

La tenue au courant d'ondulation est tout aussi importante que le nombre de Farads dans le choix d'un condensateur

par Derick Stephens, KEMET Corporation

Bien prendre en compte les fondamentaux

Choisir des condensateurs de découplage ou de filtrage pour des circuits de puissance peut sembler évident aux concepteurs d'électronique. Cependant, bien faire les choses peut s'avérer critique pour la fiabilité et la tenue dans le temps, mais le problème est que les paramètres varient en fonction de facteurs comme la température et la fréquence de fonctionnement. Une attention particulière doit être accordée au choix des condensateurs, en profitant des ressources techniques désormais largement disponibles en ligne pour faciliter et accélérer le processus.

Tenue du condensateur au courant d'ondulation

Dans les circuits de conversion d'énergie, comme les alimentations CA / CC, les convertisseurs CC / CC et même les liaisons CC, des filtres capacitifs sont nécessaires pour contrer les fluctuations qui engendrent de l'instabilité. Le choix des bons composants se traduit en général par l'absence de bruit au niveau de la sortie CC, et l'absence de parasites transmis aux circuits voisins.

Les éventuelles fluctuations en question se superposent aux formes d'onde idéales et stables. Les parasites peuvent provenir de différentes sources. Une source courante de bruit est le redressement du courant alternatif ; la sortie CC d'un redresseur contient en général une certaine composante CA provenant de la source. Tous les régulateurs à découpage génèrent un certain courant d'ondulation en fonctionnement. Les bonnes conceptions visent en général à atténuer ce courant d'ondulation autant que possible, sans pour autant parvenir à l'éliminer totalement. En règle générale, des condensateurs sont positionnés dans un circuit pour absorber et décharger l'énergie correspondant à ces fluctuations par rapport à une certaine tension continue, afin de minimiser les pics et les creux.

Par conséquent, le condensateur se trouve continuellement soumis à un courant variable. Ce courant est appelé courant d'ondulation. Bien que le courant d'ondulation soit l'inévitable résultat du fonctionnement du condensateur, il provoque un échauffement par effet Joule (RI^2) indésirable en traversant la résistance ESR (Equivalent Series Resistance, ou résistance série équivalente) du condensateur. Si l'effet Joule (RI^2) dépasse la capacité de dissipation thermique du condensateur, sa température peut augmenter et donc nuire à la fiabilité. Au minimum, la durée de vie du composant peut être impactée selon la loi d'Arrhenius, qui stipule que la durée

de vie se trouve réduite de moitié à chaque augmentation de 10°C de la température de fonctionnement. Un échauffement plus important, conduisant à dépasser la température maximale spécifiée, peut détruire le condensateur en provoquant le séchage ou l'ébullition de l'électrolyte liquide, le craquage dans le cas d'un condensateur céramique ou l'ignition. Un dissipateur thermique peut être utilisé pour limiter l'augmentation de température, si les contraintes de place et de poids de l'application le permettent. D'un autre côté, le calcul du courant d'ondulation et la bonne compréhension des propriétés des condensateurs appropriés aident à obtenir la meilleure solution en termes de place et de coût.

La fiche technique du condensateur indique un courant d'ondulation nominal qui correspond en gros à l'ondulation maximale que le composant peut supporter. Ce document peut servir de guide, même s'il est établi dans des conditions idéales. Celles-ci sont définies dans des normes telles que EIA-809 ou EIA/IS-535-BAAE, même si une certaine ambiguïté existe dans ces documents. Afin d'aider les ingénieurs à comprendre les questions entourant le courant ondulateur, KEMET a publié un article, Ripple Current Confusion (La confusion du courant d'ondulation) (<http://www.kemet.com/Lists/TechnicalArticles/Attachments/161/2004 Article - Ripple Current Current Confusion.pdf>), dans sa bibliothèque technique en ligne (ec.kemet.com), qui décrit en détails ces normes et leur applicabilité. Les divergences dans les mesures de tenue au courant d'ondulation empêchent de comparer directement la tenue au courant d'ondulation de condensateurs issus de différents fabricants. Les valeurs des fiches techniques restent néanmoins utiles pour comparer les produits d'un même fabricant.

Calcul de la tension et du courant d'ondulation

Pour choisir le bon condensateur pour le filtre d'entrée d'un régulateur à découpage, par exemple, la capacitance nécessaire à obtenir le niveau d'ondulation de tension souhaité peut être calculée, si l'on connaît les conditions de fonctionnement du régulateur. Une fois la capacitance calculée, on peut identifier un condensateur convenant à l'application, et déterminer le courant d'ondulation à partir de la résistance ESR. Ce courant d'ondulation doit être dans les limites de ce que le condensateur peut supporter pour pouvoir être utilisé. C'est là que la sélection peut s'avérer difficile, car aussi bien la résistance ESR que la capacitance varient en fonction de la température, de la fréquence de fonctionnement, et de la tension de polarisation CC appliquée.

La capacitance se calcule à l'aide de la formule (tirée du Rapport d'application TI, [SLTA055](#))

$$C_{min} = \frac{I_{out} \times dc \times (1 - dc) \times 1000}{f_{SW} \times V_{P(max)}}$$

Où C_{MIN} = capacitance minimale requise

I_{OUT} = courant de sortie

dc = rapport cyclique (généralement calculé comme suit $dc = \frac{V_{out}}{V_{in} \times Eff}$)

f_{sw} = fréquence de découpage

$V_{P(max)}$ = tension d'ondulation crête-crête

Supposons par exemple un régulateur avec une entrée 12V, une sortie 5V 2A, un rendement de 85%, une fréquence de découpage de 400 kHz, et une tension d'ondulation admissible en entrée de 65 mV :

$$C_{in} = \frac{0.980 * (1-dc) * 1000}{400 * 65} = 19,22 \mu F$$

Notez que le composant choisi doit fournir cette capacitance à la fréquence de fonctionnement du régulateur, soit 400 kHz.

La valeur efficace de la tension d'ondulation crête-crête se calcule à partir de l'équation :

$$V_{rms} = V_{pp} * \frac{1}{2*\sqrt{2}}$$

Le courant d'ondulation dans le condensateur peut ensuite se calculer en appliquant la loi d'Ohm, si la valeur de la résistance ESR du condensateur est connue.

Précautions à suivre

A ce stade, il faut tenir compte de la variabilité des propriétés du condensateur, en fonction de ses conditions opérationnelles. La plupart des ingénieurs comprennent les problèmes de stabilité en température des diélectriques de classe II/III. Moins nombreux sont ceux qui comprennent à quel point la fréquence de fonctionnement et la tension appliquée peuvent réduire la capacitance.

Rappelez-vous que les 19.22 μF , calculés précédemment, correspondent à la capacitance requise à la fréquence de fonctionnement du régulateur de 400 kHz. Il faut aussi connaître la résistance ESR à cette fréquence, pour calculer le courant d'ondulation.

Si l'on sélectionne un condensateur de capacité nominale 22 μF et tension nominale 16V, sachant que c'est la valeur standard la plus proche au-dessus de 19,22 μF , la capacitance réelle de ce composant est de 5,951 μF à 400 kHz, comme illustré en Figure 1, et sa résistance ESR est de 3,328 m Ω . Les valeurs de tension et de courant d'ondulation correspondantes obtenues par calcul sont : 210 mV_{crête-crête}, 74,23 mV_{eff}, et 22,3A respectivement. Ces valeurs sont nettement supérieures à la tension d'ondulation cible et au courant d'ondulation maximal admissible par le condensateur.

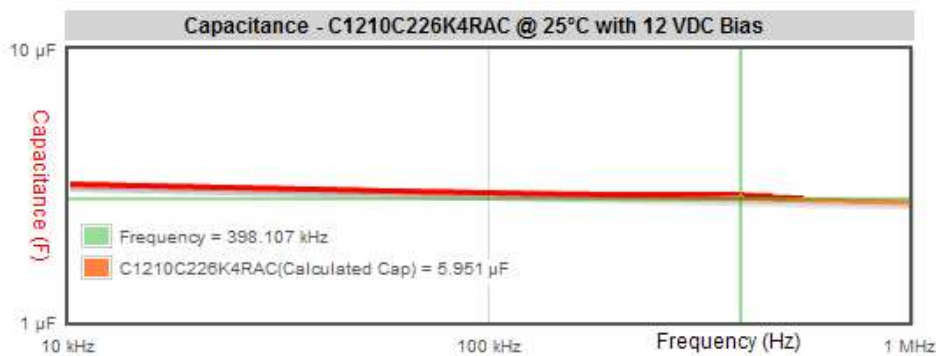


Figure 1. Chute de capacitance en fonction de la fréquence.

Intérêt de la simulation

Chaque fabricant de composants Classe II préconise de simuler le comportement du composant en fonction de la tension, de la température et de la fréquence. Le simulateur en ligne de paramètres électriques K-SIM de KEMET (ksim.kemet.com) permet aux ingénieurs d'évaluer la performance de condensateurs dans différentes conditions de fonctionnement. Il est disponible dans le KEMET Engineering Center (Centre d'ingénierie KEMET), à côté du calculateur de tension d'ondulation évoqué précédemment et d'autres outils et informations techniques incluant des notes techniques et des guides d'application.

En utilisant K-SIM, les ingénieurs peuvent analyser rapidement un ou plusieurs condensateurs susceptibles de convenir à l'application sur laquelle ils travaillent. Parmi ses différentes fonctionnalités, K-SIM peut afficher l'impédance et la résistance ESR, la capacitance et la tension en fonction de la fréquence de fonctionnement, et aussi prédire l'augmentation de la température en fonction du courant d'ondulation et de la fréquence. Un curseur à l'écran permet d'assurer une mesure précise. K-Sim permet également d'évaluer les paramètres S du condensateur, et aussi d'obtenir les modèles SPICE et les fichiers STEP pour les composants concernés.

A l'aide de cet outil, on a pu identifier un condensateur X5R 47 µF, avec la même taille de boîtier et la même tension nominale que le dispositif 22 µF 16V précédemment sélectionné. La valeur de capacitance est de 19.9 µF à 400 kHz avec le biais CC appliqué, et limite ainsi la tension d'ondulation crête-crête à 63 mV. Donc $V_{\text{eff}} = 22,27 \text{ mV}$. La résistance ESR de ce condensateur est de 3,246 mΩ à 400 kHz, ce qui suggère un courant d'ondulation de 6,86A, ce qui est inférieur au maximum pour ce composant.

Conclusion

Le courant d'ondulation peut s'avérer difficile à analyser et à prévoir avec précision dans les conditions de fonctionnement prévues. Si rien n'est fait, l'échauffement causé par les courants ondulatoires peut avoir un impact négatif sur la durée de vie du condensateur. Néanmoins, il est essentiel de bien évaluer la tension et le courant d'ondulation, pour garantir qu'un circuit de

puissance, comme un régulateur à découpage, fournira bien les performances requises pendant toute sa durée de vie prévue. Les outils et informations en ligne fournissent une aide précieuse pour calculer la capacitance nécessaire et accélérer le choix des composants.