Comprendre la correction de facteur de puissance est indispensable à l'atteinte des objectifs d'efficacité énergétique

par : Joel Turchi, Membre de l'Equipe Technique, ON Semiconductor

Pour ainsi dire tout le monde est bien conscient de la nécessité d'une efficacité énergétique optimale, depuis les consommateurs et les opérateurs commerciaux qui cherchent à limiter les coûts en ces périodes de prix élevés de l'énergie, jusqu'aux concepteurs qui cherchent à répondre aux exigences de normes toujours plus nombreuses et plus complexes. Même si l'on n'est pas motivé par les coûts qu'engendre le gaspillage d'énergie, l'impact environnemental de la production d'énergie qui finit en chaleur est un problème de plus en plus important.

Conscients des progrès à réaliser, les gouvernements et les associations industrielles ont rédigé des normes qui, dans certains cas, doivent être respectées avant qu'un produit ne puisse être commercialisé. Les clients soucieux des coûts et de l'environnement s'appuient sur ces normes pour leurs décisions d'achat, afin d'être sûrs d'acheter des produits offrant une bonne efficacité énergétique.

L'un des points clés à aborder est l'étage de correction du facteur de puissance (PFC pour Power Factor Correction en anglais) et son filtre EMI (Electro Magnetic Interference, ou parasite électromagnétique).

LE RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE NE SE LIMITE PAS À UNE VALEUR UNIQUE

Pour toute application de puissance, le rendement est toujours un sujet et un paramètre que les fabricants indiquent dans leurs spécifications. Cependant, dans le passé, le rendement indiqué correspondait à la meilleure valeur atteignable, une valeur unique obtenue à environ 75% de la charge maximum.

Par conséquent, les fabricants se sont focalisés sur ce niveau de charge pour améliorer l'efficacité perçue de leurs produits. Toutefois, en pratique, les appareils ne fonctionnent à ce niveau de charge qu'une faible partie du temps. Dans le cas d'applications réelles, en particulier celles avec des charges dynamiques, cela signifie que le rendement réel est bien inférieur à ce que l'on pourrait attendre.

Pour remédier à cela, les normes énergétiques modernes tiennent compte de la performance sur l'ensemble de la courbe de rendement, et pas seulement au point le plus favorable de la courbe. Par conséquent, les concepteurs cherchent à concevoir certains composants clés des systèmes de conversion d'énergie, de sorte à améliorer le rendement à faible et à moyenne charge. L'une des zones les plus critiques est l'étage CFP (Correction du Facteur de Puissance) et le filtre EMI (Electro Magnetic Interference, ou parasite électromagnétique) qui, ensemble, peuvent consommer jusqu'à 8% de la puissance de sortie.

CFP : BREF APERÇU

La tension fournie par les fournisseurs d'énergie est toujours sinusoïdale, mais la forme d'onde et la phase du courant de ligne dépendent de la charge que le circuit alimente. Pour la charge résistive la plus simple, le courant de charge est également sinusoïdal et en phase, ce qui facilite le calcul de la puissance.

Si un composant réactif est présent dans la charge, comme une inductance ou un condensateur, le courant de charge reste sinusoïdal mais se trouve déphasé par rapport à la tension. Dans ce cas, la puissance active (également appelée puissance "réelle" ou "moyenne") est calculée comme précédemment en multipliant la tension de ligne par le courant de ligne, mais multiplié par le cosinus de l'angle de déphasage ("facteur de déphasage" souvent appelé "cos Phi"). Plus la charge est réactive, plus cos Phi est faible, et donc plus la puissance active est faible.

Les choses deviennent plus complexes avec les charges non linéaires, comme dans le cas de l'étage d'entrée d'une alimentation à découpage typique avec un pont de diodes et un condensateur réservoir d'entrée. Ici, le courant est une série de pointes d'appel, et la puissance se calcule à l'aide d'une transformée de Fourier.

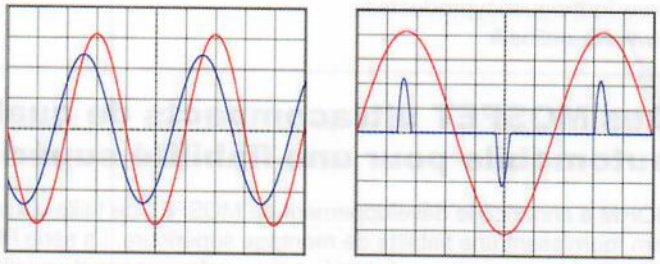

Figure 1 : Tension (bleue) et courant (rouge) pour une charge réactive (à gauche) et non linéaire (à droite)

Evaluer la moyenne du produit de deux sinusoïdes requiert des calculs complexes et ne donne un résultat non nul que si les deux sinusoïdes ont la même fréquence. Cependant, on peut en déduire que seule la composante fondamentale fournit la puissance réelle, et que les harmoniques ne font que générer des courants de circulation inutiles.

Semblable au facteur de puissance, un facteur de distorsion modélise l'effet qu'une forme d'onde déformée (non sinusoïdale) a sur la puissance réelle, en définissant la puissance réelle comme le produit de la tension efficace, du courant efficace et des deux facteurs (de puissance et de distorsion). Une analyse plus poussée montrerait aussi la distorsion harmonique totale (THD).

En fait, le facteur de puissance d'un système est simplement le produit du facteur de déphasage et des facteurs de distorsion, et donc, la puissance réelle est le produit de la tension efficace, du courant efficace et du facteur de puissance.

APPROCHES PRATIQUES POUR LA CORRECTION DU FACTEUR DE PUISSANCE

La principale norme relative à la CFP (Correction de facteur de puissance) est l'EN 61000-3-2, qui a été rédigée dans le but de minimiser la distorsion harmonique totale de tout courant fourni par le réseau. La norme y parvient en définissant la magnitude maximale de l'ensemble des harmoniques de la 2ème à la 40ème. Les exigences en matière de correction de facteur de

puissance sont également abordées dans d'autres documents, tels que la spécification Energy Star et c'est ce qui, de l'avis de beaucoup, a conduit à la prévalence de la technologie CFP dans de nombreuses applications.
Le type de correction de facteur de puissance qui est de loin le plus courant (et le plus efficace) et utilisé pour répondre à ces normes, est la CFP active. Une approche typique consiste à ajouter un pré-régulateur CFP entre le pont redresseur d'entrée et le condensateur réservoir pour fournir une tension constante, tout en s'assurant que le courant consommé soit bien sinusoïdal.

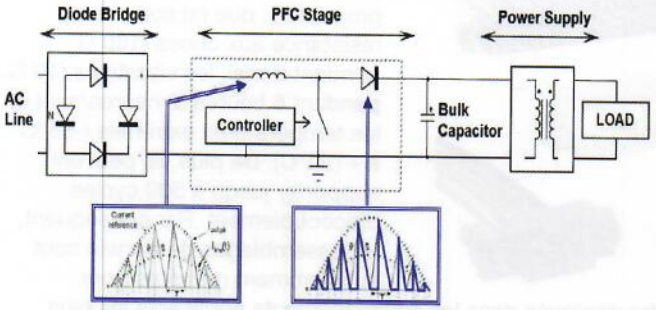

Figure 2 : L'étage CFP se trouve entre le pont de diodes et le condensateur réservoir

Cette approche présente de nombreux avantages au-delà l'amélioration évidente du facteur de puissance. La sortie de l'étage CFP est généralement une tension de 400V assez bien régulée, ce qui rend la conception du convertisseur aval plus facile et moins coûteuse. En outre, le courant non-pulsé réduit les exigences de filtrage EMI, ce qui permet de gagner de la place et de réduire les coûts.
Cependant, ce type de pré-convertisseur CFP ne peut offrir un rendement de 100%, et contribue donc aux pertes système. Dans tout réseau électrique, il existe deux grands types de pertes : les pertes par commutation et les pertes par conduction. Les pertes de conduction sont la somme de deux types de pertes : celles qui sont proportionnelles à la puissance du système à cause de facteurs comme la tension directe aux bornes des diodes du pont, et celles qui sont proportionnelles au carré de la puissance du système, comme les pertes résistives, notamment celles correspondant à la résistance à l'état passant des MOSFET. Ces derniers ont tendance à avoir un impact plus important sur le rendement aux niveaux de puissance les plus élevés.

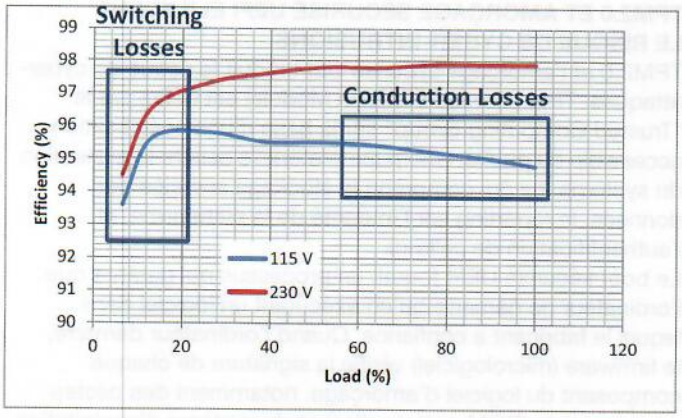

Figure 3 : Les pertes de commutation et de conduction contribuent aux pertes globales d'un système électrique

Les pertes de commutation, en revanche, sont en grande partie proportionnelles au courant, et donc à la puissance fournie. Par ailleurs, elles sont constantes et ne sont pas liées à la puissance du système. Elles sont générées par les capacités parasites et leurs courants de charge, et sont généralement proportionnelles à la fréquence de commutation du système. Au fur et à mesure que les concepteurs augmentent les fréquences opérationnelles pour réduire la taille des systèmes, les pertes de commutation posent un défi grandissant, notamment aux niveaux de puissance inférieurs où elles peuvent avoir un impact significatif sur le rendement.

MODES DE COMMANDE CFP

Différents schémas de commande CFP ont été développés pour répondre aux besoins de différents systèmes, bien qu'en règle générale, l'objectif soit de réduire les pertes de commutation pour les charges faibles, et les pertes par conduction pour les charges plus importantes.
Il existe trois modes de commande CFP, comme illustré ci-dessous. Le mode CCM (Continuous Conduction Mode, ou mode à conduction permanente) fonctionne à fréquence fixe et limite l'ondulation du courant d'inducteur, tout en autorisant des pertes supérieures. On l'utilise en général dans les systèmes de puissance élevée (> 300W).
Le mode CrM (Critical conduction Mode, ou mode à conduction critique) démarre un nouveau cycle de commutation lorsque le courant d'inducteur passe à zéro, ce qui évite l'utilisation d'une diode à récupération rapide. Cela se traduit par une fréquence de commutation variable, avec un courant d'ondulation relativement important. Ce système simple et peu coûteux est populaire dans les applications à faible consommation d'énergie, comme l'éclairage. Les MOSFET à faible résistance à l'état passant se popularisant, le mode CrM est désormais utilisé dans des applications de puissance supérieure.

	Operating Mode	Main Features
	Continuous Conduction Mode (CCM)	Always hard-switching Inductor value is largest Minimized rms current
	Critical conduction Mode (CrM)	Large rms current Switching frequency is not fixed
	Frequency Clamped Critical conduction Mode (FCCrM)	Large rms current Frequency is limited Reduced coil inductance

Figure 4 : Modes de fonctionnement CFP primaires à canal unique

Le mode FCCrM (Frequency-Clamped Critical conduction Mode, ou mode à conduction critique à fréquence verrouillée) a été introduit par ON Semiconductor il y a plusieurs années pour limiter la dispersion de fréquence typique du mode CrM. Dans des conditions de charge légère où la fréquence est très élevée, le fonctionnement passe en mode DCM (Discontinuous Conduction Mode, ou mode à conduction discontinue) pour réduire les pertes de commutation. Des circuits additionnels gèrent les "temps morts" typiques du mode DCM, pour garantir que l'onde de courant conserve une forme appropriée.
ON Semiconductor offre une large gamme de composants incluant des contrôleurs CFP et des commutateurs de puissance, ainsi que d'importantes ressources de conception permettant aux concepteurs de développer des solutions CFP en toute confiance.
www.onsemi.com