Quel est le moyen le plus efficace de commuter un moteur BLDC?

Comprendre les méthodes et les compromis

Par Jason Kelly, ingénieur en conception électromécanique, CUI Inc

Les moteurs à courant continu sans balais

Les moteurs électriques à courant continu sans balais (*BrushLess Direct Current electric motors*), aussi appelés moteurs BLDC, sont des moteurs à commutation électronique alimentés par une source électrique continue via un contrôleur de moteur externe. Contrairement à leurs congénères équipés de balais, les moteurs BLDC s'appuient sur des contrôleurs externes pour réaliser la commutation. Plus précisément, la commutation est le processus consistant à changer le sens du courant dans les phases du moteur afin de générer le mouvement. Les moteurs à balais sont dotés de balais physiques pour réaliser ce processus deux fois par rotation, contrairement aux moteurs BLDC, d'où leur nom. Suivant la nature de leur conception, ils peuvent avoir un nombre quelconque de paires de pôles pour la commutation.

Les moteurs BLDC offrent des avantages significatifs par rapport aux moteurs à balais traditionnels. Ils se caractérisent généralement par une augmentation du rendement de 15 à 20%, nécessitent moins d'entretien en s'affranchissant de l'usure physique des balais et affichent une courbe de couple uniforme à toutes les vitesses nominales. Bien que les moteurs BLDC ne soient pas une nouvelle invention, l'adoption généralisée a été lente en raison de la nécessité de disposer d'un circuit complexe de commande et de rétroaction. Cependant, les progrès récents dans la technologie des semi-conducteurs, de meilleurs aimants permanents et la demande croissante pour une plus grande efficacité ont conduit les moteurs BLDC à remplacer les moteurs à balais dans de nombreuses applications. Les moteurs BLDC ont trouvé leur place dans de nombreux secteurs, notamment les produits blancs, l'automobile, l'aérospatiale, la grande consommation, les équipements médicaux, l'automatisation industrielle et l'instrumentation.

L'industrie évoluant dans une direction qui nécessite des moteurs BLDC dans de plus en plus d'applications, de nombreux ingénieurs doivent passer à cette technologie. Et tandis que les bases de la conception de moteur s'appliquent toujours, la présence de circuits de contrôle externes a modifié l'équation, conduisant à prendre en compte différentes considérations. Comment obtenir une rétroaction pour la commutation du moteur se trouve au haut de la liste de ces nouvelles considérations de conception.

La commutation du moteur

Avant d'aller plus loin dans les options de rétroaction dans les moteurs BLDC, il est important de comprendre pourquoi elles sont nécessaires. Les moteurs BLDC sont disponibles en configuration monophasée, biphasée et triphasée, la configuration la plus courante étant triphasée. Le nombre de phases correspond au nombre de bobinages sur le stator tandis que les pôles du rotor peuvent venir en un nombre quelconque de paires en fonction de l'application. Du fait que le rotor d'un moteur BLDC est influencé par les pôles du stator tournant, la position du pôle stator doit être suivie afin de piloter efficacement les 3 phases du moteur. Par conséquent, un contrôleur de moteur est utilisé pour générer un schéma de commutation à 6 étapes sur les 3 phases du moteur. Ces 6 phases, ou phases de commutation, créent un champ électromagnétique qui amène les aimants permanents du rotor à déplacer l'arbre du moteur.

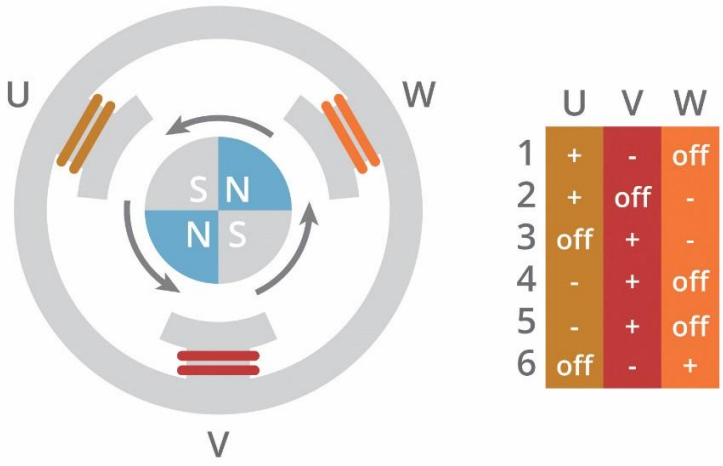


Figure 1: Schéma pour la commutation à six étapes d'un moteur BLDC

En utilisant ce scénario standard de commutation de moteur, le contrôleur de moteur peut alors utiliser un signal modulé en largeur d'impulsion (*Pulse-Width Modulated*, PWM) à haute fréquence pour réduire efficacement la tension moyenne observée par le moteur, faisant ainsi varier la vitesse du moteur. Cette configuration permet également une grande souplesse de conception en permettant d'utiliser une source de tension pour une large gamme de moteurs même si la source de tension continue est beaucoup plus grande que la tension nominale du moteur. Pour que ce système conserve ses avantages en termes de rendement par rapport à la technologie à balais, une boucle de contrôle très serrée est nécessaire entre le moteur et le contrôleur. C'est là que la technologie de rétroaction devient importante; pour que le contrôleur maintienne un contrôle précis du moteur, il doit toujours connaître la position exacte du stator par rapport au rotor. Tout désalignement ou décalage de phase entre les positions attendue et réelle peut entraîner un comportement indésirable et une baisse des performances. Il y a plusieurs façons d'obtenir cette rétroaction pour la commutation des moteurs BLDC, mais les plus courantes emploient des capteurs à effet Hall, des codeurs ou des résolveurs. De plus, certaines applications reposent sur des techniques de commutation sans capteur.

Rétroaction basée sur la position

Depuis l'invention des moteurs sans balais, les capteurs à effet Hall ont été les plus utilisés pour la rétroaction de commutation. Pour la commande triphasée, seuls 3 capteurs sont nécessaires et, avec un coût par unité très faible, ils constituent l'option la plus économique pour réaliser la commutation dans une pure perspective de coût de nomenclature. Les capteurs à effet Hall sont intégrés dans le stator du moteur pour détecter la position du rotor, qui est utilisée pour commuter les transistors dans le pont triphasé afin d'entraîner le moteur. Les trois sorties du capteur à effet Hall sont communément appelées canaux U, V et W. Alors que les capteurs à effet Hall sont une solution efficace pour la commutation des moteurs BLDC, ils ne répondent qu'à la moitié des besoins d'un système BLDC.

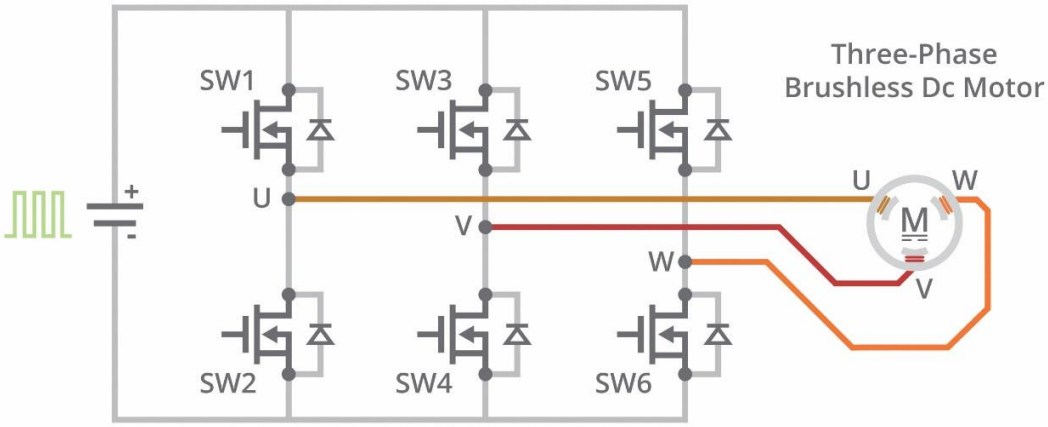


Figure 2: Circuit de pilote à pont triphasé

Les capteurs à effet Hall permettent à un contrôleur de piloter un moteur BLDC, mais malheureusement ses commandes sont limitées à la vitesse et à la direction. Avec un moteur triphasé, les capteurs à effet Hall ne peuvent fournir qu'une position angulaire dans chaque cycle électrique. Comme le nombre de paires de pôles a tendance à augmenter, le nombre de cycles électriques par tour mécanique augmente aussi. L'utilisation de moteurs BLDC devenant de plus en plus courante, le besoin d'une détection de position plus précise s'impose. Pour assurer une solution robuste et complète, le système BLDC doit fournir des informations de position en temps réel, de sorte que le contrôleur puisse suivre non seulement la vitesse et la direction, mais aussi la distance parcourue et la position angulaire.

La solution la plus courante pour répondre au besoin d'informations de position plus précises a été d'ajouter un encodeur rotatif incrémental au moteur BLDC. Des encodeurs incrémentaux sont souvent ajoutés en plus des capteurs à effet Hall dans un même système de contrôle de boucle de rétroaction. Les capteurs à effet Hall sont utilisés pour la commutation du moteur, et l'encodeur sert à suivre la position, la rotation, la vitesse et la direction avec une précision beaucoup plus grande. Puisque les capteurs à effet Hall ne fournissent de nouvelles informations de position qu'à chaque changement d'état de l'effet Hall, leur précision est limitée à six états par révolution électrique; pour un moteur bipolaire, cela ne donne que six états par révolution mécanique. Par rapport aux encodeurs incrémentaux qui offrent des résolutions pour des milliers d'impulsions par tour (*Pulses Per Revolution*, PPR), qui peuvent alors être décodées en quatre fois le nombre de changements d'état, la nécessité des deux techniques devient évidente.

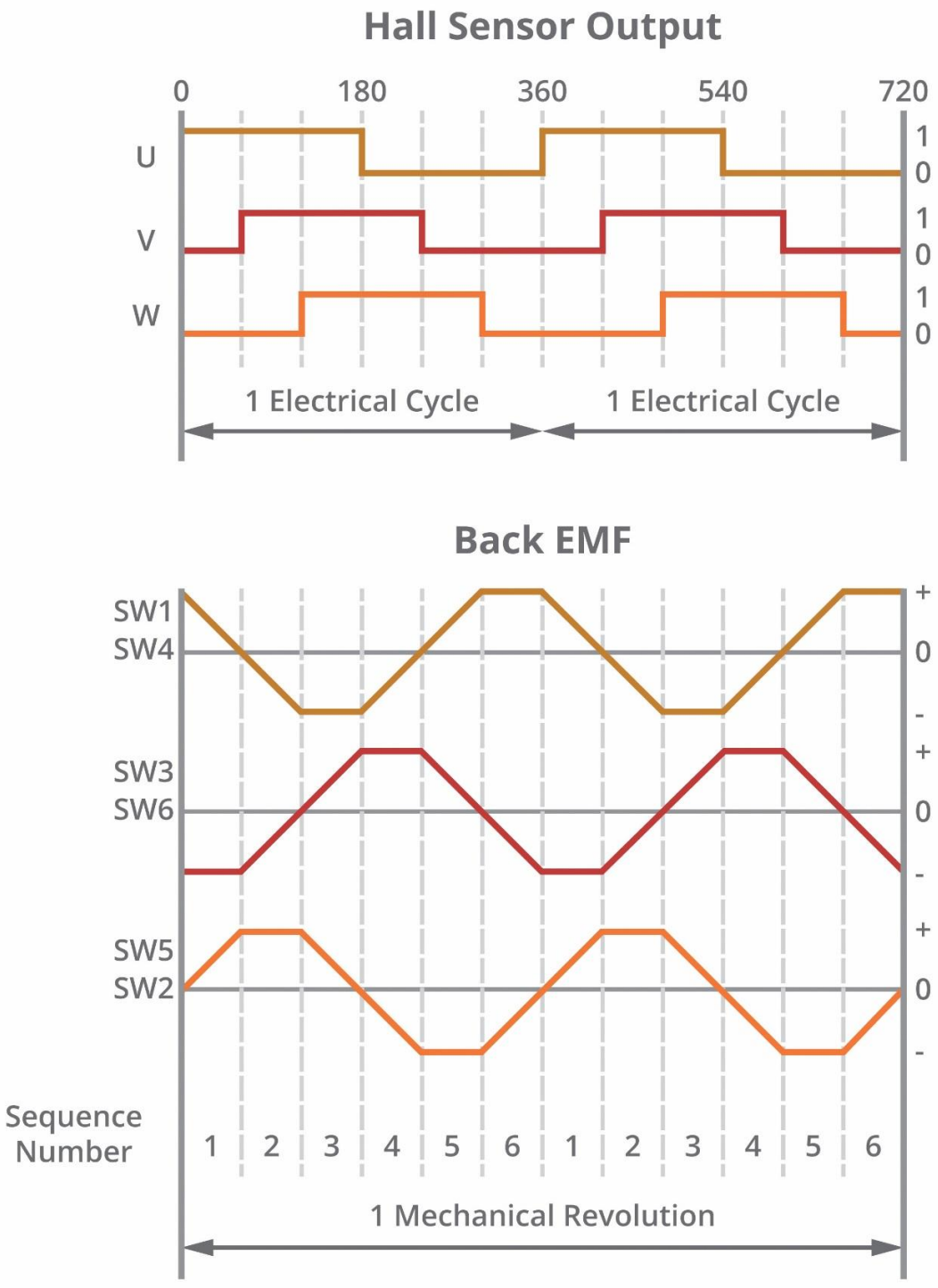


Figure 3: Sorties à effet Hall à six étapes et phases de moteur trapézoïdales

Cependant, étant donné que les constructeurs doivent équiper leurs moteurs de capteurs à effet Hall et de codeurs incrémentaux, de nombreux fabricants d'encodeurs proposent désormais des encodeurs incrémentaux à sorties de commutation, souvent appelés simplement encodeurs de commutation. Ces encodeurs sont conçus pour fournir leurs canaux traditionnels en quadrature A et B (et parfois une voie d'impulsion d'index Z unique par tour) en plus des signaux de commutation standard U, V et W requis par la plupart des pilotes de moteur BLDC. Cela évite aux concepteurs de moteurs d'installer inutilement à la fois des capteurs à effet Hall et un encodeur incrémental.

Bien que les avantages de cette approche soient convaincants, cette méthode implique cependant un compromis important. Comme indiqué précédemment, pour qu'un moteur BLDC soit commuté efficacement, les positions du rotor et du stator doivent être connues. Cela signifie qu'il faut veiller à ce que les canaux U/V/W du codeur de commutation soient correctement alignés sur les phases du moteur BLDC.

Pour les encodeurs optiques qui ont des motifs fixes sur leurs disques optiques et les capteurs à effet Hall qui doivent être placés manuellement, le processus d'alignement correct d'un moteur BLDC est à la fois itératif et coûteux en temps. La méthode nécessite un équipement supplémentaire comprenant un second moteur et un oscilloscope. Pour aligner un encodeur optique ou un ensemble de capteurs à effet Hall, le moteur BLDC doit être rétro-régulé avec un deuxième moteur. Ainsi, alors que le moteur est mis en rotation à une vitesse constante par le second moteur, un oscilloscope est utilisé pour surveiller la force contre-électromotrice (également connue sous le nom de *back ElectroMotive Force* or back-EMF) des trois phases motrices. Les signaux U/V/W résultants de l'encodeur ou des capteurs Hall doivent être vérifiés par rapport à la forme d'onde EMF présentée en retour sur l'oscilloscope. S'il existe des différences entre les canaux U/V/W et la forme d'onde EMF retournée, un ajustement doit être effectué. Ce processus, qui peut prendre jusqu'à 20 minutes par moteur, nécessite des installations de laboratoire étendues et constitue une source majeure de réticence à l'utilisation de moteurs BLDC. Bien que les encodeurs à commutation optique allègent cette contrainte avec l'installation d'une seule technologie, l'inconvénient de la mise en œuvre d'un encodeur à commutation optique est son manque de polyvalence. Étant donné que les codeurs optiques utilisent des motifs fixes sur leurs disques optiques, le nombre de pôles du moteur, la résolution en quadrature et la taille de l'arbre du moteur doivent être connues avant la commande.

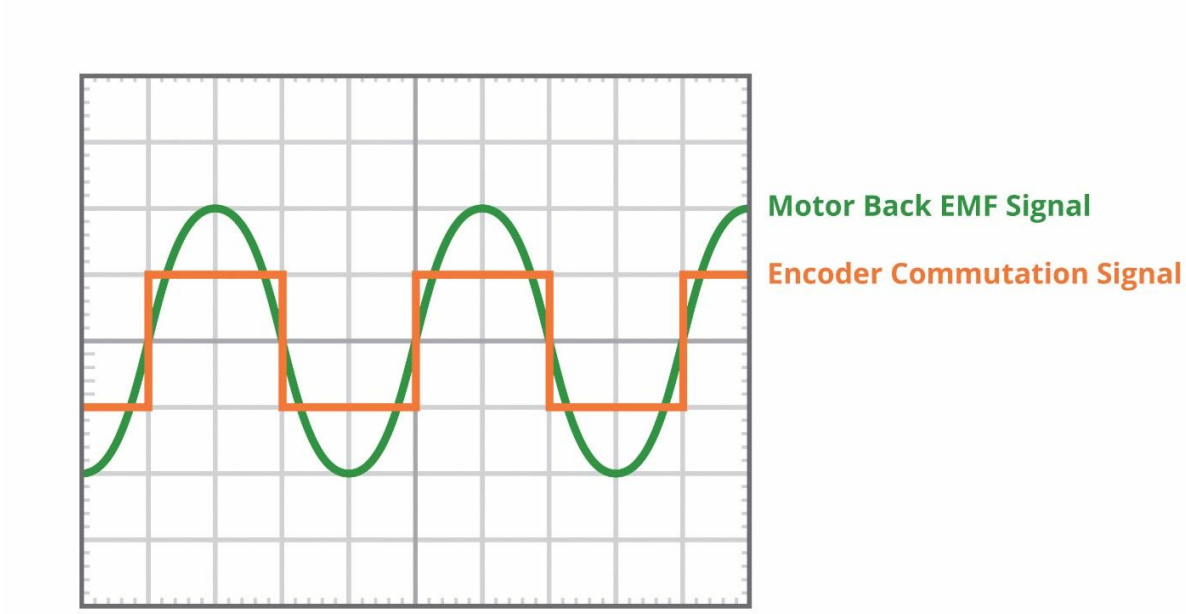


Figure 4: Alignement souhaité des canaux de commutation et des phases du moteur

Les encodeurs capacitifs de commutation

CUI Inc a résolu ces deux problèmes en offrant un encodeur de commutation amélioré basé sur la technologie capacitive brevetée utilisée dans sa famille de produits AMT. Les codeurs optiques utilisent de très petites LED pour transmettre la lumière à travers un disque avec des encoches à des intervalles spécifiques pour générer des modèles de sortie. Les encodeurs AMT peuvent être décrits de la même manière, mais au lieu de transmettre la lumière via des LED, un champ électrique est transmis. A la place d'un disque optique, on trouve un PCB rotor contenant une piste métallique à motif sinusoïdal qui module le champ électrique. Le signal modulé venant du récepteur est ensuite renvoyé à l'émetteur où il est comparé à l'original via un ASIC propriétaire. Cette technologie utilise le même principe qu'un dispositif numérique Vernier, reconnu pour sa fiabilité et sa précision.

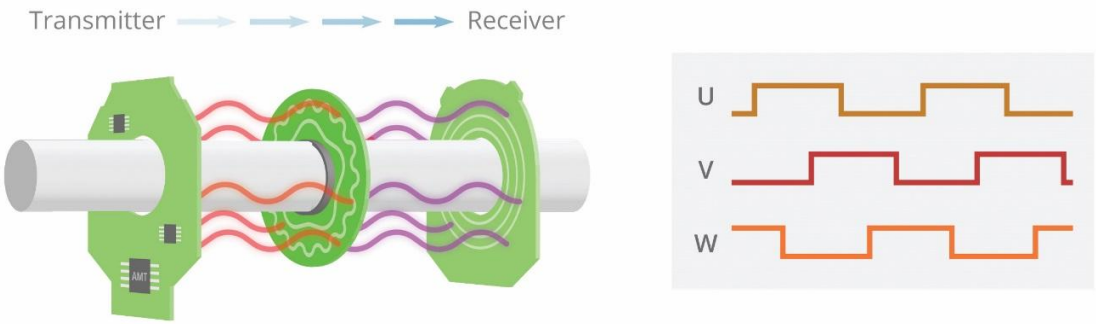


Figure 5: Fonctionnement d'un encodeur capacitif

La famille AMT31 d'encodeurs de commutation fournit des sorties incrémentales A/B/Z, ainsi que des sorties de commutation U/V/W. Avec une conception comprenant un ASIC capacitif et un MCU embarqué, le codeur génère ses sorties numériquement. Cette caractéristique est importante car elle permet à l'utilisateur de régler numériquement la position zéro de l'encodeur en appuyant simplement sur un bouton. Il suffit de verrouiller le moteur BLDC dans l'état de phase souhaité et de mettre à zéro l'encodeur AMT31 avec le module AMT One Touch Zero™ ou l'interface graphique de programmation AMT Viewpoint™. Cela supprime le besoin d'un moteur supplémentaire, ou de visualiser un quelconque signal de sortie sur un oscilloscope, réduisant effectivement de 20 minutes le processus d'assemblage.

Et grâce à la technologie capacitive, les sorties de résolution en quadrature et de commutation peuvent être ajustées dynamiquement. Les utilisateurs connectent simplement l'encodeur AMT31 à l'interface graphique AMT Viewpoint, sélectionnent parmi une liste de 20 résolutions de quadrature (jusqu'à 4096 PPR) et 7 options de paires de pôles standard (jusqu'à 20 pôles), et tapent sur la touche «*Program*». Il en résulte des avantages en termes de développement, permettant aux ingénieurs de modifier rapidement et facilement les prototypes, et aussi facilitant la gestion de la chaîne logistique de production en conduisant à l'utilisation d'une seule unité de stockage (*Stock-Keeping Unit*, SKU) pour plusieurs commandes de moteur de résolutions et nombre de pôles BLDC différents. En plus du fait que chaque unité prend en charge de multiples résolutions et nombres de paires de pôles, le boîtier de l'encodeur est conçu pour un assemblage facile, offrant plusieurs options de montage et plusieurs tailles de manchon pour s'adapter aux diamètres d'arbre moteur couramment utilisés.

L'interface graphique AMT Viewpoint assure également un niveau de support de conception sans précédent à l'encodeur de la série AMT31. Lorsque vous êtes connecté à AMT Viewpoint, les données de diagnostic de l'encodeur AMT31 peuvent être téléchargées et utilisées pour éviter les pannes potentielles et donc éliminer des dysfonctionnements sur le terrain.

Conclusion

Une boucle de contrôle serrée avec une grande précision permet aux BLDC d'exceller dans de nombreux domaines. Une précision accrue signifie moins de gaspillage d'énergie, une plus grande précision et plus de contrôle pour l'utilisateur final sur le fonctionnement du BLDC. Les moteurs BLDC sont actuellement mis en œuvre dans un large éventail d'applications, comme la robotique chirurgicale, les automobiles sans conducteur, l'automatisation des chaînes de montage, et trouveront bientôt leur place dans de nombreux autres domaines non encore envisagés. Et au fur et à mesure que le marché des moteurs BLDC se développe, les exigences restent les mêmes: des moteurs robustes et efficaces qui offrent une rétroaction de détection de position à faible coût et de haute précision. Associé à un moteur BLDC, l'encodeur de la série AMT31 est capable de réaliser des économies importantes en temps pendant l'installation, tout en rationalisant le développement et la fabrication. Grâce à sa grande polyvalence, sa capacité à être programmé et remis à zéro en quelques secondes, et sa compatibilité avec l'AMT Viewpoint GUI, l'encodeur AMT31 est bien ajusté pour répondre aux besoins du marché BLDC en plein essor.