Réduisez les coûts de votre onduleur et piloter vos moteurs efficacement

par Vincent Mignard Segment Marketing chez Renesas Electronics Europe

La famille de microcontrôleurs (MCU) RX62T offre la solution la plus intégrée pour relever les défis liés à la conception d'un onduleur.

Pour les onduleurs de prochaine génération, les principales exigences sont de diminuer la complexité logicielle, de réduire le nombre d'itérations lors de la conception du PCB et d'abaisser le coût global en composants ainsi que la taille du PCB final. Renesas a spécifiquement conçu la famille de MCU RX62T pour répondre au mieux à ces objectifs. En embarquant une unité de calcul à virgule flottante (FPU : Floating Point Unit), de précis amplificateurs opérationnels, de rapides comparateurs, des convertisseurs A/N de 12 bits et une unité de protection de la mémoire (MPU), le microcontrôleur RX62T[1] s'avère être le composant le plus intégré du marché. De plus, un kit de référence très complet pour onduleur est aujourd'hui disponible. Il comprenant le code source du logiciel embarqué, une interface graphique (GUI) PC pour un calibrage rapide, les schémas électroniques, des fichiers Gerber ainsi que la nomenclature (BOM).

Chaque variateur possède ses propres spécifications techniques concernant la gamme de puissance, le rendement, la plage dynamique, la complexité logicielle, la classe de sécurité, l'immunité au bruit, etc. Aujourd'hui, l'écart est important entre les modèles obtenus par simulation sur ordinateur et la réalisation pratique et concrète d'un onduleur. Afin de réduire cet écart, Renesas a développé un écosystème complet autour de la famille RX62T. En premier lieu, le kit contrôle moteur, basé sur le MCU RX62T, permet de contrôler très facilement tous les moteurs triphasés utilisant aussi bien des transistors discrets qu'un étage de puissance[2]. Les algorithmes fournie permettent de faire du contrôle vectoriel (FOC) soit sans faire appel à des capteurs (sensorless) et avec capteurs. Comme chaque moteur requiert son propre calibrage, la plate-forme référence contrôle moteur RX62T inclut une procédure spécifique de réglage, permettant un ajustage rapide de tous les coefficients des régulateurs PI (Proportionnel Intégral), que ce soit en courant, vitesse ou position.
Afin d'assurer un transfert fiable des données issues des simulateurs comme Simulink ou Scilab, le RX62T embarque une unité de calcul à virgule flottante qui réduit considérablement les risques d'erreurs de dimensionnement et facilite la lecture et l'optimisation du code.

Pour que votre premier prototype soit quasiment la version finale
Les MCU RX62T sont alimentés sous 5 V, ce qui est un avantage fondamental pour garantir à votre équipement une haute immunité au bruit. Les convertisseurs analogique/numérique 12 bits fonctionnent également sous 5 V assurant ainsi des valeurs élevées en résolution et en précision, quelque soient les mécanismes de feedback en courant. C'est pourquoi, l'ensemble du contrôle de vitesse, couple ou position du moteur offre une efficace maximale.
Chacune des 100 broches du boîtier du RX62T a été testée par la société Langer EMV[3] en faisant appel à des techniques de rafales. Le but est de tester la robustesse de chaque

broche face à des pics en courant et en tension. Les résultats sont exposés sur la figure 1. Toutes les broches d'E/S restent insensibles aux tensions négatives et positives jusqu'à 500V.

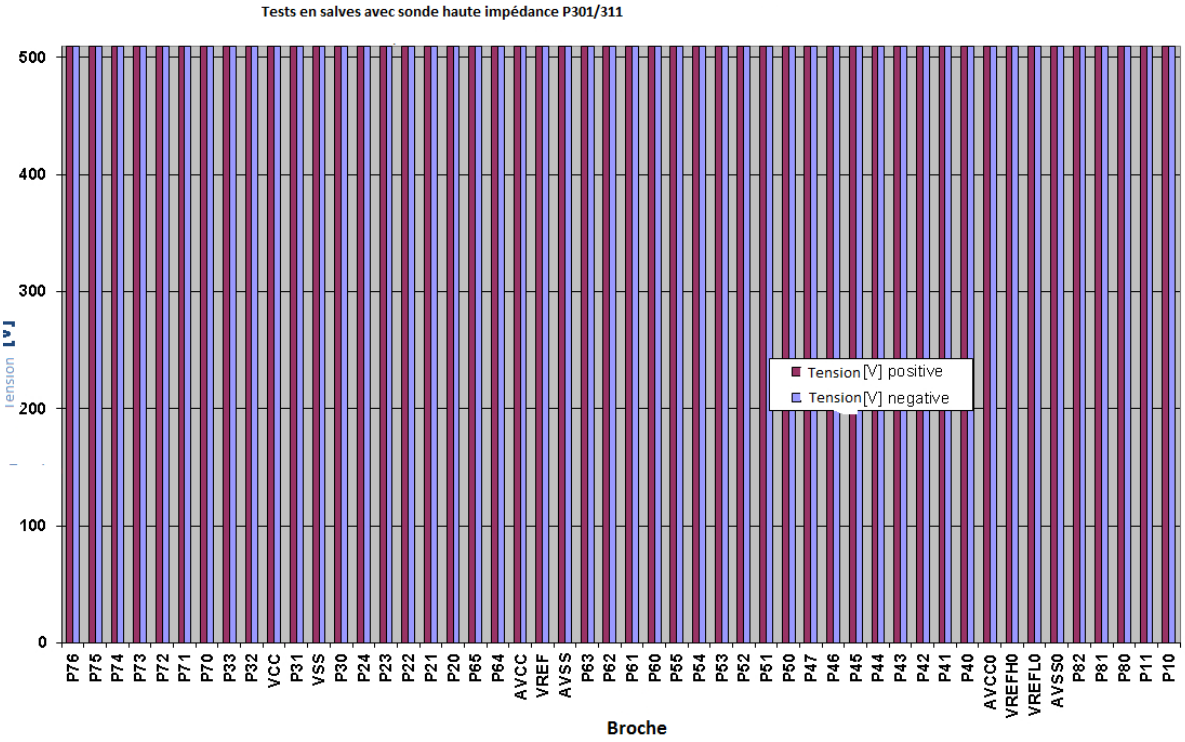


Figure 1 : Résultats des tests de Langer EMV réalisé avec une sonde de tension

Comparés aux résultats des tests existants sur le marché, les broches du RX62T sont de loin les plus robustes. Un argument déterminant prouvant la parfaite adéquation de la famille RX62T pour les environnements bruités comme les applications industrielles de commande et de contrôle moteur où les charges inductives sont commutées.
Renesas implémente un système spécifique d'annulation du bruit sur la broche Reset. Chaque port d'entrée est protégé avec des diodes ESD et des résistances. De tels mécanismes assurent une très haute fiabilité aux utilisateurs de ces MCU.
Le nombre d'itérations PCB est fortement réduit ce qui induit une diminution des coûts de développement. Résultat : le RX62T garantit des phases très rapides de prototypage et des conceptions de PCB beaucoup plus fiables.

Réaliser facilement un onduleur Class B ultra fiable
Le RX62T intègre des modules matériels dédiés pour garantir des conceptions matérielle et logicielle ultra fiables. Le module watch-dog est indépendant utilisant son propre oscillateur à 125 KHz. Tous les registres sensibles sont protégés en écriture pour éviter tous dysfonctionnements logiciels. Le convertisseur A/N embarque une fonction d'autodiagnostic pour des tests rapides de vraisemblance, ainsi aucune résistance externe supplémentaire n'est nécessaire. Le timer PWM général (GPT) intègre une fonction de comparaison des horloges sources qui garantit le contrôle par une circuiterie spécifique des intervalles de temps. Afin d'éviter toute dégradation de l'étage de puissance, des modules POE (Port Output Enable) peuvent matériellement stopper tous les signaux PWM si une erreur est détectée.

De plus, le RX62T intègre une unité de protection de la mémoire ayant huit régions différentes de protection. Chaque région possède un jeu programmable d'attributs de permission : lecture, écriture, exécution. L'accès est refusé dès qu'il n'y a pas autorisé. L'initialisation de la protection mémoire est réalisée en mode Superviseur. La figure 2 présente le bloc diagramme de l'unité de protection mémoire (MPU).

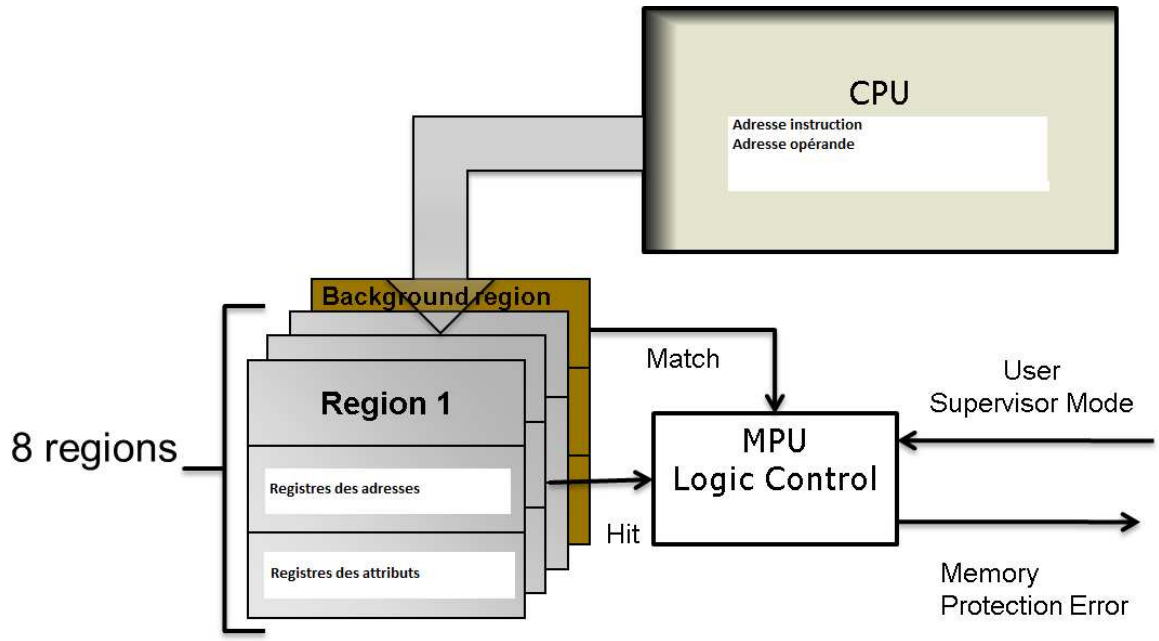


Figure 2 : Bloc diagramme de l'unité de protection mémoire du RX62T

Cette MPU est la protection idéale pour séparer le logiciel lié à la sécurité (Class B & C) de celui qui ne l'est pas (Class A). Cette MPU évite qu'une routine logicielle Class A puisse exécuter par erreur du code Class B. De tels mécanismes matériels allègent la charge du CPU et réduisent la taille de code utilisé pour un classique logiciel lié à la sécurité.
Enfin, les routines VDE[4] certifiées Self-Test MCU, qui font partie de l'écosystème du RX62T, sont disponibles pour la conformité aux spécifications de sécurité Class B (e.g. IEC60730-1). Le code source est facile à intégrer dans tout logiciel existant et permet d'ajouter les tests suivants : vérifications CPU, tests RAM March, vérifications Flash (utilisant le module CRC embarqué), contrôles d'horloge, contrôles A/N [5].

Modules matériels principaux dédiés au contrôle de l'onduleur
Le Tableau 1 décrit les modules embarqués de la famille MCU RX62T conçus pour répondre au cahier des charges d'un onduleur.

Tableau 1 : Caractéristiques principales ciblant les exigences d'un onduleur

Modules	Avantages pour l'onduleur
CPU 165 DMIPS	La puissance du MCU 32 bits permet de piloter deux moteurs triphasés simultanément.

Unité de calcul en virgule flottante (FPU)	La FPU élimine toutes les contraintes de mise à l'échelle et de saturation. Elle améliore la précision concernant position/vitesse et rendement du moteur. L'écriture du code est plus simple et plus rapide. La FPU réduit la charge du CPU et la taille du code.
Jusqu'à 256 Ko de flash haute vitesse	Aucun temps perdu et une réaction rapide, assurent une large dynamique du système pendant la variation de charge.
Jusqu'à 16 Ko de RAM	Une grande quantité de mémoire RAM permet le traitement de FFT.
Jusqu'à 32 Ko de data flash	De l'EEPROM supplémentaire externe pour stocker les paramètres du système et les données de calibrage.
Unité de protection mémoire (MPU)	Protections réalisées en matériel assurent une sécurité plus élevée pour les logiciels Class B et Class C. Cela atténue la charge du CPU et réduit la taille du code.
CRC embarqué	Calcul rapide de checksum pour le test Flash et pour les protocoles de communication.
Convertisseurs A/N 12 bits (2 modules)	Circuit A/N rapide avec trois sample/hold permet l'implémentation de un à trois shunts sans capteur.
Amplificateur à gain programmable (3 x PGA)	Réduit le nombre de composants (BOM) et la taille du PCB est diminué d'un facteur huit pour un étage d'amplification à trois shunts.
Comparateurs (3 modules)	Implémentation facile d'un module de détection de faute pour l'étage de puissance. Aucun composant externe n'est nécessaire, surface du PCB réduite.
CAN, SCI, I^2C, LIN, RSPI	Nombreuses interfaces de communications pour permettre à tout système de communiquer avec le MCU RX62T.
Module de puissance flexible	Tension d'alimentation sélectionnable de 5V ou 3V pour optimiser le rapport signal/bruit.
De 48 à 112 broches	RX63T est proposé en boitier de seulement 48 broches pour les onduleurs compacts.

Lors du pilotage simultané de deux moteurs triphasés, la charge du CPU reste inférieure à 75% avec une boucle de contrôle très rapide.

Gamme complète d'algorithmes de contrôle faisant appel à la FPU

Pour répondre aux exigences techniques d'un onduleur, Renesas a développé une série complète d'algorithmes, sans royalties à payer. Les algorithmes de contrôle vectoriel utilisent la puissante unité FPU 32 bits. Elle évite les interminables opérations de chargement/stockage (load/store) et assure un codage compact : par exemple, un estimateur de flux se réduit à 5 lignes de code.

Une architecture concurrentielle doit passer par l'étape supplémentaire de chargement des valeurs des opérandes dans les registres généraux d'abord, puis de les déplacer dans les registres dédiés de l'unité FPU. Les résultats en sortie de la FPU doivent ensuite être placés dans les registres dédiés puis de retour dans les registres généraux pour être enfin stockés en mémoire.

Les opérations FPU peuvent être exécutées en prenant les opérandes soit tous les deux à partir des registres, soit tous les deux à partir de la mémoire vers la mémoire ou un issu de la

mémoire et un issu du registre. Les résultats de l'opération sont ensuite aiguillés, soit dans un registre ou directement dans la mémoire. La figure 3 décrit l'exécution de l'instruction FMUL.

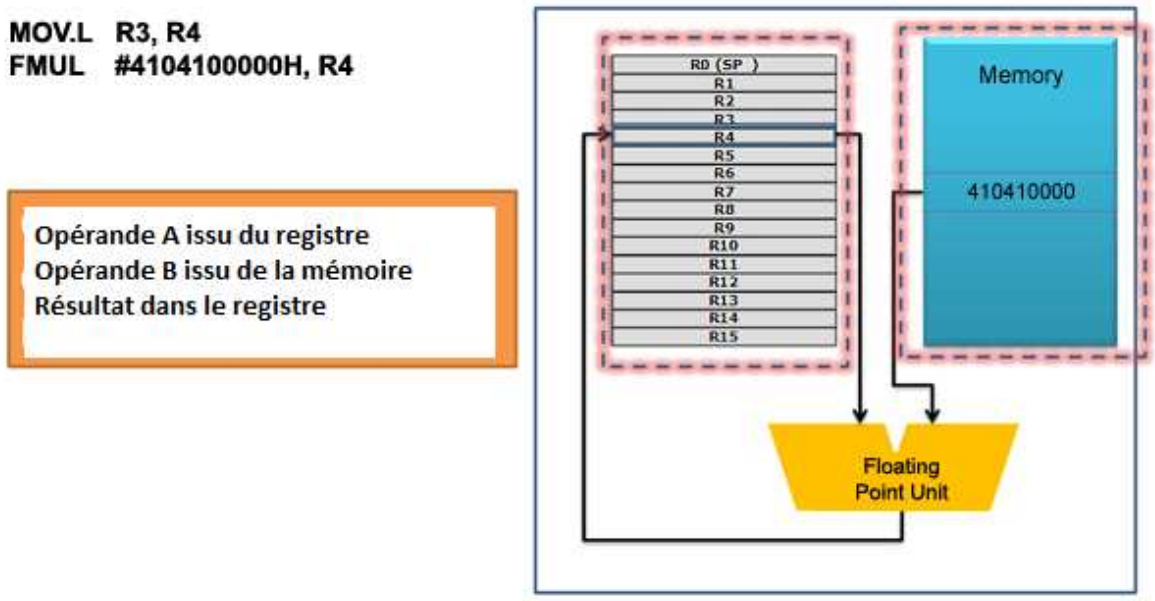


Figure 3 : Instruction FMUL sur l'unité de traitement en virgule flottante

Dans le cas de l'algorithme de l'onduleur, cela réduit fondamentalement la charge CPU, comme le montre la figure 4. De plus, la taille du code en utilisant la FPU est deux fois plus petite comparée à une implémentation réalisée en virgule fixe.

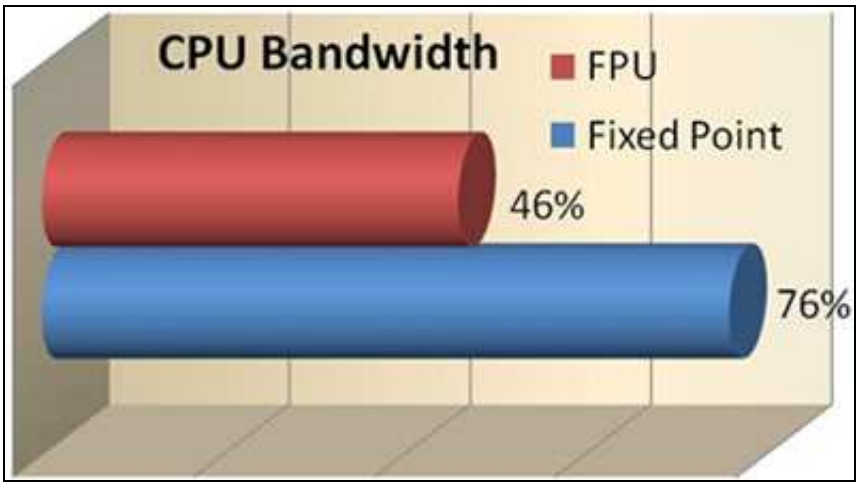


Figure 4 : Bande passante CPU pour une application de contrôle moteur

De fait le code source utilise les unités systèmes : Hertz, Volt, Ampères. Ceci permet à l'utilisateur de consacrer plus de temps à l'optimisation algorithmique plutôt qu'aux ajustements des variables et autres transferts de données de virgule flottante en virgule fixe.

Calibrage et commande deviennent facile pour votre moteur.
Le kit de référence contrôle moteur RX62T[2] est fourni avec un algorithme de contrôle vectoriel comprenant des mécanismes de sécurité pour contrôler le courant maximum et

compenser la tension sur le bus. Diverses options sont disponibles : un ou trois shunts sensorless ou bien avec capteurs (Hall/encodeurs) en assurant le contrôle de la vitesse ou de la position.
Le kit inclut un étage de puissances faible tension basé sur des Mosfets Renesas[6]. La procédure de calibrage est facilitée grâce aux points Test et à une procédure détaillée d'ajustement pour les coefficients PI utilisant l'interface utilisateur PC présentée sur la figure 5. Plus de soixante moteurs ont été testés sur de telles plates-formes.

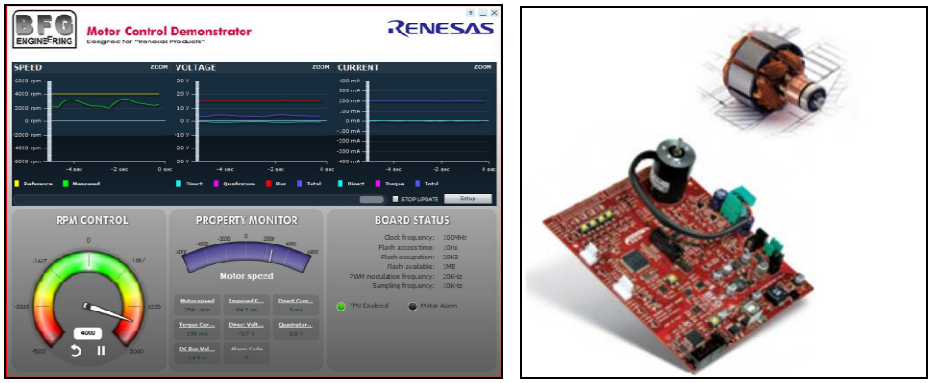


Figure 5 : Kit référence contrôle moteur RX62T (référence : YRMCKITRX62T)

De plus, le kit est fourni avec une licence d'évaluation pour le compilateur Renesas RX C/C++[7]. Elle permet à l'utilisateur de profiter des fonctionnalités complètes de ce compilateur pendant 60 jours à partir de la première installation. Une fois cette date dépassée, la licence sera réduite à la taille limite de 128 Ko d'objets liés. Le support d'Eclipse est également disponible.

La figure 6 présente la liste des algorithmes disponibles pour le RX62T permettant de commander différents types de moteurs : PMAC (Permanent Magnet AC) et ACIM (AC Induction Motors).

Type de moteur	Type de contrôle	Rétroaction	Status
PMAC triphasé	Vitesse/couple	Sans capteur (1 & 3 shunts)	Support complet
PMAC triphasé	Vitesse/couple	Avec capteur	Support complet
PMAC triphasé	Position rotor	Hall & encodeur	Support complet
ACIM triphasé	Vitesse/couple	Sans capteur (3 shunts)	Support complet
ACIM triphasé	Vitesse/couple	Avec capteur	Support complet

Figure 6 : Série d'algorithmes supportés par le MCU RX62T

Plusieurs schémas de modulation sont disponibles, permettant une souplesse maximale pour effectuer un contrôle précis et un rendement optimal (jusqu'à 30%). Basée sur des évaluations Renesas, grâce à l'utilisation de l'algorithme de contrôle vectoriel exécuté sur le MCU RX62T, la taille du radiateur peut être réduite de 10%, et certains composants de l'étage source d'alimentation sont diminués de 15%. Comme le courant maximum est correctement géré, aucun composant n'a besoin d'être surdimensionné.

Un PCB de taille réduite et un coût en composants réduit

Le principal impact lié à l'utilisation du MCU RX62T est la réduction du nombre de composants externes pour la conception d'un onduleur. L'amplification en courant est réalisée par trois PGA embarqués, la détection de faute est gérée par les comparateurs et le POE. La figure 7 présente un étage d'amplification faisant appel à un amplificateur opérationnel externe.

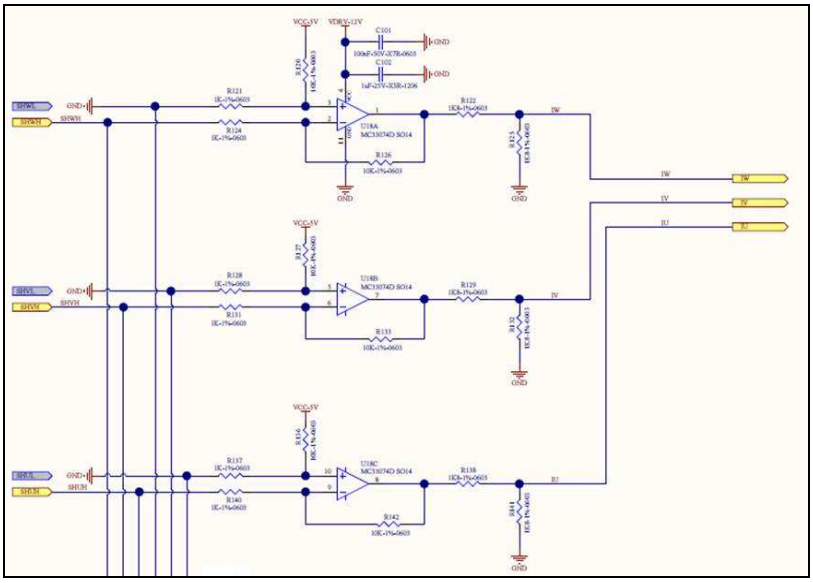


Figure 7 : Etage d'amplification à trois shunts utilisant des amplificateurs opérationnels externes

L'étage d'amplification « 3-shunts » utilise : 1 x Quad amplificateur opérationnel, 18 x résistances, 6 x condensateurs et les dimensions du PCB sont de 40 mm x 20 mm. Par contre, en utilisant les amplificateurs à gain programmable internes au MCU RX62T, le nombre de composants (BOM) est alors ramené à 6 résistances et 3 condensateurs ; ce qui réduit la surface du PCB d'un facteur 8 avec une valeur de seulement 10 mm x 10 mm.

L'économie sur le coût BOM est estimée à environ 0,5 € à 1 €, du fait de l'intégration de la fonction de détection de faible tension, du circuit Power-on Reset, des amplificateurs opérationnels, des comparateurs, du gestionnaire d'horloge, des convertisseurs A/N auto-testables et de la réduction de la surface totale du PCB.

La famille du microcontrôleur RX62T répond parfaitement aux nombreux défis imposés par les spécifications d'un onduleur comme la complexité logicielle, la réutilisation de modules logiciels existants, les coûts BOM, les exigences sur l'immunité au bruit et les contraintes en termes de compatibilité électromagnétique (EMC). Le cycle de développement peut être réduit et la phase de calibrage des moteurs est fortement raccourcie. De plus, les routines VDE-certifiées Self-Test MCU assurent une économie supplémentaire de 10K€ pour la conception d'un onduleur Class B. Enfin, la dernière version MCU RX63T affiche un nombre réduit de broches pour un contrôle unique du moteur et de l'onduleur ; soit un boitier de 48 broches abritant 32 Ko de mémoire flash.

Références

[1] Présentation du groupe RX62T : www.renesas.eu/products/mpumcu/rx/rx600/rx62t/index.jsp

[2] Kit de démonstration de contrôle moteur RX62T (YRMCKITRX62T) :
www.renesas.eu/applications/key_technology/motor_control/reference/rx/index.jsp

[3] Langer EMV : www.langer-emv.de

[4] VDE est l'Association pour les technologies électriques, électroniques & information: www.vde.com

[5] IEC60730 Self-Test Code pour le groupe MCU RX62T :
www.renesas.eu/support/downloads/download_results/C1000000-C9999999/mpumcu/rx/an_r01an0654eg_rx62t_apl.jsp

[6] Renesas Mosfets - RJK0654DPB

[7] RX600 Compilateur:
www.renesas.eu/products/tools/coding_tools/c_compilers_assemblers/rx_compiler/index.jsp

[8] Eclipse e²Studio: www.renesas.eu/products/tools/ide/ide_e2studio/index.jsp

Au sujet de l'auteur :
Vincent Mignard est Segment Marketing chez Renesas Electronics Europe. Il est responsable des solutions pour le contrôle moteur (Motor Control) sur l'ensemble de l'Europe.
vincent.mignard@renesas.com

