

Fyzika 2 - Měření na Peltierově článku

[Redacted]

23. ledna 2021

1 Zadání

Úkolem měření je seznámit se s chováním Peltierova článku ve funkci termoelektrického generátoru(TEG) a chladicího prvku(TEC). V režimu TEG:

- změřte závislost termoelektrického napětí na teplotě a vynesete ji do grafu,
- z naměřené závislosti spočtete Seebeckův koeficient,
- Vypočtete účinnost Peltierova článku v režimu TEG a vypočtenou hodnotu porovnejte s účinností vratně pracujícího tepelného stroje.

V režimu TEC:

- změřte časovou závislost teploty na obou stranách Peltierova článku a vynesete ji do grafu.

2 Měřicí přístroje

K měření jsme použili dva digitální teploměry a dva multimetry.

- Digitální teploměr: GMH 1170 - přesnost pro rozsah -65°C až 199°C : $\pm 0,05\%$ ± 1 digit. Rozlišení: $0,1^{\circ}\text{C}$.
- Multimetr: Mastech MY-65 - přesnost:
 1. Voltmetr: rozsahu 20 V odpovídá přesnost $\pm 0,1\%$ z údaje ± 3 digity. Rozlišení: 1 mV.
 2. Ampérmetr: rozsahu 200 mA odpovídá přesnost $\pm 0,8\%$ z údaje ± 5 digitů. Rozlišení: 1 mA.

3 Termoelektrický generátor - TEG

3.1 Naměřené hodnoty

Tabulka 1: Naměřené hodnoty pro TEG.

t [s]	U_0 [V]	I_k [10A]	T_s [$^{\circ}\text{C}$]	T_H [$^{\circ}\text{C}$]
0	1,913	6,21	24,1	64,2
30	1,816	5,93	24,3	62,4
60	1,737	5,60	24,3	60,7
90	1,624	5,46	24,3	59,0
120	1,532	4,96	24,2	57,2
150	1,460	4,71	24,2	55,8
180	1,392	4,46	24,3	54,4
210	1,317	4,35	24,6	53,2
240	1,242	4,02	24,7	51,9
270	1,202	3,89	24,6	50,8
300	1,155	3,75	24,5	49,7
330	1,112	3,65	24,5	48,6
360	1,072	3,48	24,4	47,7
390	1,032	3,44	24,3	46,8
420	1,000	3,28	24,2	45,9

Kde U_0 je napětí na prázdko, I_k je proud na krátko, T_s teplota studené strany a T_H teplota horké strany.

3.2 Závislost termoelektrického napětí na teplotě.

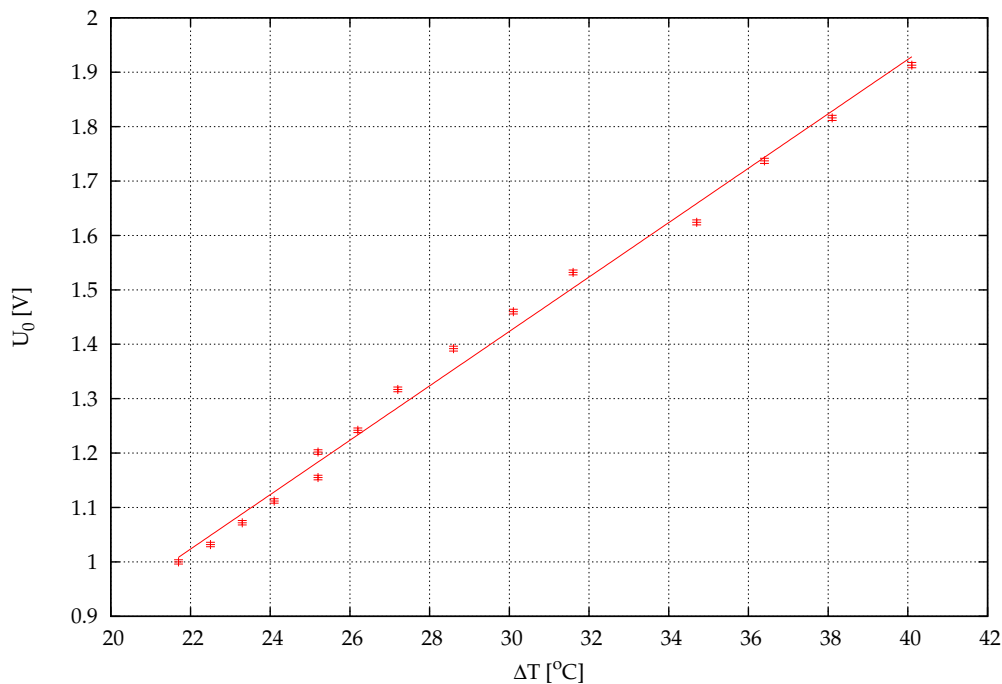
Pro vynesení grafu využijeme napětí na prázdko U_0 z tabulky 1 které je tedy termoelektrické napětí, a rozdíl teplot ΔT . Musíme si však také spočítat standardní kombinovanou nejistotu. Jelikož však měření není opakované bude touto nejistotou nejistota určená metodou typu B, neboli nejistota měřících přístrojů. Tuto nejistotu vypočteme vztahem:

$$u_{bi}(U_0) = \frac{U_{oi} \cdot \frac{0,1}{100} + 0,003 \text{ V}}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

Kde i představuje index hodnoty v tabulce 2 a číselné hodnoty jsou získané z parametrů Multimetry.

Tabulka 2: Hodnoty pro graf závislosti,

i [-]	ΔT [°C]	U_0 [V]	$u_b(U_0)$ [mV]
1	40.1	1.913	2.837
2	38.1	1.816	2.781
3	36.4	1.737	2.735
4	34.7	1.624	2.670
5	33.0	1.532	2.617
6	31.6	1.460	2.575
7	30.1	1.392	2.536
8	28.6	1.317	2.492
9	27.2	1.242	2.449
10	26.2	1.202	2.426
11	25.2	1.155	2.399
15	24.1	1.112	2.374
13	23.3	1.072	2.351
14	22.5	1.032	2.328
15	21.7	1.000	2.309



Obrázek 1: Graf závislosti Termoelektrického napětí na teplotě.

3.3 Výpočet Seebeckova koeficientu

Uvažujeme pro průběh závislost:

$$U_0 = \alpha \Delta T \quad (2)$$

Kde α je Seebeckův koeficient. Tento koeficient určíme proložení přímky metodou nejmenších čtverců. Toto proložení jsme již provedli při vytvoření grafu 1 pomocí univerzálního nástroje na tvorbu grafů na serveru <http://herodes.feld.cvut.cz/mereni/>. Nástroj nám vypsal jak Seebeckův koeficient tak jeho standardní kombinovanou nejistotu. Seebeckův koeficient pro náš průběh tedy je:

$$\alpha = (49,9 \pm 2) \text{ mV} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \quad (3)$$

3.4 Účinnost Peltierova článku jako zdroje

Pro porovnání vybereme teploty v čase $t_1 = 0 \text{ s}$ a $t_2 = 120 \text{ s}$, tedy $T_{H1} = 64,2^\circ\text{C}$ a $T_{H2} = 57,2^\circ\text{C}$, $U_0(t_2) = 1,532 \text{ V}$ a $I_k(t_2) = 0,496 \text{ A}$. Účinnost článku vypočítáme pomocí vztahu:

$$\eta_{TEG} = \frac{P_E}{P_H} \quad (4)$$

kde P_E je odhad teoretického maximálního výkonu dodávaného článkem do zátěže, který dostaneme jako

$$P_E = \frac{1}{4} U_0 I_k = \frac{1,532 \cdot 0,496}{4} = 0,209 \text{ W} \quad (5)$$

a P_H je tepelný výkon procházející horkou stranou do Peltierova článku. Budeme-li předpokládat, že veškeré teplo z (tepelně izolované) nádoby s horkou vodou prochází Peltierovým článkem, můžeme tento výkon odhadnout jako

$$P_H \approx \frac{\Delta Q_H}{\Delta t} = \frac{C_{celk}(T_{H1} - T_{H2})}{t_2 - t_1} = \frac{1121 \cdot (64,2 - 57,2)}{120} = 65,39 \text{ W} \quad (6)$$

kde C_{celk} je celková tepelná kapacita nádoby s vodou na horké straně Peltierova článku pro kterou platí, viz dodatek, $C_{celk} = 1121 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ a T_{H1} a T_{H2} jsou teploty na horké straně v časech t_1 a t_2 . Účinnost Peltierova článku (zatím bez nejistoty) pro námi vybrané hodnoty tedy vychází:

$$\eta_{TEG} = 0,29 \% \quad (7)$$

3.4.1 Odhad standardní nejistoty pro účinnost

Nejistotu pro účinnost určíme pomocí vztahu

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial \eta}{\partial x_i} \right)^2 u_b^2(x_i)} \quad (8)$$

Kde x_i je specifická veličina na které účinnost závisí a $u_b(x_i)$ je nejistota určena metodou typu B neboli nejistota měřících přístrojů pro tuto veličinu. Pro u_{bt} budeme předpokládat chybu v rozsahu 2 sekund pro zbylé parametry bude chyba odpovídat přístrojovým parametrům. Určíme parciální derivace a dosadíme do vztahu 8.

$$\frac{\partial \eta_{TEG}}{\partial U_0} = \frac{I_k(t_2 - t_1)}{4C_{celk}(T_{H1} - T_{H2})} \quad (9)$$

$$\frac{\partial \eta_{TEG}}{\partial I_k} = \frac{U_0(t_2 - t_1)}{4C_{celk}(T_{H1} - T_{H2})} \quad (10)$$

$$\frac{\partial \eta_{TEG}}{\partial t_1} = \frac{U_0 I_k}{4C_{celk}(T_{H1} - T_{H2})} \quad (11)$$

$$\frac{\partial \eta_{TEG}}{\partial t_2} = \frac{-U_0 I_k}{4C_{celk}(T_{H1} - T_{H2})} \quad (12)$$

$$\frac{\partial \eta_{TEG}}{\partial T_{H1}} = \frac{-U_0 I_k(t_2 - t_1)}{4C_{celk}(T_{H1} - T_{H2})^2} \quad (13)$$

$$\frac{\partial \eta_{TEG}}{\partial T_{H2}} = \frac{U_0 I_k(t_2 - t_1)}{4C_{celk}(T_{H1} - T_{H2})^2} \quad (14)$$

Výsledná nejistota měření bude:

$$u_c = \pm 0,08 \% \quad (15)$$

A celkový odhad pro účinnost Peltierova článku jako zdroje elektrické energie:

$$\eta_{TEG} = (0,29 \pm 0,08) \% \quad (16)$$

3.4.2 Porovnání s maximální účinností

Pro maximální účinnost vratně pracujícího tepelného stroje pracujícím mezi teplotami T_H a T_S platí vztah

$$\eta'_{TEG} = \frac{T_H - T_S}{T_H} = \frac{64,2 - 57,2}{64,2} = 10,90 \% \quad (17)$$

Nejistotu maximální účinnosti získáme stejným způsobem jako v předchozí části. Její parciální derivace budou mít tvar:

$$\frac{\partial \eta'_{TEG}}{\partial T_H} = \frac{T_S}{T_H^2} \quad (18)$$

$$\frac{\partial \eta'_{TEG}}{\partial T_S} = \frac{-1}{T_H} \quad (19)$$

Po dosazení do vztahu pro standardní nejistotu 8 (nahradíme proměnnými specifickými pro tento příklad) kde $T_H = T_{H1}$ a $T_S = T_{H2}$:

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{T_S}{T_H^2}\right)^2 u_b^2(T_H) + \left(\frac{-1}{T_H}\right)^2 u_b^2(T_S)} = 0,03 \% \quad (20)$$

Pro maximální účinnost pak platí:

$$\eta'_{TEG} = (10,90 \pm 0,03) \% \quad (21)$$

Procentuální poměr mezi účinností článku a účinností maximální získáme pomocí vztahu

$$p = \frac{\eta_{TEG}}{\eta'_{TEG}} \cdot 100 = \frac{0,29}{10,9} \cdot 100 = 2,6 \% \quad (22)$$

Pro určení nejistoty stanovíme parciální derivace

$$\frac{\partial p}{\partial \eta_{TEG}} = \frac{100}{\eta'_{TEG}} \quad (23)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \eta'_{TEG}} = \frac{-100 \cdot \eta_{TEG}}{(\eta'_{TEG})^2} \quad (24)$$

a dosadíme do vztahu

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial p}{\partial x_i}\right)^2 u_c^2(x_i)} \quad (25)$$

Kde x_i bude jedna z veličin podle kterých jsme prováděli parciální derivace. Výsledný procentuální poměr nám po dosazení vyjde

$$p = (2,6 \pm 0,76) \% \quad (26)$$

Z toho můžeme usoudit že Peltierův článek jako zdroj elektrické energie je velmi neúčinný.

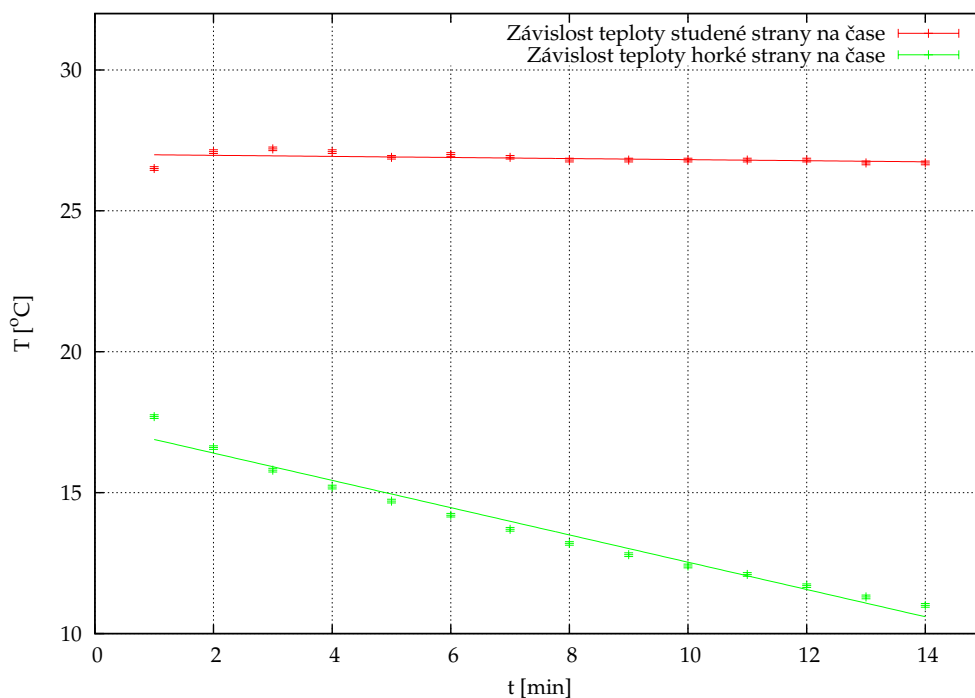
4 Chladicí prvek - TEC

Pro standardní nejistotu při měření teploty máme opět pouze nejistotu měřicího přístroje která je uvedena v tabulce a jelikož jsme měření neopakovali představuje standardní kombinovanou nejistotu. Tuto nejistotu jsme vypočítali pomocí parametrů digitálních teploměrů.

$$u_b(T_H) = \frac{T_H(t) \cdot \frac{0,05}{100} + 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} \quad (27)$$

Tabulka 3: Naměřené hodnoty pro TEC.

t [min]	T_S [°C]	$u_b(T_S)$ [100°C]	T_H [°C]	$u_b(T_H)$ [100°C]
1	26,5	6,538	17,7	6,284
2	27,1	6,556	16,6	6,253
3	27,2	6,559	15,8	6,230
4	27,1	6,556	15,2	6,212
5	26,9	6,550	14,7	6,198
6	27,0	6,553	14,2	6,183
7	26,9	6,550	13,7	6,169
8	26,8	6,547	13,2	6,155
9	26,8	6,547	12,8	6,143
10	26,8	6,547	12,4	6,131
11	26,8	6,547	12,1	6,123
12	26,8	6,547	11,7	6,111
13	26,7	6,544	11,3	6,100
14	26,7	6,544	11,0	6,091



Obrázek 2: Graf závislosti teplot na čase.

4.1 Minimální dosažená teplota

Minimální teplota které se nám podařilo chladícím článkem dosáhnout je

$$T_H = (11 \pm 0,06) ^\circ\text{C} \quad (28)$$

5 Závěr

Podařilo se nám přesvědčit že termoelektrické napětí produkované Peltierovým článkem jako zdrojem elektrické energie roste lineárně s rozdílem teplot. Jak můžeme vidět v grafu 1 nejistota pro napětí která je tvořená pouze nejistotou měřících přístrojů je velmi malá a aproximace se do nejistot nevejde. To může být způsobeno systematickou chybou měření času která by mohla být v některých případech až 2 sekundy. Tuto chybu se nám nepodařilo kompenzovat ani zakomponovat do nejistot zobrazených v tomto grafu.

Podařilo se nám vyjádřit Seebeckův koeficient který činí

$$\alpha = (49,9 \pm 2) \text{ mV} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \quad (29)$$

Dále jsme určili procentuální poměr účinnosti Peltierova článku jako zdroje vůči účinnosti Peltierova článku jako vratně pracujícího tepelného stroje která činí

$$p = (2,6 \pm 0,76) \% \quad (30)$$

Nakonec jsme se přesvědčili že při funkci Peltierova článku teplota na chlazené straně klesá lineárně a teplota na straně druhé se snaží držet na konstantní úrovni. Nejmenší teplota kterou se nám podařilo naměřit je

$$T_H = (11 \pm 0,06) ^\circ\text{C} \quad (31)$$

Kvůli nedostatku času se nám nepodařilo otestovat funkci Peltierova článku jako ohřívače.