushless. Les résolveurs sont, pour simplifier, des transformateurs tournants constitués d'une bobine rotor et de deux bobines stator. L'excitation primaire (une tension sinusoïdale comprise entre 4 et 8 kHz) fournie à l'enroulement du rotor constitue le signal de référence. Les tensions induites dans les deux enroulements orthogonaux du stator ont une forme sinusoïdale (elles sont décalées de 90°, d'où le nom de sinus et cosinus) qui restitue la position angulaire de l'arbre quand le rotor tourne. Le résolveur est donc un composant électromécanique, capable de fonctionner dans une large plage de température. C'est aussi un capteur de position fiable et robuste pour les environnements difficiles. De plus, il donne une information de position absolue, condition indispensable pour la commutation d'un servomoteur brushless.

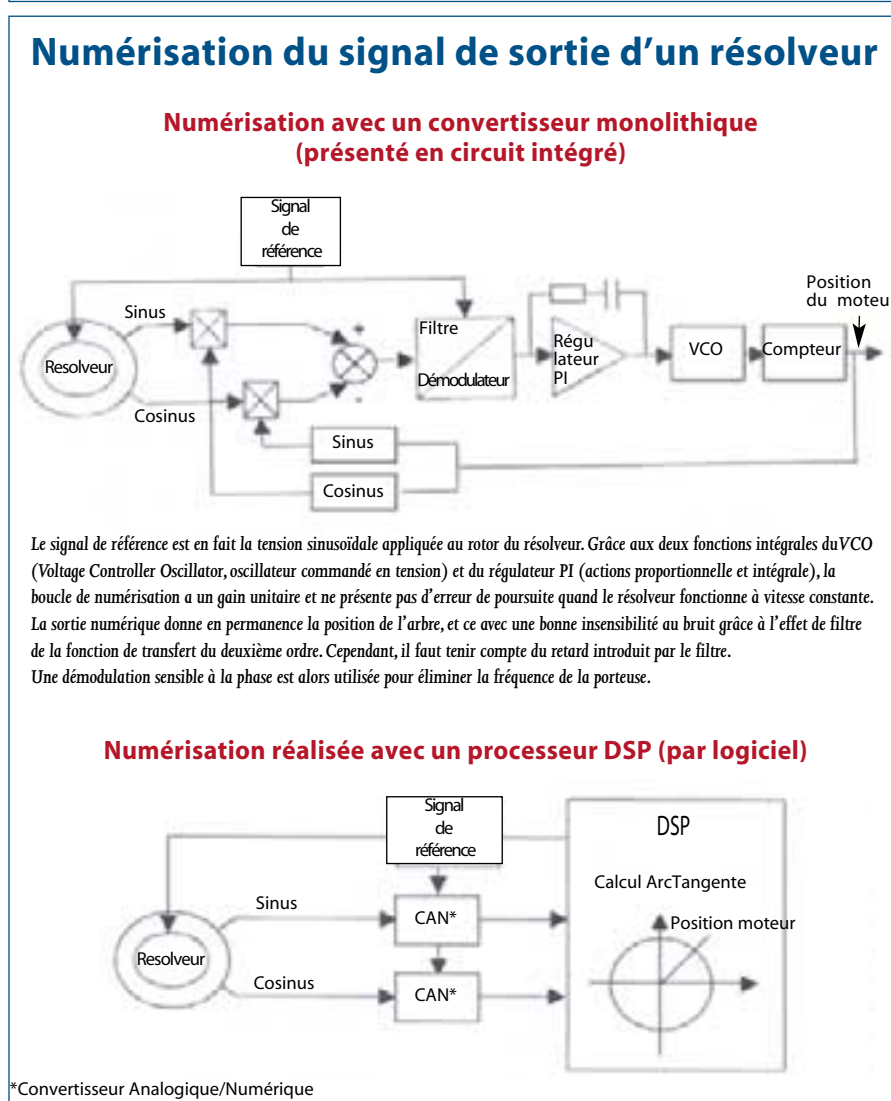
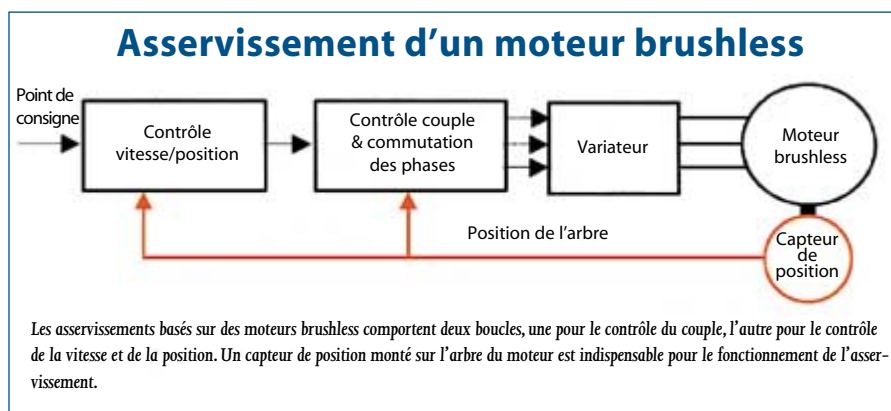
Pour obtenir la valeur numérique de la position angulaire, il existe deux approches possibles (voir schémas "Numérisation du signal de sortie d'un résolveur"). La première consiste à utiliser un convertisseur RDC (Résolveur to Digital Conversion) monolithique.

Numérisation avec un convertisseur RDC.

Les tensions sinus et cosinus des enroulements du stator, modulées par la position angulaire de l'arbre, sont appliquées au RDC monolithique. Dans ce cas, le RDC monolithique fonctionne en mode "poursuite". Cette technique de conversion fournit une sortie numérique avec une bonne immunité au bruit. Cependant, il faut tenir compte du retard introduit par le filtre présent à l'intérieur du convertisseur RDC.

Numérisation avec un processeur DSP.

La conversion de la position peut aussi être obtenue en utilisant une approche logicielle basée sur un processeur DSP (Digital Signal Processor). Dans ce cas, les tensions en sinus et cosinus des enroulements secon-

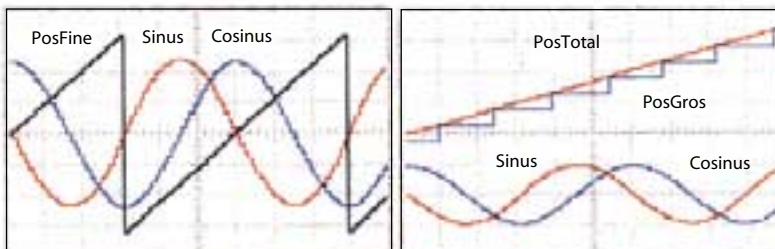
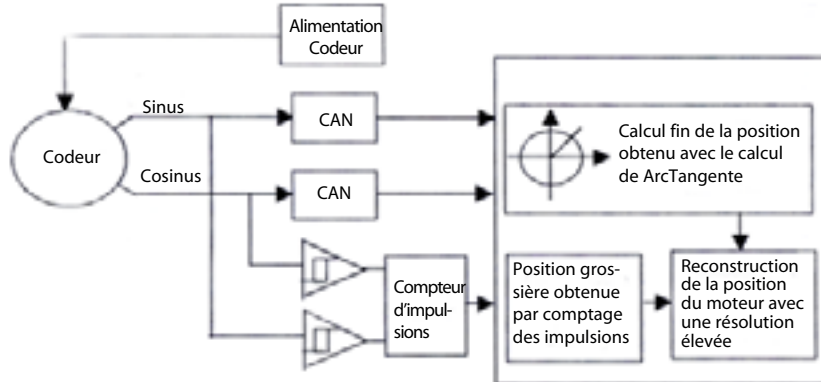


naires du résolveur sont appliquées à deux convertisseurs analogique/numérique. Pour être sûr de ne pas perdre d'information, ces signaux sont échantillonnés au double de la fréquence du signal d'excitation (théorème de Shannon). Quant aux instants d'échantillonnage, ils doivent être synchronisés avec les pics positifs et négatifs de l'onde sinusoïdale d'excitation, de façon à pouvoir réaliser la démodulation (élimination de la porteuse). A partir de là, le DSP applique la fonction "inverse d'arc tangen-

te" sur les échantillons de sinus et cosinus du résolveur et en déduit la position de l'arbre du moteur.

La résolution obtenue sur la position numérique dépend de la résolution des convertisseurs analogique/numérique (12 ou 16 bits). La valeur de la vitesse est dérivée de la valeur de la position. Du coup, une erreur de quantification sur le calcul de la position entraîne un bruit sur le calcul de la vitesse. Dans ce cas, compte tenu du gain élevé de la boucle de régulation

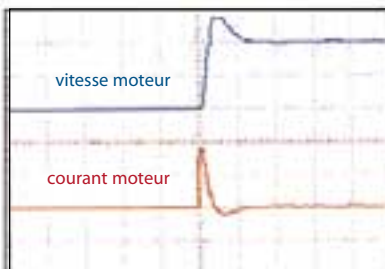
Numérisation du signal de sortie d'un codeur incrémental sin/cos



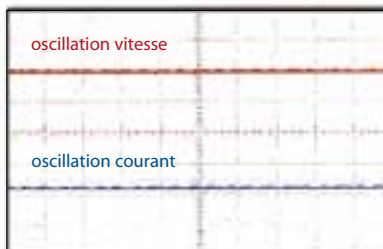
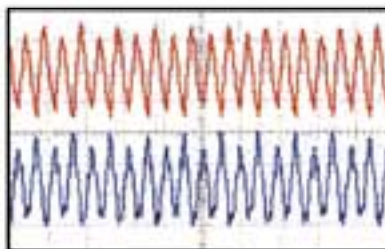
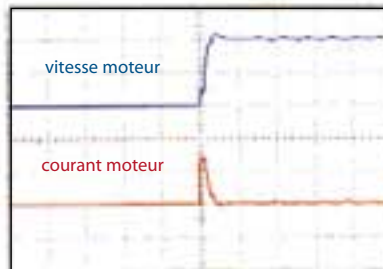
En utilisant à la fois la sortie sinus/cosinus et la sortie impulsions du codeur, il est possible d'obtenir une numérisation très précise de la position de l'arbre du moteur.

Comparatif résolveur/codeur

Résolveur avec convertisseur



Codeur sin/cos



Comme on le voit ici, les codeurs angulaires avec sortie sinusoïdale numérisée permettent un contrôle de la vitesse beaucoup plus performant que les résolveurs avec numérisation par circuit intégré.

“vitesse”, le bruit qui affecte la mesure de la vitesse est transféré au courant moteur.

Un filtre numérique de poursuite du second ordre peut améliorer la résolution de la position numérique obtenue par le calcul de l'arc tangente, mais le retard introduit par le filtre limite la bande passante de la boucle d'as-

servissement vitesse/position et donc la plage de vitesses qui pourra être contrôlée (il devient difficile de faire des asservissements pour des vitesses élevées).

La précision de la mesure de la position dépend principalement de la précision de montage lors de la fabrication du résolveur (assemblage de l'enroulement de la bobine

et excentrement lors du montage du rotor et du stator), mais aussi de l'erreur de conversion RDC. Pour les résolveurs standards, l'erreur “électrique” due au manque de précision de la fabrication du résolveur est d'environ ± 8 minutes d'arc. L'erreur de conversion RDC est due aux erreurs de zéro des convertisseurs analogiques/numériques et aux différences de gain entre les canaux sinus et cosinus. L'erreur globale dans la valeur de la mesure de position pour un asservissement basé sur un résolveur est généralement de ± 15 minutes d'arc. L'erreur sur la valeur de la position se traduit par une erreur sur la valeur de la vitesse : et plus la vitesse est élevée, plus l'erreur est importante.

Les codeurs, les plus précis

Les codeurs incrémentaux et les codeurs sinusoïdaux utilisent tous deux des techniques similaires de balayage optique. La lumière émise par une DEL (diode électroluminescente) passe à travers un disque en rotation (solidaire de l'axe du moteur) comportant des marques fixes transparentes et opaques, et arrive sur un réseau de photodiodes. Quand l'axe du codeur tourne, les différentes marques passent devant les photodiodes et le signal délivré se présente sous la forme d'une succession d'impulsions (en fait, un signal carré) dont la période est représentative de la vitesse (la période correspond à deux zones successives transparentes et opaques). Le nombre de paires de marques opaques et transparentes régulièrement espacées sur la circonférence du disque correspond à la résolution du codeur. La précision de la mesure de la position dépend essentiellement de la précision de l'assemblage mécanique du codeur (notamment de l'excentrement du montage du disque ou de l'optique). Cette valeur est en général inférieure à un pas du disque tournant, de sorte que la précision du codeur dépend de sa résolution (soit un quart de la période du signal). Par conséquent, pour un codeur incrémental avec une résolution de 2048 pas (nombre de périodes du signal de sortie sur un tour), l'erreur de la mesure de position est d'environ 3 minutes d'arc : elle est donc nettement plus faible que celle d'un système d'asservissement basé sur un résolveur. Mais les codeurs incrémentaux ont un inconvénient : comme la mesure est obtenue en comptant le nombre de périodes du signal de sortie à partir du moment où le capteur est mis sous tension, ils fournissent une mesure relative (si on ne connaît pas la posi-

tion du moteur au démarrage, il est donc impossible de connaître la position de l'arbre). Pour les utiliser dans une application d'asservissement, il est nécessaire de prévoir un dispositif d'alignement magnétique (des aimants du moteur) lors de chaque mise sous tension.

Si les exigences spécifiques à l'application (par exemple lorsque le moteur est équipé d'un frein ou est en prise avec une charge) empêchent l'utilisation d'un tel dispositif d'alignement, il faut utiliser des moteurs brushless équipés de capteurs à effet Hall montés dans le boîtier du moteur. Ces capteurs sont utilisés à la mise sous tension de façon à démarrer le moteur en commutation de type "120 degrés". Le système d'asservissement de couple bascule ensuite dans le mode de commutation sinusoïdale.

Les codeurs absolus, comme leur nom l'indique, mesurent la position absolue de l'arbre du moteur et ils sont donc bien adaptés aux asservissements avec servomoteurs brushless. Mais ces solutions sont plus onéreuses que les codeurs incrémentaux et le nombre

de signaux à connecter est également plus important (risque de défaillance plus élevé).

Les codeurs avec sortie sin/cos. Pour parvenir à de meilleures résolutions avec un codeur incrémental, il est nécessaire d'augmenter le nombre de points par tour. Mais, aux vitesses de rotation élevées, la fréquence (nombre de périodes par seconde) du signal de sortie du codeur devient très élevée et l'électronique du système d'asservissement "n'arrive pas à suivre". C'est la raison pour laquelle les codeurs incrémentaux avec sorties sinus/cosinus sont souvent préférés aux codeurs incrémentaux classiques; dans ce cas, l'information de la position est tout le temps disponible et l'électronique de l'asservissement peut calculer la valeur de la position à l'intérieur d'une période de la résolution de base. Cette caractéristique permet d'obtenir une mesure de position avec une résolution très élevée (supérieure à 1 million d'incrément par tour) avec un plus petit nombre de périodes par tour.

La valeur de la position est obtenue par le calcul de l'arc tangente, après conversion des

signaux sinus/cosinus avec des convertisseurs analogique/numérique (comme pour la numérisation des signaux sin/cos des résolveurs). Cette information est alors combinée avec l'indication délivrée sur la sortie "impulsions" du codeur de façon à obtenir une information plus précise sur la position. Cette technique est également appelée interpolation fine de la position.

Les essais montrent sans ambiguïté que les codeurs incrémentaux avec sorties sin/cos permettent de réaliser des asservissements beaucoup plus performants que les asservissements réalisés avec des résolveurs ou avec des codeurs à sortie impulsionnelle. La précision, le temps de réponse, la bande passante et la robustesse sont nettement améliorés.

Dominique Jouve et Duy Bui
Infranor*

***Infranor**
3, avenue Louis Delage
91310 Linas
Tél. : 01 69 63 35 15 - Fax : 01 69 63 35 16
infranor@infranorfrance.com
