

pour chaque phase non pas une bobine, mais un groupe de deux ou trois bobines. De plus, les groupes ne sont pas déphasés de 120 degrés, mais plutôt de 90, voire de 60 degrés. Toute la circonférence du stator se retrouve alors occupée par des groupes de bobines, ce qui augmente le nombre de pôles magnétiques. On construit ainsi des machines asynchrones à deux paires de pôles (deux pôles nord et deux pôles sud) et des machines synchrones à trois ou quatre paires de pôles.

La force et, par conséquent, le couple et la puissance produits résultent du jeu qui s'établit entre le champ du stator et celui du rotor, qui constitue le «champ d'excitation». C'est par l'intermédiaire de ce dernier que sont transmises les forces qui se développent. Une métaphore éclaire cette transmission: tout se passe comme lorsqu'un véhicule en tracte un autre tombé en panne à l'aide d'une corde. Ce lien, qui équivaut au champ d'excitation, doit avoir une grande résistance, laquelle équivaut à la densité d'énergie de ce champ. C'est pourquoi les trois types de moteurs à champ tournant se distinguent les uns des autres par la façon dont le champ d'excitation est engendré. Dans un moteur synchrone à aimants permanents, le champ d'excitation est créé par des aimants... permanents; dans un moteur synchrone à excitation bobinée, il est créé par des... bobines.

Il existe aussi ce que l'on nomme des moteurs électriques asynchrones à cage d'écureuil. Leur rotor n'est pas fait de spires enroulées, mais plutôt d'une cage cylindrique dont les barres de cuivre, disposées entre deux anneaux qui les court-circuitent, sont

«torsadées» (voir l'encadré page suivante). Lorsque ce dispositif est plongé dans le champ tournant (donc variable) du stator, des courants sont induits dans la masse conductrice des barres (ce que l'on nomme des courants de Foucault), de telle façon à créer un flux magnétique s'opposant au flux du stator; et comme ce flux tourne, la cage suit ce mouvement. Ce fonctionnement explique pourquoi les moteurs asynchrones sont aussi nommés moteurs à induction.

DES AIMANTS PERMANENTS DE PLUS EN PLUS PUISSANTS, À BASE DE TERRES RARES

Le développement des moteurs synchrones à aimants permanents n'a été possible que parce qu'au cours du siècle dernier, les chercheurs ont mis au point des matériaux à l'origine d'aimants permanents toujours plus performants. Le premier d'entre eux était l'alliage aluminium-nickel-cobalt (AlNiCo). Dès les années 1940, on lui faisait atteindre des densités d'énergie magnétique de 150 kilojoules par mètre cube. Cependant, en raison de sa faible coercitivité, c'est-à-dire du faible champ magnétique nécessaire pour annuler son aimantation, l'aluminium-nickel-cobalt ne convient pas à la construction de moteurs électriques. Arrivée dans les années 1960, la ferrite a une densité d'énergie quelque trois fois plus faible, mais sa coercitivité élevée la rend utilisable dans les moteurs électriques. Elle a aussi l'avantage d'être peu coûteuse, de sorte qu'on l'emploie souvent dans les moteurs synchrones à aimants permanents simples et dans les moteurs à courant continu.

Depuis les années 1970, les aimants à base de terres rares sont devenus de plus en plus puissants. On a d'abord utilisé des alliages samarium-cobalt (SmCo), qui atteignent une densité d'énergie de 300 kilojoules par mètre cube, puis, à partir de 1990, du néodyme-fer-bore (NdFeB), dont la densité d'énergie magnétique peut aller jusqu'à 450 kilojoules par mètre cube. La stabilité en température des aimants au néodyme oblige à utiliser aussi un autre élément, également une terre rare, le dysprosium, qui est environ dix fois plus cher que le néodyme. En raison du monopole de la Chine, qui est de loin le plus gros producteur mondial de terres rares, le prix du dysprosium a connu dans le passé de brusques embardées. C'est pourquoi de nombreux grands constructeurs automobiles se préparent à introduire des moteurs électriques sans aimant permanent, c'est-à-dire des machines synchrones à excitation bobinée ou à cage d'écureuil.

Une autre caractéristique critique des aimants au néodyme est leur teneur élevée en fer (60%), et l'oxygène atmosphérique peut donc les oxyder. Une fois les aimants produits, >

magnétique tournant, mais d'amplitude constante (c). Soumis à ce champ, le stator tourne pour rester aligné avec lui. Pour ce faire, on utilise trois bobines réparties dans le stator et alimentées par des courants sinusoïdaux déphasés de 120 degrés (d).

