

Développer la nouvelle génération de systèmes de propulsion électrifiés

John Martin, fondateur et directeur, EMPEL Systems

Dans le domaine des systèmes de propulsion électrifiés, lorsque l'on conçoit des moteurs pour des véhicules affichant des exigences et des objectifs très divers, l'une des solutions consiste à adopter une approche modulaire et évolutive.

Les moteurs créés dans cette perspective doivent présenter une puissance volumique très élevée, être extrêmement compacts et très performants. Chez EMPEL Systems, nous nous efforçons d'y intégrer au maximum l'onduleur de traction et d'utiliser des composants aussi petits que possible. Diamètre du moteur, exigences applicables au courant de phase ou encore nombre de phases de l'onduleur : les systèmes modulaires tels que celui représenté dans la Figure 1 offrent aux constructeurs automobile une grande souplesse, tout en limitant les coûts et en accélérant la commercialisation.



Figure 1. Exemple de système de propulsion électrifié modulaire pour l'automobile

Améliorer les technologies de semiconducteurs

La prochaine génération d'onduleurs de traction devra garantir un meilleur contrôle, des performances supérieures et des capacités de détection plus sophistiquées afin, d'une part,

d'améliorer le couple et les caractéristiques électriques du moteur, et d'autre part, d'assurer des fonctions de surveillance et de diagnostic système plus poussées. En plus de proposer des performances exceptionnelles, les onduleurs tels que celui représenté par la Figure 2 doivent pouvoir générer du couple même en cas de défaillances sur un sous-système important.



Figure 2. Module électronique 500 kW EM250x75 avec onduleur EMPEL Lightning intégré

Ces objectifs impliquent un système électronique de puissance (avec pilote de grille, alimentation et microcontrôleur) capable de s'adapter selon la phase et la puissance nécessaires au véhicule, et qui soit suffisamment intelligent et résilient pour assurer la sécurité fonctionnelle du système. Les semiconducteurs sont arrivés à un tel stade d'évolution qu'il est possible de modifier l'alimentation dans un onduleur en fonction des exigences d'une phase de moteur donnée. Ils permettent désormais de modifier le nombre de phases et les caractéristiques assignées du système, et ce quelle que soit la technologie utilisée (transistors bipolaires à grille isolée, en carbure de silicium, ou encore combinaison de plusieurs technologies de semiconducteurs).

Davantage de contrôle et de précision grâce aux semiconducteurs

La nouvelle génération de moteurs devra également être plus rapide. Il est certes possible de générer davantage de puissance en utilisant des moteurs plus volumineux, avec un couple supérieur. Cependant, de telles machines nécessitent du cuivre, de l'acier électrique, de

l'aluminium et de l'électronique de puissance ; autant de matériaux et de composants qui ont un impact considérable sur l'environnement. En outre, un moteur de grande taille alourdit le véhicule et requiert davantage d'espace.

Les moteurs électriques à haute vitesse et haute performance affichent un régime supérieur (donc une fréquence électrique généralement plus élevée), « pompant » l'énergie depuis et vers les enroulements du stator plus rapidement que les moteurs classiques, ce qui leur permet de déployer davantage de puissance dans un format plus compact. Mais là encore, les semiconducteurs utilisés, à savoir le microcontrôleur, l'alimentation et les pilotes de grille, sont soumis à des exigences strictes.

Les microcontrôleurs des systèmes de nouvelle génération nécessitent une fréquence de commutation de commande de 40 kHz, un régime > 25 000 tr/min et plusieurs machines triphasées ; en outre, ils consacrent une part considérable de leur capacité de traitement au suivi des diagnostics système, aux algorithmes d'amélioration des performances et à l'optimisation des capteurs. Le microcontrôleur AM263P4 Arm® Cortex®-R de TI est capable de réaliser une boucle de régulation de l'onduleur à 20 kHz en moins de 4 µs. Le convertisseur résolveur-numérique intégré assure une précision d'angle de 0,5° qui réduit la force contre-électromotrice de l'onduleur de traction afin d'améliorer l'efficacité du système. L'accélérateur de fonction trigonométrique, enfin, multiplie par 5 les performances de traitement.

L'alimentation de polarisation participe à l'efficacité du système en limitant les pertes de puissance de conduction des modules en carbure de silicium au sein du moteur. Les modules de puissance CC-CC isolés UCC14141-Q1 de TI incluent le contrôleur, l'étage de puissance, le transformateur, le redresseur et la logique de suivi de la rétroaction, rendant ainsi possible l'approche modulaire fine adoptée sur les solutions EMPEL. Ces modules sont capables d'ajuster les tensions de pilote de grille positive et négative appliquées aux transistors à effet de champ (FET) en carbure de silicium. Leur précision de tension de 1 % participe également à limiter les pertes de puissance de conduction sur ces FET, augmentant ainsi la durée d'utilisation de la batterie, donc l'autonomie des véhicules. Compacts, allégés, avec un centre de gravité bas, les modules UCC14141-Q1 réduisent en outre les contraintes mécaniques sur toute la durée de vie des véhicules, pour une meilleure tolérance aux vibrations par rapport aux solutions utilisant des transformateurs discrets classiques.

Un pilote de grille doit allier intelligence, contrôle d'intensité sur chaque cycle de modulation de largeur d'impulsion, configurabilité via la liaison SPI (*Serial Peripheral Interface*), commutation rapide pour tirer parti de la technologie au carbure de silicium, protection contre les surintensités rapides et toute une gamme de fonctions de gestion des défaillances afin de garantir un niveau d'intégrité de sécurité automobile ASIL D à l'échelle du système. Conforme aux exigences de sécurité fonctionnelle, le pilote de grille isolé UCC5880-Q1 répond exactement à ces critères et s'accompagne d'outils d'assistance à la conception qui accélèrent la création de prototypes en vue de valider les systèmes. La Figure 3 montre le module de polarisation UCC14141-Q1 et le pilote de grille UCC5880-Q1 montés sur le module de puissance.



Figure 3. Circuit imprimé de pilote de grille avec l'UCC5880-Q1 et l'UCC14141-Q1 montés sur le module de puissance

Supporter des environnements extrêmes

Dans certains environnements de test, les systèmes peuvent être soumis à une accélération de 30 G à 50 G en vibration cyclique et à des températures supérieures à 300°F. En effet, sur les véhicules hybrides rechargeables, un moteur haute puissance crée parfois des sources de vibration et de chaleur supplémentaires. Ces systèmes doivent respecter les normes de protection contre la pénétration (IP) 67 et être parfaitement étanches, tout en restant capables de résister aux variations de la pression interne à une altitude de 6 000 m. Rassembler l'intégralité des composants électroniques du moteur dans un boîtier équipé de dispositifs anti-vibration nécessite beaucoup d'espace, et augmente la complexité et les frais d'interfaçage et d'intégration.

Pour intégrer parfaitement un onduleur de traction, ce dernier doit être aussi petit et léger que possible. Son caractère compact et statique participe à éliminer les vibrations et les inconvénients pour l'environnement par rapport aux transformateurs classiques. Cependant, cela signifie également que les pertes d'énergie impacteront une masse thermique nettement plus restreinte. Dans cet espace, les dispositifs électroniques et les composants qui les entourent sont susceptibles de s'échauffer ; or les exigences en termes de lignes de fuite et de distances d'isolement à haute tension doivent tout de même être respectées. Les ingénieurs devront donc imaginer les systèmes les plus fiables possibles pour résister à de telles conditions tout en limitant le nombre de composants et la complexité d'assemblage. Les systèmes de propulsion électriques

posent en somme un problème passionnant, tout aussi stimulant qu'en posaient les moteurs à combustion qui les ont précédés.

Conclusion

Le principal objectif des constructeurs automobiles est et restera de proposer aux conducteurs des produits attrayants, compétitifs, et qui libèrent toujours plus d'espace à l'intérieur de l'habitacle. Quand on se représente les voitures électriques actuellement sur le marché, on se figure d'ailleurs tous les dispositifs électroniques dans une boîte en aluminium de la taille d'une grande valise. Par essence, un véhicule donne à chacun la possibilité de disposer d'un espace personnel capable de se déplacer physiquement à travers le monde ; il importe donc qu'il soit le plus spacieux possible, tout en atteignant les objectifs de performance et de perfectionnement évoqués précédemment.

Les innovations technologiques (par exemple, des dispositifs d'électronique de puissance fiables et très compacts) ainsi que les améliorations fonctionnelles jouent un rôle crucial dans la simplification des systèmes de propulsion électroniques, et permettent des économies en termes d'espace et de coût. Et avec les nouvelles avancées attendues pour la prochaine génération de systèmes de propulsion/traction intelligents, l'avenir sourit à l'industrie automobile.

Ressources complémentaires

- En savoir plus sur EMPEL Systems
- Découvrez comment les composants de TI permettent de concevoir des onduleurs de traction haute performance.

Marques déposées

Toutes les autres marques déposées mentionnées ici appartiennent à leurs propriétaires respectifs