



**ĆWICZENIE**

38 A

**Badanie i zastosowania półprzewodnikowego modułu Peltiera jako chłodziarki**

**Cel ćwiczenia:**

- poznanie istoty zjawisk termoelektrycznych oraz ich opisu,
- zbadanie podstawowych parametrów modułu Peltiera,
- wyznaczenie efektywności chłodzenia przez moduł Peltiera,
- wyznaczenie zależności różnicy temperatur między gorącą i zimną stroną modułu Peltiera od natężenia prądu stałego płynącego przez moduł,
- wyznaczenie zależności tej różnicy temperatur od natężenia prądu przemiennego w celu ilustracji roli ciepła Joule'a,
- pomiar wilgotności powietrza (wyznaczenie punktu rosy),

**Zagadnienia:** Zjawiska Seebecka i Peltiera, współczynnik termoelektryczny, współczynnik Peltiera, bilans mocy modułu Peltiera, efektywność chłodzenia.

**1. Wprowadzenie**

Zjawiska termoelektryczne: zjawisko Seebecka i Peltiera, a także Joule'a, odgrywają niezwykle ważną rolę we współczesnej nauce i technice.

Zjawisko Seebecka jest wykorzystywane do pomiaru temperatury i zmian temperatury w wielu urządzeniach pomiarowych np. kalorymetrach (różnicowej analizie termicznej (ang. DTA) i różnicowej kalorymetrii skaningowej (ang. DSC)), układach do pomiarów przewodności cieplnej oraz pomiarach energii różnego typu promieniowania. Zjawisko to jest wykorzystywane również do bezpośredniego przetwarzania energii cieplnej na energię elektryczną np. w najbardziej spektakularnym zastosowaniu: w radio-izotopowym generatorze termoelektrycznym, stosowanym do zasilania sond kosmicznych i łazików marsjańskich.

Zjawisko Peltiera jest zjawiskiem odwrotnym do zjawiska Seebecka. Wykorzystywane jest do budowy pomp ciepła i układów chłodzących stosowanych np. w chłodnictwie. Kolejne ważne zastosowania obejmują medycynę (kriochirurgia, np. chirurgia gałki ocznej, zamrażanie tkanek, chłodzenie preparatów biologicznych, także w trakcie transportu). Podobnie elektronika nie może obejść się bez zjawiska Peltiera, np. do chłodzenia procesorów, noktowizorów, diod laserowych, a także w wymrażarkach próżniowych i innych miniaturowych urządzeniach wymagających obniżonej temperatury. Zjawisko znajduje też zastosowanie do wytwarzania zmiennego w czasie pola temperaturowego np. w kalorymetrii peltierowskiej. Nawet w sporcie i rekreacji można spotkać wykorzystanie zjawiska Peltiera, np. chłodzenie sportowych kasków motocyklowych, czy małe lodówki dla podróżników.

Z tych względów zjawiska termoelektryczne należą do kanonu edukacji inżynierskiej.

**1.1. Zjawiska termoelektryczne - podstawowe pojęcia i krótka historia**

Do zjawisk termoelektrycznych zaliczane są: zjawisko Joule'a, Seebecka, Peltiera i Thomsona. Poniżej przedstawiona jest istota tych zjawisk oraz krótka historia ich odkrycia.

**1.1.1 Zjawisko Joule'a**

Zjawisko to, nazywane również zjawiskiem Joule'a-Lenza, polega na zamianie energii elektrycznej na ciepło podczas przepływu prądu przez opornik. Ciepło  $\Delta Q_J$  generowane podczas przepływu prądu elektrycznego o natężeniu  $I$  przez opornik  $R$  w czasie  $\Delta t$

$$\Delta Q_J = I^2 R \Delta t. \quad (1.1)$$

Zjawisko zostało odkryte przez angielskiego fizyka Jamesa Prescottta Joule'a w 1840 roku. Dwa lata później niezależnie zjawisko odkrył Heinrich Friedrich Lenz, rosyjski fizyk o niemieckich korzeniach.

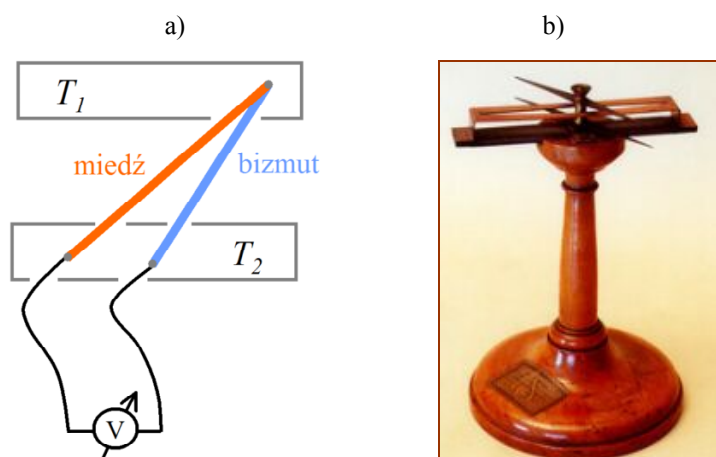
### 1.1.2 Zjawisko Seebecka

Zjawisko Seebecka polega na generowaniu siły elektromotorycznej między złączami wykonanymi z dwóch różnych materiałów A i B, przewodzących prąd elektryczny (rys. 1a. i 2).

Materiały te różnią się koncentracją elektronów, a ich koncentracja zależy od temperatury. Elektrony dyfundują z materiału o większej koncentracji do materiału o mniejszej koncentracji. Na złączu ustala się kontaktowa różnica potencjałów. Jeżeli mamy dwa złącza o jednakowej temperaturze to różnice potencjałów znoszą się. Jeżeli temperatury złącz są różne (rys. 2.) to między złączami powstaje wypadkowa różnica potencjałów nazywana siłą termoelektryczną. Różnica potencjałów między złączami jest opisana przybliżonym równaniem:

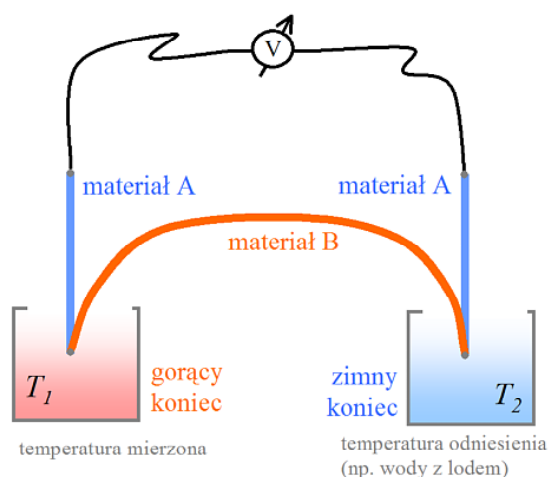
$$\Delta V = (\alpha_A - \alpha_B)(T_1 - T_2). \quad (1.2)$$

gdzie:  $\alpha_A$  i  $\alpha_B$  to współczynniki Seebecka dla materiałów A i B, tworzących złącza, a  $T_1$  i  $T_2$  temperatury tych złączy.



Rys. 1. (a) Ilustracja zjawiska Seebecka, zademonstrowana w 1821 roku - połączenie miedzi i bizmutu. (b) Instrument Seebecka (fotografia: Fu Jen University, Tajwan).

Warto zwrócić uwagę na to, że napięcie termoelektryczne nie zależy od wymiarów geometrycznych materiałów tworzących złącze. Dla metali i ich stopów współczynniki Seebecka są rzędu dziesiątków mikrowoltów na kelwin, a dla materiałów półprzewodnikowych o rząd, a nawet dwa rzędy większe, dlatego współczesne urządzenia termoelektryczne wykorzystują materiały półprzewodnikowe. Metale są jednak nadal wykorzystywane, np. w termoparach (rys.2), służących do pomiaru temperatury gorącego końca względem zimnego.



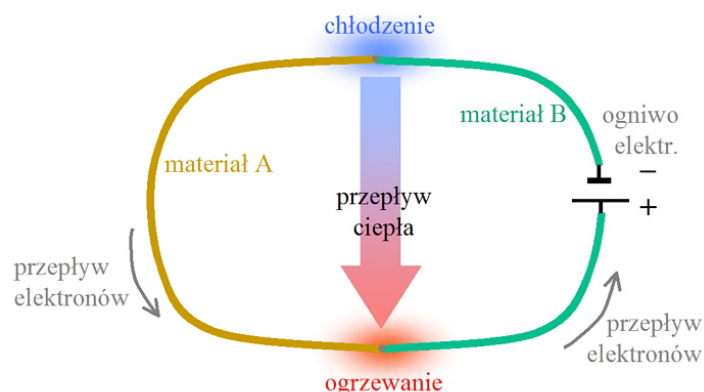
Rys. 2. Ilustracja zasady działania termopary.

Za odkrywcę opisywanego zjawiska termoelektrycznego uznaje się niemieckiego uczonego Thomasa Johana Seebecka, który w 1821 roku stwierdził, że igła magnetyczna umieszczona między połączonymi na obu końcach płytkami wykonanymi z miedzi i bizmutu ulega wychyleniu,

jeżeli jedno ze złączy zostanie ogrzane (rys. 1b.). Poprawnej interpretacji tego zjawiska dokonał twórca elektromagnetyzmu, duński fizyk Hans Christian Ørsted, który wprowadził pojęcie „zjawisko termoelektryczne”.

### 1.1.3. Zjawisko Peltiera

Zjawisko Peltiera polega na wydzielaniu lub pochłanianiu ciepła przez złącze różnych metali lub półprzewodników podczas przepływu przez to złącze prądu elektrycznego (rys.3).



Rys. 3. Ilustracja zjawiska Peltiera.

Za odkrywcę tego zjawiska uznaje się francuskiego zegarmistrza, fizyka i meteorologa Jeana Charlesa Athanase’a Peltiera, który w 1834 roku stwierdził, że temperatura złącza wykonanego z różnych metali zmienia się, gdy przez złącze przepływa prąd elektryczny. W 1838 roku Heinrich Friderich Lenz wykazał, że w zależności od kierunku przepływu prądu można zamrozić lub stopić kroplę wody umieszczoną na złączu, a efekt cieplny zależy od natężenia prądu przepływającego przez to złącze.

Ciepło  $\Delta Q$  wydzielane lub pochłaniane przez złącze w czasie  $\Delta t$  podczas przepływu ładunku elektrycznego  $q$  można opisać za pomocą równania:

$$\Delta Q = \Pi q = \Pi I \Delta t \quad \text{lub} \quad \frac{dQ}{dt} = \Pi I \quad (1.3)$$

gdzie  $\Pi$  oznacza współczynnik Peltiera zależny od właściwości materiałów tworzących złącze, a  $I$  natężenie prądu płynącego przez to złącze. Ze wzoru (1.3) wynika, że efekt cieplny nie zależy od wymiarów geometrycznych złącza i jest proporcjonalny do natężenia prądu.

Poprawnej i pełnej interpretacji zjawisk termoelektrycznych na gruncie rozważań termodynamicznych dokonał wybitny fizyk irlandzki William Thomson (Lord Kelvin) w 1856 roku. Thomson wykazał związek między współczynnikiem Seebecka i Peltiera oraz odkrył nowe zjawisko termoelektryczne polegające na wydzielaniu lub pochłanianiu ciepła podczas przepływu prądu elektrycznego przez przewodnik, w którym występuje gradient temperatury, nazywane zjawiskiem Thomsona.

Związek między współczynnikiem Seebecka i współczynnikiem Peltiera opisywany jest zależnością:

$$\Pi = \alpha T \quad (1.4)$$

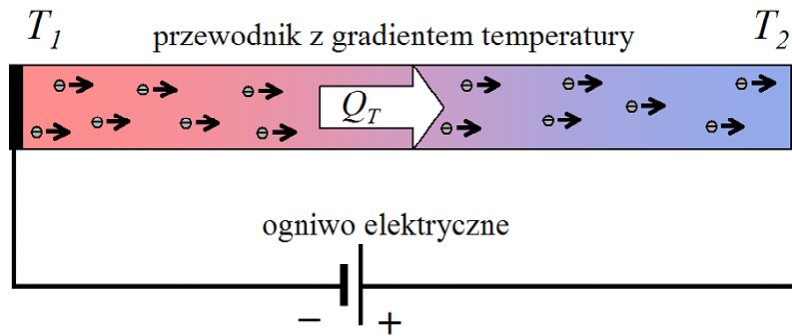
### 1.1.4. Zjawisko Thomsona

Zjawisko Thomsona zostało opisane w 1851 roku. Polega ono na generowaniu lub pochłanianiu ciepła  $Q_T$  podczas przepływu prądu przez przewodnik, w którym występuje gradient temperatury  $dT/dx$ .

$$\frac{dQ_T}{dT} = \tau_T I \frac{dT}{dx} \quad (1.5)$$

gdzie  $\tau_T$  oznacza współczynnik Thomsona. Współczynnik ten związany ze współczynnikiem Seebecka zależnością:

$$\tau_T = T \frac{d\alpha}{dT} \quad (1.6)$$



Rys. 4. Ilustracja zjawiska Thomsona.

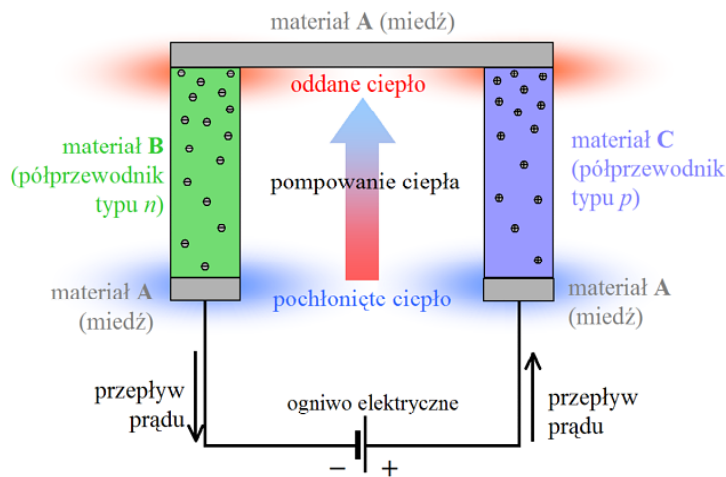
## 2. Chłodziarki termoelektryczne

### 2.1. Proste chłodziarki termoelektryczne

Rozpatrzmy układ przedstawiony na rys.5. Wnioski wynikające z opisu pojedynczej termopary można przenieść na układ termopar połączonych elektrycznie szeregowo, a cieplnie równolegle.

Podczas przepływu prądu elektrycznego w kierunku przedstawionym na rys.5 elektrony przenoszone są z półprzewodnika typu n w którym mają większą energię do półprzewodnika typu p w którym energia elektronów jest mniejsza. Elektrony oddając energię powodują nagrzewanie tego złącza. Na dolnym złączu sytuacja jest odwrotna, elektrony przechodząc z półprzewodnika typu p do półprzewodnika typu n muszą zwiększyć swoją energię pobierając ciepło.

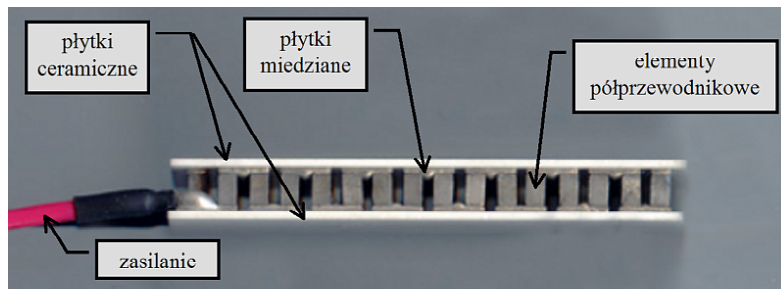
Są cztery złącza: A-B, B-A, A-C i C-A. Przy przepływie prądu, zgodnie z rysunkiem 5, dwa złącza bliżej ogniwa będą pobierały ciepło z otoczenia (ze źródła ciepła), dwa pozostałe będą oddawały ciepło do otoczenia (do odbiornika ciepła). Nastąpi przepompowanie ciepła z zimnych złączy termopar do gorących. Zakładamy, że nie ma oporów cieplnych między złączami a źródłem i odbiornikiem ciepła. Odwrócenie biegunów ogniwa elektrycznego zmieni kierunek przepływu prądu, a tym samym kierunek pompowania ciepła na przeciwny.



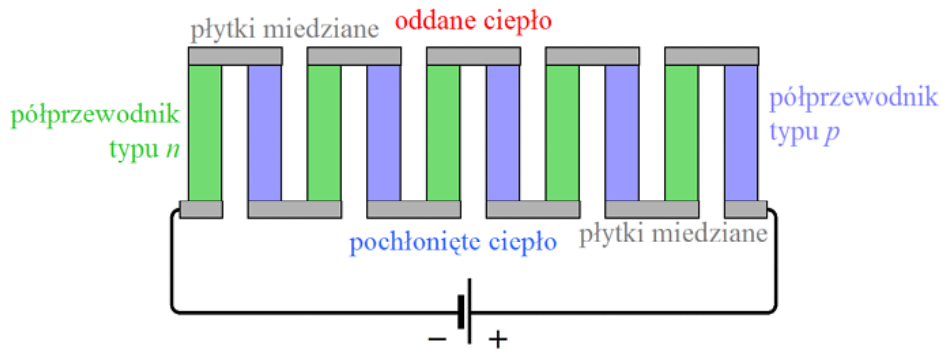
Rys. 5. Ilustracja zasady działania chłodziarki Peltiera.

W przypadku pompy ciepła zimne złącza termopar muszą mieć nieprzerwany dostęp do źródła ciepła (żeby było co pompować). Natomiast w przypadku chłodziarki gorące złącza muszą mieć zapewniony nieprzerwany odbiór ciepła (żeby udało się chłodzić).

W module Peltiera (rys. 6 i 7) wykorzystuje się wiele połączonych ze sobą elementów termoelektrycznych, połączonych elektrycznie szeregowo, a cieplnie równolegle, jednak zasada działania układu pozostaje niezmienna.



Rys. 6. Fotografia modułu Peltiera (widok z boku).



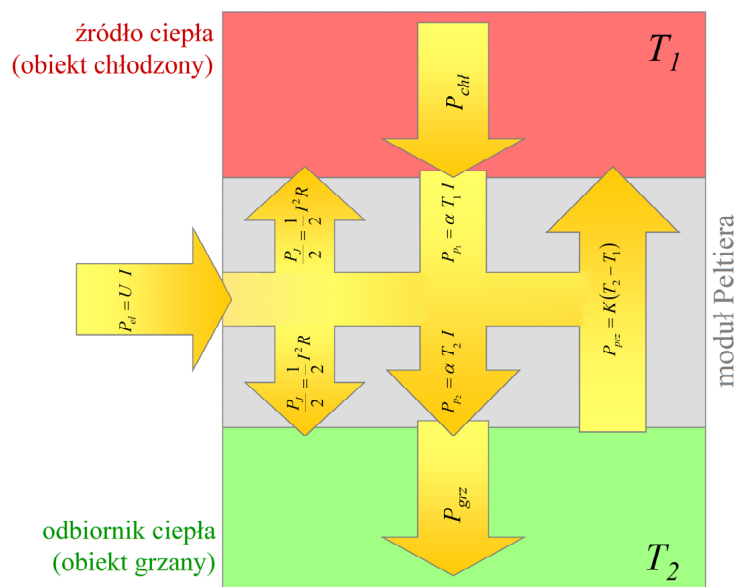
Rys. 7. Idea modularnej budowy chłodziarki Peltiera.

Okładziny ceramiczne są izolatorami elektrycznymi, do tego mają dobrą przewodność cieplną, potrzebną do minimalizowania oporów wymiany ciepła z otoczeniem. Poza tym wzmacniają konstrukcję modułu.

Wielkością najbardziej interesującą jest współczynnik wydajności, który definiowany jest jako stosunek ciepła pobieranego ze źródła ciepła do energii pobieranej ze źródła prądu zasilającego układ. Jeśli układ jest wolny od strat, to ten stosunek jest równy sprawności cyklu Carnota

$$\Phi_{Carnot} = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (2.1)$$

Nas interesuje również moc chłodząca, to jest strumień ciepła pobierany z obiektu chłodzonego. Bilans mocy modułu Peltiera przedstawiono na rys. 8.



Rys.8. Bilans mocy modułu Peltiera. Oznaczenia na rysunku:  $P_{el}$  – moc prądu elektrycznego doprowadzonego do modułu Peltiera,  $P_J$  – moc strat na ciepło Joule’a,  $P_{chl}$  – efektywna moc chłodząca,  $P_{p1}$  – moc Peltiera (chłodzenie),  $P_{p2}$  – moc Peltiera (grzanie),  $P_{prz}$  – moc przewodzona cieplnie (ciepło przewodzone),  $P_{grz}$  – sumaryczna moc grzejna przekazywana do odbiornika ciepła,  $T_1$  i  $T_2$  – temperatury odpowiednio źródła i odbiornika ciepła.

Jeżeli prąd elektryczny o natężeniu  $I$  przepływa przez złącze, mamy do czynienia z chłodzeniem peltierowskim źródła ciepła. Strumień ciepła wynosi wtedy:

$$\dot{Q}_p = \Pi I = (\alpha_p - \alpha_n) T_1 I \quad (2.2)$$

gdzie:  $\alpha_p$  i  $\alpha_n$  oznaczają współczynniki Seebecka gałęzi termopary,  $T_1$  - temperaturę źródła ciepła.

Efekt chłodzenia jest zmniejszony o strumień ciepła przewodzony przez termoparę:

$$\dot{Q}_C = \Pi I = (K_p + K_n) (T_2 - T_1), \quad (2.3)$$

gdzie  $K_p$  i  $K_n$  oznaczają efektywne współczynniki przewodzenia ciepła gałęzi termopary,  $T_2$  oznacza temperaturę odbiornika ciepła.

Chłodzenie jest dodatkowo zmniejszone przez ciepło Joule'a wydzielane na rezystancji termopary. Warto przypomnieć, że ramiona termopar są połączone elektrycznie szeregowo, a cieplnie równolegle. Rezystancja termopary jest sumą rezystancji obu jej gałęzi

$$R_p + R_n = \frac{\rho_p l_p}{S_p} + \frac{\rho_n l_n}{S_n}, \quad (2.4)$$

gdzie:  $\rho_p$  i  $\rho_n$  oznaczają opór właściwy,  $l_p$  i  $l_n$  długości, natomiast  $S_p$  i  $S_n$  pola przekroju gałęzi termopary. Przewodność cieplna termopary

$$K_p + K_n = \frac{k_p l_p}{S_p} + \frac{k_n l_n}{S_n} \quad (2.5)$$

W realnych termoparach półprzewodnikowych ze względów technologicznych oraz z uwagi na to, że opór właściwy oraz przewodność właściwa obu gałęzi termopary są zbliżone, wymiary geometryczne obu gałęzi termopar są jednakowe.

Zakładamy, że moc tracona na ciepło Joule'a dzielona jest równo pomiędzy oba końce termopar.

$$\dot{Q}_J = \frac{1}{2} I^2 (R_p + R_n), \quad (2.6)$$

gdzie  $R_p$  i  $R_n$  oznaczają rezystancje gałęzi termopary.

W celu uproszczenia zapisu wprowadzimy następujące oznaczenia:

$$\alpha_p - \alpha_n = \alpha \quad R_p + R_n = R \quad K_p + K_n = K \quad T_2 - T_1 = \Delta T \quad (2.7)$$

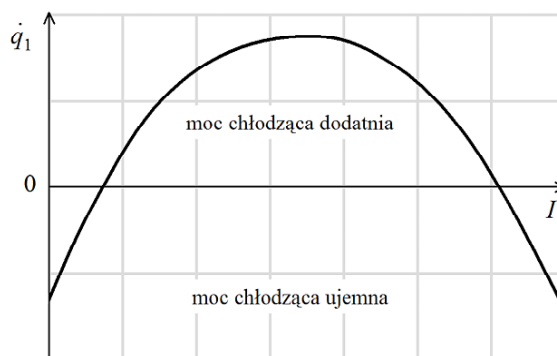
Moc chłodzącą możemy więc zapisać jako różnicę między pochodnymi po czasie z ciepła Peltiera, ciepła przewodzonego i ciepła Joule'a:

$$\dot{q}_1 = \dot{Q}_p - \dot{Q}_C - \dot{Q}_J = \alpha T_1 I - K \Delta T - \frac{1}{2} I^2 R \quad (2.8)$$

Moc elektryczna pobrana ze źródła prądu zostaje zużyta na pokonanie napięcia termoelektrycznego oraz wydzielenie ciepła Joule'a w całej termoparze.

$$w = \dot{Q}_T + \dot{Q}_J = \alpha \Delta T I + I^2 R \quad (2.9)$$

Na rys.9 przedstawiono zależność mocy chłodzącej modułu Peltiera od natężenia prądu płynącego przez moduł przy zadanej różnicy temperatur pomiędzy źródłem i odbiornikiem ciepła.



Rys.9. Zależność mocy chłodzącej modułu Peltiera od natężenia prądu płynącego przez moduł przy zadanej różnicy temperatur pomiędzy źródłem i odbiornikiem ciepła.

Współczynnik efektywności chłodzenia jest to stosunek mocy pobieranej z obiektu chłodzonego do mocy zasilającej układ.

$$\Phi = \frac{\alpha T_1 I - K \Delta T - \frac{1}{2} I^2 R}{\alpha \Delta T I + I^2 R} \quad (2.10)$$

Z równania (2.8) wynika paraboliczna zależność mocy chłodzącej modułu Peltiera od natężenia prądu. Dla małych natężeń prądu ciepło Peltiera nie wystarcza na skompensowanie ciepła przewodzenia i ciepła Joule'a, przy czym ciepło przewodzenia jest dominujące. W tym zakresie ciepło chłodzące jest ujemne, innymi słowy ciepło jest dostarczane, a nie pobierane z układu chłodzonego (źródła ciepła). Przy odpowiednio dużym natężeniu prądu ciepło pobierane ze źródła prądu ponownie jest ujemne. W tym zakresie dominującym procesem jest ciepło Joule'a.

Natężenie prądu odpowiadające maksimum mocy chłodzącej otrzymujemy z warunku:

$$\frac{dq_1}{dI} = 0 = \alpha T_1 - I_{\max} R \quad \Rightarrow \quad I_{\max} = \frac{\alpha T_1}{R} \quad (2.11)$$

Dla tej wartości natężenia prądu współczynnik wydajności jest największy.

Podstawiając wartość natężenia prądu odpowiadającą maksymalnej mocy chłodzącej do równania (2.10) otrzymujemy:

$$\Phi_{\max} = \frac{\frac{1}{2} \frac{\alpha^2 T_1^2}{RK} - \Delta T}{\frac{\alpha^2}{RK} T_1 T_2} = \frac{\frac{1}{2} Z T_1^2 - \Delta T}{Z T_1 T_2} \quad (2.12)$$

gdzie:

$$Z = \frac{\alpha^2}{KR} \quad (2.13)$$

charakteryzuje materiały, z których wykonane są elementy termopary i nosi nazwę współczynnika efektywności termopary.

Ponieważ  $Z$  ma wymiar  $[K^{-1}]$  częściej stosowany jest bezwymiarowy współczynnik  $ZT$ , gdzie  $T$  oznacza temperaturę pracy modułu wyrażoną w K.

Wielkością charakteryzującą materiał termopary pod względem jego przydatności do budowy chłodziarek i generatorów termoelektrycznych jest współczynnik efektywności  $Z$  definiowany jako

$$Z = \frac{\alpha^2}{k\rho} = \frac{\alpha^2 \sigma}{k}, \quad (2.14)$$

gdzie  $k$  oznacza współczynnik przewodności cieplnej,  $\rho$  oporność właściwą, a  $\sigma$  przewodnictwo właściwe materiału. Z równań (2.12) i (2.13) wynika, że dobre materiały przeznaczone do budowy modułów Peltiera powinny charakteryzować się wysokimi wartościami współczynnika Seebecka i małą przewodnością elektryczną i cieplną.

Jeżeli wprowadzić średnią temperaturę pracy modułu Peltiera  $T_m$  to:

$$I_{m \max} = \frac{\alpha \Delta T}{R \left[ (1 + Z T_m)^{1/2} - 1 \right]} \quad (2.15)$$

oraz

$$\Phi_{m \max} = \frac{T_1 \left[ (1 + Z T_m)^{1/2} - \frac{T_2}{T_1} \right]}{\Delta T \left[ (1 + Z T_m)^{1/2} + 1 \right]} \quad (2.16)$$

Należy dodać, że nie zawsze warto dobrać warunki pracy modułu Peltiera odpowiadające maksimum efektywności opisanemu równaniami (2.11) i (2.15). W praktyce (ze względów ekonomicznych) dobiera się natężenie prądu pośrednio do opisanych tymi równaniami.

Interesującą ze względu na zastosowania chłodziarek Peltiera wielkością jest maksymalna możliwa do osiągnięcia różnica temperatur pomiędzy źródłem i odbiornikiem ciepła. Maksymalna różnica osiągana jest wtedy, gdy moc chłodząca jest równa zero (licznik po prawej stronie równania (2.10) jest równy zero).

Z tego warunku otrzymujemy:

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} ZT_1^2 \quad (2.17)$$

Warto zwrócić uwagę na to, że korzystając z równania (2.17), na podstawie pomiaru  $\Delta T_{\max}$  można wyznaczyć wartość współczynnika efektywności modułu termoelektrycznego  $Z$ .

### 3. Zasada pomiaru i układ pomiarowy

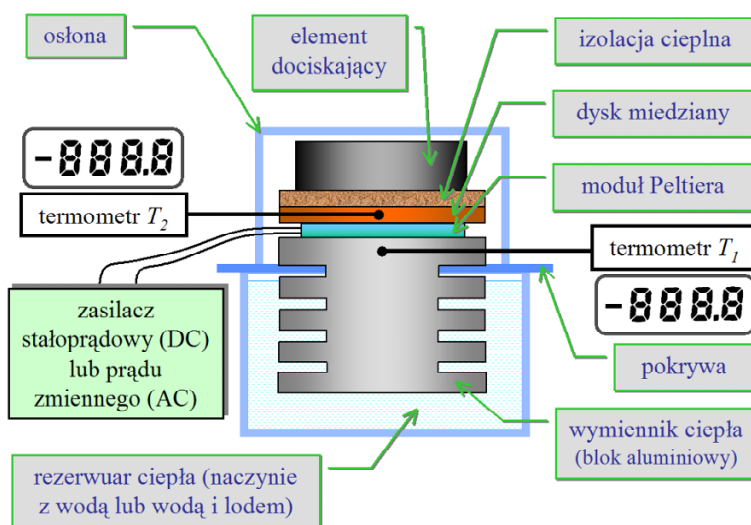
Zasadniczą częścią układu pomiarowego jest półprzewodnikowy moduł Peltiera połączony z zasilaczem prądu stałego lub przemiennego. Moduł Peltiera jest umieszczony na aluminiowym wymienniku ciepła częściowo zanurzonym w naczyniu z wodą lub mieszaniną wody z lodem, spełniającym rolę zasobnika (rezerwuaru) ciepła. Na module Peltiera jest umieszczona płytka miedziana oraz warstwa izolacji cieplnej. W górnej części aluminiowego wymiennika ciepła oraz w bloku miedzianym znajdują się otwory, w których umieszczone są czujniki temperatury połączone z termometrami elektronicznymi. W celu polepszenia kontaktu cieplnego powierzchnie styku poszczególnych elementów pokryte są pastą termoprzewodzącą.

Układ jest zasilany z zasilacza prądu stałego lub przemiennego w zależności od zadań pomiarowych.

Fotografię oraz schemat układu pomiarowego przedstawiają rysunki 10.a i 10.b.



Rys.10.a. Układ do badania modułu Peltiera i chłodziarki peltierowskiej.



Rys.10.b. Schemat układu do badania modułu Peltiera i chłodziarki peltierowskiej.

### 4. Zadania do wykonania

#### 4.1. Wyznaczanie sprawności chłodzenia

Napełnić naczynie zimną wodą z kranu do poziomu około 1,5 cm poniżej górnej krawędzi naczynia. Połączyć zasilacz prądu stałego z modułem Peltiera. Zwrócić uwagę na to, aby podłączyć (+) zasilacza z (+) modułu Peltiera, a (-) zasilacza z (-) modułu Peltiera (gniazdo czerwone na zasilaczu z gniazdem czerwonym modułu Peltiera, a gniazdo czarne zasilacza z gniazdem czarnym modułu Peltiera). Przy takim połączeniu blok miedziany będzie chłodzony.

Ustawić (możliwie szybko) natężenie prądu płynącego przez moduł Peltiera na wartość z przedziału 1,0 – 1,5 A. Po ustaleniu natężenia prądu wyłączyć zasilacz i odczekać kilka minut na ustalenie się temperatury. Zanotować temperaturę bloku miedzianego, a następnie włączyć

zasilanie modułu Peltiera i co 5 s notować temperaturę bloku miedzianego (termometr elektroniczny wyświetla zmiany temperatury co 5 s). Wyłączyć zasilanie modułu Peltiera.

### Opracowanie wyników.

Korzystając z uzyskanych wyników, narysować wykres zależności temperatury bloku miedzianego od czasu. Na podstawie wykresu wyznaczyć średnią prędkość zmian temperatury  $\frac{dT}{dt} \cong \frac{\Delta T}{\Delta t}$ , gdzie  $\Delta T$  oznacza zmianę temperatury bloku miedzianego w czasie  $\Delta t$ .

Obliczyć moc pobieraną z zasilacza przez moduł Peltiera ze wzoru  $P_{el} = UI$ , gdzie  $U$  oznacza napięcie zasilania,  $I$  – natężenie prądu płynącego przez moduł.

Obliczyć moc pobieraną przez moduł Peltiera z bloku miedzianego (moc chłodzenia) korzystając ze wzoru:

$$\dot{Q}_{chl} = \frac{dQ_{chl}}{dt} = mc \frac{dT}{dt},$$

gdzie  $m = 130,4 \text{ g}$  – masa bloku miedzianego,  $c = 0,3855 \text{ J/gK}$  – ciepło właściwe miedzi.

Obliczyć sprawność chłodzenia badanego układu  $\eta_{ct} = \frac{\dot{Q}_{chl}}{P_{el}}$

### 4.2. Wyznaczanie zależności różnicy temperatur bloku zimnego i gorącego od natężenia prądu płynącego przez moduł Peltiera.

Korzystając z układu i połączeń opisanych w poprzednim punkcie, wyznaczyć zależność różnicy temperatur między blokiem aluminiowym i blokiem miedzianym od natężenia prądu zasilającego moduł. Natężenie prądu zmieniać co 0,3 lub 0,4 A w przedziale od zera do 3 A. Po każdej zmianie natężenia prądu odczekać około 4 min na ustalenie się różnicy temperatur, zanotować temperatury bloku aluminiowego i miedzianego.

### Opracowanie wyników

Na podstawie uzyskanych wyników narysować wykres zależności różnicy temperatur między zimną i gorącą stroną modułu Peltiera od natężenia prądu. Wyjaśnić dlaczego przy dużych natężeniach prądu płynącego przez moduł sprawność chłodzenia maleje (zwiększanie natężenia prądu powoduje zmniejszenie różnicy temperatur między „zimną” i „gorącą” stroną modułu).

### 4.3 Pomiar wilgotności powietrza (temperatury rosy).

Podczas pomiarów wymienionych w punkcie 4.1. obserwować powierzchnię bloku miedzianego. Uwaga! Blok miedziany jest poniklowany i ma szary a nie miedziany kolor. Zanotować temperaturę, przy której blok miedziany staje się matowy (zostaje pokryty rosą). Zanotować tę temperaturę oraz temperaturę otoczenia.

### Opracowanie wyników

Korzystając z tablic, wyznaczyć zawartość pary wodnej w metrze sześciennym powietrza oraz wilgotność względną.

### 4.4. Badanie ciepła Joule’a wydzielanego w module Peltiera.

Jeżeli moduł Peltiera będzie zasilany prądem przemiennym, to wypadkowe ciepło Peltiera będzie równe zero, ponieważ poszczególne strony modułu będą na przemian grzane i chłodzone w zależności od kierunku przepływu prądu. Zwróćmy uwagę na to, że ciepło Joule’a ( $\Delta Q_J = I^2 R \Delta t$ ) jest proporcjonalne do kwadratu natężenia prądu i jest wydzielane niezależnie od kierunku przepływającego prądu.

Połączyć zasilacz prądu przemiennego z modułem Peltiera. Zasilacz stanowi autotransformator połączony z transformatorem. Do układu należy podłączyć wyjście 12 V z transformatora poprzez amperomierz prądu przemiennego, który służy do pomiaru natężenia prądu.

**Uwaga:** nie wolno podłączać wyjścia z autotransformatora bezpośrednio z modułem Peltiera.

Wyznaczyć zależność różnicy temperatur między blokiem aluminiowym i blokiem miedzianym od natężenia prądu zasilającego moduł. Natężenie prądu zmieniać co 0,3 lub 0,4 A w przedziale od zera do około 1,5 A. Po każdej zmianie natężenia prądu odczekać około 4 min na ustalenie się różnicy temperatur i zanotować temperatury bloku aluminiowego i miedzianego.

### Opracowanie wyników

Na podstawie uzyskanych wyników narysować wykres zależności różnicy temperatur między zimną i gorącą stroną modułu Peltiera od natężenia prądu przemiennego. Porównać uzyskaną zależność w wynikami poprzednich badań i wyjaśnić przyczynę różnic tych zależności.

### 5. Pytania:

1. Wyjaśnić i opisać wzorami zjawiska Seebecka i Peltiera.
2. Narysować i wyjaśnić bilans mocy dla modułu Peltiera.
3. Narysować schemat i wyjaśnić budowę półprzewodnikowego modułu Peltiera.
4. Naszkicować wykres i wyjaśnić zależność mocy chłodzącej modułu Peltiera od natężenia prądu płynącego przez ten moduł.
5. Podać definicję sprawności chłodzenia.
6. Wyjaśnić różnicę między chłodziarką i pompą ciepła.
7. Zdefiniować podstawowe wielkości związane z wilgotnością powietrza. Podać przykłady zjawisk i procesów w których wilgotność powietrza (gazu) odgrywa ważną rolę.

**Opracowanie: Ryszard Poprawski, Beata Radojewska i Wojciech Poprawski**

## Dodatek na temat wilgotności powietrza

Wilgotność powietrza odgrywa bardzo ważną rolę w zjawiskach atmosferycznych, chłodnictwie, przechowywaniu warzyw, owoców i innych produktów, w wielu procesach technologicznych np. w przemyśle papierniczym, farmaceutycznym, elektronicznym, wpływa w istotny sposób na zdrowie i samopoczucie ludzi, dlatego tematyka dotycząca wilgotności gazów oraz jeden ze sposobów jej wyznaczania jest ważnym elementem edukacji inżynierskiej.

### Podstawowe pojęcia dotyczące wilgotności powietrza

**Prężność pary wodnej** lub jej ciśnienie cząstkowe oznacza ciśnienie pary wodnej zawartej w powietrzu lub innym gazie wyrażone w Pa.

**Wilgotność bezwzględna** ( $\text{g/m}^3$ ) jest to masa pary wodnej zawartej w  $1 \text{ m}^3$  powietrza (gazu).

**Wilgotność właściwa** ( $\text{g/kg}$ ) to masa pary wodnej zawarta w jednym kg powietrza (gazu) wraz z parą wodną.

**Wilgotność względna** (%) oznacza stosunek prężności pary wodnej zawartej w powietrzu (lub innym gazie) do prężności pary wodnej nasyconej w danej temperaturze.

**Punkt rosy** lub **temperatura rosy** ( $^{\circ}\text{C}$  lub K) to temperatura, którą przyjmie powietrze (lub inny gaz) ochłodzone izobarycznie do stanu nasycenia zawartej w nim pary wodnej (podczas chłodzenia rozpocznie się skraplanie zawartej w nim pary wodnej).

**Tabela: Zależność ciśnienia oraz gęstości pary wodnej nasyconej od temperatury w przedziale od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $75^{\circ}\text{C}$ .**

Temp. $^{\circ}\text{C}$	Ciśnienie $\text{N/m}^2$	Gęstość pary $\text{kg/m}^3$	Temp. $^{\circ}\text{C}$	Ciśnienie $\text{N/m}^2$	Gęstość pary $\text{kg/m}^3$	Temp. $^{\circ}\text{C}$	Ciśnienie $\text{N/m}^2$	Gęstość pary $\text{kg/m}^3$
0	610,758	0,004847	25	3166,57	0,02304	50	12334,80	0,08306
1	656,555	0,005192	26	3359,76	0,02437	51	12960,47	0,08696
2	705,392	0,005559	27	3563,74	0,02576	52	13611,63	0,09107
3	757,465	0,005945	28	3778,50	0,02723	53	14292,21	0,09533
4	812,873	0,006357	29	4004,06	0,02876	54	15001,23	0,09980
5	871,909	0,006793	30	4241,38	0,03037	55	15739,67	0,1044
6	934,769	0,007257	31	4491,45	0,03205	56	16509,50	0,1092
7	1001,258	0,007746	32	4753,28	0,03382	57	17311,68	0,1142

8	1072,06	0,008264	33	5028,85	0,03566	58	18146,23	0,1193
9	1147,28	0,008818	34	5318,15	0,03759	59	19015,09	0,1247
10	1227,11	0,009398	35	5622,15	0,03962	60	19917,31	0,1302
11	1311,74	0,01001	36	5939,89	0,04172	61	20858,74	0,1360
12	1401,57	0,01066	37	6274,29	0,04392	62	21839,41	0,1420
13	1496,69	0,01134	38	6624,39	0,04623	63	22849,49	0,1482
14	1597,41	0,01206	39	6991,16	0,04864	64	23908,61	0,1546
15	1704,10	0,01282	40	7374,60	0,05115	65	25006,96	0,1613
16	1816,98	0,01363	41	7777,65	0,05379	66	26144,53	0,1613
17	1936,42	0,01447	42	8198,36	0,05653	67	27332,11	0,1753
18	2062,34	0,01536	43	8638,68	0,05938	68	28556,96	0,1826
19	2195,71	0,01630	44	9099,59	0,06234	69	29841,64	0,1903
20	2336,92	0,01729	45	9582,08	0,06544	70	31165,53	0,1982
21	2485,99	0,01833	46	10085,16	0,06868	71	32538,47	0,2064
22	2642,89	0,01942	47	10611,78	0,07205	72	33960,43	0,2148
23	2807,64	0,02057	48	11161,93	0,07559	73	35431,43	0,2236
24	2982,20	0,02177	49	11735,62	0,07924	74	36961,26	0,2326
25	3166,57	0,02304	50	12334,80	0,08306	75	38549,94	0,2420