



Politechnika Wrocławska

Katedra Metrologii Elektronicznej i Fotonicznej

Nazwa kursu:

Metrologia optyczna - laboratorium

Temat projektu:

Bezdotykowy pomiar temperatury za
pomocą pirometru opartym na
czujniku MLX90614

Autorzy projektu:

inż. Piotr Rosiński

inż. Patryk Niczke

inż. Przemysław Lis

Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów

Kierunek: Elektronika

Miejsce i rok: Wrocław, 2024

Spis treści

1	Wstęp	3
1.1	Wprowadzenie	3
1.2	Cel projektu	3
1.3	Zakres projektu	4
2	Założenia projektowe	5
2.1	Opis założeń funkcjonalnych	5
2.2	Opis założeń konstrukcyjnych	5
2.3	Opis założeń środowiskowych	6
2.4	Opis założeń ekonomicznych	7
3	Charakterystyka wykorzystanych komponentów sprzętowych	8
3.1	Mikrokontroler Arduino Uno	8
3.2	Czujnik temperatury MLX90614	9
3.3	4-przyciskowa klawiatura	9
3.4	Wyświetlacz LCD z konwerterem I2C HD44780	10
4	Analiza struktury zastosowanego oprogramowania	11
4.1	Połączenie z czujnikiem temperatury MLX90614	11
4.2	Połączenie z wyświetlaczem LCD HD44780	11
4.3	Synchroniczna współpraca LCD i czujnika temperatury z wykorzystaniem mikrokontrolera Arduino	12
4.4	Wytrawienie płytki drukowanej	12
5	Uruchomienie projektu i skalibrowanie urządzenia	13
5.1	Proces uruchomienia	13

5.2	Kalibracja urządzenia	13
6	Wykonanie testów i dokonanie odpowiednich pomiarów	14
6.1	Opis metodyki testowania	14
6.2	Przebieg testów	14
6.3	Analiza wyników	14
7	Instrukcja użytkowania	15
7.1	Krótki opis pirometru i jego przeznaczenia	15
7.2	Ostrzeżenia dotyczące pomiarów wysokich temperatur/kontakt z go- rącymi obiektami	15
7.3	Podłączenie pirometru do źródła zasilania	15
7.4	Opcjonalna zmiana parametrów (emisyjność, odległość dokonywania pomiaru)	15
7.5	Czyszczenie powierzchni czujnika	15
7.6	Informacje o przechowywaniu	15
7.7	Typowe problemy (np. brak odczytu, błędne wyniki) i ich możliwe rozwiązania	15
8	Podsumowanie i Wnioski	16
	Bibliografia	17

Rozdział 1

Wstęp

1.1 Wprowadzenie

Metrologia optyczna stanowi obecnie jeden z najważniejszych narzędzi pomiarowych w nauce i przemyśle stale zwiększając swoje znaczenie. Bezdotykowy pomiar temperatury rewolucjonizuje precyzję kontroli procesów technologicznych, badań naukowych i diagnostyki medycznej. Szczególną zaletą tych rozwiązań jest możliwość wykonywania pomiarów w warunkach, które dotychczas stanowiły wyzwanie – w przypadku obiektów szybko się poruszających, materiałów o ekstremalnych temperaturach lub gdy klasyczny kontakt pomiarowy mógłby zakłócić naturalne właściwości badanego obiektu i wprowadzić zaburzenie do pomiaru.

1.2 Cel projektu

Celem niniejszego projektu jest opracowanie i implementacja pirometru – zaawansowanego urządzenia do bezdotykowego pomiaru temperatury wykorzystującego technologię podczerwieni. Projekt został zrealizowany w oparciu o czujnik MLX90614, który zapewnia odpowiednią precyzję i stabilność pomiarów w założonym zakresie temperatur. Sercem systemu jest popularna płytką mikrokontrolerowa, Arduino UNO, która stanowi centrum sterujące całego urządzenia. Płytką Arduino UNO oparta jest na 8-bitowym mikrokontrolerze ATmega328P, który zapewnia róż-

norodne funkcje, takie jak 14 cyfrowych pinów wejścia/wyjścia czy 6 analogowych wejść. Dzięki swojej prostocie i wszechstronności, Arduino UNO jest często pierwszym wyborem dla wielu, nieco mniej wymagających obliczeniowo projektów [1]. Kod źródłowy projektu został napisany w języku C/C++, z wykorzystaniem open-sourcowych bibliotek ułatwiających programowanie kluczowych komponentów, w tym wyświetlacza LCD opartego na standardzie HD44780. HD44780 to standardowy kontroler wyświetlaczy LCD. Został opracowany przez firmę Hitachi w latach 80. XX wieku i jest powszechnie stosowany w alfanumerycznych wyświetlaczach dot-matrix [2]. W projektach wykorzystujących tę technologię często stosowana jest biblioteka LiquidCrystalI2C, która upraszcza interakcję z wyświetlaczami LCD podłączonymi do mikrokontrolerów takich jak Arduino poprzez interfejs I2C. Dzięki tej bibliotece możliwe jest łatwe sterowanie wyświetlaczem oraz wyświetlanie tekstu i danych w sposób efektywny i intuicyjny.

Inicjalizacja omawianego wyświetlacza LCD z wykorzystaniem biblioteki LiquidCrystalI2C zajmuje zaledwie kilka linii kodu źródłowego:

```
1      #include <LiquidCrystal_I2C.h>
2      LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Adres I2C,
      liczba kolumn, liczba wierszy
```

1.3 Zakres projektu

Zakres niniejszego projektu obejmuje kompleksowe opracowanie bezdotykowego systemu pomiarowego temperatury, który łączy optymalne rozwiązania w każdym omawianym później aspekcie projektowym. Projekt podzielony jest na dwie główne części: część programową i konstrukcyjną. Pod uwagę wzięte zostaną także różne istotne czynniki, które wpływają na sposób wykorzystania zbudowanego urządzenia. Istotne dla projektu jest nie tylko samo działanie pirometru, lecz także wpływ środowiska w którym jest użytkowane i kwestia sensownej minimalizacji kosztów utworzenia w pełni funkcjonalnego systemu pomiarowego.

Rozdział 2

Założenia projektowe

2.1 Opis założeń funkcjonalnych

Funkcjonalność kompletnego urządzenia pozwala na bezproblemowy i możliwie najprostszy w realizacji bezdotykowy pomiar temperatury. Urządzenie dokonuje w czasie rzeczywistym pomiaru temperatury danej powierzchni z wykorzystaniem czujnika MLX90614, wyświetlając wynik na wspomnianym wyświetlaczu LCD.

Za pomocą dołączonej 4-przyciskowej klawiatury można:

- zwiększać wartość emisyjności
- zmniejszać wartość emisyjności
- przywrócić początkową wartość emisyjności wynoszącą 1
- zmieniać jednostkę w której wyświetlany jest wynik wciskając raz za razem przycisk: stopnie Celsjusza, stopnie Fahrenheita, stopnie Kelvina.

2.2 Opis założeń konstrukcyjnych

Urządzenie wykonane zostało na płycie ewaluacyjnej, która umożliwia korzystanie z urządzenia, minimalizując ryzyko jakiegokolwiek uszkodzenia urządzenia.

Układ opierając się konstrukcyjnie na płycie działa stabilnie i daje opcję bezpiecznego przetransportowania przyrządu.

Wykonany w ramach projektu przyrząd pomiarowy składa się z:

- bezdotykowego czujnika temperatury MLX90614, który umożliwia pomiar temperatury obiektu w zakresie -70° do 380°C . Pomiar jest podawany z dokładnością do $0,5^{\circ}\text{C}$ w zakresie $0-50^{\circ}\text{C}$, lub 4°C dla skrajnych wartości zakresu. Natomiast dla temperatury czujnika zakres wynosi od -40°C do 85°C [3].
- wyświetlacza LCD HD44780 z dołączonym konwerterem I2C
- układu sterującego komponentami i przetwarzającymi dane pomiarowe uzyskiwane z czujnika tj. mikrokontrolera Arduino Uno
- 4-przyciskowej klawiatury

2.3 Opis założeń środowiskowych

Urządzenie działa w odpowiednio szerokim zakresie temperatur, od -20°C do $+70^{\circ}\text{C}$, aby umożliwić wykorzystanie w różnych warunkach otoczenia. Zostało ono zaprojektowane tak, aby mogło funkcjonować w umiarkowanej wilgotności tj. do bezpiecznej wartości 60% przy temperaturze 25°C , tak by zminimalizować ryzyko kondensacji i uszkodzeń komponentów. Urządzenie zasilane jest napięciem 5V (możliwe także zasilanie poprzez port USB 2.0). Urządzenie nie zostało przetestowane pod kątem pracy w trudniejszych warunkach środowiskowych. Użyte materiały są odporne na korozję oraz działanie łagodnych substancji chemicznych, co może mieć znaczenie w przypadku zastosowań przemysłowych bądź laboratoryjnych. Przed wdrożeniem urządzenia do użytku przeprowadzono testy środowiskowe, upewniając się, że spełnia wszystkie założenia dotyczące warunków pracy. Omawiane założenia środowiskowe są kluczowe dla zapewnienia niezawodności i trwałości urządzenia, a także dla jego prawidłowego działania w różnych warunkach otoczenia.

2.4 Opis założeń ekonomicznych

Projekt został opracowany z uwzględnieniem minimalizacji kosztów komponentów z jednoczesnym zachowaniem optymalnej do zastosowań jakości.

Koszty projektu obejmują:

- Czujnik MLX90614 – koszt jednostkowy w przedziale 50–80 zł w zależności od wybranego dostawcy.
- Wyświetlacz LCD HD44780 z konwerterem I2C – koszt jednostkowy w przedziale 20–30 zł.
- Mikrokontroler Arduino Uno – koszt jednostkowy około 100 zł.
- Klawiatura 4-przyciskowa – koszt jednostkowy w przedziale 3–10 zł.

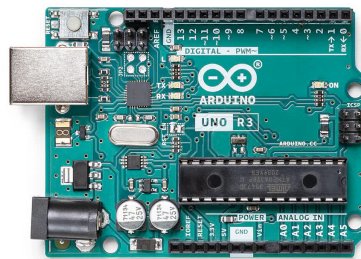
Całkowity koszt komponentów to około 170–220 zł, co czyni projekt relatywnie niedrogim i dość przystępnym cenowo w realizacji. Warto jednak zauważyć, że koszty projektu mogą ulec zmianie w zależności od wybranych dostawców i ilości zakupionych komponentów.

Urządzenie wykonane jest z części ogólnodostępnych. W jego strukturze nie znajdują się żadne elementy, których pozyskanie mogłoby być problematyczne. Największą część kosztów urządzenia stanowi mikrokontroler Arduino Uno. Jest to najdroższy element, ale jednocześnie kluczowy dla działania całego urządzenia. Istnieją tańsze alternatywy, które pozwolą zredukować koszt urządzenia o około 40%. Zamiast oryginalnego mikrokontrolera Arduino Uno można zastosować klon, który jest dostępny na rynku w cenie około 30 zł. Warto jednak zauważyć, że jakość klonów może być niższa niż oryginalnego produktu, co może wpłynąć na stabilną pracę i trwałość urządzenia. Istnieją zastosowania, gdzie ze względu na całkowitą cenę urządzenia, zastosowanie klonu mikrokontrolera może być uzasadnione. W przypadku omawianego projektu, zastosowanie oryginalnego mikrokontrolera Arduino Uno jest zalecane ze względu na jego niezawodność.

Rozdział 3

Charakterystyka wykorzystanych komponentów sprzętowych

3.1 Mikrokontroler Arduino Uno



Arduino Uno to popularny mikrokontroler wykorzystywany w projektach elektronicznych i robotyce. Jest to wszechstronna platforma programistyczna oparta na mikrokontrolerze ATmega328P. Mikrokontroler ten posiada 32KB pamięci Flash, 2KB pamięci RAM, 14 cyfrowych pinów wejścia/wyjścia, 6 pinów wejścia analogowego, zegar taktowany z częstotliwością 16MHz, interfejs USB, złącze zasilania 5V oraz złącze programowania ISP. Arduino Uno jest kompatybilny z wieloma dodatkowymi modułami, co pozwala na rozbudowę funkcjonalności. Mikrokontroler ten jest wykorzystywany w projekcie jako główny kontroler systemu.

Programowanie Arduino Uno odbywa się w dedykowanym środowisku Arduino

IDE, które wykorzystuje język bazujący na C++. Dzięki rozbudowanej bibliotece funkcji i dużej społeczności użytkowników, realizacja nawet zaawansowanych projektów jest stosunkowo prosta [4]

3.2 Czujnik temperatury MLX90614



Czujnik MLX90614 to zaawansowany, bezdotykowy termometr na podczerwień, który umożliwia pomiar temperatury obiektów w szerokim zakresie. Działa na napięciu zasilania od 3V do 3.6V i komunikuje się za pomocą interfejsu I2C, co czyni go łatwym w integracji z różnymi systemami, takimi jak Arduino czy inne mikrokontrolery. Dzięki swojej konstrukcji, MLX90614 znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach, w tym w medycynie do pomiaru temperatury ciała, w systemach klimatyzacji oraz w automatyzacji przemysłowej [5].

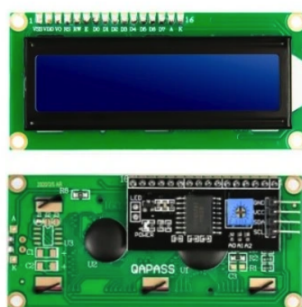
3.3 4-przyciskowa klawiatura

Pokazana na zdjęciu klawiatura to membranowa klawiatura numeryczna, składająca się z czterech przycisków oznaczonych cyframi od 1 do 4. Charakteryzuje się prostą budową, elastyczną taśmą zakończoną złączem z pinami, co umożliwia łatwe podłączenie do mikrokontrolera lub innych urządzeń elektronicznych. Tego typu klawiatury są często wykorzystywane w prostych projektach elektronicznych, takich jak panele sterujące, systemy wprowadzania kodów czy interfejsy użytkownika w



urządzeniach DIY. Dzięki niskiej cenie i kompaktowym rozmiarom, są popularnym wyborem wśród hobbystów i studentów elektroniki.

3.4 Wyświetlacz LCD z konwerterem I2C HD44780



Wyświetlacz LCD z konwerterem I2C oparty na sterowniku HD44780 to popularne rozwiązanie do wyświetlania tekstu w projektach elektronicznych. Dzięki wbudowanemu konwerterowi I2C znacznie uproszczona jest komunikacja z mikrokontrolerem, ponieważ wymaga jedynie dwóch linii sygnałowych (SDA i SCL), zamiast standardowych 6-8 w przypadku klasycznego podłączenia. Wyświetlacz obsługuje różne konfiguracje, najczęściej spotykane to 16x2 (16 znaków na 2 liniach) lub 20x4 (20 znaków na 4 liniach). Sterownik HD44780 umożliwia łatwe sterowanie wyświetlanymi znakami oraz tworzenie niestandardowych symboli. Dzięki czytelnemu interfejsowi i szerokiemu wsparciu w bibliotekach do Arduino, Raspberry Pi i innych platform, wyświetlacz ten jest chętnie używany w projektach takich jak panele kontrolne, wskaźniki statusu czy urządzenia IoT.

Rozdział 4

Analiza struktury zastosowanego oprogramowania

4.1 Połączenie z czujnikiem temperatury MLX90614

Czujnik temperatury MLX90614 został podłączony do mikrokontrolera Arduino za pomocą interfejsu I2C. W celu komunikacji z czujnikiem została wykorzystana biblioteka Wire.h. W celu sprawdzenia poprawności połączenia z czujnikiem został napisany program, który odczytuje temperaturę z czujnika i wyświetla ją na monitorze szeregowym i wyświetlaczu LCD.

4.2 Połączenie z wyświetlaczem LCD HD44780

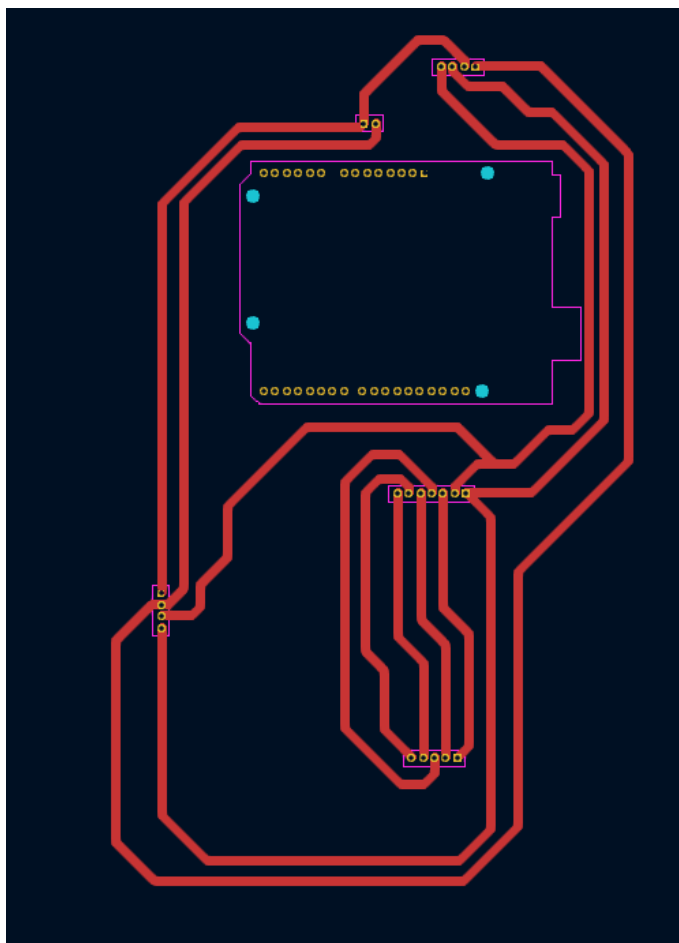
Wyświetlacz LCD HD44780 podłączono z wykorzystaniem konwertera pracującego na interfejsie I2C. Do komunikacji z wyświetlaczem została użyta biblioteka LiquidCrystal_I2C.h.

4.3 Synchroniczna współpraca LCD i czujnika temperatury z wykorzystaniem mikrokontrolera Arduino

W celu synchronicznej współpracy wyświetlacza LCD i czujnika temperatury z mikrokontrolerem Arduino, został napisany program, który cyklicznie odczytuje temperaturę z czujnika i wyświetla ją na wyświetlaczu LCD. Program został napisany w języku C/C++ z wykorzystaniem bibliotek Wire.h i LiquidCrystal_I2C.h.

4.4 Wytrawienie płytki drukowanej

Po przetestowaniu komponentów na płytce prototypowej z wykorzystaniem oprogramowania KiCad 8.0 zaprojektowano układ ścieżek na płycie drukowanej.



Rysunek 4.1: Rozkład ścieżek na płycie drukowanej

Rozdział 5

Uruchomienie projektu i skalibrowanie urządzenia

5.1 Proces uruchomienia

5.2 Kalibracja urządzenia

Rozdział 6

Wykonanie testów i dokonanie odpowiednich pomiarów

6.1 Opis metodyki testowania

6.2 Przebieg testów

6.3 Analiza wyników

Rozdział 7

Instrukcja użytkowania

- 7.1 Krótki opis pirometru i jego przeznaczenia
- 7.2 Ostrzeżenia dotyczące pomiarów wysokich temperatur/kontaktu z gorącymi obiektami
- 7.3 Podłączenie pirometru do źródła zasilania
- 7.4 Opcjonalna zmiana parametrów (emisyjność, odległość dokonywania pomiaru)
- 7.5 Czyszczenie powierzchni czujnika
- 7.6 Informacje o przechowywaniu
- 7.7 Typowe problemy (np. brak odczytu, błędne wyniki) i ich możliwe rozwiązania

Rozdział 8

Podsumowanie i Wnioski

Bibliografia

- [1] Sanchez, Julio; Canton, Maria P. (2007) - „Microcontroller Programming: the Microchip PIC. CRC Press.”
- [2] ElektronikaB2B - „Arduino - jak wybrać i kupić?”
<https://elektronikab2b.pl/technika/50150-arduino-jak-wybrac-i-kupic>
- [3] Korneliusz Jarzębski - „Pirometr z czujnikiem MLX90614ESF-BAA”
<https://www.jarzebski.pl/arduino/czujniki-i-sensory/pirometr-z-czujnikiem-mlx90614.html>
- [4] Arduino - „Arduino Uno Rev3”
<https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/#features>
- [5] ElektroWeb - „Pirometr termometr bezdotykowy MLX90614 GY-906”
<https://www.elektroweb.pl/pl/czujniki-temperatury/273-pirometr-termometr-bezdotykowy-mlx90614-gy-906.html>