Les architectures des amplificateurs Op de précision

Les amplificateurs opérationnels de précision ne sont pas tous égaux :

Kevin Tretter, ingénieur Marketing Produits, de la Division Produits Analogiques & Interface chez Microchip Technology Inc. évalue les avantages des différentes architectures d'amplis op de précision

Bien que la présence d'amplificateurs opérationnels (amplis op) de très haute précision permette de se passer d'un système de calibration, aussi bien durant la fabrication que sur le terrain, les concepteurs doivent toujours réfléchir au choix de l'architecture à faible décalage (low-offset) qui sera la mieux adaptée à leur application. Choisir le bon ampli op oblige à connaître les avantages et les inconvénients de chaque type d'architecture. Cet article souligne le pour et le contre des amplis op basés sur le réglage d'EPROM, avec ajustage laser, à zéro automatique et à calibration intégré.

Un ampli op de précision met en œuvre typiquement une forme de correction de tension de décalage en entrée. Cette tension de décalage en entrée correspond à la différence de tension entre les entrées inverseuses et non-inverseuses d'un amplificateur, qui peut varier du microvolt aux millivolts. La valeur de ce décalage dépend largement de la façon où les transistors d'entrée de l'amplificateur sont appariés.

En plus de la tension de décalage initial en entrée, d'autres conditions peuvent aussi affecter le comportement de la tension : les changements de la tension en mode commun, la tension en fonctionnement, la température et même le temps. Suivant l'application, ces conditions externes infléchissent le choix de l'architecture de l'amplificateur qui sera la meilleure pour chaque conception.

Réglage par EPROM

Certains amplificateurs opérationnels de précision utilisent des EPROM à fusibles non-volatiles pour corriger la tension de décalage en entrée. Dans de nombreux cas, celle-ci est appliquée durant l'étape finale de test, mais c'est une méthode très coûteuse pour réaliser un amplificateur avec une tension de décalage faible. Comme l'amplificateur peut être réglé en post-assemblage, tout décalage durant l'assemblage peut être corrigé. Les autres avantages de cette architecture est que l'amplificateur est ajusté par le fabricant et n'exige pas de réglage de la part de l'utilisateur. En contrepartie, cependant, les EPROM à fusibles occupent plus d'espace sur la puce. De ce fait, les circuits avec réglage par EPROM sont incompatibles avec des boîtiers ultra-miniatures. En outre, comme pour un amplificateur à usage général, cette architecture est sensible aux conditions environnementales telles que la température, ainsi qu'aux changements de tension en fonctionnement ou en mode commun.

Ajustage Laser

Une autre méthode souvent employée pour accroître la précision d'un amplificateur opérationnel se base sur l'ajustage laser. Ce procédé implique l'usage d'un laser pour ajuster la résistance des résistances en couches fines sur tranche de silicium. La précision de cette approche peut être relativement élevée sur un procédé de réglage en continu, plutôt qu'avec le réglage EPROM qui fonctionne par série de petites étapes discrètes. Autre avantage des résistances à couches minces : elles sont par nature très stables en température, renforçant ainsi l'exactitude globale de l'amplificateur sur une large plage de température.

L'ajustage laser, cependant, doit être mis en œuvre au niveau de la tranche de silicium et ne peut pas être réalisé avec un circuit encapsulé. Le processus de débitage d'une tranche en puces individuelles, d'encapsulation dans un boîtier et la liaison de ladite puce aux broches peuvent causer un stress mécanique qui peut avoir un effet négatif sur la précision globale du circuit. Ces changements lors de l'assemblage ne peuvent plus être modifiés sur les amplificateurs réglés par laser, d'où une augmentation des erreurs d'amplificateur.

Comme pour EPROM à fusibles non-volatiles, le réglage laser est effectué une seule fois lors de la fabrication du circuit, et il est impossible de refaire un ré-ajustement par la suite. Les changements des conditions de fonctionnement, tels que la température et la tension de fonctionnement, affectent grandement la précision de l'amplificateur et peuvent directement nuire à la performance de conception en général.

Amplificateurs à zéro automatique

L'architecture à zéro automatique (auto-zéro) est une architecture auto-correctrice permanente qui utilise un amplificateur nul pour corriger la tension de décalage sur l'ampli principal. Cette architecture permet une erreur de décalage très faible qui peut être 100 fois meilleures que celle d'un ampli ajusté par EPROM. Elle permet aussi une dérive faible de la tension et élimine le bruit 1/f d'où une meilleure réjection de l'alimentation et et de mode commun. De plus, cette architecture d'auto correction permanente de la tension de décalage en entrée est intrinsèquement insensible à son environnement. Les changements de température ou le vieillissement, ainsi que les changements dans le fonctionnement ou dans la tension en mode commun ont très peu d'effet sur la précision d'un amplificateur auto-zéro. Etant donné que le circuit auto-correcteur est intégré sur la puce, aucune intervention de l'utilisateur n'est exigée. Dans une perspective au niveau du système, un ampli OP auto-zéro, tel que le MCP6V0 (voir

dans la Figure 1) ressemble et fonctionne comme un amplificateur opérationnel standard, mais avec des avantages supplémentaires en performance exceptionnelle.

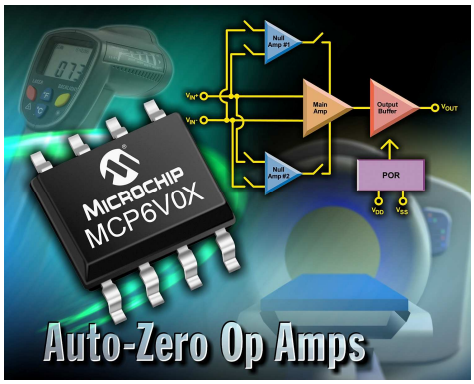


Figure 1: L'ampli OP MCP6V0X avec une architecture auto-zéro

Malgré tous ces atouts, l'architecture auto-zéro auto correctrice a quelques limitations. La commutation en continu du circuit de correction interne produit des bruits de commutation et engendre également une intensité de repos très élevée dans une bande passante donnée. Au final, à cause de la précision ultra élevée de ce type de circuit, le temps de test peut être relativement long, d'où un circuit plus cher à fabriquer.

La calibration intégré

Une autre alternative utilise un amplificateur opérationnel de haute précision avec un circuit de calibration intégré. La technologie de calibration mCal, de Microchip, permet à des amplis op de réaliser une tension initiale de décalage très basse identique aux autres architectures mais, à la différence du réglage EPROM ou laser, la calibration est active à la mise sous tension, ou via une broche de calibration externe. Cela permet de recalibrer l'amplificateur autant de fois que nécessaire.

La recalibration fréquente permet de rendre la précision d'un amplificateur insensible à son environnement. Par exemple, si un utilisateur est très préoccupé par la dérive en fonction de la température, l'erreur de décalage peut être minimisée par la recalibration du circuit à chaque fois que la température varie de cinq degrés. La réduction de décalage est conséquente mais cette méthode exige que l'utilisateur initie une routine de calibration en affectant une broche de calibration à l'amplificateur.

Conclusion

La plupart des applications peuvent bénéficier d'un amplificateur opérationnel de très haute précision, mais pour choisir le bon amplificateur, le concepteur doit comprendre la force et les faiblesses de chacune des architectures utilisées pour atteindre un faible décalage. Alors que toutes les architectures décrites ci-dessus réalisent une tension de décalage basse, les conditions environnementales peuvent influencer la précision de l'amplificateur. L'utilisation d'amplificateur avec architecture auto correctrice permanente, telle que celle de l'amplificateur auto-zéro, ou celle d'un amplificateur avec une recalibration utilisant la technologie mCal, permette de minimaliser les effets défavorables des conditions externes. Le Tableau 1 souligne le compromis qui doit être pris en compte pour évaluer quelle architecture d'amplificateur sera la meilleure pour une application particulière.

Architecture	Avantages	Inconvénients
Réglage EPROM (NVM)	Réglage du circuit encapsulé lors du test final Réduit le temps de test	Ne prend pas en compte la dérive dans le temps ni de température
	Les dérives de la tension de décalage lors de l'assemblage peuvent être réglées	Une précision plus élevée exige plus d'EPROM à fusibles et de silicium
Réglage Laser	Précision très élevée par comparaison au réglage EPROM	Impossibilité de régler les dérives lors de l'assemblage
	Forte stabilité des résistances à couches fines en température	Ne prend pas en compte la dérive dans le temps ni de température
Auto-Zéro	Tension de décalage initial ultra-faible	Bruits de commutation générés par l'amplificateur nul interne
	Les dérives temporelle et de température ont un ordre de grandeur supérieur aux autres architectures	Intensité de repos très élevée pour une bande passante donnée
	Réjection de mode commun et d'alimentation supérieure	Architecture relativement large en termes de surface de silicium, limitations dans le choix du boîtier
	Elimine le bruit 1/f (bruit plancher constant en CC)	Du fait de sa précision ultra élevée, le temps de test est relativement long (et donc plus onéreux)

Technologie mCal (calibration intégrée)	Les dérives temporelle et de température peuvent être minimisées par une re-calibration périodique de l'amplificateur	Une calibration répétée peut entraîner un codage de réglage différent, ce qui peut causer une dérive de décalage d'une calibration à l'autre

Table 1 : les compromis des architectures des amplis op de précision