

Pompa ciepła wykorzystująca efekt Peltiera

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest eksperymentalne zbadanie pracy pompy ciepła opartej na module termoelektrycznym (efekt Peltiera) oraz wyznaczenie jej sprawności w trybie grzania. Studenci:

- zmierzają strumień ciepła przekazywany do powietrza przepływającego przez „ciepły” kanał,
- zmierzają moc elektryczną dostarczaną do modułu Peltiera oraz do wentylatora,
- obliczają współczynnik efektywności (COP) pompy ciepła,
- porównują uzyskane wyniki z obliczeniami dla klasycznej grzałki elektrycznej ($COP \approx 1$),
- wykonują analizę niepewności.

2. Wstęp teoretyczny

W technice ziębienia najbardziej rozpowszechnione są systemy i metody, w których czynnikiem roboczym (obiegowym) jest substancja w fazie gazowej (parowej) lub ciekłej. Jednak w wielu przypadkach jest możliwe i celowe wykorzystanie ciał stałych do uzyskiwania niskich temperatur, przy czym podstawą procesu nie jest praca mechaniczna, ale inne formy wzajemnego oddziaływania – elektryczne, magnetyczne, sorpcyjne.

2.1. Efekt Peltiera

Jeżeli zbliżymy do siebie dwa różne metale to wytworzy się między nimi tzw. napięcie kontaktowe, wynikające z różnicy energii elektronów przewodnictwa. Maksymalne wartości tych energii nazywamy poziomami Fermiego dla elektronów. Dwa metale będą w równowadze tylko wtedy, gdy ich poziomy Fermiego będą równe. Jeżeli oba metale połączymy tak aby elektrony mogły przechodzić z metalu A do metalu B, poziomy Fermiego wyrównają się. Na skutek różnicy w ilości ładunków w metalu A i B nastąpi wymiana elektronów pomiędzy metalami. Wymiana ta będzie trwała tak długo dopóki przenoszony ładunek i energia, przez elektrony nie podwyższy odpowiednio poziomu Fermiego w jednym metalu i nie obniży go w drugim. Metal A naładowuje się dodatnio, a metal B naładowuje się ujemnie.

Ważną informacją jest tutaj fakt, że **poziomy Fermiego dla danej temperatury są różne dla różnych materiałów**. Oznacza to, że w sytuacji gdy mamy różne temperatury na złączach powstanie siła elektromotoryczna, tzw. Efekt Seebecka. Zjawisko to jest podstawą działania termoelektrycznych generatorów (TEG), w których gradient temperatury przekształcany jest bezpośrednio w energię elektryczną oraz w elementach pomiarowych (termopary).

Efekt Peltiera jest w pewnym sensie zjawiskiem odwrotnym. Przy przepływie prądu elektrycznego przez złącze dwóch materiałów A i B, na samym złączu dochodzi do pochłaniania lub wydzielania ciepła niezwiązanego bezpośrednio z klasycznym efektem Joule’a. Przepływ ciepła zależy od kierunku przepływu prądu przez złącze: przy jednym kierunku złącze się oziębia (pobiera ciepło z otoczenia), przy przeciwnym – nagrzewa (oddaje ciepło).

W praktycznych modułach termoelektrycznych wykorzystuje się wiele szeregowo połączonych par półprzewodników typu n i p (najczęściej na bazie tellurku bizmutu i jego stopów), przy czym połączenia elektryczne są tak zrealizowane, aby ciepło Peltiera kumulowało się na dwóch przeciwległych powierzchniach modułu: jedna strona staje się „zimna”, druga „ciepła”. Po stronie zimnej ciepło jest pochłaniane, po stronie ciepłej – wydzielane zarówno w wyniku efektu Peltiera, jak i strat Joule’a w materiale. Włączenie takich modułów w odpowiedni układ wymiany ciepła (radiatory, kanały

powietrzne, wymuszone chłodzenie) pozwala traktować je jako pompę ciepła, zdolną do transportu energii cieplnej z obszaru o niższej temperaturze do obszaru o temperaturze wyższej kosztem doprowadzonej energii elektrycznej.

2.2. Bilans energii modułu TEC

Na „ciepłej” stronie modułu (górne źródło, gz) wydzielą się ciepło które jest równe ciepłu pobranemu po stronie „zimnej” (dolne źródło, dz) i dostarczonej energii elektrycznej:

$$Q_{gz} = Q_{dz} + P_{el}$$

2.3. Sprawność pompy ciepła – COP

Współczynnik efektywności pompy ciepła w trybie grzania to, tak jak w przypadku sprężarkowej pompy ciepła, efekt do nakładu:

$$COP = \frac{Q_{gz}}{P_{el} + P_{went}}$$

Natomiast dla zwykłej grzałki elektrycznej wynosiłby on w przybliżeniu 1. Różnica w przypadku grzałki jest taka, że ciepło górnego źródła równe jest ciepłu Joule’a równe $Q_{gz} = I^2 R = IU$.

3. Stanowisko i aparatura

Stanowisko zawiera:

- moduł Peltiera (TEC) z zasilaczem DC,
- dwa kanały powietrzne: „ciepły” i „zimny” z radiatorami,
- wentylator wymuszający przepływ przez kanał ciepły,
- czujniki temperatury powietrza na wlocie i wylocie kanału ciepłego,
- pomiar prędkości lub strumienia objętościowego powietrza w kanale ciepłym (anemometr / przepływomierz),
- pomiar napięcia i natężenia prądu modułu TEC,
- pomiar napięcia i natężenia prądu wentylatora.

4. Zakres pomiarów

Dla co najmniej 3–5 punktów pracy (różne prądy zasilania oraz różne nastawy wentylatora) należy zmierzyć:

- Temperatury powietrza w kanale ciepłym
- Parametry przepływu powietrza w kanale ciepłym
- Parametry elektryczne modułu Peltiera
- Parametry elektryczne wentylatora

5. Wymagane zadania

Na podstawie pomiarów należy policzyć następujące wielkości:

- Strumień masowy powietrza
- Strumień ciepła przekazywanego do powietrza w kanale ciepłym
- Moc elektryczna modułu peltiera
- Moc elektryczna wentylatora
- Współczynnik COP pompy ciepła

Następnie w sprawozdaniu należy wykonać:

- Porównanie z grzałką elektryczną ($COP = 1$)
- Wykres charakterystyki COP modułu peltiera od U oraz I i od przepływu powietrza.