

# DTC: une technique de contrôle moteur tout terrain

# DTC : une technique de contrôle moteur tout terrain

Les variateurs de vitesse (VSD) ont permis d'obtenir des performances sans précédent pour les moteurs électriques et ont fait réaliser des économies d'énergie spectaculaires en associant la vitesse et le couple du moteur et les exigences réelles de la charge entraînée. La plupart des variateurs sur le marché s'appuient sur un étage modulateur qui conditionne les entrées de tension et de fréquence au moteur, mais qui cause un retard inhérent dans le traitement des signaux de commande. En revanche, les VSD premium d'ABB utilisent un contrôle de couple direct (DTC) – une technologie innovante créée par ABB –, ce qui augmente considérablement la réponse du couple moteur. De plus, le DTC comporte d'autres avantages et s'est développé en une marque technologique plus vaste qui comprend du matériel de variateurs, des logiciels de contrôle et de nombreuses fonctionnalités au niveau du système.

Les moteurs électriques sont souvent le fer de lance des systèmes de production modernes, qu'il s'agisse de chaînes de transformation des métaux, de cellules d'usinage robotique ou de systèmes d'automatisation dans les bâtiments et les bureaux. Les moteurs que nous voyons aujourd'hui ont sans aucun doute profité des avancées en matière de matériaux électriques, d'efficacité de la fabrication et d'outils d'analyse. Cependant, les principes de leur conception n'ont pas changé au cours des 100 dernières années dans le cas du puissant moteur asynchrone (ou à induction) à courant alternatif (CA). En fait, la performance remarquable de ces moteurs dans les applications actuelles provient des contrôles électroniques modernes – les variateurs de vitesse (VSD) – et des modèles de moteurs précis, dont les algorithmes de contrôle sophistiqués peuvent être exécutés rapidement par des processeurs de signaux numériques à haute performance. De plus, le développement des VSD a permis l'utilisation des nouvelles technologies des moteurs CA comme les moteurs synchrones à aimants permanents et les moteurs à réticulation synchrone.

À l'origine, ce sont les moteurs à courant continu (CC) qui attiraient l'attention des développeurs de variateurs. Possédant une histoire encore plus longue que leurs cousins CA, les moteurs CC offraient un contrôle de couple et de vitesse intrinsèquement simple. Cependant, le coût plus élevé des moteurs, la construction plus complexe avec un commutateur mécanique et les problèmes d'entretien des brosses n'étaient que quelques-uns des compromis associés aux moteurs CC.

Les moteurs CA à induction offraient une construction plus simple et plus robuste et un coût réduit, et posaient

moins de problèmes d'entretien – des caractéristiques qui menèrent à leur utilisation en masse avec une immense base installée dans le monde entier. Cependant, le contrôle des moteurs à induction s'avéra complexe. Le contrôle précis de la vitesse, et particulièrement le contrôle du couple, resta un objectif hors de portée pour les premiers variateurs CA. Naturellement, l'objectif des premiers concepteurs était d'imiter dans les variateurs CA le contrôle simple du couple moteur des variateurs CC à l'aide d'un courant d'armature. Au fil du temps, la conception des variateurs CA a évolué, offrant une performance dynamique améliorée. (Une discussion récente et notable sur les différentes méthodes de contrôle disponibles pour les variateurs CA est reprise dans la Réf. 1.)

La plupart des VSD à haute performance des années 1980 s'appuyaient sur la modulation de largeur d'impulsion (MLI). Cependant, une conséquence de l'utilisation d'un étage modulateur est le retard et la nécessité de filtrer les courants mesurés lors de l'exécution de commandes de contrôle du moteur – ralentissant ainsi la réponse du couple moteur.

En revanche, ABB choisit une approche différente du contrôle des moteurs CA à haute performance. Les variateurs CA d'ABB conçus pour des applications exigeantes utilisent en effet une technologie innovante appelée le contrôle de couple direct (DTC). Cette méthode contrôle directement le couple moteur au lieu d'essayer de contrôler les courants de manière analogue aux variateurs CC. Cela entraîne une meilleure précision pour répondre aux exigences de charge du système entraîné. Crée par l'une des sociétés fondatrices d'ABB et breveté au milieu des années 1980, le DTC élimine également le besoin de recourir à un étage de modulation supplémentaire, ce qui permet

donc d'atteindre une dynamique de régulation proche du maximum théorique. ABB a introduit son premier variateur industriel CA avec le contrôle de couple direct sur le marché en 1995 (Réf. 2).

En principe, le DTC était déjà une technologie de pointe en 1995, mais les développements ultérieurs de la puissance de calcul des processeurs, des interfaces de communication, de la programmation des applications, etc., ont permis une performance supérieure, offrant un contrôle moteur privilégié pour une large gamme d'applications.

### Pourquoi utiliser le DTC ?

La réponse de couple supérieure n'est qu'une des fonctionnalités du DTC. La technologie offre d'autres avantages pour les clients, notamment :

- L'absence de besoin de retour de position ou de vitesse du moteur dans 95 % des applications. Ainsi, il est possible d'éviter l'installation de codeurs ou d'autres dispositifs de retour coûteux.
- Le contrôle DTC est disponible pour différents types de moteurs, notamment les moteurs à aimants permanents et les moteurs à réluctance synchrone.

- Un contrôle précis du couple et de la vitesse à de faibles vitesses, ainsi que le démarrage complet du couple au régime zéro.
- Une excellente linéarité du couple.
- Une précision de la vitesse statique et dynamique élevée.
- L'absence de fréquence de commutation prédéfinie. La commutation de transistor optimale est déterminée pour chaque cycle de contrôle, ce qui permet au variateur de correspondre aux exigences de la charge entraînée plus aisément.

Dans une perspective plus large, les avantages du DTC s'étendent aux logiciels, aux interfaces utilisateur, à l'entretien et aux fonctionnalités au niveau du système.

Comme son nom l'indique, le DTC cherche à contrôler directement le débit du moteur et le couple, au lieu d'essayer de contrôler indirectement ces variables comme le font les variateurs CC et les variateurs CA contrôlés par vecteur. Des boucles séparées de contrôle du couple et de la vitesse font partie du système DTC complet, mais elles fonctionnent ensemble de manière intégrée (voir la Fig. 1, Schéma fonctionnel du DTC).

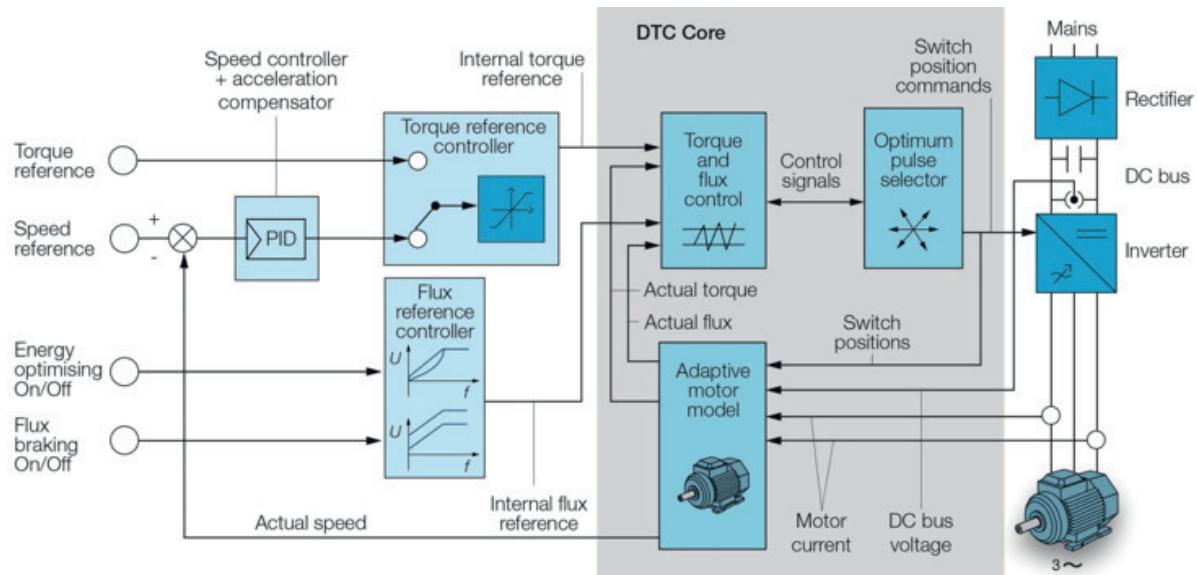


Figure 1 : principe de fonctionnement du DTC. Le cœur du DTC est la boucle de contrôle du couple, où un modèle de moteur adaptatif sophistiqué applique des algorithmes mathématiques avancés pour prévoir l'état du moteur. Les variables contrôlées primaires – le débit du stator et le couple moteur – sont estimées avec précision par le modèle du moteur à l'aide des entrées des courants de phase du moteur et des mesures de la tension du bus CC, ainsi que des états des transistors de commutation de l'alimentation dans le variateur. Le modèle du moteur calcule également la vitesse de l'arbre. La compensation de température aide à améliorer la précision des calculs sans encodeur.

Les paramètres supplémentaires du moteur sont transmis automatiquement au modèle adaptatif pendant le fonctionnement d'identification du moteur, au moment de la mise en service du variateur. Dans de nombreux cas, une bonne identification des paramètres du modèle peut s'effectuer sans faire tourner l'arbre du moteur. Pour régler en détail le modèle du moteur, ce qui n'est nécessaire que pour quelques applications très exigeantes, le moteur doit tourner, mais seulement pendant une courte durée et sans charge.

La résistance du stator (chute de tension) est le seul paramètre, facile à mesurer, nécessaire à l'estimation du débit magnétique du moteur. Le couple du moteur peut ensuite être calculé comme étant le produit vectoriel du débit estimé du stator et des vecteurs de courant du stator. Bien que la résistance du stator soit la source principale des erreurs d'estimation, son influence diminue avec l'augmentation de la vitesse et de la tension du moteur. Ainsi, le DTC possède une excellente précision du couple sur une large plage de vitesses. De plus, le DTC comporte des méthodes avancées pour minimiser les erreurs d'estimation à des vitesses de moteur peu élevées.

Les signaux de sortie du modèle du moteur – qui représentent le débit de stator et le couple moteur réels – se dirigent respectivement vers un comparateur de débit et un comparateur de couple (Fig. 1). Ces unités de contrôle séparées comparent leurs entrées à une valeur de référence pour le débit et le couple. Dès le milieu des années 1990, les premiers variateurs contrôlés par DTC effectuaient ces fonctions toutes les 25 microsecondes ( $\mu$ s) à l'aide d'un processeur de signal numérique (DSP) à haute puissance. Dans la dernière génération de contrôle, l'intervalle est réduit à 12,5  $\mu$ s, ce qui améliore encore la performance de contrôle. Chaque comparateur cherche à maintenir sa magnitude respective de vecteur de débit ou de couple sur une bande étroite d'hystérésis autour d'une valeur de référence. La réponse de couple rapide du DTC sans dépassement provient en partie de la capacité à minimiser ces fluctuations vectorielles. La réponse exceptionnelle du moteur est également due aux algorithmes de contrôle du DSP qui mettent à jour le modèle adaptatif de moteur au même taux de cycle élevé.

Les erreurs de débit et de couple – les différences entre les valeurs estimées et les valeurs de référence – et la position (ou secteur) angulaire du vecteur de débit du stator

sont utilisées pour calculer l'état du débit et du couple dans les contrôleurs d'hystérésis. Ensuite, ces valeurs d'état deviennent des entrées vers le sélecteur d'impulsion optimale, où le vecteur de tension optimale est sélectionné dans le tableau à consulter (Fig. 1). Ainsi, il est possible d'envoyer les impulsions de signaux les plus appropriées pour chaque cycle de contrôle aux commutateurs d'alimentation de l'inverseur afin d'obtenir ou de maintenir un couple moteur précis.

Une forme de logique programmable – appelée circuit intégré prédiffusé programmable (FPGA) – aide le DSP à déterminer la logique de commutation de l'inverseur et les autres tâches. Le FPGA permet de modifier le contrôle ou les mises à jour de la conception du variateur par rapport à un circuit intégré propre à une application (ASIC) qui, s'il est utilisé, nécessite le verrouillage de la conception. La boucle de contrôle de vitesse, qui compose le reste des blocs fonctionnels du DTC, est décrite dans l'Annexe 1.

## Indicateurs de performance

Le DTC fournit aux clients des fonctionnalités de performance supérieures par rapport aux méthodes de variateurs de la concurrence. Comme il s'agit d'une méthode de contrôle « sans capteur » (estimation de la vitesse au lieu de mesures) depuis les bases, les dispositifs coûteux de vitesse du moteur ou de retour sur la position ne sont pas nécessaires dans la plupart des cas. En fonction de la taille du moteur, une précision de vitesse statique de  $\pm 0,1\%$  est généralement obtenue. Pour les applications plus exigeantes, un variateur DTC équipé d'un encodeur standard (1 024 impulsions/tr) atteint généralement une précision de vitesse de  $\pm 0,01\%$ .

La précision de vitesse dynamique (intégrale de temps de la déviation de vitesse à un impact de charge de 100 %) est de 0,3-0,4 %s avec un équipement typique entraîné par le moteur. Avec un encodeur, la précision de vitesse s'améliore généralement jusqu'à 0,1 %s et correspond à la précision du servomoteur.

Le temps de réponse du couple à une étape de référence de couple de 100 % est généralement de 1 à 5 millisecondes (ms), ce qui approche de la limite physique du moteur. La répétabilité du couple dans la même commande de référence est généralement de seulement 1 % du couple nominal sur la plage de vitesses du variateur. En ce qui concerne le

contrôle à des vitesses de moteur très faibles, le DTC fournit un couple 100 % jusqu'en régime zéro – sans (ou avec) retour de vitesse, ainsi qu'une fonction de contrôle de la position à l'aide d'un encodeur. Les valeurs de performance précédentes font référence au contrôle de moteur à induction en particulier.

### Au-delà des moteurs à induction

Le DTC fut d'abord développé pour les moteurs à induction CA en raison de leur popularité dans une multitude d'applications industrielles et commerciales. Il ne fait aucun doute que le rôle de « bête de somme » de la technologie des moteurs à induction prévaudra dans un avenir prévisible. Cependant, en quête d'une densité de puissance plus élevée et avec les réglementations internationales sur l'efficacité en pleine évolution, d'autres topologies de moteurs connaissent un regain d'intérêt.

Par exemple, la norme CEI 60034, partie 30 (Réf. 3) définit des classes d'efficacité internationales (IE), dont la plus élevée – IE4 (« super-premium efficiency ») – est en train de devenir difficile à atteindre pour les moteurs à induction. Une classe encore plus élevée, IE5, a été proposée, quoique sans précisions supplémentaires, dans la 2e édition approuvée de CEI 60034-30.

La bonne nouvelle, c'est que le DTC s'applique aussi bien aux autres types de moteurs, tels que les moteurs synchrones à aimants permanents (PM) et les moteurs à réductance synchrone (SynRM). La différence principale se manifeste au moment du démarrage du moteur. Contrairement aux moteurs à induction, les moteurs synchrones PM et les moteurs SynRM nécessitent que le système de contrôle estime la position du rotor au démarrage à partir de l'emplacement des pôles du rotor, si aucun capteur de position n'est utilisé.

Dans ces moteurs, l'absence de bobinages du rotor et l'effet de vitesse de glissement inhérent aux moteurs à induction réduisent considérablement les pertes. On atteint ainsi des gains d'efficacité. De plus, le fonctionnement synchrone signifie qu'une excellente précision de vitesse est atteinte, même sans capteur de vitesse ou de position. Ainsi, le capteur peut être mis de côté dans la plupart des cas, sauf dans les applications telles que les treuils et les palans, qui nécessitent un couple non nul à l'arrêt pendant des périodes prolongées.

Les aimants permanents sont fréquemment fixés à la surface externe du rotor. Cependant, une variante du moteur synchrone PM, la conception de rotor à PM internes (IPM), intègre les aimants dans la structure du rotor. Un composant de couple de réductance supplémentaire généré dans les moteurs IPM synchrones les rend intéressants pour les applications exigeantes. De plus, les aimants intégrés créent une saillance rotor-pôle très prononcée, ce qui permet une estimation de vitesse précise et améliore le mode de fonctionnement basique sans capteur du DTC.

En raison du taux couple-taille élevé du moteur, un système d'ensemble motopropulseur plus simple est possible lors de l'utilisation de moteurs synchrones à aimants permanents. Par exemple, un moteur à aimants permanents à faible vitesse entraîné directement peut éliminer la boîte de vitesses d'une machine de conditionnement.

De nombreuses applications pour les moteurs synchrones à aimants permanents comprennent les machines-outils, la propulsion marine, les éoliennes (générateurs) et les ventilateurs des tours de refroidissement des centrales électriques.

Un inconvénient partiellement économique des moteurs synchrones à aimants permanents est leur dépendance à ce que l'on appelle les matériaux d'aimants de terre rare pour une performance optimale. Le matériau de terre rare le plus utilisé est le composé néodyme-fer-bore. Les prix récents et les questions de fourniture mondiale des matériaux de terre rare ont créé des problèmes graves pour les fabricants d'équipements, allant bien au-delà des moteurs électriques (Réf. 4). C'est là que les moteurs à réductance synchrone fournissent une alternative.

ABB a inclus une gamme de packs de variateurs et de moteurs SynRM dans ses catalogues de produits, en partie pour anticiper des problèmes potentiels de fourniture d'aimants de terre rare (Réf. 5). Les moteurs à réductance synchrone ont une structure de stator similaire à celle des moteurs à induction. Cependant, le rotor se compose de laminages d'acier empilés sur un axe de manière à fournir une section transversale à quatre pôles – en alternant des axes hautement perméables (fer) et des axes faiblement perméables (air). Mais surtout, le rotor ne nécessite aucun aimant.

Les applications typiques des moteurs SynRM comprennent les pompes et les ventilateurs, où il existe une relation de couple quadratique (et donc une puissance cubique) avec la vitesse (voir ci-dessous).

Des versions du DTC modifiées pour les moteurs synchrones à aimants permanents et les moteurs SynRM ont été mises en place par ABB. Un élément important pour les clients est que les derniers variateurs DTC d'ABB permettent la mise à niveau facile d'une application existante avec un moteur à induction pour faire tourner une machine synchrone à aimants permanents ou SynRM et profiter d'une performance améliorée.

En plus du contrôle moteur dynamique élevé, les variateurs DTC – combinés à l'une des technologies de moteurs efficaces mentionnées ci-dessus – offrent un grand potentiel d'économies d'énergie pour un grand nombre d'applications de pompes et de ventilateurs à vitesse variable.

Il est  $\frac{t}{c}$ . Par exemple, la vitesse d'une pompe par rapport à sa puissance possède une relation cubique, ce qui signifie que lorsqu'une séquence du processus permet à la pompe de fonctionner à la moitié de sa vitesse totale, seul 1/8 de la puissance totale est nécessaire. Bien sûr, des efficacités réduites du moteur et du variateur avec des charges partielles réduiraient l'efficacité du « système », mais au total, une quantité inférieure d'énergie sera utilisée.

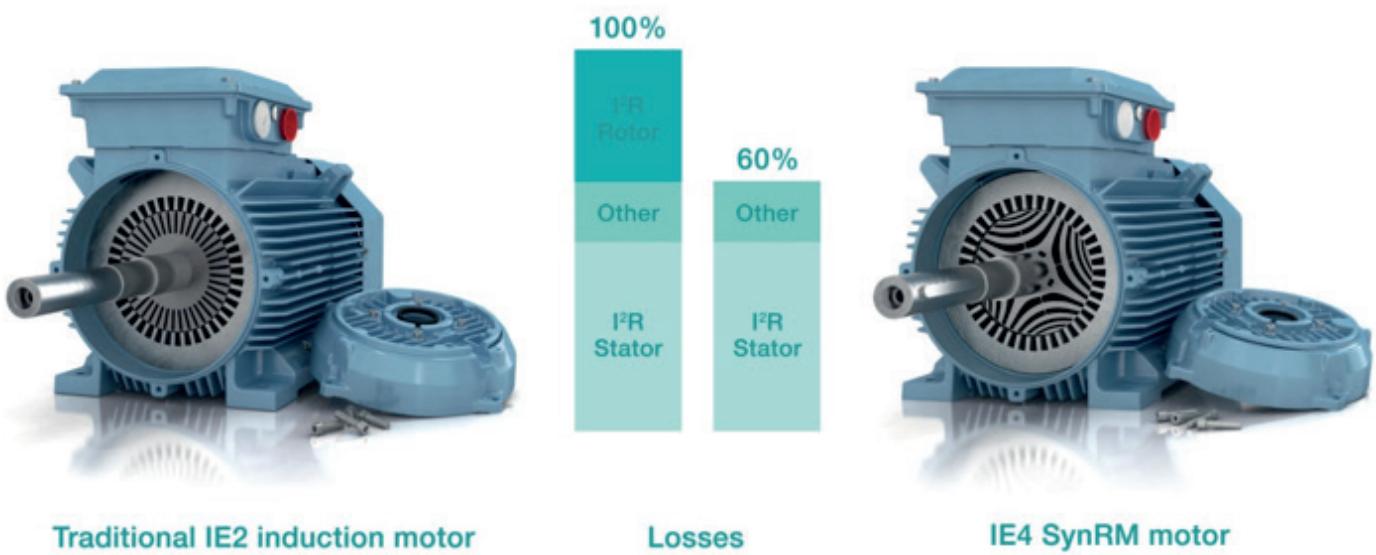


Figure 2 : le nouveau moteur à réducteur synchrone utilise une nouvelle conception du rotor et est optimisé pour le fonctionnement du VSD. La technologie réduit les pertes du rotor, améliore la fiabilité et permet des conceptions plus petites et plus légères (packs variateur-moteur SynRM à sortie élevée) ou une efficacité extrêmement élevée (packs variateurs-moteurs SynRM IE4).

## Mesures récentes des performances

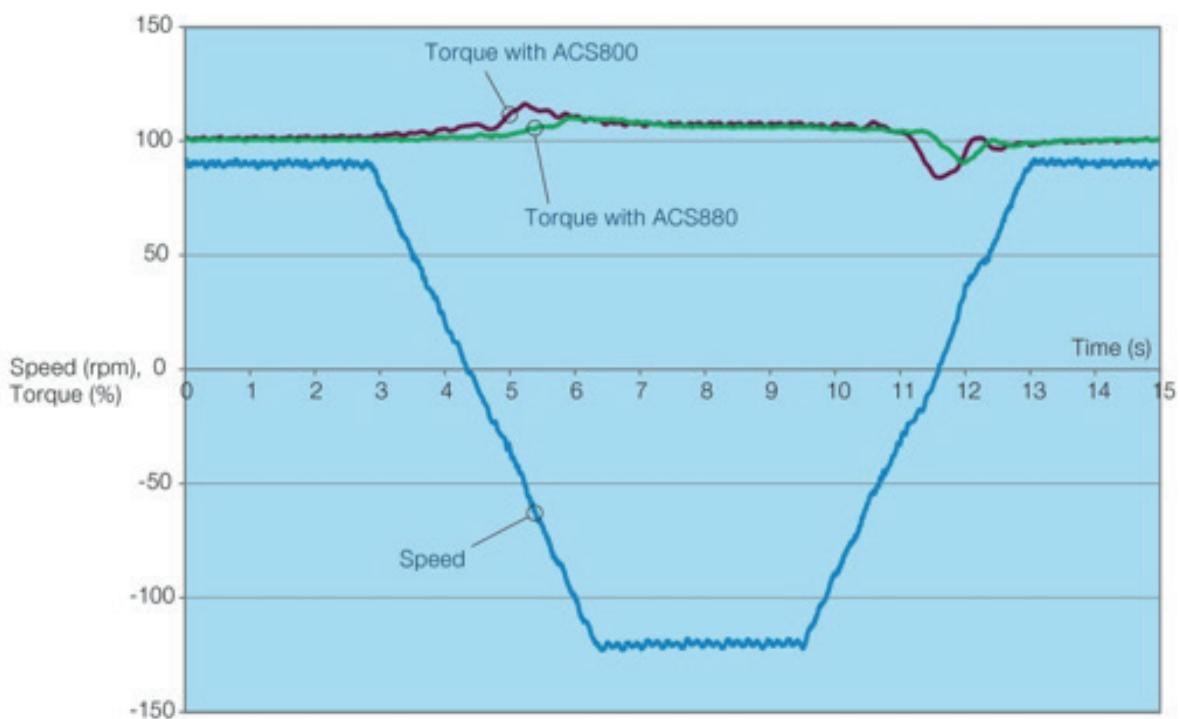
À la mi-2012, ABB a effectué une série de mesures pour s'assurer que les améliorations continues de la technologie DTC maintiennent ses variateurs CA au meilleur de leur performance. Les résultats essentiels des mesures de test sont résumés ici.

### Stabilité du couple au régime proche de zéro (variateurs ACS800 vs ACS880)

Le Graphique 1 compare la précision du contrôle de couple des variateurs ACS800 et des nouveaux variateurs industriels ACS880 d'ABB en mode de fonctionnement sans capteur (boucle ouverte). Dans les essais, les variateurs font fonctionner un moteur à induction de 15 kW à quatre pôles près de sa référence de couple nominal avec la machine de charge contrôlée de manière à faire des inversions à faible vitesse en régime proche de zéro. (Veuillez noter que 90 tr/min représente environ 6 % de la vitesse nominale du moteur.)

## Précision du couple pendant la montée en puissance (moteur à induction vs moteur SynRM)

Le Graphique 2 montre la précision du contrôle de couple sans capteur du variateur ACS880 comparée pour deux types de moteurs de 15 kW testés (à 50 % de la vitesse nominale) – un moteur à induction à quatre pôles et un moteur à réluctance synchrone.



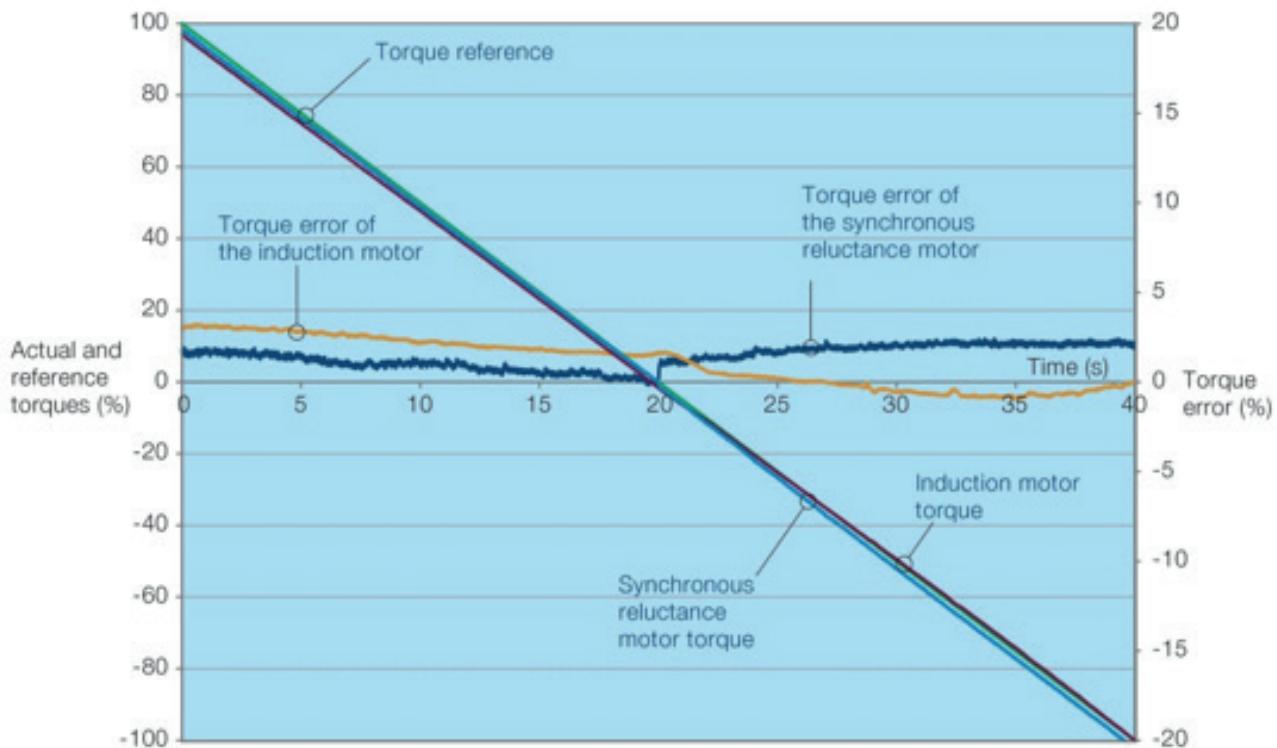
Graphique 1. Les deux variateurs ont une capacité de contrôle sans capteur remarquable pour fonctionner pendant des périodes prolongées dans la plage de vitesses proche de zéro. Cependant, le nouveau variateur ACS880 présente moins de déviation par rapport à la référence de couple et peut donc fournir une meilleure performance de contrôle moteur que le variateur ACS800.

## Performance dynamique de servoclass

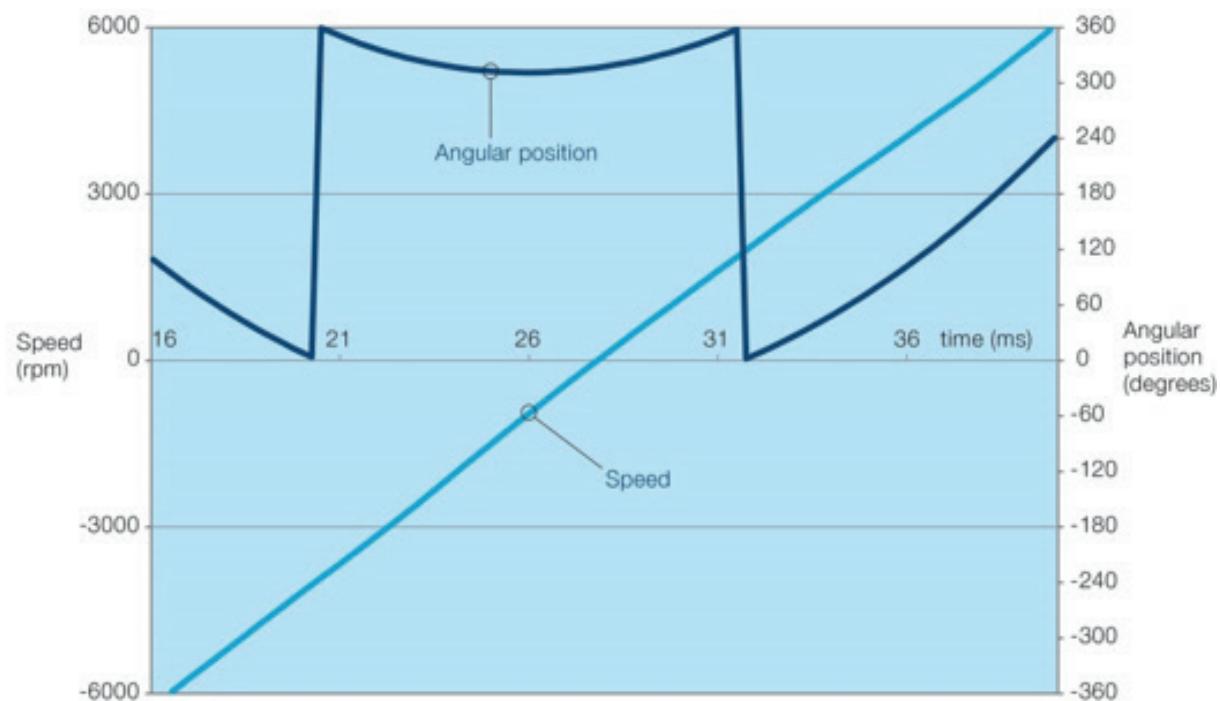
Le Graphique 3 indique la vitesse et la position angulaire mesurées d'un moteur synchrone à aimants permanents de 1,5 Nm à 6 000 tr/min (avec une inertie de rotor de 0,57 kg cm<sup>2</sup>) pendant une inversion de vitesse rapide de - 6 000 tr/min à + 6 000 tr/min en moins de 25 millisecondes (ms). Cela est très proche de la limite théorique possible avec une limite de couple réglée à deux fois le couple nominal. La limite théorique fait référence à la constante de temps mécanique du moteur de 24 ms, qui est le temps nécessaire pour faire accélérer le moteur de zéro à la vitesse nominale en utilisant le couple nominal.

## Applications plus larges

Un autre aspect de l'histoire du DTC est son extension au-delà des applications pour lesquelles la technologie fut créée. Les applications exigeantes et très dynamiques furent ciblées dès le début, car elles pouvaient justifier les développements logiciels et les microprocesseurs disponibles coûteux à l'origine. Le scénario a beaucoup changé. Le logiciel du système de contrôle a été amorti avec le volume de ventes croissant des variateurs CA, et il est devenu justifié d'un point de vue économique de le mettre en service dans les variateurs pour des applications plus standard. Les DSP à haute performance sont également devenus plus fréquents et abordables.



Graphique 2. Pour les deux types de moteurs, la déviation du couple par rapport à la référence se maintient à un faible pourcentage du couple nominal par le DTC, à la fois en mode moteur et freinage. L'erreur maximale de couple est légèrement inférieure pour le moteur à réductance synchrone testé que pour le moteur à induction.



**Graphique 3.** Bien qu'il ne s'agisse pas d'un servomoteur, le variateur ACS880 avec le DTC peut changer la vitesse du moteur très rapidement et précisément à la fois en mode de boucle fermée et en mode de contrôle de moteur sans capteur. Une des mesures de performance est la précision du couple pendant une accélération extrêmement rapide, telle qu'elle est déterminée en comparant le temps d'accélération mesuré à la constante de temps mécanique du moteur. Des temps d'accélération de 24,4 ms (couple 100 %) et de 12,1 ms (couple 200 %) ont été mesurés en mode de boucle ouverte, par rapport à 24 ms et 12 ms respectivement, ce qui correspond aux temps d'accélération pour la précision de couple absolue.

La capacité à répondre rapidement aux changements des variables de processus, telles que la pression, la tension ou la position, grâce à une dynamique de contrôle du couple et de la vitesse exceptionnelle, rend le DTC attractif dans des applications industrielles et de processus plus larges.

Le DTC peut fournir des fonctions de protection aux machines connectées ou au moteur lui-même (voir plus de détails dans l'Annexe 2). Un contrôle de couple serré peut optimiser le réglage du contrôleur de vitesse pour amortir les vibrations de torsion.

Le DTC a également été appliqué pour réduire la distorsion harmonique du variateur, ce qui améliore la qualité de la ligne

électrique. Les harmoniques de basse fréquence peuvent être atténuées dans les courants de ligne en remplaçant le redresseur de diodes d'un variateur CA par une unité d'alimentation IGBT (ISU) contrôlée par un DTC. Le filtre LCL de l'ISU supprime les harmoniques de haute fréquence et fournit un filtrage supplémentaire pour le réseau. Dans de nombreux cas, même la distorsion de tension du réseau peut être réduite à l'aide d'un variateur avec une ISU. De plus, l'ISU permet de réalimenter l'énergie de freinage dans le réseau. Ainsi, dans les applications qui nécessitent des décélérations fréquentes, des économies d'énergie peuvent être réalisées.

## Le DTC aujourd’hui et demain

Reposant sur des bases théoriques solides, le contrôle de couple direct a démontré des améliorations matérielles et logicielles continues tout au long de son existence de plus de 25 ans. Technologie basée sur le DSP dès le début, le DTC a dépassé les limites des premiers processeurs pour le calcul rapide des algorithmes de contrôle. Les limites du DSP restreignaient également la fréquence de commutation maximale du variateur par le passé, d'où sa fréquence de sortie. Le DTC s'appuie sur une commutation rapide des transistors du variateur pour une performance optimale et une mise à jour rapide des paramètres de modèle du moteur. Des processeurs puissants sont maintenant disponibles facilement.

Aujourd’hui, les variateurs DTC ont une fréquence de sortie plus élevée, ce qui permet aux moteurs de tourner plus vite. Cela représente une caractéristique importante dans certaines applications, telles que les bancs de test et les machines-outils. Les variateurs ABB entraînant des moteurs à induction dans une application industrielle fournissent généralement des fréquences de commutation de 2 à 4 kHz qui maximisent l'efficacité, tandis que les variateurs de machines ABB alimentant des moteurs synchrones à aimants permanents fournissent généralement une commutation de 5 à 8 kHz pour faire tourner les moteurs avec la meilleure dynamique possible.

Les logiciels sont un autre élément essentiel de la réussite du DTC. Les améliorations et les mises à jour comprennent un code remanié et optimisé pour tout le système de contrôle (de l'interface client à l'arbre du moteur) afin d'améliorer encore le temps de réponse et la performance du variateur.

Les modèles de moteurs reçoivent également des mises à jour régulières. Les algorithmes de contrôle sont analysés périodiquement et les améliorations qui en résultent sont vérifiées soigneusement grâce à des essais en laboratoire sur différents moteurs. Cela peut comprendre des recherches sur de nouvelles idées de fonctionnalités ou de contrôle avec un moteur existant ou modifié ; ou l'examen d'une exigence d'application spéciale pour un client.

Une fois qu'une amélioration est confirmée, elle peut être incorporée dans la nouvelle version du logiciel dans le cadre du flux de conception normal. Chaque version du logiciel est susceptible de présenter de nouvelles fonctionnalités ou une meilleure performance du contrôle. Si la solution trouvée au

problème d'un client présente un attrait général suffisant, elle peut également faire partie d'une version ultérieure du logiciel.

Un algorithme d'identification du moteur plus robuste a également été incorporé au DTC. Grâce au microprocesseur plus puissant du variateur, ce logiciel améliore l'identification du moteur à l'arrêt. Comme cela a été mentionné précédemment, l'algorithme d'identification trouve automatiquement les propriétés correctes d'un moteur entraîné pour un réglage de contrôle optimal pendant la mise en service du variateur – même si les valeurs de la plaque nominale ne sont pas connues ou s'avèrent incorrectes.

ABB a concentré son héritage reconnu de l'ingénierie d'entraînement et investi des ressources importantes dans le développement du contrôle de couple direct. Aujourd'hui, le DTC reste une technologie vivante, car elle a construit des avancées en continu sur une base solide. Par conséquent, le DTC a évolué pour devenir un catalogue de marque dépassant le « contrôle de couple », et incorpore des interfaces utilisateur intelligentes, des fonctionnalités d'entretien et de diagnostic des variateurs, et des fonctions logicielles de niveau supérieur, entre autres fonctionnalités.

Tourné vers l'avenir, ABB prévoit de suivre la même voie avec sa technologie DTC durable. Les clients des variateurs ABB peuvent être sûrs que les avantages de la technologie de contrôle de couple direct dans laquelle ils investissent aujourd'hui continueront sur le long terme.

## Références

1. Kazmierkowski, M.P., et al, « High-Performance Motor Drives », IEEE Industrial Electronics Magazine, sept. 2011, Vol. 5, no 3 (p. 6-26).
2. « Direct Torque Control Comes to AC Drives », Control Engineering, mars 1995, vol. 42, No 3 (p. 9).
3. Norme CEI 60034-30, Éd. 2 : Machines électriques rotatives – Partie 30 : Classes d'efficacité (code IE), Commission électrotechnique internationale. www.iec.ch
4. « Rare-earth magnet supply and cost issues », Control Engineering, août 2011.  
[http://www.controleng.com/index.php?id=483&cHash=081010&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=55091](http://www.controleng.com/index.php?id=483&cHash=081010&tx_ttnews[tt_news]=55091)
5. « Super premium efficiency synchronous motor and drive package: Taking energy efficiency to a new level », Brochure des variateurs et moteurs CA basse tension ABB (2011).

## Annexe 1: le reste de l'histoire des blocs fonctionnels du DTC

L'article principal a résumé le fonctionnement de la boucle de contrôle de couple du DTC. Voici une description rapide de la boucle de contrôle de vitesse qui lui est associée. Ces deux boucles sont intégrées et fonctionnent comme une unité complète. Les descriptions séparées ont uniquement pour objectif de simplifier la compréhension du schéma fonctionnel. Voici donc le reste du « tour de découverte ».

La boucle du contrôle de vitesse se compose de trois éléments principaux : le bloc contrôleur de vitesse lui-même et les contrôleurs séparés de référence de couple et de référence de débit. Le contrôleur de vitesse comprend un contrôleur PID (proportionnel intégral différentiel) et un compensateur d'accélération. L'entrée vers le contrôleur de vitesse est l'erreur trouvée lors de la comparaison d'un signal de référence de vitesse externe et le signal de vitesse réelle du modèle de moteur adaptatif – qui fait partie de la boucle de contrôle du couple et du débit (voir l'article principal). Ce signal d'erreur, calculé à partir du changement de référence de vitesse et du terme dérivatif, est transmis à l'unité PID et au compensateur d'accélération. Leurs sorties combinées forment la sortie du contrôleur de vitesse.

Cette sortie est envoyée au contrôleur de référence de couple où la sortie du contrôleur de vitesse est régulée par les limites de couple prédéfinies et la tension du bus CC. Un signal de référence de couple externe (ou fourni par l'utilisateur) peut également être utilisé au lieu du contrôle de vitesse comme entrée pour ce bloc. La sortie du contrôleur de référence de couple forme ce que l'on appelle la « référence de couple interne » qui est transmise au bloc comparateur de couple dans la boucle de contrôle de couple et de débit.

De manière similaire, le contrôleur de référence de débit fournit une « référence de débit interne » au bloc du comparateur de débit (qui fait partie de la boucle de contrôle du couple et du débit). Ce signal est une valeur de débit de stator absolue, que le DTC peut réguler et modifier convenablement pour obtenir les fonctions d'inverseur utiles. Cela se manifeste par exemple par l'optimisation de l'énergie – qui minimise les pertes du moteur et réduit le bruit du moteur – et le freinage de débit, qui, en augmentant temporairement les pertes du moteur, permet un freinage moteur plus rapide en l'absence d'utilisation d'une résistance de freinage spéciale.

## Annexe 2: avantages du DTC pour les clients

Les variateurs CA avec contrôle de couple direct (DTC) offrent des fonctionnalités variées qui profitent aux applications d'utilisateurs spécifiques. Les clients des industries telles que la fabrication du papier, la production de matériaux en bande et les machines extrudeuses pour les matériaux pour film peuvent compter sur la réponse de couple rapide et le contrôle de couple précis du DTC pour obtenir une qualité de produit plus uniforme et un rendement plus élevé. La linéarité du couple représente un autre avantage pour la tension de bobinage en continu des rouleaux requis dans ces applications.

La réduction des coûts est possible pour les convoyeurs et les chaînes de transfert, ainsi que les machines d'emballage, car dans de nombreuses applications, les encodeurs ou autres dispositifs de retour de position / vitesse du moteur ne sont pas nécessaires. En plus de leur coût initial, les encodeurs nécessitent un entretien et des vérifications de précision au fil du temps.

De plus, pour les fabricants de machines d'emballage, il peut être possible d'éliminer un frein mécanique dans une section de la machine grâce à un contrôle de couple jusqu'au régime zéro fourni par le DTC – et grâce à la capacité de maintenir un couple de 100 % au régime zéro. Cependant, veuillez noter qu'il est nécessaire d'utiliser un capteur de vitesse ou de position si un couple de freinage (génération) est requis au régime proche de zéro pendant plus de quelques secondes. Une résistance de freinage ou une unité d'alimentation IGBT est également nécessaire dans le variateur si une décélération importante est requise.

La capacité de surveiller l'état du moteur de près peut profiter à d'autres applications des clients. La détection rapide des changements des paramètres du système connecté et la réponse de contrôle rapide du DTC permettent de minimiser les surcharges et les charges accidentelles. Ce concept peut être étendu à la détection des pannes du système entraîné. Par exemple, la perte soudaine du couple peut indiquer la casse d'une bande de convoyeur – ou bien le fait de nécessiter un couple plus élevé que la normale pour produire une sortie peut indiquer un blocage ou une usure anormale dans la machine –, ce qui nécessite une réponse adaptée de l'utilisateur afin d'éviter d'autres dégâts.

Comme mentionné dans l'article principal, les variateurs peuvent être utilisés dans le cadre des diagnostics du processus. Cela est avantageux pour les clients avec des applications de contrôle de processus, car les changements des variables du système entraîné, telles que la pression, la tension ou la position, peuvent être liés aux caractéristiques de vitesse et de couple du moteur. Une altération des caractéristiques du moteur peut être un avertissement précoce de changements indésirables du processus.

# Contact

Pour obtenir de l'aide sur les termes techniques de ce document, veuillez consulter [www.abb.com/glossary](http://www.abb.com/glossary)

**Ere Jääskeläinen**  
Chef de marché

**Pasi Pohjalainen**  
Chef de marché

**ABB Oy Drives**  
P.O.Box 184  
FI-00381 Helsinki  
Tél. : +358 (0)102211