



# Czterokanałowy termometr cyfrowy



Ze wszystkich pomiarów wartości nieelektrycznych pomiar temperatury jest dokonywany najczęściej. Jednocześnie, w żadnej chyba technice pomiarowej cyfrowe obrazowanie wyników pomiarów nie ma takiej przewagi nad analogowym. Odczytywanie zmierzonej temperatury przez obserwację słupka rtęci lub alkoholu w klasycznym termometrze analogowym to prawdziwe utrapienie, które znają wszyscy ci, którzy kiedykolwiek próbowali odczytać w nocy temperaturę na zaokiennym termometrze. Odczyt wskazań termometru lekarskiego także do łatwych nie należy, a ponadto zawsze może być obarczony pewnym błędem wynikającym z paralaksy. Jeżeli dwie osoby obserwują jeden termometr wskazujący np. 20°C, to jedna odczyta 19,5°, a druga 20,5°. Tych wad nie posiadają elektroniczne termometry z odczytem cyfrowym, a ponadto charakteryzują się wieloma innymi zaletami. Należy do nich krótki czas pomiaru, z zasady znacznie krótszy od pomiaru dokonywanego za pomocą termometrów cieczowych i przy zastosowaniu nowoczesnych podzespołów, znacznie większa dokładność i powtarzalność wskazań. Wszystko to powoduje, że elektroniczne termometry, obecnie praktycznie wyłącznie z odczytem cyfrowym, są jednymi z najczęściej budowanych przez hobbystów urządzeń elektronicznych.

Układ, który mam nadzieję znajdzie uznanie Czytelników Elektroniki dla Wszystkich, jest elektronicznym termometrem cyfrowym, do którego możemy dołączyć jednocześnie cztery czujniki pomiarowe. Czujniki mogą być przełączane ręcznie, za naciśnięciem odpowiedniego przycisku. Informacja o tym, który z czujników jest aktualnie dołączony do układu pomiarowego, jest wyświetlana na polu odczytowym za pomocą jednej z czterech diod LED.

Wielu konstruktorów z pewną obawą myśli o budowie termometrów cyfrowych. Zniechęca ich do niej kłopotliwa procedura kalibracji przyrządu, konieczność umieszczania

czujnika we wrzącej wodzie i topniejącym lodzie. Obliczanie poprawki na aktualne ciśnienie powietrza podczas regulacji wskazania 100°C także do przyjemności nie należy, a ponadto sam układ wzmacniacza pomiarowego jest najczęściej dość rozbudowany. Takie kłopoty występowały przy budowie termometrów wykorzystujących jako czujniki diody krzemowe i należą już dzisiaj do przeszłości. W naszym przyrządzie wykorzystamy gotowy element pomiarowy, który należy jedynie dołączyć do miliwoltomierza ustawionego na zakres 1,999V. Element ten, którym jest dobrze znany już naszym Czytelnikom układ LM35C, pozwala na pomiar temperatury w zakresie od -40 do +110°C. Zastosowanie czujnika typu LM35 może rozszerzyć ten zakres do -55 ...+150°C. Dokładność pomiaru jest dość dobra, a w każdym razie zupełnie wystarczająca do zastosowań amatorskich i wynosi  $\pm 0,25^\circ\text{C}$  w zakresie temperatur zbliżonych do pokojowej.

Zastosowanie zbudowanego przyrządu może być bardzo szerokie. Najprostszym będzie z pewnością pomiar temperatury na użytek "domowy", kiedy to jeden czujnik może być umieszczony na zewnątrz pomieszczenia, a pozostałe wewnątrz niego. Układ może okazać się użyteczny dla akwarystów, którzy za jego pomocą będą mogli monitorować temperaturę w czterech akwariach jednocześnie. Kolejnym zastosowaniem może być pomiar temperatury w naszym laboratorium elektronicznym. Skończy się ocena temperatury radiatora przeprowadzona na zasadzie: "Można go jeszcze dotknąć palcem, czy już parzy?" Możliwość szybkiego i dokładnego pomiaru temperatury elementów konstruowanego urządzenia i jego otoczenia może w znacznym stopniu polepszyć jego parametry i pozwolić na optymalne dobranie elementów chłodzących podzespoły elektroniczne. Należy jeszcze postawić sobie pytanie, czy nasz termometr można wykorzystywać do pomiaru temperatury ciała człowieka, czyli do celów medycznych. Odpowiedź

jest twierdząca, przeprowadziłem stosowne próby i po dodatkowej kalibracji przyrządu uzyskałem dokładność 0,1°C na zakresie 36...42°C. Jest to dokładność znacznie lepsza od dokładności tanich, elektronicznych termometrów lekarskich. Przebadalem trzy egzemplarze takich termometrów produkcji firmy "Krzak" z Tajwanu. Różnice wskazań dochodziły do...0,5°C, czyli że nasz termometr okazał się znacznie lepszy. Szerzej poruszymy ten temat w części artykułu poświęconej montażowi i uruchamianiu termometru.

Kolejnym atutem przemawiającym za wykonaniem proponowanego układu jest jego niezwykła prostota oraz taniocść i łatwa dostępność zastosowanych do jego budowy elementów. Wystarczy chyba wspomnieć, że "sercem" układu i jego najważniejszym elementem jest znana chyba nawet "elektronicznym przedszkolakom" popularna "ajsielka" - ICL7107.

## Jak to działa?

Schemat elektryczny termometru pokazany został na **rysunku 1**. Układ możemy podzielić na następujące bloki funkcjonalne:

1. Blok wyświetlaczy, który zmontowany zostanie na osobnej płycie obwodu drukowanego.
2. Blok miliwoltomierza i układów go wspomagających.
3. Blok przełącznika kanałów pomiarowych.

Wyjaśnianie zasady działania bloku miliwoltomierza byłoby chyba obrazą dla większości Czytelników EdW. Zasadę działania popularnej "ajsielki" zna każdy elektronik i wystarczy powiedzieć, że w naszym układzie pracuje ona w typowej konfiguracji woltomierza o zakresie pomiarowym do 1,999VDC. Jako źródło napięcia ujemnego, potrzebnego do poprawnego funkcjonowania ICL7107 zastosowano scaloną przetwornicę napięcia +5VDC...-5VDC - ICL7660, układ także wyprodukowany przez firmę HARRIS. ICL7660 jest prawdziwym skarbem dla konstruktora, ponieważ potrzebuje do prawidłowo-

wego działania tylko jednego kondensatora (w naszym układzie jest to C6). Ujemne względem masy układu napięcie okaże się jeszcze potrzebne do dodatkowego spolaryzowania wejścia układu pomiarowego. W podstawowej konfiguracji, z przyczyn oczywistych LM35 nadaje się jedynie do pomiarów temperatur większych od 0°C. Zastosowaliśmy więc prosty chwyt, zalecany także przez producenta: dodatkowe spolaryzowanie wyjścia układu ujemnym napięciem za pośrednictwem rezystora R5.

Ważną rolę w układzie spełnia blok przełączania kanałów pomiarowych. Zbudowany został z dwóch przerzutników typu D - IC4A i IC4B pracujących jako licznik dwubitowy, oraz ze scalonego multiplexera - demultiplexera cyfrowo- analogowego typu 4051 - IC3. IC3 zawiera w swojej strukturze dwa multiplexery, z których jeden - "Y", został wykorzystany do przełączania kanałów pomiarowych. Czujniki pomiarowe - układy LM35 podłączone są do wejścia CON1 układu termometru. W zależności od stanu wejść adresowych A i B IC3 wejście woltomierza dołączane jest do wyjścia jednego z czujników. Ważną dla nas cechą układu 4051 jest to, że umożliwia on także przenoszenie sygnałów ujemnych względem zasilania, pod warunkiem, że jego wejście V- dołączone jest do potencjału równego lub mniejszego od minimalnego poziomu tego sygnału. Wejście V- nie jest pokazane na schemacie (podobnie jak inne wejścia zasilania układów cyfrowych), ale patrząc na rysunek płytki obwodu drukowanego z pewnością zauważymy, że wyprowadzenie 7 IC3 zostało tam połączone z wyjściem przetwornicy napięcia ujemnego - IC2.

Dioda LED D1 swoim włączeniem wskazuje pomiar temperatury mniejszej od 0°C.

Pozostała nam jeszcze nie wykorzystana "połówka" układu IC3. Wykorzystując fakt, że obydwa multiplexery zawarte w strukturze tego układu są symultanicznie adresowane, postanowiłem wykorzystać ją do sygnalizacji aktualnie włączonego kanału pomiarowego, zrealizowanej z wykorzystaniem czterech diod LED - D2 ... D5.

## Montaż i uruchomienie

Na **rysunku 2** przedstawiono mozaikę ścieżek dwóch płytek obwodów drukowanych oraz rozmieszczenie na nich elementów. Płytkę wyświetlaczy została wykonana na laminacie dwustronnym z metalizacją, a płytkę, na której umieścimy pozostałą część układu, udało się zaprojektować na laminacie jednowarstwowym, co jednak pociągnęło za sobą konieczność zastosowania trzech zwo-

rek, od których wlotowania rozpoczniemy teraz montaż układu.

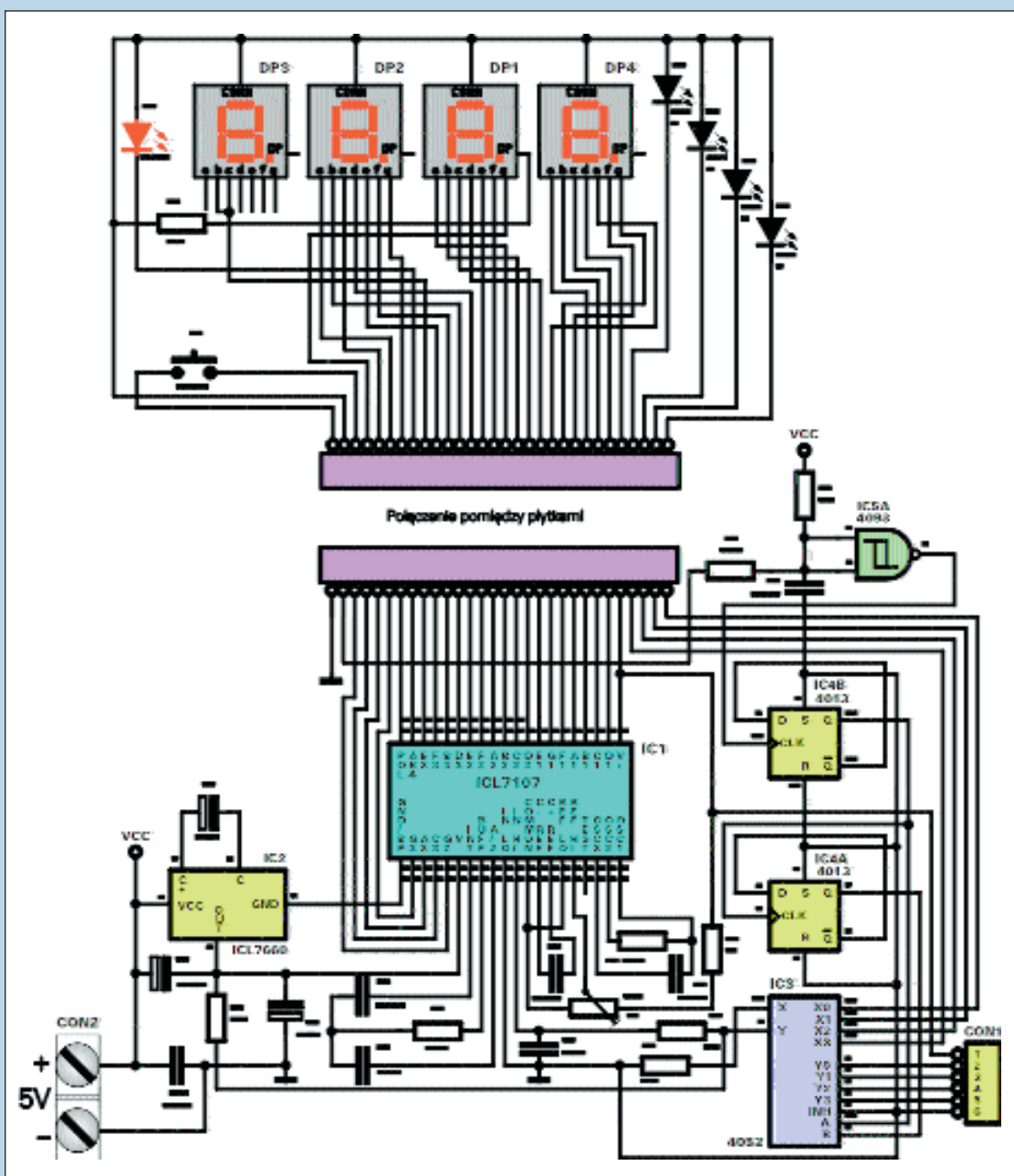
Po zmontowaniu płytek należy je ze sobą połączyć za pomocą szeregu kątowych goldpinów. Taki sposób montażu gwarantuje ustawienie płytek idealnie pod kątem prostym względem siebie i mocne, pewne połączenie.

Jedyną czynnością regulacyjną, jaką musimy wykonać, będzie ustawienie za pomocą potencjometru montażowego PR1 napięcia 1000mV pomiędzy wyprowadzeniami REF HI i REF LO IC1.

Sposób dołączenia czujników pomiarowych do wykonanego układu termometru pokazany został na **rysunku 3**.

Warto jeszcze zająć się przez chwilę sprawą obudowania czujników pomiarowych -

Rys. 1



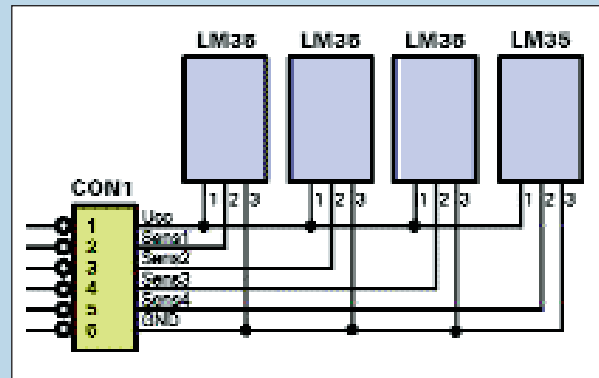
układów LM35. Układ ten produkowany jest w dwóch rodzajach obudów: plastikowych TO-92 i metalowych TO-46. Ze względu na znacznie lepszą przewodność cieplną do naszych celów zdecydowanie bardziej nadają się te ostatnie. Jeżeli będziemy dokonywać pomiarów temperatury powietrza, to wystarczy czujnik zasłonić przed ewentualnymi wpływami czynników atmosferycznych lub uszkodzeniem mechanicznym. Sprawa komplikuje się jednak w przypadku pomiaru temperatury płynów lub przedmiotów, np. radiatorów. Udało mi się opracować prosty sposób obudowania czujników, zapewniający wygodny pomiar temperatury przedmiotów i nieagresywnych chemicznie płynów. Obudowa wykonana została z kawałka chromowanej rurki, odciętej z uszkodzonej anteny teleskopowej. Jeden z jej końców został zamknięty za pomocą warstwy cyny. Zamknięcie rurki najlepiej wykonać w następujący sposób: odcinek rurki, dokładnie oczyszczony wewnątrz papierem ściernym stawiamy na kawałku blachy duralowej i całość umieszczamy na palniku kuchennej gazowej. Do rurki wrzucamy parę kawałków cyny do lutowania i całość podgrzewamy do momentu stopienia się cyny, a następnie nie poruszając z miejsca, studzimy. Stopiona cyna powinna utworzyć w rurce warstwę o grubości ok. 2...3 mm. Można teraz umieścić już czujnik w rurce i zalać klejem Distal. Takie rozwiązanie nie jest jednak najlepsze ze względu na słabą przewodność cieplną zastygniętego kleju. Ja wybrałem inne rozwiązanie, chyba optymalne. Wnętrze rurki z umieszczonym w niej czujnikiem i **dobrze zaizolowanymi**

przewodami wypełniłem, podgrzewając w gotującej się wodzie, stopem Wooda. Być może niektórzy Czytelnicy nie znają tego wielce użytecznego w wielu sytuacjach metalu, a właściwie, jak sama nazwa wskazuje - stopu metali. Jego szczególną cechą, jedyną

Warto jeszcze wspomnieć parę słów o dodatkowej kalibracji termometru przy wykorzystaniu go jako np. termometru lekarskiego. Kalibrację taką wykonałem posługując się pożyczonym, bardzo dokładnym termometrem laboratoryjnym. Czujniki oby-

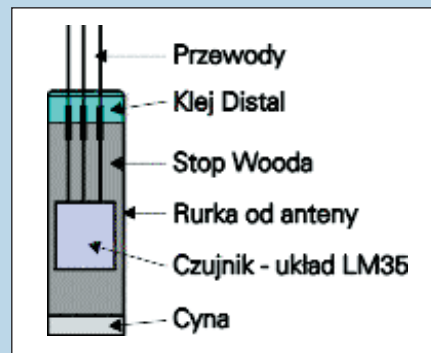
dwu termometrów umieszczone zostały w wodzie o dokładnie stabilizowanej temperaturze 38°C. Pokręcając potencjometrem montażowym PR uzyskałem idealną zgodność odczytu. Po wyłączeniu stabilizacji temperatury woda zaczęła stygnąć i okazało się, że dokładność wskazań naszego termometru była lepsza niż 0,1°C. Jednak stosując wykonany termometr do

pomiaru temperatury ciała człowieka musimy pamiętać, że w **żadnym wypadku nie**



Rys. 3

Rys. 4



wyróżniającą go spośród innych stopów jest temperatura topnienia wynosząca...96°C. Poza tym stop Wooda posiada wszystkie cechy metali, w tym bardzo dobrą przewodność cieplną i elektryczną. Natomiast kontakt z roztopionym stopem nie grozi uszkodzeniem elementów półprzewodnikowych. Tak więc zastosowane rozwiązanie można uznać za idealne, czujnik LM35 ma doskonały kontakt termiczny z otoczeniem. Pamiętajcie tylko o wypełnieniu pozostałej części rurki klejem Distal lub innym podobnym, ponieważ bez tego zabezpieczenia przy pomiarze temperatur większych od 96°C stop mógłby po prostu wypłynąć z rurki. Budowę opisanego czujnika przedstawia rysunek 4.

### Wykaz elementów

#### Kondensatory

C1	.....	.220nF
C2	.....	.47nF
C3	.....	.10nF
C4, C8, C10	.....	.100nF
C5	.....	.100pF
C6, C7	.....	.10µF/10 V
C9	.....	.470µF/10V

#### Rezystory

PR1	.....	potencjometr montażowy miniaturowy 1kΩ - helltrim
R1, R8	.....	.100kΩ
R2, R7	.....	.1MΩ
R3	.....	.470kΩ
R4	.....	.1kΩ
R5	.....	.10kΩ
R6, R9	.....	.560Ω

#### Półprzewodniki

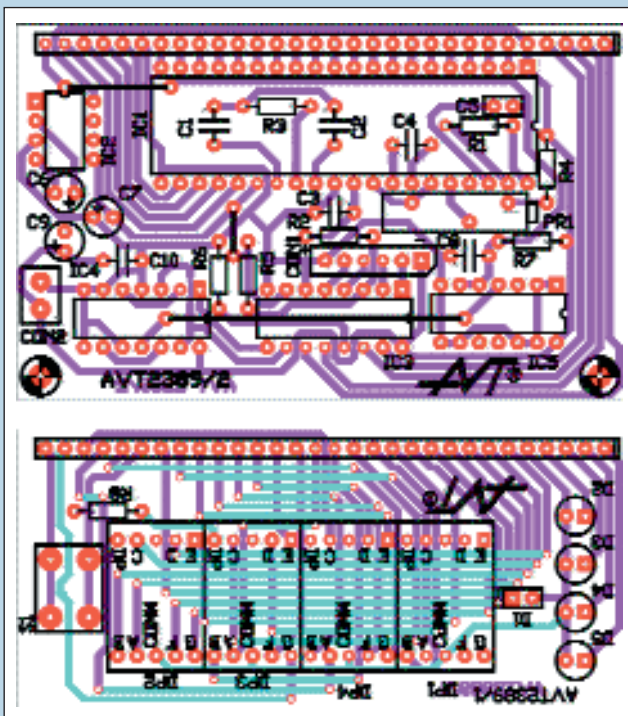
DP1, DP2, DP3, DP4	.....	wyświetlacz siedmiosegmentowy LED, wsp. anoda - SA52-11 EWA
D1, D2, D3, D4, D5	.....	diody LED czerwona
IC1	.....	.ICL7107
IC2	.....	.ICL7660
IC3	.....	.4052
IC4	.....	.4013
IC5	.....	.4093
LM35	.....	.2 szt

#### Pozostałe

CON2	.....	.ARK2 (3,5mm)
S1	.....	.przycisk typu microswitch 1 kątowa listwa goldpinów 30 pin
CON1	.....	.6 x 1 goldpin
		Podstawki pod IC

**Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2389**

Rys. 2



może on służyć stawianiu diagnozy lekarskiej, ale jedynie celom doświadczalnym.

Przez cały czas mówiliśmy o budowanym układzie jako o termometrze czterokanałowym. Nie zawsze jednak potrzebna będzie taka liczba kanałów pomiarowych i nasz termometr z łatwością możemy przerobić na dwukanałowy. Przeróbka taka pokazana jest na rysunku 5.

Zbigniew Raabe

