

Semiconductorul termogenerator Efectul Seebeck

Scurtă descriere

La bornele unui semi-conductor termogenerator sunt măsurate tensiunea în gol și curentul de scurtcircuit în funcție de diferența de temperaturi. Rezistența internă (R_i), coeficientul Seebeck ($\alpha_{1,2}$) și eficiența (η) sunt determinate.



Figure 1: Montaj experimental pentru măsurarea tensiunii în gol și măsurarea intensității de scurtcircuit în funcție de diferența de temperatură

Echipament

Termogenerator cu 2 băi de apă	1
Dispozitiv de pompare a apei	2
Pastă termoconductivă, 50g	1
Placa de circuit	1
Reostat, 33 Ohmi, 3,1 A	1
Voltmetru, 0,3-300V CC, 10-300V CA	1
Cronometru digital, 1/100 s	1
Termostat Alpha, 230V	1
Set de piese pentru curgere externă pentru termostat	1
Cuvă pentru termostat	1
Termometru de laborator -10...100°C	1
Rezistor 10 Ohmi 2%,2W	1
Rezistor 2 Ohmi 2%,2W	1
Rezistor 1 Ohmi 2%,2W	1
Rezistor 5 Ohmi 2%,2W	1
Tuburi de cauciuc, d 6mm	4
Tub de legătură, 6-10mm	2
Cablu de legătură, 32A, 500mm, roșu	3
Cablu de legătură, 32A, 500mm, albastru	2

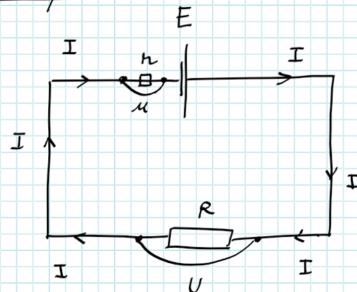
Obiective

1. Măsurarea tensiunii în gol (U_0) și măsurarea curentului de scurt-circuit (I_{sc}) la diferite diferențe de temperatură și determinarea coeficientului Seebach
2. Măsurarea tensiunii și a intensității la o diferență de temperatură constantă, dar cu diferite rezistențe, și determinarea rezistenței interne (R_i) din valorile măsurate
3. Determinarea eficienței de conversie a energiei (η) din cantitatea de căldură consumată și din energia electrică produsă în unitatea de timp

În cele ce urmează este prezentată o schiță cu noțiuni de liceu despre circuitul electric simplu.

Să ne reamintim!

Circuitul simplu



E - tensiunea electrică electromotoare (t.e.m.)

U - tensiunea electrică exterană

$\{$ tensiunea electrică la bornile bateriei

u - tensiunea electrică internă

Legea lui Kirchhoff II:

$$E = U + u \quad \text{bilanț în tensiuni (volti)} \quad \textcircled{V}$$

$$EI = UI + uI \quad \text{bilanț în puteri (watti)} \quad \textcircled{W}$$

$$EI\bar{t} = UI\bar{t} + uI\bar{t} \quad \text{bilanț în energii (jouli)} \quad \textcircled{J}$$

↑ ↑ ↑
generatorul circ. ext. circ. int.

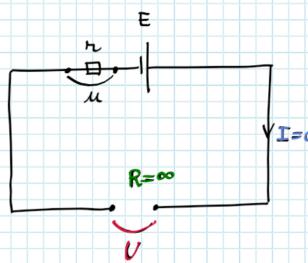
$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad \text{puterea electrică}$$

$$E = U + u$$

$$E = IR + Ir$$

$$\Rightarrow I = \frac{E}{R+r} \quad \text{currentul în circuitul simplu}$$

Circuitul în gol



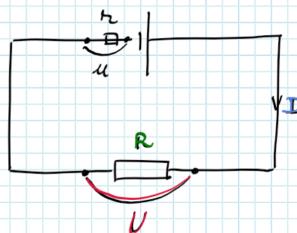
$$E = U + u$$

$$E = U + I^0 \cdot r$$

$$E = U$$

$$U = U_{\text{gol}} = E$$

Circuitul simplu

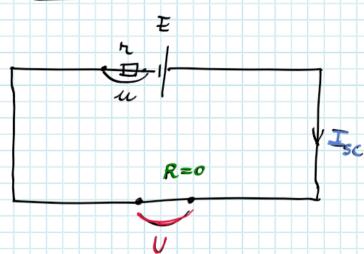


$$E = U + u$$

$$E = IR + I \cdot r$$

$$I = \frac{E}{R+r}$$

Surtanciul



$$E = U + u$$

$$E = I_{sc} \cdot R^0 + I_{sc} \cdot r$$

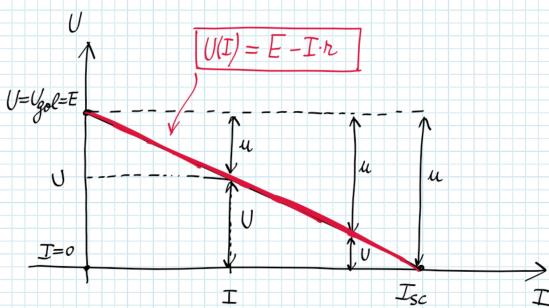
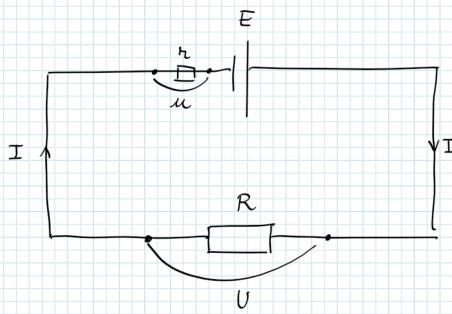
$$E = u$$

$$E = I_{sc} \cdot r \Rightarrow I_{sc} = \frac{E}{r}$$

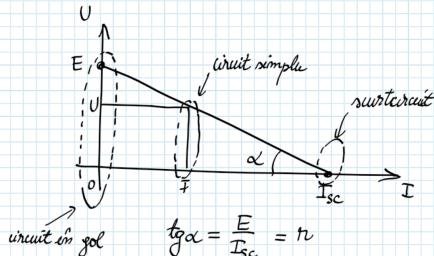
R din circuitul exterior scade de la $R=\infty$ la R apoi la $R=0$

Curentul din circuit crește de la $I=0$ la I apoi pâna la $I=I_{sc}$

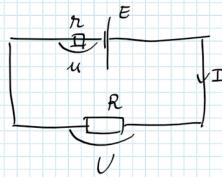
Tensiunea exterană U scade de la $U_{\text{gol}}=E$ la U pâna la $U=0$



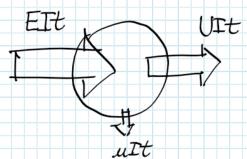
$$\begin{aligned} E &= U + u \\ U &= E - u \\ U &= E - Ir \\ \Rightarrow U(I) &= E - Ir \end{aligned}$$



Rendamentul circuitului simplu (γ)



$$\begin{aligned} E &= U + u && \text{tensiune} \\ EI &= UI + uI && \text{putere} \\ EI t &= UIT + uIt && \text{energie} \end{aligned}$$

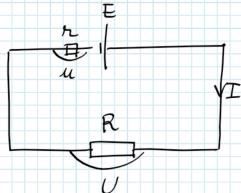


$$\gamma = \frac{UIT}{EIt} = \frac{U}{E}$$

$$\left[\gamma = \frac{IR}{IR + Ir} = \frac{R}{R+r} \right]$$

γ - rendament

Rezonanta în circuitul simplu



$$P = UI$$

$$\boxed{P = P_{\max} \Leftrightarrow R = r} \Rightarrow \gamma = \frac{R}{R+r} = \frac{r}{r+r} = \underline{\underline{50\%}}$$

$$\boxed{P_{\max} = \frac{E^2}{4r}}$$

Montaj și mod de lucru

1. Asigurați-vă că sunt legate tuburile pentru fluxul de apă rece și de apă fierbinte. Umpleți una dintre cuve cu apă rece de la robinet, și în celalătă cuvă reglați termostatul pentru apă fierbinte. Cele două temperaturi sunt măsurate prin contact direct prin orificiile de pe semiconductor. Currentul de scurtcircuit și tensiunea în gol sunt măsurate direct, neglijându-se rezistența internă a echipamentului.

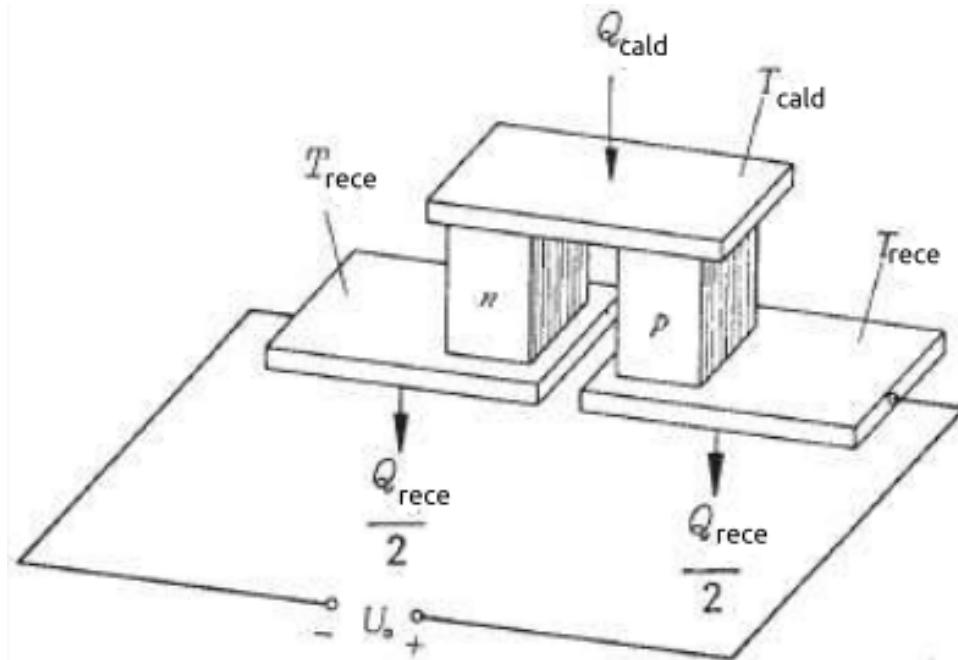


Figure 2: Construcția unui element semiconductor Seeback. Mai multe elemente sunt legate electric în serie și termic în paralel

2. Legați reostatul R_{ext} la semiconductorul termogenerator și reglați o anumită diferență de temperatură constantă. Măsurați curentul și diferența de tensiune pentru diferite rezistențe și reprezentați grafic $U(I)$. Determinați panta graficului (R_i)

3. Îndepărtați termostatul cald, și umpleți cuva cu apă cloicotind. Măsurați temperatura apei fierbinți $T_{cald} = f(t)$ și $T_{rece} = f(t)$ ca o funcție de timp. Măsurați curentul și cădereea de tensiune printr-o rezistență de aproximativ aceeași valoare cu rezistența R_i . Când $R_{ext} = R_i$ puterea transferată de la termogenerator la rezistență externă este maximă.

Teorie și analiză

Dacă este creată o diferență de temperatură de-alungul unei suprafețe de contact metalice, neparcursă de curenți electrici, se va produce un flux termic dinspre partea fierbinte spre partea rece. Purtătorii de sarcină care iau parte în acest transfer (flux) sunt distribuiți neuniform de-alungul conductorului. Apare astfel o tensiune electrică internă, care poate fi pusă în evidență că este tensiunea în gol U_0 la capetele semiconductorului (Efectul Seeback).

Căderea de tensiune generată de diferență de temperatură depinde de natura materialului. Într-o primă aproximatie, tensiunea poate fi scrisă:

$$U_0 = \alpha_{1,2} \cdot (T_{cald} - T_{rece}) = \alpha_{1,2} \cdot \Delta T$$

unde $\alpha_{1,2}$ este coeficientul Seeback al materialelor combinate folosite, T_{cald} = temperatura pe partea calda a semiconductorului generator, T_{rece} = temperatura pe partea rece a semiconductorului

Obiectivul 1.

Aplicând funcția liniară de regresie, valorilor din Fig.3, obținem coeficienții a și b prin folosirea metodei celor mai mici pătrate :

$$U_0 = a \cdot \Delta T + b$$

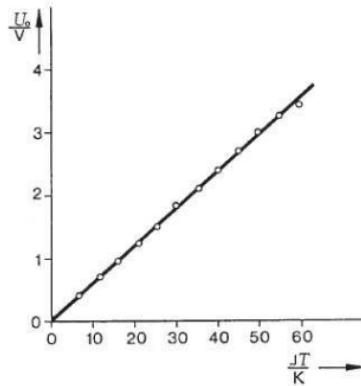


Figure 3: Tensiunea electromotoare a termogeneratorului (U_0), în funcție de diferență de temperaturi

Termogeneratorul constă din 142 de elemente legate în serie. Coeficientul Seeback al semiconductorului este:

$$\alpha_{1,2} = 4,13 \cdot 10^{-14} \frac{V}{K}$$

Cu eroarea de deviație standard:

$$s_{\alpha_{1,2}} = 4,04 \cdot 10^{-4} \frac{V}{K}$$

Curentul de scurt-circuit crește liniar odată cu diferența de temperatură. Rezistența internă a termogeneratorului este constantă în intervalul de temperaturi considerat.

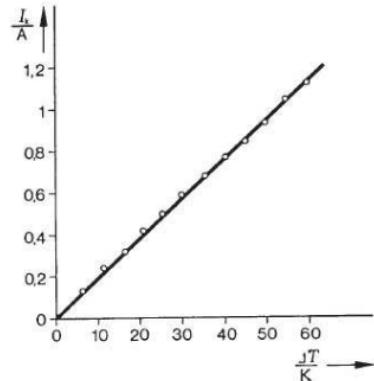


Figure 4: Curentul de scurcircuit în funcție de diferența de temperaturi

Obiectivul 2.

Aplicând funcția liniară de regresie $U = a \cdot I + b$ pentru setul de măsurători din Fig. 5:

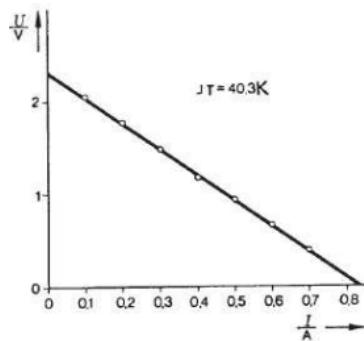


Figure 5: Tensiunea în funcție de intensitatea curentului, pentru diferite rezistențe, la o diferență constantă de temperatură $\Delta T = \text{const}$

Obținem pentru acest set de măsurători:

$$b = U_0 = 2,34V$$

$$s_b = s_{U_0} = 0,01V$$

și

$$|a| = R_i = 2,80\Omega$$

$$s_a = s_{R_i} = 0,02\Omega$$

și curentul de scurcircuit

$$I_{sc} = \frac{U_0}{R_i} = 0,84A$$

cu

$$s_{I_s} = 0,01A$$

Obiectivul 3.

Din graficul diferenței de temperatură în funcție de timp (Fig.6) determinăm panta descrescăndă a curbei folosind o funcție liniară.

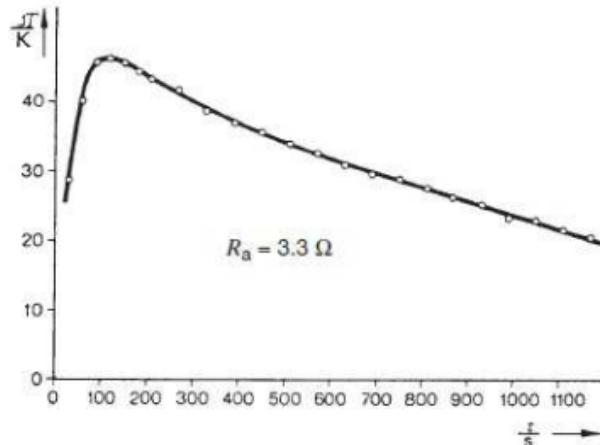


Figure 6: Diferența de temperaturi în timp

La o diferență de temperaturi de ΔT de 40K obținem folosind metoda celor mai mici păstrate următorul set de valori:

$$\Delta T = a \cdot t + b$$

$$a = \frac{d(\Delta T)}{dt} = -0,0361 \frac{K}{s}$$

Putem astfel determina cantitatea de căldură Q care este dată de termogenerator în unitatea de timp, folosind expresia:

$$\frac{dQ}{dt} = P_{term} = C \cdot \left(\frac{d\Delta T}{dt} \right)$$

Pentru acest set de date fiind folosită o cantitate de apă $m = 0,194 kg$ și cunoscând căldura specifică a apei $c = 4182 \frac{J}{K}$

$$\Rightarrow C = m \cdot c = 811 \frac{J}{kgK}$$

$$\Rightarrow P_{term} = 29,3 \frac{J}{s}$$

P_{term} este puterea totală debitată de termogenerator.

Puterea electrică consumată de rezistență externă, pentru o anume rezistență constantă, poate fi obținută din graficul de mai jos. Pentru o diferență de temperatură de $\Delta T = 40K$ obținem $P_{el} = 0,25W$ astfel că randamentul este:

$$\eta = \frac{P_{el}}{P_{term}} = 0,009 \text{ sau } 0,9\%$$

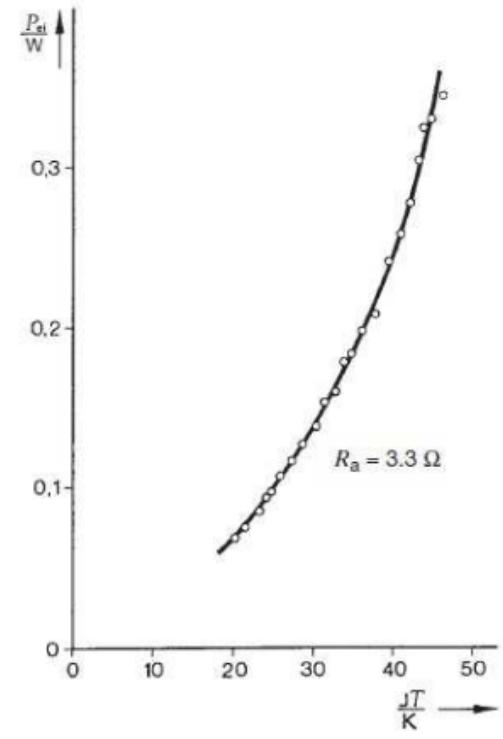


Figure 7: Puterea electrică consumată în funcție de diferența de temperatură

$\Delta T(K)$	$U_0(V)$
0	
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	

1. Pentru diferite diferențe de temperatură măsurați tensiunea în gol U_0 a termogeneratorului. *Aflați coeficientul Seebeck!*

$\Delta T(K)$	$I_{sc}(A)$
0	
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	

1. Pentru diferite diferențe de temperatură măsurați intensitatea de scurtcircuit I_{sc} a termogeneratorului. *Reprezentați grafic dependența*

$$\Delta T = \text{const} = \dots$$

$R_{ext}(\Omega)$	$I(V)$	$I(A)$

1. Trasați caracteristica termogeneratorului $U(I)$ cu ajutorul a diferite rezistențe externe. *Aflați rezistența internă a termogeneratorului!*