

Pomiar ogniwa Peltiera z wykorzystaniem platformy Arduino

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.467

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule omówiony został układ do pomiarów modułów termoelektrycznych Peltiera przy zastosowaniu platformy Arduino opartej na mikrokontrolerze Atmega328P. Przedstawiono także wyniki z takich pomiarów dla ogniwa termoelektrycznego z serii TEC1-12705. Zarówno dla pracy w trybie chłodzenia (zjawisko Peltiera), jak i w przypadku pracy jako termogenerator (zjawisko Seebecka).

Słowa kluczowe: termoelement, termogenerator, ogniwo Peltiera, efekt Peltiera, efekt Seebecka

Wstęp

Rosnące zapotrzebowanie i zwiększający się globalny rynek powodują pojawianie się różnych modułów Peltiera. Często o znacznych odchyłkach parametrów od deklarowanych przez sprzedawców, czy też ogniwa o nieznanym parametrach. W badaniach ogniwa Peltiera można spotkać wykorzystanie stanowisk komputerowych z LabView, oraz standardowe stanowiska z miernikami [9].

Autorzy zaprojektowali i uruchomili stanowisko badawcze do podstawowych pomiarów modułów termoelektrycznych przy użyciu 8-bitowego mikrokontrolera ATmega328P z rodziny AVR firmy Atmel oraz odpowiednich przetworników analogowo-cyfrowych, które po krótko przedstawiono w dalszej części artykułu.

Układ ten ma za zadanie w sposób półautomatyczny zbadać ogniwo, którego nie znamy parametrów oraz wyznaczenie charakterystyk mocy produkowanej przez takie moduły.

1 Rynek termoelektryczny

W 2014 r. wartość rynku modułów termoelektrycznych wyniosła 364,1 mln USD. Popyt na moduły jednostopniowe stanowił 85% udziału w ogólnym zapotrzebowaniu na moduły termoelektryczne [2].

Jednak rynek najprawdopodobniej wkrótce zmieni swoją preferencję ze względu na rosnące zapotrzebowanie na te moduły w zastosowaniach niskotemperaturowych, ogniwa do wytwarzania energii (TEG – ang. Thermoelectric Generator) czy też o większej delcie temperatury. Średnia cena globalna modułów termoelektrycznych jest w trendzie malejącym, z 22,4 USD / sztukę w 2012 r. Do 21,06 USD / sztukę w 2016 r.

W sytuacji światowej gospodarki ceny będą wykazywały tendencję spadkową w ciągu kolejnych pięciu lat. Światowy rynek modułów termoelektrycznych jest skonsolidowany, a na rynku dominuje kilka dużych międzynarodowych firm. Ważną strategią przyjętą przez kluczowych graczy na globalnym rynku modułów termoelektrycznych jest rozwój nowych produktów, aby sprostać różnym wymaganiom klientów. Na przykład Ferrotec Corporation oferuje ponad 1700 różnych typów modułów termoelektrycznych dla różnych zastosowań. Kryotherm (Rosja) udostępnia swoim klientom ponad 250 rodzajów standardowych modułów termoelektrycznych. Co więcej, producenci modułów termoelektrycznych koncentrują się również na wzroście poprzez fuzje i przejęcia. W lutym 2013 r. Laird Technologies Inc. nabył amerykańskiego producent termoelektrycznych modułów cienkowarstwowych Nextreme Thermal Solutions Inc [12]. W 2005 r. Ferrotec Corporation przejęła większość udziałów SCTB

NORD Company, dostawcy modułów termoelektrycznych z siedzibą w Rosji.

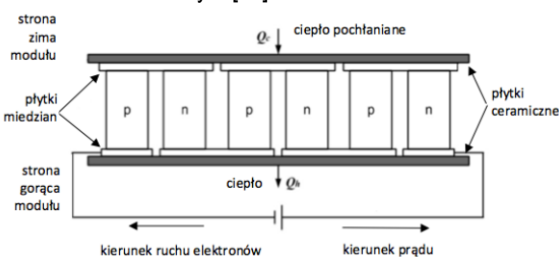
Globalny rynek modułów termoelektrycznych jest segmentowany w oparciu o zastosowania modułów termoelektrycznych luzem, mikro i cienkowarstwowych. Kluczowe zastosowania modułów termoelektrycznych luzem obejmują aplikacje telekomunikacyjne, medyczne, lotnicze i przemysłowe. Masowe moduły termoelektryczne, będące najbardziej rozpowszechnionym typem modułów termoelektrycznych, zdominowały światowy rynek modułów termoelektrycznych w 2014 r. Jednak wraz z rosnącym przyjęciem mikroelektrycznych modułów termoelektrycznych w różnych zastosowaniach, oczekuje się, że segment ten będzie wzrastał. Kluczowe zastosowania cienkowarstwowych modułów termoelektrycznych obejmują elektronikę użytkową, medyczną i laboratoryjną, motoryzacyjną, czujniki i pozyskiwanie energii (TEG). Wśród różnych zastosowań termoelektrycznych modułów cienkowarstwowych w 2014 r. detektory i czujniki stanowiły około 37% udziału w globalnym rynku modułów pod względem przychodów.

Region Asia-Pacific (wchodzą w skład m.in. Chiny, Japonia, Australia, Nowa Zelandia) jest największym rynkiem modułów termoelektrycznych na świecie i należy się spodziewać, że taki stan się utrzyma. W 2014 r. region Azji i Pacyfiku stanowił około 33% całego rynku. Chiny i Japonia to jedne z głównych rynków modułów termoelektrycznych w tym regionie. Wzrost rynku modułów termoelektrycznych w regionie Azji i Pacyfiku opiera się głównie na niskich kosztach produkcji wynikających z niskich kosztów pracy i kosztów ogólnych oraz dużego zapotrzebowania na te moduły w różnych obszarach zastosowań [3].

2 Ogniwa Peltiera

Ogniwo Peltiera, TEC – ang. Thermoelectric cooling (moduł Peltiera, bateria Peltiera, również płytka Peltiera) jest półprzewodnikowym elementem termoelektrycznym, wykorzystującym zjawisko Peltiera do przekazywania ciepła. Odkrył to w 1834 roku francuski fizyk Jean Charles Athanase Peltier (1785-1845).

Ogniwo to jest złożone z dwóch równolegle osadzonych płytek ceramicznych, pomiędzy których płaszczyznami znajdują się naprzemiennie ułożone półprzewodniki typu "n" oraz "p". Półprzewodniki te wykonane z odpowiednio domieszkowanego tellurku bizmutu (Bi_2Te_3), są pod względem elektrycznym połączone szeregowo - dzięki blaszkom miedzianym [11].



Rys. 1. Budowa i zasada działania modułu Peltiera. [10]

2.1 Zjawiska termoelektryczne

Efekt Seebecka polega na tym, że jeżeli w otwartym obwodzie złożonym z dwóch różnorodnych przewodników utrzymywać spiny w różnych temperaturach, to w obwodzie tym powstaje siła termoelektromotoryczna, a przy jego zamknięciu płynie prąd. Obwód taki w

technice chłodniczej nosi nazwę termoelementu, a w technice ciepłej - termopary. Efekt ten wykorzystuje się w pomiarach temperatury. Siłę termoelektromotoryczną na końcach otwartego obwodu określa się z zależnością [10]:

$$E = \int_{T_{gor}}^{T_z} \alpha \cdot dT \quad (1)$$

Gdzie: α to różnicowy współczynnik siły termoelektromotorycznej, zależny od właściwości materiału i od temperatury.

Rzeczywiste ogniwo termoelektryczne posiada niezerową rezystancję wewnętrzną, dlatego napięcie wyjściowe U_{TEG} [8] nazywane także thermoEMF [9] mierzone na zaciskach ogniwa maleje wraz ze wzrostem pobieranego prądu:

$$U_{TEG} = U_{max} - I \cdot R_w \quad (2)$$

W celu określenia parametrów prądu elektrycznego generowanego przez TEG w ustalonych warunkach temperaturowych, niezbędne jest sporządzenie charakterystyk zawierających zależność napięcia od natężenia prądu oraz mocy od natężenia.

Moc użyteczna P pobierana z ogniwa zależy od natężenia I , napięcia U i rezystancji obciążenia R_{obc} , zgodnie ze wzorem [8]:

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R_{obc}} \quad (3)$$

Zapis matematyczny odzwierciedlający zasadę działania elementu elektronicznego opierającego się na zjawisku Peltier'a zdefiniować można za pomocą współczynnika wydajności wydzielonej zmiany temperatury półprzewodnika (φ), który uzależniony jest od szybkości wydalanego ciepła (Q_c). Wskutek zajścia tego zjawiska uzyskano różnicę przyrostu temperatury na elemencie elektronicznym.

Współczynnik wydajności elementu półprzewodnikowego opierającego się na zjawisku Peltier'a opisano zależnością [11]:

$$\varphi = \frac{Q_c}{P} \quad (4)$$

gdzie przez Q_c oznaczono szybkość przepływu ciepła ze strony zimnej, P moc elektryczna. Z powyższej zależności określić można „efekt chłodzenia” oraz „zjawisko ciepłne”.

3 Układ pomiarowy

Sercem układu pomiarowego jest 8-bitowy mikroprocesor Atmega328P. Posiada pamięć FLASH 32kB, pamięć SRAM 2kB oraz pamięć EEPROM 1kB, do 20MIPS przepustowości przy 20MHz, a także niezbędne protokoły komunikacyjne takie jak: SPI, I2C czy UART.

Program napisano w środowisku Arduino IDE, jest on podobny do języka C i może zostać wgrany do innych płytek z rodziny Arduino takich jak: NANO, MICRO, LENARDO czy też MEGA2560.

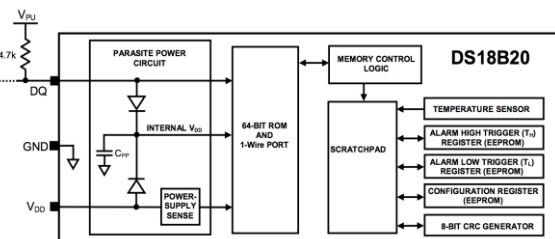


Rys. 2. Platforma Arduino UNO R3 zastosowana w projekcie. [fot. E. Sadowski]

Programowanie i odczyt danych odbywa się przez port USB. Dużo stabilniej zachowuje się jednak w przypadku gdy platforma Arduino posiada układ 16u2 niż CH340, odpowiadający za komunikację USB. Dane są przekazywane poprawnie do komputerów klasy PC, a także posiadających system Linux czy MAC OS X.

3.1 Czujniki temperatury

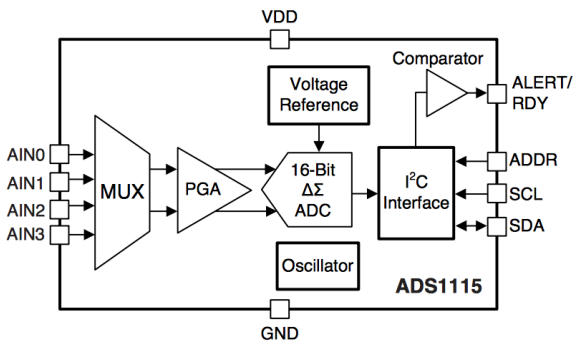
DS18B20 firmy Dallas Semiconductors jest cyfrowym termometrem o programowalnej rozdzielczości, posiada unikalny 64 bitowy nr seryjny. Jego dokładność wynosi 0,5°C dla zakresu -10°C do 85°C, a całkowity zakres pomiarowy obejmuje -55 ÷ +125°C co odpowiada całemu zakresowi potrzebnych pomiarów. Wyjściowa temperatura jest wyskalowana w stopniach Celsjuszach. Rozdzielczość pomiarowa przy czasie konwersji 750ms wynosi 12-bit, czyli 0,0625°C [1].



Rys. 3. Schemat blokowy użytego czujnika temperatury [4].

3.2 Pomiar napięcia

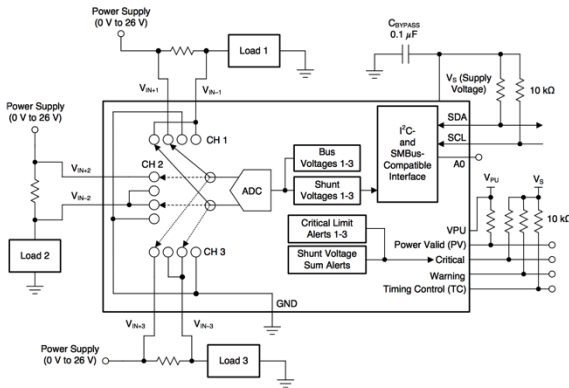
ADS1115 to analogowo-cyfrowy przetwornik o 16-bitowej rozdzielczości. Umożliwia pracę z prędkością 860 próbek na sekundę (SPS) oraz może być skonfigurowany w 4-kanalowy tryb pomiarowy lub z dwoma różnicowymi wejściami. Działa w trybie ciągłej konwersji. Rezystancja wejściowa wynosi powyżej 3GΩ, a standardowy błąd pomiarowy poniżej 0,1%. Prędkość komunikacji po I2C maksymalnie wynosi 3,4MHz.



Rys. 4. Schemat blokowy użytego przetwornika ADC [6].

3.3 Pomiar prądu

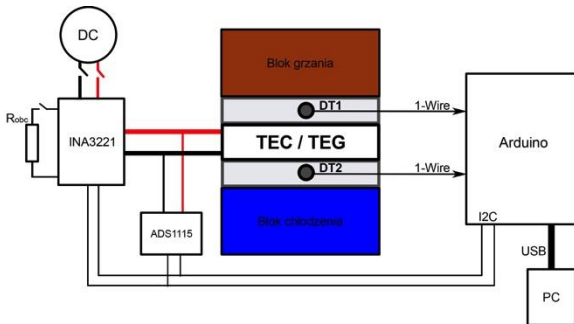
Moduł z układem INA3221 umożliwiającym jednoczesny pomiar prądu oraz napięcia w trzech miejscach. Do pomiaru prądu wykorzystywane są boczniki 0,1Ω i dokładności 1%. Rozdzielczość pomiarowa układu wynosi 13 bit, a standardowy błąd 0,1%. Układ wyposażony jest w protokół komunikacyjny I2C oraz SMBUS. Posiada też programowane funkcje alertów oraz ostrzeżeń o przekroczeniu dopuszczalnych parametrów



Rys. 5. Schemat blokowy typowej aplikacji zastosowanego przetwornika pomiaru prądu stałego INA3221. [5]

3.4 Realizacja układu

Przetworniki analogowo-cyfrowe napięcia i prądu podłączone są poprzez magistralę I2C, czujniki temperatury komunikują się przy pomocy protokołu 1-Wire. Każdy z przetworników posiada swój unikatowy cyfrowy adres. Przed uruchomieniem czujników temperatury w układzie pomiarowym, dokonano ich selekcji w zamkniętej komorze.



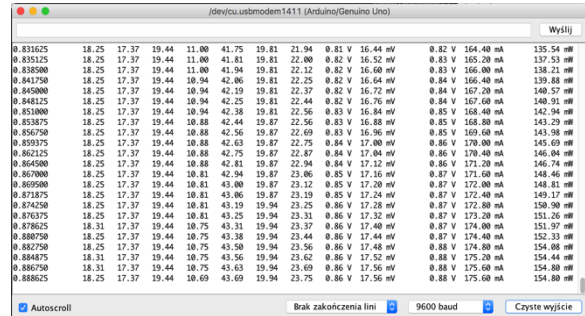
Rys. 6. Schemat blokowy układu do pomiaru modułów Peltiera przy pomocy Arduino. [opr. własne]

Blok chłodzenia zbudowano przy pomocy układu chłodzenia wodnego. Ma za zadanie utrzymywać temperaturę 20°C (±1°C) po jednej stronie modułu Peltiera.

Blok grzania zbudowany został przy pomocy rezystorów mocy (2x50W); używany jest w przypadku badania ogniwa w trybie pracy

jako generator termoelektryczny (Zjawisko Seebecka). Zasilanie do tych rezystorów podawane jest z oddzielnego zasilacza laboratoryjnego.

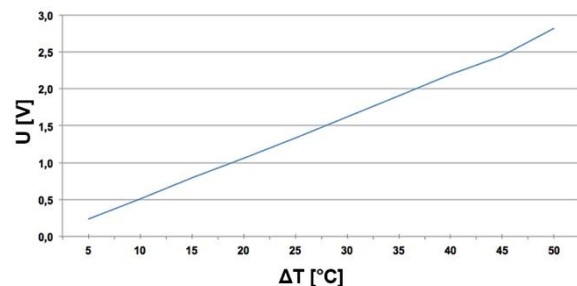
Czujniki Dallas oznaczono jako DT1 i DT2 umieszczono w małych bloczkach aluminiowych o wymiarach 40x40mm wykonanych w gatunku PA38. Dodatkowo podczas badań rejestrowana była temperatura otoczenia, układu chłodzącego przy pompce i po zewnętrznych stronach bloków. Wszystkie próbki pomiarowe są przesyłane co 1 sekundę z transmisją 9600bps i zapisywane na PC. Istnieje także możliwość zapisu pomiarów na karcie SD.



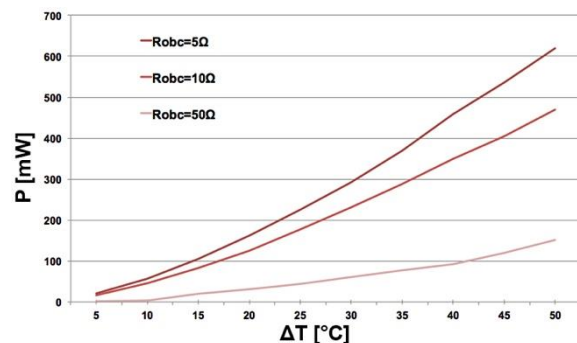
Rys. 7. Rejestracja z układu pomiarowego Arduino do komputera PC po przez port USB. [opr. własne]

4 Wyniki pomiarów

W trybie pomiaru TEG, temperatura na bloku grzania była podnoszona (T_{gor}) z prędkością ok. 0,05°C/sekundę. Po uzyskaniu około 70°C ($\Delta T=50^\circ C$) następowało opadanie temperatury z prędkością ok. 0,25°C/sekundę. Na koniec dokonano porównania wyników.

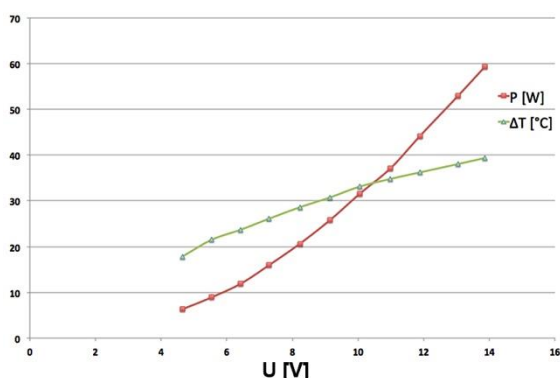


Rys. 8. Charakterystyka generowanego napięcia przez ogniwo TEC1-12705 w zależności od różnicy temperatur na okładzinach. [opr. własne]



Rys. 9. Charakterystyka mocy wyjściowej modułu Peltiera w zależności od różnicy temperatur i obciążenia. [opr. własne]

W trybie normalnej pracy ogniwa (TEC) zasilanie było podawane z zasilacza laboratoryjnego (DC) w sposób stopniowy, od 4,5V do 14V DC.



Rys. 10. Charakterystyka poboru energii i wytworzonej różnicy temperatur przez moduł Peltiera w zależności od napięcia zasilającego. [opr. własne]

Podsumowanie

W celu poznania pełniejszych charakterystyk badanych ogniw należy uzyskać większą ΔT . Można to osiągnąć poprzez lepszą izolację termiczną układu pomiarowego od otoczenia. Uzyskanie niższej temperatury bloku chłodzącego (np. 0°C i -20°C), jest możliwe po zmianie chłodzenia wodnego na układ z glikolem, oraz uzyskanie wyższych temperatur na bloku grzania (np. do 120°C).

Największa moc wyprodukowana przez ogniwo następuje przy $R_{\text{obc}} = R_w$ modułu Peltiera.

W przyszłości przewidziano możliwość rozbudowy układu o automatyczne dokonywanie pomiarów zarówno dla chłodzenia jak i pracy jako generator oraz automatyczne graficzne prezentowanie wyników (przy użyciu np. Processing).

Bibliografia:

1. Sadowski E. Rejestrator wybranych czynników środowiskowych na Raspbbery Pi. Autobusy. 12/2017
2. Thermoelectric Modules Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2015 – 2023.
3. Thermoelectric Modules Market Expected to Reach US\$ 763.5 Mn by 2022 Globally: Transparency Market Research
4. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. MAXIM, 2008.

5. INA3221 Triple-Channel, High-Side Measurement, Shunt and Bus Voltage Monitor with I2C- and SMBUS-Compatible Interface. Texas Instruments. 2016.
6. ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I2C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator, and Programmable Comparator. Texas Instruments. 2018.
7. O'Halloran S., Rodrigues M. Power and Efficiency Measurement in a Thermoelectric Generator. American Society for Engineering Education, 2012
8. Sidorczyk M. Wykorzystanie generatorów termoelektrycznych do lokalnego wytwarzania energii pomocniczej w systemach ciepłych. Rozprawa doktorska 2016. Wrocław.
9. V.Yu. Lutsenko, A.S. Zhagrov. Experimental investigation of periodic transient mode of thermoelectric generator. Journal of thermoelectricity. 2016. № 3
10. Filin S. Termoelektryczne urządzenia chłodnicze, IPPU Masta, Gdańsk 2002. ISBN 83-913895-6-1.
11. Pniewski R. Sadowski E. Kowalik R. Wykorzystanie ogniw Peltiera w układach chłodzących pojazdów autobusowych. Autobusy. 6/2016
12. Laird Technologies Acquires Nextreme Thermal Solutions Technology. 2013. <https://www.lairdtech.com/news/laird-technologies-acquires-nextreme-thermal-solutions-technology> (dostęp 27.10.2018r)

Measurement of Peltier modules using the Arduino platform

The article discusses the system for measuring Peltier thermoelectric modules using the Arduino platform based on the Atmega328P microcontroller. The results of such measurements for the TEC1-12705 series of thermoelectric cells are also presented. Both for cooling mode operation (Peltier effect) and for working as a thermoenergy generator (Seebeck effect).

Keywords: thermoelectric, thermogenerator, Peltier effect, Seebeck effect

Autorzy:

mgr inż. **Emil Sadowski** – Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny w Radomiu. Wydział Transportu i Elektrotechniki.

dr hab. inż. **Roman Pniewski, prof. nadzw.** – Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny w Radomiu. Wydział Transportu i Elektrotechniki.