

ENTRAÎNEMENT

Les variateurs et moteurs à continu n'ont pas dit leur der



En plus de vingt ans, les moteurs à courant continu ont démontré leur simplicité et leur fiabilité. Ils ont fait leurs preuves dans l'industrie. On croyait leur extinction programmée, il y a quelques années, avec l'apparition des moteurs à courant alternatif qui ne nécessitent aucun entretien. Toutefois, le choix de ce type d'entraînement se justifie encore pour certaines applications. Coût inférieur à puissance égale et encombrement moindre sont autant d'avantages par rapport à une motorisation asynchrone.

Les ensembles moteurs - variateurs à courant alternatif ont peu à peu supplanté leurs homologues à courant continu. Ces derniers représentent aujourd'hui une infime proportion du parc installé. L'absence d'entretien des moteurs à courant alternatif a converti la quasi-totalité des fabricants et des utilisateurs à cette technologie.

Rappelons en effet que les solutions à base de courant continu comprennent des pièces d'usure (l'ensemble balais - collecteur) qu'il faut changer régulièrement pour conserver un système en bon état de fonctionnement. Cependant, les moteurs et variateurs à courant alternatif ne peuvent pas couvrir une gamme de puissances aussi large que les systèmes à courant continu, notamment en ce qui concerne les fortes puissances. Il est difficile, ou onéreux, de se procurer des moteurs alternatifs capables de développer plus de 280 kW. Pour les applications "lourdes", les systèmes d'entraînement à courant continu se justifient encore. Industries de la métallurgie, gros systèmes de levage ou d'enroulage sont autant de marchés qui

ont besoin de ces produits particuliers, souvent même dans des versions sur mesure. C'est pourquoi certains constructeurs continuent d'investir en recherche et développement afin d'améliorer les performances, et maintiennent toujours des gammes de produits à courant continu pour ces applications de niche. « Et ceci avec un certain succès, assure Joseph Puglisi, directeur général de Gefran France SA, puisque notre activité d'entraînement à base de courant continu connaît une progression de l'ordre de 10 % par an ces dernières années. »

Quelles différences entre machine à courant continu et asynchrone ?

Tout d'abord, rappelons les spécificités de ces deux technologies. Un moteur à courant continu est un moteur dont le rotor est entraîné par un champ magnétique tournant dans le stator (il peut être généré par un bobinage ou par un aimant permanent). Le rotor est alimenté par le stator, qui lui transmet du courant continu par l'intermédiaire de balais. Ces balais glissent sur une bague du rotor appelée collecteur. Le champ magnétique présent dans le rotor (lui aussi est équipé de bobines) est perpendiculaire au flux du stator, et est attiré par l'un ou

l'autre des pôles du stator selon le sens du courant. C'est la raison pour laquelle on appelle ces moteurs des machines "synchrone". Cela implique que, pour un ensemble moteur - variateur à courant continu, la vitesse et le couple du moteur sont directement proportionnels à la tension et au courant fournis par le variateur.

Sur un moteur à courant alternatif, le rotor est également entraîné en rotation par un champ magnétique induit par le stator. Mais ici le champ induit tourne à une fréquence plus élevée que celle du rotor. C'est pourquoi ces moteurs sont dits "asynchrones". Ce décalage entre les vitesses de rotation est appelé glissement. L'électronique de contrôle incluse dans le variateur est donc beaucoup plus complexe : il s'agit de concevoir des algorithmes pour modéliser le comportement électromagnétique du stator et du rotor, tout en sachant qu'il n'y a aucun lien électrique ou mécanique entre le variateur et le rotor.

Au regard de ces problématiques, la variation de vitesse à courant continu peut être considérée comme une technologie mettant en jeu des principes physiques relativement "simples". Principalement en raison du rapport direct qui existe entre la tension et la

vitesse, et entre le courant et le couple. Il est ainsi beaucoup plus simple de réaliser des applications de traction à vitesse constante ou à couple constant. De plus, avec un variateur à courant continu, il est possible de générer ponctuellement un "sur couple" (de 1,6 à 2 fois la

L'essentiel

- ▶ Les moteurs et variateurs à courant continu ne sont pas systématiquement remplacés par des systèmes à courant alternatif
- ▶ Certaines applications, comme le levage ou l'enroulage, tirent parti des fortes puissances disponibles et de la régularité du couple et de la vitesse
- ▶ Les coûts de maintenance des balais n'influent pas sur le bilan économique d'une solution d'entraînement à courant continu



Le produit phare de la gamme Gefran pour la variation de vitesse à courant continu est le TP032. Il peut prendre en charge le contrôle de moteurs jusqu'à 5 MW.

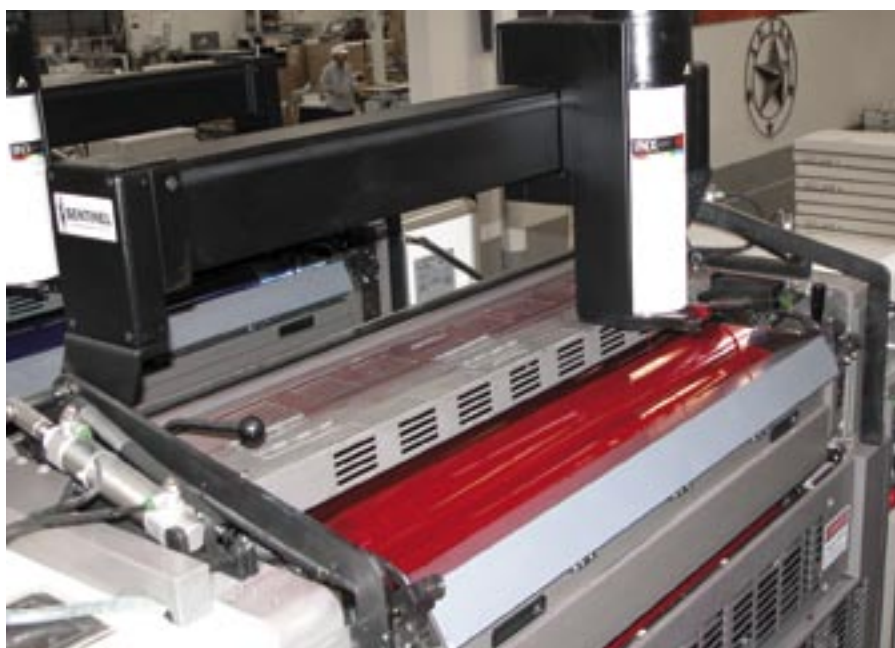
courant nier mot

valeur du couple nominal). Cela évite d'avoir à surdimensionner l'entraînement vis-à-vis de son application. Autre avantage non négligeable: le travail à couple constant est possible sur toute la gamme de vitesse (depuis l'arrêt jusqu'à la vitesse nominale). Le "défluxage" est une autre particularité des moteurs à courant continu. Cela consiste à réduire le flux (par la diminution du courant d'excitation, et donc du champ magnétique induit par le stator) afin de pouvoir augmenter la vitesse moteur. De plus, les variateurs à quatre quadrants, qui ne représentent pas un investissement beaucoup plus important que ceux à deux quadrants, offrent quant à eux des possibilités de freinage avec récupération de l'énergie. Grâce à ces variateurs, les moteurs à courant continu peuvent être "inversés". Lors du freinage, ils cessent alors d'être des moteurs pour devenir des générateurs. Et le freinage permet de réinjecter du courant dans le réseau. Enfin, toujours en raison de la relative simplicité de ces systèmes, l'encombrement est moindre aussi bien pour un variateur que pour un moteur à courant continu en comparaison avec un moteur à courant alternatif, à puissance égale.

Les points forts

Cette simplicité de conception fait des ensembles moteurs - variateurs à courant continu des systèmes mécaniques d'une grande fiabilité. Et cela malgré l'usure de l'ensemble balais - collecteur: « La présence de ces pièces d'usure n'est nullement un facteur de réduction de la durée de vie, commente Julien Gallienne, responsable de l'activité Motion chez Gefran pour le Nord-Ouest de la France. En met- →

Trois exemples d'applications typiques de la variation de vitesse à courant continu: une machine d'enroulage pour film plastique transparent, une machine rotative d'imprimerie et une chaîne de tréfilage de câbles.





Les moteurs à courant continu peuvent développer des puissances et des couples beaucoup plus élevés que les moteurs asynchrones. C'est pourquoi on les utilise dans toutes les industries "lourdes".
Ci-dessus : une grue de chantier naval et des ponts de levage pour l'industrie aéronautique.

→ tant en place des contrôles simples et réguliers des balais et de la patine (l'état de surface des collecteurs dû au carbone déposé par les balais), il est très aisé de maintenir un moteur à courant continu en parfait état pendant de nombreuses années. Il est

d'ailleurs tout à fait fréquent de voir fonctionner des machines pendant plus de trente ans sans avoir à effectuer d'autres interventions que cette maintenance de base. » Cela n'empêche pas les moteurs et variateurs à courant continu de demeurer une solution compétitive. « En effet, bien que la maintenance doive être prise en compte lors de l'estimation des coûts de fonctionnement, le courant continu reste souvent la solution la plus économique, poursuit Joseph Puglisi. Et cela se vérifie à mesure que l'on tend vers les applications nécessitant de fortes puissances. »

Pour quelles applications ?

Fortes puissances, couples de démarrage importants et capacités de freinage : on constate que les moteurs à courant continu ne se destinent pas aux "petites" applications d'automatismes telles que les systèmes de positionnement ou de convoyage. Aujourd'hui, on les retrouvera dans les applications d'enroulage à fort rendement, pour les industries du carton, du papier ou du plastique. Le levage est une autre cible privilégiée, avec de nombreuses applications dans les chantiers na-



Les remontées mécaniques sont également toutes équipées de motorisations à courant continu. Plus que de la puissance, on recherche ici un couple pour faire monter les skieurs aux sommets des pistes.



L'ensemble balais - collecteur : un point critique pour la maintenance

L'élément critique d'un moteur à courant continu est l'ensemble balais - collecteur. Il compte pour beaucoup dans l'abandon du courant continu au profit du courant alternatif. En effet, la durée de vie d'un moteur est déterminée par l'usure des balais et par la qualité de la couche de patine (dépôt de carbone) qui recouvre le collecteur. Dans le cas d'une usure importante des balais, il y a un risque que l'isolation des bobinages du rotor se détériore. Et cette baisse d'isolation a le plus souvent pour conséquence une dégradation de la commutation et de la rotondité du collecteur, ce qui augmente encore l'usure des balais. Ainsi, un moteur qui n'est pas suffisamment contrôlé et inspecté a toutes les chances de se dégrader très rapidement. Sur tout moteur à courant continu, il faut faire en sorte d'obtenir au plus vite une patine convenable. Car c'est seulement une fois qu'une fine couche de carbone est formée sur le collecteur que les balais alimentent longtemps le rotor sans s'user. Usure qui détermine directement la durée de vie du moteur. Voici les différents facteurs pouvant empêcher la formation d'une patine convenable :

Facteurs mécaniques :

- Les vibrations : un mauvais équilibrage du moteur ou du châssis sur lequel il est installé empêchent le carbone d'adhérer au métal du collecteur
- Une mauvaise rotondité du collecteur, voire une instabilité mécanique (il est inutile de chercher à améliorer une commutation sur un moteur ayant un collecteur déformé ou instable)

Facteurs électriques :

- Densité de courant insuffisante sous les balais
- Fonctionnement à faible charge
- Courant d'alimentation de mauvaise qualité (discontinuité de l'alimentation, par exemple, ou déséquilibre des arches de courant)
- Moteur ayant des difficultés de commutation

Facteurs environnementaux :

- Température du collecteur (trop faible ou trop élevée), hygrométrie, altitude
- Collecteur soumis à des agressions chimiques
- Poussières et autres pollutions liées aux conditions d'utilisation.

vals, par exemple. Car seul un moteur à courant continu peut "arracher du sol" une structure entière de bateau ! Les industries de la métallurgie sont concernées par ce type de solutions. On y trouve fréquemment des moteurs à courant continu pour les machines de refendage (découpe de tôles pour raccourcir la largeur d'une bobine), de laminage (réduction de l'épaisseur d'une tôle par compression entre deux rouleaux), de tréfilage (réduction de la section d'un fil métallique par traction mécanique), sans oublier les machines d'imprimerie où la synchronisation entre les rouleaux et la ré-

gularité de l'entraînement sont primordiales. Bien entendu, le marché du remplacement de moteurs demeure une activité importante pour les fabricants qui continuent à proposer des systèmes à courant continu. Il peut s'agir de rénover les moteurs de machines-outils anciennes, ou plus simplement de remplacer un moteur cassé. Pour finir, un autre exemple d'application pour laquelle les moteurs à courant continu sont couramment utilisés est le marché des remontées mécaniques. Ce sont ici encore des applications lourdes, car l'ensemble câbles - cabines - skieurs représente un poids très important.

La régulation d'un moteur à courant continu

Pour les applications d'enroulage, pour lesquelles les moteurs à courant continu sont particulièrement indiqués, la régulation s'effectue de deux manières. L'une des solutions consiste à utiliser un capteur de tension, aussi appelé "pantin". Le pantin vient appuyer sur le fil, le film ou la tôle à enrouler, à la manière du galet tendeur d'une courroie de distribution automobile, à cette différence que ses déplacements sont mesurés et envoyés au variateur ou à l'automate. Ce dernier applique une régulation PID classi- →

Gefran a fait ses calculs...

Exemple de coût : entraînement à vitesse variable de 250 kW, variateurs à 4 quadrants, utilisation : 5 000 heures / an pendant 10 ans.

Investissement initial

Courant continu :

Prix du moteur : 13 000 €

Prix du variateur : 7 000 €

Coût total de l'investissement :

20 000 €

Courant alternatif :

(Moteur de 350 kW, le déclassement étant obligatoire

en raison de l'échauffement) :

Prix du moteur : 8 000 €

Prix du variateur : 25 000 €

Coût total de l'investissement :

33 000 €

Maintenance

Courant continu :

Remplacement des balais tous les 10 000 h, soit 5 fois en 10 ans

Prix par remplacement :

700 € le jeu + 3 h de MO = 880 €

Coût total de maintenance

sur 10 ans : 4 400 €

Courant alternatif :

Remplacement du moteur asynchrone à 25 000 h (durée de vie d'un moteur asynchrone sur variateur) : 8 000 €

Remplacement des condensateurs du bus continu sur variateur

(7 ans de durée de vie moyenne) :

10 000 €

Coût total de maintenance

sur 10 ans : 18 000 €

Prix global de l'entraînement sur une période de référence 10 ans :

Variateur + moteur à courant

continu : 24 400 €

Variateur + moteur asynchrone :

51 000 €

Les résultats ne se vérifient sans doute pas dans tous les cas de figure. Mais selon le fabricant italien, pour ce type d'application, la solution avec moteur à courant continu est plus avantageuse financièrement tout en apportant une performance d'utilisation supérieure.

→ que (Proportionnelle Intégrale Dérivée) pour contrôler le couple délivré par le moteur, et ainsi garder la tension de fil la plus constante possible.

L'autre méthode, que l'on appelle régulation par calcul du diamètre, fait davantage appel à l'électronique du variateur de vitesse. Il s'agit de mesurer la vitesse moteur (tous sont équipés de tachymètres) et la vitesse de la ligne (ici le fil, le film ou la tôle). La librairie "servo-diamètre", qui équipe la plupart des variateurs de vitesse à courant continu, se charge ensuite de la comparaison de ces données pour en déduire le diamètre de la bobine et donc le couple moteur le plus adapté. Cette technique permet au variateur de savoir s'il s'agit du début ou de la fin d'une bobine. Il est donc capable, une fois convenablement paramétré, d'effectuer des programmes prédéfinis pour les phases de démarrage et de fin (accélération et décélération progressives). Mais ce n'est pas tout. Grâce à cette fonctionnalité de calcul du diamètre, beaucoup d'autres paramètres sont

accessibles. On retrouvera en tant que paramètres d'entrée de la régulation : les jeux du système à vide, la densité du produit à enrouler, la largeur de la bobine (ou "laize"). Une fois ces paramètres renseignés, le variateur est capable de connaître à chaque instant le poids à entraîner en rotation, et donc de calculer les compensations d'inertie à appliquer (l'inertie augmente à mesure que la bobine grossit). Tous ces paramètres sont très importants lorsqu'il s'agit d'applications d'enroulage ou de déroulage de précision, pour du papier mince ou des films thermoplastiques, par exemple. Car il faut tenir compte de l'inertie des différentes pièces de la machine et des pertes qu'impliquent les jeux de fonctionnement de la mécanique. Et une fois tous les paramètres réglés convenablement, le variateur est à même de définir exactement la bonne tension à appliquer à chaque instant.

**Frédéric Parisot,
d'après Joseph Puglisi
de Gefran France**

La société Gefran France SA

Gefran, groupe familial international, est spécialisé dans le développement et la vente de variateurs de vitesse (à courant continu et alternatif), d'automates programmables, d'interfaces homme machine, de modules d'Entrées/Sorties, de progiciels de supervision et de contrôle-commande, de régulateurs et indicateurs, d'instrumentation, et de capteurs et transmetteurs (pression, force, position humidité relative). Le groupe a un effectif de 720 personnes environ, et dégage un chiffre d'affaires de plus de 100 millions d'euros. Son siège est basé en Italie, au nord de Milan. Les centres de production sont répartis entre l'Italie, la France, l'Allemagne, les Etats-Unis et la Chine. Gefran possède également des filiales au Royaume-Uni, au Benelux, en Suisse et au Brésil. Enfin, la filiale française, qui regroupe équipes commerciales et d'expertise technique, est située à Lyon.

