Influence de la maîtrise des composants sur la fiabilité et la durée de vie des convertisseurs DC-DC

par Ann-Marie Bayliss, directeur du marketing produit de Murata Power Solutions

L'un des principaux problèmes pour créer de grands centres de données, des réseaux mobiles hautes performances et d'autres systèmes basés sur la concentration d'une grande puissance de calcul en un même endroit est de gérer la chaleur qu'ils génèrent. Dans les petits systèmes comme les stations de base cellulaires, on a recours à des dissipateurs et des ventilateurs complexes. Mais dans le cas des grands centres de données, on consomme double énergie : une fois pour alimenter le système, puis ensuite pour dissiper toute la chaleur perdue lors des calculs. Les stratégies de refroidissement appliquées aux centres de données sont parfois si complexes à gérer que Google a récemment dû appliquer des algorithmes d'apprentissage machine au système de refroidissement de l'un de ses centres, parvenant ainsi à en améliorer le rendement de 40%.

Et la question de "l'électronique chaude" va devenir de plus en plus problématique. Si la tension de fonctionnement des circuits intégrés est passée du traditionnel 5V au 1,8V, voire moins, dans les puces les plus rapides afin de faire face à la miniaturisation accrue et à la commutation plus rapide, la consommation, elle, augmente. De ce fait, la chaleur augmente dans les chips eux-mêmes, mais aussi, par effet Joule, dans les systèmes supports comme les convertisseurs DC-DC qui alimentent l'essentiel du calcul.

De plus en plus, les grands systèmes distribuent la puissance sur des bus 24V DC ou 48V DC, s'appuyant sur les convertisseurs DC-DC locaux pour délivrer les tensions d'alimentation requises là où il faut. Comme les tensions de fonctionnement diminuent, ces convertisseurs doivent accepter des rapports d'abaissement de plus en plus importants – au prix d'une réduction de l'efficacité énergétique, et donc d'une charge thermique plus importante.

Dans les plus petits systèmes, les ventilateurs à vitesse variable peuvent s'avérer très efficaces pour refroidir l'électronique embarquée. Malheureusement, les

ventilateurs sont bruyants, ont des roulements qui s'usent, et des filtres qu'il faut changer. Les concepteurs de systèmes préféreraient ne pas avoir à être confrontés à ce problème de maintenance et, potentiellement, de fiabilité.

Dans les deux cas, faire fonctionner un système à une température supérieure peut représenter une économie directe grâce à la réduction des besoins en refroidissement ; c'est pourquoi les entreprises qui exploitent de grands parcs de serveurs prévoient l'emploi de processeurs industriels pouvant fonctionner à des températures supérieures sans que leur fiabilité en soit diminuée. Le processeur n'est pas le seul à devoir fonctionner à des températures supérieures : l'infrastructure support comme les convertisseurs DC-DC, par exemple, doit pouvoir faire de même, ce qui constitue à la fois une opportunité et un défi.

Comprendre les effets de la température sur les caractéristiques du composant

Comment les concepteurs d'équipements peuvent-ils spécifier un convertisseur DC-DC pour des températures élevées ? Il faut d'abord s'interroger sur les conséquences de températures plus importantes sur les composants du convertisseur. Une règle veut que pour chaque baisse de 10°C de la température de fonctionnement maximum d'un composant, le taux de défaillance au cours de sa durée de vie diminue de moitié. Ces éléments indicatifs sont dérivés de l'équation d'Arrhénius, qui quantifie la vitesse de réaction chimique en fonction de la température dans les processus de diffusion et de migration dans les composants électroniques. Cette équation permet de prévoir de façon assez certaine le temps moyen entre pannes dues aux augmentations de température.

Dans de nombreux cas, le concepteur doit prévoir des performances moindres lorsque le composant fonctionne à plus de 75°C. Les meilleurs spécialistes maîtrisent les mécanismes qui affectent chaque type de composant et choisissent donc les pièces qui fonctionneront le mieux dans l'environnement ciblé. Par exemple, il existe clairement une corrélation entre la durée de vie des condensateurs électrolytiques et leur température de service, la sollicitation électrique et la vitesse

de diffusion de l'électrolyte. Cela s'exprime par cette équation, qui calcule la durée de vie d'un composant :

$$L = Lr \times (Tmax - T)/5 \times (Vmax/V)2,5$$

où :

- *L* est la durée de vie prévue, en heures
- *Lr* est l'endurance nominale donnée par le fabricant à température maximum *Tmax*, en heures
- *T* est la température de service prévue du condensateur
- *Vmax* est la tension de fonctionnement maximum du condensateur
- *V* est la tension de fonctionnement du circuit

Si le concepteur choisit de faire fonctionner un composant dont la tension nominale est de 25V DC à 70% de sa tension nominale, un composant normal du commerce donné pour 2000 heures à 85°C devrait avoir une durée de vie d'environ 50 000 heures à 50°C. Mais si on le remplace par un composant dimensionné à 105°C, la durée de vie peut passer à près de 80 000 heures.

Ce modèle démontre les effets du choix du composant sur la durée de vie. Dans la pratique, de nombreux concepteurs évitent de recourir à l'aluminium produit par électrolyse, dont il est prouvé que les mécanismes d'usure sont l'une des principales raisons de la défaillance de l'alimentation.

En ce qui concerne les condensateurs céramique, la principale raison de leur défaillance est une mauvaise manipulation, mais ils sont aussi sensibles à des températures excessives et des contraintes de tension. Ces effets dépendent du matériau diélectrique et sont plus significatifs quand la valeur de la capacité approche les limites de la technologie. Le composant ne lâche pas vraiment, mais perd sa capacité effective. Ainsi, le X7R souvent utilisé comme diélectrique a une tolérance de capacité de base de ±15% entre -55 et +125°C. Par comparaison, la capacité du Y5V peut diminuer de plus de 80% à +85°C. La valeur effective d'un condensateur céramique diminuera également de manière significative en-dessous

de la polarisation en DC, en raison d'une caractéristique intrinsèque de la céramique $BaTiO_3$ dont il est constitué.

La même chose s'applique aux inductances, dont les performances dépendent du matériau. Les pertes varient en fonction des matériaux et des températures, mais aussi des conditions du circuit. Cependant, une inductance lâche rarement, à moins qu'elle subisse une surcharge importante.

Exploration du comportement des composants en ligne

Murata propose un simulateur sur navigateur, SimSurfing, avec lequel l'ingénieur peut explorer les effets des niveaux de polarisation en ca et en cc, de la fréquence et de la température sur une gamme étendue de condensateurs et d'inductances. Il donne parfois des résultats inattendus. Ainsi, le graphique de la Figure 1 qui concerne la polarisation en DC montre qu'un composant X7R de 22uF, 25V cc a une capacitance effective de tout juste 7,75µF quand il est soumis à une polarisation de 15V en cc. Le graphique des augmentations de température montre que les condensateurs qui traitent des courants ondulés peuvent aussi subir des montées de la température interne.

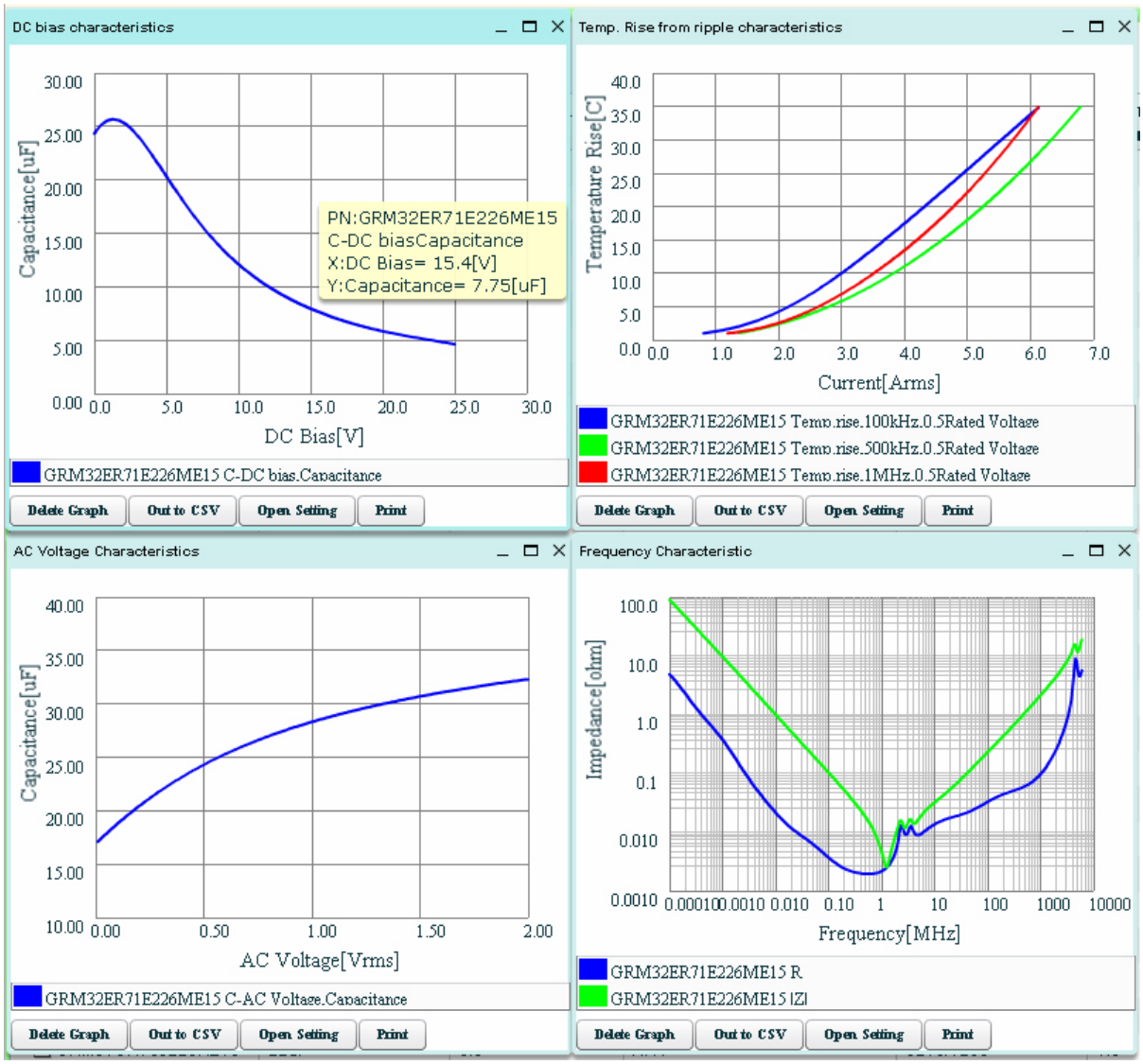


Figure 1. *Le simulateur SimSurfing montre le comportement des inductances et condensateurs céramique dans diverses conditions. Ce schéma montre les caractéristiques d'un condensateur 22uF 25V.*

Les ingénieurs ont l'habitude de tenir compte dans leurs études des caractéristiques des semiconducteurs qui sont liées à la température, calculant les températures de jonction à l'aide de modèles de résistance thermique afin de s'assurer qu'elles restent en-dessous de 150–175°C. Toutefois, les diodes Schottky peuvent poser problème pour les convertisseurs DC-DC, parce qu'elles ont tendance à "fuir" de plus en plus à mesure que la température augmente. Cela peut produire une importante dissipation quand la polarisation est inversée, et donc une défaillance potentielle du composant. De la même façon, les circuits de retour des

convertisseurs utilisent souvent des optocoupleurs dont le rapport de transfert du courant peut varier en fonction du vieillissement et de l'exposition à des températures élevées. Les caractéristiques versatiles de ces optocoupleurs sont source d'instabilité et, le cas échéant, d'une défaillance prématurée du convertisseur. Le concepteur peut pallier le problème des redresseurs Schottky en choisissant d'utiliser des MOSFET plutôt que des diodes dans une configuration redresseur synchrone, et ainsi améliorer le rendement. Dans les cas où le redresseur Schottky peut difficilement être évité, comme pour la diode de marche à vide au travers du commutateur synchrone d'un convertisseur abaisseur, par exemple, il est possible de trouver des diodes Schottky et des optocoupleurs qui résistent à des températures de jonction de 150°C. Cela suppose de choisir les autres composants et de concevoir le circuit avec soin, de façon à éviter les points chauds et permettre aux circuits de fonctionner de façon fiable à température élevée. Comme dans toutes les études, il faut tenir compte des autres problèmes liés au système comme la température de service maximum de 130°C pour les circuits imprimés classiques.

Choisir vos composants

La pression pour utiliser des convertisseurs DC-DC à des températures de service élevées dans des clusters à grande puissance de calcul ne cesse d'augmenter. Le concepteur de convertisseurs DC-DC ne peut donc plus compter sur les spécifications limitées que proposent les fabricants de composants à 25°C s'il veut concevoir un produit fiable sur la durée à température de fonctionnement élevée.

Pour imaginer ce type de convertisseur, il doit d'abord bien comprendre chacune des caractéristiques du composant, puis centrer son étude sur un juste équilibre dans la plage des températures de fonctionnement envisagées. Il doit aussi déterminer où mesurer la température du composant et veiller à effectuer les mesures dans un environnement représentatif, avec une température ambiante et un débit d'air reflétant bien l'application cible.

En procédant ainsi, le concepteur de convertisseurs DC-DC pourra espérer réaliser des composants robustes, fiables et durables répondant aux besoins toujours plus complexes de systèmes qui utilisent des clusters denses en puissance de calcul.