

Les stators des différents moteurs triphasés sont tous construits de manière similaire. Contrairement aux moteurs à courant continu à commutation mécanique, dans lesquels le champ alternatif (= champ magnétique variable) est toujours généré dans le rotor par le collecteur, les moteurs à courant continu à commutation électrique (moteurs Brushless) et les moteurs à courant alternatif positionnent le champ tournant dans le stator, ainsi le (gros) courant n'a pas besoin d'être conduit via des balais de charbon vers le rotor.

## Principes

Les moteurs de traction des véhicules électriques sont des moteurs triphasés dont les stators ont pour tâche de convertir le courant alternatif triphasé en un champ magnétique tournant et ainsi d'entraîner le rotor (également magnétique). Afin de renforcer les champs magnétiques, des noyaux de fer sont nécessaires, qui conduisent très bien le magnétisme et le concentre ainsi.

## Construction

Dans la structure de base, une distinction est faite entre les rotors internes (Fig. 1 et 3) et les rotors externes (Fig. 2) dans les moteurs électriques. Les outrunners sont souvent installés dans les hybrides P2.

## Matériaux

Les stators des machines à rotor interne sont des cylindres creux. Ils sont en fer doux. Les noyaux en fer doux doivent absorber très rapidement un champ magnétique généré électriquement, mais le restituer tout aussi rapidement. Avec un noyau en fer doux théoriquement idéal, la courbe caractéristique dans la courbe d'hystérésis suit la nouvelle courbe x (cf. « E-machines », magnétisme). Comme cela ne réussira jamais, il faut s'attendre à des pertes, qui se traduisent sous forme d'énergie thermique, dans chaque processus de magnétisation et de démagnétisation.

Le noyau en fer doux des machines électriques est généralement constitué « d'acier électrique ». Il s'agit d'un alliage d'acier avec 2 à 4 % de silicium et un peu d'aluminium. Le matériau a une densité de 7,87 kg/dm<sup>3</sup>, une résistivité électrique de 0,1 (Ω•mm<sup>2</sup>)/m, une conductivité thermique de 80 W/(m•K) et une polarisation de saturation pouvant atteindre 2,2 T (Tesla).

## Courants de Foucault

Du fait des pertes par courants de Foucault, le stator est constitué d'un empilement de tôles électriques isolées électriquement les unes des autres. Le courant de Foucault est une forme particulière d'induction (cf. « E-machines », force magnétique) : lorsqu'un conducteur électrique se déplace dans un champ magnétique, une tension y est induite. Étant donné que le noyau de fer doux est également un conducteur électrique, une tension y est également induite. En raison de la tension et de la résistance électrique du fer doux, un courant circule dans le noyau et convertit son énergie en chaleur (perte). Afin de réduire les pertes par courants de Foucault, les noyaux en fer doux sont formés de fines feuilles de métal empilées les unes sur les autres et isolées les unes des autres. Une épaisseur de tôle de 0,35 mm a fait ses preuves pour les moteurs de traction.

## Forme

Les couches de feuilles métalliques forment la forme de base du stator et les fentes et les espaces préparés sont remplis de lignes de cuivre, qui magnétisent les feuilles de stator d'une manière appropriée lorsqu'un courant est appliqué.

## Types d'enroulement

L'enroulement écarté ou enroulement ondulé (Fig. 1) montre ses avantages avec une densité de couple élevée avec de faibles vibrations et un bon flux de chaleur de l'enroulement inducteur du noyau feuilleté du stator vers les canaux d'air de refroidissement ou de liquide de refroidissement.

Étant donné que les trois enroulements cheminent à travers différentes fentes sur la circonférence du stator, ils doivent être appliqués autour des autres enroulements jusqu'à la fente suivante à l'extrémité du cylindre creux qui forme le stator. Bien sûr, ils doivent être isolés. Il y a de nombreuses lignes conductrices à ces extrémités du boîtier (têtes de bobinage) et les têtes de bobinage sont grandes et par conséquent des points chauds peuvent également se former à ces points, dangereux pour l'isolation et donc pour le fonctionnement de la machine électrique. Cependant, de nouveaux procédés de tressage sont en cours de développement pour les enroulements ondulés, qui diminuent les têtes d'enroulement et d'améliorer leurs propriétés.



Fig. 1 : Les enroulements ondulés sont traditionnellement construits avec de nombreuses spires de fils de cuivre à section ronde.



Fig. 2 : Au lieu de fils à section ronde, des pièces préfabriquées en cuivre à section rectangulaire sont insérées dans l'enroulement en épingle à cheveux.

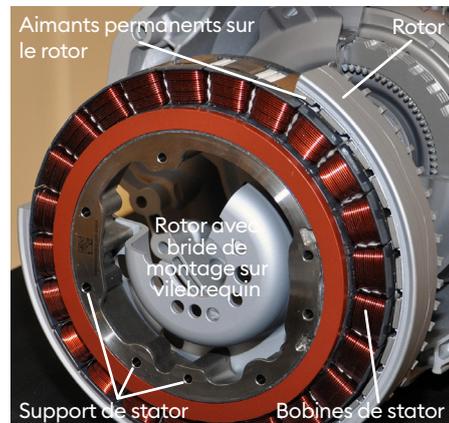


Fig. 3 : Avec l'enroulement à une dent séparée, de nombreuses bobines individuelles sont réparties sur la circonférence pour produire le champ tournant.

Avec l'enroulement Hair-Pin (Fig. 2) ou l'enroulement en I, les têtes d'enroulement sont plus petites. Des tiges de cuivre en forme de U ou en épingle à cheveux de section rectangulaire sont insérées dans les rainures, formées aux extrémités du noyau laminé et soudées. Cependant, les nombreux points de soudure posent des défis pour la technologie de production. Dans le cas d'un enroulement concentré (Fig. 3), des bobines individuelles sont intégrées dans le noyau de fer sur la circonférence du stator. Avec un courant alternatif triphasé, le nombre de bobines sont un multiple de trois. Les avantages de ce type de construction sont principalement obtenus avec des machines qui doivent être très courtes, par exemple avec des machines qui sont installées entre le moteur et la transmission (hybride P2).

|                                    | enroulement concentré |                      | enroulement écarté |  |
|------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--|
|                                    | enroulement unitaire  | enroulement Hair-Pin | enroulement ondulé |  |
| Facteur de remplissage du cuivre   | +                     | ++                   | +                  |  |
| Utilisation des matériaux          | 0                     | +                    | +                  |  |
| Pertes dépendantes de la fréquence | +                     | -                    | +                  |  |
| Refroidissement du stator          | -                     | +                    | ++                 |  |
| Taille des têtes de bobinage       | ++                    | 0                    | 0                  |  |
| Nombre de points de soudure        | +                     | --                   | ++                 |  |
| Flexibilité de fabrication         | ++                    | -                    | 0                  |  |