

> d'aujourd'hui, ce sont les pertes par effet Joule qui prédominent.

Le refroidissement joue donc un rôle crucial quant à l'intensité du courant électrique qui peut faire fonctionner un moteur sur une longue durée. Dans les moteurs actuels, le stator est à l'intérieur d'un boîtier dont les parois, creuses, sont traversées par de l'eau de refroidissement. Dans ceux que l'on développe, l'intérieur de l'arbre est aussi traversé par un liquide de refroidissement; ou un nuage de gouttelettes d'huile est pulvérisé sur les bobines à l'intérieur du moteur.

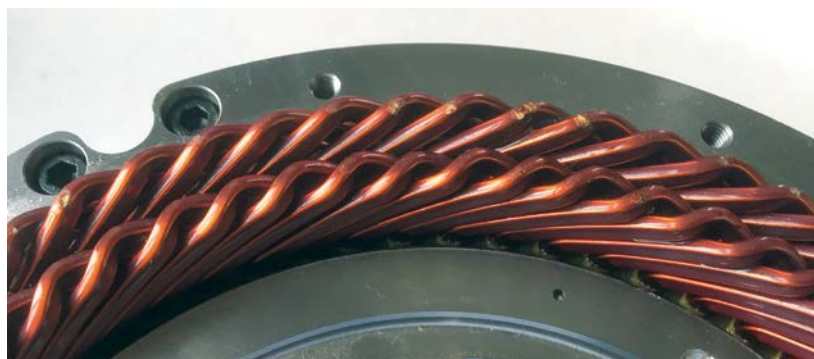
Dans les derniers systèmes en développement, on tente d'améliorer encore l'évacuation de la chaleur en amenant le liquide de refroidissement directement sur les conducteurs de cuivre, en la faisant passer par les interstices qui séparent les plaques dont est formé le stator. L'utilisation de fils conducteurs à section rectangulaire plutôt que ronde améliore aussi la compacité, c'est-à-dire qu'elle permet de disposer plus de cuivre par unité de surface (voir les photographies ci-contre). Toutes ces modifications posent des défis de conception et de production. Des prototypes existent déjà, mais on est encore loin d'une production en série.

ÉVACUER LA CHALEUR

Quelle que soit la solution technique adoptée, on ne peut évacuer qu'une certaine quantité maximale de chaleur. Ce maximum détermine la charge linéique, en d'autres termes la somme de tous les courants divisés par la circonférence du rotor. Les moteurs électriques modernes fonctionnent en régime continu avec des charges linéiques comprises entre 50 000 et 100 000 ampères par centimètre. S'agissant des pointes de charge linéique, celles qui se produisent pendant une accélération, on peut atteindre des valeurs de 200 000 ampères par centimètre. Lors des accélérations, la quantité de chaleur produite est stockée temporairement dans la pile de plaques statoriques, puis refroidie.

La troisième voie pour augmenter la puissance sans faire grossir le moteur consiste à augmenter la vitesse de rotation. Les moteurs industriels tournent, typiquement, jusqu'à 3 000 tours par minute. Les commandes de robots atteignent 6 000 tours par minute. Les moteurs des premières voitures électriques en phase de production fonctionnaient déjà à des vitesses deux fois plus élevées. Dans les systèmes développés actuellement, les vitesses sont plutôt de 20 000 tours par minute pour les moteurs produits en série, et vont jusqu'à 30 000 tours par minute pour certains prototypes.

Pour commander des moteurs à rotation aussi rapide, il faut disposer de tensions alternatives de fréquence élevée. La fréquence atteinte est actuellement de 1 kilohertz,



parfois plus. Ces valeurs sont obtenues en faisant hacher la tension continue, issue de la batterie, par des interrupteurs électroniques de puissance, dispositifs nommés onduleurs ou convertisseurs continu-alternatif. En pratique, on rencontre aujourd'hui couramment des fréquences d'horloge bien au-dessus des 10 kilohertz. Le contrôle n'est précis que si chaque impulsion de commutation est calculée avec précision par un ordinateur puissant, ce qui n'est devenu possible que depuis quelques années.

Il est peu probable que les vitesses dépasseront les 30 000 tours par minute. Tout d'abord, cette vitesse doit être ramenée, par des transmissions, aux quelque 1 500 tours par minute qui sont appliqués à la roue à la vitesse maximale. Par ailleurs, la structure du rotor doit résister à la force centrifuge. Selon les conceptions de rotor – à base d'aimants ou de cage d'écureuil – et les dimensions usuelles d'un moteur électrique (le noyau en tôles magnétiques du stator fait 20 à 30 centimètres de diamètre extérieur), la périphérie du rotor peut atteindre des vitesses de 100 à 150 mètres par seconde. De plus, les pertes dues à la remagnétisation constante du noyau de fer augmentent avec la vitesse, ce qui limite l'amélioration des performances.

Contrairement aux moteurs à combustion, les moteurs électriques créent à l'arrêt un couple puissant, qui suffit pour obtenir les nombres de tours par minute les plus élevés. Par conséquent, aucun embrayage ou boîte de vitesses à multiples rapports n'est nécessaire.

Les bobinages constituant le stator sont soit répartis (comme en haut), soit concentrés (comme en bas). Les bobinages répartis sont mieux adaptés aux machines tournant à grande vitesse. Presque tous les moteurs électriques puissants sont à bobinages répartis. Ceux qui sont particulièrement compacts mettent en œuvre des fils conducteurs à section carrée (en haut), forme qui permet de mieux occuper l'espace.