



Les technologies de refroidissement

Les éléments Peltier vont-ils remplacer les compresseurs?

Abstract

Les éléments Peltier sont des composants thermoélectriques qui peuvent pomper la chaleur d'un côté à l'autre d'un appareil en fonction de la direction du courant électrique. Bien que le principe en soit connu depuis longtemps, l'état de l'art des matériaux semi-conducteurs permet à présent d'exploiter ce principe.

Les forces de la technologie Peltier résident dans la modularité des éléments de refroidissement, leur intégration facilitée, leur fiabilité et un contrôle précis. De plus, les éléments Peltier ne présentent aucune pièce mobile, ils sont donc plus silencieux et génèrent moins de vibrations. L'avantage principal sur les compresseurs conventionnels est l'élimination des réfrigérants inflammables ou nuisibles pour l'environnement.

Cependant, les performances des systèmes de refroidissement à effet Peltier sont nettement inférieures à celles des compresseurs. Pour des équipements tels que des réfrigérateurs et des congélateurs, les coûts de fonctionnement sont nettement plus élevés et la dissipation de chaleur trop importante.

Avec ses caractéristiques spécifiques, la technologie Peltier est intéressante pour de nombreuses applications, mais elle ne remplacera pas les compresseurs pour des applications comme les réfrigérateurs domestiques n'étant pas assez efficace.

Contenu

2 Abstract

4 Effets Thermoélectriques

Histoire
Bases de Physique

6 Mise en œuvre technique du refroidissement thermoélectrique

Conception d'un élément Peltier
Conception d'un module Peltier
Contrôle d'un système Peltier

9 Comparaison des technologies de refroidissement

11 Domaines d'application de la technologie Peltier

13 Conclusions

14 Informations

Effets Thermoélectriques

Histoire

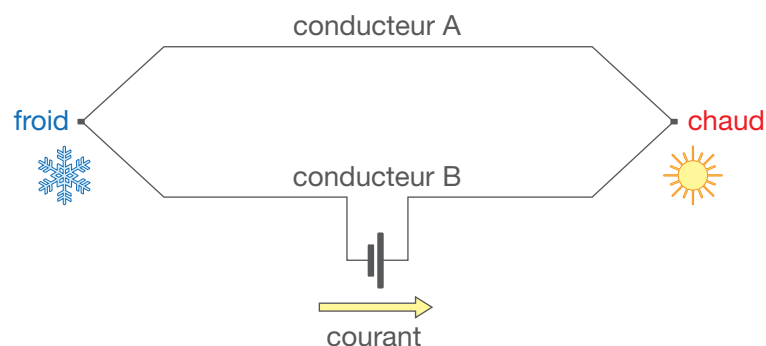
L'effet Seebeck

En 1821, le physicien Allemand Thomas Johann Seebeck (1770 – 1831) découvre qu'une aiguille aimantée est déviée par une boucle fermée constituée de deux métaux réunis à deux endroits, et à laquelle on applique une différence de température entre les jonctions. A la même époque, le physicien Danois Hans Christian Ørsted étudie le phénomène de l'électromagnétisme et interprète l'effet „Thermoélectrique“ de Seebeck, à savoir: une différence de température provoquée par la circulation d'un courant, ce qui influe sur le champ magnétique observé par Seebeck.

L'effet Peltier

Tout juste treize ans après la découverte de l'effet thermoélectrique, le physicien Français Jean Charles Athanase Peltier (1785 – 1845) observe l'effet inverse: la formation d'une différence de température au niveau des points de jonction de deux conducteurs électriques différents lorsque l'on applique un courant.

A l'époque, Peltier ne peut expliquer cet effet, c'est le physicien britannique d'origine irlandaise (également connu sous le nom de Lord Kelvin, à l'origine de l'unité de température) qui en fournira l'explication avec sa théorie des courants thermoélectriques en 1860.



Effets Thermoélectriques

Bases de Physique

Pouvoir thermoélectrique

Les effets thermoélectriques consistent essentiellement en divers phénomènes ayant en commun un matériau identique. Le pouvoir thermoélectrique Q diffère d'un conducteur métallique à un autre de quelques $\mu\text{V}/\text{K}$. Toutefois, pour mettre en œuvre l'effet Peltier, un couple de conducteurs électriques présentant une tension thermoélectrique élevée est nécessaire. Il a été prouvé que seuls certains semi-conducteurs satisfont cette condition à température ambiante. Le coefficient Peltier Π est le produit du pouvoir thermoélectrique et de la température (Kelvin):

$$\Pi = Q \cdot T$$

La chaleur dégagée à l'interface entre les deux conducteurs s'exprime ainsi

$$W = (\Pi_A - \Pi_B) \cdot I$$

La chaleur transférée (W) dépend donc de la différence entre les coefficients Peltier et est proportionnelle au courant électrique I . Le signe du flux de chaleur dépend de la direction du courant. Un signe négatif montre une absorption de chaleur au point de contact.

Cependant, la déperdition électrique augmente plus vite avec un courant grandissant que le transfert de chaleur via l'effet Peltier. Par conséquent, la capacité de refroidissement n'augmente plus après une certaine intensité de courant, en fait elle diminue.

Refroidissement thermoélectrique

L'effet Peltier peut être utilisé pour refroidir. Le côté à refroidir à la température T_0 est positionné à l'opposé du réservoir de chaleur de température T_1 .

$$(T_0 - T_1)_{\max} = 1/8 \cdot (\Pi_A - \Pi_B) \cdot \sigma/\lambda$$

Le différentiel maximal de température est proportionnel à la conductivité électrique σ et inversement proportionnel à la conductivité thermique λ , i.e. deux propriétés opposées.

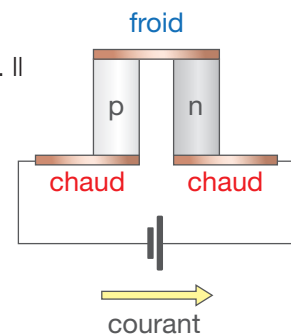
Outre la tension thermoélectrique requise, c'est ici que réside le second défi de la mise en œuvre technique de l'effet Peltier puisque les bons conducteurs électriques sont aussi de bons conducteurs thermiques.

Mise en œuvre technique du refroidissement thermoélectrique

Conception d'un élément Peltier

Thermocouple

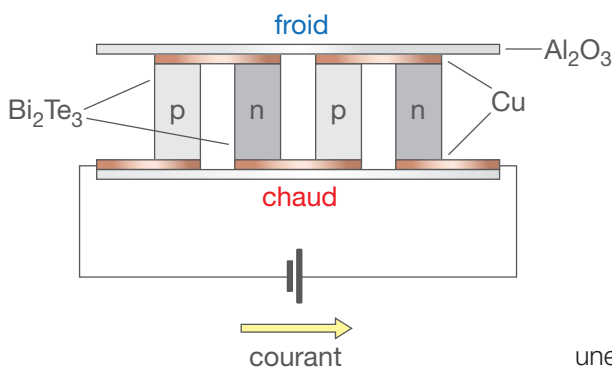
Le plus petit composant d'un élément thermique est le thermocouple. Il se compose de deux conducteurs électriques de coefficients Seebeck très différents afin de générer une tension thermoélectrique la plus haute possible. Les matériaux utilisés sont généralement des blocs de semi-conducteurs connectés à leurs extrémités avec du cuivre. Jusqu'à présent, le matériau le plus adapté à température ambiante est le tellure de bismuth avec dopages de type N et P.



Élément thermique

Les générations actuelles d'éléments Peltier sont constituées d'une multitude de thermocouples connectés électriquement en série par des ponts de cuivre. Les ponts de cuivre sont isolés thermiquement de chaque côté par des plaques de céramiques (en général de l'oxyde d'aluminium), mais isolés électriquement les uns des autres.

Lorsque des semi-conducteurs avec dopage de type N et P sont utilisés, la principale réflexion ne porte pas sur le „matériau semi-conducteur“ au sens propre du terme comme pour les diodes à semi-conducteur. Dans ce cas, les deux semi-conducteurs doivent être en contact direct pour forcer le courant électrique à circuler dans un sens. Alors que pour l'effet Peltier, ceci n'est d'aucune aide et les différents semi-conducteurs sont connectés par des ponts métalliques. Les semi-conducteurs sont donc préférés aux autres matériaux conducteurs en raison

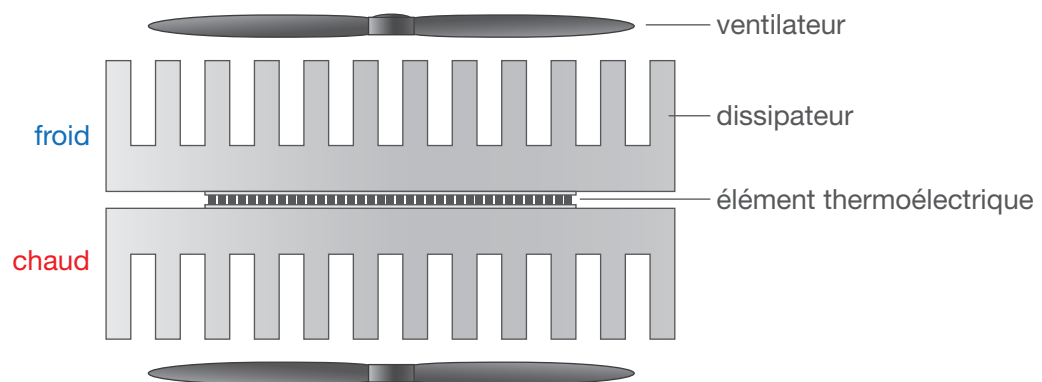


de leur tension thermoélectrique élevée permettant une excellente conductivité électrique tout en étant isolés thermiquement. C'est ainsi que le côté refroidi peut être efficacement séparé du côté chaud et produire une différence de température utilisable.

Mise en œuvre technique du refroidissement thermoélectrique

Conception d'un module Peltier

Un module Peltier est composé d'un ou plusieurs éléments Peltier et couplé thermiquement à des dissipateurs de chaleur. La puissance électrique utilisée pour pomper est irréversiblement convertie en chaleur dans les éléments Peltier et doit être dissipée efficacement. De plus, les éléments Peltier pompent de façon réversible la chaleur d'un côté à l'autre en fonction de la direction du courant. Par conséquent, la chaleur est absorbée d'un côté, mais significativement moins que celle émise de l'autre côté. Ainsi, la chaleur doit être échangée via des dissipateurs de chaleur de grandes dimensions, situés de chaque côté de l'élément Peltier. De puissants ventilateurs sont utilisés pour chasser l'air chaud ou refroidi.



Mise en œuvre technique du refroidissement thermoélectrique

Contrôle d'un système Peltier

Les éléments Peltier sont généralement contrôlés par modulation de largeur d'impulsion où le courant moyen est contrôlé par la durée d'impulsions d'un courant à haute fréquence. La régulation de la tension est aussi une méthode courante. En tout cas, une simple commande arrêt/marche n'est pas facilement applicable car elle génère une lourde charge sur l'élément Peltier, diminuant de façon significative sa durée de vie.

Stress thermique

Même si il est possible de réguler les modules Peltier en inversant simplement la polarité, il faut être clair sur les conséquences. En inversant la direction du courant avant que la température de l'élément Peltier ne se soit stabilisée, les composants sont exposés à un stress thermique énorme. Les fabricants de puces Peltier testent la stabilité de leurs produits en effectuant des cycles d'inversion de la polarité, ce qui provoque des défaillances après quelques centaines de cycles. Certaines modifications peuvent améliorer la stabilité dans ces cycles.

Dans les domaines scientifiques, où une stabilité et une fiabilité à long-terme sont critiques, une durée de vie réduite est inacceptable.

Comparaison des technologies de refroidissement

Forces des systèmes Peltier

En général, les éléments Peltier sont très fiables, demandent peu de maintenance et durables grâce à l'absence de pièces mobiles sujettes à l'usure. De plus, ils opèrent silencieusement et sans vibration. Ils peuvent être petits et légers même en ayant combiné plusieurs modules dans un seul système. Un autre avantage est leur coût de fabrication réduit. Les systèmes Peltier ne contiennent pas de réfrigérants qui sont inflammables, nuisible pour la couche d'ozone et contribuent à l'effet de serre. L'intégralité du système de froid comprenant compresseur, larges évaporateurs et condenseurs est éliminé. Les éléments Peltier ne nécessitent aucune maintenance et sont remplacés facilement et rapidement en cas de panne.

Les technologies récentes de contrôle permettent de mieux doser le refroidissement que les compresseurs conventionnels. Il est aussi possible d'inverser la fonction d'un système en inversant la polarité, c'est-à-dire qu'un élément refroidissant peut devenir un élément chauffant efficace.

Faiblesses des systèmes Peltier

Avec les modules Peltier, il n'existe aucune solution technique pour contourner le fait que les côtés chaud et froid sont très proches. En pratique, les modules Peltier actuels ne mesurent que 3 à 5mm d'épaisseur. Il est donc très important de gérer efficacement le flux de chaleur entrant et sortant du module. Techniquement, ceci est assuré par de larges dissipateurs de chaleurs équipés de ventilateurs.

Les performances d'un module Peltier sont directement liées à la différence de température. Plus elle est importante, plus la capacité d'absorption nécessaire est basse. Des différentiels de température importants ne peuvent être obtenus qu'avec des éléments multi-étages complexes.

Comparaison des technologies de refroidissement

L'efficacité énergétique

Les éléments Peltier peuvent absorber la chaleur d'un côté et la dissiper de l'autre. Le vecteur utilisé pour cette pompe réversible est le courant électrique. Le courant agit en quelque sorte comme un réfrigérant dans un circuit de refroidissement et la capacité de pompage est idéalement proportionnelle au courant électrique. Il est inévitable que ce courant soit irréversiblement converti en chaleur par effet Joule. La génération de chaleur ne signifie pas seulement une perte de puissance, mais aussi une perte de chaleur sur le côté froid qui doit être compensée par la capacité de pompage pour obtenir un effet de refroidissement.

En pratique, une démultiplication de la capacité de pompage thermique doit être acceptée comme une perte de puissance des systèmes Peltier. La capacité de refroidissement des systèmes à compresseurs est, elle, deux fois plus importante que nécessaire.

Domaines d'application de la technologie Peltier

Les dernières technologies Peltier sont utilisables lorsque les compresseurs ne sont pas adaptés à cause de leur taille, lorsque l'efficacité énergétique est un critère ou quand seul un léger refroidissement est nécessaire.

Domestique & Loisir

Pour le refroidissement actif de boisson ou de nourriture, les glacières avec effet Peltier sont très pratiques pour les véhicules et les campeurs puisqu'elles sont portables et peuvent être branchées directement sur du 12 V.

Un inconvénient majeur des modules Peltier est utilisé positivement dans les déshumidificateurs. L'air humide entre du côté froid du module Peltier et la condensation en résultant est collectée dans un bac.

Science

Un exemple bien connu de contrôle de la température par effet Peltier est le thermocycleur, un appareil de laboratoire utilisé pour la multiplication des séquences ADN. Pour cette application, appelée PCR (polymerase chain reaction), trois températures différentes sont appliquées, dans une succession rapide.

Les compresseurs ne peuvent pas être miniaturisés. Au contraire, les modules Peltier peuvent être très petits tout en offrant d'incroyables capacités de refroidissement. Ces éléments Peltier miniatures sont utilisés, par exemple, dans les scintillateurs où le bruit des photodiodes doit être réduit par refroidissement.

Le fonctionnement des compresseurs conventionnels dépend de leur position. Inclinés ou tête en bas, la gravité les empêche de fonctionner. En revanche, les modules Peltier peuvent être intégrés librement dans des appareils portables alimentés facilement par une batterie 12 V. Exemples: densimètres, viscosimètres, rhéomètres, réfractomètres.

Domaines d'application de la technologie Peltier

Applications spéciales

Les éléments Peltier dégagent plus de chaleur qu'ils ne peuvent en absorber. Pour les ordinateurs standards, des éléments avancés de dissipation et de transfert de chaleur sont préférés lorsqu'il s'agit seulement de dissiper la chaleur générée par le processeur. La technologie Peltier est utilisée lorsque les températures du processeur doivent être inférieures à la température ambiante.

Les modules Peltier à plusieurs étages peuvent générer une différence de température de plus de 100K et sont utilisés, par exemple, pour les capteurs IR ou les hygromètres à condensation. Les chambres à brouillard (ou chambre de Wilson) utilisées pour la détection de diverses particules (radiations alpha, alpha radiation, électrons, positrons) requièrent à la fois chauffage et refroidissement. La technologie Peltier est idéalement applicable dans ces cas.

Incubateurs réfrigérés

Ce n'est que récemment que la technologie Peltier a trouvé sa place dans le monde du laboratoire avec son application aux incubateurs réfrigérés. Pour des températures relativement basses (par exemple 10 °C), elle est moins appropriée. Mais pour des incubations proches de la température ambiante (15 à 30 °C) ou pour des applications avec apport de chaleur, de tels incubateurs peuvent fonctionner de façon économique.

Dans ce cas, la faible efficacité énergétique a peu de conséquences puisque le refroidissement fonctionne à un niveau bas sans demander une puissance maximale. La consommation moyenne d'énergie est inférieure à celle d'un incubateur réfrigéré et les inconvénients dus à la complexité technique des compresseurs sont éliminés.

Conclusions

La technologie Peltier ouvre de nouvelles opportunités pour des applications spécifiques, notamment si elles ne demandent pas une capacité de refroidissement maximale ou une grande efficacité. Sa miniaturisation et son positionnement libre permet de développer de petits appareils portables. Les modules Peltier rendent le contrôle de la température efficace pour des gradients de température réduits par un dosage fin de la capacité de refroidissement.

Grâce à leur grande efficacité et leur importante réserve de puissance, les compresseurs conventionnels maintiennent leur suprématie pour les réfrigérateurs et les congélateurs domestiques ou de laboratoire.

Informations

| Auteur

Le Dr Jens Thielmann est biologiste et chef Produit Croissance & Stockage chez BINDER GmbH. Il est responsable des différents incubateurs utilisés dans la recherche médicale, scientifique et pharmaceutique pour l'incubation de bactéries ou de cultures cellulaires, ainsi que des congélateurs à très basse température pour le stockage à long terme d'échantillons sensibles.

| Profil de l'entreprise

BINDER est le spécialiste mondial des chambres de simulation pour les laboratoires scientifiques et industriels. Grâce à ses solutions techniques, la société contribue pour une grande part à améliorer durablement la santé et la sécurité des êtres humains. Sa gamme de produits convient aussi bien aux applications courantes qu'aux travaux pointus en matière de recherche et de développement, de production et d'assurance qualité. Avec actuellement 350 employés et un taux d'exportation de 80 %, la société BINDER a réalisé un chiffre d'affaires de 56 millions d'euros en 2012.

| Contact

BINDER GmbH
Im Mittleren Ösch 5
78532 Tuttlingen
Tel: +49(0)74 62-20 05-0
info@binder-world.com
www.binder-world.com

Informations

| Bibliographie

MacDonald, D.K.C. (1962):

Thermoelectricity. An Introduction to the Principles. Wiley, New York

Dugdale, J.S. (1977):

The electrical Properties of Metals and Alloys. Edward Arnold, London

Jäckle, J. (1998):

Über die Ursache der Thermospannung. (About the cause of thermoelectric voltage).

Physics Faculty, University of Constance

| Liens utiles

www.tellurex.com

www.quick-cool-bibliothek.de

www.mecheltron.com

www.peltier.de

www.deltron.ch

www.dr.neumann-peltier.de

www.ferrotec.com

www.siteware.ch