

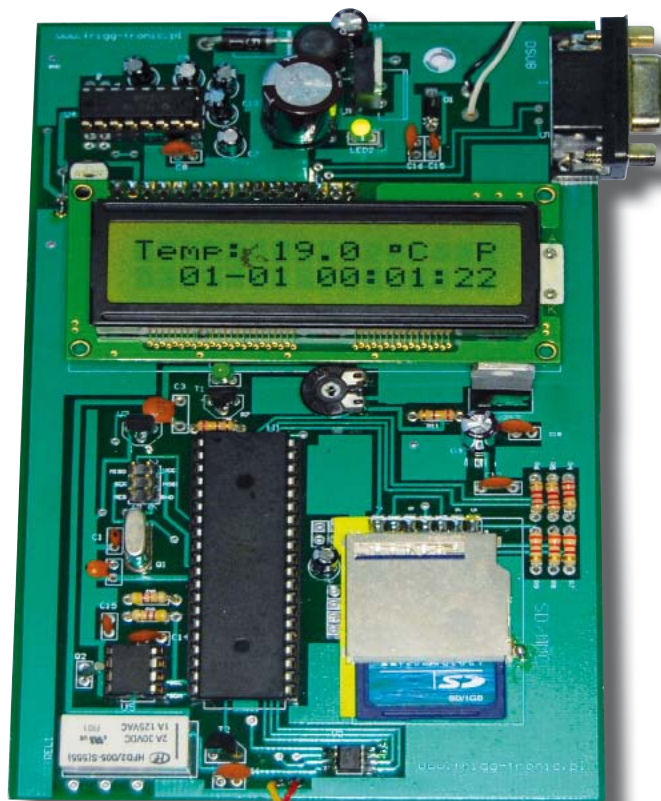
Termometr cyfrowy

System pomiaru temperatury z termoparą typu K

Zwykle publikowane przez nas projekty termometrów budowane były z zastosowaniem czujników półprzewodnikowych i mierzyły temperaturę do najwyżej 200°C. Tym razem zastosujemy termoparę, dzięki której będzie możliwy pomiar nawet do 1000°C!

Rekomendacje: urządzenie przyda się wszędzie tam, gdzie zachodzi potrzeba pomiaru wysokich temperatur.

Zanim przejdziemy dalej, umówmy się, że przynajmniej na czas tych kilku stron lektury i może jeszcze uruchamiania układu, temperaturę będziemy wyrażać w stopniach Celsjusza [°C], natomiast różnicę temperatur czy tolerancję w Kelwinach [K]. Podziałką każdego termometru jest 1 K, ponieważ 1 Kelwin jest podstawową jednostką temperatury w układzie SI! Dużym błędem jest podawanie temperatury w stopniach Celsjusza [°C] i w ten sam sposób określanie tolerancji! Zapamiętajmy raz na zawsze, że temperaturę i jej tolerancję określa się jako 10°C ±1K, a nigdy 10°C ±1°C. Oczywiście jest, że Pani w „pogodynce” może pozwolić sobie na wyrażenie: – dzisiaj temperatura na dworze wynosiła 5°C, a jutro możemy spodziewać się



10°C więcej, jednakże my dzisiaj powinniśmy powiedzieć – 10 K więcej!

Na łamach Elektroniki Praktycznej, niejednokrotnie publikowane były projekty będące termometrami 1- czy 2-kanalowymi, termoregulatorami czy termostatami. Dominowały w nich – bardzo dobre zresztą – czujniki cyfrowe serii DS1820 czy analogowe takie jak np. LM35. Była nawet dioda 1N4148 w połączeniu ze wzmacniaczem operacyjnym i przetwornikiem ICL7107. Pamiętam, że gdzieś przewiniął się również projekt zbudowany z wykorzystaniem Pt100. Niewątpliwą zaletą tych czujników jest wystarczająca w wielu przypadkach rozdzielczość i zakres pomiarowy. Wspomnieć należy również o ich niskiej cenie. Niestety, stają się one bezużyteczne w momencie, gdy zachodzi potrzeba pomiaru temperatury przekraczającej 200°C. Oczywiście problem dotyczy czujników o wymienionych symbolach, bo przyjmuje się, że czujniki półprzewodnikowe są zdolne do pomiaru temperatur sięgających nawet 500°C, natomiast rezystancyjne nawet do 1000°C. Są to jednak czujniki



AVT-5205

W ofercie AVT:
 AVT-5205A – płytką drukowaną
 AVT-5205B – płytką drukowaną + elementy

PODSTAWOWE PARAMETRY

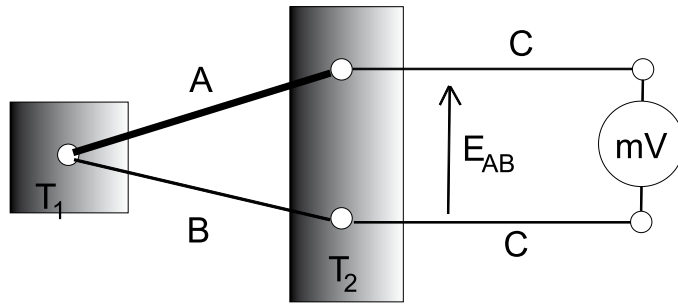
- Płytką drukowaną o wymiarach 158×95 mm
- Zasilanie 12 VAC lub DC
- Pomiar temperatury do 1273 K (1000°C)
- Współpraca z komputerem PC
- Sterowanie przez mikrokontroler ATmega644
- Wbudowany zegar czasu rzeczywistego
- Archiwizacja wyników pomiarów na karcie SD
- Aplikacja dla PC umożliwia: ustawienie progów alarmowych, powiadamanie przez e-mail, nastawę parametrów termometru, graficzną prezentację wyników pomiarów



PROJEKTY POKREWNE

wymienione artykuły są w całości dostępne na CD

| Tytuł artykułu | Nr EP/EdW | Kit |
|---|------------|----------|
| Termometr z termoparami J albo K | EP2/2006 | AVT-918 |
| Termometr USB | EP 11/2007 | AVT-5117 |
| PC – Termometr – termometr internetowy | EdW 5/2006 | AVT-2787 |
| Termometr MIN-MAX | EP 11/2001 | AVT-5041 |
| 2-kanalowy termometr z dwukolorowym wyświetlaczem LED | EP 8/2007 | AVT-5108 |
| Komputerowy termometr z interfejsem RS232 | EP 12/2003 | AVT-558 |



$$E_{AB} = \alpha_{AB} (T_1 - T_2)$$

α_{AB} - współczynnik Seebecka

T_1 - temperatura mierzona

T_2 - temperatura odniesienia

Rys. 1. Termopara typu „K” – skład procentowy 85% Ni i 12% Cr. Do zalet należy zaliczyć odporność na atmosferę utleniającą, natomiast elektroda NiAl ulega szybszemu zużyciu niż elektroda NiCr. W wyższych temperaturach jest wrażliwa na związki siarki. Najczęściej stosowana do 1273 K

specjalistyczne i bardzo drogie, dlatego też zdecydowałem się na zastosowanie termopary, dla której szacowany zakres pomiarowy sięga grubo powyżej 2000°C.

Trochę teorii – czym jest termopara

Termopara czy inaczej termoelement, termoelement albo ogniwo termoelektryczne, to po prostu czujnik temperatury, wykorzystujący bezpośrednio zjawisko Seebecka. Budowa termopary opiera się na połączeniu dwóch różnych metali – zwykle w postaci przewodów, spojenych na dwóch końcach.

Jedno ze złączy umieszcza się w miejscu pomiaru natomiast drugie w stałej temperaturze odniesienia. Pod wpływem różnicy temperatury między miejscami złączy powstaje różnica potencjałów, czyli tak zwana siła termoelektryczna, której wartość zależy od różnicy temperatur. Jako, że jej przeznaczeniem jest pomiar stosunkowo dużych temperatur, termopara musi charakteryzować się wysoką temperaturą topnienia i dużą odpornością na czynniki zewnętrzne. Chcąc na szybko wymienić jej zalety, należy wspomnieć o małej bezwładności czasowej, prostocie budowy czy braku zewnętrznego źródła zasilania.

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1...R3: 2,2 kΩ

R4...R6: 3,3 kΩ

R7: 1 kΩ

R8, R9: 4,7 kΩ

R10: 270 Ω

R11: 240 Ω

PR1: 10 kΩ

PR2: 4,7 kΩ

Kondensatory

C1, C2: 33 pF

C15: 27 pF

C21: 100 pF

C3, C8, C9, C11, C12, C16, C20: 100 nF

C4...C7, C10, C13, C14: 10 μF

C17, C19: 100 μF

C18: 1000 μF

Półprzewodniki

D1: 1N4007

D2: 1N5822

T1, T2: BS170

LED1, LED2: Led 5 mm

U1: ATmega644

U2: MAX6675

U3: DS1813-10

U4: MAX232

U5: PCF8583P

U6: LM2576-5V

U7: LM317

Inne

Q1: 110592 MHz

Q2: 32768 Hz

Przełącznik z cewką na 5 VDC np.

HFD2/005-S(555)

Wyświetlacz LCD 16×2

Z1: Złącze Goldpin 16×1

Z2: Złącze karty SD

PC: Gniazdo DSUB-9 do druku, żeńskie

L1: 100 μH (opcjonalnie)

Budowę termopary typu „K” przedstawiono na rys. 1.

Rozpatrując termoelement jako czujnik analogowy, nie można pominąć dosyć istotnej kwestii związanej z samym pomiarem. Zakładając, że pomiar dotyczył będzie stosunkowo wysokich temperatur, trudno wyobrazić sobie sytuację, w której przyrząd pomiarowy znajdował się będzie w pobliżu miejsca pomiaru. Wysoka temperatura niesie ze sobą konieczność przedłużenia końcówek termopary tzw. przewodami kompensacyjnymi. Istotną sprawą jest to,

R E K L A M A

Tab. 1. Konfiguracja zapisu na karcie SD

| Prefiks | Rozkaz | Odstęp czasowy | Rozkaz | Zezwolenie na zapis karty SD | Rozkaz | Sufiks |
|---------|--------|----------------|--------|------------------------------|--------|--------|
| Chr(2) | CA | 5...255 | B | 1 – tak, 0 – nie | C | Chr(3) |

Tab. 2. Czyszczenie karty SD

| Prefiks | Rozkaz | Sufiks |
|---------|--------|--------|
| Chr(2) | KKill | Chr(3) |

Tab. 3. Pobranie danych zapisanych na karcie SD

| Prefiks | Rozkaz | Sufiks |
|---------|--------|--------|
| Chr(2) | DData | Chr(3) |

Tab. 4. Ustawienie zegara RTC termometru

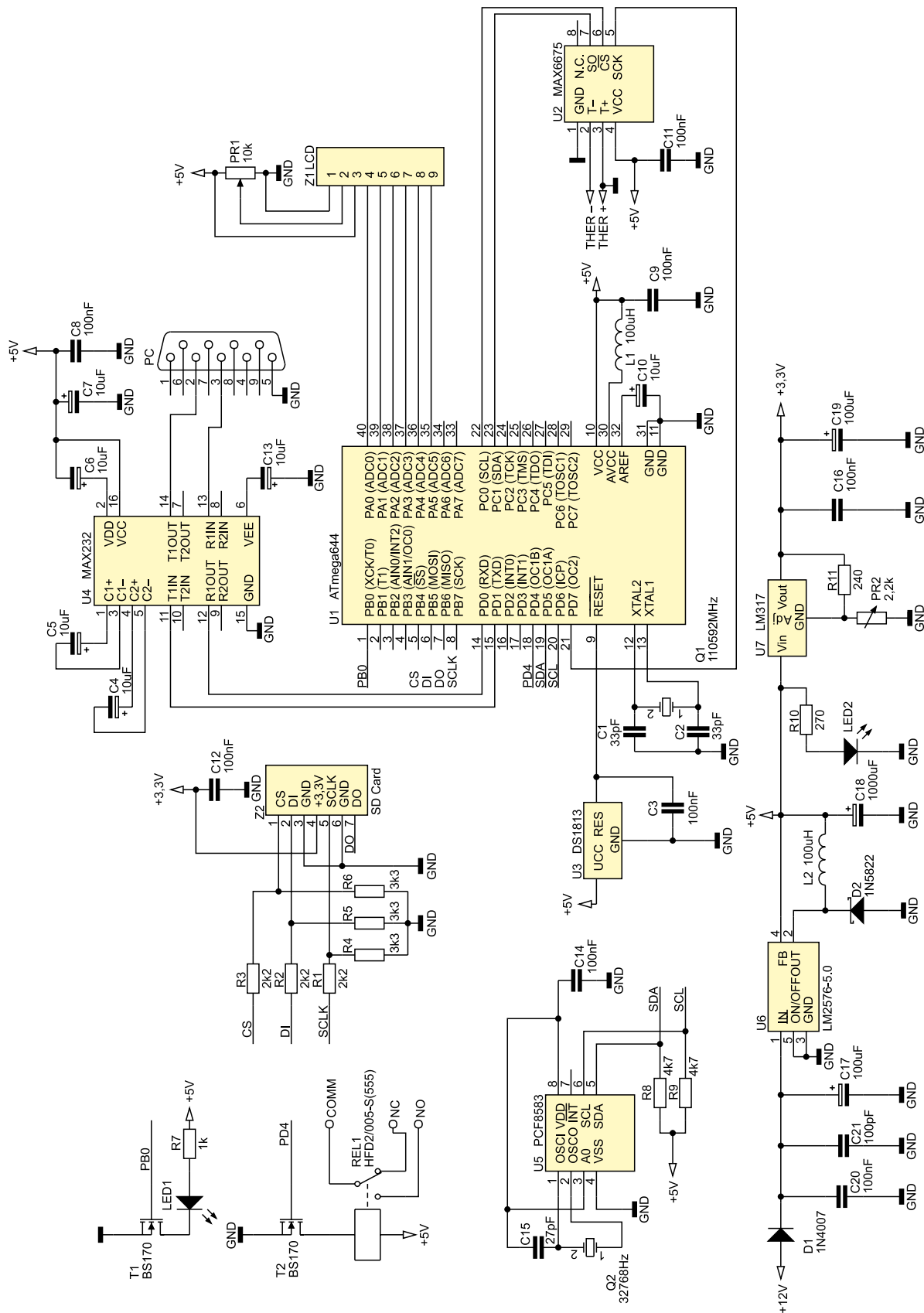
| Prefiks | Rozkaz | Czas | Sufiks |
|---------|--------|-------------------------------------|--------|
| Chr(2) | T | Czas w formacie YYYY-MM-DD HH:MM:SS | Chr(3) |

Tab. 5. Ustawienie tolerancji górnej i dolnej

| Prefiks | Rozkaz | Górna temp. | Rozkaz | Dolna temp. | Rozkaz | Zezwolenie na zadziałanie przełącznika | Rozkaz | Sufiks |
|---------|--------|-------------|--------|-------------|--------|--|--------|--------|
| Chr(2) | RA | 1...1023 | B | 1...1023 | C | 1 – tak, 0 – nie | D | Chr(3) |

Górna temp. – wartość temperatury po osiągnięciu której zostanie wyłączony przełącznik
 Dolna temp. – wartość temperatury po osiągnięciu której zostanie włączony przełącznik
 Zezwolenie na zadziałanie przełącznika – informuje sterownik o kontroli górnej i dolnej granicy temperatur.





Rys. 2. Schemat ideowy termometru

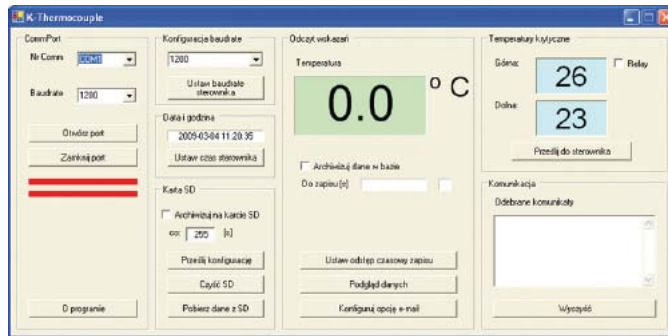
aby przewody miały charakterystykę termometryczną identyczną jak charakterystyka termoelementu oraz umożliwiły przedłużenie termoelementu do miejsca, w którym można utrzymywać stałą temperaturę zwaną temperaturą odniesienia. Więcej szczegółów znaleźć można w książce autor-

stwa Mariusza R. Rząsy i Bolesława Kiczma „Elektryczne i elektroniczne czujniki temperatury”.

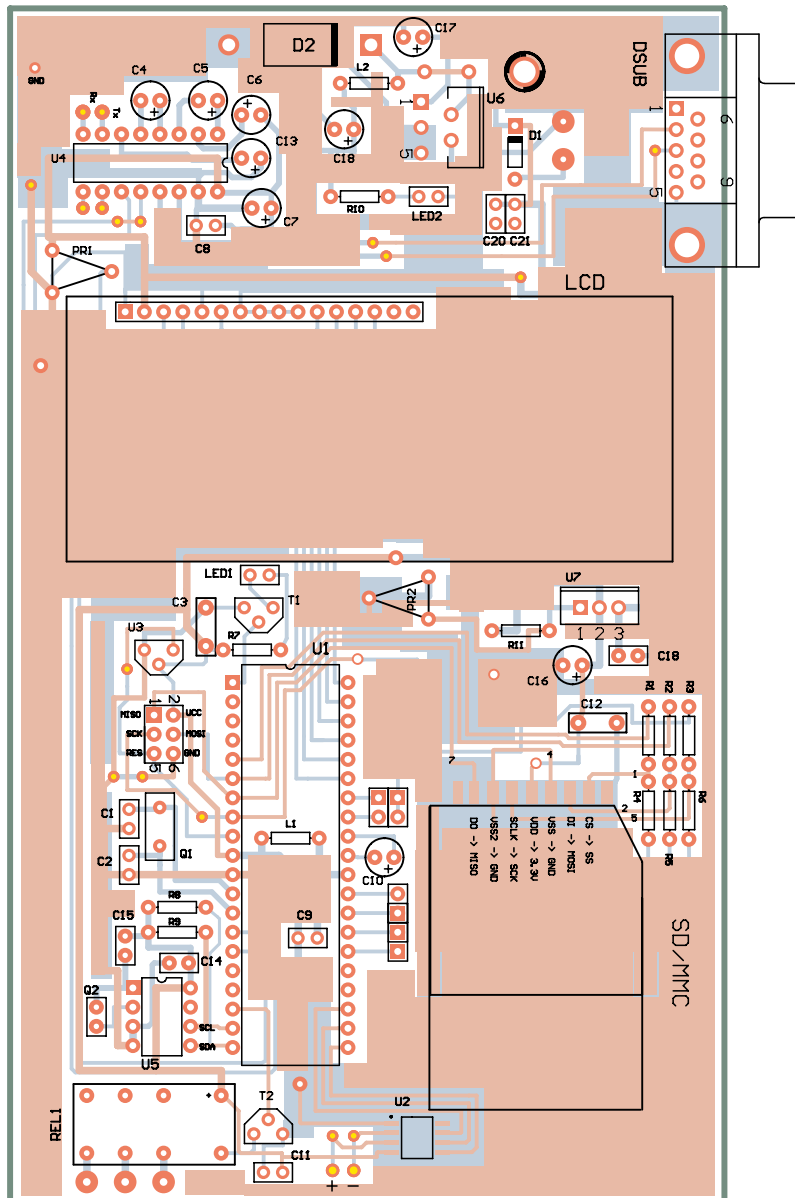
Budowa

Schemat ideowy termometru umieszczono na rys. 2. Geneza jego powstania jest

dosyć długa. Początkowo miał to być zwykły termometr wykorzystujący w swojej pracy czujnik termopary. Chwilowym problemem był dobór metody kompensacji zimnych końców. Z pomocą przyszedł specjalizowany układ firmy MAXIM posiadający interfejs SPI, który sam w sobie rozwiązywał ten pro-



Rys. 3. Ekran aplikacji K-Thermocouple



Rys. 4. Schemat montażowy termometru

blem. Po otrzymaniu poprawnego pomiaru, elektronika wzbogacona została o przełącznik i możliwość nastawy górnej oraz dolnej granicy temperatury umożliwiając ustalenie kryteriów sterowania przełącznikiem. Po zapewnieniu komunikacji z komputerem poprzez interfejs RS232C, naturalną konsekwencją było napisanie programu dla komputera PC, który umożliwiłby archiwizację danych, ich podgląd oraz tworzenie wykre-

su. Przykładową aplikację umieszczono na płycie CD. Jej ekran przedstawiono na rys. 3.

Dużym atutem programu są powiadomienia e-mail o przekroczeniu ustawionych wartości temperatur. W końcowym etapie przewidziałem opcję pracy termometru jako samodzielne urządzenie mogące rejestrować dane w ustalonych odstępach czasu. Dołożona została karta SD oraz zegar systemowy oparty na popularnym i prostym

w obsłudze PCF8583P, który zapewnia aktualny czas do rejestracji pomiarów.

W zakres pracy termometru wchodzi:

- pomiar temperatury wykorzystując czujnik termopary typu-K oraz wizualizację wyniku na wyświetlaczu LCD 16×2,
- sterowanie przełącznikiem w zależności o nastaw górnej i dolnej granicy temperatury; zezwolenie na sterowanie przełącznikiem również jest definiowane,
- archiwizacja danych na karcie SD w ustalonych odstępach czasu wraz z godziną pomiaru dzięki zastosowaniu zegara znajdującego się na płycie termometru,
- transmisja pomiarów poprzez interfejs RS232C z konfigurowaną prędkością baudrate.

Dodatkowo, dołączona do termometru opcjonalna aplikacja umożliwia:

- wizualizację wskazań,
- archiwizację pomiarów wraz z konfiguracją odstępu czasu 0...255s z jakim archiwizowane będą dane, ich późniejszy odczyt,
- tworzenie wykresu na podstawie zarejestrowanych danych,
- konfigurację nastaw górnej i dolnej granicy temperatury dla zadziałania przełącznika,
- wysyłanie e-mail z powiadomieniem o przekroczeniu dolnej i górnej granicy temperatury,
- konfigurację prędkości baudrate termometru,
- zaprogramowanie zegara termometru.

Aplikacja jest opcjonalna, dlatego możliwa jest parametryzacja termometru przy użyciu dowolnego innego narzędzia. Formaty ramek poleceń pokazano w tab. 1...5.

Termometr napędza mikrokontroler AVR ATmega644, taktowany kwarcem 110592 MHz. Strażnikiem linii Reset jest i tym razem DS1813-10. Całość zasilana jest napięciem 5 V, które zapewnia zasilacz impulsowy zbudowany na LM2576-5V. Jedynie karta SD wymaga zasilania 3V3 i napięcie to zapewnia stabilizator LM317. W całym układzie wyróżnić jeszcze można układ dopasowania poziomu sygnału dla interfejsu RS232C z niesmiertelnym MAX232, zegar pracujący na magistrali I²C i popularnym PCF8583P, oraz przetwornik sygnału termopary z kompensacją zimnych końców na interfejs SPI.

Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy przedstawiono na rys. 4. Montaż układu nie powinien przysporzyć żadnych trudności. Należy jednak pamiętać, aby przed włożeniem karty SD, potencjometrem PR2 ustawić napięcie 3,3 V wymagane do poprawnej pracy karty oraz wcześniej zaprogramować mikrokontroler.

Rafał Chromik
rchromik@frig-ronic.pl
www.frig-ronic.pl