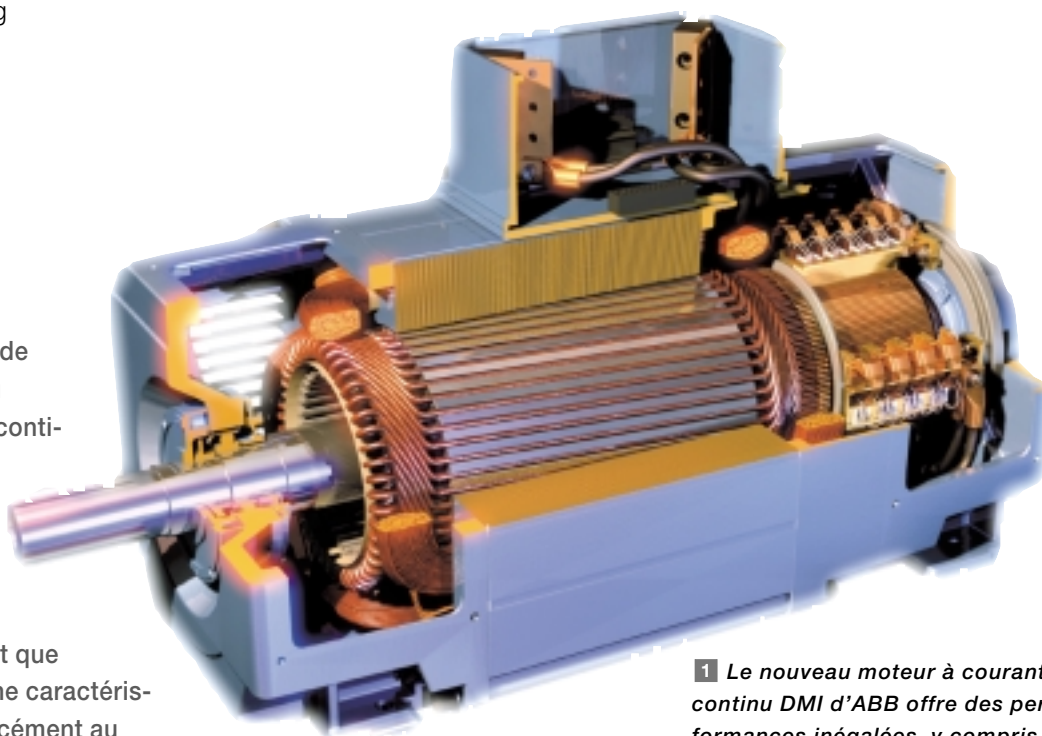


Nouveau **moteur DMI** - le ***courant continu*** au ***meilleur de sa forme***

Christer Söderberg

ABB Motors vient de lancer un nouveau moteur à courant continu (c.c.) de puissance intermédiaire aux performances inégalées. Alors que l'on tenait pour fait que l'amélioration d'une caractéristique se faisait forcément au détriment d'une autre, ABB prouve le contraire avec son nouveau moteur DMI. Avec une machine de puissance et de couple supérieurs, de plage de vitesse élargie, de dimensions réduites, de capacité de surcharge élevée et de faible moment d'inertie, les utilisateurs seront comblés. Les avantages sont tels que l'on peut véritablement parler d'un bond en avant dans la technologie des moteurs c.c.



1 Le nouveau moteur à courant continu DMI d'ABB offre des performances inégalées, y compris en termes de maintenance.

Le moteur à courant continu (c.c.) existe depuis plus d'un siècle et, par deux fois au moins au cours de son existence, il était, aux dires de certains, en voie d'extinction. Une première fois, au début du siècle, avec l'arrivée des alimentations triphasées à courant alternatif. Mais, ses qualités intrinsèques lui ont permis de résister, voire de s'imposer, ces dernières décennies, du fait principalement de l'avènement des convertisseurs à thyristors qui permettent d'exploiter la technologie du courant continu au maximum de ses

performances. Ces derniers temps, cependant, les défaitistes sont de retour, annonçant cette fois la fin prochaine de l'entraînement de puissance à courant continu au profit des moteurs asynchrones à cage et des convertisseurs de fréquence, concurrents sérieux en termes de précision et de temps de réponse. A nouveau, les prophéties se sont démenties: chez ABB, les ventes de moteurs c.c. se maintiennent depuis plusieurs années et, qui plus est, avec son nouveau moteur DMI **1**, ABB table sur un marché en croissance.

Le développement des moteurs à courant continu

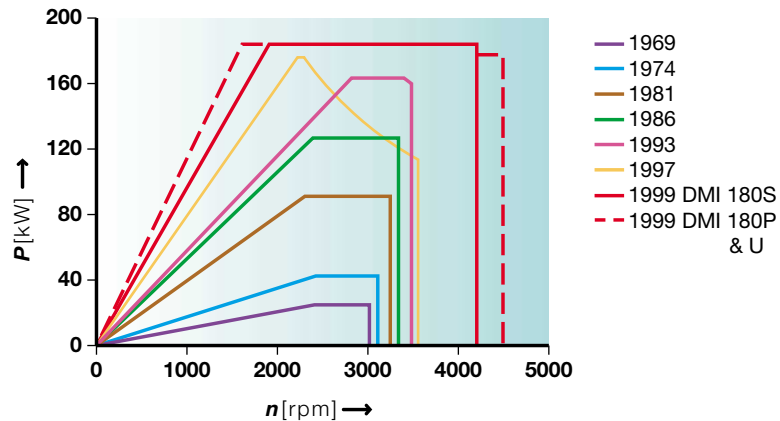
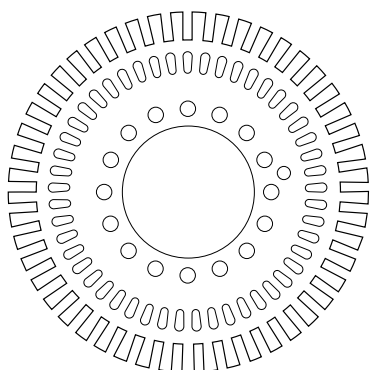
La forte concurrence sur le marché des moteurs c.c. a incité les constructeurs à concevoir des produits de «compromission», résultat d'un arbitrage. L'augmentation des performances en termes de puissance utile, de couple et de vitesse maximale au cours des années s'est faite au détriment des caractéristiques électriques et de la plage de vitesse à puissance utile nominale. Résultat: la maintenance des balais et des collecteurs s'est alourdie et la durée de vie des moteurs s'est raccourcie **2**.

Ainsi, l'équipe du projet DMI devait relever un réel défi: développer le moteur c.c. «idéal» avec une large plage de vitesse à puissance utile constante, de faibles niveaux de contraintes électriques et, corollaire, une maintenance simplifiée.

La démarche ABB

Il y a quelques années, le niveau des ventes du précurseur du DMI, le moteur DMG, amena ABB Motors à repenser son activité courant continu. L'entreprise décida ainsi d'inverser la tendance du

3 Tôles d'induit du nouveau moteur DMI. Des canaux de refroidissement plus large, qui se prolongent jusqu'aux encoches et sont symétriques à celles-ci, améliorent le refroidissement et l'équilibre magnétique.

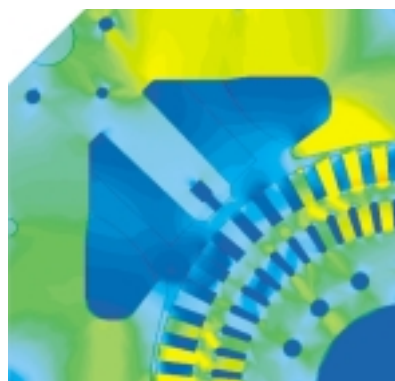


2 Au cours des dernières décennies, les performances des moteurs c.c. en termes de puissance utile (P), de couple et de vitesse maximale à puissance nominale ont été améliorées au prix d'une réduction de leur plage de vitesse (n) et leurs marges électriques, et d'un accroissement de leur maintenance. ABB Motors a développé son nouveau moteur DMI pour inverser cette tendance.

marché aux machines de «compromission», d'une part, en capitalisant sur son savoir-faire et sa longue expérience et, d'autre part, en utilisant les outils de conception les plus modernes pour développer un moteur idéal du point de vue mécanique et électrique. Concrètement, cela signifiait: gagner en puissance, en couple et en vitesse; élargir la plage de réglage de vitesse; abaisser le moment d'inertie; améliorer le fonctionnement à basses vitesses; réduire les contraintes électriques et mécaniques.

Deux approches étaient alors envisageables: améliorer la gamme de moteurs

existante ou concevoir une machine entièrement nouvelle. La première approche était moins hasardeuse et moins coûteuse, mais également moins prometteuse; la seconde, même si plus aléatoire et plus coûteuse, était un pari sur l'avenir. Après une réflexion en profondeur, ABB opta pour la deuxième approche, à savoir concevoir une nouvelle génération de moteurs, les avantages potentiels l'emportant nettement sur les risques et l'investissement supplémentaire. Les résultats sont à la hauteur des espérances. Par rapport à son prédécesseur, le nouveau moteur DMI offre environ:



4 Le montage symétrique des canaux de refroidissement par rapport aux encoches améliore l'équilibre magnétique entre les bobines d'induit.

- + 50% de puissance utile
- + 90% de couple
- + 30% de vitesse maximale
- + 30% de plage de vitesse

Des solutions techniques innovantes

Les travaux de développement ont débouché sur un certain nombre d'innovations techniques, qui ont fait l'objet de plusieurs brevets. La principale innovation concerne le refroidissement des enroulements d'induit, avec les canaux de refroidissement qui se prolongent dans les tôles d'induit jusqu'aux encoches. La surface totale de refroidissement a été nettement augmentée et la capacité de refroidissement du moteur considérablement améliorée. De plus, l'équilibre magnétique de l'induit est également amélioré avec des canaux de refroidissement symétriques par rapport aux encoches **3**.

La symétrie du flux magnétique dans le circuit d'induit, qui garantit qu'aucune bobine d'induit n'est soumise à plus de contraintes électriques qu'une autre, a

fait l'objet d'une attention particulière en phase d'optimisation sur CAO du circuit magnétique. La figure **4** montre un



5 Les bobines d'induit sont inclinées pour un meilleur fonctionnement à basses vitesses et un niveau de bruit inférieur.

exemple de résultats obtenus avec les calculs de flux.

Autres améliorations apportées à l'induit:

- Le procédé de fabrication des tôles a été revu pour réduire les variations de polarisation magnétique de l'acier électrique utilisé. On a ainsi

amélioré le fonctionnement à basses vitesses.

- Les bobines d'induit ont été inclinées, avec un impact positif sur le fonctionnement à basses vitesses, mais également sur le niveau de bruit **5**.
- Les extrémités des bobines de l'induit sont montées sur des bagues de fixation rigides en aluminium, ce qui atténue les vibrations et contribue à relever la vitesse maximale du moteur DMI. Ce montage améliore également le refroidissement des extrémités des bobines, un point faible des moteurs de générations précédentes avec une longévité accrue de l'isolant **6**.
- L'arbre moteur est surdimensionné, atténuant encore plus les vibrations et contribuant à relever la vitesse maximale du moteur.

La conception du stator a également été revue. Les enroulements disposent de plus d'espace, l'équilibre magnétique ainsi que la répartition de la température sont améliorés. Tout ceci découle de l'optimisation sur ordinateur du circuit magnétique, des bobines plus com-

6 Les extrémités des bobines d'induit sont montées sur des bagues de fixation rigides en aluminium. Ce type de montage contribue à la vitesse maximale élevée du moteur DMI et améliore son refroidissement.



7 La forme du stator du moteur DMI a été nettement améliorée avec plus d'espace pour les enroulements, un meilleur équilibre magnétique et une meilleure répartition de la température.



factes et des nouvelles méthodes de fabrication **7**.

Quant au collecteur, son diamètre est plus petit et il est plus robuste, ce qui concourt également à accroître la vitesse maximale et le pouvoir de commutation (aptitude à conduire le courant sans étincelles) **8**.

Des performances nettement supérieures

Toutes ces améliorations visent à accroître la puissance utile du moteur sans compromettre la marge de commutation. Cependant, les résultats ont largement dépassé les prévisions. Malgré un gain de puissance de l'ordre de 70%, les contraintes de commutation ont fortement diminué.

La comparaison des performances à celles de moteurs c.c. d'autres fabrications est éloquentes **9**. La partie horizontale de chaque courbe représente la «plage de shuntage», et donne une bonne idée de la marge de commutation de chaque moteur à charge nominale.

La marge de commutation, clé de la fiabilité du moteur

La marge de commutation est une mesure de l'aptitude des machines c.c. à conduire les courants entre les balais et le collecteur sans produire d'étincelles. Par conséquent, il s'agit d'un des paramètres essentiels de fiabilité de fonctionnement et de maintenance des machines. La marge de commutation est affectée par des facteurs tels qu'ondulation du courant, vibrations, température, charge et degré de propreté de l'air de refroidissement; tous ces facteurs ont, d'une manière ou d'une autre, été examinés à la loupe lors de la conception du moteur DMI. Le pouvoir de commutation du DMI a été validé sur un moteur alimenté par convertisseur, soumis à des contraintes plus fortes que s'il était alimenté par une source de courant continu lissée. Une marge de commutation extrêmement étendue garantit une fiabilité



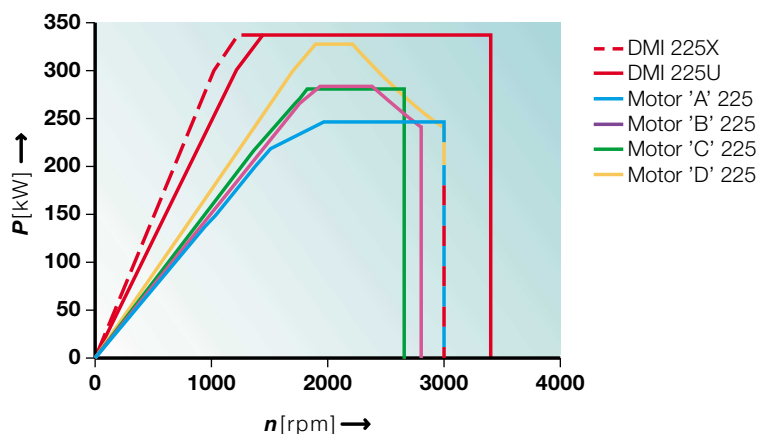
8 Le diamètre du collecteur est plus petit, pour une vitesse périphérique réduite et un meilleur fonctionnement même à basses vitesses.

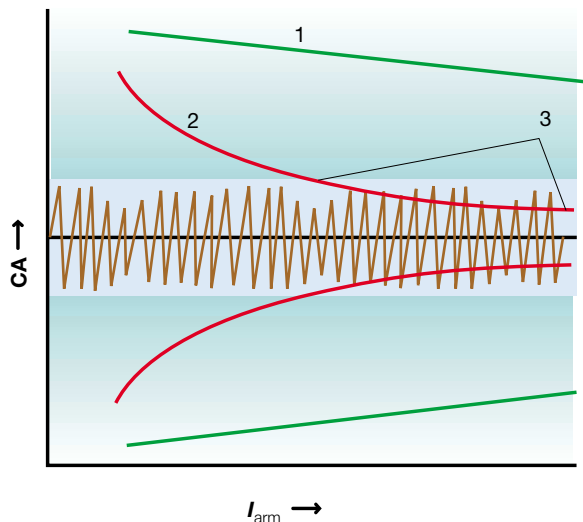
de fonctionnement élevée et une maintenance minimale **10**. A des régimes de fonctionnement relativement stables, le collecteur et les balais ne doivent pas être remplacés plus souvent que les roulements. C'est ainsi que le moteur c.c. est à l'égal du moteur asynchrone à cage en termes d'intervalles de maintenance.

L'isolation, clé de la longue durée de vie

Différents types de matériaux sont utilisés pour l'isolation du moteur DMI et pour prolonger au maximum la durée de vie du moteur. Par exemple, les matériaux d'indices de température élevés – de classe nettement supérieure à H – sont utilisés où la température est élevée et des matériaux plus résistants mécaniquement sont utilisés où les températures sont plus basses. Dans ce contexte,

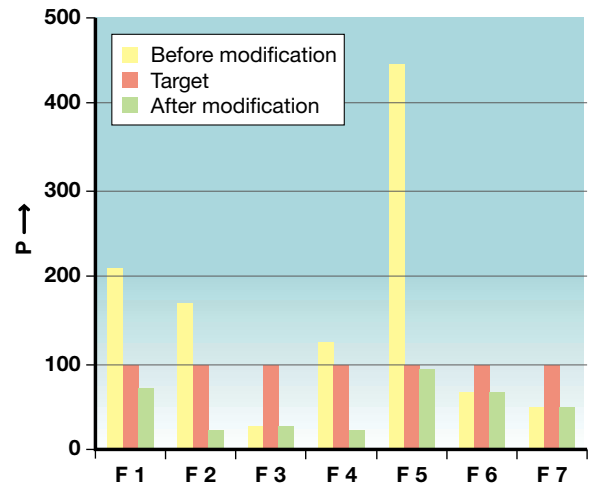
9 Comparaison de la puissance (P) et de la plage de vitesse (n) du moteur DMI à celles des principaux produits concurrents





10 Le pouvoir de commutation renforcé du moteur DMI concourt à sa fiabilité de fonctionnement et à sa simplicité de maintenance. En grisé, au centre du graphique, les perturbations qui sont toujours présentes en régime normal et qui influent sur la commutation du moteur.

- 1 Moteurs DMI
- 2 Autres moteurs
- 3 Commutation insuffisante



11 La méthode d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) a été appliquée à tous les stades de conception et de fabrication du moteur pour atteindre les objectifs de qualité et de fiabilité.

- P Indice de probabilité
- F1-F7 Modes de défaillance

il est important de préciser qu'ABB calcule les marges de température du DMI sur la base de la température réelle en service, non de la température quelque temps après l'arrêt du moteur, comme l'autorise la norme CEI 34-1. Les essais de tenue en température d'ABB sont également réalisés sur des moteurs alimentés par convertisseur, aux contraintes plus sévères.

Parallèlement, les risques de développement de points chauds sont éliminés du fait du dimensionnement électromagnétique quasi idéal et du meilleur refroidissement.

Méthode AMDE – la recherche systématique de la meilleure qualité

La méthode d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) est une méthode systématique d'identification des mesures à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs de qualité fixés. Cette méthode a été appliquée à

tous les stades de développement et de fabrication du nouveau moteur **11**.

Un avenir certain pour le courant continu

Comme c'est le cas pour de nombreux produits, concevoir des moteurs électriques consiste principalement à trouver le juste équilibre entre les caractéristiques recherchées, souvent antagonistes. Dans le cas des moteurs c.c., ces caractéristiques sont: puissance utile, couple et vitesse élevés; plage de vitesse étendue; dimensions et masse réduites; maintenance minimale. Différents moteurs, qui plus est de constructeurs différents, sont traditionnellement plus performants dans tel ou tel domaine, mais aucun n'est performant dans tous les domaines. Aujourd'hui, avec son moteur DMI, développé par une équipe de spécialistes utilisant les outils informatiques les plus puissants et avec un sens de l'innovation bien maîtrisé, ABB dispose d'un produit plus performant

dans tous les domaines. Il s'agit-là d'une bonne nouvelle pour tous les intéressés et pour la pérennité de la technologie du courant continu. ■

Adresse de l'auteur

Christer Söderberg
 ABB Motors AB
 SE-721 70 Västerås / Suède
 E-mail: christer.lj.soderberg@se.abb.com
 Fax: +46 21 32 95 15