

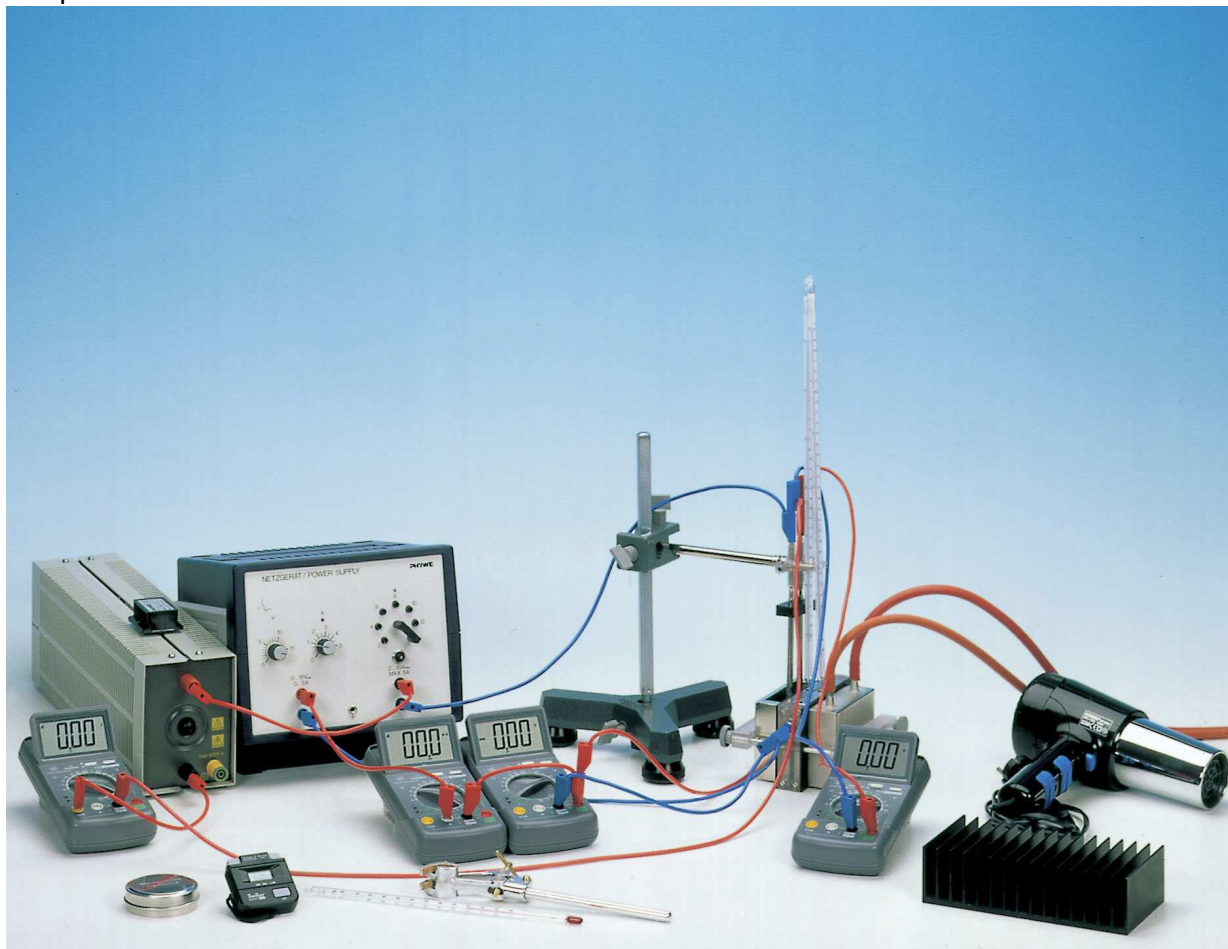


Ogniwo Peltiera

1. Zagadnienia

efekt Peltiera, wydajność cieplna, wydajność chłodzenia, przewodnictwo cieplne, efekt Joula, konwekcja ciepła, siła termoelektryczna, chłodzenie wymuszone, współczynnik Thomsona, współczynnik Seebecka

2. Opis



Efekt Peltiera jest zjawiskiem termoelektrycznym zachodzącym w ciałach stałych. Polega ono na wydzielaniu lub pochłanianiu energii, pod wpływem przepływu prądu elektrycznego przez złącze. W wyniku pochłaniania energii na jednym złączu i wydzielania energii na drugim, pomiędzy złączami powstaje różnica temperatur. Efekt ten jest odwrotny do efektu Seebecka. Ilość wydzielonego ciepła Q w jednostce czasu jest proporcjonalna do natężenia prądu I :

$$\frac{Q}{t} = P_p = \pi \cdot I = \alpha \cdot T \cdot I$$

gdzie: π jest współczynnikiem Peltiera,
 α współczynnikiem Seebecka
 T temperaturą bezwzględną.

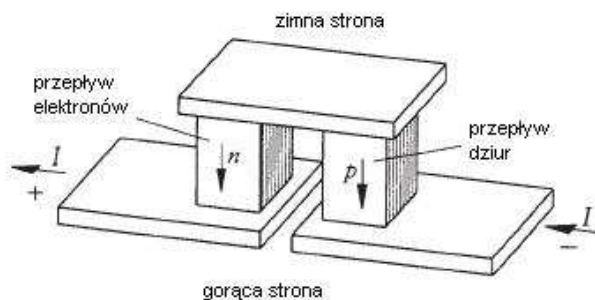
Jeżeli prąd elektryczny przepływa przez przewodnik jednorodny w kierunku gradientu temperatury

$\frac{dT}{dx}$ (czyli w tym samym kierunku co wzrost temperatury), ciepło zostanie oddane bądź zaabsorbowane w zależności od materiału przewodnika (efekt Thomsona):

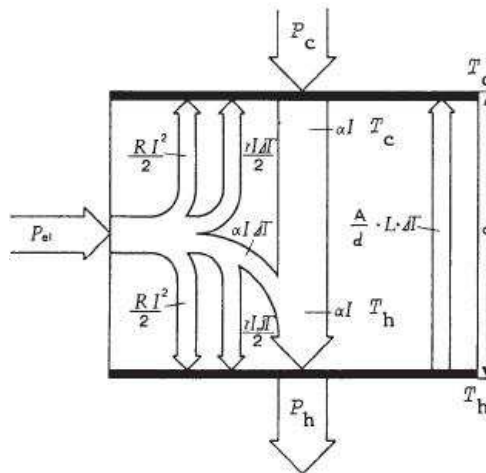


$$P_T = \tau \cdot I \cdot \frac{dT}{dx} \quad \text{gdzie } \tau \text{ jest współczynnikiem Thomsona.}$$

Kierunek przepływu ciepła zależy od znaku trzech wielkości: współczynnika Thomsona, kierunku przepływu prądu oraz kierunku gradientu temperatury.



Rys. 1 Konstrukcja półprzewodnikowego modułu Peltiera. W praktyce kilka modułów połączonych jest szeregowo (elektrycznie) i równoległe (termicznie).



Rys. 2 Schemat równowagi przepływu mocy w module Peltiera (w przypadku $P_T > 0$).

Jeżeli prąd elektryczny przepływa przez przewodnik izotermiczny o rezystancji R na tym oporniku wydzieli się ciepło Joule'a:

$$P_J = R \cdot I^2$$

Ze względu na przewodność cieplną, ciepło przepływa od gorącej strony (T_h) do zimnej strony (T_c):

$$P_L = \lambda \frac{A}{d} (T_h - T_c)$$

gdzie λ jest przewodnością cieplną, A polem przekroju poprzecznego, a d grubością modułu Peltiera.

Zapisując $\Delta T = T_h - T_c$ możemy zdolność cieplną modułu Peltiera na jego zimnej stronie (wydajność chłodzenia) zapisać w postaci:

$$-P_c = \alpha T_c I \pm \frac{\tau \cdot I \cdot \Delta T}{2d} - \frac{1}{2} I^2 R - \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d}$$

oraz zdolność cieplną na jego gorącej stronie (wydajność grzewczą) jako:

$$+P_h = \alpha T_h I \pm \frac{\tau \cdot I \cdot \Delta T}{2d} + \frac{1}{2} I^2 R - \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d}$$

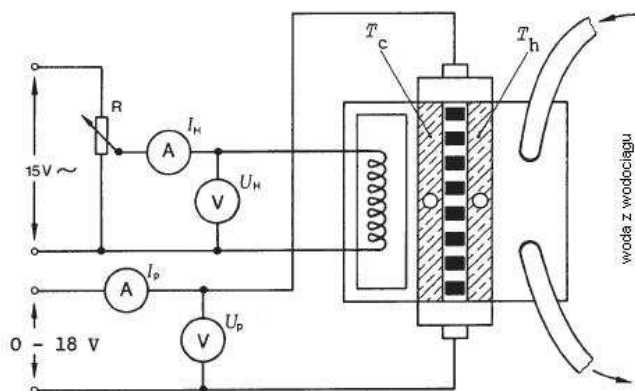
Dostarczona moc elektryczna wynosi:

$$+P_{el} = \alpha I \Delta T + R I^2 + \frac{\tau \cdot I \cdot \Delta T}{2d} = U_p \cdot I_p$$

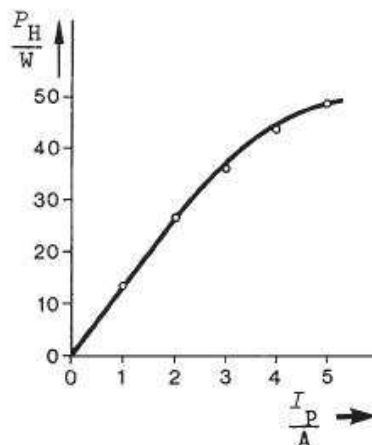
3. Doświadczenie

A. Wyznaczenie wydajności chłodzenia P_c modułu w funkcji natężenia prądu oraz obliczenie współczynnika wydajności η_c .

Po stronie zimnej (na Rys.3 strona lewa) zamontować zbiornik z wodą oraz umieścić w środku spiralę grzejną ($R = 3 \Omega$) podłączoną do prądu przemiennego. Po stronie ciepłej (na Rys.3 strona prawa) zamontować wodny wymiennik ciepła podłączony do wodociągu. Ewentualnie można zamontować aluminiowy wymiennik ciepła (radiator ciepły) oraz nadmuchiwać zimnego powietrza.



Rys.3 Zestawienie do wyznaczania wydajności chłodzenia.



Rys. 4 Moc grzejna ogniwa w funkcji natężenia prądu roboczego.

Dla różnych wartości natężenia prądu I_p ustawić moc grzejną $P_H = U_H I_H$ za pomocą rezystora nastawnego R w taki sposób, aby różnica temperatury między gorącą a zimną stroną wynosiła w przybliżeniu zero. W tym wypadku moc dostarczona do ogniwa odpowiada wydajności chłodzenia P_c . Zmierzyć natężenie I_H i napięcie U_H na grzałce, natężenie I_p i napięcie U_p na ogniwie oraz temperaturę po stronie gorącej (T_h) oraz zimnej (T_c). Współczynnik wydajności możemy obliczyć na podstawie wzoru:

$$\eta_c = \frac{P_c}{P_{el}} = \frac{I_H \cdot U_H}{I_p \cdot U_p}$$

B. Wyznaczenie wydajności grzewczej P_w modułu oraz współczynnika wydajności η_w przy stałym natężeniu i stałej temperaturze po zimnej stronie modułu.

Usunąć węzownicę grzejną, nie będzie ona już potrzebna w ćwiczeniu. Odwrócić prąd roboczy tak, aby woda w zbiorniku po lewej stronie ogrzewała się. Zmierzyć wzrost temperatury wody T_h w czasie przy stałym natężeniu prądu I_p przepływającego przez ogniwo Peltiera. Równocześnie mierzyć U_p , T_c .

Z nachylenia krzywej z Rys.5 (dla wartości początkowych krzywa ma postać prostej) możemy obliczyć wydajność grzewczą modułu Peltiera

$$P_h = C_{tot} \frac{\Delta T_h}{\Delta t}$$

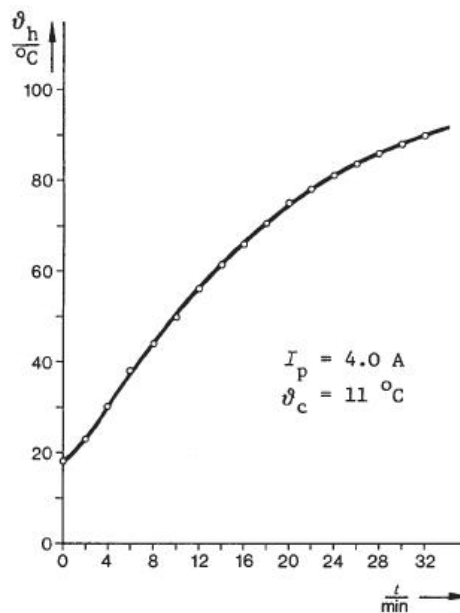
Obliczyć pojemność cieplną bloku miedzianego C_{Cu} , wody C_w oraz zbiornika mosiężnego C_{Br} korzystając ze wzoru:

$$C_{tot} = m_w \cdot c_w + m_{Br} \cdot c_{Br} + m_{Cu} \cdot c_{Cu} = 1121 \frac{J}{K}$$

gdzie $m_w = 0,194$ kg, $c_w = 4182$ J/kg K
 $m_{Br} = 0,0983$ kg, $c_{Br} = 381$ J/kg K
 $m_{Cu} = 0,712$ kg, $c_{Cu} = 383$ J/kg K

Współczynnik wydajności można obliczyć ze wzoru:

$$\eta_h = \frac{P_h}{P_{el}} = \frac{P_h}{I_p \cdot U_p}$$



Rys.5 Temperatura gorącej strony w funkcji czasu.



Wartość U_p zmienia się w czasie, dlatego też należy obliczyć i podstawić do wzoru wartość średnią napięcia zarejestrowaną w przedziale, z liniowym gradientem temperatury.

C. Wyznaczenie P_w , η_w oraz P_C , η_C z relacji temperatury i czasu po gorącej i zimnej stronie modułu.

Dopasować zbiorniki wodne do obydwu stron modułu Peltiera i napełnić je wodą o jednakowej temperaturze. Przy stałym natężeniu prądu I_p zmierzyć zmiany temperatury obydwu zbiorników tzn.

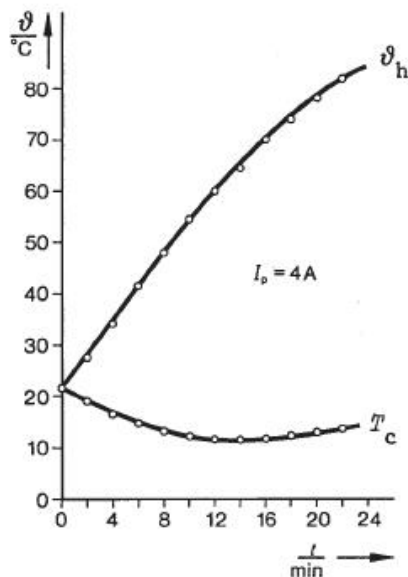
$$T_h = f(t), T_c = f(t), I_p \text{ oraz } U_p.$$

P_h , P_C , η_h , η_C możemy obliczyć z nachylenia prostoliniowych początkowych odcinków krzywych $\vartheta_h=f(t)$ oraz $\vartheta_c=f(t)$ oraz znając pojemność cieplną układu.

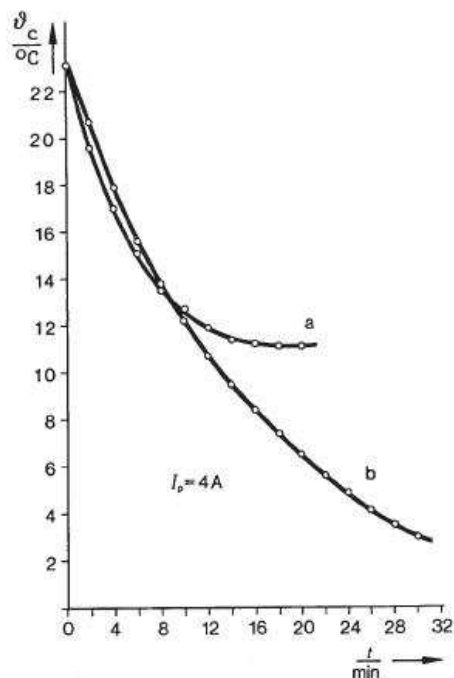
D. Zbadanie zachowania temperatury dla modułu używanego do chłodzenia, przy chłodzeniu gorącej strony powietrzem

W eksperymencie instalujemy zbiornik wodnym po zimnej stronie i chłodnicą (radiator) po stronie gorącej. Zmierzyć temperaturę zimnej strony w funkcji czasu przy chłodnicy:

- a) w statycznym powietrzu atmosferycznym
- b) chłodzonej w sposób wymuszony przez dmuchawę



Rys. 6 Temperatura wody w funkcji czasu.



Rys.7 Wykres zmiany temperatury wody w funkcji czasu. a) chłodzenie przez konwekcję, b) chłodzenie wymuszone przy pomocy chłodnicy powietrznej.