

2.1 Cechowanie termopary i termistora (C1)

Celem ćwiczenia jest zbadanie zależności temperaturowej oporu termistora oraz siły elektromotorycznej indukowanej w obwodach z termoparą. Przeprowadzane jest cechowanie termopary oraz wyznaczane są parametry funkcji opisującej rezystancję termistora typu NTC co pozwala obliczyć szerokość pasma zabronionego półprzewodnika.

Zagadnienia do przygotowania:

- zjawiska termoelektryczne, w szczególności zjawisko Seebecka;
- termopara, budowa i zależność napięcia termopary od temperatury;
- termistor, definicja, typy, zależność oporu termistora typu NTC od temperatury.

Literatura podstawowa: [1], [2], [3], [12].

2.1.1 Podstawowe pojęcia i definicje

Zjawiska termoelektryczne

Zjawiska termoelektryczne to zjawiska łączące procesy cieplne i elektryczne w materiałach, najczęściej metalach, stopach i półprzewodnikach. Na styku dwóch metali, ze względu na różną koncentrację elektronów i różną pracę wyjścia elektronów z metalu, pojawia się niezerowy potencjał kontaktowy. Wartość tego potencjału zależy od rodzaju metali oraz od temperatury, w której znajduje się złącze.

Rozważmy układ dwóch metalowych przewodów połączonych wzajemnie oboma końcami. Jeżeli miejsca spoeń będą miały z powodu czynników zewnętrznych różne temperatury, przez układ popłynie prąd (gdyż przy różnych potencjałach kontaktowych w miejscach spoeń, pojawia się w układzie niezerowa różnica potencjałów czyli napięcie). Wartość napięcia i natężenia prądu będzie zależała (liniowo) od różnicy temperatur na łączach. Powstawanie niezerowego napięcia nosi nazwę zjawiska Seebecka.

Odwrotnie, jeżeli przez układ przewodników (ze spojeniami o tej samej temperaturze) zacznie płynąć prąd to na jednym ze styków wydzielane będzie ciepło, a na drugim złącza ciepło będzie pochłaniane. Kierunek przepływu ciepła zależy od kierunku przepływu prądu. Opisany efekt nosi nazwę zjawiska Peltiera.

Zjawisko termoelektryczne można również zaobserwować w pojedynczym przewodniku, przez który płynie prąd, a którego końce mają różne temperatury. W zależności od kierunku przepływu prądu w przewodniku takim będzie wydzielane lub pochłaniane ciepło. Efekt ten nazywa się zjawiskiem Thompsona.

Termopara

Ogniwo termoelektryczne zwane także termoparą to układ dwóch przewodników połączonych wzajemnie w dwóch miejscach. Na skutek różnicy temperatur między miejscami łączenia w układzie takim powstaje siła elektromotoryczna (napięcie elektryczne). Wartość tego napięcia jest proporcjonalna do różnicy temperatur w miejscach

styków (w obszarze temperatur badanym w tym ćwiczeniu). Napięcie U termopary wyraża się wzorem

$$U = \alpha (T_1 - T_2), \quad (2.1.1)$$

gdzie α jest stałą termopary (poszukiwaną w tym ćwiczeniu), a T_1 i T_2 to temperatury styków.

Głównymi zaletami termopar jest ich mała masa i rozmiary, oraz związane z tym mała pojemność cieplna oraz mała bezwładność czasowa. Termopary działają w szerokim zakresie temperatur (od -200 do 1800°C) wykazując jednocześnie dość dobrą liniowość. Termopary wykorzystywane są głównie w pomiarach temperatury w bardzo różnorodnych warunkach. Oprócz tego termopary stosowane są także do pomiaru natężenia promieniowania światła widzialnego i podczerwonego.

Termistor

Termistor to element elektroniczny cechujący się nieliniową zależnością oporu od temperatury. Wartość bezwzględna temperaturowego współczynnika oporu termistora może być rzędu 80% na kelwin, podczas gdy dla metali nie przekracza 0.4% na kelwin. Termistory to najczęściej elementy półprzewodnikowe, wykonane np. z tlenków (manganu, tytanu, wanadu itp.) lub tytanianu baru. Rozróżnia się następujące typy termistorów:

- NTC (Negative Temperature Coefficient) – ich opór maleje wraz ze wzrostem temperatury,
- PTC (Positive Temperature Coefficient) – ich opór rośnie wraz ze wzrostem temperatury; wzrost ten jest dużo silniejszy niż dla metali,
- CTR (Critical Temperature Resistor) – ich opór gwałtownie maleje w pewnym zakresie temperatur, a poza nim zachowuje się jak w przypadku termistora typu NTC.

Zależność oporu R termistora typu NTC od temperatury T (w kelwinach) wyrażona jest wzorem

$$R(T) = R_0 e^{W/2kT}, \quad (2.1.2)$$

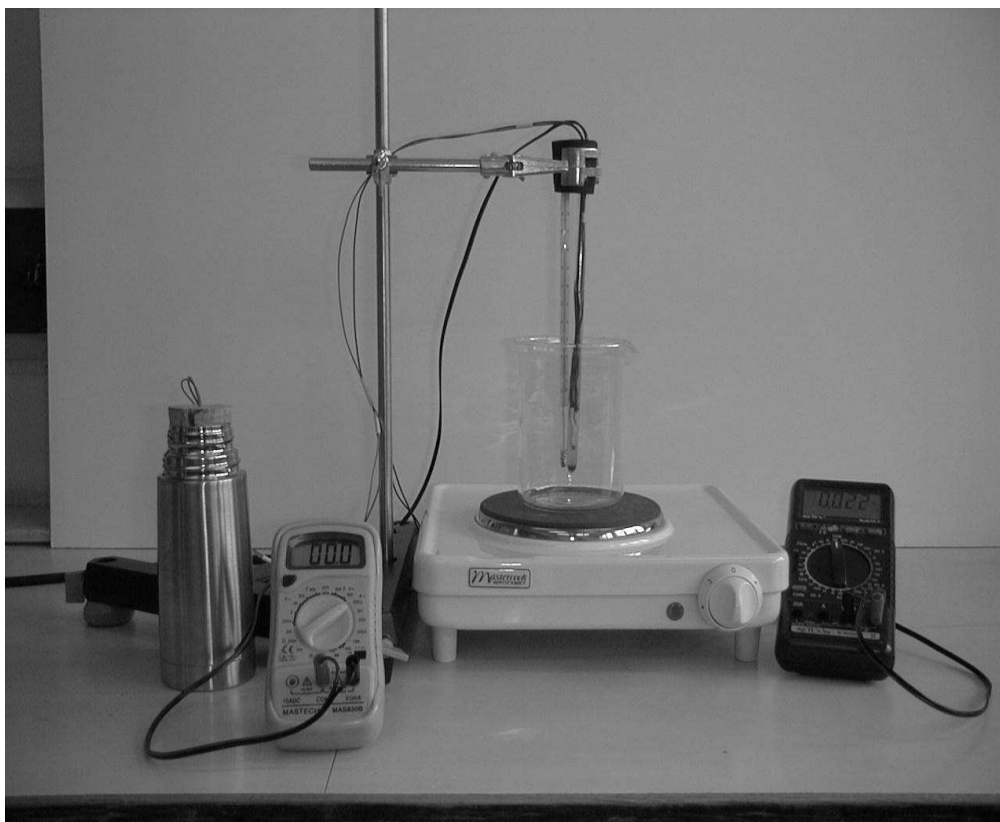
gdzie R_0 - stała termistora (zależna od jego budowy i rodzaju użytego półprzewodnika), W - szerokość pasma zabronionego półprzewodnika, k - stała Boltzmanna.

Właściwości termistora zależą od rodzaju tlenków i proporcji, w jakich zostały użyte w mieszaninie. Termistory używane są między innymi do pomiaru temperatury oraz kompensacji jej wpływu w układach elektronicznych, do stabilizacji napięcia, automatycznej regulacji wzmocnienia, ochrony elementów przed przeciążeniem itp. Zakresy pracy termistorów leżą w granicach $50 - 1200^\circ\text{C}$.

2.1.2 Przebieg pomiarów

Układ doświadczalny

Układ doświadczalny pokazany jest na rysunku 2.1.1. W jego skład wchodzi: termopara, termistor typu NTC, miliwoltomierz, omomierz, termometr. Pomiar odbywa się z wykorzystaniem dwóch stanowisk o różnej temperaturze: termosu zawierającego mieszaninę wody z lodem oraz zlewki z wodą podgrzewanej za pomocą grzejnika elektrycznego.



Rys. 2.1.1: Układ pomiarowy.

Przebieg doświadczenia

Podłączyć termoparę do miliwoltomierza oraz podłączyć termistor do omomierza. Włączyć miliwoltomierz i omomierz, ustalić właściwe zakresy pracy, a następnie sprawdzić wartości napięcia i oporu dla różnicy temperatur $\Delta T = 0^\circ\text{C}$. Odczytać temperaturę otoczenia.

Pobrane z kostkarki lód ma temperaturę zbliżoną do 0°C więc wrzucić do termosu tyle kostek lodu by zajęły mniej więcej $2/3$ jego objętości, dolać wody tak by zakryła lód, termos zamknąć korkiem z otworem do przełożenia jednego ze złącz termopary. Jeden koniec termopary i termistor włożyć do zlewki z wodą stojącą na grzejniku, drugi koniec termopary zanurzyć w mieszaninie wody z lodem. Włożyć termometr do wody. Odczekać, aż ustali się stała różnica temperatur pomiędzy dwoma końcówkami termopary (ustali się napięcie odczytywane na miliwoltomierzu) - zanotować temperaturę oraz wartości napięcia i oporu.

Włączyć grzejnik elektryczny początkowo nie więcej niż na pozycji 2 by nie ogrzewać układu zbyt szybko, później należy zwiększyć ustawienie grzejnika. Wraz ze wzrostem temperatury (aż do momentu wrzenia wody) odczytywać i zapisywać temperaturę oraz wartości napięcia i oporu. Wygodnie jest robić to co 2°C na przemian dla termopary i termistora. W czasie pomiaru często mieszać podgrzewaną wodę. Po zagotowaniu wody w zlewce odczekać aż do momentu ustalenia się wskazań omomierza i miliwoltomierza, co nastąpi po kilku minutach, zapisać tak ustalone wartości.

Wyłączyć grzejnik. Mieszając wodę ponownie odczytywać i zapisywać temperaturę oraz wartości napięcia i oporu podczas ochładzania się wody.

Wyłączyć miliwoltomierz i omomierz, rozłączyć obwód. Wytrzeć mokre naczynia.

2.1.3 Opracowanie wyników

Cechowanie termopary

Mieszanina wody z lodem ma temperaturę 0°C , więc jeden koniec termopary przez cały czas ma taką temperaturę - $T_2 = 0^{\circ}\text{C}$. Różnica temperatur we wzorze (2.1.1) jest więc równa temperaturze T_1 mierzonej przy pomocy termometru. Wykonać wykres zależności napięcia od temperatury wykorzystując wszystkie zmierzone punkty. Ocenic czy z powodu błędów grubych nie należy jakichś punktów odrzucić z dalszego opracowania - sprawdzić czy wyraźnie odstające punkty to wynik złego wpisania danych z tabeli pomiarowej, czy też innych czynników, spróbować ustalić jakich i czy da się takie błędy skorygować czy też punkty te należy po prostu zaniedbać w dalszym opracowaniu. Korzystając z wyrażenia $U = \alpha T_1 + \beta$, metodą regresji liniowej znaleźć stałą termopary α oraz jej niepewność pomiarową, przedyskutować uzyskaną wartość. W granicach niepewności pomiarowych wyraz wolny β powinien być równy zero, przedyskutować czy tak jest, jeśli nie to przedyskutować wartość β/α , która ma wymiar temperatury - co to za temperatura i czy uzyskana wartość ma sens. Jeśli uzyskane wyniki wyraźnie odstają od zależności liniowej należy przedyskutować możliwe przyczyny takiego stanu rzeczy. W takim przypadku można także sprawdzić jaka jest wartość α uzyskana z dopasowania prostej do dwu punktów: pierwszego (zanim rozpoczęliśmy grzanie) i ustalonego na końcu grzania, przedyskutować, która z dwu uzyskanych wartości wydaje się być bardziej wiarygodna.

Termistor

Zmierzone temperatury wyrazić w kelwinach. Po zlogarytmowaniu wzoru (2.1.2) otrzymamy liniową zależność pomiędzy logarytmem zmierzonej wartości oporu a odwrotnością temperatury. Wykonać wykres tej zależności i jak dla termopary ocenić czy wszystkie punkty mogą być użyte w dalszym opracowaniu. Metodą regresji liniowej ważonej znaleźć wartości nieznanymi stałych wraz z niepewnościami pomiarowymi. W przypadku wyraźnego ostawania wykresu od liniowości przeprowadzić dyskusję podobnie jak dla termopary. Ze znalezionej współczynnika regresji liniowej wyznaczyć szerokość pasma zabronionego i przeprowadzić dyskusję wyniku. W przypadku wyraźnej nieliniowości wykresu można także sprawdzić czy wartość W uzyskana z dopasowania prostej do dwu punktów: pierwszego (zanim rozpoczęliśmy grzanie) i ustalonego na końcu grzania nie jest lepiej zgodna z wartością tablicową niż ta uzyskana z pełnej regresji.