

# Pochyłomierz elektroniczny

## Miernik kąta nachylenia

Scalony czujnik przyspieszenia ADXL105 firmy Analog Devices opracowano z myślą o pomiarach przyspieszeń i opóźnień, ale może być także użyty do pomiaru kąta nachylenia. Taką właśnie aplikację przedstawiamy w artykule.

Akcelerometr ADXL05 firmy Analog Devices został zaprezentowany po raz pierwszy w kwietniowym numerze Elektor Electronics w 1997 roku. Po roku, w EE6/98, opisano jego zastosowanie w elektronicznym mierniku przyspieszenia, który przedstawiono. Z właściwości tego układu scalonego wynika, że może on być użyty także do pomiaru kąta nachylenia.

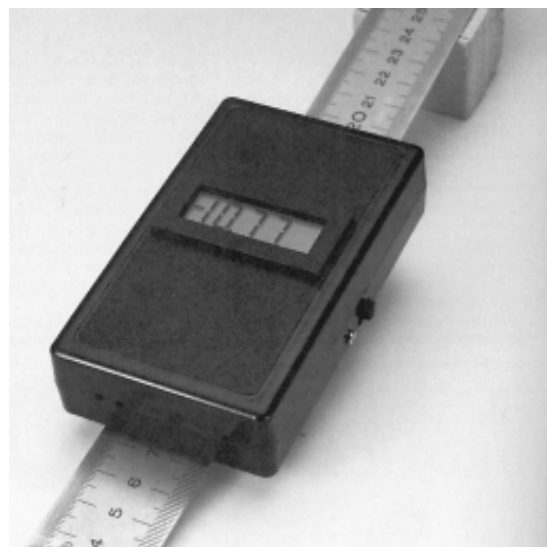
Kompletny miernik pochylenia wymaga zastosowania odpowiedniego wyświetlacza wyniku i wewnętrznego kompensatora zmian temperatury otoczenia. Kwestię wyświetlacza rozwiązuje się łatwo przez zastosowanie woltomierza cyfrowego (ze wzmacniaczem) do pomiaru napięcia wyjściowego akcelerometru. Wykorzystano w mierniku taką właściwość układu ADXL05, że z niewielkim błędem jego napięcie wyjściowe jest wprost proporcjonalne do procentowego pochylenia.

Zapewnienie kompensacji termicznej jest już trudniejsze, ale na szczęście w Analog Devices opracowano ulepszoną wersję tego układu scalonego (ADXL105), który zawiera wewnętrzny czujnik temperatury. Przy użyciu kilku elementów zewnętrznych zapewnia on bardzo skuteczną kompensację wpływu temperatury na wynik pomiaru miernika.

### Opis układu

Schemat układu pokazano na rys. 1. Widać na pierwszy rzut oka, że podobnie jak miernik przyspieszeń, jest on zasilany z baterii. Rolę modułu pomiarowego z wyświetlaczem spełnia woltomierz cyfrowy typu DMP951, połączony z układem za pośrednictwem złącza K1. W urządzeniu są jeszcze wzmacniacze operacyjne, z których jeden pracuje w układzie kompensacji termicznej.

Według danych technicznych ADXL105, jego dryft temperaturowy wynosi 1mV/°C, a przy czterokrotnym wzmocnieniu 4mV/°C.



W typowym przedziale temperatur pokrywa to cały zakres pomiarowy, co jest oczywiście nie do przyjęcia. Wewnętrzny czujnik temperatury ADXL105 dostarcza zależnego od temperatury napięcia wyjściowego  $U_t$  (wyprowadzenie 1) o wartości:

$$U_t = 2,5 + 10^{-3} \cdot (t - 25) [V]$$

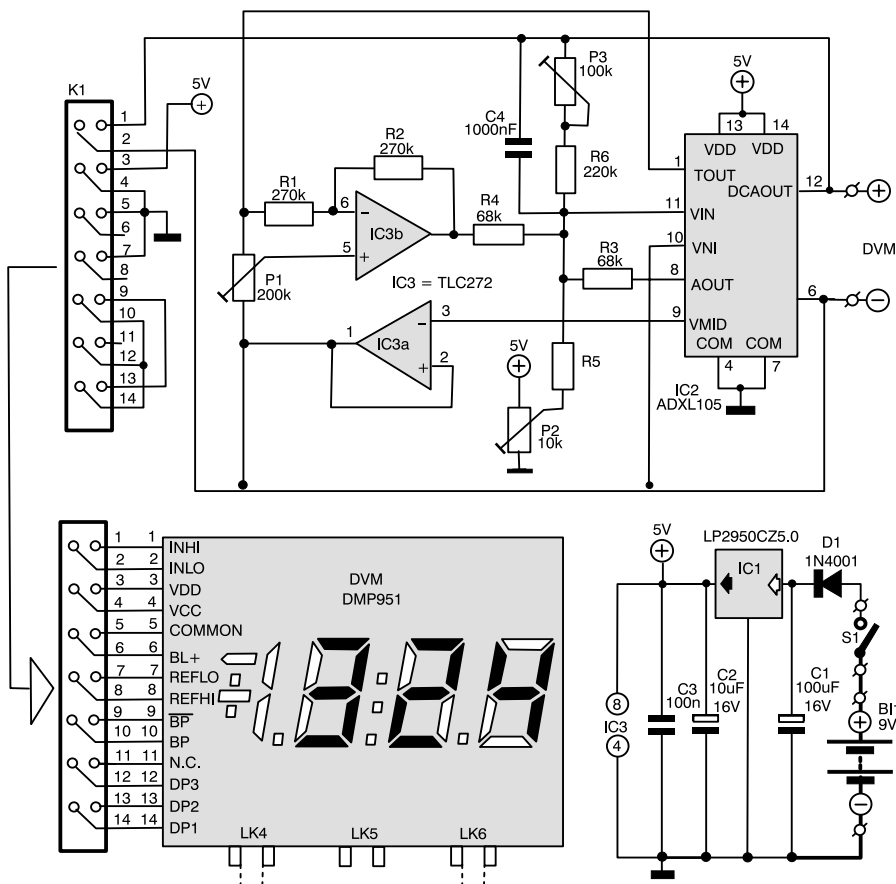
z dokładnością do  $\pm 0,1V$  ( $t$  - oznacza temperaturę).

Sygnal wyjściowy czujnika temperatury został wykorzystany do kompensacji za pomocą układu ze wzmacniaczem operacyjnym IC3b. Pozwala on potencjometrem P1 dobrać współczynnik temperaturowy w granicach od -8mV/°C do +8mV/°C. W zasadzie można było użyć do tego celu układu biernego, ale kalibracja byłaby wtedy bardzo żmudna. Impedancja wyjściowa dzielnika wewnętrznego układu scalonego jest duża i wynosi 10kΩ. Jego obciążenie przez układ kompensacyjny i woltomierz wymaga więc użycia drugiego wzmacniacza operacyjnego IC3a.

Przesunięcie napięcia wyjściowego ADXL105 nie jest małe, ponieważ wynosi aż  $\pm 625mV$ . Na szczęście da się je łatwo skompensować wprowadzając za pośrednictwem rezystora R5 prąd do wejścia VIN (końcówka 11). Prąd ten reguluje się potencjometrem P2, co przy wzmocnieniu 1 powoduje zmianę napięcia wyjściowego w granicach  $\pm 870mV$ .

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z wydawcą miesięcznika "Elektor Electronics".

Editorial items appearing on pages 35..40 are the copyright property of (C) Segment B.V., the Netherlands, 1998 which reserves all rights.



Rys. 1. Schemat ideowy pochyłomierza. Różni się on od miernika przyspieszeń obwodami wzmacniaczy operacyjnych.

Zakres napięcia wejściowego zastosowanego woltomierza cyfrowego wynosi 200mV. Przy założeniu, że maksymalne mierzone pochylenie nie przekroczy 20% (bardziej strome drogi zdarzają się rzadko), wycechowanie miernika będzie bardzo łatwe.

Czułość miernika przyspieszenia wynosi 0,25V/g, więc przy wzmacnieniu równym 4 i nachyleniu 20% jego napięcie wyjściowe osiągnie 200mV. Oznacza to, że napięcie wyjściowe woltach będzie równoważne liczbowo pochyleniu w procentach. Czterokrotne wzmacnienie jest wyznaczone przez rezystory R3 i R6+P3. Kondensator C4 eliminuje zakłócenia. Zależna od niego stała czasowa nie opóźnia zbyt reakcji układu na zmiany temperatury.

### Montaż

Montaż pochyłomierza na płytce drukowanej, pokazanej na rys. 2, jest łatwy. Ze względu na dokładność pomiaru pochylenia, IC2 musi być przylutowany do płytki dokładnie równoległe do jej powierzchni. Moduł woltomierza łączy się

z płytka pochyłomierza za pośrednictwem złącza K1. W przypadku użycia innego woltomierza, jego końcówki można przylutować bezpośrednio, z pominięciem złącza, do punktów DVM. Przed wmontowaniem układu w obudowę należy wywiercić w niej w odpowiednich miejscach otwory, umożliwiające dostęp do potencjometrów P1..P3.

### Kalibracja

Przesunięcie i kompensacja temperaturowa:

1. Umieścić pochyłomierz w pozycji dokładnie poziomej (sprawdzić poziomnicą) w temperaturze 20°C i pozostawić na pół godziny.

2. Ustawić P3 w położeniu środkowym i przyłączyć woltomierz cyfrowy (na zakresie miliwoltowym) pomiędzy wyprowadzenie „-DVM” a końcówkę 7 IC3. Za pomocą P1 doprowadzić wskazania woltomierza dokładnie do wartości 0.

3. Za pomocą P2 doprowadzić wskazania pochyłomierza również dokładnie do wartości 0.

4. Za pomocą suszarki do włosów podgrzać pochyłomierz, co prawdopodobnie wywoła zmia-

nę jego wskazań. Za pomocą P1 doprowadzić wskazania woltomierza z powrotem do 0.

5. Odczekać pół godziny w celu ochłodzenia pochyłomierza i w razie potrzeby ponownie za pomocą P2 doregulować wskazania na 0.

6. Powtarzać czynności 4 i 5 aż do osiągnięcia zadowalającego wyniku kompensacji.

### Wzmocnienie

Wzmocnienie musi być dobrane przy ustawieniu pochyłomierza w pozycji pochyłonej. Z omówienia zasady pomiaru w ramce wyniku, że błąd przybliżenia  $\sin \alpha = p/100$  wzrasta proporcjonalnie do  $\alpha$ . I tak

- przy  $p = 0\%$  błąd wynosi 0%,
- przy  $p = 10\%$  błąd wynosi 0,5%,
- a przy  $p = 20\%$  błąd wynosi 2%.

Błąd będzie najmniejszy, jeżeli kalibracja zostanie dokonana w pobliżu środka zakresu pomiarowego. Prosty rachunek wykazuje, że najmniejszy błąd będzie miał miejsce przy pochyleniu około  $1/1,4 = 0,712$  maksimum za-

### Zasada pomiaru

Pod wpływem siły grawitacji każde ciało jest poddane przyspieszeniu ziemskiemu swobodnego spadania o wielkości  $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ . Jeżeli ciało znajduje się na równi pochyłej o pochyleniu  $p\%$ , to oddziałuje na nie przyspieszenie o wartości:

$$g_s = g \cdot \sin \alpha \quad [1],$$

gdzie  $\alpha$  jest kątem pochylenia, a  $\sin \alpha = (p/100) / \sqrt{1 + (p/100)^2}$  [2]

Jeżeli  $p/100 \ll 1$ , to [2] można przybliżyć przez:

$$\sin \alpha = p/100 \quad [3]$$

Błąd tego przybliżenia wynosi:

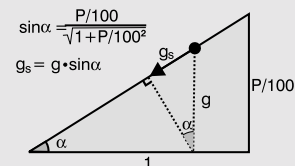
$$0,5\% \text{ gdy } p = 10\%,$$

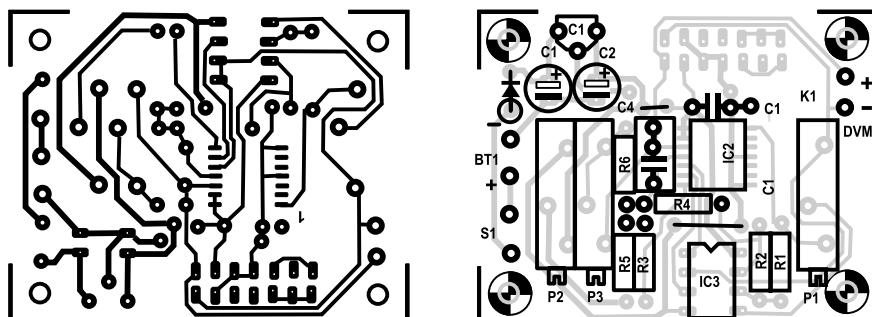
$$2\% \text{ gdy } p = 20\%.$$

Błąd ten mieści się w akceptowalnych granicach, zatem równanie [3] nadaje się do zastosowania w praktyce. Z [1] i [3] otrzymuje się zależność:

$$p = (g/g_s) \cdot 100\%,$$

a więc (z niewielkim błędem) napięcie wyjściowe pochyłomierza jest wprost proporcjonalne do jego pochylenia.





## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

R1, R2: 270k $\Omega$   
 R3, R4: 68k $\Omega$   
 R5: 390k $\Omega$   
 R6: 220k $\Omega$   
 P1: 200k $\Omega$ , 10-obrotowy  
 P2: 10k $\Omega$ , 10-obrotowy  
 P3: 100k $\Omega$ , 10-obrotowy

### Kondensatory

C1: 100 $\mu$ F, 16V, stojący  
 C2: 10 $\mu$ F, 16V, stojący  
 C3: 0,1 $\mu$ F, ceramiczny  
 C4: 1 $\mu$ F, poliestrowy, metalizowany

### Półprzewodniki

IC1: LP2950CZ5.0  
 IC2: ADXL105JQC  
 IC3: TLC272CP

### Różne

BT1: bateria 9V z zatrzaskami  
 S1: wyłącznik przesuwany, 1 styk zwierny  
 K1: 14 stykowy box header  
 Moduł odpowiedniego woltomierza cyfrowego  
 Obudowa

Rys. 2. Wzór ścieżek płytki drukowanej pochyłomierza i rozmieszczenie na niej elementów.

kresu. Przy zakresie pochyłeń 20% kalibracji więc należy dokonać przy nachyleniu 14%.

Pochylenie takie można uzyskać przyklejając pochyłomierz na środku prostej i sztywnej listwy drewnianej o długości 1m, podniesionej jednym końcem na wysokość 14cm powyżej jej drugiego końca. Wtedy za pomocą P3 należy doprowadzić wskazanie pochyłomierza do 14%.

Pochyłomierz zasila się z baterii lub akumulatora 9V. Napięcie to

jest obniżane do 5V przez stabilizator napięcia IC1. Dokładność wskazań woltomierza jest całkowicie uzależniona od napięcia zasilania, stabilizator więc winien mieć bardzo mały współczynnik temperaturowy, mniejszy od 150 ppm/ $^{\circ}$ C. Proponowany typ, o małym spadku napięcia, doskonale nadaje się do zasilania urządzeń bateryjnych. Pochyłomierz pobiera około 6mA. Dioda D1 zapobiega skutkom odwrotnego przyłączenia baterii.

**EE**