

# Défis et opportunités de la conception de minimoteurs à encoches

05 September 2023

La densité de couple élevée et la capacité de refroidissement améliorée des minimoteurs CC sans balais (BLDC - Brushless DC) à encoches sont essentielles dans de nombreux domaines allant de la robotique à l'électronique grand public. Cependant, pour optimiser l'efficacité, les performances et la fiabilité de l'application, leurs spécifications nécessitent un examen attentif. Les conseils d'intégration d'ingénierie dans la sélection des moteurs BLDC à encoches standard sont avantageux et les considérations de conception sur mesure profiteront aux performances de l'application à long terme.

*Par le Dr Madhavan Ramanujam, ingénieur concepteur principal senior, R&D chez Portescap.*

En l'absence de balais pour le processus de commutation, les minimoteurs CC sans balais présentent des avantages par rapport à leurs équivalents à balais, notamment une efficacité améliorée, une vie utile prolongée et des opportunités de commande rehaussée. Les moteurs BLDC proposent un choix de conception pour des configurations avec ou sans encoches.

Le stator, soit la partie stationnaire extérieure entourant le rotor, contient les bobinages qui canalisent le flux de courant électrique. Un champ magnétique est ainsi généré. Son interaction avec les aimants du rotor le fait tourner et crée un

mouvement. Dans un moteur BLDC sans encoches, les bobinages sont typiquement fixés dans le stator par une résine ou maintenus en place par un ruban, voire un dispositif de rétention mécanique. En revanche, dans une conception à encoches, les enroulements sont retenus dans des encoches ou rainures.

Les moteurs sans encoches sont généralement plus compacts et ces conceptions sont également avantageuses pour les applications exigeant un fonctionnement fluide et une vitesse élevée. Cependant, les moteurs BLDC à encoches permettent d'augmenter la densité du flux magnétique dans l'entrefer, suscitant une élévation du couple généré. Les caractéristiques dynamiques du moteur sont ainsi améliorées, rendant cette conception plus fiable. Les encoches contribuent également à dissiper la chaleur, ce qui rehausse le refroidissement.

### **Dimensionnement des moteurs BLDC à encoches**

Toutefois, les moteurs BLDC à encoches présentent des défis uniques lors de la conception, exigeant dès lors un cahier des charges minutieux. Il s'agit notamment du calcul précis des pertes dans le noyau, ainsi que de la responsabilisation de la saturation du matériau et de la démagnétisation de l'aimant à des températures de fonctionnement supérieures. Les performances, l'efficacité et la gestion thermique peuvent en être affectées. Dimensionner le moteur pour répondre aux exigences de couple est une étape cruciale. Ce calcul dépend principalement des charges électriques et magnétiques, des dimensions du rotor et du stator et du choix des matériaux.

En principe général, si les points de fonctionnement de l'application impliquent une vitesse élevée et un couple faible, la charge magnétique doit être optimisée pour réduire les pertes dans le noyau avec un nombre moindre de paires de pôles. Les pertes dans le noyau, également appelées pertes dans le fer, désignent l'énergie

dissipée dans le noyau magnétique du moteur en résultante des phénomènes d'hystérésis et de courants de Foucault. À l'autre extrémité de l'échelle, si les points de fonctionnement impliquent une vitesse faible et un couple élevé, la charge électrique doit être optimisée pour gérer les pertes dans le cuivre (également appelées pertes  $I^2R$ ). Les pertes dans le cuivre représentent la résistance des bobinages au flux de courant électrique et se présentent sous forme de perte de puissance dans la chaleur générée. La réduction des pertes dans le cuivre et le noyau optimise l'efficacité du moteur pour les points de fonctionnement couple-vitesse donnés.

Le couple est proportionnel à la taille du moteur pour les charges choisies et les combinaisons encoches-pôles. Par conséquent, le choix des charges et des combinaisons encoches-pôles dépend des exigences de couple-vitesse de l'application.

### **Aperçu des combinaisons encoches-pôles**

La disposition et la relation entre les encoches du stator et les pôles de l'aimant permanent sur le rotor sont appelées combinaisons encoches-pôles. Elles décrivent les interactions du champ magnétique du moteur.

Les minimoteurs à encoches présentent différentes combinaisons encoches-pôles. Un facteur d'enroulement élevé doit être pris en compte pour augmenter le couple constant du moteur. Un plus petit commun multiple, ou PPCM, élevé entre le nombre d'encoches et de pôles réduit la magnitude du couple d'engrènement tandis qu'un plus grand commun diviseur, ou PGCD, élevé contribue à réduire les forces radiales magnétiques déséquilibrées et à augmenter la symétrie radiale.

Il est possible d'utiliser une conception classique à encoches à deux pôles pour enroulement réparti à encoches intégrées (ISDW - Integral Slot Distributed Winding) mais le couple constant est inférieur à celui d'une conception à quatre pôles. Par conséquent, cette option est déconseillée pour les applications à couple élevé et à vitesse faible.

Différentes combinaisons sont disponibles en fonction du couple et de la vitesse souhaités, ainsi que de la capacité du moteur à gérer des caractéristiques comme le couple d'engrènement qui crée des ondulations de couple et affecte la fluidité du déroulement du mouvement.

Outre la combinaison encoches-pôles, une autre configuration, dénommée enroulements concentrés à nombre fractionnaire d'encoches (FSCW - Fractional Slot Concentrated Windings), inclut des configurations d'aimant annulaire multipolaire. Il s'agit de circuits magnétisés courts et d'une conception adaptée aux applications combinant vitesse faible et couple élevé.

### **Spécification des minimoteurs BLDC à encoches**

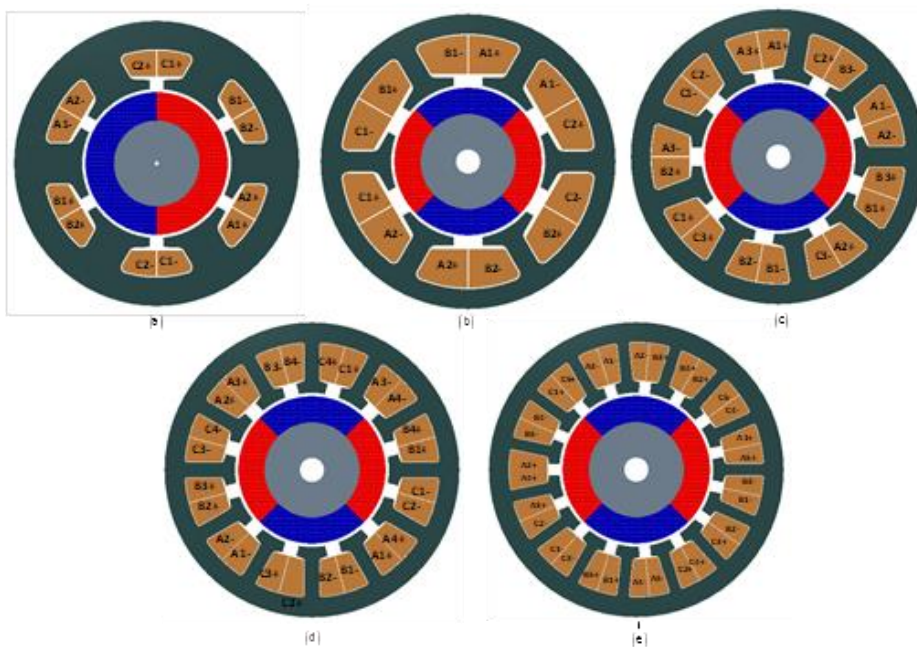
Le couple généré par le moteur est proportionnel à son volume, à la charge magnétique et électrique et à sa combinaison encoches-pôles. La spécification de ces caractéristiques dépend non seulement des exigences couple-vitesse de l'application mais aussi d'attributs plus larges susceptibles d'affecter les performances du mouvement ainsi que la fiabilité et la longévité.

Pour la spécification d'un moteur BLDC à encoches, les modèles standard à encoches de stator et les configurations d'aimants standard développés au fil des années de production peuvent assurer une fiabilité élevée et des performances suffisantes pour un dimensionnement de moteur standard. Cependant, l'utilisation

du circuit magnétique pour cette conception traditionnelle est généralement sous-optimale. En d'autres termes, l'efficacité est inférieure à des points de fonctionnement couple-vitesse spécifiques.

Compte tenu de l'ensemble des facteurs affectant les spécifications, il est crucial de rechercher l'assistance d'intégration d'ingénierie d'un spécialiste du mouvement comme Portescap. Spécialement pour les équipementiers à grand volume. Une conception de moteur sur mesure s'avère très avantageuse car cette approche optimise les performances et l'efficacité pour des points de fonctionnement spécifiques. Sur la base de conceptions existantes personnalisables et si toutes les étapes de l'intégration sont envisagées, le délai de mise sur le marché est souvent réduit comparé à celui d'une conception standard. Les moteurs BLDC à encoches peuvent également être spécifiés pour leur rentabilité et, eu égard à la valeur accrue potentielle d'une conception sur mesure, ce processus peut réduire les coûts totaux.

Pour en savoir plus sur les moteurs BLDC et les spécifications et conceptions personnalisées pour votre application, contactez <https://www.portescap.com/>

**Image captions:****Image 1** : Famille de moteurs SMS de Portescap CC sans balais à encoches.**Image 2** : Figure : Différentes combinaisons encoches-pôles et dispositions d'enroulement par famille de moteurs.

Name	Slot Number (S)	Pole Number (P)	No. of Slots/(Pole*Phase)	LCM (S, P)	GCD (S,P)	Winding Factor (Kw)	Winding Layout	Benefits and Challenges of Slot-Pole Combinations
6S2P	6	2	1	6	2	1	ISCW	Decent torque constant, Lower core losses; long end-windings length; Higher cogging
6S4P	6	4	0.5	12	2	0.866	FSCW	Short end-windings and reduced cogging torque; 13% reduction in torque to amper ratio
9S4P	9	4	0.75	72	1	0.945	FSCW	Short end-windings and reduced cogging torque; 5.5% reduction torque to amper ratio
12S4P	12	4	1	12	4	1	ISCW	Good torque constant, long end-windings length; Higher cogging torque
15S4P	15	4	1.25	120	1	0.951	ISDW	Long end-windings and reduced cogging torque; 4.9% reduction torque to amper ratio

**Image 3** : Tableau : Aperçu des combinaisons encoches-pôles possibles pour les moteurs BLDC à encoches.

The image(s) distributed with this press release are for Editorial use only and are subject to copyright. The image(s) may only be used to accompany the press release mentioned here, no other use is permitted.

**À propos de Portescap**

Portescap propose la gamme la plus étendue de moteurs spécialisés et minimoteurs du secteur, couvrant les technologies des moteurs DC à balais sans fer, DC sans balais, pas-à-pas, réducteurs, actionneurs linéaires numériques et à aimant disque. Depuis plus de 70 ans, les produits Portescap répondent à divers besoins solutions motorisées dans des applications médicales et industrielles très diverses.

Portescap possède des centres de fabrication aux États-Unis et en Inde, et utilise un réseau mondial de développement de produits doté de centres de recherche et développement aux États-Unis, en Chine, en Inde et en Suisse.

Pour davantage d'informations, consultez : [www.portescap.com](http://www.portescap.com)

**Press contact:****Portescap**

Nicole Monaco

Global Marketing Manager

Tel.: +1 404.877.2534

[sales.europe@portescap.com](mailto:sales.europe@portescap.com)**PR agency:****DMA Europa****Aija Senberga**

Progress House, Great Western Avenue, Worcester,

WR5 1AQ, UK

Tel.: +44 (0) 1905 917477

[aia.senberga@dmaeuropa.com](mailto:aia.senberga@dmaeuropa.com)[news.dmaeuropa.com](http://news.dmaeuropa.com)