

De l'importance d'un suivi précis de température pour les puces-systèmes SoC

La chaleur produite par les appareils architecturés autour de puces-systèmes (SoC, System-on-Chip) multicœurs avancées et programmables s'avère un problème majeur dans la conception d'équipements électroniques. Malgré l'abaissement à moins de 1 V de la tension requise par ces circuits, ils affichent encore des pics de courant élevés lorsque leurs processeurs fonctionnent à plein régime. Farnell décrit ici une voie pour maîtriser ce problème.

La dissipation d'énergie peut fortement varier sur une même puce-système lorsque plusieurs cœurs sont actifs, au gré de l'évolution de la demande de calcul. La puce peut ainsi passer d'un état relativement « frais » à un état chaud, voire très chaud, en l'espace de quelques secondes à mesure que la charge logicielle augmente. En cas de fonctionnement prolongé à un courant de crête, la température de la puce est parfois telle qu'elle peut entraîner une coupure d'origine thermique ou affecter les performances et la fiabilité des composants adjacents (photo).

La surveillance de la température des puces est donc essentielle pour éviter les problèmes liés à la chaleur, c'est-à-dire l'augmentation de la vitesse des ventilateurs (donc de la consommation d'un système) ou l'abaissement de la vitesse d'horloge (donc de la performance du système) afin de refroidir un composant en surchauffe. La précision du suivi de la température est notamment primordiale dans les systèmes dotés de circuits SoC avancés et/ou de FPGA calibrés pour gérer des calculs complexes. A ce niveau, les sondes de

AUTEUR



Kim Majkowski,
Global Product
Manager,
Power
Management
IC, Farnell.

température insérées dans la puce représentent le moyen le plus fiable pour déterminer les conditions thermiques à proximité de cœurs de processeurs sensibles.

Les capteurs de température dans la puce

Les capteurs de température intégrés à la puce exploitent l'une des propriétés des jonctions p-n à semi-conducteurs. Dans une zone donnée, la tension présente dans l'une des jonctions p-n affiche une valeur caractéristique variable selon l'intensité du courant et la température. La sensibilité thermique provient ici de la présence de porteurs thermiques dans le semi-conducteur. Lorsque le courant est constant, les variations de tension sont imputables

à des changements thermiques. Dans les semi-conducteurs, la chute de la tension d'une jonction et celle de la température coïncident. En revanche, si deux niveaux d'intensité différents sont appliqués successivement, en effectuant chaque fois une mesure de l'écart de tension, une faible différence de tension apparaît entre les deux relevés. Une hausse de la température absolue engendre alors un écart accru, selon une relation quasi linéaire, ce qui constitue une base solide pour les capteurs de température de semi-conducteurs.

Des jonctions p-n adéquates sont facilement mises en œuvre sur les processus CMOS actuels utilisés dans la création de SoC complexes. La sonde thermique est alors généralement un transistor bipolaire dont la

- La dissipation d'énergie peut fortement varier sur une puce-système en fonctionnement qui peut en l'espace de quelques secondes passer d'un état relativement frais à un état chaud, voire très chaud, entraînant une coupure d'origine thermique tout en affectant la fiabilité des composants adjacents.



jonction base-émetteur forme la diode nécessaire avec un « collecteur » relié à la masse du circuit.

De la nécessité d'une gestion thermique au niveau système

Cependant, malgré la capacité de nombreux composants, notamment les FPGA, à suivre leur propre température interne, il faut souvent résoudre des problèmes thermiques au-delà, au niveau système. Ici c'est la régulation de la vitesse des ventilateurs de boîtier qui est opérante puisqu'elle affecte le rafraîchissement de tous les composants du système. Il faut donc assurer un contrôle au niveau système, tout en surveillant à distance la température des puces de plusieurs appareils.

La conception d'un capteur de température complet sur un circuit SoC est théoriquement simple pour chaque zone exigeant une surveillance thermique. La prise de mesure consiste à placer la sonde près des zones du circuit à tester qui sont ensuite commutées entre deux sources de courant d'amplitude différente. Les deux mesures de tension qui résultent de la source de courant sont ensuite communiquées à un convertisseur analogique-numérique (CAN) et sa logique associée qui calcule la température estimée (figure 1) Un grand nombre d'ingénieurs système optent en réalité pour des capteurs de température à distance en raison de leur fiabilité et de leur précision plus élevées. Dans le cas d'une mise en œuvre complète sur une puce SoC, l'application de deux sources de courant par sonde thermique impose en effet au fabricant de faire correspondre exactement les circuits, ce qui s'avère difficile dans les processus de fabrication. En formant les sources de courant sur une puce avec un signal mixte de précision, on peut obtenir des mesures bien plus fiables. Par ailleurs, cette approche nécessite moins de broches sur le SoC, car les raccordements s'opèrent non pas sur deux, mais sur un seul transistor par zone surveillée.

Les capteurs de température à distance offrent aussi l'avantage de permettre le contrôle de plusieurs zones avec un seul circuit intégré et le déclenchement automatique d'alarmes. Un simple capteur à distance, comme le MAX6642 mis au

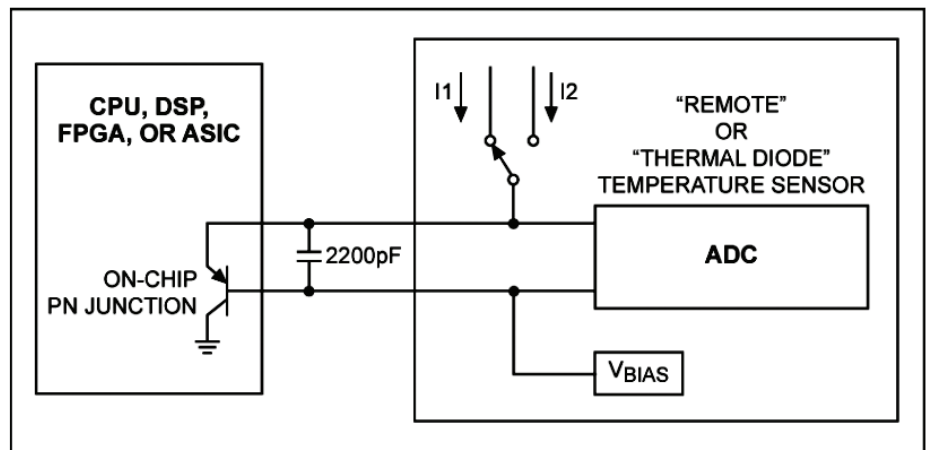
point par Maxim Integrated, peut surveiller deux températures : la sienne et celle d'un SoC ou d'un FPGA proche. D'autres capteurs à distance peuvent contrôler au moins trois températures externes. Le circuit MAX31730, par exemple, peut surveiller sa propre température et celles issues de trois sondes externes. Si la température d'une entrée quelconque dépasse un seuil programmable, l'appareil affiche alors un état et enregistre la température de la voie la plus chaude dans un registre spécial. Le MAX31730 relaie alors cette information à un contrôleur système à l'aide du bus de données SMBus.

Pour surveiller davantage d'entrées, le concepteur peut ensuite opter pour un

les ingénieurs doivent tout de même tenir compte de l'existence de sources d'erreurs et d'imprécisions. Car aucun circuit n'est épargné par une certaine résistance parasite en série. Cette dernière influe sur la température fournie par l'appareil en l'absence de compensation. Prenons le cas où le premier courant polarisé choisi est de 100 µA et le second de 10 µA. L'écart de tension entre les deux valeurs est proportionnel au logarithme naturel du courant du premier divisé par le second. La valeur absolue représente la valeur logarithmique multipliée par un facteur d'idéalité, généralement proche de 1. Si la résistance en série est égale à 1 Ω, la chute de tension de la

1 DISPOSITIF DE MESURE DE TEMPÉRATURE D'UN CIRCUIT

La prise de mesure de température complète sur un circuit SoC consiste à placer la sonde près des circuits à tester qui sont ensuite commutés entre deux sources de courant de magnitude différente. Les deux mesures de tension qui résultent de la source de courant sont ensuite communiquées à un convertisseur analogique-numérique (CAN) qui calcule la température estimée.



système plus complet comme le circuit MAX6681 qui possède sept entrées pour des diodes à distance. Il peut aussi servir à contrôler la température de deux réseaux de portes programmables avec des diodes thermiques intégrées, quatre zones sensibles du circuit avec des transistors discrets raccordés par une diode, ainsi que la température du circuit imprimé à l'emplacement du MAX6681. L'autre solution consiste à mettre en place jusqu'à huit circuits MAX31730 en tant qu'esclaves sur le SMBus.

Un impératif: la garantie de la précision lors du contrôle de température

Malgré les avantages de la démarche par capteur de température à distance dans la conception système,

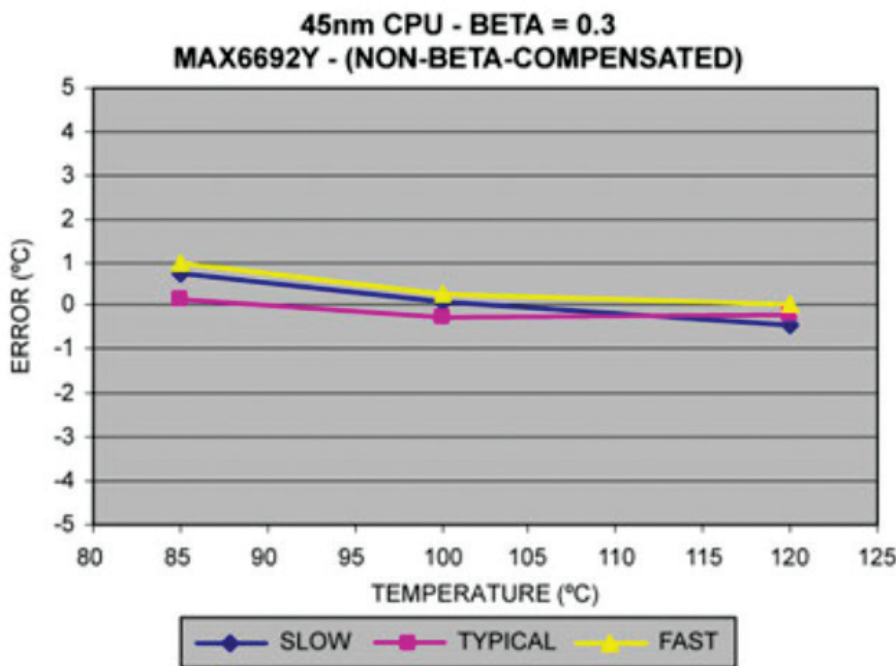
source de courant supérieure est de 100 µV, et de 10 µV pour la seconde. Par conséquent, la variation de température mesurée qui en résulte est de 0,45°C.

Si la résistance en série est connue (elle peut souvent être calculée à partir des résistances résiduelles types du circuit imprimé), il est possible de corriger la variation de température. Certains capteurs comme le circuit MAX31730 de Maxim possèdent cette fonction d'annulation automatique de la résistance qui rend inutile la compensation de cette source d'erreurs parasites.

Dans la pratique, le facteur d'idéalité est souvent proche de 1,01. Toutefois, sa valeur exacte dépend du processus et de la conception du transistor qui peuvent induire des erreurs.

2 RÉSULTATS DE TESTS DE TEMPÉRATURE

Au cours de tests menés sur trois échantillons d'un microprocesseur fondé sur un processus 45 nm qui affiche un facteur bêta d'environ 0,3 pour les transistors bipolaires, l'erreur était inférieure à $\pm 1^\circ\text{C}$. Toutefois, lorsqu'un bêta faible est susceptible d'induire des erreurs plus importantes, des capteurs à distance avec compensation du bêta, comme les circuits MAX31730, MAX6693 et MAX6581 de Maxim, peuvent être appliqués.



En fait, la plupart des capteurs à distance sont adaptés à un facteur d'idéalité donné. Maxim possède par exemple des capteurs ajustés spécifiquement pour un facteur d'environ 1,008 généralement associé à des processus avancés, comme ceux des FPGA et des SoC sophistiqués. Si le facteur d'idéalité est différent, il est relativement simple d'appliquer une correction dans le firmware du contrôleur système.

Des erreurs peuvent aussi provenir des transistors à sonde thermique eux-mêmes qui pâtissent d'un faible gain en courant. Si le gain en courant du transistor est très bas, le rapport du courant collecté peut ne pas correspondre au rapport des courants émetteurs, ce qui peut fausser le relevé de température. Une variation de 10% du rapport du courant collecté peut se traduire par une différence d'environ 12°C de la tempéra-

ture constatée. Ce qui constitue un problème pour certains circuits de capteur de température à distance qui utilisent des transistors à gain en courant élevé. Mais les transistors SoC reposent sur des processus optimisés pour MOS et non pour les transistors bipolaires, et ne peuvent donc pas assurer un gain élevé pour ces circuits. Si des transistors de ce type sont utilisés, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser un circuit imprimé de capteur à distance avec compensation du facteur bêta.

Si ce dernier est assez uniforme sur la plage attendue des courants et des températures, l'effet peut être suffisamment mineur pour être ignoré. Au cours de tests menés sur trois échantillons d'un microprocesseur fondé sur un processus 45 nm qui affiche un facteur bêta d'environ 0,3 pour les transistors bipolaires, l'erreur était inférieure à $\pm 1^\circ\text{C}$. Toutefois, lorsqu'un facteur bêta faible est susceptible d'induire des erreurs plus importantes, des capteurs à distance avec compensation du facteur bêta, comme les circuits MAX31730, MAX6693 et MAX6581 de Maxim, peuvent être appliqués (figure 2).

Grâce aux circuits de Maxim réglés pour diverses situations dans les mesures de température à distance, les concepteurs système peuvent ainsi veiller à mettre en place des contrôles thermiques qui réagissent fidèlement aux évolutions en température de leurs conceptions. Il en découle une fiabilité renforcée, une meilleure longévité des produits et une réduction des coupures thermiques. ■



La force d'un média numérique intégré

Site Internet + Newsletter + eMagazine

ACCÈS ILLIMITÉ

1 an 120€ HT*

6 mois 60€ HT*

*TVA applicable : 20%

Abonnez-vous ici !