

Wysokościomierz z mikrokontrolerem PIC, część 1

Prezentowane w artykule urządzenie może spełniać jednocześnie kilka funkcji, ale przede wszystkim może stanowić podstawowe wyposażenie domowego punktu przepowiadania pogody.

Dzięki zastosowaniu mikrokontrolera możliwości urządzenia są zaskakująco duże, co - biorąc pod uwagę także koszty - może być ogromną zachętą do samodzielnego wykonania jego kopii.

Otoczająca nas atmosfera to 5000 miliardów ton powietrza krążącego wokół naszej planety. Wywiera ono ciśnienie działające na nas, tym większe, im dalej znajdujemy się od powierzchni zewnętrznej tej masy powietrza.

Urządzenie prezentowane w artykule zawiera skompensowany temperaturowo przetwornik ciśnienia oraz mikrokontroler PIC i zapewnia pomiar ciśnienia oraz obliczenie na tej podstawie wysokości ponad poziomem morza.

Urządzenie jest bardzo proste w realizacji, a mikrokontroler zapewnia przeprowadzenie odpowiednich obliczeń. Inteligentny wyświetlacz ciekłokrystaliczny wyświetla ciśnienie w milibarach oraz wysokość ponad poziomem morza w metrach i w stopach. Wyświetlana jest także temperatura otoczenia, z możliwością wyboru skali Celsjusza lub Fahrenheita. Do kalibracji urządzenia jest niezbędny termometr oraz mapa i aktualna prognoza pogody. Przyda się także niezbyt odległe wzgórze!

Wszyscy jesteśmy poddani działaniu ciśnienia

Trzy czwarte wartości ciśnienia atmosferycznego jest wywierane przez powietrze zawarte w warstwie do wysokości 7 mil (ok. 11km) od powierzchni Ziemi, aczkolwiek obecność powietrza atmosferycznego można wykryć nawet w odległości około 500 mil od powierzchni Ziemi (rys. 1).

Wartość ciśnienia wywieranego przez atmosferę jest zależna od odległości od jej zewnętrznej powierzchni i aktualnej gęstości powietrza atmosferycznego. Powierzchnia Ziemi wynosi około 197 milionów mil kwadratowych, a średnie ciśnienie na poziomie morza jest równe około 1kg/cm² (około 14,72 funta na cal kwadratowy).

Ciśnienie na poziomie morza jest równe 1 barowi, chociaż czę-

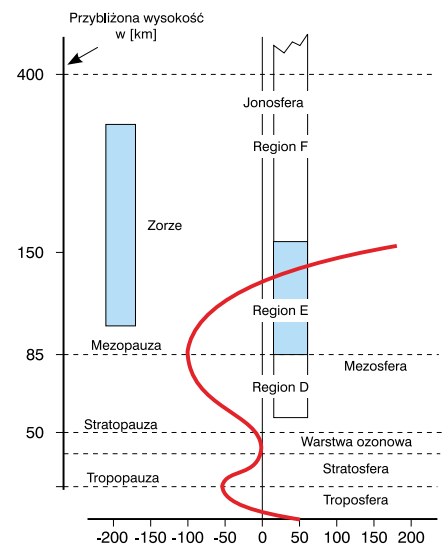
ściej spotykamy się z wartością 1000 milibarów. Mówiąc dokładnie, według meteorologów średnie ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza wynosi 1013,25 milibara, w temperaturze 0°C i na szerokości geograficznej 45°.

Wyraz bar pochodzi od greckiego baros, oznaczającego ciężar. Z tego samego języka pochodzi wyraz metron, czyli miara, od którego wywodzi się wyraz miernik. Tak więc barometr to urządzenie do pomiaru ciężaru, w tym przypadku ciężaru powietrza.

Woda, przeciwnie niż powietrze, posiada znacznie wyższą gęstość. Ciśnienie słupa wody o wysokości 10m (na głębokości 10m) jest takie samo, jak całe ciśnienie powietrza atmosferycznego, a więc wynosi 1 bar. Im głębiej zanurzamy się w wodę, tym bardziej wzrasta ciśnienie. Wzrost ten jest liniowy i wynosi 1bar na każde 10m głębokości.

Analogicznie, im wyżej wznosimy się w atmosferze, tym niższe staje się ciśnienie. Istnieją jednak znaczne różnice w zależności ciśnienia od grubości warstwy wody i powietrza.

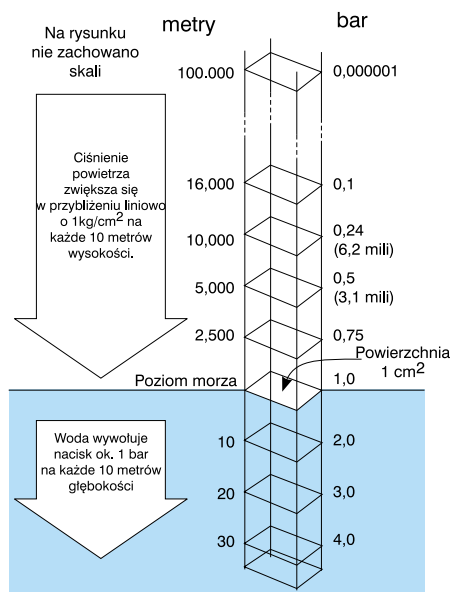
Podczas gdy nie można zmniejszyć objętości wody (i dlatego zależność ciśnienia od głębokości



Rys. 1. Przekrój warstw atmosfery.

Tab. 1. Podstawowe parametry przetwornika ciśnienia SCC15A.

Zakres mierzonych ciśnień:	0 - 15psi (funt/cal kwadratowy)
Maksymalne dopuszczalne ciśnienie	30psi
Błąd	0,50%
Wpływ temperatury na zakres pomiarowy (0°C..50°C)	1,50%
Temperaturowy dryft offsetu (0°C..50°C)	2,00%
Zakres (w mV)	30mV..95mV



Rys. 2. Ciśnienie atmosferyczne i hydrostatyczne.

jest liniowa - bo gęstość wody jest stała), gęstość powietrza w zmieniającej się objętości zmienia się wraz z działającym na nie ciśnieniem. W efekcie, zależność ciśnienia od wysokości w atmosferze nie jest liniowa. Zależność ciśnienia od głębokości zanurzenia w wodzie oraz położenia w atmosferze przedstawiono w uproszczony sposób na **rys. 2**.

Okazuje się, że do 5000m ponad poziomem morza ciśnienie atmosferyczne można uważać za liniowo zależne od wysokości, co pozwala na wykorzystanie w barometrze liniowej zależności (uwaga: wyraz wysokość jest stosowany w niniejszym tekście do określania wysokości ponad poziom morza). W tym zakresie wysokości można uważać, że zmiana ciśnienia o 1 milibar odpowiada zmianie wysokości o 10m.

Chaos

Istnieje jednak poważny problem przy określaniu wysokości na podstawie pomiaru ciśnienia. Otóż atmosfera znajduje się w ciągłym ruchu, bezustannie wiruje, a jej parametry zmieniają się pod wpływem słońca, księżyca i wielkich mas lądów znajdujących się poniżej. Gęstość atmosfery jest zależna od ilości zawartej w niej pary wodnej. W efekcie, ciśnienie atmosferyczne w żadnym punkcie nigdy nie jest stałe. Waha się, wzrasta i spada, tak samo jak fale morskie.

Jeśli przyjrzymy się zwykłemu barometrowi, stwierdzimy zapewne, że jego skala obejmuje zakres od około 940mb do 1060mb. Na poziomie morza raczej nie natkniemy się na takie skrajne wartości ciśnienia, na pewno jednak można zaobserwować niższe wartości wspinając się na wzgórze, a wyższe - zjeżdżając głęboko do kopalni.

Niektórzy zapewne przypominają sobie sztorm, który miał miejsce w 1987 roku. Nad kanałem La Manche ciśnienie spadło do 960mb, a gdy sztorm dotarł do Wysp Szetlandzkich, wynosiło tylko 954mb. Najniższe w historii ciśnienie zarejestrowano 24 września 1958 podczas huraganu Ida na Pacyfiku. Nie jest natomiast znany rekord ciśnień wysokich.

Względność pomiaru

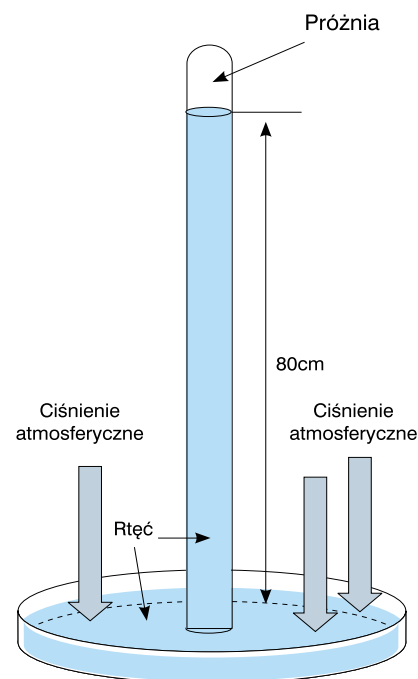
Wszelkie losowe wahania ciśnienia mają oczywiście wpływ na dokładność określenia wysokości na podstawie pomiaru ciśnienia. Załóżmy, że ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza wynosi 1000mb. Zakładając zmianę ciśnienia w stosunku do zmiany wysokości jak 1:10, to w tym samym momencie ciśnienie na wysokości 1000m wyniesie 900mb. Jeśli jednak pomiędzy obydwojoma pomiarami upłynął jakiś czas, może się okazać, że ciśnienie na wysokości 1000m nie będzie już równe 900mb. Ciśnienie to zmieniło się, a odczyt wysokości na podstawie pomiaru ciśnienia będzie obarczony pewnym błędem. Tak więc wysokościomierz wykorzystujący pomiar ciśnienia może dać tylko przybliżoną wartość wysokości względnej w stosunku do pewnego punktu odniesienia. Niemniej jednak, jeśli duża dokładność nie jest niezbędna (jak to jest w przypadku wielu samolotów), zaproponowana metoda daje w pełni zadowalające wyniki i została zaimplementowana w przedstawianym poniżej wysokościomierzu z mikrokontrolerem PIC. Wysokościomierz ten nie jest oczywiście przeznaczony do wykorzystania w samolotach, doskonale jednak nadaje się dla osób wędrujących pieszo, rowerzystów, być może nawet dla załóg balonów! Innymi słowy dla wszystkich, którzy chcieliby w przybliżeniu wiedzieć,

jak wysoko się wspięli lub jak nisko zeszli. Urządzenie można wykorzystać także jako barometr domowy, na stałe wieszając je w domu.

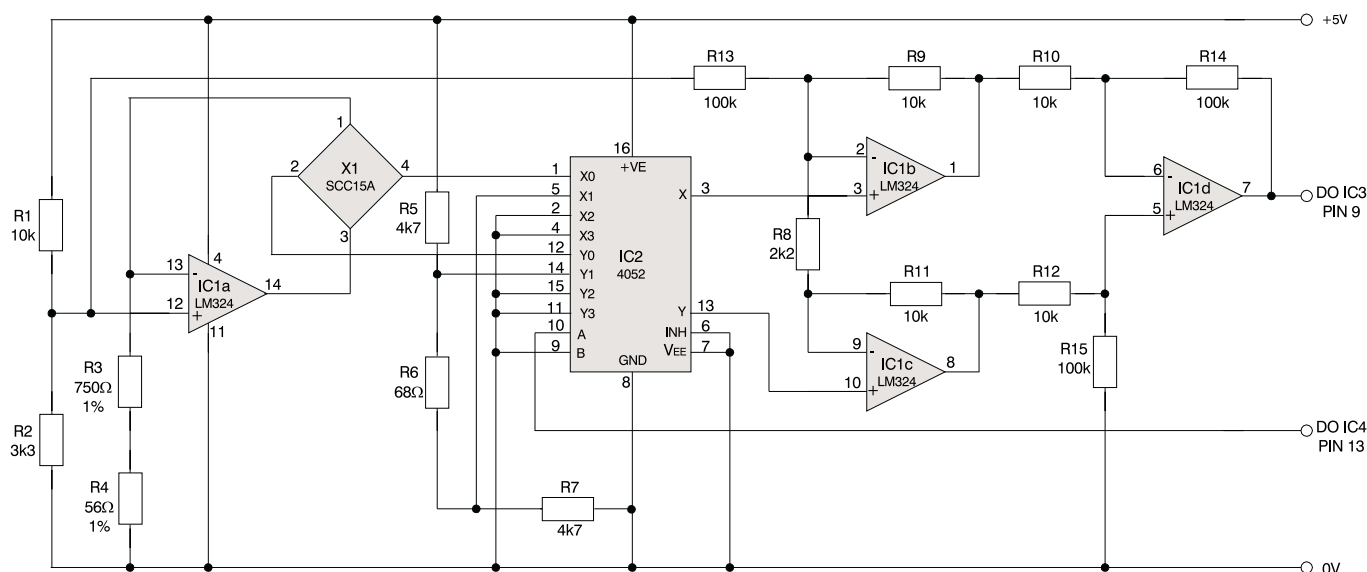
Wskazanie w calach (mm Hg)

Dawne barometry, pochodzące z epoki przeddecyzji poprzedzającej powstanie współczesnych mechanicznych i elektronicznych urządzeń do pomiaru ciśnienia, zawierały rurkę szklaną o niewielkiej średnicy wewnętrznej, zatopioną z jednej strony, która wypełniona była rtęcią (wynalazek Torricellego z 1634 roku). Otwarty koniec pionowo ustawionej rurki zanurzony był w zbiorniku z rtęcią (**rys. 3**).

W wyniku działania siły ciężkości w górnej części rurki powstaje próżnia, której objętość zależy od siły ciężenia rtęci w rurce oraz działającego w przeciwnym kierunku ciśnienia atmosferycznego, na znajdującą się w zbiorniku rtęć. Zmiany ciśnienia atmosferycznego powodować będą zmiany wysokości słupa rtęci w rurce. Położenie wierzchołka słupa rtęci będzie więc stanowił miarę ciśnienia atmosferycznego. Wykorzystywanie tej techniki przyniosło powstanie innej definicji jednej atmosfery ciśnienia - jest to takie ciśnienie, które za-



Rys. 3. Barometr ze słupkiem i pojemnikiem rtęci.



Rys. 4. Schemat ideowy części analogowej wysokościomierza.

pewni wysokość słupa rtęci równą 29,92 cala (760mm). Definicja ta dotyczy oczywiście pomiaru na poziomie morza, w temperaturze 0°C i na szerokości geograficznej 45°. Pochodzenie zwyczaju podawania ciśnienia w calach (lub mm Hg) staje się teraz oczywiste.

Nowsze aneroidy są urządzeniami mechanicznymi. Zawierają one opróżniony metalowy cylinder, zamknięty z obu stron, wyposażony w wewnętrzną sprężynę zapobiegającą zgnieceniu. Zmiany ciśnienia atmosferycznego oddziałują na sprężynę, a odległość między podstawami cylindra ulega zmianie. Odpowiednio przymocowana wskazówka porusza się zgodnie ze zmianami ciśnienia, pokazując ciśnienie względne. Kalibrację takiego przyrządu przeprowadza się zazwyczaj wykorzystując barometr rtęciowy.

Czujnik elektroniczny

Od pewnego czasu są dostępne elektroniczne odpowiedniki aneroidów. Element wykorzystany w przedstawianym wysokościomierzu to przetwornik SCC15A firmy Sensym, zawierający podobnie jak aneroid próżniową komorę. Część tej komory stanowi piezoelektryczny tensometr, który daje napięcie proporcjonalne do działającego nań ciśnienia. SCC15A posiada wewnętrzną kompensację temperaturową. Przetworniki pozbawione tej kompensacji wymagają stosowania dodatkowych układów, które kory-

gują temperaturowy dryft wskazania, jak to miało miejsce w przypadku wysokościomierza prezentowanego na naszych łamach kilka lat temu, w którym zastosowano tani, nieskompensowany przetwornik ciśnienia MPX100A.

SCC15A jest tylko nieco droższy od MPX100A, jednak jego parametry w pełni uzasadniają ten dodatkowy wydatek (patrz tabela z parametrami przetwornika).

Układ współpracujący z czujnikiem ciśnienia

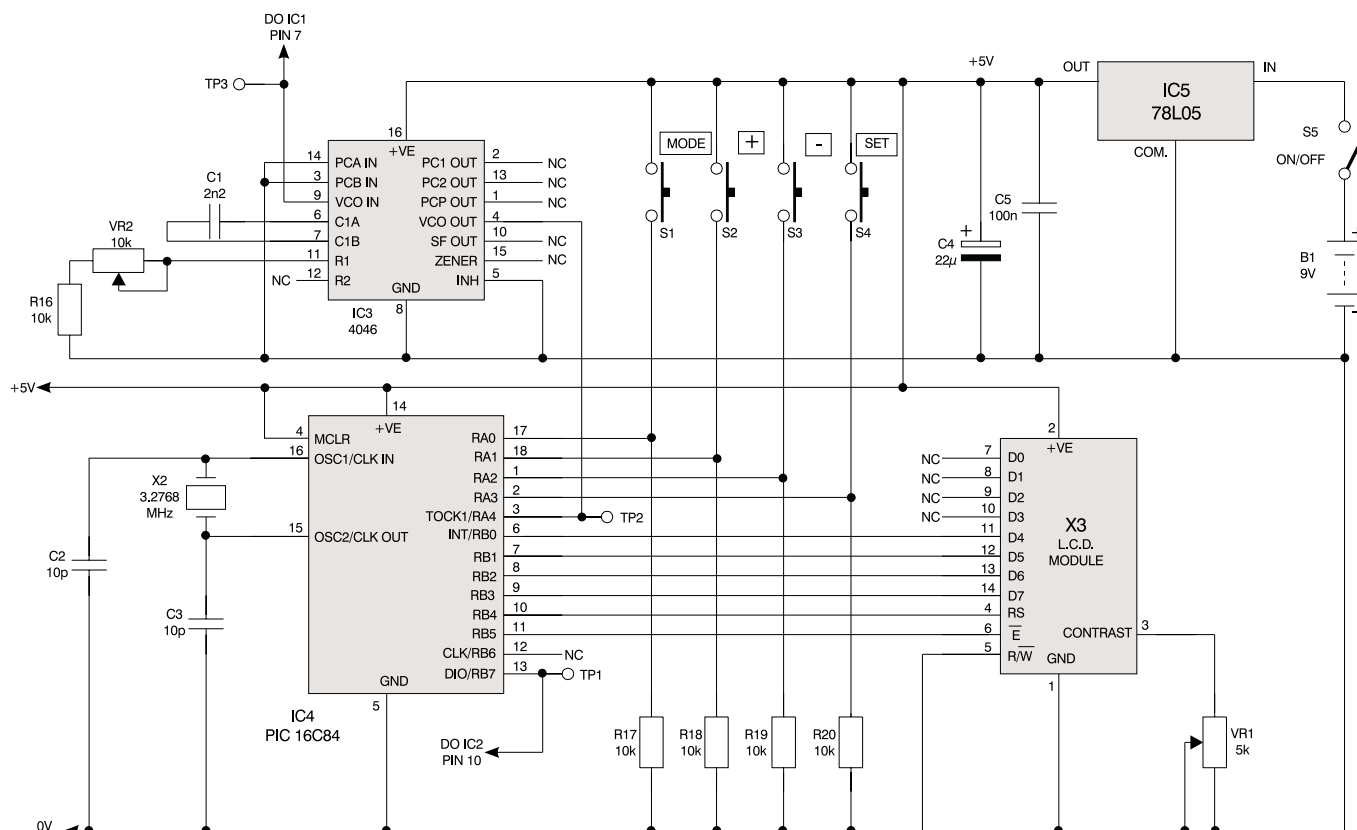
Schemat ideowy układu przedstawiono na rys. 4. Jest to niewielka modyfikacja układu zalecanego w nocie aplikacyjnej, polegająca głównie na dodaniu układu IC2.

Przetwornik ciśnienia SCC15A (X1) znajduje się w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego, obejmującego wzmacniacz operacyjny IC1a pracujący w konfiguracji odwracającej. Napięcie odniesienia zapewnia dzielnik rezystancyjny z elementami R1 i R2.

Natężenie prądu przepływającego przez czujnik jest równe napięciu odniesienia podzielone przez sumaryczną wartość rezystancji R3 i R4, czyli 806Ω. Wartość ta jest zalecana przez producenta przetwornika ciśnienia, nie jest to jednak rezystancja występująca w szeregu typowych wartości. Napięcia na wyjściach czujnika oznaczonych numerami 2 i 4 zmieniają się w przeciwnych

kierunkach. Jeśli multiplexer IC2 pracuje w trybie „normalnym“, to sygnały z tych wyjść doprowadzone zostają do nieodwracających wejść wzmacniaczy operacyjnych IC1b i IC1c, które wraz ze wzmacniaczem IC1d tworzą wzmacniacz różnicowy. Sygnał wyjściowy tego wzmacniacza (wyprowadzenie 7 układu IC1) jest poddawany konwersji analogowo-cyfrowej.

Przed układem IC2 znajduje się dodatkowy dzielnik napięciowy z rezystorami R5, R6 i R7. Wynik podziału napięcia zasilania jest wykorzystywany przez część programu monitorującą wahania temperatury. Sam przetwornik ciśnienia jest skompensowany temperaturowo, natomiast pozostała część układu nie posiada takiej kompensacji. Parametry każdego elementu elektronicznego ulegają zmianom przy zmianach temperatury. Dodatkowy dzielnik zapewnia napięcie, które zostaje wykorzystywane do wprowadzania poprawek wynikających ze zmian temperatury. Napięcie na rezystorze R6 jest wynikiem podziału stabilnego napięcia zasilania. Gdy układ IC2 pracuje z drugim adresem (1 na wejściu A), do wejść wzmacniacza różnicowego dociera właśnie napięcie odłożone na rezystorze R6. Jest ono następnie wzmacniane identycznie jak napięcie pochodzące z przetwornika ciśnienia. Właśnie w części wzmacniającej i dalszej toru sygnału mogą wystąpić zmiany spo-



Rys. 5. Schemat ideowy części sterującej, wyświetlacza oraz zasilacza wysokościomierza.

wodowane zmianami temperatury. Podczas wprowadzania nastaw początkowych urządzeń zapamiętane zostają występujące wtedy wartości. Podczas normalnego działania urządzenia wszelkie wahania tych wartości są wykorzystywane do wprowadzania poprawek temperaturowych.

Oprogramowanie okresowo zmienia sygnały sterujące pracą multiplexera, przełączając na przemian napięcie odniesienia z dzielnika i napięcie wyjściowe przetwornika ciśnienia na wejścia wzmacniacza różnicowego.

Konwersja analogowo-cyfrowa

Schemat ideowy układu sterującego wysokościomierza przedstawiono na rys. 5. Układ IC4 to mikrokontroler PIC, X3 to wyświetlacz ciekłokrystaliczny, natomiast układ IC3 zapewnia konwersję A/C.

Układ PLL IC3 został tu wykorzystany jako przetwornik napięcie-częstotliwość. Częstotliwość przebiegu wyjściowego zależy od napięcia wyjściowego wzmacniacza różnicowego. Oprogramowanie wykorzystuje wy-

nik zliczania impulsów sygnału wyjściowego układu IC3 do obliczeń. Rozwiązanie takie umożliwia konwersję z rozdzielczością znacznie większą niż zapewnia standardowy przetwornik 8-bitowy.

Podczas regulacji wartość częstotliwości jest wyświetlana na ekranie LCD i jedyną niezbędną czynnością jest takie ustawienie potencjometru VR1, by wartość częstotliwości znalazła się w wymaganym przedziale.

Układ jest zasilany z baterii 9V, których napięcie jest obniżane do +5V przez stabilizator IC5. Mikrokontroler PIC jest taktowany z częstotliwością 3,2768MHz, którą wyznacza rezonator X2.

Moduł LCD

Moduł ciekłokrystaliczny służy do prezentacji wyników pomiarów i obliczeń. Wyświetlacz posiada dwie linie po 16 znaków i pracuje w trybie 4-bitowym. Potencjometr VR1 służy do regulacji kontrastu.

W układzie zastosować można wyłącznie wyświetlacze z pojedynczym napięciem zasilania (0V/+5V). Wyświetlacze wymagające dodatkowo ujemnego napięcia zasilania nie mogą być użyte.

EPE

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją miesięcznika "Everyday Practical Electronics".

Tab. 2. Parametry przetwornika ciśnienia SCC15A (w temp. 25 , prąd zasilania 1,5mA)

Parametr	min.	typ.	max.	jednostka
Offset zera	-20,00	0	+20,00	mV
Wypadkowa liniowość pełnego zakresu	0,10	0,50	%	
Zmiana temperaturowa dla pełnego zakresu	0,25	1,50	%	
Temperaturowy dryft offsetu	0,50	2,00	% p.z.	
Stabilność długoczasowa offsetu i zakresu	0,10	% p.z.		
Czas odpowiedzi (od 10% do 90%)	0,10	ms		
Impedancja wejściowa	5,00	kΩ		
Impedancja wyjściowa	5,00	kΩ		

p.z. - pełny zakres