

Wie groß ist der Wärmewiderstand R_{Th} einer bestimmten Heatpipe?

Es handelt sich beim Wärmewiderstand bei einer Heatpipe um einen scheinbaren Wärmewiderstand, der physikalisch eine andere Größe beschreibt, als der bei einer Wärmeleitung durch einen Festkörper

Näheres hierzu ist unter folgendem Link zu erfahren:

<http://www.quick-ohm.de/heatpipes/heatpipe-basisinformation.htm>

Bei der Wärmeleitung mittels Heatpipe entsteht zwangsläufig eine Temperaturdifferenz, weil ansonsten der stationäre Kreisprozess der ständigen Kondensation und des ständigen Verdampfens innerhalb der Heatpipe nicht angestoßen werden könnte. Die sich einstellende Differenz ist aber nicht proportional zum induzierten Wärmestrom. Hierbei spielen die Flächendichte des Wärmeeintrags, parasitäre Wärmeflüsse und die Arbeitstemperatur der Heatpipe jeweils eine entscheidende Rolle. Wenn sich auf der Oberflächen der Heatpipe am Punkt der Wärmeeinspeisung eine Temperatur ergibt, die um mehr als 1°C höher ist als die Temperatur am Punkt der Wärmeauskopplung, ist das ein Zeichen dafür, dass die Heatpipe am Limit betrieben wird. Um das messtechnisch zu erfassen müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- die Sensoren müssen eine Genauigkeit von $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ besitzen (oder man führt eine Doppelmessung durch)
- die Sensoren müssen gegenüber der Umgebung sehr gut isoliert sein
- die Sensoren müssen auf die gleiche Weise mit der Heatpipe verbunden sein
- die Heatpipe muß im adiabatischen Teil gut isoliert sein

Bei einem Peltierelement gibt es in den meisten Fällen ein rotes und ein schwarzes Anschlusskabel. Wenn das rote Kabel ordnungsgemäß an den Pluspol der Gleichstromquelle angeschlossen ist, ist die bedruckte Seite diejenige die kalt wird.

Weitere Merkmale zur Identifizierung der kalten Seite sind folgende:

Wenn ein Peltierelement unterschiedlich große Keramikflächen hat, ist die kalte Seite immer die kleinere.

Die Anschlusskabel sind immer an der warmen Seite des Peltierelementes angelötet.

Wenn man ein Peltierelement so vor sich legt, dass die Anschlusskabel auf den Betrachter gerichtet sind (der Betrachter schaut an die Kabelanschlüsse an der Keramik des Elementes) und das rechte Kabel rot ist, schaut die kalte Fläche nach oben.

6. Wie kann man mit einem Peltierelement heizen?

Durch Umkehrung der Stromrichtung (schwarzes Kabel an den Pluspol der Gleichstromquelle) wird die kalte Seite zur warmen. Dies schadet einem Peltierelement nicht. Es ist darauf ausgelegt. Wenn die Temperaturwechsel allerdings ständig erfolgt, ist unbedingt darauf zu achten, dass ein zyklenfestes Peltierelement eingesetzt wird.

7. In welchen Fällen sollte man ein versiegeltes Peltierelement wählen?

Immer dann, wenn mit dem Peltierelement eine Temperatur erreicht werden soll, die unter der Umgebungstemperatur liegt, ist mit dem Auftreten von Kondensat zu rechnen. Dieses kann die Kühlfunktion stark beeinträchtigen und führt nach kurzer Zeit zu Korrosion innerhalb des Peltierelementes. Mit einer Versiegelung aus Silikon oder Epoxydharz kann man das Auftreten von Kondensat und die damit verbundenen schädlichen Folgen weitgehend unterdrücken. Eine Versiegelung ist auch dann angebracht, wenn das Peltierelement Verschmutzungsgefahr ausgesetzt ist.

8. Welche Regelungsmethode wird beim Peltierelement verwendet?

Das übliche Verfahren zur Ansteuerung von Peltierelementen in einem Regelkreis ist die Pulsweitenmodulation. Hierbei wird die Stromstärke über die Länge eines Pulses gesteuert. Dabei werden Leistungsschalter benutzt, die nur zwei Zustände kennen: Voll sperren (kaum Strom, nahezu voller Spannungsabfall) oder voll durchschaltend (nahezu voller Strom, kaum Spannungsabfall). Der Mittelwert der Spannung wird dabei um das Verhältnis Einschaltzeit/Ausschaltzeit verändert. Das entstehende Stromprofil wird durch Induktivitäten geglättet und in ein quasikonstantes Profil umgewandelt. Die Frequenz, deren Pulsweite verändert wird, beträgt einige 100 – 200 kHz. Je höher die Frequenz ist, desto kleiner sind die Induktivitäten zur Glättung.

Eine Ein- Aus- Regelung ist ebenfalls möglich. Hiermit sind allerdings keine hochwertigen und genauen Regelungen möglich. Außerdem wird das Peltierelement stärker beansprucht.

9. Aus welchem Material besteht ein Peltierelement?

Ein Peltierelement besteht aus dem p- und n-dotierten Halbleiter Wismut-Tellurid (Bi_2Te_3). Dieses Ausgangsmaterial wird in Quaderform gebracht und zwischen elektrisch isolierende Flächen eingelötet. Dies ist in den meisten Fällen Aluminiumoxid (Al_2O_3). Ein Paar aus einem n-dotierten und einem p-dotierten Quader wird Thermopaar genannt. Ein Peltierelement kann aus einigen wenigen bis einigen hundert Thermopaaren bestehen. Die Anzahl der verwendeten Thermopaare ist in den meisten Fällen Bestandteil der Artikelnummer.

10. Kann man auch mehrere Peltierelemente an eine Spannungsquelle anschliessen?

Es ist kein Problem, mehrere Peltierelemente an eine Spannungsquelle anzuschließen.

11. Wie kann man mehrere Peltierelemente elektrisch miteinander verbinden?

Man kann die Peltierelemente entweder parallel oder in Reihen schalten. Bei der Parallelschaltung benötigt man die maximale Spannung für ein Peltierelement und eine Stromstärke entsprechend Anzahl der Peltierelemente multipliziert mit deren maximaler Stromstärke.

(z. B. 4 Peltierelemente mit 15,5 Volt und 8,5 Amp. benötigen eine Spannungsquelle von max. 15,5 Volt bei 34 Amp).

Bei der Reihenschaltung benötigt man hingegen nur die Stromstärke entsprechend eines Peltierelementes und ein entsprechend Vielfaches der Spannung. (z. B. 4 Peltierelemente mit 15,5 Volt und 8,5 Amp. benötigen eine Spannungsquelle von max. 62 Volt bei 8,5 Amp.). Da für die Gleichstromversorgung eine hohe Spannung leichter zu erhalten ist als eine hohe Stromstärke, ist diese Form der Schaltung deutlich preisgünstiger. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich die Peltierelemente gegenseitig beeinflussen. Bei stark unterschiedlichen Temperaturen kann es zu Unter- oder Überversorgung einzelner Elemente in der Kette kommen.

Eine Kombination aus Reihen- und Parallelschaltung ist ebenfalls möglich.

Der elektrische Kontakt kann z. B. mittels Lüsterklemme oder durch Lötung, die mit einem Schrumpfschlauch überzogen wird, hergestellt werden.

12. Was passiert, wenn man ein Peltierelement zwischen die Finger nimmt und mit Strom speist?

Wenn man ein Peltierelement zwischen die Finger nimmt und mit Strom speist, spürt man eine kurze Zeit (je nach Peltierelement und gewählter Stromstärke für einige Sekunden) eine Temperaturdifferenz auf beiden Seiten des Peltierelementes. Einige Sekunden später ist das Peltierelement auf beiden Seiten so heiß, dass die Schmerzschwelle überschritten.

wird, so dass man es unwillkürlich fallen lässt. Die Aufheizung kann so schnell erfolgen, dass es zu einer Verletzung kommen kann, bevor die Schmerzreaktion einsetzt. Noch einmal einige Sekunden später ist das Peltierelement so heiß, dass die Lötstellen an den Thermopaaren aufschmelzen und es infolgedessen unwiederbringlich zerstört ist. Deshalb darf ein Peltierelement **niemals ohne Kühlkörper** oder ohne Kontakt zu einer Fläche mit einer großen thermischen Masse betrieben werden.

13. Wie kann man prüfen, ob ein Peltierelement funktioniert?

Das Peltierelement wird auf der warmen Seite (nicht bedruckte Seite) mit einem Kühlkörper verbunden. In das rote Anschlusskabel wird Strom (+) eingespeist, wobei die Spannung die für das Peltierelement definierte nicht überschreiten darf.

Die kalte Seite muss sich daraufhin sehr schnell abkühlen.

Eine weitere Testmöglichkeit ist die Messung des Ohm'schen Widerstandes des Elementes. Dieser darf nicht mehr als 10% von der Spezifikation abweichen.

14. Kann man die Stromrichtung bei der Versorgung des Peltierelementes umkehren?

Man kann die Stromrichtung, mit der man das Peltierelement versorgt, ohne Probleme umkehren. Dabei wird der Pluspol der Gleichspannungsversorgung an das schwarze Anschlusskabel des Peltierelementes angeschlossen. Die Seite, die zuvor gekühlt hat, wird zur heizenden Seite. Dabei ist darauf zu achten, dass diese nicht zu heiß wird. Die zuvor warme Seite wird zur kühlenden. Die minimal erreichbare Temperatur ist allerdings bei Betrieb in Stromrichtungsumkehr nicht so niedrig wie bei normaler Stromrichtung.

15. Was bedeutet $Q_{C_{max}}$?

$Q_{C_{max}}$ ist die maximale Kühlleistung, die das Peltierelement aufbringen kann, wenn es mit voller Spannung angesteuert wird und das Peltierelement eine Temperaturdifferenz von 0°C „spürt“. Wenn das Peltierelement eine Temperaturdifferenz aufbauen soll, reduziert sich die Kühlleistung etwa proportional zur Temperaturdifferenz. Bei einer Temperaturdifferenz von ca. 70°C ist die Kühlleistung gleich null.

16. Welche Möglichkeiten gibt es, ein Peltierelement mit einem möglichst guten thermischen Kontakt einzubauen?

Um eine möglichst gute Kühlwirkung zu erzielen, ist es von elementarer Bedeutung, das Peltierelement auf der warmen Seite möglichst effizient zu kühlen. Dabei ist die physikalische Eigenschaft des Kühlkörpers der Wärmeübertragung wichtig und die möglichst gute thermische Verbindung des Peltierelementes zum Kühlkörper. Um die Wärmeübergangswiderstände an den Montageflächen zu reduzieren, gibt es folgende Möglichkeiten:

- Wärmeleitpaste
- Wärmeleitkleber
- Wärmeleitfolie

Bei sachgerechter Handhabung gibt es kaum Unterschiede hinsichtlich des erzielbaren Wärmeübergangswiderstandes.

17. Worauf ist zu achten, wenn man mehrere Peltierelemente gleichzeitig einbaut?

Wenn mehrere Peltierelemente gleichzeitig in einem System eingebaut werden, ist darauf zu achten, dass deren Bauhöhe, Ebenheit und Parallelität innerhalb enger Toleranzen (< 0,05 mm) liegt und sie mit der erforderliche Anpresskraft von ca. 140 N/cm² eingebaut werden.

Wenn die Peltierelemente elektrisch in Reihe geschaltet werden, was zur Verringerung der benötigten Stromstärke führt, ist auf einen möglichst gleichmäßigen inneren elektrischen Widerstand zu achten.

18. Wie lässt sich die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes eines Peltierelementes beschreiben?

Der elektrische Widerstand $Rel(t)$ eines Peltierelementes nimmt mit steigender Temperatur zu.

Die Abhängigkeit lässt sich mit guter Genauigkeit wie folgt beschreiben:

$$Rel(t) = Rel(25^{\circ}C) * (1 + \alpha * T)$$

*mit $\alpha * T = t[C] - 25^{\circ}[C]$*

und $\alpha = 0,0049 \text{ 1/K}$

$Rel(25^{\circ}C)$ = der elektrische Widerstand des Peltierelementes bei 25°C

19. Was sind typische Schadensbilder bei der Nutzung von Peltierelementen?

Das häufigste Schadensbild sind aufgeschmolzene Thermopaare im Peltierelement. Dies kann beim Durchleuchten mit einer sehr hellen Lichtquelle häufig festgestellt werden. Ein weiterer Hinweis ist der innere Widerstand, der in diesen Fällen unendlich hoch ist.

Ursache ist in den meisten Fällen der Betrieb des Peltierelementes ohne Kühlkörper.

Weitere Schäden sind gebrochene oder gerissene Keramik.

Ein Peltierelement ist relativ empfindlich gegen Stöße und Schläge. Wenn es auf einen harten Untergrund fällt, kann es bereits zu derartigen Schäden kommen.

Auch wenn ein Peltierelement verkantet eingebaut wird, können leicht die Ecken der Keramikplatten abbrechen. Deshalb ist bei der Montage immer darauf zu achten, dass die Schrauben gleichmäßig angezogen werden.

20. Wie kann man Peltierelemente und Heatpipes miteinander verbinden?

Heatpipes sind dazu geeignet, die Wärme von der warmen Seite eines Peltierelementes fortzuschaffen. Dies ist immer dann sehr hilfreich, wenn am Einbauort des Peltierelementes zu wenig Platz für einen hinreichend leistungsfähigen Kühlkörper ist. Die Verbindung zwischen beiden Bauteilen wird mit einem Wärmekoppelement hergestellt. Dies besteht aus einem Quader aus Kupfer oder Aluminium mit einer Bohrung zur Aufnahme der Heatpipe. Der Quader überdeckt das Peltierelement. Die Heatpipe kann in das Wärmekoppelement eingeklebt, eingeklemmt oder eingelötet werden.

21. Wie tief ist die niedrigste Temperatur, die man mit einem Peltierelement erreichen kann?

Die erreichbare niedrigste Temperatur wird wesentlich durch die Temperatur auf der „warmen“ Seite des Peltierelementes beeinflusst. Je niedriger diese ist, desto niedriger ist auch die Temperatur auf der kalten Seite.

Ein einstufiges Peltierelement kann in Verbindung mit einem sehr guten Kühlkörper mit Umgebungsluft ca. -30°C erzeugen. Bei dieser Temperatur ist allerdings die verschiebbare Wärmemenge infinitesimal klein.

Man kann die „warme“ Seite vorkühlen, so dass man in technischen Anwendungen ca. -50 bis -60°C je nach Vorkühlungsgrad erreichen kann.

Erfolgt die Vorkühlung mittels Peltierelement, spricht man von einem zweistufigen Element. Mit einer mehrstufigen Vorkühlung kann die erreichbare Temperatur weiter heruntergedrückt werden.

Dabei darf eine prinzipielle Limitierung nicht außer Acht gelassen werden: Die Effizienz des thermoelektrischen Halbleitermaterials Wismuttellurid verändert sich proportional zur absoluten Temperatur. Je niedriger die Zieltemperatur ist, umso geringer ist die Effizienz und umso geringer ist die übertragbare Leistung.

Praktisch erzielte Laborwerte liegen im Bereich von und -100°C , dies ist jedoch nur mit einem extremen Aufwand und einer nahezu perfekten Isolierung der Zielfläche zu erreichen.

