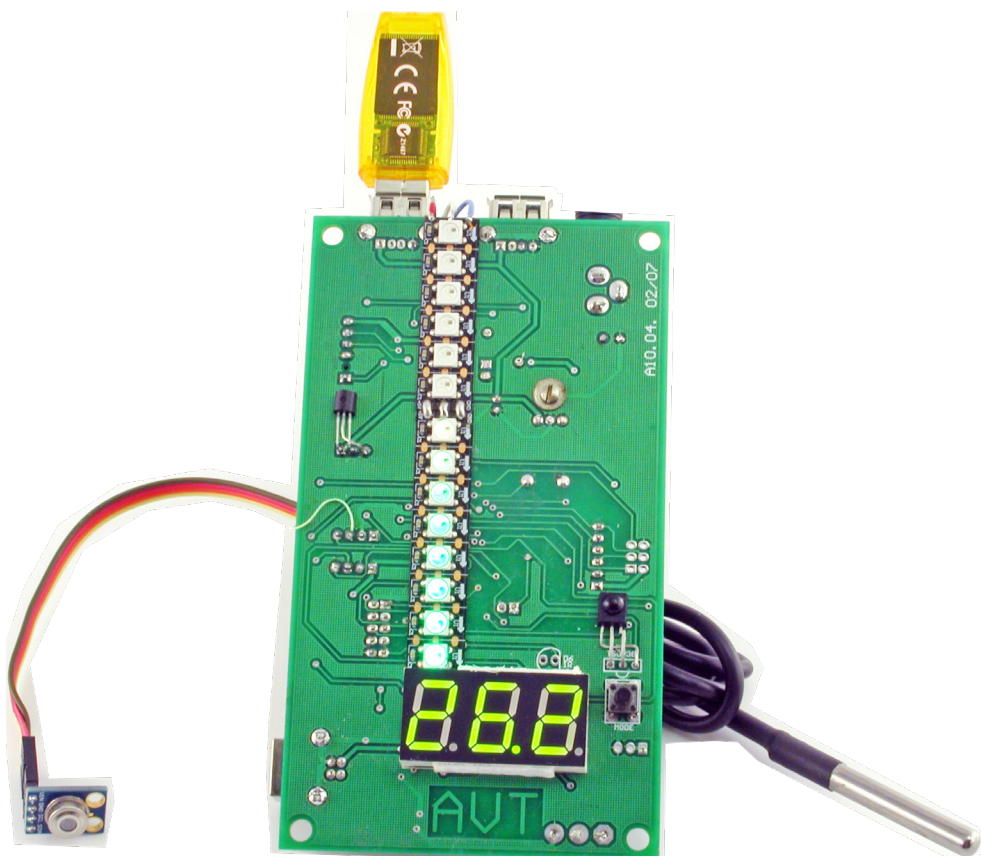


Dział „Projekty Czytelników” zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie bierze odpowiedzialności za prawidłowe działanie opisywanych układów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie, chociaż sprawdzamy poprawność konstrukcji. Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane oświadczenie, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany. Honorarium za publikację w tym dziale wynosi 250,- zł (brutto) za 1 stronę w EP. Przesłanych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.

PROJEKT
NR 243

Pirometr tęczowy

Urządzenie mierzy temperaturę w sposób bezkontaktowy – przy pomocy pirometru, czujnika analizującego promieniowanie podczerwone. Dodatkowo może odczytywać temperaturę z popularnych czujników DS18B20. Wynik jest prezentowany na trzycyfrowym wyświetlaczu 7-segmentowym oraz w postaci linijki LED, która ilością zaświeconych diod oraz barwą odzwierciedla wskazanie. Jednak to nie wszystkie możliwości prezentowanego układu....



Parametry urządzenia:

- bezkontaktowy pomiar temperatury w zakresie -70...380°C,
- pomiar temperatury czujnikami DS18B20, w zakresie -50...125°C,
- prezentacja wartości temperatury na trzy-cyfrowym wyświetlaczu LED,
- prezentacja wyniku w postaci wielobarwnej linijki LED,
- regulacja jasności świecenia diod LED,
- zmiana aktywnego czujnika przy pomocy przycisku,
- zasilanie z USB lub zasilacza 7...15 V.

Funkcje dodatkowe:

- obsługa pilotem na podczerwień,
- komunikacja poprzez Wi-Fi,
- zapis pomiarów na pendrive,
- odczyt danych z termometrów zdalnych.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

| | |
|----------|---|
| AVT-5635 | Bezprzewodowy, energooszczędny system pomiaru temperatury (EP 8-9/2018) |
| AVT-5623 | 4-kanałowy termometr z interfejsem Wi-Fi (EP 4/2018) |
| AVT-5566 | THPStation – rozbudowany termometr z Wi-Fi (EP 1/2017) |
| AVT-5518 | Termometr bezprzewodowy (EP 11/2015) |
| AVT-1790 | Termometr XXL (EP 2/2014) |
| AVT-1734 | Termometr do wędzarni (EP 4/2013) |
| AVT-5330 | Termometr PC (EP 2/2012) |
| AVT-1582 | Domowy termometr RGB (EP 8/2010) |
| AVT-5117 | Termometr USB (EP 11/2007) |
| AVT-5041 | Termometr MIN-MAX (EP 11/2001) |

Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania!

Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wzlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

- wersja [C] – zamontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wzlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji. Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [Aa] – płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! <http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

Zasada działania pirometru

Zastosowany czujnik to MLX90614. Występuje w kilku wersjach, dla których wspólnym parametrem jest zakres mierzonych temperatur obiektu. Zawiera się w przedziale od -70°C do +380°C. Ponadto, wersje różnią się napięciem zasilania (3 V, 5 V), zakresem temperatur pracy czujnika (-40°C...+85°C lub -40°C...+125°C) oraz kątem pola widzenia FOV (90°, 35°, 12°, 10° lub 5°). Parametr FOV (*Field Of View*) definiuje z jakiej maksymalnej odległości L możemy zmierzyć temperaturę obiektu o określonym rozmiarze, ilustruje to **rysunek 1**.

Czujnik przetwarza średnią wartość odbieranego promieniowania podczerwonego obiektu, wyznaczoną przez okrąg o średnicy S. Ważne jest, aby okrąg znajdował się wewnątrz obiektu, którego temperaturę chcemy mierzyć. Jeśli pirometr widzi także

inne obiekty, np. tło to wynik pomiaru będzie średnią temperaturą obiektu i tła. Prawidłowy i nieprawidłowy sposób pomiaru ilustrują **rysunki 2 i 3**.

Im mniejszy jest ten kąt, tym dalej może znajdować się czujnik od badanego obiektu. Dla kątów mniejszych niż 45° występują zależności:

$$S = tg(FOV) \cdot L$$

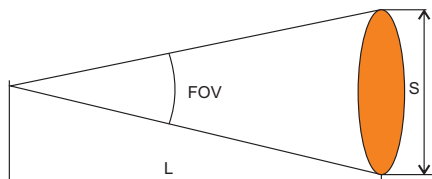
$$L = S / tg(FOV)$$

Załóżmy, że chcemy zmierzyć temperaturę obiektu oddalonego od czujnika o 1 metr. Parametr FOV czujnika wynosi 10°.

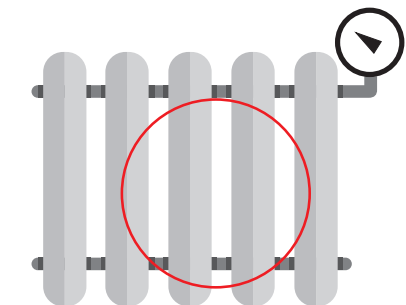
$$S = tg(FOV) \cdot L(cm) = 0,1763269807 \cdot 100 = 17,6\text{cm}$$

Zatem średnica obiektu nie może być mniejsza od 17,6 cm.

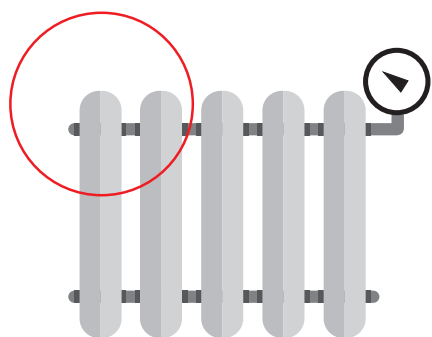
Rozważmy inną sytuację, obliczmy z jakiej maksymalnej odległości możemy zbadać temperaturę obiektu o rozmiarze 10 cm.



Rysunek 1. Zobrazowanie parametru FOV.



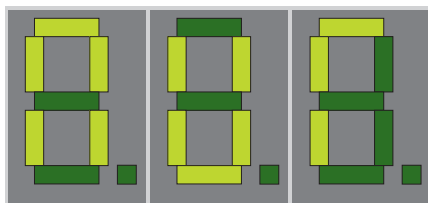
Rysunek 2. Pomiar wykonany prawidłowo.



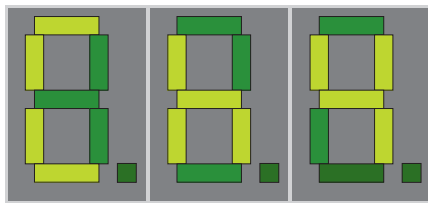
Rysunek 3. Pomiar wykonany nieprawidłowo.

$$L = S / \tan(\text{FOV}) = 10 \text{ cm} / 0,1763269807 = 56,7 \text{ cm}$$

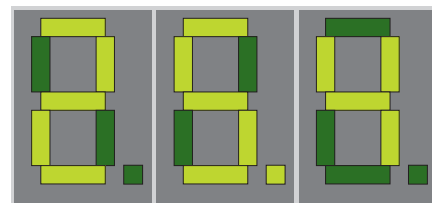
W pirometrze MLX90614, zastosowanym w prototypie, parametr FOV wynosi 90°. Dla kątów większych niż 45° do obliczeń



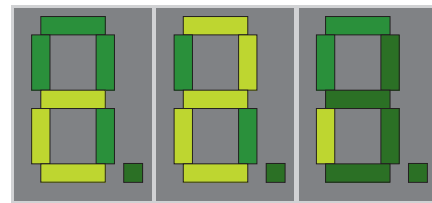
Rysunek 4. Komunikat powitalny.



Rysunek 5. Wyświetlenie liczby czujników.



Rysunek 6. Wyświetlenie temperatury.



Rysunek 7. Wyświetlenie ustawień zakresu.

przyjmujemy połowę wartości kąta a otrzymany wynik mnożymy przez 2.

$$S = (\tan(\text{FOV}/2) \cdot L) \cdot 2$$

Dla FOV=90° obliczenia można uprościć:

$$\tan(90^\circ/2) = 1$$

$$S = L \cdot 2$$

Z odległości 10 cm można mierzyć temperaturę obiektu o średnicy co najmniej 20 cm. Zatem czujnik nie nadaje się do pomiaru odległych obiektów ale na przykład do pomiaru temperatury radiatora taki pirometr będzie wystarczający.

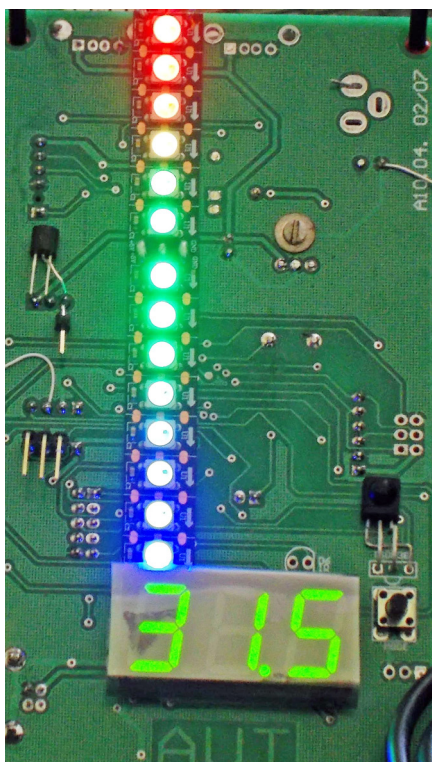
Na dokładność pomiaru temperatury wpływ ma również współczynnik emisyjności. Materiały mają różną zdolność emitowania promieniowania podczerwonego. Zależy to głównie od barwy powierzchni i jej gładkości. Ciemne szorstkie obiekty mają większą zdolność emisyjną niż materiały o gładkiej powierzchni i jasnej barwie. Ludzka skóra

Tabela 1. Znaczenie wartości parametru „i”

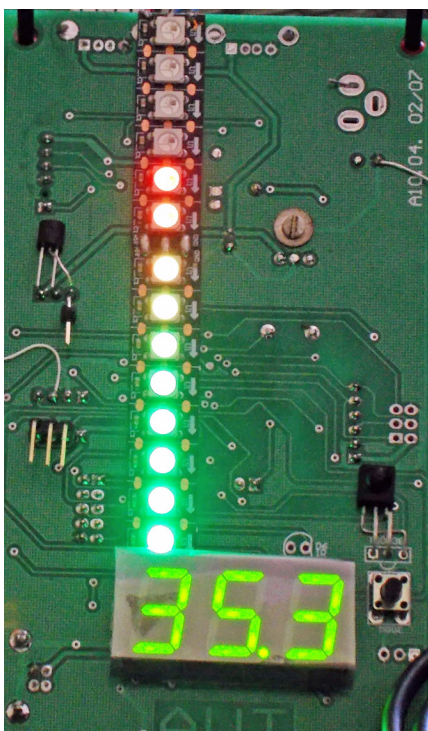
| Symbol zakresu | Nazwa | Zakres temperatur |
|----------------|----------------|-------------------|
| E | external | -15...0 |
| i | internal | 8...30 |
| C | CO – kaloryfer | 40...60 |
| L | low | 25...150 |
| h | high | 150...250 |
| H | very high | 200...500 |

posiada współczynnik emisyjności około 0,9, wypolerowane aluminium 0,05. Współczynnik emisyjności czujnika jest ustawiony na 1.

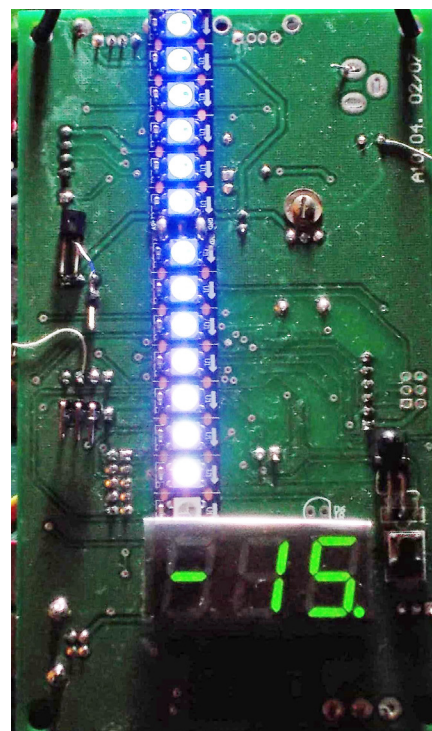
Interfejsem komunikacyjnym czujnika jest magistrala SMBus, kompatybilna z I²C. Pozwala na odczyt danych oraz na zmianę ustawień czujnika, np. zmianę wartości



Fotografia 1. Wygląd skali internal.



Fotografia 2. Wygląd skali external przy dodatniej temperaturze.



Fotografia 3. Wygląd skali external przy ujemnej temperaturze.

współczynnika emisyjności, zmianę adresu magistrali lub włączenie funkcji generowania sygnału PWM proporcjonalnego do zmierzonej temperatury.

Obsługa

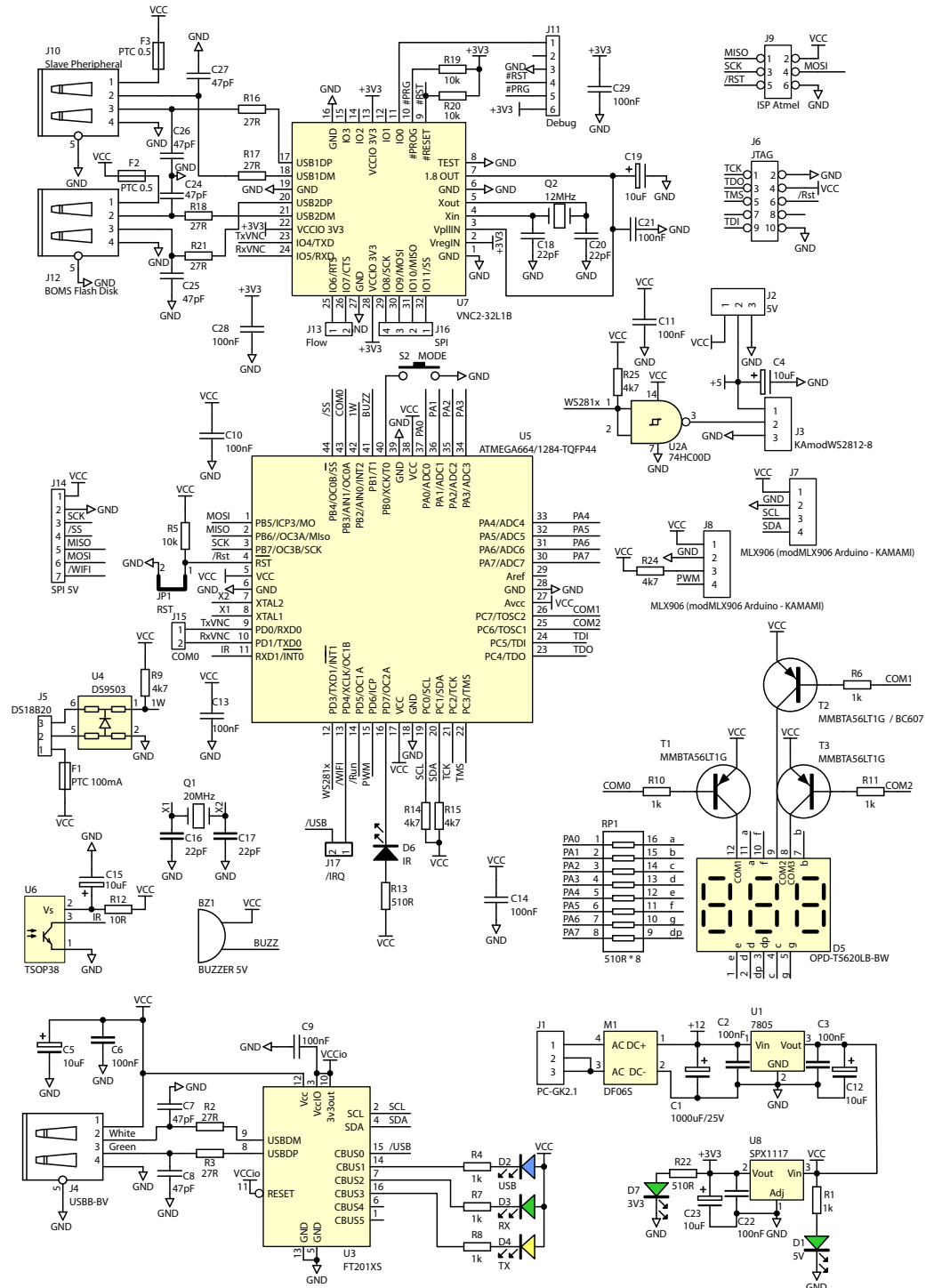
Po włączeniu urządzenia na wyświetlaczu zaświecą się symbole przypominające litery AVT, przedstawione na **rysunku 4**. Następnie zostanie wyświetlona liczba znalezionych termometrów – **rysunek 5** i po chwili pokaże się wartość temperatury – **rysunek 6**. Jeśli wartość będzie wyższa niż 99°, to nie będą wyświetlane części dziesiątne.

Przyciskiem można zmienić nr termometru, po jego naciśnięciu na wyświetlaczu pokaże się, na przykład taka treść: „c 2 i” – **rysunek 7**. W miejscu cyfry „2” wyświetlany jest numer termometru, a w miejscu litery „i” wyświetlany jest symbol określający zakres wyświetlanych temperatur. **Tabela 1** przedstawia znaczenie parametru „i”. Zakres wyświetlanych temperatur określa minimalną i maksymalną temperaturę sygnalizowaną przez diody od niebieskiej, przez zieloną, żółtą, pomarańczową, do czerwonej. Wygląd skali przy ustawieniu *internal* przedstawia **fotografia 1**, przy ustawieniu *external* oraz różnych temperaturach, dodatniej i ujemnej, przedstawiają **fotografie 2 i 3**. Gdy na wyświetlaczu prezentowana jest wartość poniżej 90, to oznacza ona błąd w działaniu urządzenia.

Budowa

Schemat urządzenia przedstawia **rysunek 8**. Zasilacz składa się z mostka prostowniczego M1 i stabilizatora 5 V (U1). Elementy te można pominąć, jeśli termometr będzie zasilany poprzez złącze USB. Stabilizator 3,3 V jest konieczny, jeśli będziemy korzystać z funkcji zapisu na pendrive. Katody potrójnego wyświetlacza 7-segmentowego są sterowane bezpośrednio z wyprowadzeń mikrokontrolera, natomiast anody sterowane są za pośrednictwem tranzystorów T1...T3.

Czujnik pirometru przyłączamy do magistrali IIC poprzez złącze J7. Do złącza J8 można opcjonalnie podłączyć drugi



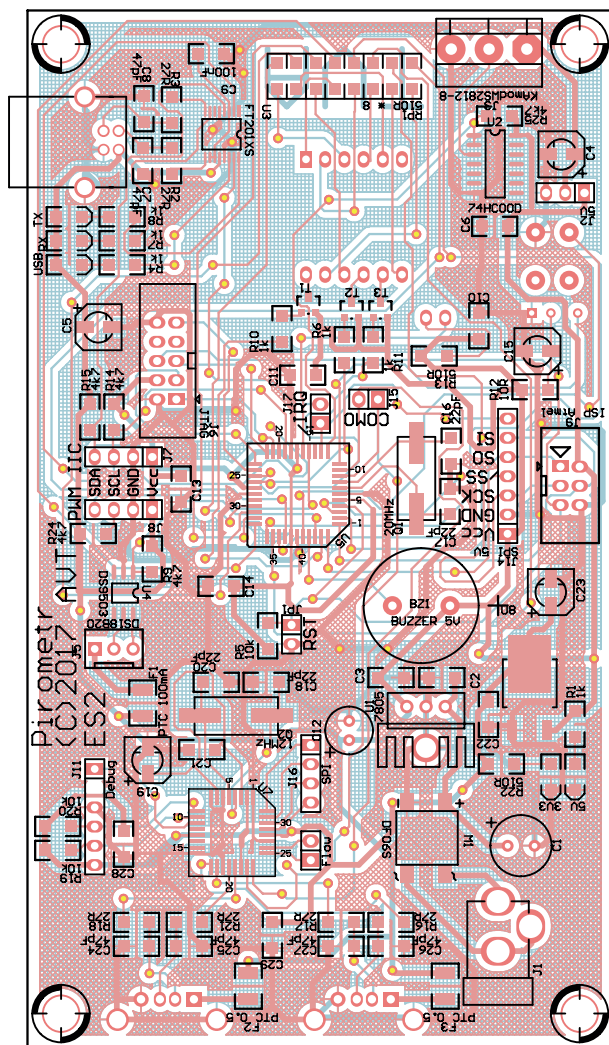
Rysunek 8. Schemat elektryczny.

czujnik, skonfigurowany do pracy w trybie PWM. W oprogramowaniu nie zaimplementowano obsługi czujników o różnych adresach, podłączonych do jednej magistrali. Magistrala 1-Wire jest zabezpieczona, dedykowanym do tego celu, układem U4 typu DS9503. Obsługiwanych może być maksymalnie 7 termometrów typu DS18B20.

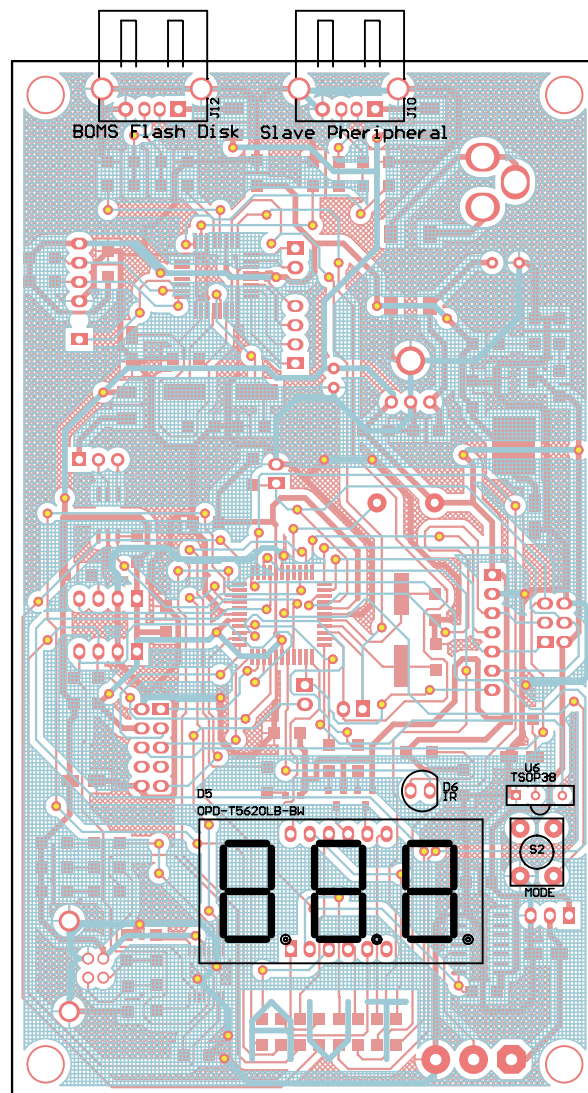
Układ U6 odbiera sygnał z pilota podczerwiieni. Diody nadawcza D6 nie jest aktualnie używana, została zastosowana dla ewentualnych przyszłych funkcji urządzenia. Podłączona do wyjścia timera2 OC2A, umożliwia nadawanie sygnałów IR. Również buzzer BZ1 nie jest używany

w aktualnej wersji programu, ale mógłby służyć np. do sygnalizowania przekroczenia zadanego zakresu temperatur.

Układ U2 neguje sygnał z USART, co jest niezbędne, aby poprawnie sterować diodami WS2812. Dzięki wykorzystaniu USART-a aktywne mogą być przerwania o „niższym priorytecie”. W przeciwieństwie do ARM, AVR nie ma priorytetowego systemu przerwań a do obsługi WS2812 wymagane jest, aby USART miał najwyższy priorytet. Uzyskano to sztucznie, przez wykonanie rozkazu SEI zaraz po wejściu w przerwanie dla przerwań o „niskim poziomie”. Jest to możliwe przez zadeklarowanie



Rysunek 9. Schemat płytki, strona TOP (skala 1:1).



Rysunek 10. Schemat płytki, strona BOTTOM (skala 1:1).

przerwania jako INTERRUPT lub ISR z atrybutem ISR_NO_BLOCK. Przerwanie od USART dla WS2812 musi być przerwaniem SIGNAL lub ISR bez atrybutów.

Komunikacja z pendrive realizowana jest poprzez układ U7. Wymaga on zaprogramowania, dlatego na płytce znajduje się dedykowane złącze J11. Aktualnie oprogramowanie mikrokontrolera nie obsługuje pendrive. Kartę Wi-Fi ESP8266 łączy się z termometrem używając dodatkowej płytki z konwerterem IIC/SPI-USART przyłączonej do J14. Na płytce tej znajduje się układ SC16IS7601PW. Od strony rejestrów jest kompatybilny z popularnym USART-em 16C550. Jego zaletą jest 64 bajtowe FIFO. Ponadto, w przeciwieństwie do 16C550, można odczytać zajętość FIFO, zarówno nadawczego jak i odbiorczego co umożliwia transfer blokowy (adres rejestru wysyłamy tylko raz).

Schemat płytki drukowanej widoczny jest na rysunkach 9 i 10. Wyświetlacz zamontowany jest od strony bottom, która pełni funkcję panelu frontowego urządzenia. Również przycisk i odbiornik podczerwieni powinny być zamontowane po tej stronie

płytki. Jako linijka LED doskonale sprawdzi się gotowy odcinek elastycznej taśmy z diodami WS2812, który można przykleić do płytki, podobnie jak w prezentowanym modelu.

Program sterujący

Aktualnie program zajmuje ponad 42 kB, zużycie RAM ponad 2,7 kB. Wymagany jest więc procesor co najmniej Mega664. Na co zużyto tak dużo pamięci RAM? Dla uzyskania pseudo-multitasking, bufor nadawczy i odbiorczy dla NVC-2 i ESP2866 są od siebie niezależne.

Dla ESP 512 bajtów i 128 bajtów dla VNC-2, bufor dla WS2812 120 bajtów (8 na diodę). Bufor na ID termometrów to kolejne 56 bajtów. Nazwa sieci Wi-Fi i hasło to 50 bajtów (32-nazwa, 16-hasło + 2 razy kod końca tekstu) itd. Kompilując program, można by zaoszczędzić pamięć RAM (np. hasło/nazwę sieci Wi-Fi odczytywał bezpośrednio z EEPROM), ale mikrokontroler daje do dyspozycji 4 kB RAM, więc nie było potrzeby, aby oszczędzać. Kluczowe bufor są przez program kontrolowane i w przypadku ich przepełnienia sygnalizowany jest błąd.

Bardzo często można natknąć się na programy, gdzie odczyt temperatury z termometrów 1-Wire polega na analizie pierwszych dwóch bajtów, bez sprawdzania CRC. W konsekwencji, zwarcie magistrali do masy, daje odczyt 0°. W opisywanym termometrze, ze względu na możliwość obsługi kilku układów, wykorzystywana jest komenda MATCH ROM, w której zawarta jest suma kontrolna CRC. Dzięki temu,

REKLAMA

Specjalistyczne szkolenia dla elektroników i automatyków

TECHDAYS

techdays@techdays.pl
TECHDAYS.PL

CERTYFIKOWANY PARTNER SZKOLENIOWY
ST life augmented

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD 1206)
 R1, R4, R6..R8, R10, R11: 1 kΩ SMD1206
 R9, R14, R15, R24, R25: 4,7 kΩ SMD1206
 R12: 10 Ω SMD1206
 R5, R19, R20: 10 kΩ SMD1206
 R2, R3, R16..R18, R21: 27 Ω SMD1206
 R13, R22: 510 Ω SMD1206
 RP1: 8×510 Ω SMD1206

Kondensatory:

C1: 1000 μF/25 V
 C4, C5, C15, C19, C23: 10 μF/16 V SMD
 C12: 10 μF/16 V
 C16... C18, C20: 22 pF SMD1206
 C7, C8, C24... C27: 47 pF SMD1206
 C2, C3, C6, C9..C11, C13, C14, C21, C22, C28, C29: 100 nF SMD1206

Półprzewodniki:

D1: LED SMD1206 G
 D2: LED SMD1206 B
 D3: LED SMD1206 G
 D4: LED SMD1206 Y
 D5: LED 3×7-SEG T5620LB
 D6: Dioda nadawcza IR
 D7: LED SMD1206 G
 M1: Mostek prost. DF06S

T1, T2, T3: Tranzystor PNP SOT-23
 np. MMBTA56
 U1: 7805
 U2: 74HC00 S0-14
 U3: FT201XS SSOP-16
 U4: DS9503 S0-6
 U5: ATMEGA664/1284 TQFP44
 U6: TSOP38
 U7: VNC2-32L1B LQFP-32
 U8: SPX1117 SOT-223

Inne:

BZ1: Buzzer 5 V
 Q1: 20 MHz SMD
 Q2: 12 MHz SMD
 F1: PTC 100 mA SMD1210
 F2, F3: PTC 0.5 SMD1210
 J1: Gniazdo zasilania 2,1/5,5
 J3: ARK3/500 + KAmodWS2812-8
 J4: Gniazdo USB B kątowne
 J5: NS25-W3 + DS18B20
 J6: IDC10
 J7, J8: SIP4 conn + MLX906
 J9: IDC6
 J10, J12: Gniazdo USB A kątowne
 J11: Goldpin 1×6
 S2: Miros witch

Oprogramowanie działa na zasadzie zdarzeń. Jedyne „delay'e” to 50 μs gwarantujące sygnał reset dla diod WS2812 i 800 ms potrzebne do wygenerowania softwarowego resetu przy użyciu WatchDog'a. Wszystko więc dzieje się równolegle. W czasie zapisu na dysk mogą być odbierane/nadawane dane przez Wi-Fi, czy odbierane rozkazy z pilota IR. Odstępstwem od multitaskingu jest moment oczekiwania na zakończenie transmisji nadawczych (przez USB, Wi-Fi, VNC-2). Teoretycznie można te operacje przenieść na przerwania, ale dodatkowo zwiększy to zapotrzebowanie na pamięć RAM. Oprogramowanie jest przygotowane do odbioru danych z innych termometrów przez sieć Wi-Fi. Dane te są wysyłane po porcie 80, tak jak zapytania HTTP, z tym, że używa się metody PUT a nie GET. Jeśli ciąg znaków będzie zakończony kodem CR to ramka zostanie zwrócona z pominięciem ciągu „PUT / TXT .. Przykładowe ramki danych:

PUT / TXT Ta 127.34
 PUT / TXT Tb -33.22

EP, ES2 & KK

Dalszy opis urządzenia, wraz z materiałami dodatkowymi, jest dostępny na naszej stronie www.ep.com.pl.

że dane odczytane z układu są analizowane z uwzględnieniem CRC, możliwe jest wykrywanie błędów. Można to zaobserwować odłączając czujnik w czasie pracy termometru – pojawi się błąd. Tak samo w przypadku IIC – sprawdzany jest bajt PEC pirometru i można wykryć błędy transmisji. W ramce przedstawiony jest schemat obliczania PEC dla MLX90614.

Aby sterować diodami WS2812 przy pomocy interfejsu USART należy zastosować rozwiązanie z transmisją 7-bitową i zanegowanym wyjściem USART. Interfejs musi wtedy pracować z prędkością 2...2,5 Mb/s. Wydawałoby się, że jest ona nieosiągalna dla AVR, jednak jest to możliwe, trzeba tylko wpisać do rejestru UBRR wartość 0.

Doświadczenia pokazują, że należy także zwiększyć częstotliwość taktowania CPU, dlatego w termometrze zastosowano kwarc 18,4321 MHz, który zapewnia poprawne sterowanie diod, a jednocześnie jest to częstotliwość „UART’owa”. Projekt został uruchomiony na procesorze ATmega664, jednak w razie rozbudowy aplikacji, ze względu na zapotrzebowanie na pamięć RAM, potrzebny będzie ATmega1284.

```

crc = _crc8_ccitt_update( 0, MLX90614_ADR ); // Adres WR
crc = _crc8_ccitt_update( crc, adr ); // CMD
crc = _crc8_ccitt_update( crc, MLX90614_ADR+1 ); // Adres RD
crc = _crc8_ccitt_update( crc, temp & 0Xff ); // Low
crc = _crc8_ccitt_update( crc, temp >> 8 ); // High
    
```

REKLAMA



Najlepszy adres w sieci
<http://ep.com.pl>