

Conception d'un pilote de grille à haute puissance pour les stations de charge rapide de véhicules électriques

Par Ann-Marie Bayliss, *Low Power Product Manager*, [Murata](#)

Les équipements de service pour véhicules électriques (*Electric-vehicle service equipment*, EVSE) dédiés à la charge rapide sont plus complexes que les chargeurs de faible puissance. Contrairement aux équipements moins performants qui tirent parti du chargeur embarqué (*on-board charger*, OBC) du véhicule pour fournir l'alimentation de charge de la batterie DC, la conversion AC-DC s'effectue à l'intérieur du chargeur rapide. La tension de charge du continu peut aller de 300 V à plus de 900 V, et le courant fourni pour une charge rapide peut atteindre 500 A.

Les principaux sous-systèmes d'alimentation d'un chargeur rapide DC se composent généralement d'un convertisseur redresseur AC-DC et d'un convertisseur DC-DC isolé. Le redresseur AC-DC est un étage de correction du facteur de puissance (*power-factor correction*, PFC) doté d'une entrée AC triphasé et peut utiliser une topologie telle qu'un *totem-pole* ou un *Vienna rectifier* triphasés.

Pilote de grille à haute tension

Les commutateurs de puissance d'une valeur nominale adaptée à cette application ont tendance à avoir une capacité de grille relativement grande qui nécessite une puissance significative du circuit de pilote de grille pour assurer une commutation rapide. Une tension de coupure négative doit généralement être appliquée pour assurer une caractéristique de coupure bien définie et éviter les effets des transitoires indésirables. Le pilote de grille doit être soigneusement conçu et correctement alimenté pour répondre à ces exigences. Cela nécessite généralement un convertisseur DC-DC pour alimenter le pilote et fournir une isolation.

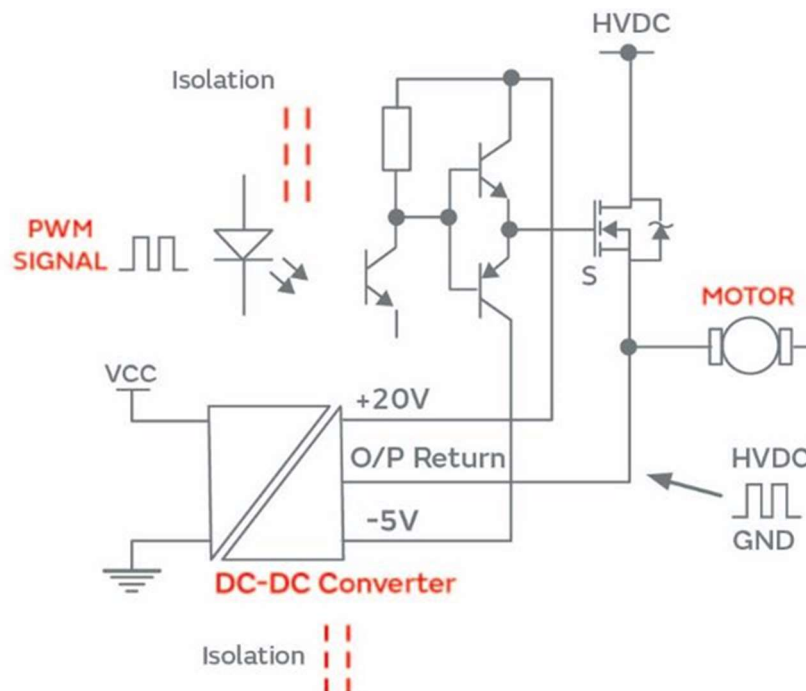


Figure 1. Le signal PWM (Pulse-Width Modulation) côté haut et l'alimentation du pilote de grille sont isolés galvaniquement de la terre

La figure 1 montre comment un convertisseur DC-DC alimente le circuit de commande de grille pour un commutateur d'alimentation côté haut. Le pilote est contrôlé par un signal PWM (*Pulse-Width Modulation*), via un optocoupleur, et alimenté par le convertisseur DC-DC pour fournir une valeur de mise sous tension de + 20 V VGS et une tension de coupure de -5 V. La borne de retour du convertisseur est connectée à la source du commutateur. Ici, la tension par rapport à la terre est une onde carrée de fréquence égale à celle de commutation du pont et d'amplitude de crête égale à celle du rail DC haute tension. La sortie du convertisseur doit être isolée galvaniquement de l'alimentation VCC (*Voltage at the Common Collector*) et de la terre.

Sélection du convertisseur DC-DC

Le convertisseur DC-DC doit fournir une puissance suffisante pour charger et décharger la capacité de grille du commutateur de l'alimentation. Elle est calculée comme étant le produit de la charge de grille, de la fréquence PWM et de la variation de la tension de grille. La valeur de chacun de ces termes peut dépendre du commutateur d'alimentation ciblé.

Actuellement, les concepteurs peuvent choisir parmi les IGBT ou MOSFET au silicium, les MOSFET au carbure de silicium (*silicon-carbide*, SiC) et les MOSFET au nitrure de gallium (*gallium-nitride*, GaN) lors de la sélection des commutateurs d'alimentation pour un chargeur rapide. Alors que 20 kHz est une fréquence de commutation typique pour les IGBT au silicium, les MOSFET au silicium peuvent être commutés beaucoup plus rapidement et les dispositifs à large bande interdite peuvent fonctionner à des fréquences encore plus élevées. Le tableau 1 compare la puissance nécessaire pour piloter la grille d'un exemple nominal de chaque type de composant à une oscillation de tension et une fréquence de commutation représentatives.

Type de commutateur	Tension de seuil (V_{GTH})	Tension d'activation / de désactivation	Charge de grille (valeur de la fiche technique)	Charge de grille sur toute la plage de tension	fréquence	Puissance
1200V IGBT	5.7V	+15V/-9V	285nC (0V-15V)	456nC (-9V – 15V)	20kHz	86mW
1200V SiC FET	2.6V	+20V/-5V	118nC (-5V-20V)	118nC (-5V - 20V)	200kHz	590mW
650V GaN	1.3V	+6V/-3V	12.1nC (0V-6V)	18.2nC (-3V - 6V)	1MHz	164mW
650V MOSFET	4V	+15V/-5V	125nC (0V-10V)	250nC (-5V - 15V)	100kHz	500mW

Tableau 1. Comparaison des exigences en matière de pilote de grille pour des commutateurs de puissance haute tension typiques

La tension et le courant à fournir doivent également être pris en compte. Les transistors de puissance disposent d'une grande marge entre la tension de seuil de commutation (*threshold switching voltage*, V_{GTH}) et la tension maximale qui peut être appliquée. Le concepteur choisira la tension de façon à obtenir le meilleur rendement du composant et les meilleures performances EMC, sachant qu'une oscillation de tension plus importante exige une puissance du pilote de grille plus élevée. Le tableau 2 montre les tensions d'activation et de désactivation typiques des composants au silicium, au SiC et au GaN.

Type de commutateur	Activation	Désactivation
IGBT	+15V	-8.7V ou -9V ou -10V ou -15V
Silicon MOS	+15V ou +12V	-5V ou -10V
SiC MOS	+20V ou +18V ou +15V	-5V ou -4V ou -3V ou -2.5V
GaN	+5V ou +6V	-3V

Tableau 2. Tensions grille-source typiques pour l'activation et la désactivation

Comme la capacité de la grille doit toujours être chargée et déchargée une fois par cycle, l'énergie totale et le courant moyen ne sont pas affectés par le cycle de fonctionnement PWM. De plus, le courant moyen nécessaire est le même, que la grille soit alimentée en tension positive ou négative. Les convertisseurs DC-DC pour les applications de commande de grille fournissent typiquement des tensions de sortie de +20V et -5V pour la même valeur de courant nominal.

Le courant de crête, déterminé par la variation de tension et la résistance totale interne et externe dans le circuit de grille du commutateur d'alimentation, peut atteindre quelques ampères. Des condensateurs de découplage (bulk capacitors) sont connectés pour fournir ce courant et maintenir une tension de sortie constante.

Si le circuit du commutateur de puissance ne fonctionne pas ou s'est arrêté en raison d'un défaut de charge, la charge sur le convertisseur DC-DC tombe à presque zéro. Si on laisse alors la sortie du convertisseur augmenter à ce moment précis, une tension élevée peut être appliquée au commutateur lorsque le fonctionnement reprend, ce qui pourrait provoquer une contrainte sur la grille avant un retour à un niveau de fonctionnement correct. Les convertisseurs DC-DC MGJ de Murata disposent de sorties verrouillées pour limiter la tension à vide à une valeur sûre.

Tension de sortie bipolaire

Une tension de coupure négative est normalement utilisée avec toutes les technologies de commutateur de puissances décrites ici. Piloter la tension de grille V_{GS} à une valeur négative permet de surmonter l'effet de la capacité de grille plus puissamment qu'un pilotage à 0V, ce qui permet d'atteindre ainsi plus rapidement la tension de seuil (V_{TH}) pour assurer un blocage bien précis. Une tension négative permet également d'éviter les activations parasites causées par des transitoires de tension induites par les inductances sur les fils conducteurs ainsi que la capacité Miller. Seulement 10 mm de piste peuvent produire un transitoire de 2 V si le courant de charge est stoppé à 200 A / μ s. Cependant, la tension de seuil d'un MOSFET SiC peut tomber à environ 1,5 V à haute température, par exemple. Le fait de piloter la grille en dessous de 0V réduit le risque d'une mise en marche indésirable.

Un convertisseur DC-DC peut fournir une sortie de tension bipolaire de plusieurs façons. Les convertisseurs MGJ2 2 watts de Murata utilisent une approche traditionnelle à double bobinage. Des produits standard sont disponibles, offrant diverses combinaisons de tensions positives et négatives, et des sorties spéciales peuvent être fournies.

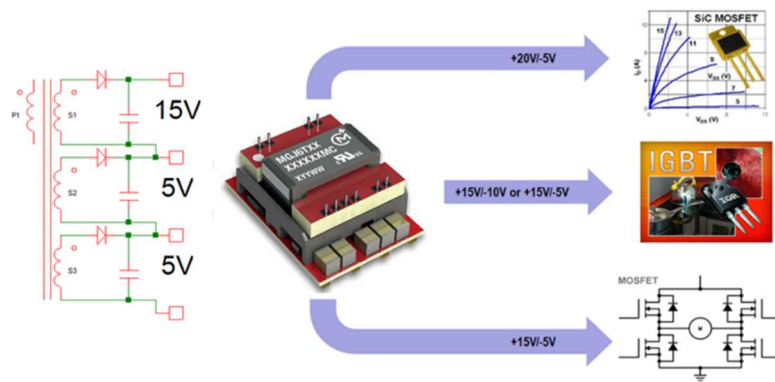


Figure 2. Une configuration de sortie unique peut fournir diverses tensions de commande de grille positives et négatives

D'autre part, une technique brevetée permet aux convertisseurs MGJ3 3 watts et MGJ6 6 watts de fournir les tensions requises pour les IGBT au silicium, les MOSFET au silicium ou les MOSFET SiC à partir d'une configuration de sortie unique. Ces appareils ont également une commande marche / arrêt qui réduit le risque de claquage (*shoot-through*) lorsque le convertisseur est mis sous tension ou hors tension.

Un seul MGJ6 peut piloter plusieurs pilotes de grille, par exemple dans des configurations en demi-pont, pont complet ou triphasé. La figure 3 montre un circuit de commande en demi-pont alimenté par un seul convertisseur MGJ6 qui fournit deux paires de sortie 24V. Une résistance externe et une diode Zener assurent la tension exacte requise.

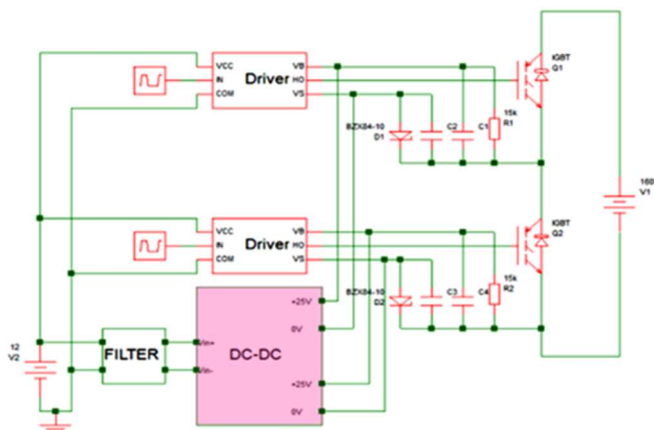


Figure 3. Les convertisseurs MGJ6 peuvent alimenter deux, voire plus, pilotes de grille dans diverses configurations de pont

Capacité d'isolation

Une application de côté haut peut provoquer une forme d'onde haute fréquence continue à travers le convertisseur DC-DC, ce qui fait qu'un courant, $I = C \cdot dV/dt$, peut traverser toute capacité de

couplage se trouvant entre la sortie et l'entrée. Dans le cas des fronts de commutation nets, la valeur dV / dt peut aller de 10 kV/ μ s avec les IGBT à 100 kV/ μ s ou plus avec des composants à large bande interdite. Avec une capacité de couplage relativement faible, disons 20pF, 200 mA ou plus peuvent circuler à travers les circuits du contrôleur, provoquant des pics de tension potentiellement perturbateurs pour les résistances de connexion et les inductances. Pour minimiser de tels effets, les convertisseurs MGJ de Murata ont une faible capacité de couplage, généralement 3-4pF.

Tension d'isolation

Dans une application de côté haut, la valeur haute tension de la ligne DC à la fréquence PWM est appliquée en continu sur la barrière d'isolation du convertisseur DC-DC. Un composant avec une tension d'isolation nominale de 1 kV ou même 3 kV indiquée dans sa fiche technique tombera rapidement en panne dans une application haute tension de côté haut. En effet, la tension nominale fait référence à une tension de test appliquée pendant une minute. De plus, la barrière d'isolation ne doit présenter aucune dégradation induite par une décharge partielle. La série Murata MGJ2 est testée en production à 5,2 kV et il a été démontré qu'elle fonctionne de manière fiable avec 3 kV en continu à travers sa barrière. Les pièces sont caractérisées pour une décharge partielle afin d'assurer une fiabilité à long terme.

Conclusion

Le contrôle correct de l'étage PFC dans les chargeurs rapides EVSE nécessite un convertisseur DC-DC isolé pour alimenter la circuiterie de commande de grille pour les commutateurs d'alimentation. Les convertisseurs appropriés se caractérisent par une sortie bipolaire capable de produire un signal de coupure inférieur à 0 V, une tension de sortie verrouillée ou une exigence de charge minimale très faible, une isolation capable de supporter une haute tension continue et une faible capacité d'isolation.