

CHẾ TẠO MẠCH ỨNG DỤNG LINH KIỆN NHIỆT ĐIỆN (TEG) CHO TRỮ ĐIỆN ELECTRICAL CIRCUITS WITH THERMOELECTRIC GENERATORS (TEG) FOR POWER STORAGE

Vũ Thanh Tùng^{1,2}, Nguyễn Văn Hiếu¹

¹ Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQG Tp.HCM, Việt Nam

² Phân hiệu Trường Đại học Giao thông Vận tải tại Tp.HCM, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 23/11/2017, ngày phân biện đánh giá 4/12/2017, ngày chấp nhận đăng 15/1/2018.

TÓM TẮT

Hiện tượng nhiệt điện là sự chuyển đổi trực tiếp năng lượng nhiệt thành năng lượng điện (Thermo-electric generators, TEG). Mặc dù hiệu suất của TEG là khá thấp (trong khoảng nhiệt độ từ nhiệt độ phòng đến 100°C thì hiệu suất đạt xấp xỉ 10%) nhưng công nghệ này là mối quan tâm của các nhà nghiên cứu trên thế giới. Một trong những lý do đó là mô hình sản xuất năng lượng đã thay đổi, nguồn năng lượng bền vững đóng vai trò rất quan trọng trong hiện tại và trong tương lai. Trong nhiều thiết bị và qui trình hoạt động, nhiệt thải ra là một sản phẩm không mong muốn. Do đó, những ứng dụng của TEG rất cần thiết để tái sử dụng nguồn nhiệt này. Tuy nhiên, làm thế nào sử dụng hiệu quả hiệu ứng nhiệt điện không là bài toán đơn giản mà đòi hỏi nhiều nghiên cứu đa ngành và công nghệ chế tạo thiết bị phức tạp. Các nhà khoa học trên thế giới đã và đang chạy đua nghiên cứu khoa học vật liệu và các cấu trúc tối ưu của TEG. Để nghiên cứu hiệu suất tạo nguồn điện của các linh kiện TEG, trong báo cáo này, hệ thiết bị điện đã trình bày kết quả khảo sát dòng và thế tạo ra từ sự chênh lệch nguồn nhiệt tác dụng vào 4 TEG. Hệ đo được sử dụng mô đun linh kiện nhiệt điện TEG1-12610-5.1 để lắp đặt mạch ứng dụng tái tạo năng lượng nhiệt sử dụng cho bộ lưu trữ điện (pin Lithium 3.7V) và nối với máy vi tính để hiển thị dữ liệu. Các đồ thị khẳng định khả năng tạo điện của TEG rất ổn định và có thể ứng dụng cho các thiết bị điện khác.

Từ khóa: mô hình TEG; ANSYS; thermal power; power bank; đèn LED.

ABSTRACT

Thermoelectricity is the direct conversion of thermal energy to electricity (as in thermo-electric generators (TEG)). Although the efficiency of TEG is quite low (within a room temperature of 100°C, the efficiency is approximately 10%), but this technology is of interest to researchers around the world. One of the reasons is that the model of energy production has changed, sustainable energy plays a very important role in the present and the future. In many equipment and processes, the waste heat is an unwanted product. Therefore, the applications of TEG are of great interest for recycling the energy. However, how to use effectively the thermo-electric energy is not simple and it requires multi-disciplinary research and high-tech facility fabrication. Researchers all over the world have been studying continuously on materials science and the best structure of TEGs. Studying the efficiency of power generation for TEG components, this work reports the results of the current and voltage measurement from the difference in the heat sources in 4 TEGs. The system used the TEG1-12610-5.1 thermocouple module to install a heat energy application circuit for power storage (with 3.7V Lithium battery) and was connected to a computer for data acquisition. The data of graphs confirm that TEG's power generation is very stable and can be applied to other electrical devices.

Keywords: TEG modules; ANSYS; thermal power; power bank; light sources.

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, nhu cầu sử dụng năng lượng ngày càng cao, nguồn nguyên liệu sẵn có ngày càng cạn kiệt. Do đó, việc tái tạo năng lượng là rất cần thiết đối với các quốc gia trên thế giới. Theo dự báo, thị trường năng lượng nhiệt điện sẽ tăng từ 40 triệu đô la trong năm 2014 đến 950 triệu đô la năm 2024 [1,2]. Mặc dù hiện tượng nhiệt điện đã được ứng dụng khá rộng rãi trong các thiết bị sưởi ấm, làm mát. Nhưng bộ phận chuyên nhiệt thành điện vẫn còn ứng dụng rất hạn chế, chủ yếu được ứng dụng trong ngành công nghiệp xe hơi.

Hiện nay, có một số lĩnh vực ứng dụng bộ phận chuyên nhiệt thành điện được biết đến phổ biến là thu hồi nhiệt thải ra từ động cơ xe mà các tập đoàn xe hơi như Volkswagen, VOLVO, FORD và BMW đã hợp tác với NASA trong nghiên cứu thu hồi nhiệt thải ra từ xe đó là lợi điểm cạnh tranh của dòng xe ô tô đời mới trong thời gian tới [3,4]. Bên cạnh đó, các thiết bị biến nhiệt thành điện có thể được sử dụng cho điện thoại di động, đồng hồ hoặc các thiết bị điện tử, thậm chí sử dụng cho cảm biến đo nhịp tim, cảm biến theo dõi nhiệt độ cơ thể [5].

Do vậy, việc nghiên cứu về vấn đề nhiệt điện nhằm đánh giá, tìm ra những giải pháp tối ưu và hiệu quả để cho các thiết bị điện tử làm việc hiệu quả và thời gian sử dụng lâu dài là rất cần thiết. Ngoài ra còn phát triển trong nhiều lĩnh vực khác nhau nhằm đáp ứng nhu cầu của con người.

2. NỘI DUNG THỰC HIỆN

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã biết được các thông số kỹ thuật của linh kiện nhiệt điện TEG1-12610-5.1 và chế tạo một hệ đo và xây dựng phần mềm ghi dữ liệu thông qua phần mềm Labview. Các kết quả đo I và V theo độ chênh lệch nguồn nhiệt và hiệu suất của linh kiện nhiệt điện để nạp vào bộ lưu điện (sạc pin lithium 3.7V) mà có thể sử dụng cho sạc điện thoại di động hoặc thắp sáng đèn LED công suất nhỏ.

3. CẤU TRÚC CỦA TEG

3.1. Công thức tính

Linh kiện nhiệt điện (TEG) là thiết bị chuyển đổi trực tiếp từ năng lượng nhiệt thành năng lượng điện [3] và ngược lại. Linh kiện nhiệt điện được gắn trực tiếp vào các vị trí: thiết bị làm mát không gây tiếng ồn, thiết bị hấp thụ nhiệt lãng phí từ các ống xả hoặc động cơ đốt,... để chuyển đổi thành năng lượng điện để có thể tái sử dụng. Mặc dù hiệu suất của các linh kiện nhiệt điện vẫn còn thấp so với các công nghệ hiện có, nhưng việc sử dụng linh kiện nhiệt để thu nhiệt thải vẫn có tính khả thi cao do nhiệt lượng thải ra từ các động cơ đốt trong là rất lớn.

Linh kiện nhiệt điện hoạt động dựa trên nguyên lý Seebeck là sự chuyển hóa sự chênh lệch nhiệt độ thành điện áp. Khi nhiệt lượng (Q) chảy từ phía nóng (T_h) sang phía lạnh (T_c) sẽ sinh ra công suất điện (P). Hiệu suất nhiệt của linh kiện nhiệt (η) được định nghĩa như sau [4]:

$$P = \eta \cdot Q \quad (1)$$

η phụ thuộc mạnh vào sự chênh lệch nhiệt độ (ΔT) trên thiết bị.

Cũng giống như những động cơ nhiệt khác, hiệu suất của linh kiện nhiệt điện có thể được tính từ phương trình sau [4]:

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_h} \frac{\sqrt{1 + Z_T} - 1}{\sqrt{1 + Z_T} + T_c/T_h} \quad (2)$$

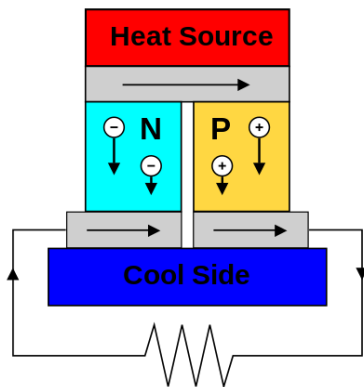
Trong đó:

- Z_T là hệ số phẩm chất nhiệt điện cho bởi phương trình $Z_T = \alpha^2 \sigma T / \kappa$.
- α là hệ số Seebeck tính bằng Điện thế/Nhiệt độ (Volt/Temperature).
- σ là độ dẫn điện.
- T là nhiệt độ tuyệt đối và κ là độ dẫn nhiệt.

3.2. Cấu trúc modun TEG

Mô đun TEG bao gồm nhiều chân được làm bằng chất bán dẫn loại n và loại p tạo thành cặp nhiệt điện, các cặp nhiệt điện được

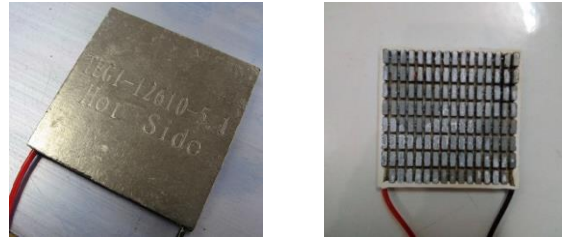
nối nối tiếp với nhau và mặt nhiệt độ thì song song với nhau. Các chân bán dẫn được kết nối với nhau thông qua các tấm đồng dẫn điện và chúng được kẹp giữa hai tấm gốm dẫn nhiệt nhưng cách điện. Trong TEG, hai đầu của chân bán dẫn loại n và loại p có mức nhiệt độ khác nhau. Các hạt mang điện có khuynh hướng khuếch tán theo hướng có thể để đạt được trạng thái cân bằng trong các chân n và p. Điều này có nghĩa các hạt tải điện ở mặt nóng sẽ di chuyển về phía lạnh (trong bán dẫn loại n) và các hạt tải điện sẽ di chuyển về phía mặt nóng (trong bán dẫn loại p). Nếu nhiệt độ chênh lệch được giữ không đổi, sự khuếch tán của các hạt mang điện sẽ hình thành một dòng nhiệt không đổi, do đó sẽ xuất hiện dòng điện không đổi đi qua chân bán dẫn loại n và chân bán dẫn loại p trong TEG. Các electron trong chân bán dẫn loại n ở mặt nóng sẽ di chuyển về phía mặt lạnh băng qua tấm kim loại kết nối và đi vào chân bán dẫn loại p khi có điện trở tải (hình 1), tạo thành dòng điện chạy trong mạch khép kín. Các lỗ trống trong chân bán dẫn loại p sẽ đi theo hướng từ nguồn nóng sang nguồn lạnh. Sử dụng phần mềm mô phỏng ANSYS và Intellisuite để biết sự lan truyền nhiệt và qui trình chế tạo [6].



Hình 1. Sơ đồ hoạt động của TEG [3]

3.3. Thông số kỹ thuật của TEG

Trong phần nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng linh kiện nhiệt điện có mã số TEG1-126010-51 đang có trên thị trường Châu Á để thiết kế vào hệ tạo nhiệt điện như hình 3. Các thông số kỹ thuật của TEG này được trình bày trong bảng 1.



Hình 2. Hình chụp mặt ngoài và bên trong của linh kiện TEG1-126010-51

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của TEG [4,5]

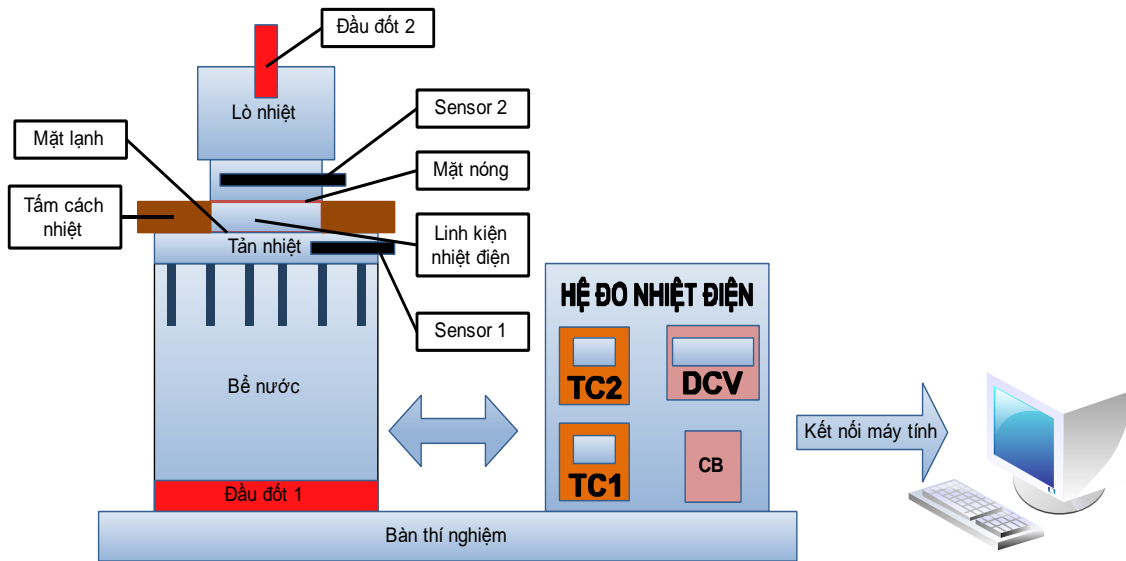
Thông số kỹ thuật TEG	Giá trị
Nhiệt độ mặt nóng	300 °C
Nhiệt độ mặt lạnh	30 °C
Điện áp mạch hở	7.8 V
Điện trở tải	3 Ω
Điện áp ra khi có tải	5.1 V
Dòng ra khi có tải	1.3A
Công suất ra khi có tải	5.1W
Dòng nhiệt chạy qua mô đun	~ 113W
Mật độ dòng nhiệt	~ 7 Wcm ⁻²
Điện trở AC hoạt động ở nhiệt độ 27°C, 1000Hz	1.3 ~ 1.8Ω

4. XÂY DỰNG HỆ ĐO

4.1. Thiết kế hệ đo

Để khảo sát đặc tuyến I-V [7] của TEG1-12610-5.1, chúng tôi đã thiết kế và chế tạo hệ thí nghiệm (hình 3) bao gồm các thành phần sau:

- Bể nước: được sử dụng để cấp nguồn nhiệt ổn định cho mặt lạnh.
- Lò nhiệt: được sử dụng để cấp nguồn nhiệt cho mặt nóng.
- TC₁: đặt, đo, điều khiển nhiệt độ mặt lạnh (bể nước).
- TC₂: đặt, đo, điều khiển nhiệt độ mặt nóng (lò nhiệt).
- DCV: đo điện áp ra của linh kiện nhiệt điện (TEG).
- Sensor 1: đầu đo nhiệt độ mặt lạnh.
- Sensor 2: đầu đo nhiệt độ mặt nóng.



(a)



(b)

Hình 3. Sơ đồ nguyên lý (a) và bộ thí nghiệm TEG (b) [8]

Tấm cách nhiệt: được sử dụng để hạn chế và làm giảm ảnh hưởng nhiệt độ của lò nhiệt lên mặt lạnh.

Kết nối máy tính: Hệ đo và PC qua cổng USB để ghi dữ liệu và vẽ biểu đồ.

Linh kiện nhiệt điện được đặt vào hệ thống thí nghiệm sao cho mặt lạnh sát với tấm tản nhiệt trên bể điều nhiệt. Đặt tấm cách nhiệt vào để hạn chế nhiệt độ tỏa ra từ lò nhiệt lên tấm tản nhiệt. Đặt lò nhiệt ép sát với mặt nóng của linh kiện nhiệt điện.

Đầu ra của linh kiện được nối với đồng hồ DCV để đo dòng và đo điện áp ra. Đặt nhiệt độ của bể điều nhiệt và nhiệt độ lò nhiệt. Khi nhiệt độ của bể điều nhiệt đạt tới nhiệt độ

đặt và ổn định, khi đó bắt đầu mở công tắc để đốt lò nhiệt liên tục từ nhiệt độ bằng nhiệt độ mặt lạnh đến nhiệt độ đặt để khảo sát. Dữ liệu từ hệ đo được máy tính ghi lại thông qua phần mềm được lập trình bằng Labview.

4.2. Kết quả khảo sát

Để có được điện áp và dòng điện, hệ thống yêu cầu phải có sự chênh lệch về nhiệt độ giữa mặt nóng và mặt lạnh. Khi đó điện thế và dòng điện có thể tính được theo công thức [3]:

$$V = \int_{T_1}^{T_2} (\alpha_p(T) - \alpha_n(T)) dT \quad (3)$$

$$I = (\alpha_p - \alpha_n) * \frac{\Delta T}{R + R_L} \quad (4)$$

Trong đó: α_n , α_p là hệ số Seebeck của kim loại n, p và là một hàm của nhiệt độ; T_1 , T_2 là nhiệt độ của hai mối nối; R là điện trở nội của TEG; R_L là điện trở tải. Hệ số Seebeck không phải là một hàm tuyến tính theo nhiệt độ, nó phụ thuộc vào nhiệt độ tuyệt đối của

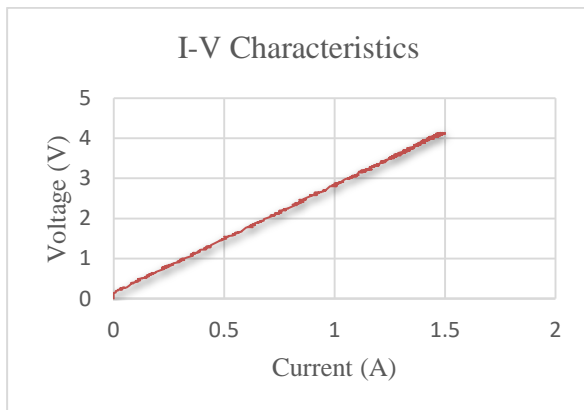
vật dẫn, vật liệu. Nhiệt độ mặt lạnh được giữ ở 30°C, nhiệt độ mặt nóng thay đổi từ 30°C đến 400°C, điện trở tải 3Ω. Kết quả đo bằng Labview của 4 tấm TEG được liệt kê trên bảng dưới.

Bảng 2. Kết quả đo I, V ở $T_c=30^\circ\text{C}$ của 4 tấm TEG với I có giai đo amper và V là voltage [8]

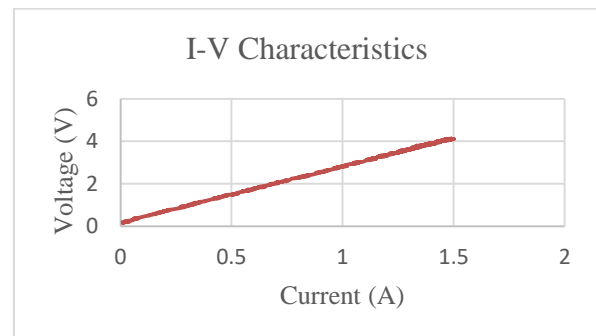
Tấm 1								
I (A)	0.11	0.42	0.72	0.95	1.16	1.32	1.44	1.48
V (V)	0.43	1.29	2.06	2.7	3.27	3.68	3.98	4.11
Tấm 2								
I (A)	0.06	0.38	0.68	0.93	1.13	1.30	1.42	1.48
V (V)	0.32	1.18	1.95	2.63	3.17	3.60	3.92	4.09
Tấm 3								
I (A)	0.01	0.26	0.47	0.67	0.84	0.94	1.05	1.11
V (V)	0.20	0.84	1.38	1.96	2.37	2.70	2.94	3.12
Tấm 4								
I (A)	0.08	0.39	0.64	0.85	1.02	1.15	1.23	1.27
V (V)	0.37	1.18	1.83	2.41	2.85	3.2	3.40	3.48

Kết quả thể hiện trong hình 4 cho thấy dòng điện và điện áp tỉ lệ thuận với khoảng chênh lệch nhiệt độ giữa mặt nóng và mặt lạnh. Điều này cho thấy 4 tấm TEG đồng nhất nên tạo ra dòng/thế khá ổn định.

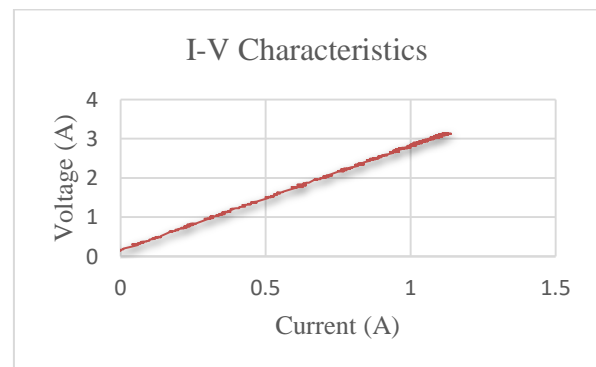
Tiếp theo, chúng tôi khảo sát sự thay đổi của dòng I và thế V khi nhiệt độ chênh lệch giữa 2 tấm nóng-lạnh chủ yếu từ 30°C đến 300°C để khảo sát hình dạng của đặc tuyến I-V.



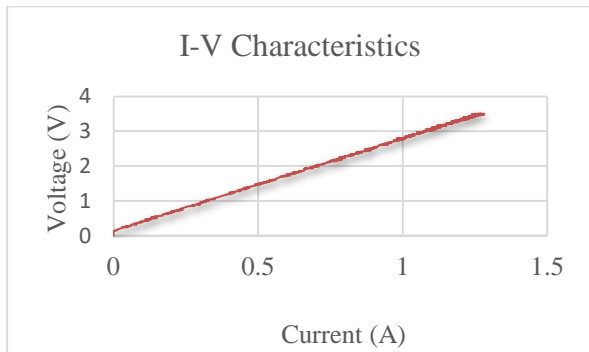
Hình 4. Đặc tuyến I-V của tấm 1



Hình 5. Đặc tuyến I-V của tấm 2



Hình 6. Đặc tuyến I-V của tấm 3

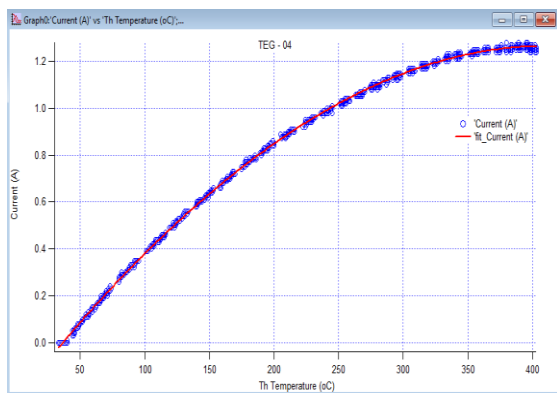


Hình 7. Đặc tuyến I-V của tấm 4.

Từ đồ thị và đặc tuyến I-V của 4 tấm TEG cho thấy, điện áp và dòng điện tỉ lệ thuận với nhau. Chất lượng linh kiện được chế tạo tương đối đồng đều.

Tuy nhiên, trong quá trình gia nhiệt của bộ đốt, nhiệt độ không tăng tuyến tính, dẫn đến sự gợn sóng như trên đồ thị.

Ngoài ra, do bề dày của tấm TEG mỏng, nhiệt từ mặt nóng truyền sang mặt lạnh khi nhiệt độ mặt nóng càng lên cao. Khi đó nhiệt độ mặt lạnh không còn ổn định ở 30°C nhưng ΔT vẫn đạt được đến $\Delta T = 300^\circ\text{C}$.



Hình 8. Đồ thị dòng điện I theo nhiệt độ T_h của tấm 4.

Tuy nhiên, từ đồ thị cho thấy, đường fitting có dạng $y(T) = k_3T^3 + k_2T^2 + k_1T + k_0$ là

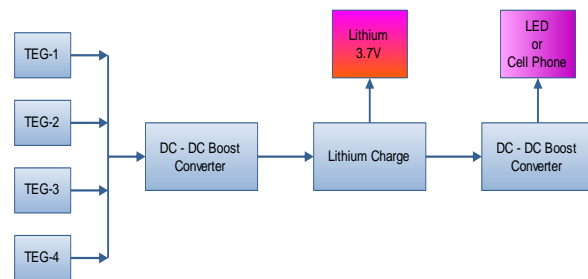
$$y(T) = (-2.3427 \times 10^{-9}) \cdot T^3 + (-7.07 \times 10^{-6}) \cdot T^2 + (0.0069723) \cdot T + (-0.24385)$$

Kết quả cho thấy các giá trị k_2 và k_3 rất nhỏ ($< 10^{-6}$) nên hàm $y(T)$ trở thành $y(T) = k_0 + k_1T$ là đường thẳng không khoảng nhiệt độ bé hơn 250°C . Điều này khẳng định rằng, dòng I và điện thế V của 4 TEG khá đồng đều ở nhiệt độ giới hạn. Bằng phương

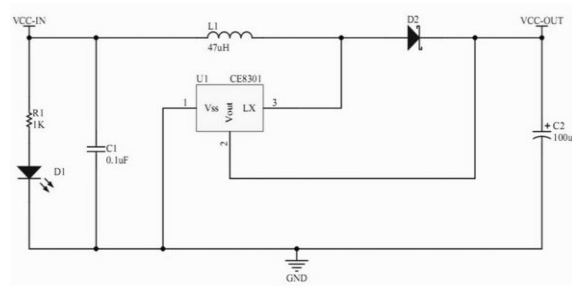
pháp này, các TEG có tính chất gần nhau sẽ được chọn để gắn vào mạch ứng dụng tạo ra chất lượng điện ổn định.

4.3. Ứng dụng của linh kiện nhiệt điện

Tiếp theo, 4 tấm TEG này được sử dụng để nạp điện cho nguồn pin 3.7V như hình 9 và thắp sáng bóng đèn vào hình 10.

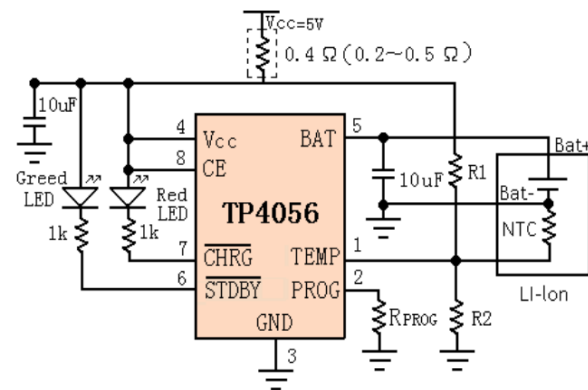


Hình 9. Sơ đồ khối mạch sạc pin Lithium.



Hình 10. Sơ đồ mạch khuếch đại điện áp (Boost Converter)

Boost Converter là bộ biến đổi nguồn DC-DC có điện áp đầu ra lớn hơn điện áp đầu vào. Điện áp DC đầu vào mắc nối tiếp với cuộn cảm có vai trò như một nguồn dòng. CMOS CE8301 đóng vai trò là chuyển mạch. Năng lượng cấp từ cuộn cảm và nguồn làm cho điện áp đầu ra tăng lên.



Hình 11. Sơ đồ nguyên lý của mạch sạc pin.

Giải thích các linh kiện trong mạch sạc:

Điện trở 0.4 ohm: giúp chịu năng lượng hao phí khi sạc pin. Vì điện áp hao phí sẽ bằng $U_{vcc} - U_{bat}$, nên toàn bộ năng lượng hao phí dưới dạng nhiệt sẽ tỏa ra trên TP4056 và điện trở này. Nếu điện trở này nhỏ thì nhiệt tỏa ra trên TP4056 sẽ lớn hơn và ngược lại. Ở đây ta sạc pin có điện áp 3.7V với dòng 0.8A, điện trở là 0.4 ohm thì công suất tỏa nhiệt của điện trở là 0.32W còn của TP4056 là 0.72W khá lớn vì kích thước của TP4056 khá nhỏ.

Điện trở R_{prog} làm nhiệm vụ lập trình dòng sạc tối đa cho pin theo công thức:

$$I_{BAT} = \frac{V_{PROG}}{R_{PROG}} * 1200$$

Với ($V_{PROG}=1V$)

Đèn Green LED báo sạc xong, đèn Red LED báo đang sạc. Điện trở R_1 và R_2 để bảo vệ quá nhiệt cho pin. Ngoài ứng dụng để nạp điện thoại, linh kiện nhiệt điện còn được sử dụng trong lĩnh vực y sinh, cung cấp nguồn điện cho các cảm biến, các thiết bị đo được gắn trên cơ thể con người: máy đo nhiệt độ, máy theo dõi nhịp tim,... khi giải quyết xong vấn đề hiệu suất tạo nguồn điện và tối ưu điện trở mạch.



Hình 12. Pin sạc sử dụng thấp sáng đèn LED 1,2W [8].

5. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy cần nhiều linh kiện TEG để tăng lượng điện trữ và độ chênh lệch giữa nguồn nóng và lạnh phải trên $250^{\circ}C$ thì mới có các ứng dụng hiệu quả trong thiết bị điện. Nhưng với sự phát triển của công nghệ vật liệu mới như hiện nay, hiệu suất của linh kiện nhiệt điện sẽ được cải thiện và nâng cao để có được nguồn dòng và điện thế cao hơn để lưu điện cho các ứng dụng khác trong cuộc sống với nguồn nhiệt thấp hơn. Hệ đo đã hoạt động ổn định và cung cấp những cơ sở sự phát triển của công nghệ hiện nay, hiệu suất của tấm nhiệt điện ngày càng số liệu tin cậy để so sánh và đánh giá hoạt động của các TEG. Bên cạnh đó, phương pháp đồ thị được sử dụng để phân loại các TEG để gắn vào mạch ứng dụng.

Cần chế tạo các linh kiện TEG tối ưu để có nhiều ứng dụng với giá thành hợp lý và tối ưu thể tích của thiết bị.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả cảm ơn nhóm mô phỏng và linh kiện MEMS (Bộ môn Vật lý Điện tử, Trường ĐHKHTN-ĐHQG Tp.HCM) đã hỗ trợ đưa ra cấu tạo TEG. Xin cảm ơn các nhà khoa học, đồng nghiệp của Trung tâm ĐTTH & CGCN GTVT (Phân hiệu trường Đại học GTVT tại Tp.HCM) đã tạo bố trí phòng thí nghiệm, thiết bị đo và thời gian thực nghiệm.

Trân trọng cảm ơn BBT và các phản biện của tạp chí đã cho ý kiến nhằm nâng cao chất lượng của bài viết này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Molan Li (2011), *Thermoelectric-Generator-Based DC-DC Conversion Network for Automotive Applications*.
- [2] Haman, T.C. *Science*, 2002: 2229.
- [3] G. S. Nolas, J. Sharp, H. J. Goldsmid, *Thermoelectrics Basic Principles and New a. Materials Developments (Springer)*.

- [4] Sergey Skipidarov and Mikhail Nikitin (2016), *Thermoelectrics for Power Generation - A Look at Trends in the Technology*
- [5] <http://www.greencarcongress.com/2014/12/20141203-gmz.html>
- [6] Nguyen Van Hieu (VNUHCM-University of Science), Book for study, design of MEMS and their applications (In Vietnamese), VNUHCM Publisher, 2011.
- [7] Nguyen Huu Trung, Vu The Dang and Nguyen Van Hieu, The study of shape of electrodes and I-V characteristics for Ultraviolet LED, (Journal of IKEEE.Vol.17,No.3,221-228 (Jul,2013).
- [8] Nguyen Van Hieu, Nguyen Hoang Quan và Vu Thanh Tung: Proceeding of 1st MRS Thailand International Conference, Symposium 5 invited talk: *The application circuits of Thermoelectric Generator (TEG) in the charging battery* (The First Materials Research Society of Thailand International Conference, October 31 – November 3, 2017, Chiang Mai, Thailand)

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

Vũ Thanh Tùng

Phân hiệu Trường Đại học Giao thông Vận tải tại Tp.HCM.

Email: vttung@utc2.edu.vn