

**ĆWICZENIE**

38 B

Badanie i zastosowania półprzewodnikowego modułu Peltiera jako pompy ciepła.**Cel ćwiczenia:**

- poznanie istoty zjawisk termoelektrycznych oraz ich opisu,
- wyznaczenie efektywności modułu Peltiera jako pompy ciepła,
- 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,
- wyznaczenie wartości współczynnika efektywności modułu Peltiera (figure of merit).

Zagadnienia:

zjawiska Seebecka i Peltiera, współczynnik termoelektryczny, współczynnik Peltiera, bilans mocy modułu Peltiera, efektywność chłodzenia i efektywność peltierowskiej pompy ciepła.

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 ΔQ_J generowane podczas przepływu prądu elektrycznego o natężeniu I przez opornik R w czasie Δt

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

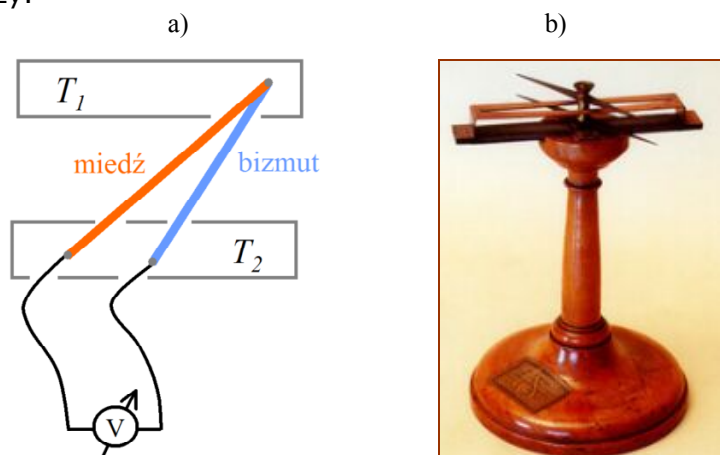
Zjawisko zostało odkryte przez angielskiego fizyka Jamesa Prescottta Joule'a w 1840 roku. Dwa lata później niezależnie zjawisko odkrył Heinrich Friedrich Lenz, rosyjski fizyk o niemieckich korzeniach.

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.). Jeżeli te złącza mają różne temperatury, to różnica potencjałów między złączami jest opisana przybliżonym równaniem:

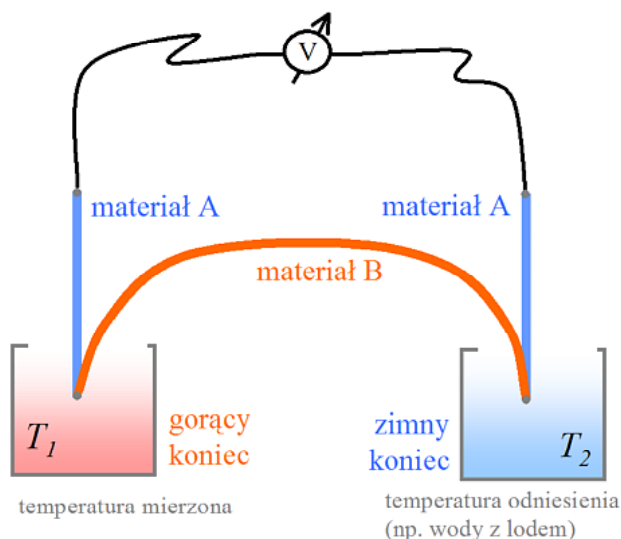
$$\Delta V = (\alpha_A - \alpha_B)(T_1 - T_2). \quad (1.2)$$

gdzie: α_A i α_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 dziesiątek 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.

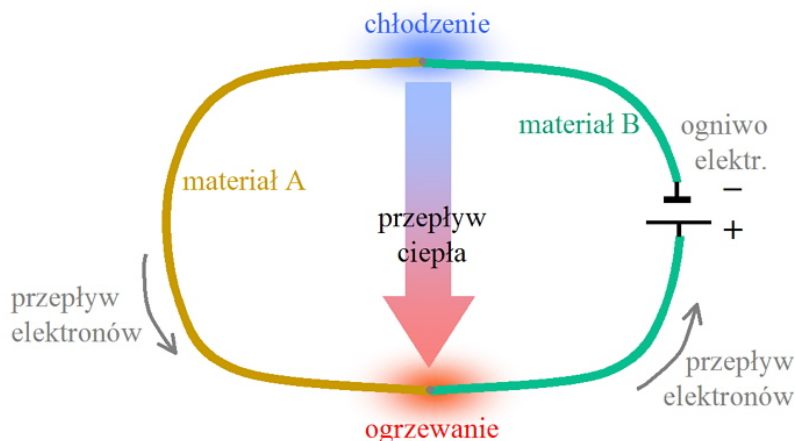


Rys.2. Ilustracja zasady działania termopary.

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 ΔQ wydzielane lub pochłaniane przez złącze 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 Π 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:

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

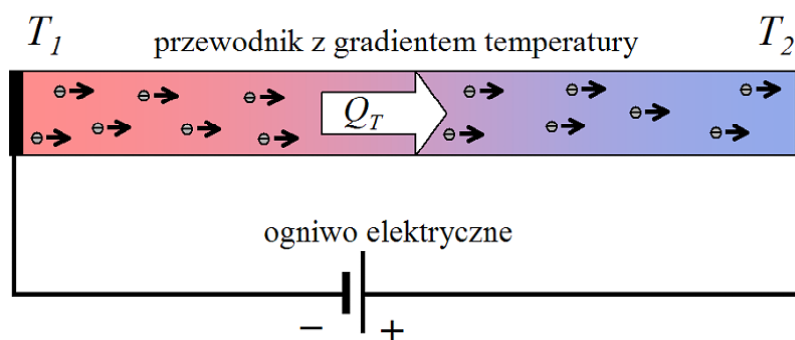
1.1.4. Zjawisko Thomsona

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 τ_T oznacza współczynnik Thomsona. Współczynnik ten związany ze współczynnikiem Seebecka zależnością:

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



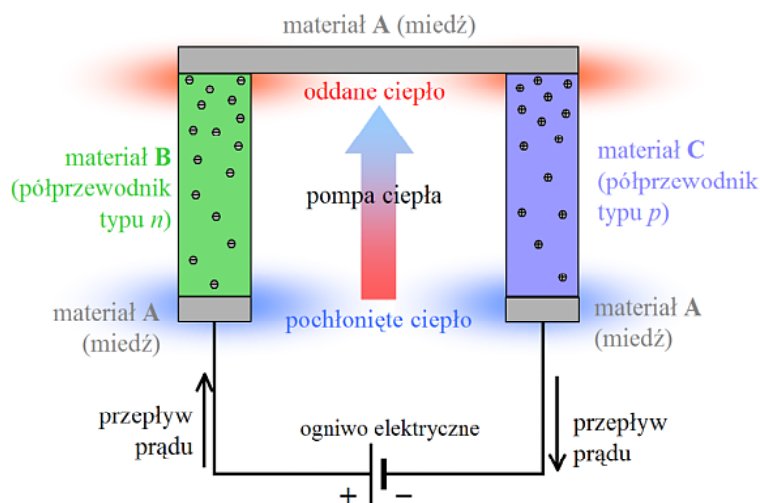
Rys. 4. Ilustracja zjawiska Thomsona.

2. Termoelektryczne pompy ciepła

2.1. Proste pompy ciepła

Pompy ciepła są to urządzenia, które pobierają ciepło z niskotemperaturowego źródła i przekazują je do obiektu ogrzewanego, np. budynku.

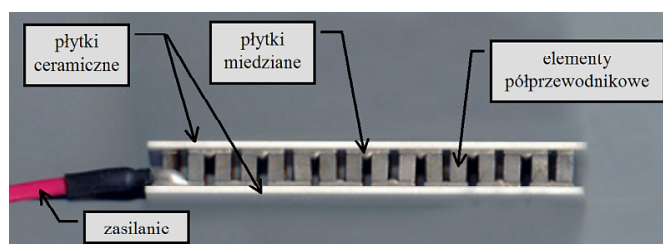
Rozpatrzmy układ przedstawiony na rys.5. Wnioski wynikające z opisu pojedynczej termopary można przenieść na układ termopar połączonych elektrycznie szeregowo, a cieplnie równolegle. Są cztery złącza: A-B, B-A, A-C i C-A. Przy przepływie prądu, zgodnie z rysunkiem 6, dwa złącza bliżej ogniwa będą pobierały 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.



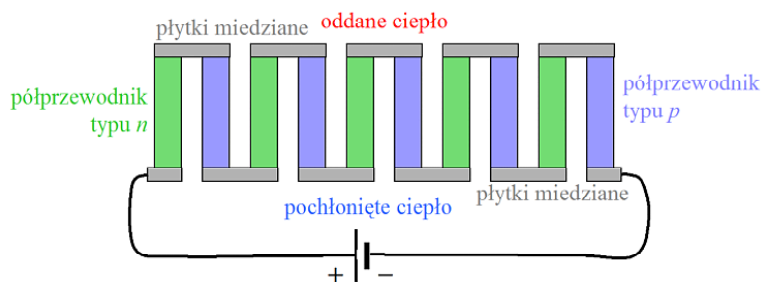
Rys. 5. Ilustracja zasady działania peltierowskiej pompy ciepła.

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. Jednak zasada działania pozostaje niezmienna.



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



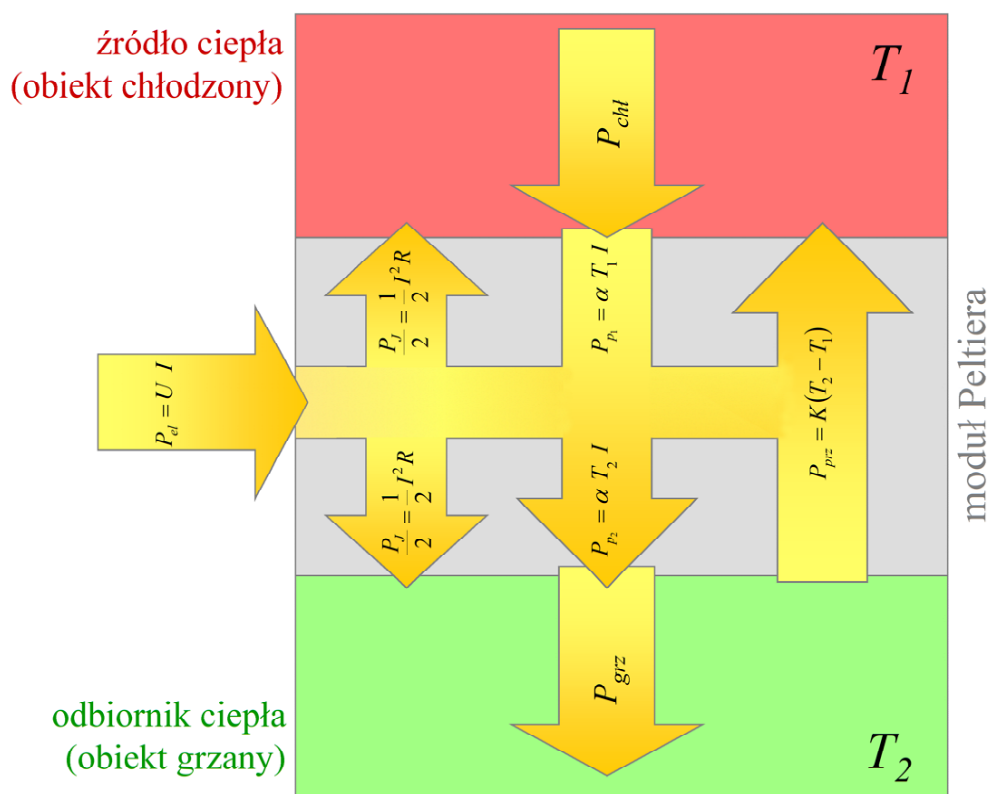
Rys. 7. Idea modularnej budowy chłodziarki Peltiera.

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 termopara jest wolna od strat, to ten stosunek jest równy wydajności cyklu Carnota

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

Nas interesuje moc chłodząca, to jest strumień ciepła pobierany ze źródła. 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: α_p i α_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 zwrócić uwagę na to, że ramiona termopar są połączone elektrycznie szeregowo, a cieplnie równolegle. Rezystancja termopary

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

gdzie: ρ_p i ρ_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:

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

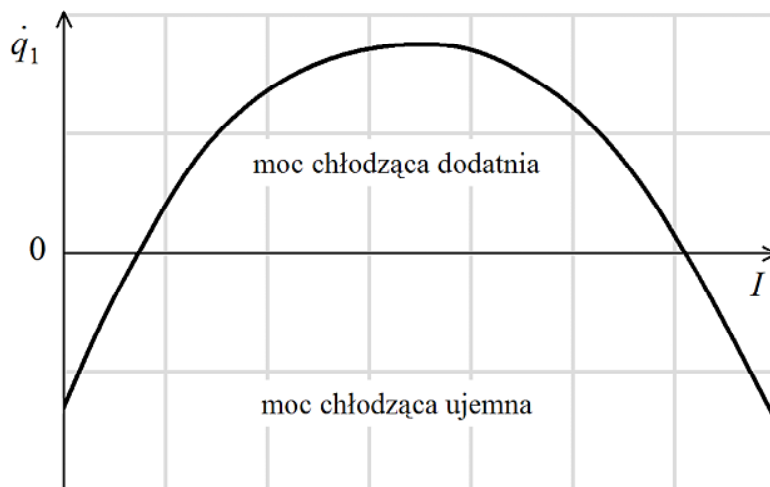
Moc chłodzącą możemy więc zapisać jako różnicę między pochodnymi po czasie z ciepła Peltiera, ciepła przewodzonego i ciepła Joule'a:

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

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.



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 wynosi

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

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, ρ oporność właściwą, a σ 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.

2.2. Moduł Peltiera jako pompa ciepła

W przypadku pompy ciepła interesuje nas ciepło oddawane do źródła. Ciepło jest pobierane z odbiornika ciepła i jest sumą

$$q_2 = q_1 + w = w(\Phi + 1) \quad (2.15)$$

Efektywność modułu Peltiera jako pompy ciepła jest to stosunek mocy przekazywanej do obiektu ogrzewanego do mocy pobieranej z zewnętrznego źródła zasilającego.

$$\Phi_{pcm} = \frac{q_2}{w} = (\Phi + 1), \quad (2.16)$$

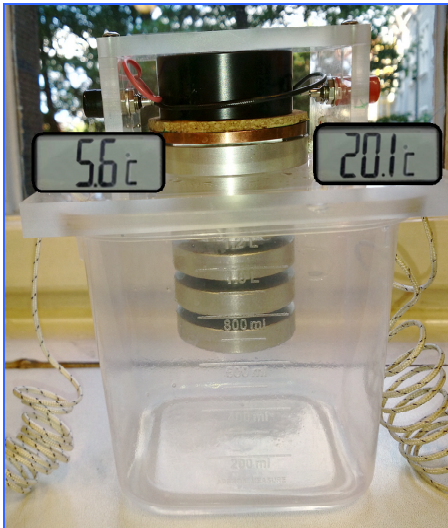
Zwykle Φ jest dodatnie, więc efektywność jest większa od jedności.

3. Zasada pomiaru i układ pomiarowy

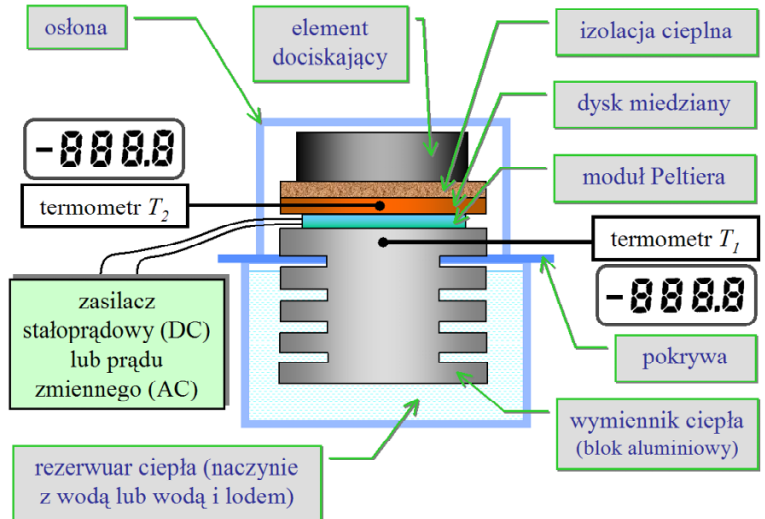
Zasadniczą częścią układu pomiarowego jest półprzewodnikowy moduł Peltiera połączony z zasilaczem prądu stałego lub przemiennego. Moduł Peltiera jest umieszczony na aluminiowym wymienniku ciepła częściowo zanurzonym w naczyniu z wodą lub mieszaniną wody z lodem, spełniającym rolę zasobnika (rezerwuaru) 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 oraz peltierowskiej pompy ciepła.



Rys.10.b. Schemat układu do badania modułu Peltiera oraz peltierowskiej pompy ciepła.

4. Zadania do wykonania

4.1. Wyznaczanie sprawności modułu Peltiera jako pompy ciepła

Wypełnić naczynie zimną wodą z kranu. Połączyć zasilacz prądu stałego z modułem Peltiera: (+) zasilacza z (-) modułu Peltiera, a (-) zasilacza z (+) modułu Peltiera (gniazdo czerwone na zasilaczu z gniazdem czarnym modułu Peltiera, a gniazdo czarne zasilacza z gniazdem czerwonym modułu Peltiera). Przy takim połączeniu blok miedziany będzie ogrzewany.

Zanotować temperaturę bloku miedzianego, a następnie włączyć zasilanie modułu Peltiera. Zanotować natężenie prądu i napięcie zasilania modułu Peltiera. Po włączeniu zasilania pięciokrotnie co 5 s notować temperaturę bloku miedzianego (termometr wyświetla zmiany temperatury co 5 s). Wyłączyć zasilanie modułu Peltiera.

Opracowanie wyników

Na podstawie uzyskanych wyników narysować wykres zależności zmian temperatury bloku miedzianego od czasu $\frac{dT}{dt} \cong \frac{\Delta T}{\Delta t}$, gdzie ΔT przyrost temperatury bloku miedzianego w czasie Δt .

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 przekazywaną przez moduł Peltiera do bloku miedzianego (moc grzania) korzystając ze wzoru:

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

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

Obliczyć sprawność badanego układu jako pompy ciepła korzystając ze wzoru:

$$\eta_{grz} = \frac{Q_{grz}}{P_{el}}$$

4.2. Badanie zależności efektywności modułu Peltiera jako pompy ciepła od natężenia prądu.

Wypełnić naczynie mieszaniną wody z lodem. Korzystając z układu i połączeń elektrycznych opisanych w punkcie 4.1. wyznaczyć zależność różnicy temperatur między blokiem aluminiowym i blokiem miedzianym od natężenia prądu zasilającego moduł. Natężenie prądu zmieniać co 0,4 A w przedziale od zera do 2 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. Wykres aproksymować wielomianem drugiego stopnia. Na podstawie aproksymacji wykresu wyznaczyć maksymalną wartość różnicy temperatur ΔT_{\max} oraz temperaturę bloku zimnego T_1 , przy której uzyskano maksymalną różnicę temperatur.

Korzystając z równania $\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} Z T_1^2$ wyznaczyć wartość współczynnika efektywności modułu termoelektrycznego Z .

4.3. Badanie ciepła Joule'a 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 bezpośrednio wyjścia z autotransformatora 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. Napisać związek między współczynnikiem Seebecka i Peltiera.
3. Narysować i wyjaśnić bilans mocy dla modułu Peltiera.
4. Narysować schemat i wyjaśnić budowę półprzewodnikowego modułu Peltiera.
5. Co to jest pompa ciepła, wyjaśnić pojęcie sprawności pompy ciepła.
6. Wyjaśnić różnicę między chłodziarką i pompą ciepła.

Opracowanie: Ryszard Poprawski, Beata Radojewska i Wojciech Poprawski