

Peltierelemente im generatorischen Betrieb

Als Thomas Johann Seebeck 1821 entdeckte, dass zwei unterschiedliche elektrische Leiter eine Spannung generieren, wenn an deren Kontaktstelle ein Temperaturunterschied herrscht, sollte es noch dreizehn Jahre dauern bis Jean Peltier nachwies, dass die gleiche Anordnung auch reversibel betrieben werden kann. In dem Peltierelement verursacht ein Stromfluss die Verschiebung von Wärmeenergie und lässt hierdurch einen Temperaturunterschied entstehen. Somit ist die Erkenntnis, dass ein Peltierelement zur Stromerzeugung herangezogen werden kann älter als die Entdeckung des oben beschriebenen Peltiereffektes selbst.

Um die Höhe der Spannung bestimmen zu können, die ein Peltierelement generieren kann, muss bekannt sein, welche Materialien verbaut sind und welche Temperaturdifferenz zwischen den beiden Seiten vorherrscht.

Quick-Ohm Peltierelemente werden aus unterschiedlich dotiertem Bismuttellurid aufgebaut. Diese Materialpaarung generiert eine Spannung U_G von 0,4mV pro Kelvin Temperaturdifferenz. Um die Leistungsfähigkeit zu erhöhen, werden in Peltierelementen „n“ Einzelpaare elektrisch gesehen in Reihe und thermisch gesehen parallel verschaltet. Hierdurch wird nicht nur der wirksame Wärmetransport erhöht, es vervielfacht sich auch die erzeugte Spannung, wenn das Peltierelement als Generator betrieben wird.

Über die Bezeichnung der Quick-Ohm Peltierelemente lässt sich der Aufbau entschlüsseln. So sind in unserem Peltierelement mit der Bezeichnung „QC-127-1.4-6.0“ 127 Einzelpaare elektrisch in Reihe geschaltet. Die Leistungsfähigkeit einer Spannungsquelle wird jedoch nicht nur über die Höhe der Spannung bestimmt, sondern auch über ihren Innenwiderstand. Dieser Innenwiderstand wird bei allen Peltierelementen aus dem Hause Quick-Ohm angegeben. Dieser Widerstandswert bezieht sich auf Raumtemperatur. Wenn am Element im generatorischen Betrieb auf der warmen Seite 175°C und auf der kalten Seite 50°C vorherrschen, dann ist der Innenwiderstand bedingt durch den positiven Temperaturkoeffizienten des verwendeten Halbleitermaterials etwa doppelt so hoch.

Mit diesem Wissen, kann nun die Generatorleistung berechnet werden.

Beispiel:

Ausgangslage:

Peltierelement: QC-127-1.4-6.0

Temperatur auf der Warmseite: 175°C

Temperatur auf der Kaltseite: 50°C

Zu dem Element ist auf unserer Homepage ein Datenblatt hinterlegt.

http://www.quick-cool-shop.de/download/QC-127-1_4-6_0-specification.pdf

Hierin wird der Innenwiderstand bei 25°C mit 2Ω angegeben.

Es kann nun folgende Rechnung angestellt werden:

Generierte Leerlaufspannung:

$$\begin{aligned}U_0 &= \text{generierte Einzelspannung} \times \text{Anzahl Einzelpaare} \times \text{Temperaturdifferenz} = \\ &= U_G \times n \times \Delta T = \\ &= 0,0004\text{V/K} \times 127 \times 125\text{K} = \\ &= 6,4\text{V}\end{aligned}$$

$$\text{Innenwiderstand } R_i = 2 \times 2\Omega = 4\Omega$$

$$\text{Damit ergibt sich ein Kurzschlussstrom } I_K \text{ von } U_0/R_i = 6,4\text{V}/4\Omega = 1,6\text{A}$$

Um aus einer Spannungsquelle das Maximum an elektrischer Leistung zu entnehmen, muss der Lastwiderstand genauso groß sein wie ihr Innenwiderstand. Das heißt: „Möchte man bei oben beschriebenen Bedingungen ein Optimum an elektrischer Leistung abgreifen, so ist der Generator mit einem Widerstand $R_L = R_i = 4\Omega$ zu belasten.“

Der Strom, der sich dann einstellt, errechnet sich folgendermaßen:

$$I_L = U_0/(R_i+R_L) = 6,4\text{V}/(4\Omega+4\Omega) = 6,4\text{V}/8\Omega = 0,8\text{A}$$

Die maximale Leistung ergibt sich aus:

$$P_{\max} = U_L \times I_L = (I_L \times R_L) \times I_L = I_L^2 \times R_i = 0,8^2\text{A}^2 \times 4\Omega = 2,56\text{W}$$

Ergebnis:

Das Peltierelement QC-127-1.4-6.0 generiert bei den Temperaturbedingungen $T_{\text{warm}} = 175^\circ\text{C}$ und $T_{\text{kalt}} = 50^\circ\text{C}$ eine maximale Leistung von 2,56 Watt an einem optimalen Lastwiderstand von 4Ω .

Der physikalische Aufbau:

Um 3 Watt nutzen zu können, muss durch das Element ein Wärmestrom von ca. 100W fließen.

In unserem Beispiel muss somit ein Wärmestrom von 85 Watt durch das ausgewählte Peltierelement fließen. Dieser Wärmestrom kommt jedoch nur zu Stande, wenn die kalte Seite auf 50°C heruntergekühlt wird, da wir das ΔT mit 125K angegeben haben. In den häufigsten Fällen wird auf dieser Seite ein Kühlkörper die Energie an die Umgebungsluft abführen. Sollte diese z.B. 25°C betragen, so ergibt sich ein thermischer Widerstand des Kühlkörpers von maximal $(50^\circ\text{C}-25^\circ\text{C})/85\text{W} = 0,29\text{K/W}$. Die Temperatur auf der Warmseite darf

hierbei allerdings nicht absinken, da sonst die Temperaturdifferenz sinkt. Eine realistische Einschätzung der Ausgangsbedingung ist recht komplex. Wenn beispielsweise eine Wärmequelle vorhanden ist, welche zur Stromerzeugung Wärme über ein Peltierelement an die Umgebungsluft abführen soll, so ist es nicht realistisch, die Temperaturdifferenz zwischen der vorherrschenden Temperatur der Quelle und der Umgebungsluft zur Berechnung heranzuziehen. Die Verbindungsstelle an der Warmseite wird bedingt durch den Wärmestrom abkühlen. Auf der anderen Seite wird die Kaltseite sich über das Temperaturniveau der Umgebungsluft aufheizen. Betrachtet man die Wärmeabgabe an die Luft, so wird deutlich, dass zur Erzeugung von wenigen Watt, bereits 100 Watt an die Umgebung abzugeben sind. Will man dies mit Hilfe natürlicher Konvektion erreichen, ohne dass sich der Kühlkörper stark aufheizt, so gelangt man sehr schnell zu sehr voluminösen Gebilden oder kühlt mit Zuhilfenahme von Lüftern. Letzteres würde jedoch den größten Teil der mühsam generierten Energie gleich wieder vernichten. Letztendlich erfordert es ein extrem weitsichtiges Know-how, eine genaue Anpassung des Aufbaus an die vorherrschenden Gegebenheiten vorzunehmen, um optimale Ergebnisse zu erzielen.