

Les onduleurs ou Inverter sont fabriqués par différents fournisseurs majeurs tels que BorgWarner, Bosch, Denso, Vitesco, etc. Etant donné que chaque véhicule hybride ou BEV a besoin d'onduleurs, ceux-ci sont produits en grande quantité et comme il s'agit d'un segment de marché intéressant, les différents fabricants tentent de se surpasser en termes de qualité mais se sous-cotent en termes de prix.

En raison des demandes des clients pour des autonomies plus grandes et des évolutions dans le secteur des batteries, les tensions des batteries ont augmenté jusqu'à 800 V. Pour ces tensions, de nouveaux matériaux semi-conducteurs ont été développés, dotés de meilleures propriétés que le silicium.

En fin de compte, les développeurs doivent garder un œil sur l'ensemble de la chaîne cinématique, c'est-à-dire la batterie, l'onduleur et le moteur, ainsi que sur le système électrique.

L'électromobilité recherche les meilleurs rendements individuels pour que le rendement global soit toujours le plus élevé. C'est exactement ce qui se passe avec l'onduleur et c'est ainsi que commence la recherche du meilleur compromis.

Pertes d'énergie

Bien que 75 % des pertes d'un BEV soient dues au véhicule lui-même, comme pour le véhicule à moteur à combustion interne, des améliorations doivent être développées là où il y a du potentiel. En 2020, Vitesco a réussi à réduire les pertes de l'onduleur de 56 % en passant de l'IGBT en silicium au MOSFET en carbure de silicium (SiC), économisant ainsi environ 3 % d'énergie dans le cycle WLTP. Si les pertes diminuent, l'autonomie augmente pour une même capacité de batterie ou la batterie ainsi que les coûts peuvent être réduits pour la même autonomie.

Ces dernières années, de grands progrès ont été réalisés dans le développement de matériaux semi-conducteurs, qui présentent des avantages pour certains types d'applications. Les transistors SiC sont principalement utilisés à des tensions supérieures à 400 V, car les pertes du Si-IGBT seraient trop importantes à des niveaux de tension plus élevés. Les pertes sont divisées en pertes de conduction et de commutation.

Les pertes de conduction font référence

$$E_{\text{Perte}} = \Delta U \cdot I \cdot t$$

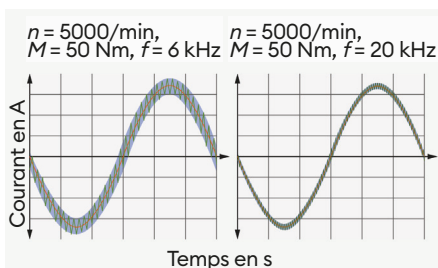


Fig 2 : Des fréquences de commutation plus élevées permettent de reproduire plus précisément la forme sinusoïdale.

à l'énergie perdue lorsque le transistor est activé.

La perte de tension dans le canal de conduction du MOSFET est appelée ΔU . Les pertes de commutation concernent la montée en puissance du courant. Il n'est pas possible que le courant augmente de 0 à, par exemple, 1 000 A de manière instantanée, il y a un retard de quelques ns. Pendant ce temps, l'énergie électrique est convertie en énergie thermique par commutation. Si la fréquence de commutation augmente également, ces pertes augmentent linéairement. Cependant, des fréquences de commutation plus élevées permettent une meilleure formation de la courbe de courant sinusoïdale.

Des améliorations ont également été apportées à la structure du circuit. Il en résulte de faibles inductances et la vitesse de commutation est encore améliorée en atténuant les oscillations indésirables grâce à des circuits spéciaux.

Fréquences de commutation variables

Pour l'alimentation d'un moteur triphasé, la formation exacte de la forme sinusoïdale est importante, car ce n'est que si le déphasage est exactement de 120° et que les courbes n'ont ni coins ni bords que la somme des trois phases des tensions en chaque point aboutit à zéro. Cependant, si les tensions ne correspondent pas exactement à la forme sinusoïdale, les champs magnétiques ne monteront pas et ne diminueront pas de manière sinusoïdale, ce qui entraînera des vibrations, du bruit et réduira le rendement du moteur. La fig. 2 montre la différence de courbe sinusoïdale à des fréquences de commutation de 6 et 20 kHz.

Plus la fréquence de commutation est élevée, meilleur est le rendement du moteur, mais celui de l'électronique de puissance se détériore car les semi-conducteurs de puissance doivent commuter plus fréquemment. Ceci est indiqué par les courbes de la fig. 3. Les pertes dans l'électronique de puissance augmentent linéairement avec la fréquence, mais les pertes du moteur diminuent considérablement jusqu'à une fréquence de 16 kHz. Dans le schéma, le point à 6 kHz (A) pour l'électronique de puissance et à 20 kHz (B) pour le moteur est la référence. Soit un compromis doit être trouvé, soit la fréquence de commutation doit être ajustée pendant le fonctionnement.

Les rendements sont également influen-

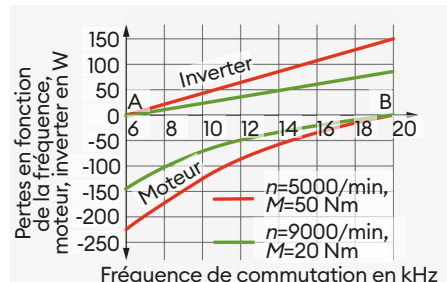


Fig. 3 : Pertes mesurées liées aux points de référence A (onduleur) et B (moteur).

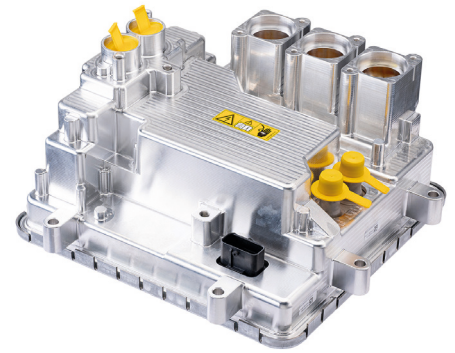


Fig 1 : L'onduleur en technologie SiC, tel que présenté par Vitesco en 2020.

cés par la température et les couples requis. Pour ces raisons, un changement continu tridimensionnel ou multidimensionnel de la fréquence de commutation serait optimal (vitesse, couple, température, etc.). Le développement, la programmation et le stockage Cependant, le développement serait plus important et le produit serait plus cher. C'est pourquoi Vitesco a opté pour 4 fréquences de 6, 12, 16 et 20 kHz dans la cartographie de fonctionnement du moteur (Fig. 4). La cartographie inclut le couple de sortie en fonction du régime en mode entraînement et récupération. Les points gris indiquent les points de fonctionnement lors du cycle WLTP.

SiC versus Si

Outre l'efficacité, les coûts sont toujours un facteur dans le processus décisionnel dans la construction automobile. Pour l'instant, les Si-IGBT resteront en place à des tensions inférieures à 400 V. Ils ont un rendement moindre et des temps de commutation plus longs, mais sont plus rentables que les transistors SiC. Cela les rend actuellement imbattables dans le domaine sensible des prix des véhicules électriques. Etant donné que les BEV sont encore fondamentalement chers, les MOSFET SiC les plus chers ne sont pas (encore) installés dans les véhicules plus petits. Afin de pouvoir commuter très rapidement, ils doivent être contrôlés par des circuits spéciaux, ce qui augmente encore le prix.

Dans la technologie d'entraînement alternative, on utilise non seulement les meilleures solutions, mais parfois aussi les plus rentables.

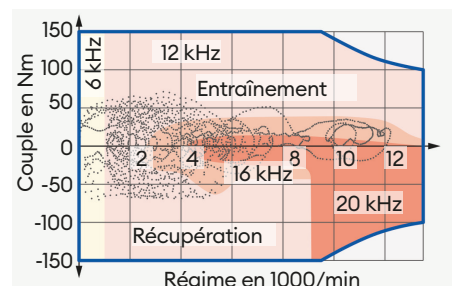


Fig. 4 : Cartographie avec les points WLTP et les fréquences sélectionnées.