

UTILIZAREA GENERATOARELOR TERMOELECTRICE. STARE ACTUALĂ ȘI DE PERSPECTIVĂ

Autor: Sergiu CAȘU, Conducător: lect. sup, drd. Corina CHELMENCIUC

Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat: În lucrarea dată se expune stadiul actual de utilizare a generatoarelor termoelectrice, avantajele și dezavantajele acestora. De asemenea, sunt prezentate relația de calcul și factorii de care depinde randamentul de conversie a generatoarelor termoelectrice și domeniile în care pot fi utilizate cu succes acestea. Chiar dacă randamentul de conversie a generatoarelor termoelectrice este foarte modest, totuși se recomandă aplicarea acestora, mai ales acolo unde sursa de căldură este un deșeu rezultat din efectuarea proceselor tehnologice de abază.

Cuvinte cheie: generator termoelectric, joncțiune, randament de conversie, factori de calitate ai convertizorului..

1. Generalități

Generatoarele termoelectrice sunt dispozitivele statice care transformă căldura direct în energie electrică. Spre deosebire de motoarele termice tradiționale, aceste generatoare nu conțin piese mobile și sunt complet silențioase. Totuși în comparație cu acestea au o eficiență mai scăzută și puteri de generare mult mai mici.

În construcția generatoarelor termoelectrice se adoptă de obicei o soluție modulară (fig. 1), avantajul constând în asigurarea unei intervenții rapide în caz de defecțiune, cât și realizarea unei game mari de puteri electrice.

Modulele termoelectrice sunt confecționate prin inserarea unui număr de termoelemente cuplate astfel încât joncțiunile *n-p* să fie în contact termic cu placa caldă, iar joncțiunile *p-n* să fie în contact cu placa rece.

Întrucât funcționarea modulelor termoelectrice impune existența unei diferențe de temperatură cât mai mari, între joncțiunile termoelementelor apar tensiuni mecanice datorate dilatării plăcilor de comutație caldă și contracției plăcilor de comutație reci. Acestea pot avea valori destul de mari astfel încât să ducă la distrugerea termoelementelor. Soluționarea acestor probleme în construcțiile practice se realizează în funcție de geometria modulului și domeniul temperaturilor de lucru.

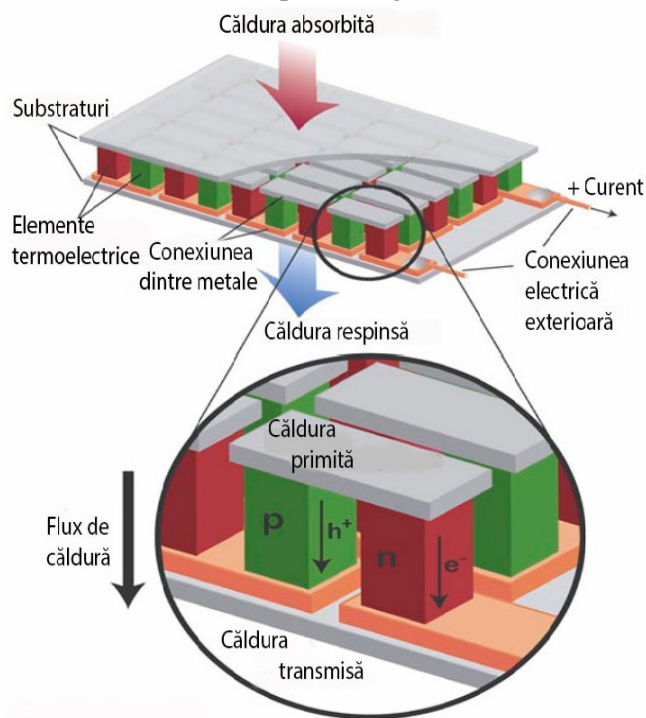


Fig. 1. Schema generatorului termoelectric,[2]

Coblentz a realizat în 1922 termocuple din cromel - constantan care aveau însă un randament de conversie a energiei termice în energie electrică de 0,008%. Ulterior au fost realizate convertitoare din ZnSb, BiSb cu randamente de 0,59%. După 1950 o dată cu apariția și perfecționarea materialelor semiconductoare, efectele termoelectrice au fost utilizate pentru generarea energiei electrice, dar și pentru producerea de frig sau căldură.

Generatoarele termoelectrice s-au dezvoltat pe baza compușilor de tipul Bi_2Te_3 (telura de bismut) cunoscând un randament de conversie modest (maxim 5%), din cauza domeniului de temperatură scăzut.

Descoperirea telurii de plumb ca material termoelectric a permis extinderea domeniului de lucru până la temperaturi de 500°C, ajungându-se la un randament de până la 8 %. Utilizarea aliajelor Si-Ge a ridicat

temperatura de lucru a sursei calde la aproximativ 1000°C, determinând sporirea randamentului de conversie la 10%. Realizarea unor sisteme multietajate a permis obținerea unor randamente globale de 16%.

În fig. 2 este prezentată schema multietajată a unui modul termoelectric care funcționează în intervalul de temperaturi 90÷1000°C. Astfel se poate asigura ca Bi₂Te să funcționeze între 90°C și 250°C, PbTe între 250 și 500°C, iar GeSi între 500 și 1000°C.

2. Puterea și randamentul convertizorului. Factorii de calitate

Se presupune că cele două brațe ale convertizorului sunt de lungime l și secțiune s , realizate din același material semiconductor, rezistivitățile electrice ρ și conductivitățile termice λ sunt identice, iar coeficienții Seebeck $\alpha_A = -\alpha_B$. Puterea debitată de un convertor termoelectric, conform [5], pentru o rezistență exterioară se poate determina cu relația:

$$P = U \cdot I = R_0 \cdot I^2 = U_{eAB}^2 \cdot \frac{R_0}{(R_0 + r)^2}, \quad (1)$$

unde: U_{eAB} este tensiunea electromotoare apărută la bornele modului termoelectric, care depinde de diferența de temperatură și de coeficienții Seebeck a materialelor, [7]:

$$U_{eAB} = \int_{T_r}^{T_c} (\alpha_A - \alpha_B) dT = (\alpha_A - \alpha_B)(T_c - T_r); \quad (2)$$

R_0 - rezistența sarcinii;

r - rezistența internă a sursei.

Condiția ca o sursă să genereze putere maximă este:

$$R_0 = r = 2 \frac{\rho l}{s}, \quad (3)$$

impunând această condiție se poate scrie că:

$$P_{\max} = \frac{U_{eAB}^2}{4R_0} = \frac{\alpha_{AB}^2 \cdot (T_c - T_r)}{2 \cdot \rho \cdot l} \cdot s. \quad (4)$$

Puterea absorbită în unitatea de timp este egală cu cantitatea de căldură absorbită de la jonțiunea caldă, și neglijînd efectul Thomson se poate scrie:

$$Q_c = k \cdot \Delta T + \Pi_{AB} \cdot T_c \cdot I - \frac{1}{2} I^2 R, \quad (5)$$

nde: $k \cdot \Delta T$ reprezintă căldura primită prin conducție termică, unde $k = \frac{\lambda}{l} s$ reprezintă coeficientul conductibilității termice, ΔT - diferența de temperatură dintre sursa caldă și sursa rece;

$\Pi_{AB} \cdot T_c \cdot I$ reprezintă căldura absorbită prin efect Peltier, unde Π_{AB} este coeficientul Peltier, care depinde de natura materialelor și de temperatura la care sunt supuse acestea, iar T_c - temperatura sursei calde și I - curentul generat;

$\frac{1}{2} I^2 R$ reprezintă căldura pierdută prin efect Joule, unde R este rezistența termică a materialelor termoelectrice.

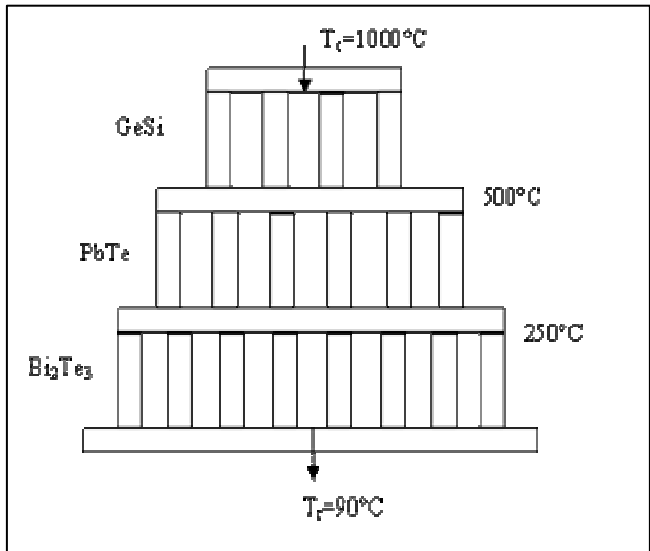


Fig. 2. Schema unui sistem multietajat de termocuple, [1]

Știind că puterea utilă este puterea generată pe rezistența de sarcină, iar puterea consumată este căldura primită de la sursa caldă se poate scrie:

$$\eta = \frac{P_s}{Q_c} = \frac{U_{eAB} \cdot R_0}{(R_0 + r)^2} = \frac{4 \cdot \alpha_{AB}^2 \cdot R_0 \cdot (T_c - T_r)}{k(r + R_0)^2 + 4\alpha_{AB}^2 \cdot T_c(r + R_0) - 2\alpha_{AB}^2 \cdot (T_c - T_r)} \quad (6)$$

Introducându-se randamentul ciclului Carnot $\eta_c = \frac{T_c - T_r}{T_c}$ și parametrii sarcinii prin raportul $x = \frac{R_0}{r}$ se va obține:

$$\eta = \eta_c \cdot \frac{x}{\frac{k \cdot r}{4\alpha_{AB}^2 T_c} (1+x)^2 + (1+x) - \frac{\eta_c}{2}} \quad (7)$$

Se constată că randamentul convertizorului depinde de randamentul ciclului Carnot, de adaptarea circuitului electric și de proprietățile materialelor. În acest sens se definește factorul de calitate Z al convertizorului:

$$Z = \frac{\alpha_{AB}^2}{\rho \cdot \lambda} \quad (8)$$

Factorul de merit al materialului M :

$$M = ZT_m = \frac{\alpha_{AB}^2}{\rho \lambda} \cdot \frac{T_c - T_r}{2} \quad (9)$$

Astfel, se obține relația pentru determinarea randamentului:

$$\eta = \eta_c \cdot \frac{\sqrt{1+M} - 1}{\sqrt{1+M} + 1 - \eta_c} \quad (10)$$

Din relația (10) se observă că randamentul acestor convertizoare este direct proporțional cu randamentul ciclului Carnot η_c , depinde de temperatura sursei calde (temperatura de lucru) și de factorul de calitate al materialului.

Dacă se presupune că sursa rece se află la temperatura ambiantă ($T_r = 300$ K) atunci, pe de o parte se impune o funcționare cu temperatura sursei calde (T_c) cât mai ridicată posibil și pe de altă parte alegerea unui material cu factorul de calitate Z mai bun. Dar nu se poate crește la infinit temperatura sursei calde T_c , atât din cauza stabilității termice a materialului cât și a faptului că odată cu creșterea temperaturii, crește conductivitatea termică, deci M scade.

3. Domeniile de aplicare ale generatoarelor termoelectrice

Printre domeniile în care sunt utilizate generatoarele termoelectrice pot fi menționate:

- aviație: pentru alimentarea cu energie a echipamentelor de control permanent a stabilității radioului de înaltă frecvență și a microundelor care servesc la orientare;
- sisteme de emisii și comunicații: pentru alimentarea cu energie electrică a echipamentelor de emisie – recepție, precum și a stațiilor releu de transmisie;
- medicină: generatorul termoelectric anizotrop, ce funcționează datorită gradientului de temperatură, care la rândul său este creat de căldura corpului uman, ce poate fi utilizat în dispozitive auditive în calitate de sursă de alimentare.

O renumită companie japoneză a elaborat o tehnologie hibridă de creare a energiei electrice din căldură și lumină. Acesta este primul modul care poate crea energie electrică, în același timp, din două surse diferite, precum căldura (corpului uman) și lumina (fig.3).

Până acum, celulele fotovoltaice, care generează electricitate din lumină, și dispozitivele termoelectrice, care generează electricitate pe bază de căldură, au fost disponibile doar în mod separat. Astfel, noua tehnologie dublează potențialul de captare a energiei, având în vedere ca folosește atât lumina, cât și căldura ambientală într-un singur aparat.

Aplicabilitatea acestui modul hibrid este foarte diversă și utilă, de exemplu pentru alimentarea rețelilor de senzori care monitorizează anumite condiții în tehnologiile medicale, precum căldura corpului, tensiunea arterială, bătăile inimii și nu sunt necesare nici un fel de fire, cabluri ori înlocuirea bateriei.

De asemenea, acest modul hibrid poate servi pentru alimentarea cu energie a aparatelor de măsură portabile, mai ales când măsurările se efectuează în câmp, acolo unde alimentarea cu energie electrică nu este disponibilă.

Ținând cont de faptul că măsurările respective sunt efectuate de om, rezultă că sursa primară de energie pentru alimentarea aparatelor de măsură (corpul uman) va fi întotdeauna disponibilă.

O renumită companie germană de producere a automobilelor a elaborat un automobil dotat cu generatoare termoelectrice. Ele vor fi capabile să furnizeze 250 W în condiții normale de șofat, suficienți pentru a acoperi 50% din necesarul de energie al acestuia. Dispozitivul este simplu și utilizează un semiconductor termoelectric care generează curent electric. Cu cât este mai mare diferența de temperatură dintre gazele arse și mediul exterior, cu atât acesta furnizează mai mult curent electric. Generatorul termoelectric va avea două părți – una “rece” și una “caldă”. Jumătatea rece a generatorului termoelectric va utiliza circuitul radiatorului, pe când jumătatea caldă va utiliza căldura gazele arse care sunt evacuate prin țeava de eșapament.

O companie comercializează un model de ceas care funcționează de la un generator termoelectric. Sursa caldă o constituie căldura corpului uman, iar cea rece – mediul ambiant. Acesta, la o diferență de 5 °C creează o diferență de potențial de 3 V și generează un curent de 10 μA, pe când consumul propriu este de 1 μW. Unicul dezavantaj al acestui dispozitiv este că funcționează doar pus pe mână, iar dacă proprietarul este din regiunile Ecuatorului, atunci generatorul nu va funcționa.

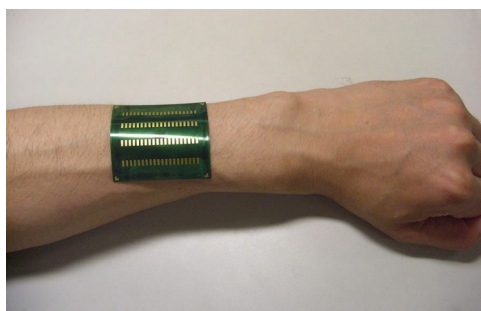


Fig 3. Modul hibrid de producere a energiei din căldura corpului uman, [2]

Concluzii:

La momentul actual, generatoarele termoelectrice au o răspândire destul de modestă, posibil din cauza randamentelor mici de funcționare ale acestora. Ținând cont de faptul că pentru producerea energiei electrice, aceste aparate folosesc energia termică, se recomandă utilizarea mai largă a acestora, mai ales în domeniile în care energia termică este un deșeu rezultat în urma efectuării proceselor tehnologice de bază. De asemenea, se recomandă utilizarea generatoarelor termoelectrice ce folosesc ca sursă primară căldura corpului uman, pentru alimentarea aparatelor electrice sau a celor de măsură (portabile) acolo unde nu este disponibilă energia electrică.

Bibliografie:

1. Snyder, G. J. *Thermoelectric Power Generation: Efficiency and Compatibility*. Chapter 9, CRC Handbook on Thermoelectrics, (2005).
2. <http://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2010/1209-01.html>
3. http://nano.asm.md/elaborari_view.php?id=35&lang=ro
4. M. Kishi, H. Nemoto, T. Hamao, M. Yamamoto, S. Sudou, M. Mandai. *Microthermoelectric modules and their application to wristwatches and energy source*, Eighteenth International Conference on Thermoelectrics Proceedings, ICT'99, 301, 1999.
5. <http://www.thermoelectrics.caltech.edu/thermoelectrics/microdevice.html>