

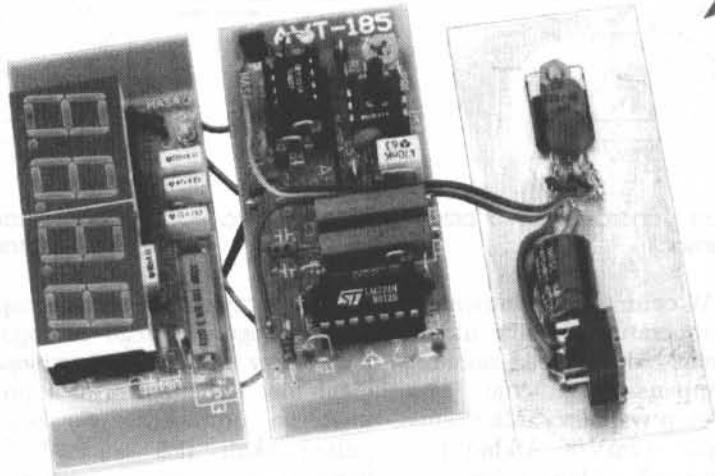
Barometr - - wysokościomierz

kit AVT-185



Ten ciekawy i pożyteczny przyrząd może służyć przede wszystkim jako elegancki domowy barometr z cyfrowym odczytem wprost w hektopaskalach lub, jeśli ktoś woli, w milimetrach słupa rtęci. Moduł pomiarowy barometru jest przeznaczony do bezpośredniej współpracy z opisanymi wcześniej płytkami „Uniwersalnego termometru - regulatora”. W ten sposób stopniowo budujemy domową stację meteo.

W wersji przenośnej - jako wysokościomierz - przyrząd ten będzie cenną pomocą dla lotniarzy, szybowników czy turystów w górach. Wiele zastosowań znajdzie też przy kontroli ciśnienia w różnych procesach technologicznych i medycznych.

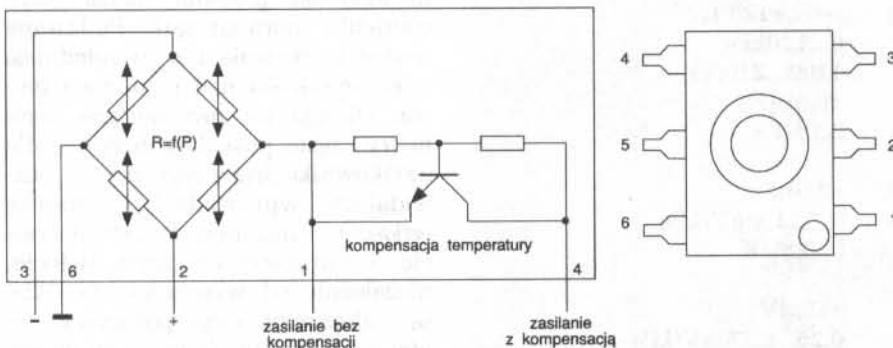


Pomiar ciśnienia na drodze czysto elektronicznej nie stanowi już dziś żadnego problemu. Przewodzące firmy, takie jak Philips, Siemens czy Motorola, mają w swej ofercie handlowej wiele przetworników ciśnienia. Niektóre z nich mierzą ciśnienie absolutne, bezwzględne (absolute pressure), inne mierzą ciśnienie względne, czyli różnicę ciśnień (relative pressure). Zakres ciśnień roboczych poszczególnych typów sięga od zera (próżnia) do kilku atmosfer. Jedyłą poważną wadą takich czujników jest wysoka cena wynikająca ze skomplikowanej technologii ich wytwarzania.

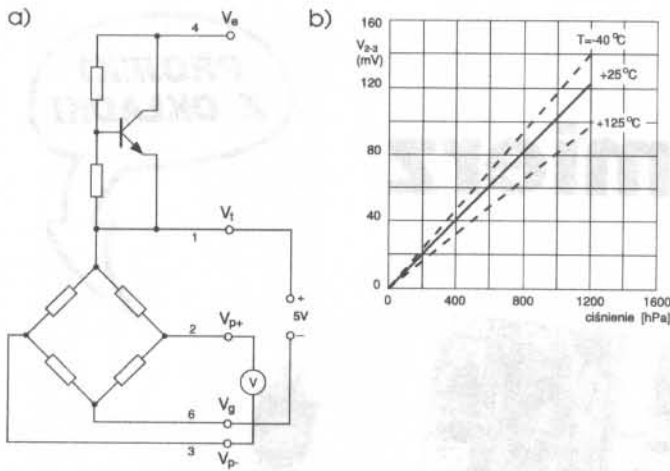
W naszym opracowaniu zastosowano względnie tani monolityczny czujnik ciśnienia bezwzględnego typu KP 101A firmy Philips. Wygląda on podobnie jak sześciopinowy

transceptor, tylko „o numer” większy, niosący dodatkowo „na plecach” centymetrowej wysokości komin. Wewnątrz obudowy znajduje się próżniowa krzemowa komórka pomiarowa zawierająca dyfuzyjne rezystory mostka pomiarowego oraz układ kompensacji temperaturowej. Krzemowa membrana pomiarowa jest pokryta zabezpieczającą warstwą azotku krzemu, tym niemniej czujnik nie nadaje się do pracy z mediami silnie zjonizowanymi i korozyjnymi. Czujnik jest przeznaczony do wlutowania w płytkę drukowaną, a „komin” - kapilara pomiarowa o średnicy 3,2mm - umożliwia założenie typowych elastycznych rurek o średnicy wewnętrznej 3mm.

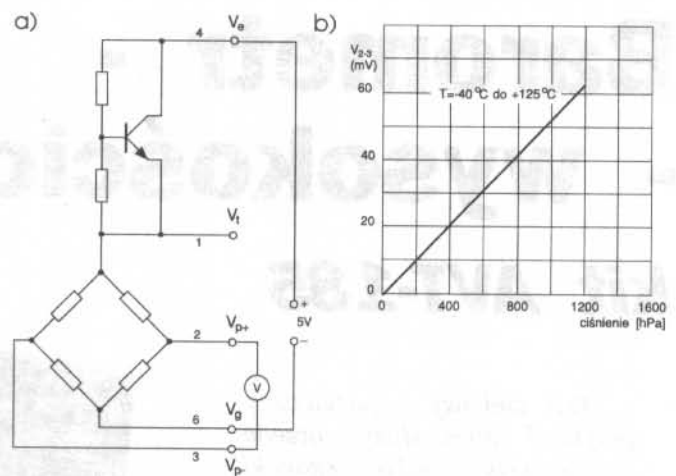
Jak widać na rysunku 1, ze strony elektrycznej czujnik jest rezystorowym mostkiem pomiarowym, na którego przekątnej uzyskujemy sygnał wyjściowy. Napięcie wyjściowe mostka zależy na pewno od ciśnienia, ale niestety nie tylko od niego. Z natury rzeczy napięcie wyjściowe mostka jest wprost proporcjonalne do napięcia zasilającego. Wahania napięcia zasilania będą więc wpływać na wynik. Dodatkowo, rezystancja krzemowego mostka zmienia się z temperaturą, przez co zmienia się czułość przetwarzania. Rysunek 2 pokazuje wpływ temperatury na czułość przetwarzania mostka bez kompensacji przy zasilaniu napię-



Rys. 1. Czujnik ciśnienia KP 101A



Rys. 2. Układ i charakterystyka przetwarzania czujnika bez kompensacji



Rys. 3. Układ i charakterystyka przetwarzania czujnika z wykorzystaniem obwodu kompensacji

ciem 5V. W celu wyeliminowania wpływu temperatury dodano układ z tranzystorem i dwoma rezystorami. Układ kompensacji pracuje jako dioda Zenera o współczynniku temperaturowym -12mV/K . Układ ten nie stabilizuje jak widać napięcia na mostku pomiarowym, czułość przetwarzania nadal więc zależy od napięcia zasilającego. Przy wykorzystaniu układu kompensacji napięcie na mostku pomiarowym będzie znacznie niższe od napięcia zasilania; czułość przetwarzania będzie teraz mniejsza - widzimy to na rys. 3. Układ kompensacji obliczony jest dla napięcia zasilającego 5V. Tylko przy takim napięciu czułość przetwarzania powinna być niezależna od temperatury otoczenia. W związku z pewnym rozrzutem parametrów może się okazać, że dokładna kompensacja temperaturowa występuje przy napięciu zasilania różniącym się od 5V.

Na uwagę zasługują: dobra liniowość przetwarzania i bardzo mała

histereza, czyli mała różnica napięcia wyjściowego dla tego samego ciśnienia przy zwiększaniu i zmniejszaniu ciśnienia. Podane wartości procentowe są odniesione do wartości pełnej skali (FS = Full Scale) napięcia wyjściowego, czyli różnicy wskazań przy najmniejszym i największym ciśnieniu roboczym.

Stosunkowo duża wartość napięcia niezrównoważenia oznacza, że przy zerowym ciśnieniu należy się liczyć z wystąpieniem na przekątnej mostka niezerowej wartości napięcia - charakterystyki poszczególnych egzemplarzy czujników są więc przesuwane w osi pionowej (rysunki 2b, 3b przedstawiają średnie wartości). Duży rozrzut czułości przetwarzania oznacza różne nachylenie charakterystyk poszczególnych egzemplarzy. Choć w rzeczywistości rozrzut jest znacznie mniejszy niż podaje katalog, w praktyce i tak konieczna jest indywidualna kalibracja każdego czujnika.

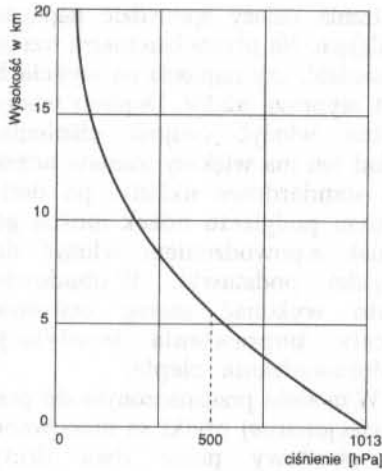
Możliwości zastosowań

Przed omówieniem układu elektronicznego poświęcimy chwilę czasu na przypomnienie ogólnych wiadomości o ciśnieniu atmosferycznym. Wartość ciśnienia atmosferycznego w danym punkcie zależy od wysokości i parametrów (szczególnie temperatury) słupa powietrza znajdującego się nad tym punktem. **Rysunek 4** przedstawia średni pionowy rozkład ciśnienia w atmosferze. Ustalono, że średnia wartość ciśnienia na poziomie morza wynosi ok. 1013hPa (co odpowiada 760mmHg - milimetrów słupa rtęci) - nazywa się to ciśnieniem normalnym. Przy zwiększaniu wysokości ciśnienie maleje i na wysokości około 5500m nad poziomem morza jego wartość jest o połowę mniejsza. Jak widać na rysunku 4, zależność ta nie jest liniowa, ale dla niezbyt dużych wysokości możemy jednak z niewielkim błędem przyjąć, że ciśnienie maleje o 1hPa na każde 8m wysokości. Na mapach meteorologicznych, dla ułatwienia interpretacji, krzywe jednakowego ciśnienia - izobary - przedstawiają ciśnienie odniesione do poziomu morza (czyli ciśnienia normalnego). Podawane wartości ciśnienia nie uwzględniają więc wysokości nad poziomem morza. Dlatego też mechaniczne barometry często posiadają dostępną dla użytkownika śrubę regulacyjną, pozwalającą wprowadzić poprawkę wskazań. Umożliwia to „standaryzację” - barometry na całym świecie, niezależnie od wysokości, na jakiej są umieszczone, mogą pokazywać ciśnienie odniesione do poziomu morza.

Nasz barometr został wyposażony

Podstawowe parametry graniczne i charakterystyczne czujnika

maksymalne napięcie zasilania:	12V
maksymalne ciśnienie:	250kPa
temperatura pracy:	$-40\dots+125^\circ\text{C}$
zakres ciśnień roboczych:	$0\dots120\text{kPa}$
rezystancja mostka:	$1100\dots2100\Omega$
liniowość przetwarzania	$\pm 0,5\% \text{FS}$
histereza przetwarzania:	$0,1\% \text{FS}$
- bez kompensacji, $U_z = 5\text{V}$	
napięcie niezrównoważenia	$\pm 25\text{mV}$
czułość przetwarzania:	$0,7\dots1,4\text{mV/kPa}$
współczynnik temperaturowy czułości:	$0,22\%/\text{K}$
- z kompensacją, $U_z = 5\text{V}$	
napięcie niezrównoważenia:	$\pm 15\text{mV}$
czułość przetwarzania:	$0,25\dots0,75\text{mV/kPa}$
współczynnik temperaturowy czułości:	$\pm 0,06\%/\text{K}$



Rys. 4. Zależność ciśnienia atmosferycznego od wysokości nad poziomem morza

w taki regulator (potencjometr wielobrotowy), dzięki czemu użytkownik może uzyskać odczyt rzeczywistego ciśnienia w swoim domu bądź ciśnienia odniesionego do poziomu morza.

Lotniarze i szybowcnicy zainteresowani będą zapewne wykorzystaniem przyrządu jako wysokościomierza. Za pomocą wspomnianego regulatora należy wyzerować wskazania, zmienić czułość przetwarzania i już mamy altimetr - wysokościomierz wyskalowany wprost w metrach. Będzie on pokazywał wysokość względną - w stosunku do punktu, w którym przeprowadziliśmy zerowanie.

Opis układu

Schemat elektryczny układu pomiarowego jest pokazany na **rysunku 5**. Szczególną uwagę poświęcono obwodom zasilania. W wersji pod-

stawowej układ jest zasilany napięciem bipolarnym (niekoniecznie symetrycznym) z zakresu $\pm(4...15)V$. Moduł można też zasilć pojedynczym napięciem 7...30V. Należy wtedy zastosować stabilizator 7805 lub 7905, nie montować za to elementów R1-R4, R14, REF, US1. (dodatkowe elementy można zamontować na płytce z rys. 6 wykorzystując otwory oznaczone A, B, C, D). Układ może być także zasilany pojedynczym napięciem +5V. Należy wtedy zastosować jako US3 LM324, a czujnik podłączyć wprost do napięcia zasilającego 5V.

Wersja podstawowa układu z rys. 5 zapewnia największą precyzję i stabilność pomiaru. Z napięcia źródła odniesienia REF (1,23V) wytwarza się symetryczne napięcia o wartości około $\pm 2,5V$ (punkty A, C). Przy współpracy z modułem termometru, napięcie odniesienia 1,23V należy doprowadzić do punktu X płytki barometru ze źródła napięcia odniesienia wchodzącego w skład przetwornika temperatura/napięcie (kit AVT-104/1, opisany w EP 8/93). Czujnik pomiarowy KP101A (US2) zasilany jest napięciem występującym między punktami A i C, można więc precyzyjnie skompensować potencjometrem PR1 zmiany termiczne czujnika. Na płytce drukowanej oczka lutownicze PR1 (jak też PR3) są ze sobą zwarte odcinkiem ścieżki - w domowych zastosowaniach taka precyzja nie zawsze jest konieczna.

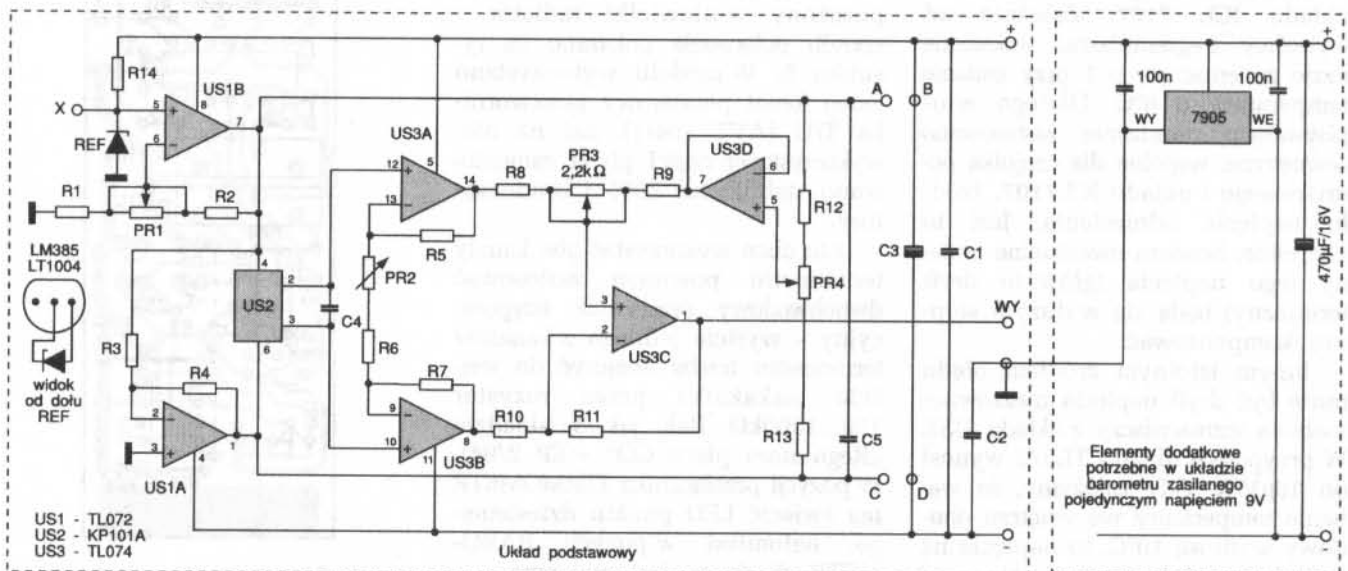
Niewielkie napięcie wyjściowe czujnika US2 jest wzmacniane przez

wzmacniacz pomiarowy składający się z trzech wzmacniaczy operacyjnych US3A,B,C. Precyzyjny potencjometr wielobrotowy PR2 reguluje wzmacnienie, umożliwiając dokładne wyskalowanie współpracującego miernika cyfrowego wprost w hektopaskalach, mm słupa rtęci lub metrach nad poziomem morza. Potencjometr PR4 jest wspomnianym wcześniej regulatorem, który przesuwając skalę „w górę i w dół” pozwala ustawić parametry lokalne, rzeczywiste lub odniesione do poziomu morza. Wzmacniacz US3D pełni rolę bufora, jego mała impedancja wyjściowa zapewnia stabilne wzmacnienie układu niezależnie od ustawienia suwaka PR4.

Potencjometr PR3 (1...4,7k Ω) może być stosowany w wersji precyzyjnej - pozwala całkowicie wyeliminować wpływ zmian napięcia wspólnego czujnika oraz zmian napięcia z suwaka potencjometru PR4 na napięcie wyjściowe. W domowych zastosowaniach nie trzeba go montować, całkowicie wystarczy użycie metalizowanych rezystorów o tolerancji 1%.

Błędy pomiaru

Spróbujmy teraz oszacować ewentualne błędy. Przyjmijmy przeciętną czułość przetwarzania czujnika według tabeli 1 równą 0,5mV/kPa co daje 50 $\mu V/hPa$ i około 6 μV na metr wysokości. Załóżmy, że do zobrazowania wyniku zastosujemy woltomierz o rozdzielczości 1mV (np. kit AVT-104/2). Jeśli barometr ma być wyskalowany w hektopaskalach, to zmiany sygnału czujnika muszą być



Rys. 5. Schemat elektryczny modułu barometru

wzmocnione $1\text{mV} : 50\mu\text{V} = 20$ razy, w wysokościomierzu skalowanym w metrach - $1\text{mV} : 6\mu\text{V}$ czyli około 160 razy, czyli takie musi być wzmocnienie wzmacniacza pomiarowego. Dwa wzmacniacze operacyjne, współpracujące z rezystorami R5-R7, PR2, wzmacniają sygnał różnicowy $(R5 + R7)/(R6 + PR2)$ razy. Niestety, wzmacniają też własne napięcie niezrównoważenia. Choć sygnał wspólny nie jest wzmacniany, to nie możemy ustawić dużego wzmocnienia tego stopnia, bo wyjścia wzmacniaczy wejdą w zakres nasycenia. Możemy przyjąć, że najwyższe ciśnienie wyniesie 1030hPa, więc zakładając przeciętną czułość przetwornika otrzymamy na przekątnej mostka (nóżki 2, 3 US2) różnicę napięć ponad 50mV, a napięcie na tych wyprowadzeniach względem masy wyniesie około -1,25V. Przy zasilaniu $\pm 5\text{V}$ zakres liniowy napięcia wyjściowego wzmacniaczy operacyjnych (na nóżkach 1, 7, 8, 14 US3) wyniesie co najwyżej $\pm 4\text{V}$. Uwzględniając napięcie niezrównoważenia wzmacniaczy, wzmocnienie stopnia ze wzmacniaczami US3A i US3B nie powinno być większe niż ok. 40...50x. Na pewno nie wyjdziemy wtedy poza obszar liniowej pracy wzmacniaczy operacyjnych. W przypadku wysokościomierza dla osiągnięcia właściwego wzmocnienia (ok. 160x) należy więc zmniejszyć wartości rezystorów R8 i R10. W układzie ze wzmacniaczem US3C uzyskamy „brakujące” wzmocnienie.

W opisywanym zastosowaniu nie wolno pominąć dryftu termicznego wewnętrznego napięcia odniesienia układu ICL 7107. Zależnie od wytwórcy i egzemplarza, wskazanie może zmieniać się o 1 przy zmianie temperatury o 6°C . Dlatego w opisywanym urządzeniu zastosowano zewnętrzne, wspólne dla czujnika pomiarowego i układu ICL7107, źródło napięcia odniesienia. Jest to korzystne, bowiem ewentualne zmiany tego napięcia (głównie dryft termiczny) będą się w dużym stopniu kompensować.

Innym istotnym źródłem błędu może być dryft napięcia niezrównoważenia wzmacniaczy z układu US2. W przypadku układu TL072 wynosi on $10\mu\text{V}/\text{K}$. Gdy założymy, że wahania temperatury we wnętrzu obudowy wyniosą 10°C , to napięcie na wyjściu modułu zmieni się pod wpływem temperatury o $10\mu\text{V}/\text{K} \times$

$10^\circ\text{C} \times 20 = 2\text{mV}$, czyli błąd wskazań wyniesie 2 hektopaskale. Dryft układu US1 jest pomijalny.

Oszacujmy teraz błąd wynikający z nieidealnej kompensacji czujnika ciśnienia. Z tabeli wynika, że wartość współczynnika czułości czujnika skompensowanego wynosi do $\pm 0,06\%/K$, dlatego trzeba się liczyć z maksymalnym błędem $0,06\%/K \times 10^\circ\text{C} = 0,6\%$. Przy ciśnieniu (i wskazaniu wyświetlacza) 1000hPa będzie to 6hPa.

Z powyższych wyliczeń wynika, że nie zachodzi konieczność stosowania drogich i precyzyjnych wzmacniaczy operacyjnych, ponieważ głównym źródłem błędu jest sam czujnik ciśnienia. Dlatego w modelu zastosowano tani układ TL 074 (lub TL084) z wejściami FET, co pozwoliło zastosować rezystory o stosunkowo dużych wartościach.

Montaż

Mozaikę ścieżek płytki drukowanej pokazano na wkładce. Rozmieszczenie elementów pokazuje rys. 6. Montaż nie jest skomplikowany. Należy go rozpocząć od wlutowania dwóch zworek, podstawek pod układy scalone i elementów biernych. Następnie należy włożyć w podstawki układy US1 i US3. Gotowy moduł barometru (ale na razie bez US2) należy połączyć z płytką wskaźnika cyfrowego (dokładny opis modułów AVT 104/2 lub 104/3 - EP 10/93) i dołączyć zasilanie (np. AVT 104/Z). W przypadku zastosowania, jak w modelu, pojedynczego zasilacza 9V, należy dodatkowo włączyć stabilizator 7905 wyposażony w niewielki radiator - sposób połączenia pokazano na rysunku 5. W modelu wykorzystano jeden kanał pomiarowy przetwornika T/U (AVT 104/1), zaś na niewykorzystanej części płytki zamontowano stabilizator 7905 i kondensatory.

Kto chce wykorzystać oba kanały termometru powinien zastosować dwuobwodowy przełącznik trzypozycyjny - wyjście jednego z kanałów termometru trzeba dołączyć do wejścia wskaźnika przez rezystor 100...1000k Ω (tak jak w układzie „Regulatora pieca CO” - EP 2/94). W pozycji przełącznika TERMOMETR ma świecić LED punktu dziesiątego, natomiast w pozycji BAROMETR dioda ta jest zwiernana.

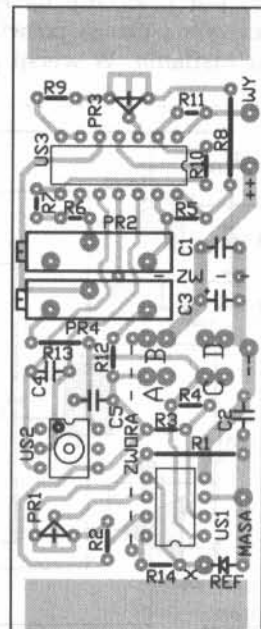
Po zmontowaniu kompletnego u-

rządzenia należy sprawdzić napięcia zasilające. Na płycie barometru trzeba sprawdzić, czy napięcia na wyjściach US1 wynoszą $\pm 2,5\text{V}$. Dopiero wtedy można włożyć czujnik ciśnienia. Układ ten ma większy rozstaw nóżek niż standardowe układy, po delikatnym podgięciu nóżek można go jednak z powodzeniem włożyć do zwykłej podstawki. W obudowie warto wykonać szereg otworów w celu poprawienia wentylacji i odprowadzania ciepła.

W modelu przeznaczonym do pracy stacjonarnej płytki są mocowane do obudowy przez dwa druty wtopione w obudowę i przylutowane do szerokich pól lutowniczych na brzegach płytek - sztywność zapewniają druty łączące moduły.

W wersji wysokościomierza, kiedy stosowane będzie pojedyncze zasilanie z baterii 9V, nie jest konieczne stosowanie US1 i REF. Dla zapewnienia napięcia 5V do zasilania czujnika należy wykorzystać 5V-stabilizator wlutowany odpowiednio w trzy spośród otworów A, B, C, D.

Model przedstawiony na fotografii jest barometrem zbudowanym według układu z rysunku 7. Zastosowano stabilizator 7905 umieszczony na blaszanej ścianie obudowy (radiatorze). Takie rozwiązanie pozwala stosować US1 i daje możliwość precyzyjnej kompensacji temperatury za pomocą PR1. Zamontowanie tego stabilizatora w otworach BCD i zwa-



Rys. 6. Rozmieszczenie elementów na płycie drukowanej

rcie AB na płytce AVT 185 spowodowałoby konieczność zasilania czujnika KP 101A ustalonym napięciem 5V, co uniemożliwiłoby precyzyjną kompensację temperaturową.

Układ umieszczony jest w typowej obudowie z tworzywa, gdzie przednia ścianka została zastąpiona czerwonym filtrem (szybką), a tylna ścianka została zastąpiona blaszką aluminiową pełniącą rolę radiatora układu 7905.

Do zasilania można zastosować dowolny stabilizowany zasilacz 9...12V 0,25A. Autor wykonał również bardziej rozbudowany układ termometru/barometru z modułami AVT-104/1, AVT-104/3 i AVT-185. Należy wtedy stosować trzypozycyjny dwuobwodowy przełącznik. Jeden obwód przełącza sygnały wejściowe, drugi steruje wyświetlaniem punktu dziesiętnego (przecinka).

Uruchomienie i kalibracja

Przy prawidłowym montażu układ nie wymaga uruchamiania. W razie kłopotów ze wzmacniaczem pomiarowym lepiej wyjąć z podstawki US2 i na nóżki 12 i 10 układu US3 podać napięcia z zewnątrz: jedną nóżkę zewrzeć do masy, na drugą podawać napięcia rzędu $\pm 60\text{mV}$.

Kalibracja układu może sprawić nieco trudności. Ze względu na liniową charakterystykę miernika wystarczy kalibracja dwupunktowa. Pierwszy punkt skali jest aktualnym ciśnieniem atmosferycznym odczytanym z dobrego barometru albo z telegazety ze stron 160-167. Drugi wzorcowy punkt znajdziemy przy pomocy połączonych od znajomej pielęgniarki lekarskiego urządzenia do mierzenia ciśnienia krwi; taki przyrząd w dobrym wykonaniu ma wystarczającą dokładność. Ciśnieniomierz lekarski wyskalowany jest w milimetrach słupa rtęci (niektóre ciśnieniomierze wskazówkowe mają dwie skale, drugą w hPa). Łatwo jednak przeliczyć, że $760\text{mm Hg} = 1013,25\text{hPa} = 101\,325\text{N/m}^2$. Można też ewentualnie wykorzystać podlub nadciśnienie hydrostatyczne, wytwarzane przez ciecz w zamkniętej rurze. Ciśnienie hydrostatyczne jest iloczynem wysokości słupa cieczy i jej ciężaru właściwego: $p = h \times \rho \times g$ gdzie ρ - gęstość cieczy, g - przyspieszenie ziemskie. Takie eksperymenty z węzem wypełnionym wodą są jednak bardzo uciążliwe.

Podczas kalibracji na początku należy ustawić na suwaku PR4 potencjał masy - 0V. Następnie pokręcaniem PR2 uzyskać na wyświetlaczu wskazanie około 1000.

W wersji dokładnej z zastosowaniem PR1 należy przeprowadzić regulację kompensacji termicznej. Należy zapamiętać aktualne wskazanie, po czym przyrząd ze zdjętą obudową (ale zasilany) włożyć na pół godziny na dolną półkę lodówki. Jeśli po tym czasie wystąpi różnica wskazań (zakładamy, że ciśnienie atmosferyczne nie zmieni się w tym czasie więcej niż o 1hPa) to należy skorygować położenie suwaka PR1 i znów porównać wskazanie w stanie zimnym i w temperaturze pokojowej. Po kilku takich próbach uzyskamy przyzwoitą kompensację cieplną.

Nie zaleca się przeprowadzania kompensacji termicznej za pomocą suszarki do włosów. Elementy nie będą nagrzewać się równomiernie i nie uzyskamy wymaganej dokładności. Pozostawienie włączonego urządzenia na pół godziny w lodówce daje pewność, że temperatury wszystkich elementów zdążą się ustalić i wyrównać. Przy kompensacji termicznej modelu okazało się, że dla wyeliminowania wpływu temperatury konieczne okazało się ustawienie napięcia pracy US2 (między punktami A,C) mniejszego niż 4V, co było pewnym zaskoczeniem.

W wersji bez PR1 (bez dodatkowej kompensacji) opisane czynności pomijamy i od razu przechodzimy do ustawienia na wyświetlaczu aktualnego ciśnienia atmosferycznego (za pomocą PR4). Teraz trzeba do kapilary czujnika ciśnienia dołączyć elastyczną rurkę, zaś jej drugi koniec szczelnie połączyć z nasadą cienkiej igły od zastrzyków. Ostrze igły należy wkuć w gumowy wąż ciśnienio-

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1...R5, R7...R13: 47k Ω ...100k Ω /1%, metalizowany

R6: 2,2k Ω ...3,9k Ω /1%, metalizowany

R14: 2,2k Ω

PR1: 22...47k Ω

PR2, PR4: 10k Ω , precyzyjny potencjometr wieloobrotowy

Kondensatory

C1, C2, C4, C5: 100nF, ceram.

C3: 100 μF /16V

Półprzewodniki

US1: TL072 lub TL082

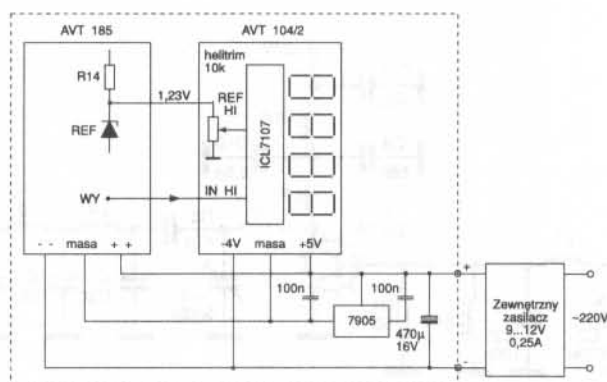
US2: KP101A

US3: TL074

REF: LM385 1,2V

mierza lekarskiego jak najbliżej „gruszki“ do pompowania (mniej niż 1cm od końca węża); po naszych eksperymentach w węzu powstanie nieszczelność i trzeba go będzie skrócić. Po wbiciu igły w wąż należy „napompować“ aparat do uzyskania wskazania na manometrze ciśnieniomierza lekarskiego 150mmHg, co odpowiada dokładnie 200hPa. Ponieważ wcześniej na wskaźniku barometru potencjometrem PR4 ustawiliśmy aktualną wartość ciśnienia atmosferycznego, teraz regulując PR2 musimy ustawić wskazanie o 200 jednostek większe. Wprowadzie po wyjęciu igły z węża barometr powinien znowu wskazać wartość ciśnienia atmosferycznego, jednak najczęściej wskazanie będzie nieco inne. Znowu trzeba ustawić PR4, aby wskazanie było prawidłowe, po czym powtórzyć cały cykl. Kilkakrotne powtórzenie tej procedury pozwoli dokładnie skalibrować nasz barometr.

Piotr Górecki, AVT



Rys. 7. Schemat modelowego barometru