

# **Les convertisseurs à rapport de conversion fixe stimulent la capacité d'innovation tout au long du cycle de vie de la batterie**

Les modules d'alimentation denses permettent aux fabricants de garder le rythme face à la demande croissante en batterie

Par David Krakauer, vice-président de marketing international chez Vicor

Words: 2626 [English wordcount]

*Captions: 195*

*Words (without captions): 2637-195 = 2431*

L'adoption actuelle de l'électrification dans de nombreux secteurs constitue une aubaine pour la productivité et l'environnement, et la production de batteries joue un rôle technologique majeur dans cette tendance du marché. En partie poussée par les véhicules électriques (VE) et les systèmes de stockage de l'énergie pour les énergies renouvelables, le secteur des batteries est parmi ceux qui augmentent le plus vite dans le monde. Selon l'agence internationale de l'énergie (AIE), la demande mondiale en batteries a été multipliée par 10, passant de 43,8 GWh/par an en 2016 à 550,5 GWh/an en 2022.

Étant donné le rythme de la demande qui continue de s'accélérer, chaque étape du cycle de vie des batteries mérite qu'on s'y attarde. Le cycle de vie de la batterie se compose de quatre étapes principales : la production des éléments de batterie ou cellules, les tests de la batterie, l'utilisation dans une application et le recyclage de la batterie. Le moindre défaut dans l'une ou l'autre de ces étapes a un impact négatif sur le marché des batteries ainsi que sur l'expansion de l'électrification. De nos jours, le cycle de vie de la batterie est freiné par les limites intrinsèques aux technologies de conversion d'énergie existantes, qui mettent en péril ses possibilités de croissance.

La technologie de convertisseur à rapport de conversion fixe de Vicor, qui affiche les meilleures densités de puissance, apporte une nouvelle approche qui permet d'atteindre une meilleure durabilité et un meilleur rapport coût/efficacité lors de chacune des étapes du cycle de vie de la batterie.

## **Ouvrir de nouvelles possibilités grâce à la technologie de convertisseur à rapport fixe**

Sur les systèmes de batterie à haute tension, la conversion d'énergie DC-DC constitue un aspect fondamental de l'architecture de distribution de l'alimentation.

La conversion DC-DC est en général obtenue grâce à des convertisseurs de puissance à mode commuté, de type Buck ou Boost, ou bien avec des régulateurs à faible tension de déchet (régulateur LDO, *low drop-out*). Bien que ces convertisseurs puissent se révéler efficace, ils limitent la flexibilité et les performances du réseau de distribution d'alimentation (PDN) à cause de la rigidité de leurs sorties et de leur efficacité de conversion inférieure à la moyenne. Cela est particulièrement vrai en cas d'application nécessitant des hautes tensions associées à des systèmes de batterie modernes.

Afin d'éviter ces problèmes, Vicor a mis au point des convertisseurs à rapport de conversion fixe qui fournissent une conversion isolée très efficace dans un petit boîtier, destinée à la conversion de charges de haute tension vers basse tension, mieux connues sous le nom de très basses tensions de sécurité, TBTS.

Similaire à un transformateur dans une solution AC-AC, le convertisseur à rapport de conversion fixe réalise une conversion DC-DC avec une tension de sortie égale à une fraction fixe de la tension d'entrée DC (voir figure 1). Tout comme les capacités d'abaissement ou d'élévation d'un transformateur sont définies par le rapport du nombre de spires de la bobine, les capacités du convertisseur à rapport de conversion fixe sont définies par son facteur K, qui est exprimé sous forme d'une fraction relative à sa capacité à diminuer la tension (voir figure 2).

Contrairement aux convertisseurs DC-DC classiques qui régulent la tension de sortie, un convertisseur à rapport de conversion fixe n'offre pas de régulation de la sortie. Ces composants sont également autonomes et ne nécessitent aucune boucle de rétroaction ni de mécanisme de contrôle externe.

Les convertisseurs à rapport de conversion fixe offrent plusieurs avantages de taille par rapport aux convertisseurs traditionnels.

### **Bidirectionnalité**

Comme les convertisseurs à rapport de conversion fixe fonctionnent de façon autonome (nul besoin d'un hôte ou d'un contrôleur externe), ils sont bidirectionnels de façon intrinsèque. C'est-à-dire que, en fonction du sens de circulation du courant, le même module convertisseur à rapport de conversion fixe peut augmenter ou diminuer la tension. En réalisant l'élévation ou l'abaissement de tension à l'aide d'un seul module, les convertisseurs à rapport de conversion fixe apportent une flexibilité et une simplicité jamais atteinte jusqu'à présent pour les réseaux PDN qui nécessitent une circulation de courant bidirectionnelle.

### **Flexibilité et évolutivité**

Les convertisseurs à rapport de conversion fixe sont extrêmement faciles à mettre en parallèle pour les demandes en forte puissance. Les développeurs peuvent facilement ajouter plusieurs modules de convertisseurs à rapport de conversion fixe en parallèle afin de faire évoluer un système, quel que soit le besoin en puissance de sortie. De même, les développeurs peuvent placer plusieurs convertisseurs à rapport de conversion fixe en série, afin d'atteindre des rapports de tension uniques basés sur leurs

facteurs K en cascade. Dans ce cas, les convertisseurs doivent être alignés en puissance pour garantir un fonctionnement sûr et fiable.

### Une haute efficacité dans un petit boîtier

Enfin, les convertisseurs à rapport de conversion fixe atteignent une efficacité de conversion inégalée, dans une empreinte très réduite. Tandis qu'un convertisseur élévateur ou abaisseur traditionnel atteint une efficacité de conversion maximale d'environ 90 % dans la fourchette basse, les convertisseurs à rapport de conversion fixe comme ceux de la gamme BCM® de Vicor affichent une efficacité de conversion proche des 98 %. Grâce à cela, on peut créer des applications plus durables avec des frais de gestion thermique moindres.

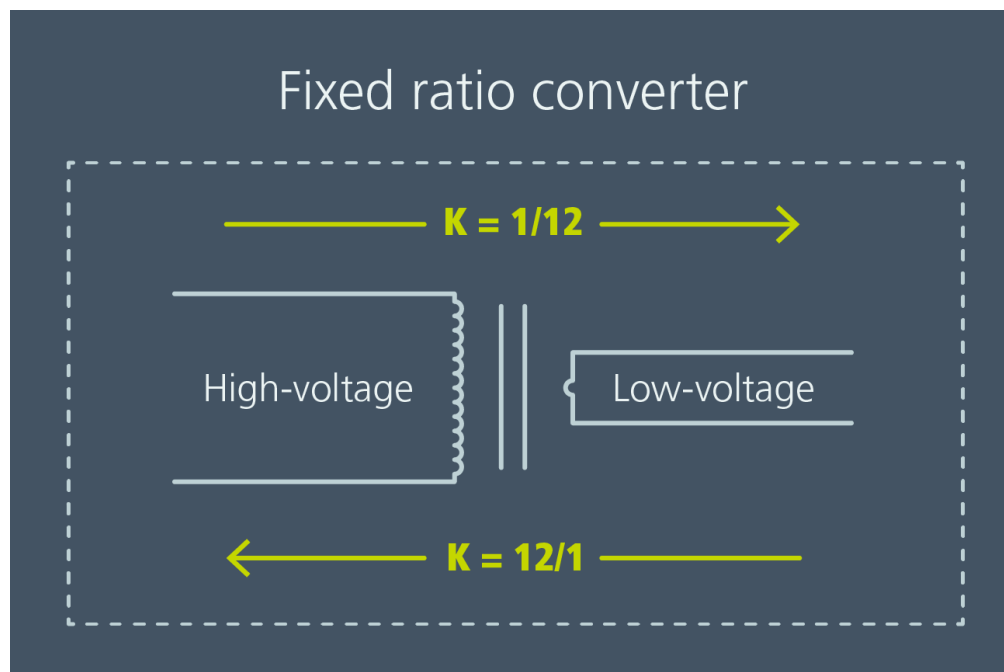


**Figure 1 :** Un convertisseur à rapport de conversion fixe bidirectionnel fonctionnant comme convertisseur abaisseur avec  $K = 1/12$  peut aussi être utilisé comme convertisseur élévateur avec un facteur  $K = 12/1$ . Grâce à cette faculté bidirectionnelle, un seul module permet de réaliser nombre de cas d'utilisation inimaginables pour le marché des batteries.

## BCM fixed-ratio converters

| Input range | K Factor                                                  | Current     | Power           |
|-------------|-----------------------------------------------------------|-------------|-----------------|
| 36 – 60V    | <b>1/4, 1/6</b>                                           | 130 to 150A | 1,500 to 1,195W |
| 38 – 55V    | <b>1/1, 2/3, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/8, 1/12, 1/16</b> | 6 to 70A    | 120 to 300W     |
| 200 – 330V  | <b>1/6</b>                                                | 30A         | 270W            |
| 200 – 400V  | <b>1/8</b>                                                | 30A         | 1,000W          |
| 240 – 330V  | <b>1/8</b>                                                | 7A          | 235W            |
| 260 – 410V  | <b>1/8, 1/16, 1/32</b>                                    | 17 to 125A  | 800 to 1,750W   |
| 330 – 365V  | <b>1/8, 1/28, 1/32</b>                                    | 8 to 28A    | 300 to 325W     |
| 360 – 400V  | <b>1/8, 1/32</b>                                          | 7 to 27A    | 300 to 325W     |
| 400 – 700V  | <b>1/16</b>                                               | 40A         | 1,600W          |
| 500 – 800V  | <b>1/16</b>                                               | 35A         | 1,600W          |

**Figure 2 :** Compatible avec un large éventail de facteurs K et de configurations de sorties de puissance, les convertisseurs à rapport de conversion fixe BCM peuvent répondre aux besoins de la plupart des applications.

## L'importance du réseau de distribution d'alimentation lors de la production des éléments de batterie

La première étape du cycle de vie est l'étape de production des éléments de batterie.

Lors de cette première étape, les nouvelles batteries récemment fabriquées doivent passer les étapes du processus du cycle de production, qui consistent à charger et à décharger un élément de batterie pour la première fois. Au cours de ce processus, l'élément, ou cellule, subit plusieurs cycles pour construire peu à peu la couche d'interphase entre l'électrolyte et la surface (SEI) de la cellule. La vitesse de ce processus est déterminée par la chimie de la cellule, c'est pourquoi le délai de production de la cellule est majoritairement un processus à taux fixe.

Le cycle de formation dans la batterie nécessite un réseau de distribution d'alimentation (PDN, *power delivery network*) qui puisse supporter des cycles répétés de charge et de décharge.

Le réseau PDN standard pour ce type de système prend une entrée AC triphasée issue du réseau, la redresse en une haute tension DC, puis utilise plusieurs phases de conversion DC-DC pour atteindre la tension nominale requise pour charger un élément de batterie (par ex. : 4,2 V) - voir figure 3. Cette tension finale requise pour la charge de la batterie va varier d'une usine à l'autre, en fonction de la chimie spécifique de la cellule, mais les différentes chutes de tension intermédiaires depuis AC jusqu'à une tension de bus DC plus basse, telle que 12 V, est standard dans l'industrie.

Les solutions à base de composants discrets sont extrêmement difficiles à concevoir, car elles exigent une excellente expertise en alimentation en interne, nécessitent une grosse nomenclature qui représente des défis en termes de coûts et de chaîne d'approvisionnement, et augmentent les délais de commercialisation. Les solutions à base de composants discrets limitent la flexibilité car elles offrent uniquement des tensions de sortie prédéfinies. Puisque les différentes chimies des cellules exigent différentes tensions, il est plus intéressant au niveau du rapport coût/efficacité pour les développeurs de créer une solution flexible qu'ils peuvent modifier en fonction de la chimie de la cellule. Les solutions en composants discrets ne permettent pas des systèmes de production des cellules flexibles qui puissent être modifiés de façon dynamique pour être compatibles avec plusieurs types de cellules.

## La production des cellules exige une haute efficacité et un haut débit du système

Il existe deux principaux problèmes pour les réseaux PDN dans la production des batteries : le débit et le rendement.

Du point de vue du débit, la vitesse à laquelle les fabricants peuvent former la couche SEI d'une batterie est limitée de façon intrinsèque par la chimie de la cellule. C'est pourquoi, l'amélioration du rapport coût/efficacité nécessite de disposer de systèmes évolutifs qui puissent former plusieurs batteries en parallèle. Cependant, avec les PDN existants, l'absence d'une phase DC-DC intermédiaire modulaire limite la capacité de faire évoluer facilement un système sans refonte majeure de la conception.

Du point de vue de l'efficacité, la charge/décharge constante des éléments de batterie peut s'avérer très coûteuse. Afin d'optimiser l'efficacité, les fabricants de batterie réutilisent l'énergie dépensée pendant les cycles de décharge, soit en la stockant localement, soit en la renvoyant dans le réseau. Cela nécessite un PDN qui prend en charge le flux de courant bidirectionnel et effectue une conversion de puissance à haut rendement.

Dans les deux cas, les convertisseurs à rapport de conversion fixe s'avèrent une solution idéale. En intégrant un convertisseur à rapport de conversion fixe dans le réseau PDN, les développeurs peuvent redéfinir l'architecture en trois phases distinctes : la rectification AC, la transformation en basse tension constant (convertisseur de bus) et la conversion à courant constant.

Dans l'étage de conversion en basse tension, les développeurs peuvent mettre en œuvre des convertisseurs à rapport de conversion fixe pour facilement abaisser le niveau DC trop élevé vers un niveau plus bas, sans nécessiter de solutions discrètes ou de solutions à un seul module. En intégrant simplement un ou plusieurs convertisseurs à rapport de conversion fixe en parallèle, les développeurs peuvent créer un réseau de distribution d'alimentation qui soit à la fois modulaire et facile à faire évoluer.

Ainsi, les développeurs peuvent créer des systèmes capables de faire passer le cycle de charge/décharge de plusieurs batteries en même temps, ce qui permet un meilleur débit, une plus grande densité de puissance et une efficacité améliorée. De plus, cette architecture permet aux développeurs de changer facilement le réseau PDN pour s'adapter à la conversion DC-DC requise pour la tension nominale spécifique d'une cellule. Avec une solution plus flexible, qui ne nécessite pas de composants discrets, les systèmes sont commercialisés plus rapidement et sont moins sujets aux pannes.

Pour la conversion de puissance, la nature intrinsèquement bidirectionnelle d'un convertisseur à rapport de conversion fixe est idéale pendant le processus de formation des cellules. Grâce aux convertisseurs à rapport de conversion fixe, les fabricants d'éléments de batterie peuvent facilement passer d'un cycle de charge à un cycle de décharge, en sachant que le convertisseur à rapport de conversion fixe augmentera automatiquement la tension en fonction d'une tension plus élevée prédéfinie pendant la décharge, et de façon similaire, la diminuera automatiquement pendant le cycle de charge. Cette caractéristique unique améliore l'efficacité énergétique du processus, en permettant la réutilisation de l'énergie pendant le cycle de formation.

De plus, avec une efficacité du convertisseur à rapport de conversion fixe de 97,9 %, les pertes de puissance sont minimales pendant le cycle de conversion, quelle que soit la direction du courant. Sans convertisseur à rapport de conversion fixe, la mise en œuvre de cette capacité bidirectionnelle nécessiterait plusieurs composants (un pour la fonction d'élévation de la tension, et un autre pour l'abaissement), ce qui consommerait plus d'énergie à cause d'une efficacité moindre et de l'augmentation du nombre de composants.



**Figure 3 :** Les fabricants de batteries peuvent utiliser des convertisseurs à rapport de conversion fixe pour intégrer la capacité bidirectionnelle et l'efficacité dans leurs réseaux de distribution de l'alimentation destinés à la production des cellules.

## Les tests de batteries ont besoin d'un PDN flexible et évolutif

Dans le cycle de vie de la batterie viennent ensuite les étapes de test, pendant lesquelles les fabricants combinent les éléments de batterie entre eux pour former des batteries plus grosses. La production de batteries ne connaît pas les mêmes contraintes de temps qui dépendent de la chimie et ont un impact sur la charge et la décharge des cellules, mais elle doit tout de même faire face à des problèmes de débit similaires.

Par exemple, chaque élément doit être correctement testé et mesuré avec précision, afin que plusieurs éléments puissent être combinés pour former des batteries plus grosses. Après quoi, ces plus grosses batteries doivent être rigoureusement testées. Il ne s'agit pas d'une étape à valeur ajoutée. Donc, plus les fabricants réalisent ce processus rapidement, plus les coûts généraux de la batterie seront moindres.

La flexibilité et l'évolutivité sont de mises dans un réseau PDN pour s'adapter à un large éventail de niveaux de tension et de puissance de batterie, et un haut débit est nécessaire pour tester davantage de batteries dans le même espace physique en moins de temps. Les testeurs de batteries nécessitent donc des réseaux de distribution d'alimentation qui soient modulaires et évolutifs pour répondre aux besoins spécifiques de leurs exigences et volumes de test. Tout comme pour la phase de formation des éléments de batterie, le réseau PDN standard d'un laboratoire de test de batteries implique la conversion d'énergie du courant triphasé AC vers la tension nominale de la cellule (voir figure 4).

Avec les convertisseurs à rapport de conversion fixe dans l'étage de conversion à courant constant du PDN, les concepteurs de tests de batteries peuvent éviter la conception épineuse des étages de conversion intermédiaires. À la place, ils peuvent profiter de ce que leur conversion à courant constant est gérée par le convertisseur à rapport de conversion fixe. Les développeurs peuvent désormais se concentrer sur l'étage final du processus de conversion, dans lequel les tensions doivent correspondre avec la tension nominale de la cellule en cours de test. Cette architecture simplifiée permet de créer des systèmes modulaires et flexibles que les développeurs peuvent modifier facilement selon diverses exigences de test.

Autre avantage important des convertisseurs à rapport de conversion fixe : la densité de puissance. Grâce à une efficacité de conversion très élevée et à des facteurs de forme réduits, les convertisseurs à rapport de conversion fixe peuvent supporter plusieurs kilowatts de puissance et plusieurs centaines de volts dans des facteurs de forme performants. On peut ainsi utiliser des testeurs avec un meilleur débit

en plaçant davantage d'équipements de test dans le même espace, ce qui permet de tester davantage d'éléments de batterie en même temps.

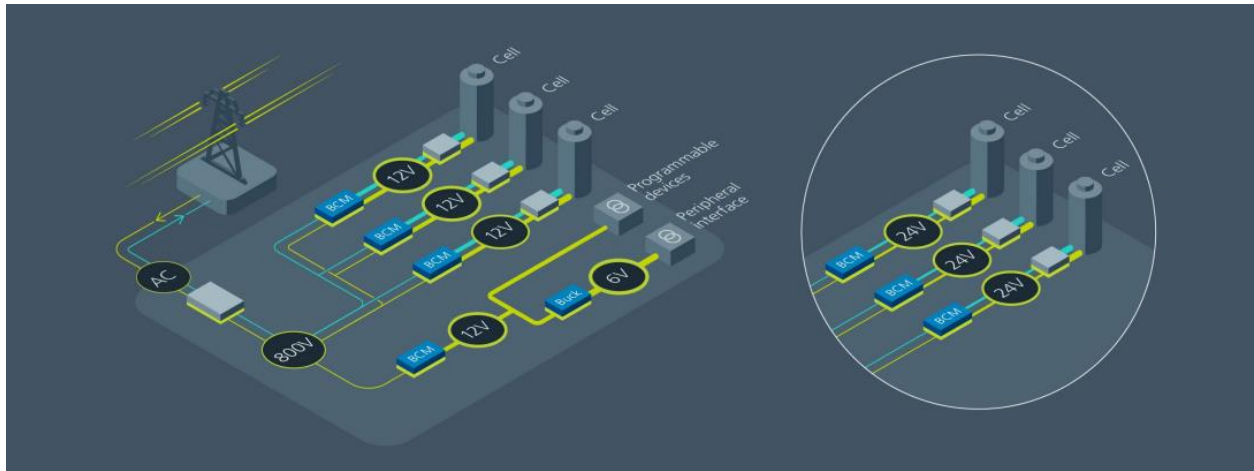


**Figure 4 :** Les convertisseurs à rapport de conversion fixe permettent des niveaux de densité de puissance très élevés pour les réseaux de distribution d'alimentation destinés aux tests des batteries, ce qui permet un meilleur débit des testeurs en intégrant davantage d'équipements de tests dans le même espace.

## Les convertisseurs à rapport de conversion fixe réduisent les pertes $I^2R$ sur les applications de batterie

Quand la batterie finit par sortir de l'usine pour se retrouver dans une application dans le monde réel, les défis du PDN continuent.

Sur de nombreuses nouvelles applications alimentées par batteries, comme les robots ou ROV avec câble d'attache, les systèmes de stockage d'énergie pour énergie renouvelable tels que l'énergie solaire ou éolienne, et les véhicules électriques, il existe une demande croissante pour une distribution de tension ultra élevée (voir figure 5). Par exemple, les véhicules électriques subissent actuellement un changement d'architecture, passant d'une distribution d'alimentation 400 V à 800 V, afin d'obtenir plus de puissance et une meilleure efficacité.

Pour la même puissance, des niveaux plus élevés de tension permettent une distribution de l'alimentation à des courants plus faibles. C'est pourquoi, l'un des avantages de la distribution d'alimentation à haute tension consiste en une meilleure efficacité, car les courants plus faibles induisent des pertes  $I^2R$  plus faibles également. On obtient ainsi des applications plus efficaces qui nécessitent également moins de frais pour la gestion thermique.

De plus, la distribution d'alimentation à haute tension permet de diminuer la section des câbles dans les faisceaux de câbles des véhicules. Grâce à des exigences de distribution de courant moindres, les développeurs peuvent utiliser des diamètres de câbles plus fins, ce qui permet de diminuer le poids du système, les spécifications matérielles et les coûts.

Naturellement, le bon fonctionnement de ce type de système à haute tension dépend de la capacité à convertir ces hautes tensions utilisées pour l'alimentation, en des tensions plus faibles, utilisées par la charge. À ce point du cycle de vie de la batterie, les convertisseurs à rapport de conversion fixe constituent une valeur ajoutée en offrant un moyen simple et efficace de convertir l'énergie DC.

Prenons l'exemple d'un robot avec câble d'attache. Avec un convertisseur à rapport de conversion fixe doté d'un facteur  $K$  1/16, les développeurs peuvent profiter de l'efficacité à 97,9 % pour diminuer les tensions à partir de la haute tension nécessaire pour la distribution de l'alimentation (par ex. 800 VDC), vers une tension plus basse, comme 48 VDC. À partir de cette tension 48 VDC, les développeurs peuvent utiliser un convertisseur Buck traditionnel, efficace à 90 %, pour atteindre la tension finale de 3,3 V utilisée par le microcontrôleur. Sans convertisseur à rapport de conversion fixe, l'ensemble de la conversion de 800 V à 3,3 V s'effectuerait avec une efficacité de 90 %, entraînant des pertes beaucoup plus importantes qu'avec l'architecture du convertisseur à rapport de conversion fixe.

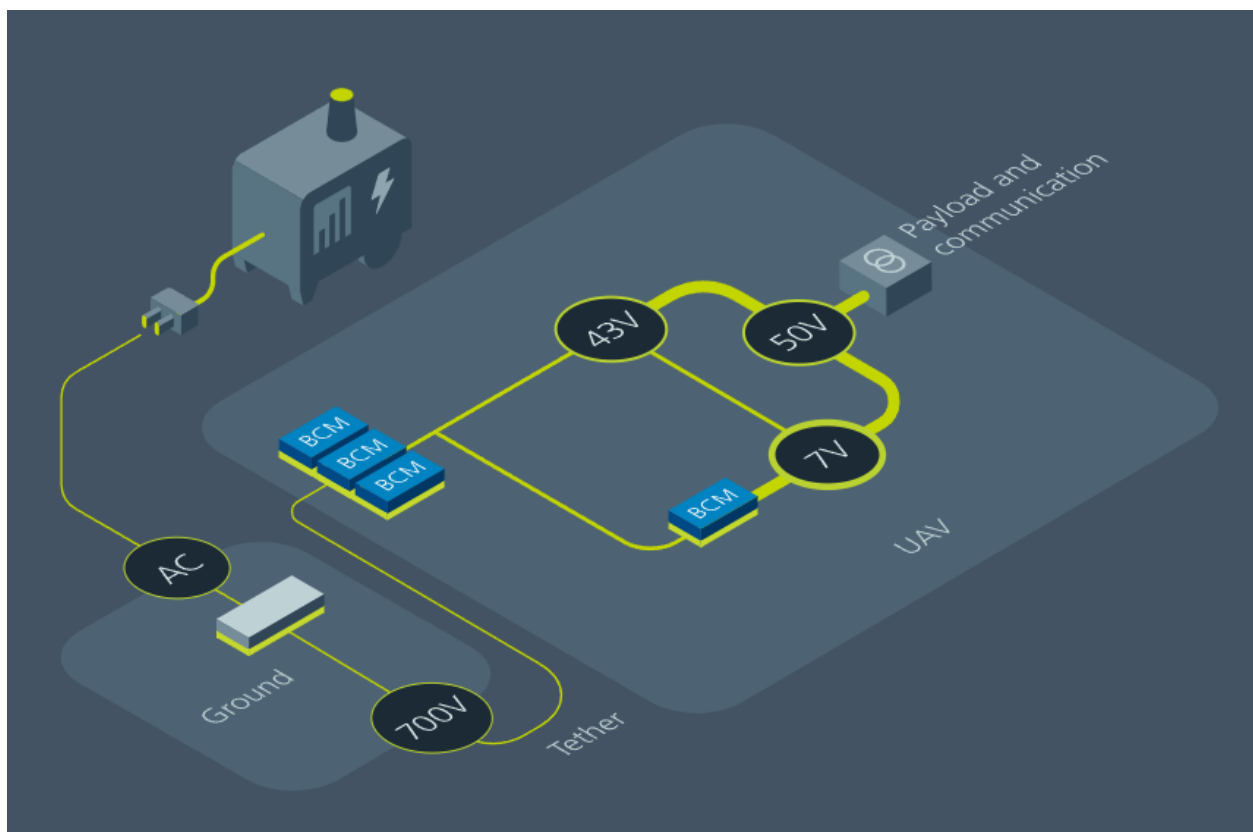


**Figure 5 :** Les applications telles que les robots avec câble d'attache peuvent utiliser des convertisseurs à rapport de conversion fixe pour permettre la distribution de l'alimentation à haute tension sans entraîner de pertes de puissance significatives pendant la conversion vers des tensions plus basses.

## Les défis thermiques pendant le recyclage de la batterie

Une fois que la batterie a été utilisée pendant toute sa durée de vie, l'étape finale de son cycle de vie est le recyclage.

Le recyclage des batteries implique un processus électrochimique à haute puissance, dans lequel les divers matériaux bruts et éléments de la batterie sont séparés chimiquement de la cellule pour être récupérés et réutilisés. Tout comme pour les autres étapes industrielles du cycle de vie de la batterie, le PDN consiste à convertir des tensions d'entrées AC triphasées en haute puissance DC, puis à les diminuer en basses tensions pour faire fonctionner les équipements de recyclage (voir figure 6).

L'un des problèmes, du point de vue du PDN, est que le processus de recyclage de la batterie crée une quantité significative de chaleur. C'est pourquoi, les composants au sein du PDN doivent pouvoir fonctionner de façon fiable à des températures élevées. De la même façon, la densité de puissance devient de plus en plus importante dans la conception du PDN, exigeant des facteurs de forme réduits et une conversion d'énergie ultra efficace.

Les convertisseurs à rapport de conversion fixe offrent une solution extrêmement dense pour la conversion DC-DC, capable de supporter plusieurs kilowatts de puissance et plusieurs centaines de volts dans des facteurs de forme ultra réduits.

Par exemple, le convertisseur de bus à rapport de conversion fixe BCM6123 de Vicor affiche une densité de puissance de  $143,53 \text{ W/cm}^3$  ( $2352 \text{ W/in}^3$ ) - voir figure 7. Grâce à ce niveau de densité de puissance, les développeurs peuvent facilement respecter les exigences de température et de performances des usines de recyclage des batteries. De plus, à mesure que les exigences deviennent plus strictes et que la demande croît, l'architecture d'alimentation modulaire dotée de convertisseurs à rapport de conversion fixe permet au système d'évoluer en fonction de la tension minimale requise.

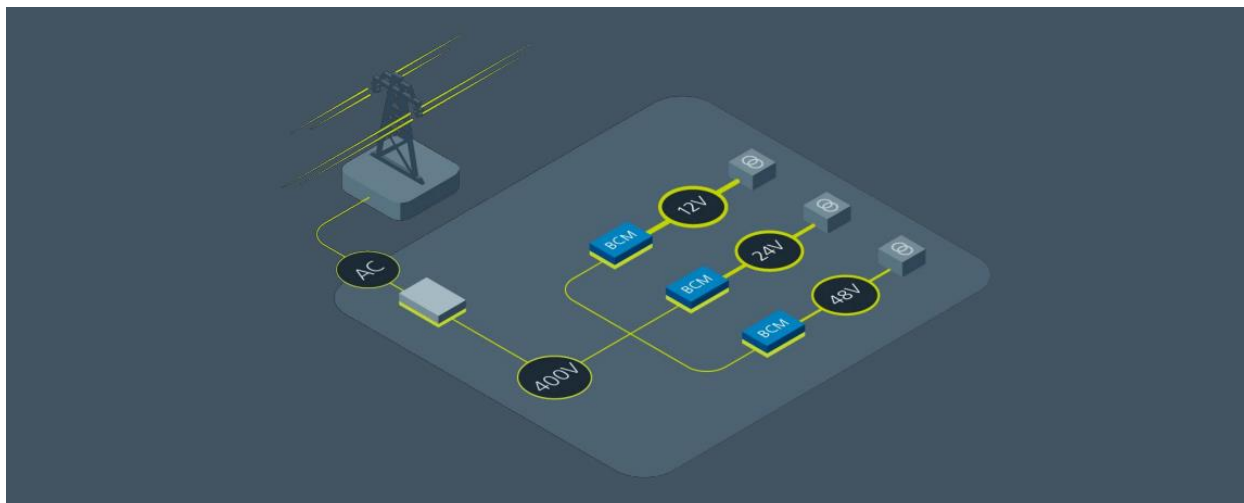


**Figure 6** : Les convertisseurs de bus à rapport de conversion fixe BCM permettent une conversion de tension à haute puissance adaptée aux contraintes de températures élevées des usines de recyclage des batteries.



**Figure 7** : Le module convertisseur de bus à rapport de conversion fixe BCM6123 offre une tension de sortie de 24 V et un courant de sortie de 62,5 A, le tout dans un boîtier ChiP™ mesurant 61,0 x 25,14 x 7,26 mm

## Soutenir l'écosystème des batteries grâce aux convertisseurs à rapport de conversion fixe

À chaque étape du cycle de vie de la batterie, il existe un besoin croissant de réseaux de distribution d'alimentation haute tension qui soit efficace, avec une densité de puissance élevée et évolutive. Le succès du cycle de vie de la batterie dépend du succès à chaque étape individuelle. Qu'il s'agisse de la

production des éléments de batterie, des tests, de l'utilisation dans une application ou du recyclage, la totalité du cycle de vie de la batterie bénéficie des convertisseurs à rapport de conversion fixe. Par rapport aux solutions de conversion d'énergie traditionnelles, les convertisseurs de tension à rapport de conversion fixe offrent des niveaux inimaginables d'efficacité et des facteurs de forme réduits, tout en présentant par ailleurs des caractéristiques uniques de fonctionnement bidirectionnel.

Vicor est la seule société à proposer des convertisseurs à rapport de conversion fixe. Les produits BCM<sup>®</sup> de Vicor utilisent une topologie SAC (Sine Amplitude Converter<sup>™</sup>) qui permet un fonctionnement à de plus hautes fréquences que les solutions basées sur des PWM. La famille BCM de convertisseurs à rapport de conversion fixe se décline également en différents facteurs de forme et puissances nominales afin de répondre aux besoins d'un large éventail d'applications à haute tension. En plus de la famille BCM, Vicor offre des convertisseurs à rapport de conversion fixe qui répondent aux besoins de nombreuses autres applications.

Le convertisseur à rapport de conversion fixe BCM est sur le point de jouer un rôle déterminant dans l'essor de la fabrication de batteries, l'un des marchés qui grossit le plus rapidement actuellement. Il supporte des débits plus élevés, améliore l'efficacité et peut s'adapter à tout type d'application. Quelle que soit l'application ou la phase du cycle de vie, les convertisseurs de puissance à rapport de conversion fixe constituent une solution exceptionnelle pour le marché des batteries modernes en plein essor, qui est aujourd'hui limité par les approches de conversion d'énergie traditionnelles.

Vicor et BCM<sup>®</sup> sont des marques déposées de Vicor Corporation. ChiP<sup>™</sup> et Sine Amplitude Converter<sup>™</sup> sont des marques commerciales de Vicor Corporation.