

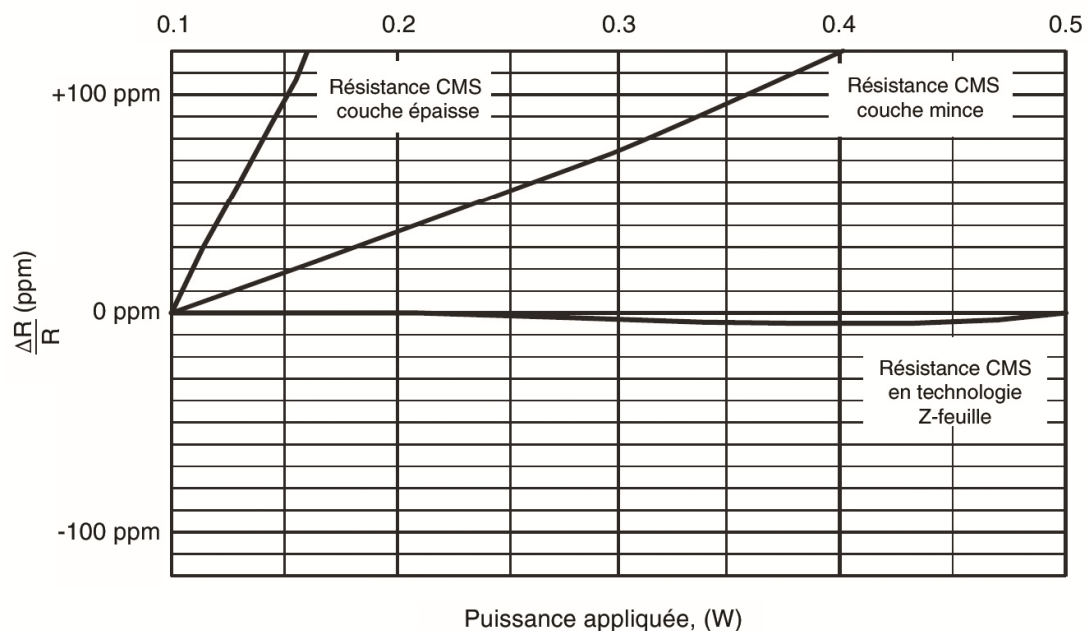
Résistance de précision pour applications d'énergie, de transport et à haute température

De Yuval Hernik, Vishay Precision Group

La stabilité d'une résistance de précision dépend principalement de sa température, celle-ci pouvant affecter la stabilité de la résistance de diverses manières. Les effets thermiques sur la stabilité ont différentes conséquences immédiates, à moyen ou long terme, certaines réversibles et d'autres non.

L'effet le plus immédiat d'une augmentation de la température peut se voir dans l'effet auto-échauffant ou coefficient de puissance de la résistance (PCR), qui montre un changement dans la résistance dès que celle-ci se réchauffe en raison de la dissipation de puissance (GRAPHIQUE 1). Le deuxième effet est un changement de la résistance à mesure que la température de son corps change en raison de modifications de température ambiante.

GRAPHIQUE 1 – COMPORTEMENT DE TROIS TECHNOLOGIES DIFFÉRENTES EN FONCTION DE LA PUISSANCE APPLIQUÉE (TEST DE COEFFICIENT DE PUISSANCE)



Note : taille 1206, valeur : 1 K

Comparaison de PCR

Ces deux modifications sont fonction du coefficient de résistance de température inhérente à la résistance (TCR), qui répond à la température du corps de la résistance. Elles sont toutes deux indépendamment et progressivement réversibles lorsque le niveau de puissance est modifié ou que la température ambiante varie.

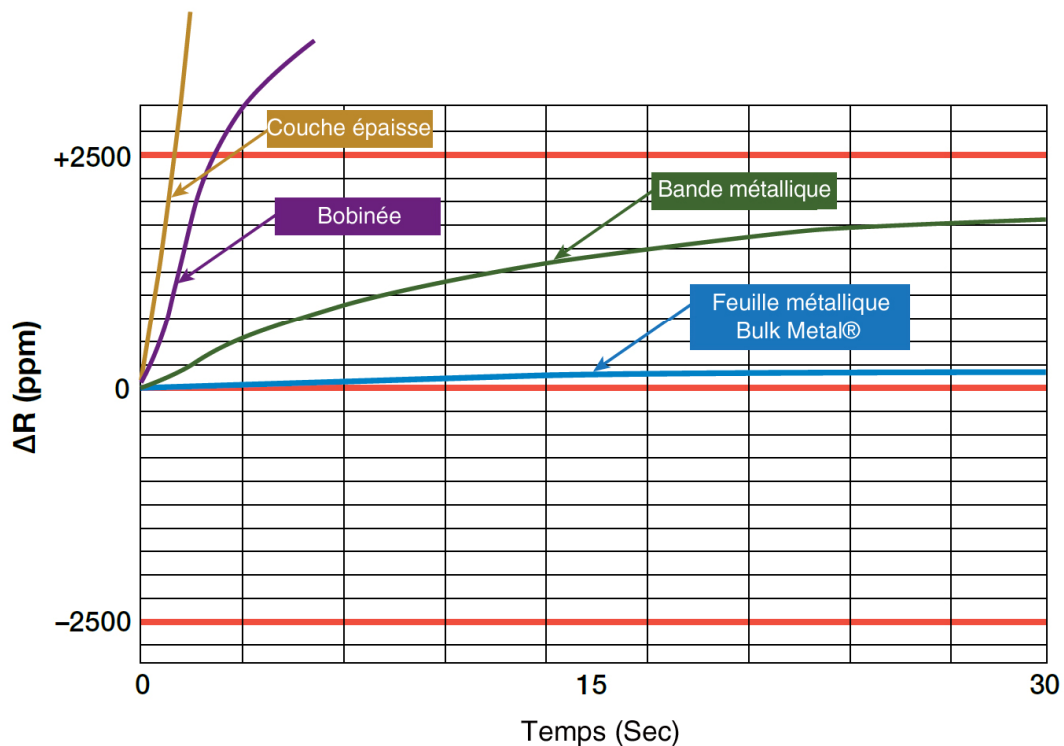
Les différences entre les effets du TCR et du PCR sont minimales ; pourtant, en ce qui concerne le TCR dans un très faible éventail ppm /°C, il est préférable de les différencier les unes des autres, afin que les ingénieurs de conception puissent être habilités à exercer autant de contrôle que possible sur la stabilité du circuit dans les applications les plus exigeantes.

La température a également un effet sur la stabilité d'opération à long terme, ou durée de vie sous charge, de la résistance. Il s'agit d'un changement permanent dans la résistance, parfois tellement important qu'il peut causer une défaillance complète de la résistance.

Dans cet article, nous nous sommes particulièrement intéressés aux effets de la température sur les résistances de *précision* et aux choix auxquels les concepteurs doivent faire face en sélectionnant les meilleures résistances de précision pour des applications d'énergie et de transport à haute température. Tandis que les technologies de résistances à couche épaisse sont largement répandues et représentent un faible coût, elles sont généralement utilisées pour des applications orientées sur les produits de base et ne sont pas considérées pour les applications de précision. Aussi comparons-nous dans cet article uniquement les technologies de résistance bobinées à couche mince et à feuille métallique, en observant comment elles ont évolué à l'égard des variations extrêmes de température et d'autres facteurs environnementaux tels que les incursions d'humidité, les chocs et vibrations, l'exposition aux basses températures, les surtensions intermittentes, les interférences électromagnétiques, les impulsions de commutation et les décharges électrostatiques.

Le degré de précision des résistances est la mesure par laquelle elles maintiennent leur valeur initiale dans l'ensemble des facteurs de tension liés à ces applications. La course des nouvelles technologies pour améliorer l'efficacité de l'industrie énergétique continue de fournir de nouvelles possibilités pour les fabricants de résistances. Sur le marché du pétrole, on trouve des résistances de précision dans des instruments sismographiques sophistiqués utilisés pour l'exploration pétrolière, les pipelines et les instruments de contrôles informatisés qui font fonctionner les raffineries de pétrole et les usines de produits chimiques dans le monde entier. Dans l'exploration pétrolière sismique, les résistances dans les circuits analogiques doivent non seulement être robustes mais également avoir une réaction rapide et une excellente stabilisation thermique pour garantir qu'aucune des impulsions n'est manquée (GRAPHIQUE 2). Elles ne doivent pas être sensibles aux changements de température et doivent s'appareiller parfaitement afin que les paramètres de gain et les rapports soient prévisibles et reproductibles dans le temps.

Graphique 2. Démonstration de la stabilisation thermique
(1 W appliqué à 50 mΩ SMD 2512)



STABILISATION THERMIQUE

Les résistances doivent également faire preuve d'un très faible bruit de courant pour ne pas « masquer » les signaux sismiques reflétés par les discontinuités dans les couches profondes de la terre où le pétrole pourrait résider. Les modules d'amplification doivent se suivre les uns les autres, étant donné qu'il peut y avoir plusieurs canaux d'entrée du signal en opération. Ainsi, la dérive de phase entre tous les amplificateurs doit être extrêmement stricte. Ces exigences et particulièrement l'appareillage du TCR doivent être appliquées à la règle si les informations collectées dans divers endroits du monde sont à comparer par la suite.

Les résistances bobinées peuvent être classées en deux catégories : « bobinées de puissance », avec haute puissance et faible précision, et « bobinées de précision », avec faible puissance et haute précision. Ici, nous ne nous intéresserons qu'à la seconde catégorie. Les bobinées de précision sont faites de fil sélectionné enroulé autour d'une bobine, modérément détendu, calibré pour la tolérance, et moulé en résine époxy ou hermétique. La bobine est divisée sur toute sa longueur afin de permettre que des sections, appelées pi-sections, soient enroulées dans des directions opposées afin de réduire l'inductance. Cependant, même les meilleures techniques de fabrication ne sont que modérément efficaces pour réduire l'inductance et les bobinées restent les résistances avec la plus haute réactance et la dérive de phase la plus élevée.

Les connexions internes des résistances bobinées sont également problématiques. La soudure n'est pas souhaitable pour les connexions entre l'élément de résistance à fil fin et les grands terminaux externes et la soudure directe du fil fin aux grands terminaux est généralement peu fiable. Aussi, le fil est-il presque toujours connecté aux terminaisons via un onglet intermédiaire en métal. Les métaux compatibles avec le processus et disponibles pour les onglets introduisent un EMF thermique à la jonction, laissant les bobinées avec un EMF thermique relativement élevé parmi les résistances de précision. L'enroulage du fil requiert une tension pour que celui-ci tienne en place, mais cela intègre des contraintes qui changent au cours de la durée de vie sous charge, ce qui entraîne également des changements de résistance à long terme. L'exposition à des températures plus élevées induit un plus grand changement de résistance au cours de la vie de l'appareil. En leur faveur, les résistances bobinées fournissent des tolérances plus strictes et une plus grande stabilité que les dispositifs de couche mince, mais leur poids et leur masse limitent leur application dans l'électronique de haute densité.

Les résistances de couches minces sont faites par la sublimation de feuille métalliques en substrats à l'aide de procédés d'évaporation ou de pulvérisation afin d'accumuler des couches de feuilles métalliques. La feuille est ensuite une agglomération de particules métalliques sans structure monolithique indépendante, mis à part le substrat. Les résistances de couches minces peuvent être faites avec une plus grande densité dans des boîtiers plus petits que les bobinées en utilisant des matériaux à résistivité plus élevée dans une géométrie plus fine. Contrairement aux bobinées, elles peuvent aussi être faites dans des réseaux de substrat plat ou dans des configurations de puce de résistance compacte. Elles ont également moins de réactance que les bobinées et sont plus appropriées pour les circuits de fréquence élevés. En général, elles sont également moins onéreuses que les bobinées.

L'avantage des bobinées sur les couches minces est leur TCR inférieur et leur meilleure stabilité à long terme. La courbe parabolique typique de TCR d'une résistance de couche mince peut parfois tourner pour être plus horizontale sur les plages de température chaude de plus de 25°C, mais l'effet négatif simultané est une aggravation du TCR dans les plages de température au-dessous de 25°C. Les résistances de couche mince ont un bruit de courant plus élevé que les résistances bobinées et présentent beaucoup plus de dérives avec des températures élevées que les autres technologies de résistances de précision, aussi bien au niveau du TCR que de la stabilité à long terme.

Dans le passé, les ingénieurs de développement de résistances ont tenté d'améliorer leurs performances en réduisant les contraintes internes dans les composants. Par exemple, dans les résistances bobinées de précision, ils ont essayé plusieurs méthodes d'embobinage avec suffisamment de tension pour tenir le fil en place afin de réduire ensuite les tensions sur le fil, une fois que celui-ci a formé une bobine. Ceci était déjà assez difficile à accomplir au moment de la fabrication, mais le processus ne pouvait empêcher les contraintes de modifier la valeur de la résistance après avoir été cyclée et chauffée dans les applications réelles du circuit.

Les résistances de couches minces n'ont pas cette option parce que la couche mince doit être pulvérisée ou déposée directement sur le substrat pour former une nouvelle agglomération résistive. Les ingénieurs produisant les résistances de couche mince avaient

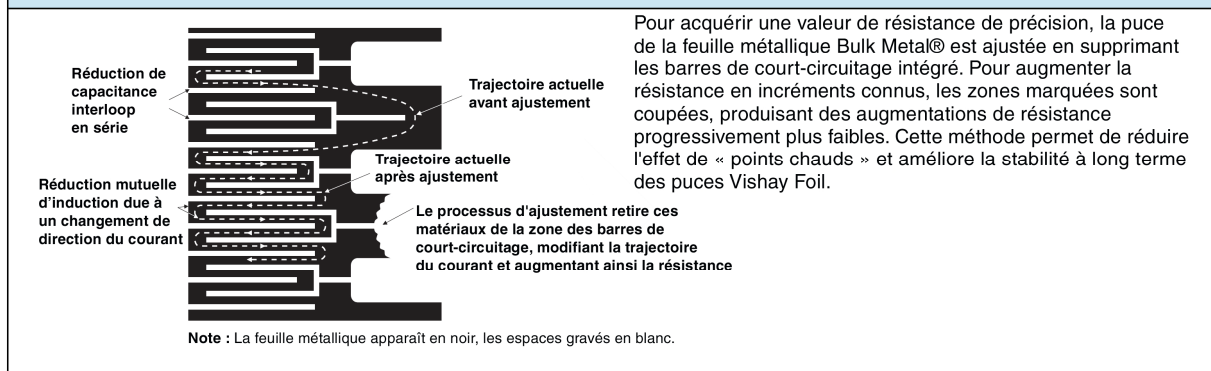
donc deux principales options : améliorer les performances par l'intermédiaire de dépistages ou ajouter une protection à la feuille avec des revêtements et des encapsulants.

La technologie de résistances à feuille métallique évite bon nombre de ces problèmes en tenant compte des contraintes pour contrebalancer les forces avec des effets adverses, utilisant ainsi ces contraintes pour produire une résistance extrêmement stable. Plutôt que de viser le plus bas TCR possible, cette technologie commence avec une feuille métallique ayant le TCR le plus linéaire sur le plus large éventail de température. Ce TCR est réalisé dans un alliage spécial relativement épais, laminé à froid et qui maintient la même structure moléculaire que l'alliage brut duquel il provient. Ceci permet à la feuille métallique d'agir comme une structure monolithique avec un coefficient d'expansion fixe et connu sur tout intervalle de température que la résistance peut rencontrer au long de sa vie de conception. Le second élément le plus important dans la construction est l'adhésif qui détient l'alliage de la feuille sur le substrat plat en céramique, tout en supportant des températures élevées et d'autres phénomènes tels que les impulsions, les incursions d'humidité, les chocs et vibrations, l'exposition à de faibles/hautes températures et les décharges électrostatiques (DES) tout en maintenant solidement la feuille au substrat.

Ces caractéristiques comprennent la compensation de contrainte essentielle qui définit la technologie à feuille métallique. Avec une augmentation de la température, la feuille non-adhérente a une augmentation inhérente dans la résistance (TCR positif). Simultanément, la feuille connaît une force de compression parce que son coefficient de dilatation linéaire plus élevé la heurte à la force de retenue du substrat. Cette force de compression fait chuter la résistance. Avec une augmentation de la température, cette dualité parfaitement équilibrée travaille à conduire la résistance vers le bas (la force de compression) par le même montant exact d'augmentation inhérente dans la résistance (le TCR positif de la feuille non-adhérente), résultant en un TCR de la résistance finie proche de zéro. Cela donne des résistances de la feuille avec des TCR de moins de 1 ppm / °C.

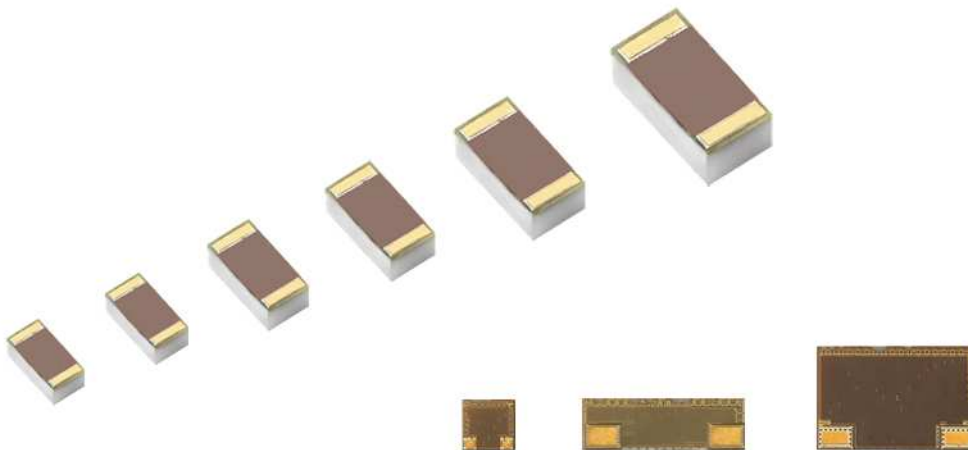
La structure plate de la résistance de feuille, avec l'élément de résistance à la surface (avant revêtement ou encapsulation), se prête à un procédé unique de résistance ajustable à la valeur afin d'éviter des points chauds et une densité croissante de courant où la grille de résistance change de direction. Des tolérances aussi strictes que 0,001 % peuvent être atteintes dans des boîtiers scellés hermétiquement. L'élément de résistance métallique est photogravé avec une grille qui incorpore des liens successifs géométriquement proportionnés pouvant être enlevés tout en augmentant progressivement la résistance en valeurs de plus en plus petites, sans introduire d'excès de bruit ou de compression de la densité de courant distribuée au hasard (points chauds). La grille est, en outre, conçue avec des courants opposés dans les voies adjacentes afin de minimiser l'inductance et la capacité pour des performances à grande vitesse. À l'aide de ces innovations de la technologie de base, la résistance peut être complétée dans de nombreuses configurations différentes, y compris les résistances de puissance, résistances de shunt, résistances métrologiques hermétiquement scellées, résistances de puce de montage en surface avec des terminaisons flexibles isolantes de stress et bien d'autres (GRAPHIQUE 3).

GRAPHIQUE 3 – AJUSTEMENT AUX VALEURS (Illustration Conceptuelle)



AJUSTEMENT AUX VALEURS

La dernière génération de technologie de feuille présente des concepteurs avec des composants de résistance qui sont, non seulement d'une précision encore plus élevée que les bobinées, mais également bien adaptés pour des applications à haute fréquence et à haute température. La feuille offre également des avantages considérables en terme de taille. Des résistances aussi petites que 0603 peuvent désormais servir de standards secondaires intégrés, adaptables à l'équipement quel que soit le lieu – même dans l'espace lointain (GRAPHIQUE 4). Les nouvelles séries Z1-Foil FRSH, HTHG et HTHA de résistances CMS illustrent cette technologie novatrice qui peut résister à des températures plus élevées allant jusqu'à 250° C tandis que le plus haut niveau de précision et de stabilité est illustré par les nouvelles séries FRSM.



Types de série HTHA

Stabilisation thermique : l'image est extraite du Guide de Conception et Sélection pour Résistance de Haute Précision (Design & Selector Guide for High-Precision Resistors) (page 7)