

# Un logiciel de commande d'un moteur synchrone à aimants permanents... sur un microcontrôleur 8 bits!

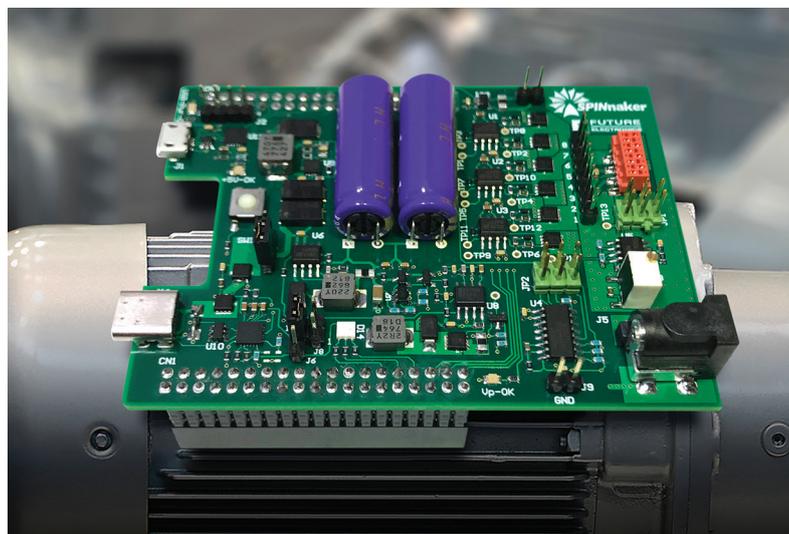
Pour la première fois sur le marché, il devient possible d'utiliser un moteur synchrone à aimants permanents (PMSM) dans des applications à bas coût et à fort volume jusque-là limitées à l'emploi de moteurs à courant continu avec ou sans balais. Et ce, comme l'explique ici Future Electronics, grâce à un algorithme original développé en interne et implanté sur un microcontrôleur 8 bits.

## AUTEUR



Steffen Hering,  
Business  
Development  
Manager,  
Future  
Electronics.

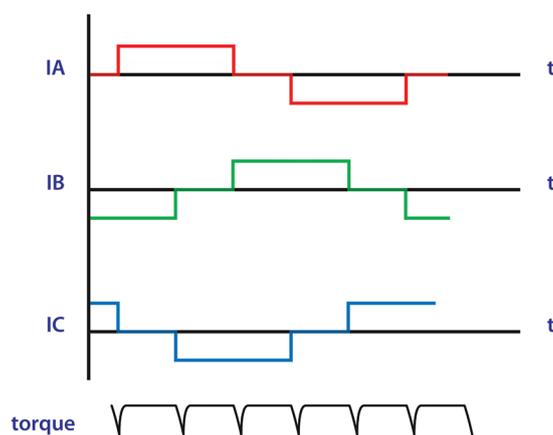
Les fabricants d'équipements médicaux, automobiles ou industriels qui souhaitent remplacer d'anciens moteurs électriques continus à balais (BDC, Brushed Direct Current) ou commutés sans balais (BLDC, BrushLess Direct Current) par des versions synchrones à aimants permanents (PMSM, Permanent Magnet Synchronous Motor) ont jusqu'à maintenant été confrontés à un compromis difficile. En contrepartie de l'efficacité, de la durée de vie plus longue et de la plus grande fiabilité offertes par les moteurs PMSM, le concepteur devait accepter un coût de nomenclature plus élevé via l'utilisation de processeurs puissants. Ceci étant dû au fait



• La carte fille SPINnaker de Future Electronics est une carte de commande moteur à trois phases, reliée via un connecteur standard à une carte de développement STM8S-DISCOVERY de STMicroelectronics pour la famille des microcontrôleurs 8 bits STM8S.

## 1 PATTERN DE COMMUTATION

Un pattern typique de commutation d'un moteur BLDC montre ici l'alternance des trois phases et la variation de couple (torque) causée par les commutations.



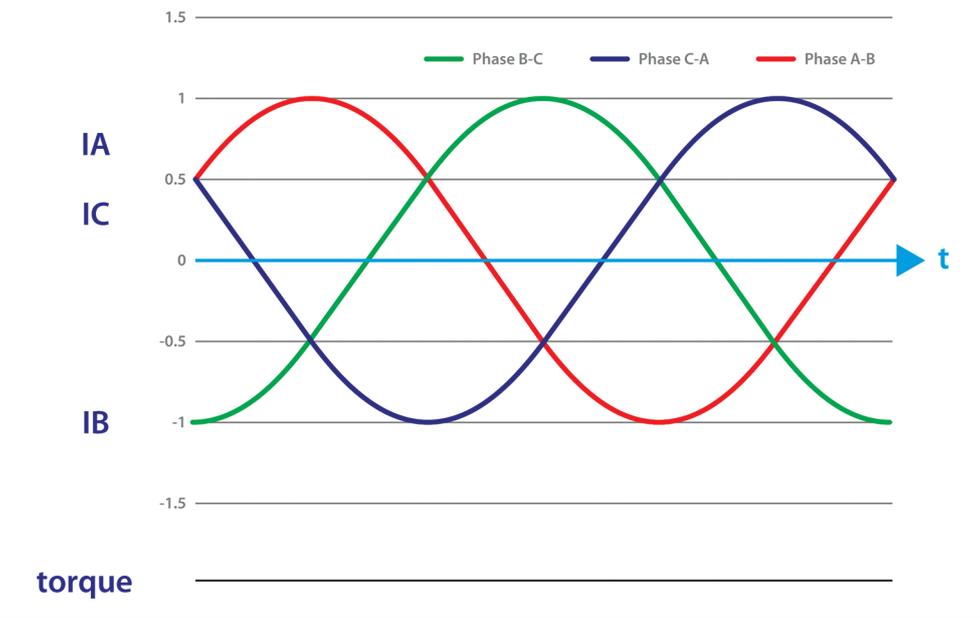
que les calculs mathématiques complexes nécessaires au contrôle d'un PMSM à commutation électronique impliquent de disposer de capacités de traitement à haute vitesse d'un microcontrôleur 32 bits dans la plupart des cas, ou 16 bits à l'extrême rigueur.

Ce désavantage de coût empêchait jusque-là les moteurs PMSM de répondre aux applications à fort volume et marge réduite. Alors que le remplacement des moteurs classiques par des versions PMSM, on le sait, va permettre aux OEM de bénéficier de leurs caractéristiques attractives : grande fiabilité, meilleure efficacité et faible bruit acoustique. Mais

la donne est en train de changer. Future Electronics a en effet développé une forme de commande vectorielle à champ orienté (FOC, Field-Oriented Control) pour la commutation d'un PMSM, exécutable sur un simple microcontrôleur 8 bits à bas coût. Adapté aux moteurs tournant à vitesse constante et sujets à de faibles variations de charge, le design de référence SPINnaker, développé par Future pour la commande moteur, apporte les bénéfices d'un PMSM – efficacité, fiabilité et faible nuisance sonore – à un coût de nomenclature sensiblement égal à la moitié d'une réalisation sur microcontrôleur 32 bits. En d'autres

## 2 COMMUTATION SINUSOÏDALE

On voit ici une commutation sinusoïdale dans laquelle les trois phases sont modulées pour un couple maximum de profil plat, pour n'importe quel angle du rotor.



termes, il est désormais possible de proposer un design PMSM avec un logiciel de commutation FOC dans des applications à prix serré.

### Plusieurs types de commutation

En fait, pour être précis, il est déjà possible de réaliser la commutation électronique d'un moteur avec un microcontrôleur 8 bits. La commutation par bloc (figure 1), le moyen le plus simple de commander des moteurs à commutation électronique, à faible complexité mathématique, peut être réalisée sur un microcontrôleur relativement lent. Une approche largement utilisée pour les moteurs BLDC. Mais un moteur BLDC a un arrangement d'enroulements différent de celui d'un PMSM et est mieux adapté à la commutation par bloc. Cependant celle-ci a de nombreux inconvénients qui réduisent son attrait pour les concepteurs de systèmes motorisés : ondulation de couple relativement élevée, efficacité médiocre et bruit acoustique non négligeable.

L'approche FOC est une méthode plus sophistiquée pour la commande moteur qui présente des caractéristiques de fonctionnement plus attrayantes. La commande étant de forme sinusoïdale, le système moteur est plus silencieux, plus efficace et ne produit pas d'ondulation de couple (figure 2).

Ce qui signifie qu'un moteur PMSM est le meilleur choix quand l'application requiert un contrôle précis d'un rotor en rotation continue et/ou quand le moteur doit fonctionner quasi silencieusement. Les cas d'utilisation typiques incluent les ventilateurs d'habitacle dans les véhicules, dont les passagers apprécient le faible bruit acoustique, les équipements de production industrielle nécessitant un contrôle précis de position et, lorsque

la fiabilité est essentielle, les pompes sans maintenance ou inaccessibles, installées dans les équipements de forage par exemple.

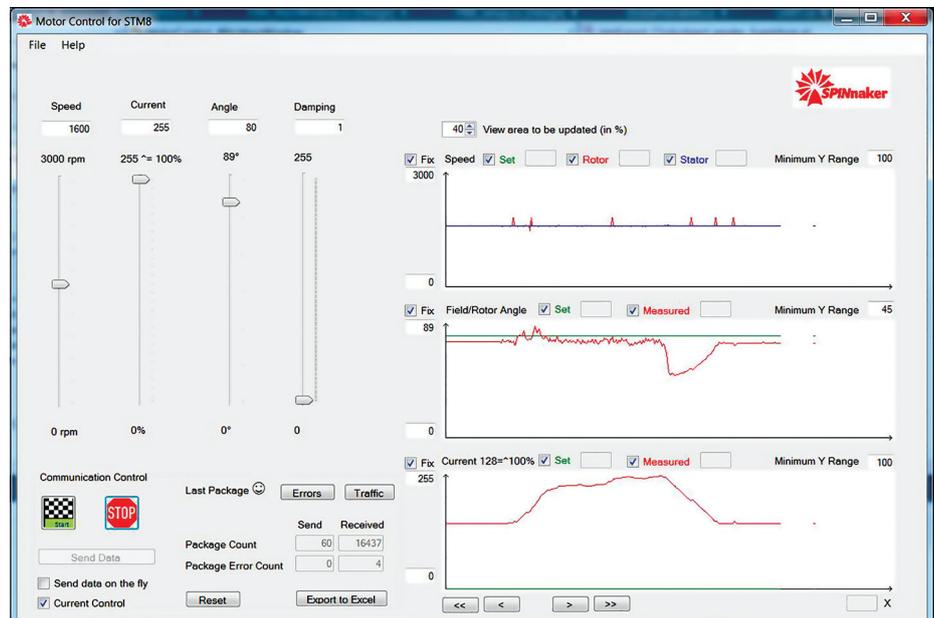
La méthode sinusoïdale FOC, si elle est avantageuse, est intensive en termes de calculs. Classiquement, la commutation FOC est réalisée via un algorithme de commande complexe qui implique l'usage d'opérations en virgule flottante, de fonctions trigonométriques, de nombres complexes et d'opérations matricielles. Un logiciel FOC occupe typiquement une empreinte de 24 à 60 Ko en mémoire flash.

Tout ceci est habituellement de la seule compétence d'un microcontrôleur 32 bits. Mais Future Electronics, avec son design de référence SPINnaker pour commande moteur, a développé une version de logiciel FOC opérant sur le principe de la modulation vectorielle SVM (Space Vector Modulation) et fonctionnant sur un microcontrôleur 8 bits.

Le design de référence SPINnaker est constitué d'une carte-fille de commande moteur à trois phases, reliée via un connecteur standard à une carte de développement STM8S-DISCOVERY de STMicroelectronics équipée d'un microcontrôleur 8 bits de la famille des STM8S (photo). Il est également possible de connecter la carte de commande moteur à une carte STM8A-DISCOVERY pour les

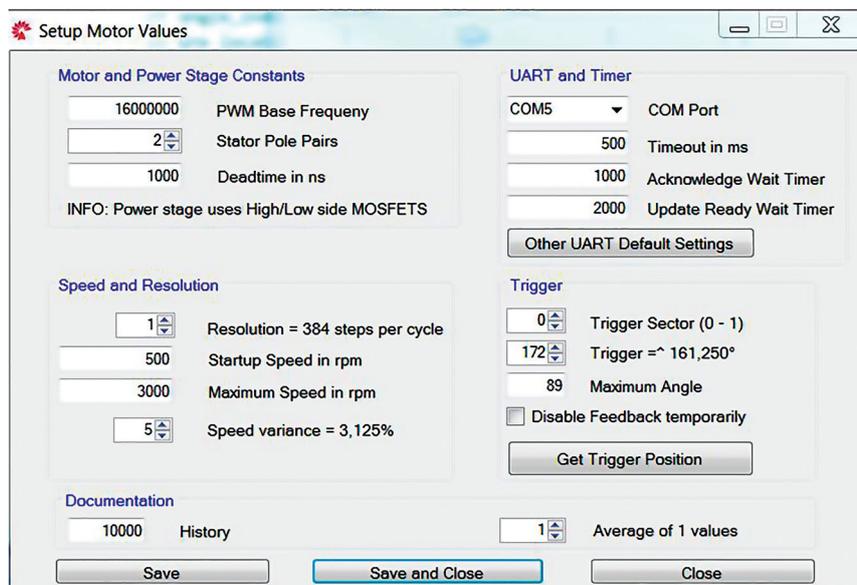
## 3 INTERFACE GRAPHIQUE DE CONFIGURATION

L'interface graphique de l'outil de configuration fourni par Future Electronics avec le système SPINnaker comporte des curseurs pour sélectionner la vitesse de rotation en tours/minute, le courant et l'angle entre rotor et stator.



## 4 OPTIONS DE PARAMÉTRAGE

L'outil de configuration propose à l'utilisateur des options de paramétrage des caractéristiques du moteur.



familles de microcontrôleurs 8 bits destinés au marché automobile, les STM8AF et STM8AL, spécifiés pour une température de jonction maximum de 150°C.

### Un algorithme indépendant du microcontrôleur

En fait l'architecture du logiciel SPINnaker est indépendante du microcontrôleur utilisé et peut être portée à la demande sur les microcontrôleurs 8 bits d'autres fabricants si nécessaire.

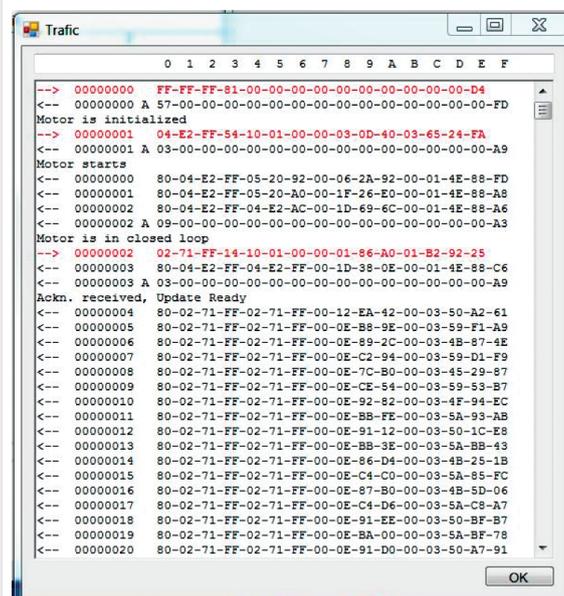
L'algorithme spécifique de Future Electronics contrôle la vitesse du rotor, le courant (flux) et l'angle entre rotor et stator. Il réalise une émulation des régulations proportionnelle-intégrale (PID) et ne nécessite ni opération de division ni autre fonction mathématique complexe. Conséquence, l'empreinte mémoire est faible, environ 7 Ko de mémoire flash et 1,2 Ko de RAM.

La résolution maximum de la solution est de 384 pas par tour. L'utilisateur peut configurer le logiciel pour réduire cette résolution et augmenter la vitesse de rotation. L'outil utilise en standard une interface UART pour transférer les paramètres de configuration et les données de surveillance système mais peut également utiliser une interface I<sup>2</sup>C, SPI ou LIN. Le logiciel de commutation fonctionne avec un indicateur de position ou un capteur. Le fonctionnement sans capteur est également possible mais nécessite

alors une circuiterie supplémentaire. Bien entendu, compacter un algorithme complexe de contrôle pour tenir dans un espace restreint s'accompagne inévitablement de quelques compromis. Comparé à une réalisation 32 bits, le logiciel FOC SPINnaker répond plus lentement à des variations de charge et assure un contrôle moins précis quand la vitesse du rotor varie rapidement. Par ailleurs le système ne fournit des données qu'une fois par tour et non à chaque pas comme

## 5 TABLEAU D'ÉCHANGE DE DONNÉES

On voit ici les échanges de données entre la carte microcontrôleur STM8S (en rouge) et la carte fille de commande moteur (en noir).



dans un système FOC standard. Néanmoins, comme le montrent les résultats de tests de performance, SPINnaker assure un contrôle de vitesse et une stabilité remarquables lorsqu'il commande un moteur à vitesse constante, avec peu de variation de charge. Et la promesse de réduction du coût de nomenclature est alors réelle: une comparaison réalisée par Future Electronics avec une réalisation 32 bits indique que SPINnaker apporte une économie d'environ 50%.

### Aller vers une simplicité de la configuration

Le logiciel embarqué de commande moteur SPINnaker est complété d'un outil de configuration sur PC qui simplifie la configuration du fonctionnement moteur pour le développeur (figure 3). L'interface utilisateur de l'outil affiche également des graphiques permettant d'observer la performance du moteur en temps réel. L'interface graphique intègre en outre des curseurs pour sélectionner la vitesse de rotation en tours/minute, le courant et l'angle entre rotor et stator. Dans le cas du fonctionnement du système SPINnaker en conditions de test, une augmentation de la charge mécanique provoque une augmentation du courant. Après une brève et faible variation de l'angle du rotor, l'algorithme le ramène rapidement à l'équilibre. Lorsque la charge mécanique est découplée du rotor, l'algorithme réduit le courant provoquant un bref écart de l'angle entre rotor et stator par rapport à sa valeur spécifiée, avant le retour à l'équilibre.

Tout en visualisant le fonctionnement du système, l'outil graphique de configuration permet aussi à l'utilisateur de paramétrer différentes caractéristiques moteur (figure 4). Le logiciel embarqué intègre des dispositifs de sûreté et de protection, comme la détection automatique de blocage et de surcharge, qui affichent des alertes utilisateur dans l'outil de configuration en cas de déclenchement.

Le système SPINnaker permet aussi à l'utilisateur d'observer les échanges de données entre la carte microcontrôleur et la carte fille de commande moteur (figure 5). L'analyse détaillée des données permet ainsi au développeur d'optimiser les séquences de commande pour des conditions de fonctionnement spécifiques. ■