

STANOWISKO DYDAKTYCZNE DO POMIARU TEMPERATURY WYBRANYMI METODAMI

Marek KCIUK

Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Katedra Mechatroniki
tel.: 32 237-28-03 e-mail: marek.kciuk@polsl.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono stanowisko dydaktyczne służące do pomiaru temperatury z zastosowaniem metod zarówno stykowych jak i bezkontaktowych. Zakres metod stykowych obejmuje pomiary termoelementem, termistorem ale również z zastosowaniem ogniwa Peltiera. Metodą bezstykową jest pomiar termograficzny z zastosowaniem kamery termowizyjnej. Zwiększenie temperatury powyżej temperatury otoczenia zrealizowane zostało przy pomocy ogniwa Peltiera. Przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów w postaci charakterystyk temperaturowych oraz ich analizę. Najciekawszym zagadnieniem w pracy jest zastosowanie ogniwa Peltiera do pomiaru temperatury. Jest to zagadnienie praktycznie nie znane studentom.

Słowa kluczowe: kamera termowizyjna, pomiar temperatury, termoelement, ogniwo Peltier'a.

1. WPROWADZENIE

Pomiary temperatury są najczęściej realizowanymi pomiarami w przemyśle. Dostępnych jest więc wiele różnych czujników temperatury o określonych właściwościach pomiarowych. Ważne jest prawidłowe dobranie czujnika do realizacji określonego pomiaru. Czujniki jednego typu wykonywane są w różnych wersjach, co skutkuje różnymi charakterystykami pomiarowymi. Przykładem mogą być termoelementy, których charakterystyki określone są literami alfabetu np. E, J, K, N, R itd. gdzie litera oznacza zarówno nachylenie charakterystyki przetwarzania temperatury na napięcie ale również zakres pomiarowy. Innym przykładem są termistory, których charakterystyki opisane są następująco: PTC (Positive Temperature Coefficient) – termistor o dodatnim współczynniku temperaturowym, NTC (Negative Temperature Coefficient) – termistor o ujemnym współczynniku temperaturowym, CTR (Critical Temperature Resistor) – termistor gwałtownie zmniejszający swoją rezystancję działający jako zabezpieczenie wrażliwych termicznie układów elektronicznych.

Drugą bardzo istotną grupą są urządzenia do bezkontaktowego pomiaru temperatury. W tej grupie wyróżnia się pirometry i kamery termowizyjne. Obydwa urządzenia działają mierząc energię pola elektromagnetycznego w zakresie podczerwonym emitowaną przez obiekty posiadające temperaturę powyżej 0K. Najważniejszą różnicą między tymi urządzeniami jest obszar pomiarowy. Pirometr wskazuje jedną wartość temperatury natomiast kamera służy do zobrazowania rozkładu temperatury na określonej powierzchni.

Ostatnią grupą są urządzenia nietypowe, które umożliwiają pomiar temperatury. Przykładem mogą być praktycznie wszystkie elementy elektroniczne (np. rezystory, diody lub tranzystory), dla których wyznacza się charakterystyki termiczne. W Internecie można spotkać rozwiązania czujników temperatury z zastosowaniem pojedynczych lub podwójnych diod [1,2]. Innym przykładem są ogniwa Peltiera.

1.1. Zjawisko Seebecka oraz zjawisko Peltiera

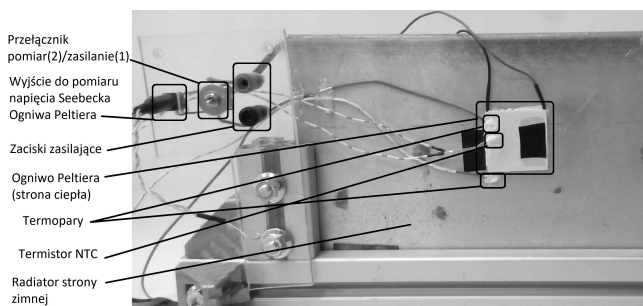
Są to dwa zjawiska termoelektryczne. Zjawisko Seebecka polega na generowaniu napięcia na złączu dwóch metali lub półprzewodników pod wpływem temperatury. Zjawisko Peltiera polega na wymuszeniu transportu energii termicznej pod wpływem przepływającego prądu przez półprzewodniki n i p. W pierwszym przypadku (zjawisko Seebecka) kojarzone jest z termoelementami, w drugim natomiast (zjawisko Peltiera) z ogniwami Peltiera. Do najczęstszych zastosowań ogniw Peltiera należą aplikacje, w których ogniwo obniża temperaturę określonego obiektu np. chłodzenie procesorów lub samochodowe lodówki turystyczne, oraz aplikacje, w których wymagana jest stabilizacja temperaturowa czujnika np. w kamerach termowizyjnych stabilizacja temperatury czujnika bolometrycznego. Jednak rzadko spotyka się aplikacje ogniw Peltiera jako czujników temperatury. Zasada działania jest następująca: jeśli dwie płytki ogniwa umieścimy w dwóch różnych temperaturach na zaciskach pojawi się napięcie Seebecka proporcjonalne do różnicy temperatur [3].

1.2. Pomiar termowizyjny

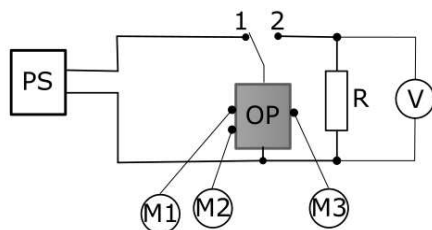
Pomiar temperatury z zastosowaniem kamery termowizyjnej polega na pomiarze energii promieniowania podczerwonego emitowanego przez ciało znajdujące się w określonej temperaturze. Prawidłowy pomiar wymaga zwrócenia uwagi na kilka istotnych czynników, m.in.: ustalenie właściwego współczynnika emisyjności badanego obiektu, ustalenia współczynnika odbicia oraz (o ile to możliwe) odseparowanie badanego obiektu od otoczenia. Już pierwszy czynnik – współczynnik emisyjności może być trudny do określenia a dodatkowo może zmieniać się wraz ze zmianą temperatury zwłaszcza, gdy badany obiekt przechodzi przemianę fazową. [4,5]

2. KONSTRUKCJA STANOWISKA POMIAROWEGO

Głównym elementem stanowiska pomiarowego jest ogniwo Peltiera przyklejone do aluminiowej płyty działającej jako radiator strony zimnej. Do ogniwa naklejono czujniki. Zastosowano następujące: termoelement przyklejony do strony ciepłej, termoelement przyklejony do strony zimnej, czujnik rezystancyjny o charakterystyce NTC przyklejony do strony ciepłej. Ogniwo zasilone jest napięciem z zasilacza laboratoryjnego 0-12V o odpowiedniej wydajności prądowej. Odczyt wartości mierzonych z czujników realizowany jest za pomocą czterech multimetrów, dodatkowo dla termistora przygotowano dwa układy konwersji rezystancja-napięcie, jeden w postaci dzielnika napięcia a drugi w postaci źródła prądowego w strukturze lustra prądowego. Na Rys. 1. przedstawiono widok stanowiska pomiarowego. W lewym górnym rogu znajduje się przełącznik trybu pracy ogniwa Peltiera, który umożliwia przełączenie pomiędzy pracą odbiornikową (Zasilanie – 1) a źródłową (Pomiar – 2). Na stanowisko nakierowana jest przemysłowa kamera termowizyjna Flir A325. Pomiar z kamery realizowany jest za pomocą komputera i oprogramowania ThermaCAM Researcher Pro 2.9. Schemat stanowiska został przedstawiony na rysunku 2.

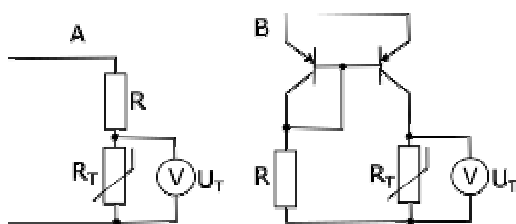


Rys. 1. Widok stanowiska pomiarowego z opisem



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego, PS - Zasilacz, OP – Ogniwo Peltiera, M1, M2, M3 – mierniki realizujące pomiar temperatury

Rys. 3 przedstawia struktury dzielnika napięcia oraz źródła prądowego do przekształcenia wartości rezystancji termistora na napięcie [6].



Rys. 3. Schemat zastosowanych konwerterów rezystancja-napięcie: A – w strukturze dzielnika napięcia, B – w strukturze źródła prądowego (lustro prądowe)

3. REALIZACJA POMIARÓW

W trakcie ćwiczenia studenci wykonują szereg pomiarów w celu wyznaczenia następujących charakterystyk:

- temperatury strony ciepłej ogniwa w funkcji napięcia zasilającego (za pomocą termoelementu i kamery termowizyjnej),
- temperatury strony zimnej ogniwa w funkcji napięcia zasilającego (za pomocą termoelementu i kamery termowizyjnej),
- wszystkie powyższe pomiary w funkcji mocy zasilania ogniwa,
- napięcia termoelementu strony ciepłej w funkcji temperatury (napięcie Seebecka termoelementu),
- napięcia ogniwa peltiera w funkcji różnicy temperatur (napięcie Seebecka ogniwa Pelteira – zrealizowane w pozycji 2 przełącznika),
- rezystancji termistora w funkcji temperatury,
- napięcia z dzielnika napięcia z termistorem,
- napięcia termistora w układzie źródła prądowego.

Ostatnie trzy pomiary realizowane są zamiennie, wybór dokonywany jest przez prowadzącego lub sekcję laboratoryjną. Dodatkowo można zmieniać wartości wszystkich rezystorów dodatkowych R (Rys. 2. i Rys. 3). Pomiar napięcia Seebecka termoelementu realizowany jest natomiast za pomocą multimetru, do którego sondę podłącza się do standardowych zacisków napięciowych [7]. Pomiar jest zrealizowany przez przełączenie wielkości mierzonej między trybem pomiaru napięcia DC a trybem pomiaru temperatury. Pomiar napięcia Seebecka ogniwa Peltiera zrealizowany jest po przełączeniu przełącznika w pozycję 2 i szybki odczyt wartości zmierzonej. Praca ogniwa jako źródła napięcia powoduje szybkie stygnięcie strony ciepłej dlatego wartość napięcia szybko maleje.

Procedura pomiarowa jest następująca:

1. Ustawienie zadanej wartości zasilania,
2. Odczekanie ok. 1 min na osiągnięcie stanu termicznie ustalonego,
3. Odczyt wartości z wszystkich mierników oraz temperatur zmierzonych za pomocą kamery termowizyjnej.

Pierwszy pomiar zrealizowany jest w temperaturze otoczenia – przy braku zasilania ogniwa, ostatni natomiast przy napięciu zasilania ogniwa wynoszącym 12V, w kolejnych krokach napięcie zwiększane jest o 1V.

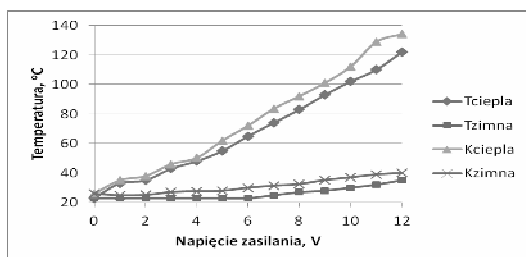
4. PRZYKŁADOWE WYNIKI POMIARÓW

Po wykonaniu ćwiczenia studenci zobowiązani są wykonać sprawozdanie, w którym jednym z najważniejszych punktów jest wykonanie serii charakterystyk na podstawie wyników otrzymanych na zajęciach.

W celu prezentacji różnicy w wynikach pomiarów temperatury metodami kontaktowymi i bezkontaktowymi pierwszy wykres musi zawierać charakterystyki temperatur strony ciepłej i zimnej wykonane termoelementami oraz za pomocą kamery termowizyjnej. Wykres ten przedstawiono na rys. 4.

W tym przypadku wyraźnie widać wpływ zakłóceń na dokładność pomiaru z zastosowaniem kamery termowizyjnej. Pomiar wykonany jest w pomieszczeniu laboratoryjnym, w którym temperatura wynosi 23°C, i jest to pierwsza zmierzona wartość temperatury. Wartości zmierzone za pomocą kamery są uśrednione na zadanej

powierzchni zaznaczonej czarną taśmą izolacyjną w celu zwiększenia współczynnika emisyjności. Można przyjąć założenie, że emisyjność taśmy wynosi $\epsilon=1$. Stanowisko nie jest odseparowane od otoczenia więc pomiar termograficzny obarczony jest dużymi błędami wynikającymi ze zjawiska odbicia. Odległość kamery od stanowiska wynosi ok. 10cm więc zjawisko tłumienia może zostać pominięte. Niepewność pomiaru termoelementem wynosi 0.3% rdg + 3dgt czyli $0,4^{\circ}\text{C}$. Drugim efektem jest wzrost temperatury strony zimnej, który wynika z ograniczonej sprawności działania ogniwa.



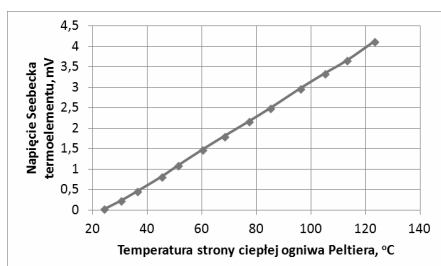
Rys. 4. Temperatury ogniw Peltiera w funkcji napięcia zasilającego: Tciepla – termoelement strona ciepła, Tzimna – termoelement strona zimna, Kciepla – kamera termowizyjna, strona ciepła, Kzimna – kamera termowizyjna, strona zimna.

Rysunek 5 przedstawia termogram stanowiska pomiarowego, na którym wyróżnić można stronę ciepłą ogniwa, radiator oraz dwie czarne taśmy naklejone na obydwie strony ogniwa. Na tych taśmach są zaznaczone obszary AR01 oraz AR02. Wyraźnie widać, że temperatura wskazywana w tych obszarach wygląda na wyższą niż w pozostałych obszarach o tej samej temperaturze. Wynika to z różnicy współczynnika emisyjności.

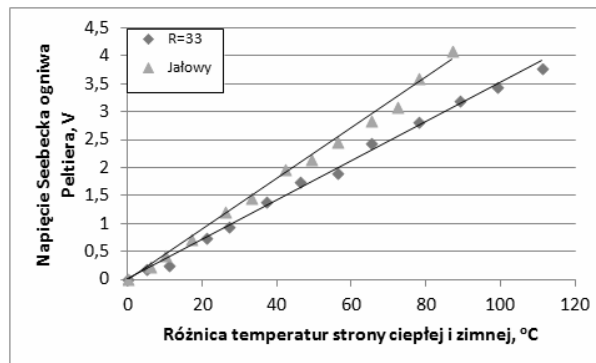


Rys. 5. Widok obrazu z kamery termowizyjnej z zaznaczonymi obszarami pomiarowymi

Następne wykresy prezentują charakterystykę napięcia Seebecka w funkcji temperatury – w przypadku termoelementu oraz w funkcji różnicy temperatur – w przypadku ogniwa Peltiera. Charakterystyki przedstawiono na rysunku 6. i rysunku 7. Niepewność pomiaru temperatury wynosi jak wcześniej $0,4^{\circ}\text{C}$, niepewność pomiaru napięcia na wybranym zakresie pomiarowym wynosi 0,05 mV.

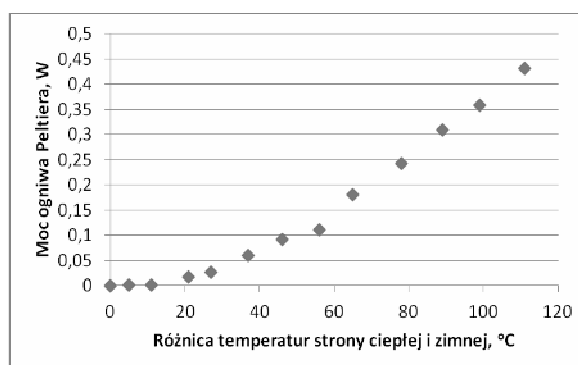


Rys. 6. Napięcie Seebecka termoelementu w funkcji temperatury



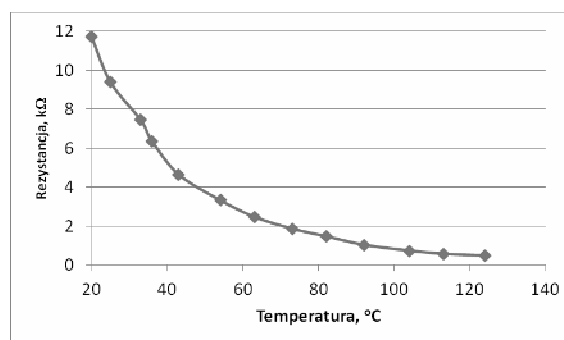
Rys. 7. Napięcie Seebecka ogniwa Peltiera w funkcji różnicy temperatur dla biegu jałowego oraz obciążonego rezystancją $R = 33 \Omega$

W tym przypadku obydwie charakterystyki są liniowe, jednak charakterystyka z rysunku 7. charakteryzuje się dużo większym rozrzutem wartości zmierzonych, dlatego warto przedstawić ją z zastosowaniem aproksymacji liniowej. Rozrzut związany jest z metodą pomiaru – przełączenie ogniwa z pracy odbiorczej na źródłową na czas odczytu, w trakcie której ogniwo chłodzi się. Dodatkowo można zmieniać wartość rezystora obciążającego ogniwo, uzyskując obciążone rzeczywiste źródło napięcia. W ramach dalszych obliczeń, znając rezystancję obciążającą można wyliczyć moc wydawaną przez ogniwo. Przykład dla obciążenia $R = 33 \Omega$ przedstawiono na rysunku 8.



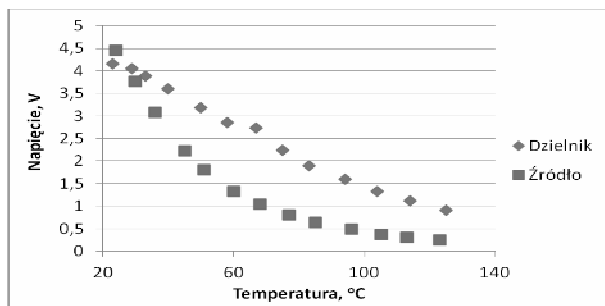
Rys. 8. Moc ogniwa peltiera pracującego jako źródło zasilania zasilającego odbiornik $R = 33 \Omega$

Kolejnym czujnikiem jest termistor typu NTC. Charakterystyka rezystancji w funkcji temperatury tego czujnika została przedstawiona na rysunku 9. Niepewność pomiaru wynosi 250Ω .



Rys. 9. Rezystancja termistora w funkcji temperatury

W elektronicznych układach pomiarowych temperatury z termistorem rezystancja jest wielkością elektryczną pośrednią. Stosuje się układy pomiarowe konwertujące rezystancję na napięcie. Najprostsze struktury przedstawiono na Rys. 3. Wyniki pomiarowe z zastosowaniem powyższych struktur przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Napięcie termistora w funkcji temperatury dla czujnika w strukturze dzielnika napięcia oraz źródła prądowego

Jak widać na rysunku 10 w przypadku badanego termistora prawidłowo dobrany dzielnik napięcia doprowadził do linearyzacji charakterystyki temperatura-napięcie. W układach zastosowano rezystory z typoszeregu 5% więc można w przybliżeniu przyjąć taką właśnie niepewność pomiaru.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule przedstawiono stanowisko pomiarowe stosowane w ramach przedmiotów, których tematem są czujniki. W trakcie projektowania zwrócono uwagę na możliwie dużą uniwersalność w zakresie prezentacji zarówno najpopularniejszych czujników temperatury (termoelementy i termistory) z uwzględnieniem ich przykładowych charakterystyk czy pomiary termograficzne jak również na nietypowe rozwiązania w postaci ogniwa Peltiera jako czujnika temperatury. Studenci zwykle są zaskoczeni taką możliwością, znają ogniwa Peltiera ale działające zgodnie ze zjawiskiem Peltiera.

Zwrócić należy również uwagę, że napięcie generowane przez ogniwa Peltiera jest o trzy rzędy wielkości

większe niż napięcie termoelementu. Daje to możliwość zastosowania w układach zasilania bardzo niewielkich odbiorników w konwencji energy harvesting [8, 9]. Moc generowana przez taki układ jest na poziomie 0,3W przy różnicy temperatur wynoszącej 100°C. Nawet dotyk ręką jednej strony ogniwa powoduje powstanie niewielkiego napięcia na zaciskach.

Jednym z rozwiązań na zwiększenie dokładności odczytu napięcia Seebecka ogniwa Peltiera jest zwiększenie masy strony ciepłej, która działałaby jako pojemność termiczna. Rozwiązanie to jednak nie sprawdzi się, gdy pomiary na stanowisku realizowane są w trakcie dwóch kolejnych bloków zajęciowych.

6. BIBLIOGRAFIA

1. <https://www.elektroda.pl/rtvforum/topic2010415.html>
2. <https://elektronikab2b.pl/technika/3616-czujniki-temperatury#.WxHHNoouDIU>
3. Odhner LU; Asada HH: Sensorless temperature estimation and control of shape memory alloy actuators using thermoelectric devices. IEEE-ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS Volume: 11 Issue: 2 Pages: 139-144 Published: APR 2006,
4. Kłapyta G., Kciuk M: Experimental measurements of shape memory alloys wires. ARCHIVES OF ELECTRICAL ENGINEERING, VOL. 61(2), 2012,
5. Więcek B., De Mey G.: Termowizja w podczerwieni. Podstawy i zastosowania. PAK, Warszawa 2011,
6. Horowitz P., Hill W.: Sztuka elektroniki. Tom 1. Wydanie 8, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006,
7. Sanwa PC510 Instruction Manual: https://www.sanwa-meter.co.jp/prg_data/goods/img/PH41340347613.pdf
8. Seyoum B., Rossi M., Brunelli D.: A self-powered wireless bolt for smart critical fastener. Global Internet of Things Summit (GIoTS), Geneva 2017,
9. Simone D., Ferrari M., Ferrari V., Guizzetti M., Marioli D., Taroni A.: Characterization of Thermoelectric Modules for Powering Autonomous Sensors. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Volume: 58, Issue: 1, Jan. 2009.

DIDACTIC STAND FOR TEMPERATURE MEASUREMENT WITH SELECTED METHODS

Temperature is the most often measured physical quantity as in normal life as in industry. So, it is very important to teach students about methods and sensors for temperature measuring. The main goal of this paper is presenting didactic stand for temperature measurement. It enables to measure temperature with contact and contactless methods. General description of measurement is presented as well as example measurement results with discussion. The element which changes temperature is Peltier's Cell which is supplied by Power Supply. The simple circuit is presented in fig. 2. The Peltier's Cell is switched between Peltier's effect and Seebeck's effect using 1-2 switch (see fig. 2). There are two thermocouple sensors: one on the hot size, second on cold one and thermistor on the hot size. The exact installation of the sensors is presented in fig. 1. The IR camera Flir A325 is applied as well for sensorless measurement, the example of thermogram is presented in fig. 5. Figures 4, 6, 7, 8 and 9 present exemplary results for measurements. Fig. 4 presents temperature measurement for hot and cold size using thermocouples and IR camera. Fig. 6 presents thermocouple Seebeck's voltage vs. temperature. Figs. 7 and 8 presents Peltier's Cell Seebeck's voltage and power vs. hot/cold difference of temperatures. Fig 9 presents thermistor resistance vs. temperature. The two electric circuits are presented in Fig. 3 for resistance-voltage conversion, the results for conversion are presented in fig. 10, there are used voltage divider and current mirror.

The measurement stand enables to teach students variety methods of temperature measurement classical contact methods using thermocouples and thermistors, contactless method using IR camera and non popular method using Peltier's Cell. The last possibility is surprising for students. It is used as example of "energy harvesting" solution.

Keywords: IR camera, temperature measurement, thermocouple, Peltier's cell.