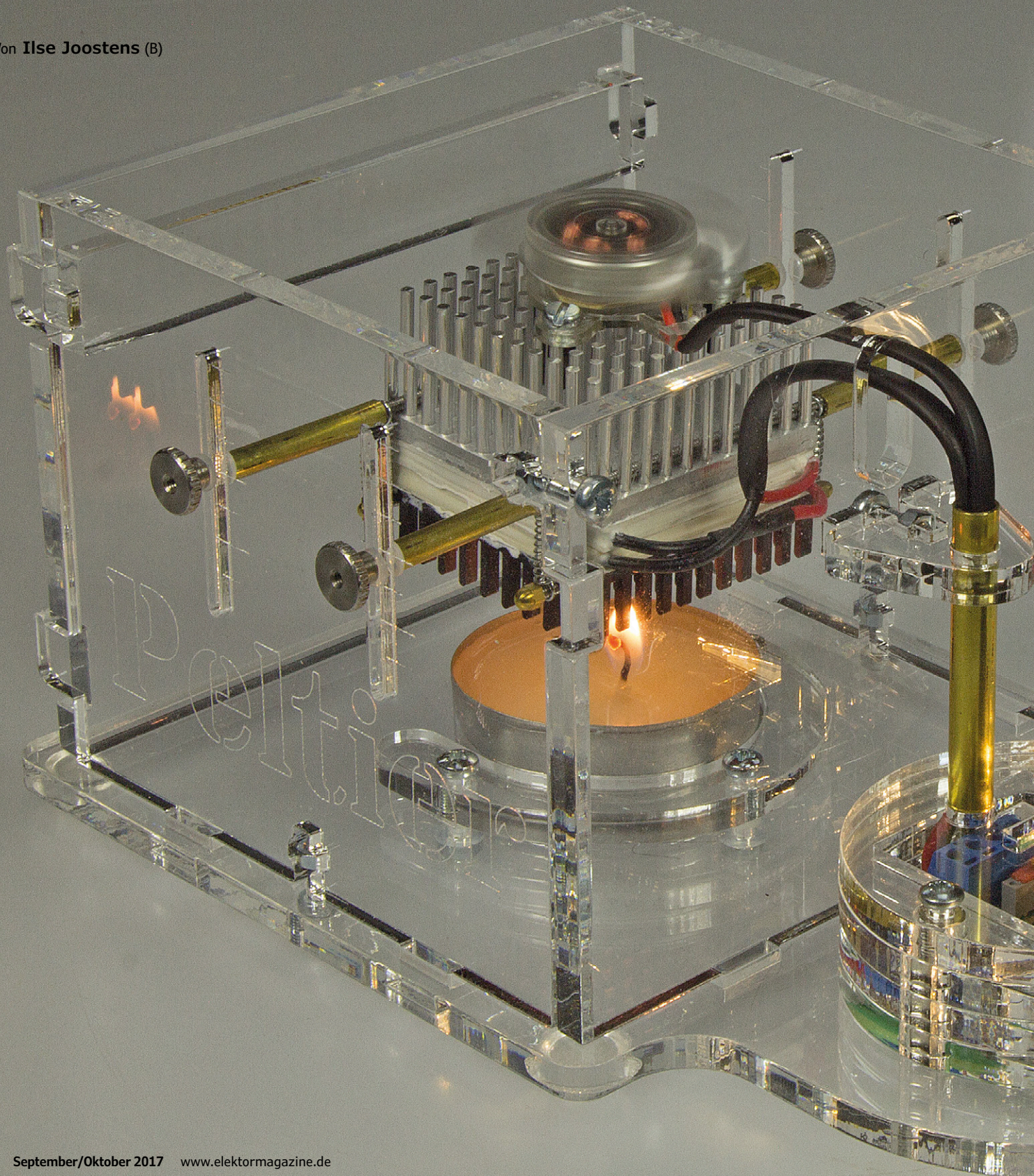


Candle2LED

Von Ilse Joostens (B)





Kerzenlicht- Effizienzbooster

Das Internet of Things gibt neue Anstöße, alternative Energiereservate zu erschließen. Gesucht sind Quellen, die gebundene Energie durch physikalische Prozesse in elektrischen Strom wandeln. Der „Candle 2 Light“-Booster setzt die Wärme einer Kerzenflamme in elektrische Energie um, so dass sogar das Lesen des Lieblingsromans bei elektrischem Kerzenlicht möglich ist!

INFOS ZUM PROJEKT

-  Peltier-Element
Alternative Energie
Step-up-Konverter
-  Einsteiger
→ Fortgeschrittene
Experte
-  Ungefähr 2 Stunden
-  Bauteile-Paket,
Lötkolben,
lange Spitzzange
-  Etwa 100 €

Bevor die elektrische Beleuchtung zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts zum Allgemeingut wurde, waren Kerzen und Petroleumlampen die gängigen Lichtspender. Die vermutlich ältesten Kerzen stammen aus China zur Zeit der Han-Dynastie, sie wurden aus dem Tran von Walfischen hergestellt. Seit ungefähr 1850 waren hauptsächlich tierische Fette die Grundsubstanzen, für hochwertige Produkte diente auch Bienenwachs als Ausgangsmaterial. Die industrielle Erdölgewinnung führte dazu, dass Paraffin zur Basis der Kerzenproduktion wurde. Anders als bei tierischen Fetten ist das Verbrennen von Paraffinen nahezu ohne Rauch möglich.

Wenig Effizienz

Die Flamme einer durchschnittlichen Kerze aus heutiger Produktion hat eine Leistung von ungefähr 80 W. Bei einer Lichtausbeute von nur 0,16 Lumen

etwa 32 W.

Wir haben darüber nachgedacht, ob sich die schlechte Energiebilanz ändern lässt. Mit der modernen Energie-Elektronik ist Verblüffendes machbar, warum nicht auch beim Wirkungsgrad von Kerzen? Teelichte sind vor allem in hohen Stückzahlen erstaunlich preiswert. Schon dies war ein Grund, die Energie für eine Beleuchtung eben nicht den Batterien, Akkus oder dem Stromnetz zu entnehmen. Die Teelichte können als alternative Energiequelle dienen!

Realisierte Theorie

Unser thermo-elektrischer Generator arbeitet mit zwei in Reihe geschalteten Exemplaren des 40 · 40 mm großen Peltier-Elements TEC1-12706 (**Bild 1**). Die Peltier-Elemente sind mit Federn zwischen zwei Kühlkörpern eingeklemmt. Die Konstruktion ist höhenverstellbar über einem Teelichthalter angeordnet.

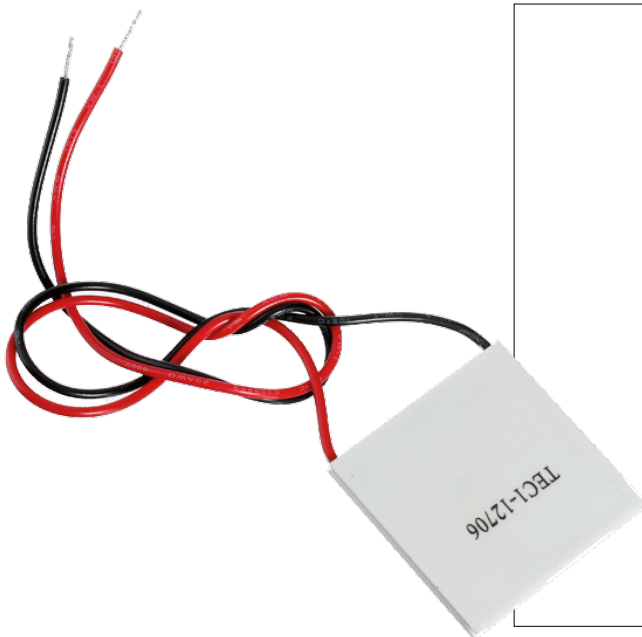


Bild 1. Das Peltier-Element TEC1-12706.

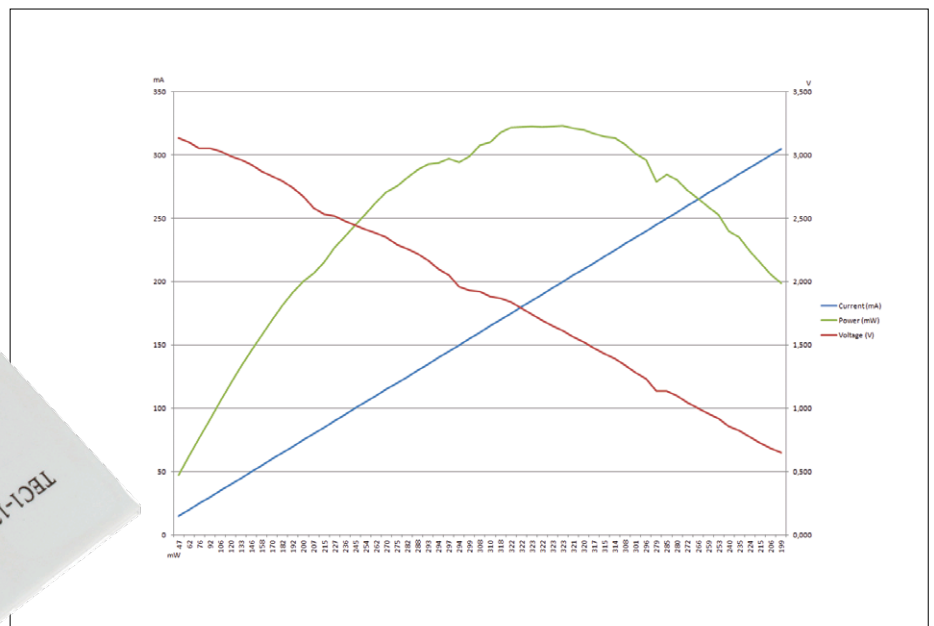


Bild 2. Verlauf von Spannung, Strom und Leistung. Der Maximum Power Point (MPPT) ist deutlich erkennbar.

Eigenschaften

- Erzeugt elektrisches Licht aus Kerzenlicht
- Betriebsdauer 4 bis 5 Stunden pro Teelicht
- Attraktives transparentes Gehäuse (zwei Ausführungen erhältlich)
- Bauteile-Paket einschließlich LED-Lampe und Teelichten lieferbar

pro Watt wird die meiste Energie in Wärme umgesetzt. Der Wirkungsgrad ist verglichen mit einer konventionellen Glühlampe, die bekanntlich kein Vorbild an Effizienz ist, noch einmal um den Faktor 100 schlechter.

Die bekannten Teelichte, die auch bei diesem Projekt zum Einsatz kommen, brennen mit einem kürzeren Docht als lange Kerzen. Die Leistung von Teelichten liegt deshalb niedriger, abhängig von der Sorte des Paraffins beträgt sie nur

Der untere Kühlkörper mit den Abmessungen 40 · 40 · 40 mm verteilt die Wärme des Teelichts über die Oberflächen der Peltier-Elemente. Der obere Kühlkörper hat die doppelte Höhe, sein thermischer Widerstand liegt deshalb deutlich niedriger. Zusammen mit einem darauf montierten Lüfter sorgt er auf der kalten Seite der Peltier-Elemente für eine möglichst gute Kühlung. Letztes Glied der Kette ist ein DC/DC-Spannungswandler, er setzt die

Spannung der Peltier-Elemente in eine für LED-Lampen passende Spannung um. Der Lüfter wird ebenfalls an der von den Peltier-Elementen erzeugten Spannung betrieben. Das mag auf den ersten Blick widersinnig erscheinen, doch die Praxis hat das Gegenteil bewiesen. Die für die LED-Lampe verfügbare Energiemenge ist mit dem Lüfter mindestens gleich oder höher als ohne Lüfter, gleichzeitig wird durch den Lüfter die Überhitzungsgefahr der Peltier-Elemente gemindert. Die internen Verbindungen des Peltier-Elements TEC1-12706 bestehen aus einer Wismut-Legierung, der Schmelzpunkt liegt bei 138 °C. Ein deutlicher Abstand von dieser Temperatur nach unten ist unbedingt notwendig.

Bei Messungen im Verlauf der Entwicklung dieses Projekts haben wir die Peltier-Elemente mit einem Drahtpotentiometer belastet. Die gemessene Ausgangsspannung abhängig von der Last ist in **Bild 2** grafisch dargestellt. Der Lüfter wurde an einer externen Spannungsquelle 3,3 V betrieben, so dass er die Messungen nicht beeinflussen konnte. Die Kerzenflamme befand sich bei maximaler Intensität etwa 5...10 mm unter dem unteren Kühlkörper, dabei stellte sich ein thermisches Gleichgewicht ein. Die Spannung an den Peltier-Elementen lag ohne Belastung bei 3,2 V. Da sich Peltier-Elemente (und auch andere alternative Energiequellen) wie Spannungsquellen mit hohen Innenwiderständen verhalten, brach die Spannung bei steigender Belastung ein. In der Grafik ist auch die gewonnene Leistung (Spannung · Strom) dargestellt. Dieser Kurve lässt sich entnehmen, dass die maximale Leistung etwa 320 mW im Spannungsbereich 1,6...1,7 V beträgt. Dort befindet sich der so genannte *Maximum Power Point* (MPPT). Wenn die Kerzenflamme weniger intensiv leuchtet, beträgt die offene Klemmenspannung nur noch etwa 2,2 V, die Leistung im MPPT geht auf ungefähr 180 mW zurück. Ohne Lüfter sind nur Leistungen von 80...100 mW erreichbar. Theoretisch beträgt der Wirkungsgrad eines thermoelektrischen Generators 5...8 %, so dass ein Teelicht mit der Wärmeleistung 32 W eine elektrische Leistung von 1,6...2,56 W liefern kann. In der Praxis fällt die Ausbeute an elektrischer Energie niedriger aus, weil Wärmeleistung an die Umgebung verloren geht und die verwendeten Peltier-Elemente nicht für den Einsatz in thermoelektrischen Generatoren konstruiert sind. Die

Der Seebeck-Effekt

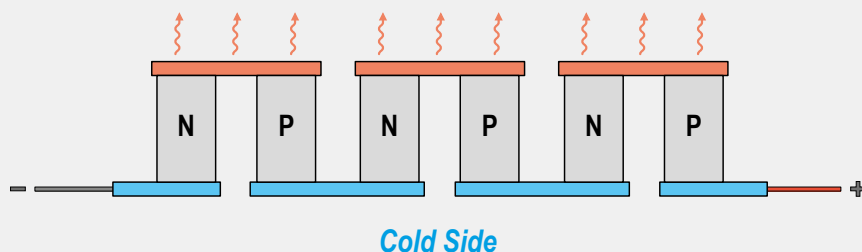
Jeder gestandene Elektroniker kennt vermutlich das Prinzip des Thermoelements. Weniger bekannt dürfte die Thermosäule sein, die aus mehreren in Reihe geschalteten Thermoelementen besteht und zum präzisen Messen geringer Temperaturdifferenzen eingesetzt wird. Bekannte Anwendungen sind kontaktlose Infrarot-Thermometer und elektronische Fieberthermometer. Nur nebenbei: Wärmebildkameras verwenden so genannte Mikrobolometer, ihr Funktionsprinzip ist ein völlig anderes.

Der baltisch-deutsche Physiker Thomas Johann Seebeck entdeckte im Jahr 1821, dass ein Ring aus zwei unterschiedlichen Metallen eine Kompassnadel bewegt, wenn zwischen den beiden Schweißstellen eine Temperaturdifferenz besteht. Ihm blieb jedoch verborgen, dass in dem Ring ein Strom fließt, deshalb nannte er seine Entdeckung „Thermomagnetischer Effekt“. Erst der dänische Physiker Hans Christian Ørsted erkannte die tatsächlichen Zusammenhänge, von ihm stammt der Begriff „Thermo-Elektrizität“.

Es vergingen 13 Jahre, bis der französische Uhrmacher Jean Athanase Peltier entdeckte, dass der Seebeck-Effekt umkehrbar ist. Wenn ein Strom durch einen aus zwei Metallen zusammengeschweißten Draht fließt, steigt die Temperatur auf einer Seite der Schweißstelle, während die Temperatur der anderen Seite sinkt. Erst ab ungefähr Mitte des letzten Jahrhunderts wurde der Peltier-Effekt dank der damals aufstrebenden Halbleiterfertigung technisch genutzt. Der Effekt tritt nämlich nicht nur bei unterschiedlichen Metallen, sondern auch bei Halbleitern in Erscheinung. Das konnte Jean Athanase Peltier zu seiner Zeit noch nicht ahnen.

Ein Peltier-Element ist eine Festkörper-Wärmepumpe, die mit elektrischer Energie Wärme von einer Seite zur anderen Seite entgegen einem Temperaturgradienten transportiert. Das Bauelement besteht aus zwei Platten aus thermisch leitendem, jedoch elektrisch isolierendem keramischem Material, meistens Aluminiumoxid, Al_2O_3 . Das Halbleiter-Material ist zwischen den als Träger dienenden Platten eingebettet. Verwendet wird meistens n- und p-dotiertes Wismut(III)Tellurid, die einzelnen Bereiche sind über Platinbahnen auf dem keramischen Träger miteinander verbunden. Auf der kalten Seite fließt der Strom vom p- zum n-dotierten Material, auf der warmen Seite entgegengesetzt (konventionelle Stromrichtung).

Wegen des schlechten Wirkungsgrads von Peltier-Elementen werden sie hauptsächlich zur Kühlung in Anwendungen eingesetzt, die auf engem Raum mit wenig Kühlleistung auskommen. Beispiele sind die bekannten Kühlboxen, und auch die Bildsensoren einiger Digitalkameras werden mit Peltier-Elementen gekühlt.



Querschnitt durch ein Peltier-Element.

Der Effekt lässt sich umkehren: Wenn eine Seite eines Peltier-Elements erwärmt und die andere Seite gekühlt wird, liefert das Peltier-Element elektrische Energie. Entstanden ist ein so genannter thermoelektrischer Generator, kurz TEG.

Das Einsatzfeld thermoelektrischer Generatoren sind vorwiegend die Satelliten, früher dienten sie auch zur Stromversorgung unbemannter Anlagen in abgelegenen Regionen. Bei solchen Anwendungen ist die Wärmequelle ein radioaktives Isotop, meistens Plutonium 238 oder Strontium 90, die Wärme entsteht durch radioaktiven Zerfall. Zurzeit beschäftigt sich die Forschung unter anderem mit dem *Automotive Thermoelectric Generator* (ATEG), bei dem ein Teil der von Verbrennungsmotoren abgegebenen Wärme in elektrische Energie für die Verbraucher an den Bordnetzen umgewandelt wird.

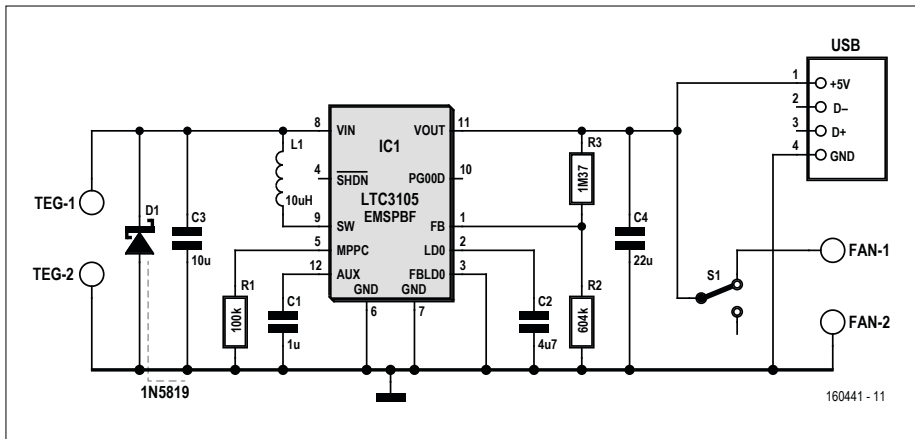


Bild 3. Der LTC3105 ist ein Step-up-DC/DC-Wandler mit einstellbarem MPPT.

Typen mit dem Präfix „TEG1...“ verfügen wesentlich höhere Temperaturen, sie sind für solche Zwecke vorgesehen, haben aber erheblich höhere Preise.

Energie-Elektronik

Beim Projektstart hatten wir die Absicht, die Elektronik vollständig mit bedrahteten Bauelementen zu realisieren, um den Aufbau möglichst nachbaufreundlich zu gestalten. Leider werden viele integrierte Bausteine nur noch in SMD-Bauform produziert, und bedrahtete Elkos anstelle platzsparender SMD-MLCC-Ausführungen hätten deutlich größere Abmessungen der Platine erfordert. Deshalb haben wir unsere Absicht zugunsten der SMDs aufgegeben.

Wichtigstes Bauteil der Schaltung in Bild 3 ist der LTC3105, ein Step-up-DC/DC-Wandler, bei dem sich der MPPT einstellen lässt. Diese Eigenschaft prädestiniert das IC für den hier vorgesehenen Zweck. Der Eingangsspannungsbereich beginnt bei 250 mV, so dass der LTC3105 auch bei vielen *Energy-Harvesting*-Anwendungen zum Einsatz kommt.

Die Schaltung lehnt sich weitgehend an das Beispiel aus dem Datenblatt des LTC3105 an. Mit $R1 = 100 \text{ k}\Omega$ ist der MPPT auf ungefähr 1 V eingestellt. Dieser Wert liegt absichtlich niedriger als der bei intensivem Kerzenlicht erreichte tatsächliche MPPT. Die dadurch bedingten Energieverluste belaufen sich zwar auf etwa 50 mW bei maximaler Flammenintensität (270 mW statt 320 mW), doch der Wandler startet stabiler, unmittelbar nach Anzünden des Teelichts.

Es ist zwar schaltungstechnisch möglich, eine Art MPPT-Tracking hinzuzufügen, indem die Kühlkörper-Temperatur gemessen wird und eine Rückführung zum LTC3105 stattfindet, doch wegen der hohen Komplexität und des eher geringen Nutzens haben wir darauf verzichtet. Hinzu kommt, dass während der vier bis fünf Stunden, die ein gängiges Teelicht brennt, die maximale Intensität nur über eine begrenzte Zeit erreicht wird.

Die MLCC-Kondensatoren haben verglichen mit konventionellen Elkos extrem kompakte Bauformen, in einem SMD des Typs 0805 sind Kapazitäten bis $10 \mu\text{F}$ untergebracht. Ein Minuspunkt des verwendeten Dielektrikums X7R ist das Sinken der Kapazität beim Steigen der anliegenden Spannung. Vergleichbar ist dieser Effekt mit einer Blumenvase, die sich nach oben verengt. Wenn der Wasserstand steigt, steigt auch der Druck

STÜCKLISTE

Widerstände (1 %, 0,125 W, SMD 0805):

- R1 = 100 k Ω
- R2 = 604 k Ω
- R3 = 1,37 M Ω

Kondensatoren (10 V, X7R MLCC):

- C1 = 1 μF , 10 V, 0805
- C2 = 4,7 μF , 10 V, 0805
- C3 = 10 μF , 10 V, 0805
- C4 = 22 μF , 10 V, 1206

Halbleiter:

- D1 = 1N5819HW-7-F SOD-23
- IC1 = LTC3105EMS#PBF
- TEC1, TEC2 = TEC1-12706, 40 · 40 mm

Außerdem:

- L1 = 10 μH 850 mA, abgeschirmt WE-MAPI (Würth 74438335100)
- K1, K2 = Kabelschraubklemme, 2-polig, RM 3,5 mm
- K3 = USB-Buchse, Typ A stehend (Würth 614004185023)
- S1 = Schiebeschalter, SPDT, ON-ON (Würth 450301014042)
- LED-Leuchte „Jansjö USB“ (IKEA 702.912.32)

Mechanische Bauteile:

- 1 · Kühlkörper 40 · 40 · 20 mm, Aluminium, Fischer ICK S Series (Farnell 1850058)
- 1 · Kühlkörper 40 · 40 · 10 mm, Aluminium schwarz eloxiert, Fischer ICK BGA Series (Farnell 1850047)
- 2 · Gewindestange M2, L = 118 mm
- 2 · Gewindestange M2, L = 51 mm
- 4 · Hutmutter M2 (microschroeven.nl, MD-DopMoer -M2 - ME)
- 4 · Rändelmutter M2, hoch, RVS (Fabory 51830020001)
- 4 · Zugfeder 0,5 · 3,5 · 12 mm (Fabory 17902053012)
- 4 · Messingrohr, D = 4 mm · 0,5 mm, L = 26 mm
- 8 · Unterlegscheibe M2, Polyamid

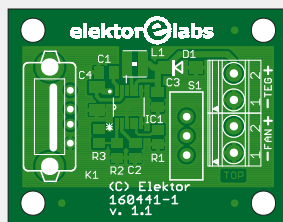


Bild 4. Doppelseitige Platine für den Effizienzbooster.

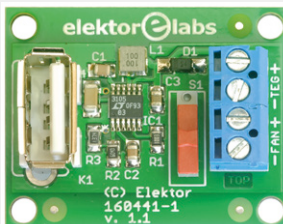


Bild 5. Ansicht der aufgebauten Platine von oben.

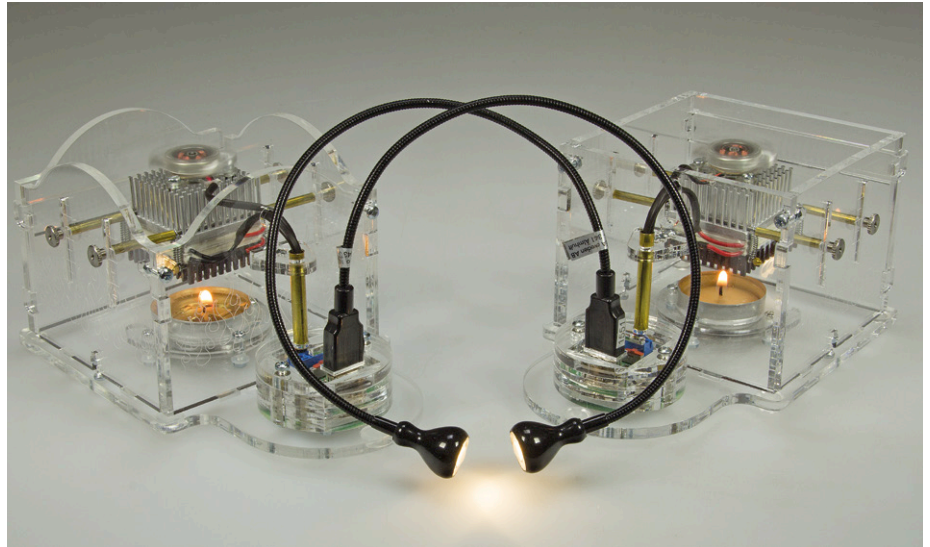
- 1 · Lüfter, transparentes Gehäuse, offen, D = 35 mm, für VGA-Karte (4894462470268)
- 3 · Schraube M3, L = 6 mm, Zylinderkopf/Schlitz (M36 CSSTMCZ100)
- 1 · Schrumpfschlauch 3 mm, Schrumpfung 1:2
- 1 · Schrumpfschlauch 1,6 mm, Schrumpfung 1:2
- 1 · Wärmeleitpaste auf Silikon-Basis (Tube)
- 5 · Gummifuß, selbstklebend (TME RI-RBS-12)
- 14 · Schraube M3, L = 12 mm, Stahl verzinkt, Pozidriv, DIN 7985A
- 3 · Schraube M3, L = 16 mm, Stahl verzinkt, Pozidriv, DIN 7985A
- 13 · Mutter M3, Sechskant, Stahl, DIN 934
- 7 · Abstandshalter 3 mm, Polyamid
- 4 · Unterlegscheibe M3, Polyamid, DIN 125A
- 3 · Wellscheibe M3
- 1 · Messingrohr, D = 6 mm · 0,5 mm, L = 45 mm
- 2 · Abstandshalter F/F, M3, L = 15 mm
- 1 · Gehäuse, Acryl transparent, extrudiert 5 mm, lasergeschnitten

auf den Vasenboden, es kann jedoch weniger Wasser hinzu gegossen werden. Der Effekt ist nicht vernachlässigbar, die Kapazität sinkt bei 3,3 V bereits um rund 20 %. Aus diesem Grund wurde die Kapazität des Ausgangskondensators C4 von zuerst 10 μF auf 22 μF erhöht. Der Wert 22 μF ist nur in der Bauform 1206 erhältlich.

Die Stromaufnahme der LED-Lampe, die hier zum Einsatz kommt, beträgt 55 mA bei der Spannung 5 V, was der Leistung 0,275 W entspricht. Damit liegt sie deutlich über der Leistung 0,15 W, die im Produktdatenblatt angegeben ist. Unser thermoelektrischer Generator kann diese Leistung nicht liefern. Bei 3,3 V sinkt die Stromaufnahme der Lampe auf 39 mA, die Leistung beträgt nur noch 130 mW. Die Lichtintensität wird um 30 % reduziert, sie reicht jedoch noch aus, um ein Buch zu lesen. Aus den vorstehenden Gründen haben wir die Ausgangsspannung des DC/DC-Wandlers auf 3,3 V begrenzt. Bei Spannungen im Bereich 3,0...3,3 V entfällt auf den Lüfter eine Leistung von etwa 95...120 mW. Unser thermoelektrischer Generator ist folglich den Anforderungen gewachsen, auch wenn bei schwacher Kerzenflamme die Ausgangsspannung auf etwa 3,0 V sinkt. Der Lüfter lässt sich mit einem Schiebescalter abschalten. Das kann von Vorteil sein, wenn bei schwacher Kerzenflamme kurzzeitig eine höhere Lichtintensität erwünscht ist. Die zuvor vom Lüfter aufgenommene Energie ist dann für die LED-Lampe verfügbar. Dieser Effekt ist allerdings von nur kurzer Dauer, denn ohne Lüfter steigt die Temperatur des oberen Kühlkörpers an. Die Temperaturdifferenz zwischen den Seiten der Peltier-Elemente sinkt, so dass die entnehmbare Leistung ebenfalls sinkt. Wenn der Lüfter längere Zeit abgeschaltet bleibt, muss unbedingt dafür gesorgt werden, dass sich die Peltier-Elemente nicht überhitzen. Das kann durch Erhöhen des Abstands zwischen der Kerzenflamme und dem unteren Kühlkörper geschehen.

Unser thermoelektrischer Generator ist zum Laden von Mobiltelefon-Akkus, auch nach Erhöhen der Spannung auf 5 V, ausdrücklich *nicht* geeignet, weil die Leistung nicht ausreicht. Das Laden würde mehrere Tage dauern, natürlich vorausgesetzt, dass das Mobiltelefon vollständig abgeschaltet ist. Auf YouTube wird in mehreren Clips demonstriert, dass die Ladeanzeige eines Mobiltelefons reagiert. Doch das bedeutet noch nicht, dass der

► Romantisches Kerzenlicht und helle LED-Beleuchtung reichen sich die Hand



Akku tatsächlich geladen wird.

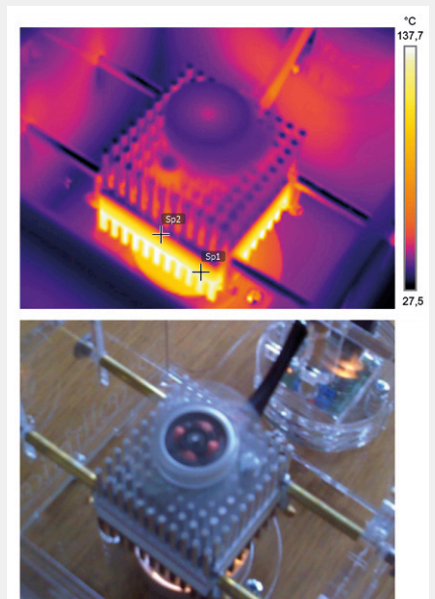
Aufbau und Betrieb

Der erste Schritt ist der Aufbau der Platine, **Bild 4** und **Bild 5** zeigen die Details. Montieren Sie zuerst die SMD-Bauelemente, danach folgen die USB-Buchse, der Schiebescalter und die Kabelschraubklemmen. Um die aufgebaute Platine zu testen, können Sie die Anschlüsse TEG+ und TEG- über einen Widerstand 10 Ω mit einer Spannungsquelle 2 V ver-

binden (eventuell genügt eine 1,5-V-Batterie AA). An den Anschlüssen des Ventilators müssen dann bei geschlossenem Schiebescalter 3,3 V liegen. Zwischen TEG+ und TEG- muss abhängig von der Belastung der Ausgangsspannung mindestens 1 V messbar sein. Dies ist ein Zeichen dafür, dass die MPPT-Funktion des DC/DC-Wandlers arbeitet. Die nächste Aktion ist die Montage des thermoelektrischen Generators. Schrauben Sie die langen Gewindestangen mit

Thermisches Verhalten

Wir haben den Candle 2 LED Booster mit einer Wärmebildkamera FLIR Modell E40 während des Betriebs aufgenommen, das Ergebnis zeigen die Fotos (oben: Infrarot, unten: Normallicht). Das Infrarot-Foto lässt das Temperaturgefälle vom unteren zum oberen Kühlkörper, zwischen denen die Peltier-Elemente eingeklemmt sind, deutlich erkennen. Der laufende Lüfter trägt nicht unwesentlich dazu bei. Weniger deutlich ist sichtbar, dass auch die Außenseite des Gehäuses auf Temperatur ist, was eine (vorsichtige!) Fingerprobe bestätigen kann.



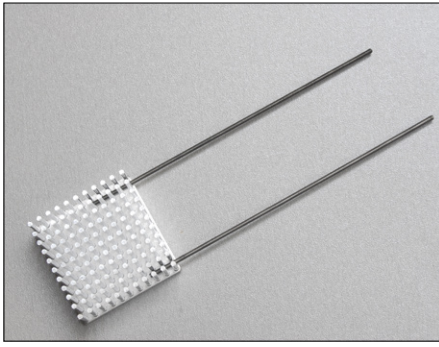


Bild 6. Die Enden der langen Gewindestangen werden zwischen die Kühlkörper-Pfosten gedreht.

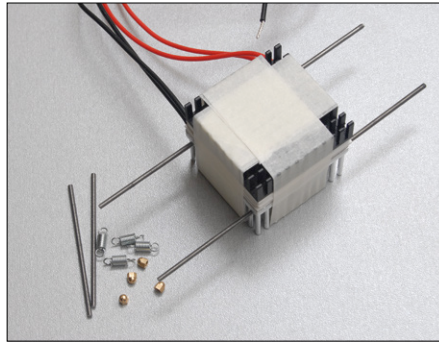


Bild 7. Während der Montage wird die Konstruktion mit Abdeckklebeband fixiert.

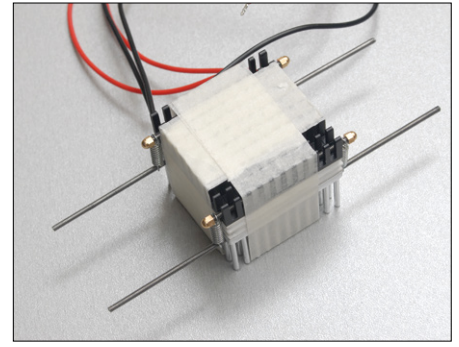


Bild 8. Die Zugfedern pressen die Kühlkörper gegen die Peltier-Elemente.

drehenden Bewegungen, wie in **Bild 6** dargestellt, zwischen die Pfosten des oberen Kühlkörpers. Nicht von oben hindrücken! Die Peltier-Elemente legen Sie auf den oberen, sparsam mit Wärmeleitpaste bestrichenen Kühlkörper, dabei müssen Sie auf die Orientierung der Peltier-Elemente achten. Auf den Stapel folgt dann der untere Kühlkörper. Fixieren Sie den Stapel vorübergehend, wie in **Bild 7** gezeigt, über Kreuz mit Abdeckklebeband. Bringen Sie die kurzen Gewindestangen an und spannen Sie mit einer langen Spitzzange die vier Zugfedern darüber (**Bild 8**). Montieren Sie schließlich den Lüfter.

Nun steht die Montage des transparenten PMMA-Gehäuses an, es ist in zwei Ausführungen lieferbar. Das Gehäuse dient gleichzeitig als Windschutz für die Kerzenflamme. Montieren Sie den thermoelektrischen Generator im Gehäuse, anschließend montieren Sie die Spannungswandler-Platine. Zum Schluss stecken Sie die LED-Lampe in die USB-Buchse. **Bild 9** zeigt, wie der fertige Aufbau aussieht.

Stellen Sie jetzt die Höhe des thermoelektrischen Generators mit den seit-

lichen Rändelmuttern so ein, dass der Abstand zur Flammenspitze etwa 15 mm beträgt. Schalten Sie mit dem Schiebescalter den Lüfter ein, und setzen Sie das brennende Teelicht vorsichtig in den Halter. Nach einigen Minuten leuchtet die LED-Lampe schwach auf. Warten Sie noch eine bis zwei Minuten, während die Helligkeit langsam steigt, und stoßen Sie dann das Lüfterrad entgegen dem Uhrzeigersinn an. Das Lüfterrad sollte nun rotieren, anderenfalls stoßen Sie es nach kurzer Wartezeit noch einmal an. Falls sich das Lüfterrad nicht dreht, prüfen Sie die Stellung des Schiebescalters. Das Lüfterrad muss angestoßen werden, weil der Lüfter für die Spannung 12 V ausgelegt ist, er wird hier außerhalb seines normalen Spannungsbereichs betrieben. Bei seiner Nenndrehzahl wäre der Energiebedarf zu hoch, im Luftstrom würde die Teelichtflamme stark flackern und es würden unerwünschte Geräusche entstehen.

Wenn der Lüfter zu drehen beginnt, flackert die LED-Lampe, weil der thermoelektrische Generator noch nicht die maximale Energie liefert und elektrische Störsignale die Elektronik beein-

trächtigen. Das Flackern hält nur wenige Minuten an, abhängig von der Intensität der Teelichtflamme. Ist das Paraffin noch nicht vollständig geschmolzen, kann diese Zeit kürzer sein. Während des Betriebs kann die Höhe des thermoelektrischen Generators abhängig von der Teelichtflamme von Zeit zu Zeit nachgestellt werden. Die Höhe ist wenig kritisch, ein Abstand von 10...20 mm zur Flammenspitze ist meistens optimal.

Zum Schluss noch ein sehr wichtiger Hinweis: Da der Candle 2 LED Booster mit einer offenen Flamme betrieben wird, darf er wegen potentieller Brandgefahr niemals unbeaufsichtigt gelassen werden! ◀

(160441)gd

EINKAUFSZETTEL

→ 160144-71/72

Bauteile-Paket



Bild 9. Das Gehäuse ist in zwei Ausführungen erhältlich.