Comment spécifier le dissipateur thermique optimal pour votre conception

Aaron Yarnell, Senior Product Manager, CUI Inc

Des températures excessives peuvent réduire considérablement la durée de vie des composants électroniques. Il est bien connu que pour chaque augmentation de 10°C de la température de fonctionnement, la durée de vie d'un circuit intégré diminue d'environ 50%. Alors que les densités de puissance des systèmes continuent d'augmenter et que des applications sophistiquées de l'électronique de puissance continuent de proliférer dans des équipements tels que les centres de données, les véhicules électriques, les systèmes d'éclairage, la robotique industrielle et plus encore, la gestion thermique devient un défi de plus en plus critique.

Cependant, quand on cherche à refroidir les composants, il est souvent tentant de «surdimensionner l'ingénierie», ce qui aboutit à une solution excessivement volumineuse ou coûteuse, voire les deux. Par exemple, si le dispositif principal de refroidissement doit être un dissipateur thermique, l'idée est de choisir un composant présentant une impédance thermique optimale (conditionnée par des facteurs tels que la taille, la forme et le type de la surface) afin de maintenir le dispositif en dessous de sa température de fonctionnement nominale.

Sélection d'un dissipateur thermique: un guide pas-à-pas

Dans le cas d'un problème simple de gestion thermique, comme spécifier un dissipateur thermique pour un petit composant tel qu'un MOSFET de puissance embarqué dans un boîtier TO-220 standard, il est tout d'abord nécessaire de quantifier la puissance dissipée par le composant. Supposons que la puissance totale perdue dans le transistor en raison de la commutation et la conduction est de 2,7 Watts. Si la somme des impédances thermiques entre la jonction du transistor et l'air ambiant est suffisamment élevée pour empêcher que cette quantité d'énergie ne soit dissipée sous forme de chaleur, un fonctionnement en continu provoquera une augmentation de la température de la jonction qui finira par dépasser la température maximale autorisée du composant. Pour les transistors au silicium, cette température est généralement de 125°C.

Un dissipateur thermique est-il nécessaire?

Pour le savoir, on peut tout d'abord vérifier si le MOSFET peut fonctionner sans dissipateur thermique en se référant à l'impédance thermique «*junction-to-ambient*» ($R_{\theta J-A}$) qui est indiquée dans la fiche technique du composant. Elle est exprimée avec comme unités °C/W et quantifie l'augmentation de la température de jonction au-dessus de la température ambiante pour chaque watt dissipé.

Une valeur représentative pour la $R_{\theta J-A}$ d'un MOSFET dans un boîtier TO-220 est 62°C/W. Ainsi, dans notre exemple, avec un composant dissipant 2,78 watts, la température de jonction augmentera de 172°C, soit 2,78 W x 62 °C/W. Si la température ambiante est de 50°C, cela signifie que la température de jonction atteindra 222°C. Comme cela dépasse le maximum autorisé pour le composant, nous pouvons en déduire qu'un dissipateur thermique sera nécessaire. L'effet recherché est de réduire suffisamment l'impédance thermique entre la jonction et l'air ambiant pour éviter que la température de jonction ne dépasse le maximum indiqué par le fabricant.

Calculs d'impédance thermique

Comme illustré à la figure 1, un dissipateur thermique est fixé à un boîtier TO-220, avec une couche la plus fine possible d'un matériau d'interface thermique (*Thermal Interface Material*, TIM), qui est nécessaire pour éliminer l'air qui serait autrement emprisonné entre le boîtier et le dissipateur thermique en raison des imperfections du lissage et de la coplanarité des surfaces accouplées.

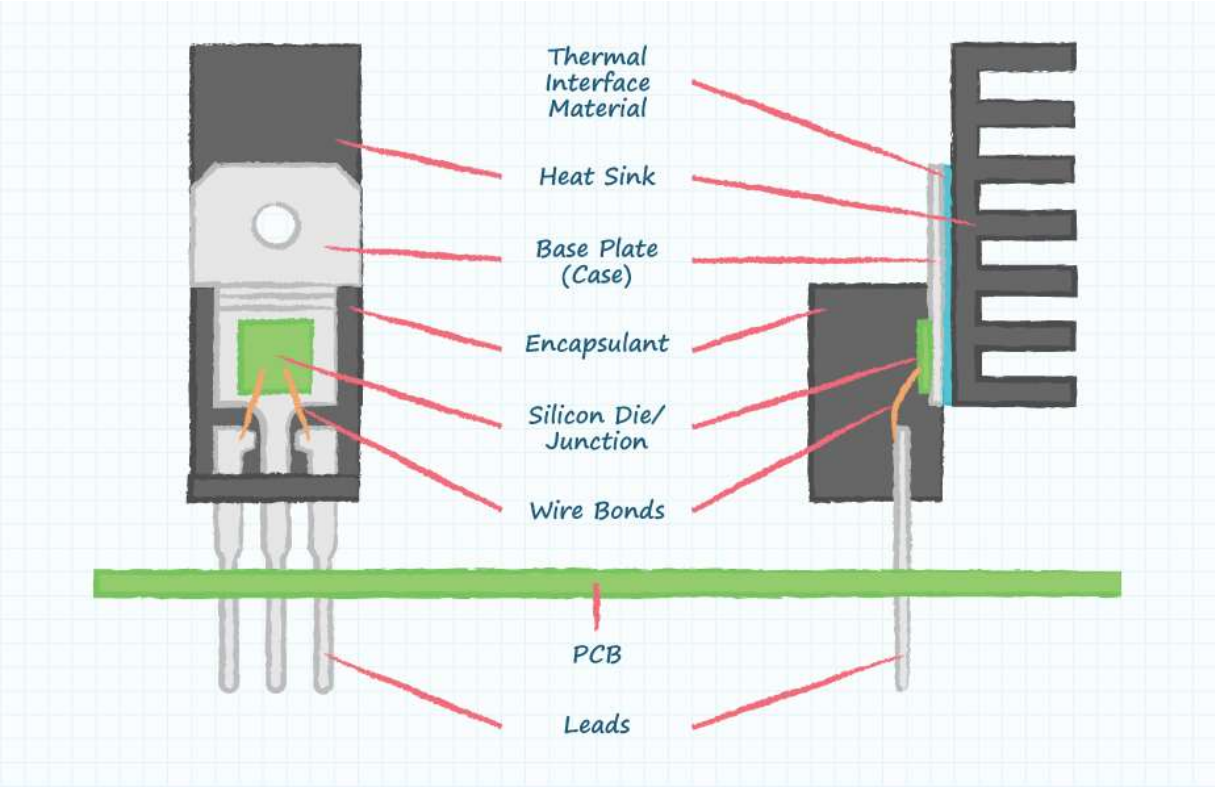


Figure 1. Boîtier TO-220 typique avec dissipateur thermique.

La prochaine étape consistera à déterminer l'impédance thermique maximale admissible de l'ensemble du système, pour un fonctionnement sûr et fiable. Tout d'abord, nous devons calculer l'augmentation maximale admissible de la température de jonction. Si la température maximale admissible est de 125°C et que la température ambiante est dans le pire des cas de 50°C, l'augmentation de température ne peut pas dépasser 75°C.

Ensuite, connaissant cette valeur et la puissance dissipée par le composant, qui est de 2,78 W, nous pouvons calculer l'impédance thermique maximale de l'ensemble du système, comprenant le boîtier MOSFET, le dissipateur thermique et le matériau d'interface thermique (TIM), avec l'opération 75°C / 2,78 W, ce qui donne 27 °C/W.

Nous pouvons modéliser ce réseau d'éléments sous la forme d'un ensemble d'impédances thermiques en série (figure 2).

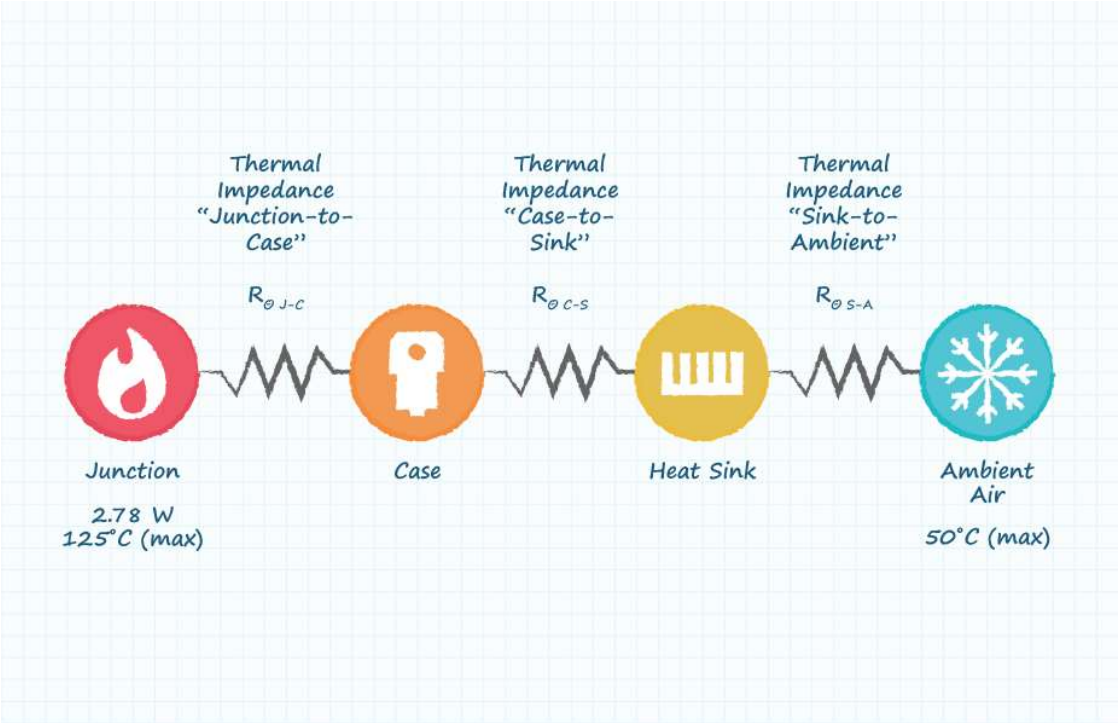


Figure 2. Les impédances thermiques individuelles entre la jonction et l'air ambiant s'additionnent et le résultat est comparé à la valeur maximale autorisée calculée.

Prise en compte des matériaux d'interface thermique

La caractérisation du TIM en tant que matériau est définie par sa conductivité thermique, en unités de Watts par mètres - degrés Celsius (W / (m °C)) ou en watts par mètres - Kelvin (W / (m K)). L'impédance thermique dépend de l'application, et en particulier de l'épaisseur et de la surface de la couche. Supposons ce qui suit pour notre exemple:

Conductivité thermique du TIM («K»): 0,79 W / (m °C) = 0,79 W / (m K)

Surface du TIM: 112 mm2 = 0,000112 m^2

Épaisseur du TIM: 0,04 mm = 0,00004 m

L'impédance thermique peut alors être calculée:

$R_{\theta C-S}$ = (épaisseur / surface) x (1 / conductivité)

$R_{\theta C-S}$ = (0,00004 / 0,000112) x (1 / 0,79)

$R_{\theta C-S}$ = 0,45 °C / W ou 0,45 K / W

Nous avions précédemment calculé que l'impédance thermique maximale autorisée entre la jonction et l'air ambiant était de 27 °C / W. Maintenant que les impédances jonction-à-boîtier (généralement

indiquées dans la fiche technique du fournisseur, 0,5 °C / W dans cet exemple) et boîtier-à-dissipateur sont connues, elles peuvent être déduites de ce total, ce qui nous donne l'impédance thermique maximale autorisée par un dissipateur thermique approprié. Ainsi, la formule 27 °C / W - 0,5 °C / W - 0,45 °C / W donne une valeur de 26,05 °C / W.

Derniers calculs pour spécifier le dissipateur thermique optimal

L'impédance finale de la chaîne, du dissipateur thermique à l'air ambiant, dépend de la capacité du radiateur à transférer la chaleur de la surface en contact avec le composant vers l'air ambiant. Bien entendu, le dissipateur thermique est conçu pour maximiser la dissipation, avec une grande surface plane à placer contre le composant. Une grande densité d'ailettes, avec souvent un fini mat, optimise la surface de dissipateur thermique en contact avec l'air ambiant. Les dissipateurs thermiques pour les blocs de puissance à languettes tels que le TO-220 sont généralement vissés ou clipsés sur le composant afin d'assurer un contact fiable et resserré.

Les fournisseurs de dissipateurs thermiques tels que CUI proposent généralement des graphiques (figure 3) ou des tableaux de données pour aider les concepteurs à quantifier le transfert de chaleur du dissipateur thermique à l'air ambiant dans diverses conditions de ventilation et de charges.

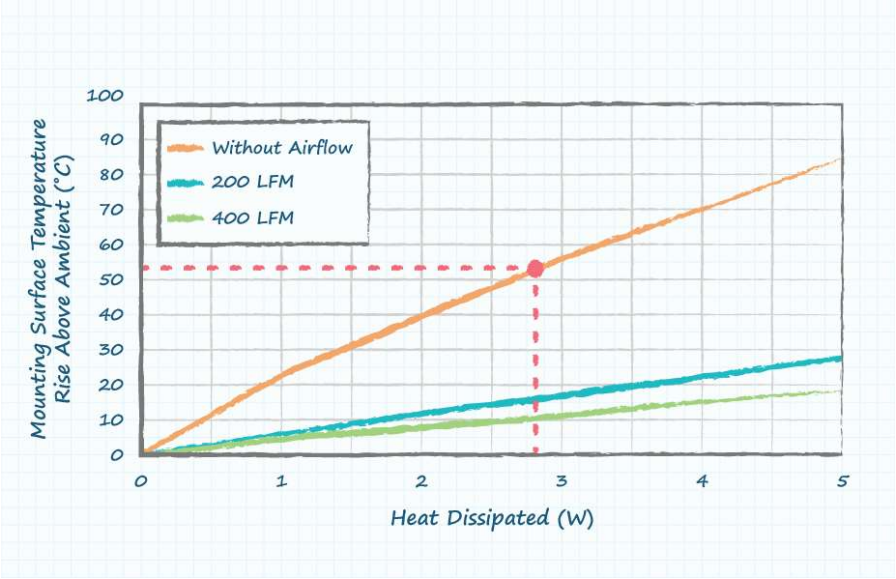


Figure 3. Les informations de la fiche technique du dissipateur thermique indiquent l'augmentation typique de la température de la surface de montage du dissipateur thermique au-dessus de la température ambiante

Supposons que l'application fonctionne sans circulation d'air, en utilisant uniquement la convection naturelle. Le graphique peut être utilisé pour trouver l'impédance thermique finale (dissipateur vers température ambiante) pour ce dissipateur thermique particulier. D'après le graphique, lorsque la chaleur dissipée est de 2,78 W, l'augmentation de la température de surface au-dessus de la température ambiante est de 53 °C. L'impédance thermique dissipateur-température ambiante peut alors être calculée à 19,1 °C / W en divisant 53 °C par 2,78 W.

Ceci est confortablement inférieur aux 26,05 °C / W calculés précédemment, ce qui indique que la température de la jonction sera en dessous de la limite maximale avec une certaine marge. On peut estimer la température de fonctionnement de la jonction avec ce dissipateur thermique en place, en ajoutant l'impédance thermique de la pièce choisie aux valeurs obtenues pour les impédances jonction-à-boîtier et boîtier-à-dissipateur, puis en multipliant par la puissance dissipée pour obtenir l'augmentation de température. En ajoutant ce chiffre à la température ambiante la plus défavorable supposée pour l'application (50 °C), on obtient la température de jonction estimée:

Température de jonction estimée: = $T_{Ambient}$ + Watts x ($R_{\theta J-C}$ + $R_{\theta C-S}$ + $R_{\theta S-A}$)

Température de jonction estimée: = 50 + 2,78 x (0,5 + 0,45 + 19,1)

Température de jonction estimée: = 105,7 °C

Cette température est bien inférieure à la température de jonction maximale admissible, ce qui indique que le dissipateur thermique sélectionné est suffisant pour empêcher la surchauffe du MOSFET.

Ressources complémentaires

Consultez d'autres ressources utiles sur la gestion thermique de CUI et apprenez-en davantage sur leur gamme de dissipateurs thermiques.

Lisez d'autres guides pratiques sur la gestion thermique, l'alimentation, l'interconnexion, l'audio et le contrôle du mouvement dans le blog *Tech Insights* de CUI.

Ends