

Comment faciliter la transition vers les commandes vectorielles FOC de moteurs synchrones

L'adoption de systèmes de commande moteur avancés fondés sur des moteurs synchrones à aimants permanents (PMSM) avec commande vectorielle FOC sans fil est motivée par deux raisons principales : améliorer l'efficacité énergétique et renforcer la différenciation du produit. Pour réussir un tel système de commande, un écosystème global permet aux développeurs de résoudre les problèmes qui entravent son adoption, comme l'explique ici Microchip.

Un moteur synchrone à aimants permanents (PMSM, Permanent Magnet Synchronous Motors) est un moteur sans balais qui utilise la commutation électronique. On le confond souvent avec le moteur sans balais à courant continu (BLDC, pour Brushless DC), un autre membre de la famille des moteurs sans balais qui utilise également la commutation électronique, mais qui est construit légèrement différemment. L'architecture du moteur PMSM est optimisée pour la commande vectorielle FOC (Field Oriented Control), tandis que le moteur BLDC est optimisé pour utiliser la technique de commutation classique en 6 étapes. Cette optimisation autorise le moteur PMSM à afficher une force contre-électromotrice sinusoïdale, tandis que celle du moteur BLDC est trapézoïdale.

Les capteurs de position du rotor utilisés sur chacun de ces moteurs sont également différents. Les moteurs PMSM utilisent typiquement un codeur de position tandis que les moteurs BLDC utilisent trois capteurs à effet Hall pour leur fonctionnement. Sur le plan économique, les développeurs ont intérêt à réfléchir à la mise en œuvre de techniques sans capteurs qui permettent de se passer d'aimants, de connecteurs et de câbles. En se passant de tels capteurs, on améliore également la fiabilité puisque le système renferme nécessairement moins de composants pouvant tomber en panne. De plus, si on compare un moteur

AUTEUR



Nelson Alexander,
Senior Marketing Engineer,
Microchip Technology.

PMSM sans capteurs et un moteur BLDC, le moteur PMSM sans capteurs utilisant un algorithme de type FOC fournit de meilleures performances pour une conception matérielle similaire et un coût de mise en œuvre comparable.

Les applications qui bénéficieront le plus d'un passage vers un PMSM sont celles qui utilisent actuellement un moteur DC avec balais (BDC, ou Brushed DC) ou un moteur à induction AC (ACIM, pour AC Induction Motor). Ici les avantages de la commutation incluent une consommation plus faible, une vitesse plus élevée, un meilleur couple, un niveau de bruit audible plus faible, une meilleure longévité et des dimensions plus réduites. Cependant, pour obtenir tous ces avantages en utilisant un PMSM, le développeur doit mettre en œuvre la technique de

commande FOC, souvent jugée complexe, ainsi que d'autres algorithmes spécifiques à l'application, afin de respecter les exigences du système.

Mise en œuvre d'une commande FOC de moteur PMSM : des difficultés à surmonter

Pour utiliser un moteur PMSM il est nécessaire de bien comprendre les complexités matérielles inhérentes à la mise en œuvre d'une technique de commande FOC. Sur un système de commande de moteur PMSM triphasé qui utilise un onduleur de tension triphasé, la commande de l'onduleur nécessite trois paires de signaux PWM haute résolution qui sont interconnectés ainsi que de nombreux signaux de retour analogiques qui nécessitent un traitement du signal (figure 1). Le système requiert également des fonctions de protection matérielle pour la tolérance aux pannes, conçues à l'aide de comparateurs analogiques haute vitesse pour une réponse rapide. Ces composants analogiques supplémentaires, nécessaires pour les opérations de détection, de commande et de protection, augmentent le coût de la solution, sans être pour autant requis pour un système de moteurs BDC typique ni pour la simple commande d'un moteur ACIM.

Il faut également prendre en compte le temps de développement nécessaire pour définir et valider les spécifications des composants pour l'application de commande de

QUELQUES RÉFÉRENCES

■ TB3220 Sensorless Field-Oriented Control of Permanent Magnet Synchronous Motor (Surface and Interior) for Appliances with Angle-Tracking Phase-Locked Loop Estimator (FOC sans capteur pour moteurs PMSM (de surface et interne) pour les appareils avec estimateur de boucle à verrouillage de phase avec suivi d'angle (AT-PLL): [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/TB3220-Sensorless-Field-Oriented-Control-of-PMSM-for-](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/TB3220-Sensorless-Field-Oriented-Control-of-PMSM-for-Appliances-DS90003220A.pdf)

[Appliances-DS90003220A.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/TB3220-Sensorless-Field-Oriented-Control-of-PMSM-for-Appliances-DS90003220A.pdf)

■ Suite de développement motorBench: <https://www.microchip.com/design-centers/motor-control-and-drive/motorbench-development-auto-tuning>

■ Ressources de conception de commande de moteur: <https://www.microchip.com/design-centers/motor-control-and-drive>

■ Bibliothèque de commande de moteur: <https://www.microchip.com/design-centers/motor-control-and-drive/motor-control-library>

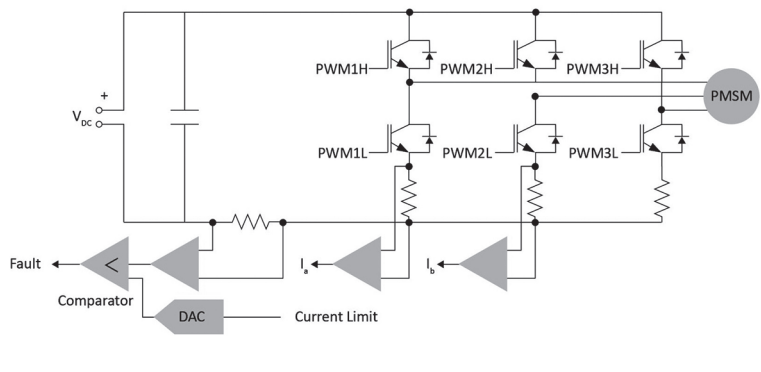
moteur PMSM. Pour résoudre ces problèmes, les développeurs peuvent choisir un microcontrôleur qui offre un niveau élevé d'intégration analogique avec les spécifications des composants conçues pour la commande de moteur PMSM, ce qui réduira d'autant le nombre de composants externes et optimisera la nomenclature. De tels composants pour la commande de moteur à haut niveau d'intégration sont dorénavant disponibles avec des PWM haute résolution pour faciliter la mise en œuvre d'algorithmes de commande avancés, de périphériques analogiques haute vitesse pour des mesures et un traitement de signal précis, des périphériques matériels nécessaires pour la sécurité fonctionnelle, ainsi que des interfaces série pour la communication et le débogage.

L'interaction entre le logiciel de commande de moteur et le comportement mécanique du moteur se révèle tout aussi épineuse. Pour passer du concept à un système véritable (figure 2), il faut une bonne compréhension de l'architecture du contrôleur et des instructions du processeur de signal numérique (DSP, Digital Signal Processor) afin de pouvoir mettre en œuvre des boucles de contrôle à contraintes de temps et gourmandes en ressources de calcul.

Pour obtenir des performances fiables, la boucle de contrôle doit s'exécuter au cours d'une seule période PWM (Pulse-Width Modulation pour modulation de largeur d'impulsion). Les boucles de contrôle doivent être optimisées en matière de temps pour trois raisons. D'une part, on doit utiliser une fréquence de commutation PWM à 20kHz ou plus (période de 50µs) pour supprimer le bruit acoustique de la commutation de l'onduleur, c'est une contrainte. Ensuite, pour obtenir un système de contrôle de la bande

1 SYSTÈME DE COMMANDE DE MOTEUR PMSM TRIPHASÉ UTILISANT UN ONDULEUR DE TENSION TRIPHASÉ

Sur un système de commande de moteur PMSM triphasé qui utilise un onduleur de tension triphasé, la commande de l'onduleur nécessite trois paires de signaux PWM haute résolution qui sont interconnectés.



passante plus élevée, la boucle de contrôle doit s'exécuter au cours d'une seule période PWM. Et enfin, pour permettre d'autres tâches d'arrière-plan comme la surveillance du système, des fonctions spécifiques à l'application et la communication, la boucle de contrôle doit fonctionner encore plus rapidement. Résultat, l'algorithme FOC doit théoriquement viser une exécution en moins de 10µs.

De nombreux fabricants fournissent des exemples logiciels de FOC avec des estimateurs sans capteurs pour la position du rotor. Cependant, avant même qu'il puisse démarrer la rotation du moteur, l'algorithme FOC doit configurer plusieurs paramètres pour être en mesure de fonctionner avec le moteur et le matériel. Une

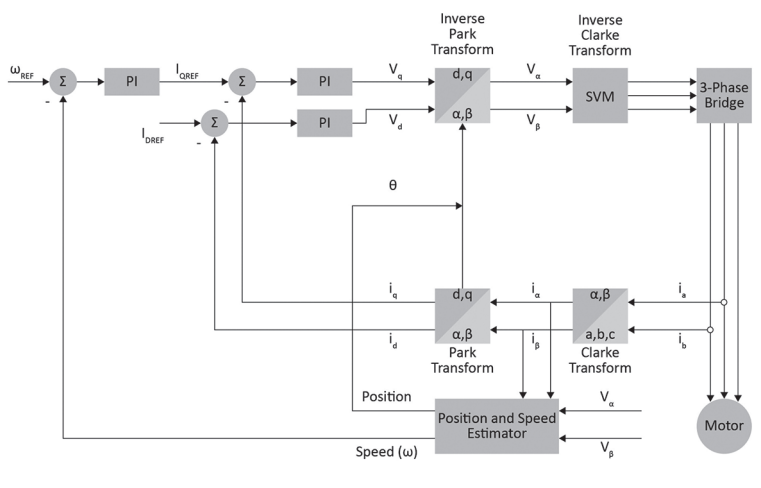
optimisation poussée des paramètres de contrôle et des coefficients est donc nécessaire pour respecter les cibles de vitesse et d'efficacité requises. Cela est possible en combinant d'une part la dérivation des paramètres à l'aide des fiches techniques du moteur et d'autre part l'expérimentation par tâtonnements successifs. Les développeurs devront à ce niveau recourir à la méthode par tâtonnement (essais et échecs) si les paramètres du moteur ne sont pas assez précisément détaillés sur la fiche technique du moteur, ou si les

développeurs n'ont pas accès à des équipements de mesure de haute précision. Ce procédé de paramétrage manuel prend du temps et nécessite une certaine expérience.

Les moteurs PMSM sont utilisés sur de nombreuses applications différentes, fonctionnant dans divers environnements ou avec des contraintes de conception différentes. Par exemple, sur un ventilateur de radiateur de voiture, il est possible que les pales du ventilateur puissent tourner en sens inverse sous l'effet du vent au moment où le moteur est sur le point de démarrer. Si on veut démarrer le moteur PMSM avec un algorithme sans capteur dans ces conditions, cela peut poser problème et risque d'endommager l'onduleur.

2 SCHÉMA ÉLECTRONIQUE STANDARD D'UN FOC SANS CAPTEUR

Pour passer du concept à un système opérationnel, il faut une bonne compréhension de l'architecture du contrôleur et des instructions du processeur de signal numérique (DSP, Digital Signal Processor) afin de pouvoir mettre en œuvre des boucles de contrôle à contraintes de temps.



Une solution consiste à détecter le sens de rotation et la position du rotor et à utiliser cette information pour faire ralentir le moteur jusqu'au point mort au moyen d'un freinage actif, avant le démarrage du moteur. De même, il peut s'avérer nécessaire de mettre en œuvre des algorithmes supplémentaires, tels que le couple maximal par ampère, la compensation de couple, l'affaiblissement de champ, etc. Ce type d'algorithmes supplémentaires spécifiques à l'application est nécessaire pour développer une solution pratique, mais ils ajoutent également de la complexité au système en augmentant le temps de développement et

en compliquant la vérification logicielle.

Pour réduire la complexité, les développeurs peuvent créer une architecture logicielle modulaire qui permet aux algorithmes spécifiques à l'application d'être ajoutés à l'algorithme FOC sans pour autant affecter l'exécution à contraintes de temps (figure 3). Dans ce type d'architecture logicielle d'une application typique de commande de moteur en temps réel, on trouve au cœur du framework la fonction FOC qui subit des contraintes de temps strictes, ainsi que de nombreuses autres fonctions spécifiques à l'application.

Une machine d'état au sein du framework permet en outre de connecter les fonctions de commande avec l'application principale. L'architecture a besoin d'une interface bien définie entre les blocs de fonction logiciels pour la rendre modulaire et faciliter la maintenance du code. Un framework modulaire permet en sus l'intégration de différents algorithmes ainsi que d'autres routines de surveillance du système, de protection et de sécurité fonctionnelle.

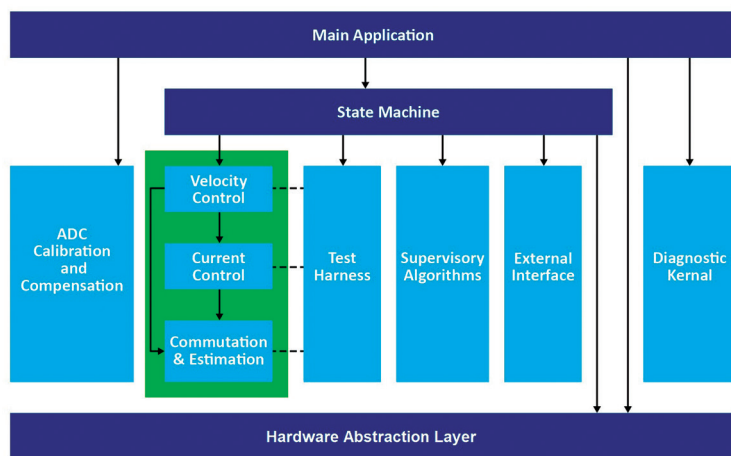
Autre avantage d'une architecture modulaire: la couche d'interface des périphériques (ou la couche d'abstraction matérielle) est séparée du logiciel de commande de moteur, ce qui permet aux développeurs de faire migrer facilement la régulation PI (proportionnel-intégral) d'un contrôleur de moteur vers un autre en fonction des fonctions et des performances requises pour l'application.

De l'avantage d'un écosystème complet

Pour résoudre toutes ces difficultés, il faut un écosystème de commande de moteur conçu pour les systèmes FOC sans capteur. Le contrôleur de moteur, le matériel, le logiciel et l'environnement de développement doivent être intégrés pour simplifier le processus d'implantation des algorithmes de commande de moteur avancés. Pour réaliser un tel écosystème, celui-ci doit intégrer un outil de haut niveau pour automatiser la mesure des paramètres du moteur, concevoir des boucles de contrôle et

3 FRAMEWORK D'APPLICATION POUR COMMANDE FOC

On voit ici une architecture logicielle d'une application typique de commande de moteur en temps réel avec, au cœur du framework, la fonction FOC.



généraliser le code source. Les développeurs peuvent alors, sans expertise préalable du domaine, mettre en œuvre la commande de moteur FOC et écrire et déboguer du code complexe à contraintes de temps, ce qui est d'habitude une action très chronophage.

Il faut aussi avoir à disposition un framework logiciel d'application pour FOC avec d'autres algorithmes spécifiques à l'application pour réduire le temps de développement et la durée des tests. Et enfin, les contrôleurs de moteur utilisés doivent assurer une réponse déterministe et gérer les périphériques analogiques intégrés pour le traitement

de signal et la protection du système, le tout sur une même puce.

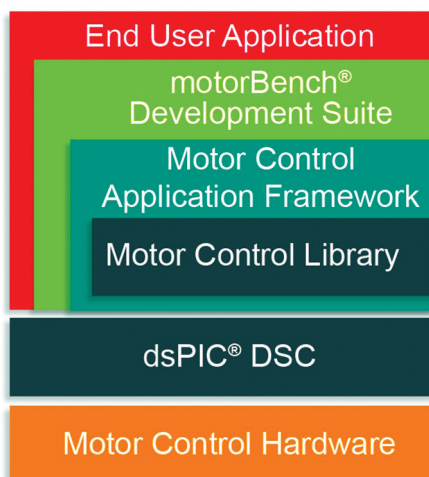
Un exemple d'architecture d'un écosystème de commande de moteur proposé par Microchip (figure 4) comprend le framework de l'application et une suite de développement pour un contrôleur de signal numérique (DSC) de commande de moteur (modèle dsPIC33) hautes performances. La suite de développement est construite autour d'un outil de développement logiciel FOC fondé sur une interface graphique qui peut mesurer les paramètres moteur critiques et régler automatiquement les gains de contrôle de rétro-réaction.

Il génère également le code source nécessaire pour un projet créé dans l'environnement de développement utilisant un framework d'application de commande de moteur (MCAF, pour Motor Control Application Framework). Au cœur de la pile logicielle se trouve la bibliothèque de commande de moteur (Motor Control Library) qui permet la mise en œuvre des fonctions de boucle de contrôle à contrainte de temps de l'application et l'interaction avec les périphériques de commande de moteur du DSC dsPIC33. L'interface graphique fonctionne avec plusieurs cartes de développement de commande de moteur disponibles et permet l'extraction des paramètres du moteur et la génération de code FOC pour un large éventail de moteurs basse tension et haute tension.

La transition vers les moteurs sans balais est ici motivée par le besoin d'améliorer l'efficacité énergétique et de renforcer la différenciation du produit. Un écosystème de commande de moteur complet (matériel et logiciel) fournit à ce niveau une approche globale pour simplifier la mise en œuvre d'algorithmes FOC sans capteurs avec des moteurs synchrones à aimants permanents. Et ce avec l'aide de contrôleurs de moteur spécifiques, de cartes de développement pour un prototypage rapide et d'un logiciel de développement de FOC pour automatiser la génération de code.

4 ARCHITECTURE DE L'ÉCOSYSTÈME DE COMMANDE DE MOTEUR DE MICROCHIP

L'architecture globale comprend le framework de l'application et une suite de développement pour un contrôleur de signal numérique (DSC) de commande de moteur (modèle dsPIC33) hautes performances.





Concevez plus vite !

Simplifiez la commande moteur grâce aux contrôleurs numériques, aux outils et aux modèles de référence dsPIC33

A l'heure où les moteurs électriques sans balais sont de plus en plus utilisés, les développeurs ont besoin d'accélérer le développement et de simplifier la conception de contrôleurs, tout en réduisant la taille des cartes, le coût des systèmes et la consommation. Microchip élargit son offre de contrôle moteur avec sa nouvelle famille de contrôleurs numériques (DSC) économiques, dsPIC33C, épaulée par des outils de conception, du matériel de développement, et plusieurs modèles de référence.

Les contrôleurs numériques dsPIC33C, grâce à leur forte intégration analogique, simplifient la conception de commandes moteur, tout en réduisant les coûts de développement et de nomenclature des applications automobiles, industrielles, médicales et grand public. Notre nouvel écosystème de support amélioré comprend la suite de développement motorBench[®], une carte de développement de commande moteur basse tension, et un modèle de référence de compresseur de réfrigérateur, pour vous aider à développer vos projets plus rapidement.



microchip.com/motorcontrol



Le nom et le logo Microchip, et motorBench sont des marques commerciales déposées de Microchip Technology Incorporated, aux Etats-Unis et dans d'autres pays. Toutes les autres marques commerciales citées appartiennent à leurs entreprises respectives.
© 2021 Microchip Technology Inc. Tous droits réservés.
DS00003736A. MEC2351-FRE-08-21