

Une nouvelle façon d'utiliser les modules d'alimentation pour éliminer le circuit de précharge haute tension

Les convertisseurs à rapport de conversion fixe offrent la fiabilité tout en permettant des économies en termes de budget, de poids et de nombre de composants

par Patrick Kowalyk, ingénieur principal d'application du secteur automobile chez Vicor

Wordcount / nombre de mots : EN : 1439 - FR : 1944

Avec le passage de l'industrie automobile aux véhicules électriques (VE), les ingénieurs se trouvent confrontés à plusieurs problèmes pour développer les architectures électriques sous-jacentes. Par exemple, les grosses charges capacitives sur les onduleurs de traction 800 V nécessitent un circuit de précharge spécifique pour éviter les courants d'appel, sources d'endommagement.

Parallèlement, les développeurs de VE rencontrent régulièrement des difficultés pour réduire la taille des systèmes, leur poids et leur coût. Le défi consiste donc à concevoir des architectures électriques à la fois fiables et robustes, qui induisent un surcoût minimum en termes de conception et de coûts. Pour atteindre cet équilibre, les ingénieurs doivent s'intéresser à de nouvelles approches pour alimenter les systèmes.

Grâce à un module d'alimentation dense, les ingénieurs peuvent développer de nouvelles architectures, qui permettent de contrebalancer les compromis allant de pair avec la précharge des véhicules. Le secret pour créer un système de précharge ultra efficace consiste à utiliser un module de convertisseur à rapport de conversion fixe.

Dompter les courants d'appel élevés

Pour fonctionner, les VE nécessitent quatre composants principaux : une batterie de traction, des convertisseurs DC-DC, un onduleur de traction et un moteur électrique. Dans cette structure, la batterie fournit l'alimentation DC haute tension (800 V) à l'onduleur de traction, qui à son tour fournit du courant AC à l'entraînement du moteur.

La fourniture de l'alimentation à partir de la batterie de traction vers l'onduleur de traction présente un certain nombre de défis en termes de sécurité et de fiabilité. L'onduleur de traction tire en effet de façon sporadique un courant élevé, c'est pourquoi il est nécessaire d'intégrer de gros condensateurs DC-Link pour maintenir l'alimentation DC stable. Sur de nombreux véhicules, la capacité totale DC-Link peut atteindre environ 58 000 μF , ce qui représente une énorme charge capacitive.

Au démarrage du véhicule, lorsque la capacité n'est pas chargée (0 V), la connexion directe de la batterie de traction à l'onduleur de traction entraîne des courants d'appel élevés. Lorsque le câblage de la

batterie possède une résistance de l'ordre de quelques micro-ohms, et que la batterie fonctionne à 800 V, le courant obtenu en ampères est défini par la loi d'Ohm :

$$I = \frac{(800\text{ V} - 0\text{ V})}{R}$$

Ce courant d'appel élevé présente des risques pour la sécurité du système, notamment des défauts de terre, des dommages matériels et des fusibles grillés (Figure 1). De plus, le dV/dt élevé associé à la charge de la capacité DC-Link peut entraîner des suroscillations et des dommages aux composants.

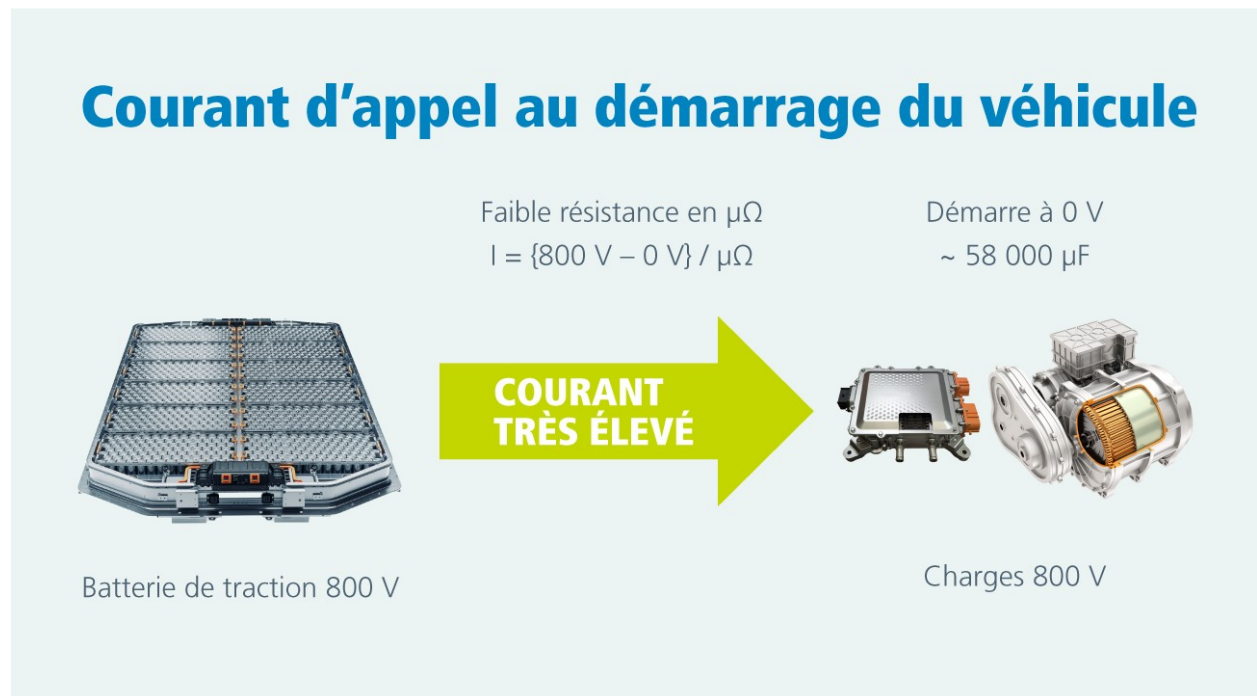


Figure 1 : Au démarrage du véhicule, la charge de la capacité DC-Link d'un onduleur de traction peut provoquer la formation de courants d'appel très élevés, potentiellement dangereux pour les équipements.

Bonnes pratiques pour une précharge adéquate

Pour résoudre ces problèmes, les véhicules électriques utilisent un circuit de précharge, un mode préliminaire qui limite le courant d'appel pendant la procédure de mise sous tension du véhicule.

Sur la plupart des VE, la précharge utilise des contacteurs spécifiques et une résistance de limitation du courant entre la batterie de traction et l'onduleur de traction (voir figure 2). Au cours de la précharge, le contacteur SW1 est ouvert, tandis que SW2 et SW3 sont fermés. Dans ce mode, le véhicule précharge la capacité DC-Link grâce à une série de résistances R1, limitant effectivement le courant d'appel. Lorsque

les condensateurs DC-Link ont atteint 800 V, la précharge est complète, le contacteur SW3 s'ouvre et SW1 se ferme, ce qui permet au véhicule de fonctionner dans des conditions normales.

Cependant, bien que cette méthode de précharge fonctionne, elle est loin d'être idéale. Le principal inconvénient est qu'elle nécessite d'utiliser des composants supplémentaires, y compris un contacteur de précharge qui s'avère à la fois robuste et volumineux, lourd et onéreux. Ces composants supplémentaires ne sont pas souhaitables à bord des VE, où l'encombrement, le poids et les coûts doivent être réduits au minimum.

Autre problème : la précharge à partir d'un bus haute tension peut entraîner des pannes provoquées par l'échauffement. Par exemple, le cycle répété provoqué par des mises sous tension et hors tension multiples sur un bref laps de temps expose la résistance de précharge à des courants élevés pendant une longue période. Ces appels de courant répétés provoquent une surchauffe de la résistance, pouvant entraîner des pannes et courts-circuits sur le système, qui risquent de détruire les circuits haute tension. Pour protéger les circuits de précharge, des circuits spécifiques de sécurité sont nécessaires, ce qui fait augmenter davantage la liste des composants, le poids et les coûts.

Précharge conventionnelle utilisant une résistance de limitation du courant

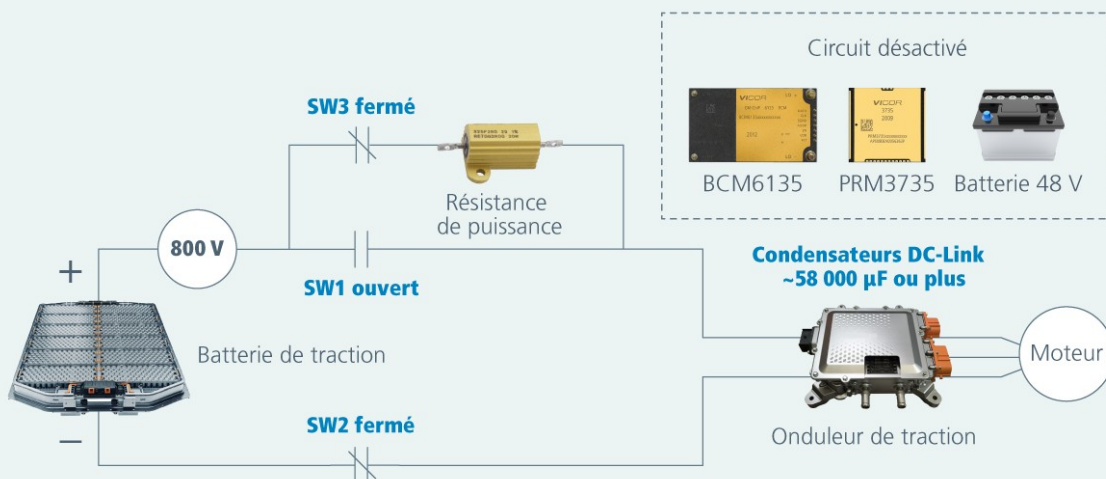


Figure 2 : Pendant la précharge, un contacteur spécifique SW3 connecte une résistance en série entre la batterie et l'onduleur. Une fois l'opération terminée, le contacteur SW3 s'ouvre et SW1 se ferme, reconnectant la batterie à l'onduleur.

Innover en utilisant des convertisseurs à rapport de conversion fixe

La famille de convertisseurs à rapport de conversion fixe BCM® de Vicor offre une forme de conversion de tension unique qui explore une nouvelle façon améliorée de réaliser la précharge.

Les convertisseurs à rapport de conversion fixe sont des convertisseurs DC-DC isolés non régulés, qui atteignent une efficacité maximale de 98 %. Ils fonctionnent de la même façon que les transformateurs AC, en permettant d'élever ou d'abaisser une tension à un rapport de conversion fixe, défini par le rapport de transformation ou facteur K du convertisseur (voir figure 3). Plus important encore, ces modules sont bidirectionnels, c'est-à-dire qu'un même module peut augmenter ou diminuer la tension en fonction du sens de circulation du courant.

Dans le contexte de la précharge des VE, la valeur ajoutée des convertisseurs à rapport de conversion fixe est qu'ils permettent, de façon unique, la précharge à partir du bus basse tension.

Tous les VE utilisent deux batteries : la batterie de traction principale, qui fonctionne entre 400 V et 800 V, et la batterie basse tension, qui fonctionne à 12 V ou 48 V. La batterie basse tension alimente les équipements auxiliaires basse tension, comme la radio et les commandes de l'habitacle, lorsque le véhicule est hors tension. Quand le véhicule est sous tension, les équipements auxiliaires sont alimentés par la batterie de traction via un convertisseur et un régulateur DC-DC spécifiques (voir figure 4). Cette conversion existe sur tous les VE et est généralement réalisée à l'aide de solutions unidirectionnelles telles que des convertisseurs de puissance à mode de commutation.

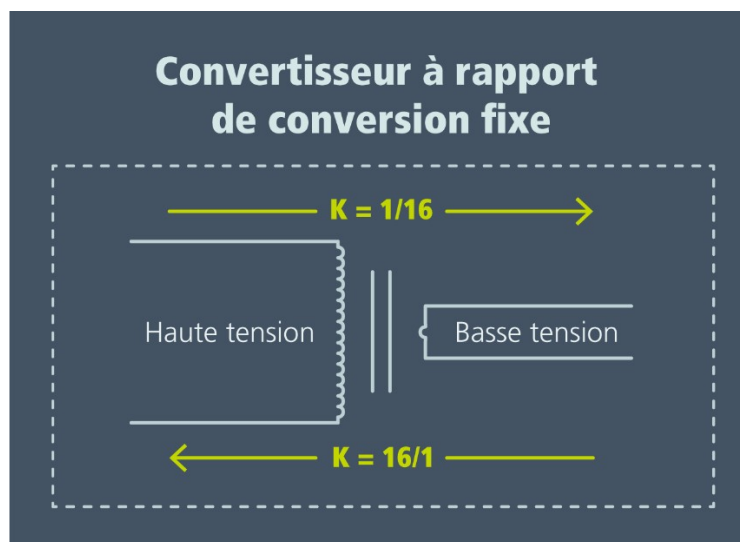


Figure 3 : Les convertisseurs à rapport de conversion fixe élèvent ou abaissent la tension DC selon un rapport prédéfini en fonction du sens de circulation du courant, affichant une excellente efficacité.

Concevoir une approche de précharge à l'aide de modules d'alimentation haute densité

Grâce à l'introduction du module à rapport de conversion fixe, les développeurs de systèmes d'alimentation peuvent mettre au point un moyen de précharge qui ne nécessite aucun composant et qui n'induit aucun coût ou poids supplémentaire.

Au lieu de précharger la capacité DC-Link de l'onduleur de traction directement à partir de la batterie de traction, les développeurs peuvent utiliser des convertisseurs à rapport de conversion fixe pour réaliser la précharge à partir de la batterie basse tension (voir figure 4). Grâce à cette approche, le convertisseur DC-DC standard utilisé pour alimenter le bus basse tension à partir du bus haute tension est remplacé par un convertisseur à rapport de conversion fixe, tel que le BCM6135 de Vicor, et par un régulateur DC-DC, tel que le PRM3735 de Vicor. Fait important : le nombre de composants total ne change pas par rapport à la mise en œuvre originale.

Pendant la précharge, les contacteurs SW1 et SW2 sont ouverts, déconnectant totalement la batterie de traction. Dans ce mode, la tension de 48 V issue de la batterie basse tension est régulée par le PRM3735 puis élevée par le BCM6135 à 800 V, niveau de tension nécessaire pour précharger la capacité DC-Link du moteur de traction. Comme le courant de sortie du PRM3735 est contrôlable, cette architecture réalise la précharge sans courants d'appel élevés et non contrôlés.

Une fois la précharge terminée, les contacteurs SW1 et SW2 sont fermés. En tirant partie de la nature bidirectionnelle des convertisseurs à rapport de conversion fixe, le même convertisseur à rapport de conversion fixe, associé au régulateur DC-DC, peut ensuite inverser les polarités et abaisser la tension de 800 V issue de la batterie de traction aux 48 V nécessaires pour alimenter le bus basse tension.

Les avantages de cette méthode sont multiples et variés. :

1. Précharger sans surcoût ni composant supplémentaire

Cette architecture permet aux développeurs de systèmes d'alimentation de mettre en œuvre une précharge fiable et contrôlée, sans avoir besoin d'ajouter de pièce supplémentaire. En utilisant les mêmes composants que ceux présents dans les systèmes existants (le convertisseur DC-DC et le régulateur DC-DC), les développeurs peuvent à la fois réaliser la précharge et alimenter le bus basse tension à partir du bus haute tension. Par rapport aux schémas de précharge conventionnels, qui nécessitent des contacteurs, résistances et circuits de sécurité supplémentaires, cette méthode réduit significativement la liste des composants. Ce nombre de composants plus faible se traduit directement par une diminution de la taille, du poids et des coûts.

2. Ultra fiables, moins risqués

Un convertisseur à rapport de conversion fixe est plus fiable que la précharge conventionnelle qui utilise une résistance en série et qui risque de surchauffer, voire de tomber en panne.

3. Une approche très efficace sur le plan énergétique

La méthode avec convertisseur à rapport de conversion fixe est également ultra efficace. Étant donné que la régulation DC-DC a lieu sans conversion de tension (régulation 48 V vers 48 V), la totalité de la conversion de tension s'opère dans le convertisseur à rapport de conversion fixe. Avec un taux d'efficacité aussi élevé que 98 %, le convertisseur à rapport de conversion fixe affiche des pertes quasiment nulles, et garantit des pertes de puissance minimales au cours du processus. Ces économies permettent une meilleure autonomie de la batterie pour le véhicule et des besoins moindres en gestion thermique.

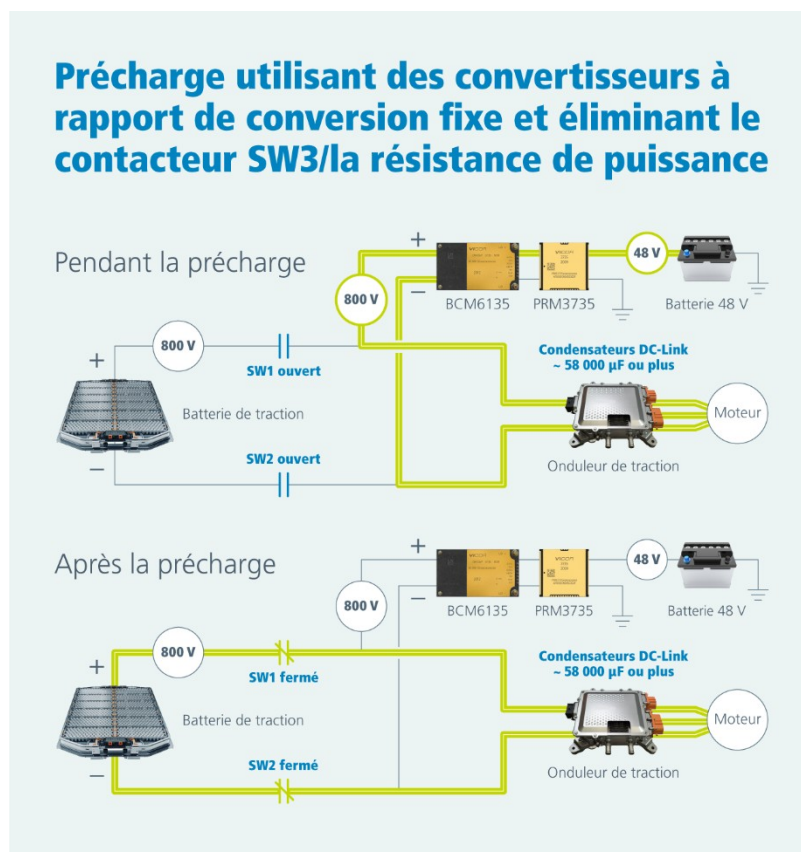


Figure 4 : L'utilisation simultanée d'un convertisseur à rapport de conversion fixe et d'un régulateur de tension permet de réaliser la précharge à partir de la batterie basse tension pendant la précharge et l'alimentation du bus basse tension à partir de la batterie de traction pendant le fonctionnement normal du véhicule.

Les modules d'alimentation réduisent la liste des composants, les coûts et le poids

Avec le passage des véhicules à moteur à combustion interne (ICE) aux véhicules électriques (VE), la demande en systèmes d'alimentation plus économiques, plus petits et plus légers se fait de plus en plus pressante. Or, il n'est possible d'atteindre ces objectifs qu'en adoptant des approches innovantes qui permettent de mieux concevoir les réseaux de distribution d'alimentation des VE.

Grâce à des convertisseurs à rapport de conversion fixe ultra efficaces, Vicor ouvre la voie vers de nouvelles possibilités architecturales en offrant une flexibilité de conception inégalée aux développeurs de systèmes d'alimentation. Les méthodes de précharge qui utilisent les composants existants ne sont qu'une application prouvant la capacité de cette famille de modules convertisseurs à rapport de conversion fixe. Plus les systèmes d'alimentation évolueront et deviendront partie intégrante de l'espace automobile, plus les convertisseurs à rapport de conversion fixe contribueront à un futur plus durable et plus économique.

Vicor et BCM® sont des marques commerciales de Vicor Corporation. PRM est une marque déposée de Vicor Corporation.