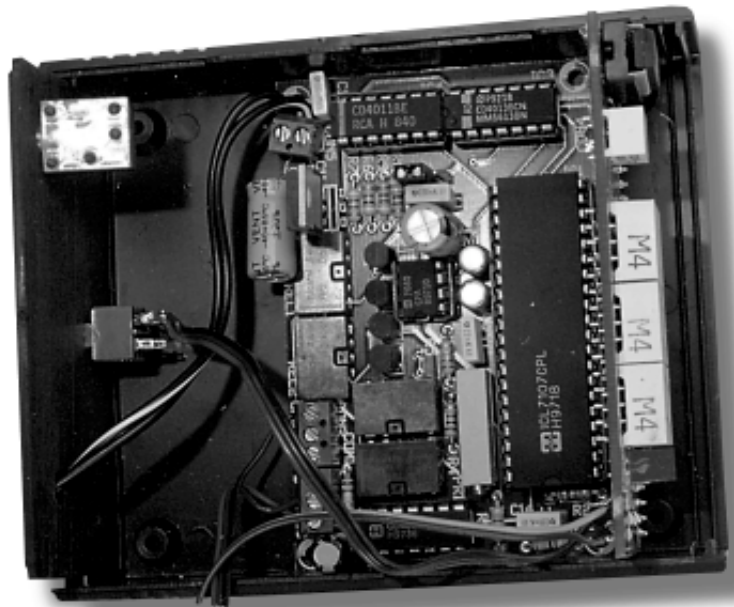


Czterokanałowy termometr cyfrowy

kit AVT-460

Przy pomocy termometru opisanego w artykule można bez trudu zmierzyć temperaturę w czterech pomieszczeniach bez ruszania się z przytulnego pokoju. Dzięki zastosowaniu cyfrowej metody prezentacji wyników pomiarów wskazania są jednoznaczne i dokładne.



Ze wszystkich pomiarów wartości nieelektrycznych pomiar temperatury jest dokonywany chyba najczęściej. Jednocześnie, w żadnej chyba technice pomiarowej cyfrowe zobrazowanie wyników pomiarów nie ma tak dużej przewagi nad zobrazowaniem 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 stopnia.

Tych wad nie posiadają elektroniczne termometry z odczytem cyfrowym, a ponadto mają kilka innych zalet. Należy do nich krótki czas pomiaru, z zasady znacznie krótszy od pomiaru dokonywanego za pomocą termometrów cieczowych, a przy zastosowaniu nowoczesnych podzespołów znacznie większa dokładność i powtarzalność wskazań.

Wszystko to powoduje, że termometry elektroniczne są jednymi z urządzeń najczęściej budowanych przez hobbystów.

Układ, który mam nadzieję znajdzie uznanie Czytelników EP, jest elektronicznym termometrem cyfrowym, do którego możemy dołączyć jednocześnie cztery czujniki pomiarowe. Czujniki mogą być przełączane zarówno ręcznie - naciśnięciem przycisku, jak i automatycznie, kolejno jeden po drugim. Informacja o tym, który z czujników jest aktualnie dołączony do układu pomiarowego jest wyświetlana w polu odczytowym na wyświetlaczu siedmio-segmentowym.

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



Czterokanałowy termometr cyfrowy

przyrządzie wykorzystamy gotowy i skalibrowany element pomiarowy, który należy jedynie dołączyć do miliwoltomierza ustawionego na zakres 1,999V. Element ten, którym jest już znany naszym Czytelnikom układ LM35C, pozwala na pomiar temperatury w zakresie od -40 do +110°C. Zastosowanie czujnika typu LM35

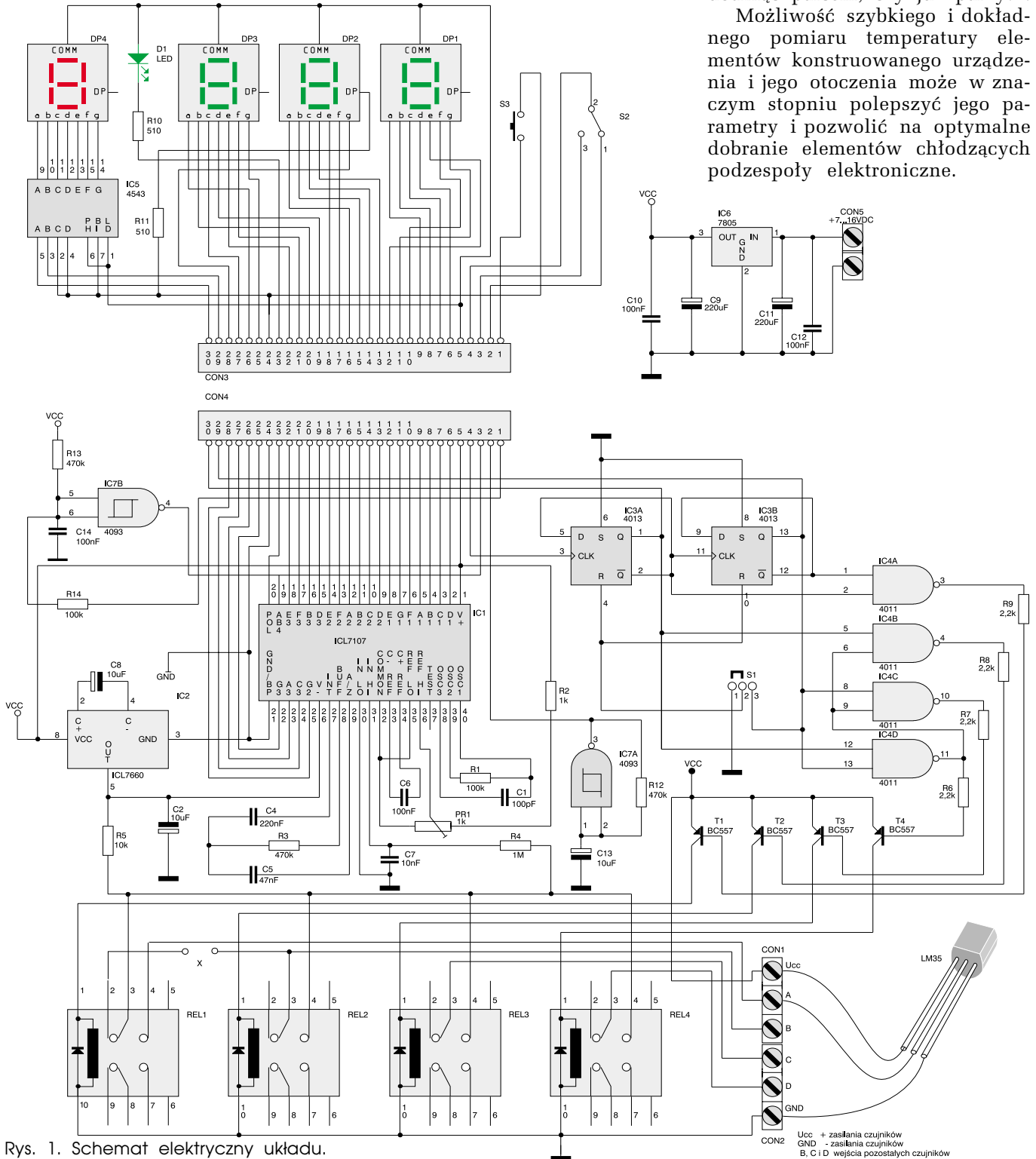
może rozszerzyć ten zakres do -55..+150°C. Dokładność pomiaru jest dość dobra, a w każdym razie zupełnie wystarczająca do zastosowań amatorskich i wynosi $\pm 0,25^\circ\text{C}$ w zakresie temperatur zbliżonych do pokojowej.

Zastosowanie przyrządu może być bardzo szerokie. Najprostszym będzie z pewnością pomiar tem-

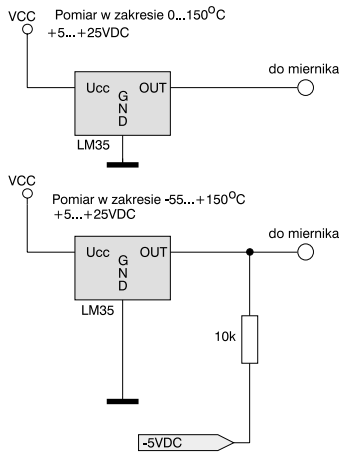
peratury na użytek „domowy“, kiedy to jeden czujnik może być umieszczony na zewnątrz pomieszczenia, a pozostałe wewnątrz niego.

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.



Rys. 1. Schemat elektryczny układu.



Rys. 2. Sposób przesunięcia "zera" skali.

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 w przedziale 36..42°C zgodność wskazań z termometrem lekarskim.

Kolejnym atutem przemawiającym za wykonaniem proponowanego układu jest jego niezwykła prostota, niska cena i łatwa dostępność zastosowanych do jego budowy elementów. Wystarczy chyba wspomnieć, że „sercem” układu i najważniejszym elementem jest, znany chyba nawet elektronicznym „przedszkolakom”, popularny układ ICL7107.

Opis działania

Schemat elektryczny termometru pokazany został na rys. 1. Urządzenie możemy podzielić na następujące bloki funkcjonalne:

1. Blok wyświetlaczy i przełączników sterujących, który zbudowany zostanie na osobnej płycie drukowanej.
2. Blok miliwoltomierza i układów wspomagających.
3. Blok przełącznika kanałów pomiarowych i przekaźników.

Wyjaśnianie zasady działania bloku miliwoltomierza byłoby chyba obrazą dla większości Czytelników EP. Zasadę działania ICL7107 zna prawdopodobnie każdy elektronik i wystarczy powiedzieć, że w naszym układzie pracuje ona w typowej konfiguracji miliwoltomierza o zakresie pomiarowym do 1,999V.

Jako źródło napięcia ujemnego potrzebnego do poprawnego funkcjonowania ICL7107 zastosowano scaloną przetwornicę napięcia +5/-5V - ICL7660, układ także wyprodukowany przez firmę HARRIS. ICL7660 jest prawdziwym skarbem dla konstruktora, ponieważ potrzebuje do prawidłowego działania tylko jednego kondensatora, w naszym układzie jest to C8. 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 temperatury większej od 0°C. Zastosowaliśmy więc prosty chwyt, zalecany także przez producenta: dodatkowe spolaryzowanie wyjścia układu ujemnym napięciem za pośrednictwem rezystora R5. Dla jasności uproszczony schemat tego fragmentu układu pokazano na rys. 2.

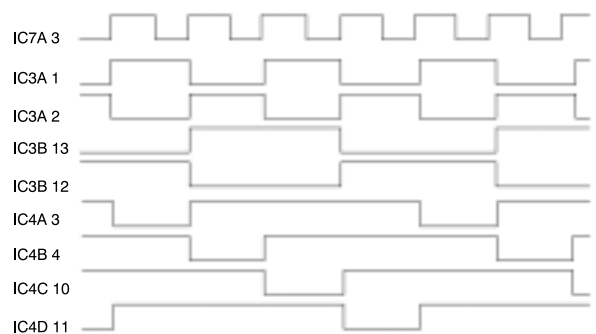
Ważną rolę w mierniku spełnia blok przełączania kanałów pomiarowych. Zbudowany został z dwóch przerzutników typu D - IC3A i IC3B pracujących jako licznik dwubitowy, bramek dekodujących stan tego licznika, tranzystorów zasilających cewki przekaźników i z czterech (lub w wersji z dwoma czujnikami z jednego) miniaturowych przekaźników. Licznik steruje dekoderm kodu BCD na kod wyświetlacza siedmiosegmentowego IC5, zapewniając wyświetlanie numeru aktualnie aktywnego kanału pomiarowego (kanały 0..3). Układ z bramkami NAND zawartymi w strukturze układu IC4 dekodują stany logiczne z wyjść licznika IC3A i IC3B w taki sposób, aby przy każdym kolejnym stanie licznika tylko na jednym z wyjść tych bramek był stan niski (kod 1 z 4 z negacją) wysterowujący jeden z tranzystorów włączających p r z e k a ż n i k i . Działanie układu bramek dekodera pokazano na rys. 3.

Sygnal zegarowy przekazywany jest do licznika IC3 poprzez

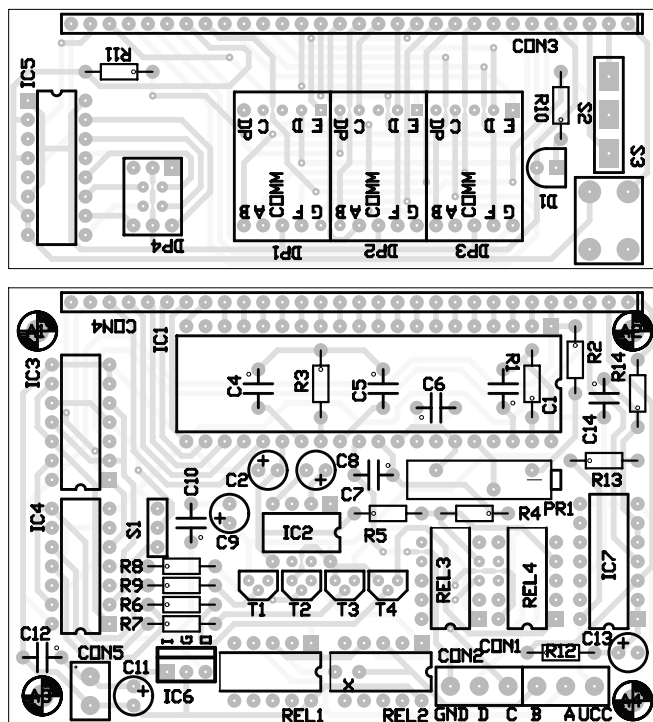
przełącznik S2. W stanie tego przełącznika takim jak na schemacie, sygnał pobierany jest z wyjścia generatora stabilnego zbudowanego na bramce Schmita IC7A. Częstotliwość pracy tego generatora określona jest rezystancją R12 oraz pojemnością C13 i może być zmieniana w szerokich granicach przez dobór wartości tych elementów. Z wartościami takimi jak na schemacie wynosi ona ok. 0,5Hz, co wydaje się być wartością zupełnie wystarczającą do odczytywania kolejnych wyników pomiarów. W pozycji przełącznika S2 przeciwnej od pokazanej na schemacie, przełączanie kanałów pomiarowych może odbywać się ręcznie, przez naciśnięcie przycisku S3. Układ z bramką IC7B, kondensatorem C14 oraz rezystorami R13 i R14 służy likwidowaniu skutków wielokrotnych odbić styków włącznika S3.

Omówienia wymaga jeszcze przełącznik S1. W pozycji takiej jak na schemacie, wejścia zerujące przerzutników IC3A i IC3B są trwale zwarte do masy i licznik pracuje w trybie modulo 4, przełączając wszystkie 4 kanały. Często jednak taka liczba kanałów pomiarowych może okazać się zbyt duża i wystarczą nam tylko dwa kanały. Przełączając S1 w przeciwną pozycję, przestawiamy licznik w tryb pracy modulo 2, co spowoduje wybieranie tylko dwóch kanałów dołączonych do przekaźników REL1 i REL2. Dioda LED D1 wskazuje swoim świeceniem pomiar temperatury mniejszej od 0°C.

Pozostała część układu to typowy zasilacz, zbudowany z wykorzystaniem popularnego scalonego stabilizatora typu 7805. Układ może być zasilany napię-



Rys. 3. Wykres przedstawiający działanie dekodera.



Rys. 4. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej.

ciem stałym z przedziału 7..16VDC, czyli takim jakie jest dopuszczalne dla układu 7805.

Montaż i uruchomienie

Na rys. 4 przedstawiono rozmieszczenie elementów na płytkach drukowanych miernika (widok ścieżek znajduje się na wkładce wewnątrz numeru). Płytki zostały wykonane z laminatu dwustronnego z metalizacją otworów. Mniejsza służy do zamontowania wyświetlaczy, przełączników sterujących pracą układu (z wyjątkiem S1) i dekodera wyświetlacza DP4, a większa pozostałej części układu. Montaż wykonujemy w typowy sposób, rozpoczynając od elementów o najmniejszych gabarytach, a kończąc na kondensatorach elektrolitycznych i wyświetlaczach. DP4 o takich samych rozmiarach jak pozostałe utrudnia odczyt wyników pomiarów. Dlatego też zastosowano wyświetlacz DP4 o znacznie mniejszych rozmiarach, co poprawiło czytelność wyświetlanej informacji i podniosło estetykę wykonanego przyrządu.

Termometr możemy zmontować w dwóch wersjach: dwu i czterokanałowej, z tym że liczbę kanałów w drugiej wersji może-

my zawsze ograniczyć za pomocą jumpera S1. Jeżeli jednak jesteśmy całkowicie pewni, że wystarczą nam dwa kanały pomiarowe, to przełączników REL2, REL3 i REL4 nie musimy montować. Po zwarceniu ze sobą dwóch punktów oznaczonych na schemacie i płytce znakiem „X”, przekaźnik REL1 będzie pracował jako przełącznik, obsługując jednocześnie dwa kanały termometru. W kicie będzie dostarczany

zestaw elementów potrzebny do zbudowania właśnie takiej wersji termometru.

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

Warto jeszcze zająć się przez chwilę sprawą obudowania czujników w pomiarowych - układach 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 lepiej 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

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

PR1: 1kΩ potencjometr montażowy wieloobrotowy
R1, R14: 100kΩ
R2: 1kΩ
R3, R12, R13: 470kΩ
R4: 1MΩ
R5: 10kΩ
R6, R7, R8, R9: 2,2kΩ
R10, R11: 510Ω

Kondensatory

C1: 100pF
C2, C8, C13: 10μF/10V
C4: 220nF
C5: 47nF
C6, C10, C12, C14: 100nF
C7: 10nF
C11, C9: 220μF/16V

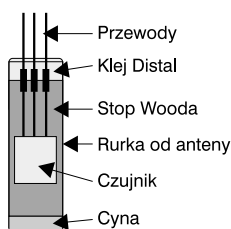
Półprzewodniki

IC1: ICL7107
IC2: ICL7660
IC3: 4013
IC4: 4011
IC5: 4543
IC6: 7805
IC7: 4093
T1, T2, T3, T4: BC557 lub odpowiednik
DP1, DP2, DP3: wyświetlacz 7-segm. LED, wspólna anoda 14mm (np. SA52-11)
DP4: miniaturowy wyświetlacz 7-segm. LED, wspólna anoda

Różne

CON1, CON2: ARK3 (3,5 mm)
CON3, CON4: goldpin kątowy 1x30 pin
CON5: ARK2 (3,5 mm)
REL1, REL2, REL3, REL4: przekaźnik TQ2-5V (NAIS) (w zestawie tylko REL1)
S1: 1x3 goldpin + jumper
S2: miniaturowy przełącznik hebelkowy
S3: przycisk RESET do włutowania w płytkę (mikroswitch)

sposób obudowania czujników, zapewniający wygodny pomiar temperatury przedmiotów i nieagresywnych chemicznie płynów. Obudowa została wykonana z kawałka chromowanej rurki, odciętej z uszkodzonej anteny teleskopowej. Jeden z jej końców został zamknięty za pomocą cyny. Zamknięcie rurki najlepiej wykonać w następujący sposób: odcinek



Rys. 5. Zalecany sposób wykonania czujnika temperatury.

rurki, dokładnie oczyszczony wewnątrz papierem ściernym, stawiamy na kawałku blachy duralowej i całość umieszczamy na palniku kuchenki gazowej. Do rurki wrzucamy parę kawałków cyny do lutowania i całość podgrzewamy do momentu stopienia się cyny, a następnie, nie ruszając z miejsca, studzimy. Stopiona cyna powinna utworzyć w rurce warstwę o grubości ok. 2..3mm. Można teraz umieścić 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 metalu. Jego szczególną cechą, jedyną 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 po-

zostajej 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 **rys. 5**.

Warto jeszcze wspomnieć o dodatkowej kalibracji termometru przy wykorzystywaniu go jako np. termometru lekarskiego. Kalibrację taką wykonałem posługując się bardzo dokładnym termometrem laboratoryjnym. Czujniki obydwóch termometrów umieszczone zostały w wodzie o dokładnie stabilizowanej temperaturze 38°C. Pokręcając potencjometrem montażowym PR1 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, co predestynuje go do zastosowania jako termometru lekarskiego.

Robert Zych, AVT