

# Precyzyjna poziomnica elektroniczna

## AVT-830



*Elektronika coraz intensywniej rozszerza zakres swoich zastosowań. Czasami celowość tego wydaje się wątpliwa, czasami korzyści z tego powodu są rzeczywiście bardzo duże. Jak to będzie w przypadku opisywanego projektu odpowiedzą Ci spośród Czytelników, którzy zdecydują się na wykonanie prezentowanego w artykule urządzenia.*

*Jedno jest niestety pewne: elektroniczna poziomnica nie będzie stanowiła konkurencji pod względem cenowym z tą, do której się przyzwyczailiśmy.*

„Eureka!“ krzyknąłem podczas zażywania kąpieli w wannie po męczącym dniu. Uwierzyłem, że genialne pomysły rodzą się w sytuacjach nieoczekiwanych. Nie chcę oczywiście przez to powiedzieć, że mój pomysł jest genialny, a jedynie, że powstał w warunkach dosyć dziwnych. Otóż leżąc sobie spokojnie, przyglądałem się idealnie równej powierzchni wody. Gdy wykonałem choćby najmniejszy ruch, stan ten ulegał zaburzeniu. Po pewnym czasie woda zawsze wracała do równowagi. Właściwie nic dziwnego. Przecież każdy o tym wie, nawet dziecko. Istotne jednak w tym przypadku było błyskawiczne skojarzenie faktów: woda, równowaga, wasserwaga... no przecież to poziomnica.

Dalej już tylko pozostał problem przekształcenia pomysłu na postać elektroniczną. Rozwiązania elektryczno-mechaniczne, np. z wykorzystaniem wyłączników rzęciowych, jak na epokę rozpoczynającego się wkrótce XXI wieku nie wchodziły w grę. Chyba byłoby to zbyt prymitywne.

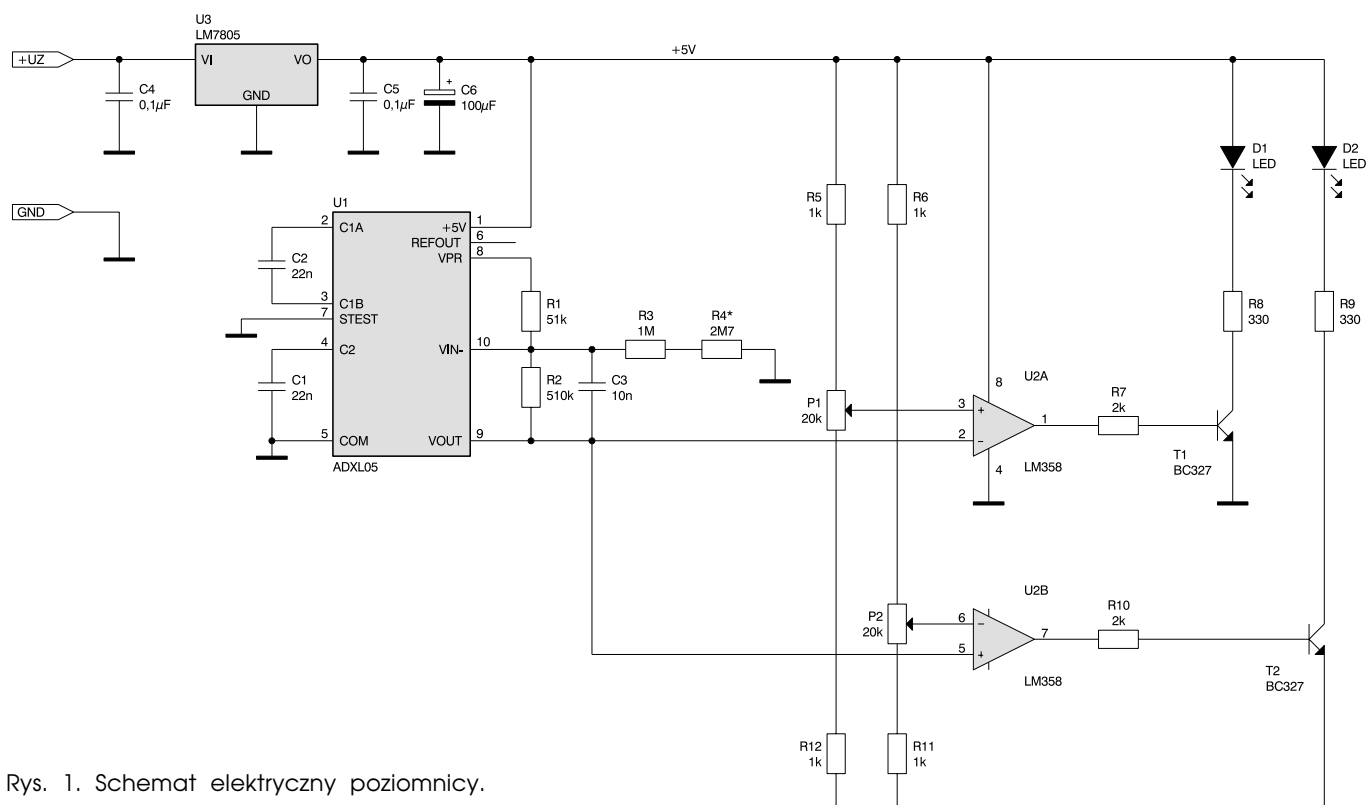
Pytanie zatem, na jakim elemencie oprzeć konstrukcję? Tu przydały się moje wcześniejsze doświadczenia z elementem na pozór nie mającym nic wspólnego z tematem. Jest nim półprzewodnikowy czujnik przyspieszenia firmy Analog Devices oznaczony jako ADXL05. No cóż, trzeba przyznać, że nie jest to tani element, ale dla dobra nauki może warto poświęcić kilka złotych.

### Jak działa ADXL05?

Element ten charakteryzuje się znamionową czułością 200mV/g (g - przyspieszenie ziemskie), co daje zakres pomiarowy  $\pm 5g$ . Na uwagę zasługuje zasada pomiaru

zastosowana w tym przyrządzie. W półprzewodnikowej strukturze umieszczono dwa kondensatory o dosyć specyficznej budowie. Jedna okładzina tych kondensatorów jest nieruchoma, druga natomiast jest zawieszona na specjalnym strzemiączku. Po wprowadzeniu elementu w ruch przyspieszony, okładziny ruchome na skutek sił bezwładności ulegają przesunięciu proporcjonalnemu do tego przyspieszenia. Każdy z nas pamięta chyba zadanie z fizyki polegające na obliczeniu kąta wychylenia wahadła umieszczonego w rozprędzającym się pojeździe. Wzajemne przemieszczenie okładzin powoduje zmianę pojemności poszczególnych kondensatorów. Gdy pojemność pierwszego rośnie, to drugiego lub odwrotnie. Zależy to od kierunku przyspieszenia (w języku fizyków należałoby powiedzieć: od jego zwrotu). Do kondensatorów są doprowadzone przebiegi prostokątne o częstotliwości 1MHz, przesunięte wzajemnie o 180°. Dalej specjalny demodulator wytwarza napięcie stałe proporcjonalne do różnicy faz na jego wejściu, a ta z kolei jest zależna od stosunku pojemności obu kondensatorów. W ten sposób uzyskuje się sygnał proporcjonalny do przyspieszenia.

Na zakończenie opisu układu ADXL05 należy jeszcze dodać, że w jego strukturze zawarto ponadto źródło napięcia referencyjnego 3.4V wyprowadzone na zewnątrz oraz dwa wzmacniacze operacyjne. Jeden wstępnie wzmacnia sygnał z demodulatora, drugi pełni rolę bufora. Napięcie źródła referencyjnego jest na potrzeby układu wewnętrznie podzielone do wartości 1,8V.



Rys. 1. Schemat elektryczny poziomnicy.

Trzeba przyznać, że jest to bardzo wymyślny układ. Osobiście jestem pełen uznania dla konstruktorów szczególnie za umieszczenie w strukturze półprzewodnikowej o powierzchni 0,25 cała kwadratowego kondensatorów z ruchomą elektrodą. A przy tym wykonanie ich z dosyć dużą precyzją. Różnice pojemności w stanie spoczynkowym wpływają bowiem na wstępne niezrównoważenie układu. Wróćmy teraz do naszej poziomnicy.

### Opis układu

Nasz główny bohater - układ ADXL05AH - jak było napisane wyżej, mierzy przyspieszenie. Szczególnym przypadkiem może być przyspieszenie ziemskie. Tak, tak, na co dzień zapominamy o nim. O tym, że istnieje przypominamy sobie czasami na przykład na śliskim chodniku w zimie. Wskazania przyrządu będą więc m.in. zależały od jego ustawienia względem pionu, bo taki jest kierunek przyspieszenia ziemskiego. Przy ustawieniu na dół zmierzmy 1g, po obróceniu go o 180° wynik będzie -1g, w położeniu zaś poziomym zmierzmy 0g. Teraz trzeba już tylko wykryć zerowe wskazanie i w jakiś sposób wyświetlić.

O tym za chwilę. Na rys. 1 przedstawiony jest schemat poziomnicy. Układ U1 to scalony przyspieszoniemierz. Kondensator C1 współpracuje z jego wewnętrznym oscylatorem, C2 wpływa na ograniczenie górnej częstotliwości pomiaru. W tym przypadku zastosowano typową wartość 22nF. Na wyjściu  $V_{PR}$  uzyskuje się sygnał proporcjonalny do przyspieszenia, o znamionowej czułości 200mV/g. Dla przyspieszenia  $a=0$ , wartość napięcia stałego wynosi 1,8V  $\pm 0,25$ V.

Pomiędzy wyprowadzeniami 9 i 10 mamy dostęp do wewnętrznego wzmacniacza operacyjnego, który zostanie tu wykorzystany do dodatkowego wzmocnienia i buforowania napięcia wyjściowego. Wzmocnienie tego stopnia jest tak dobrane (rezystory R1 i R2), aby na wyjściu 9 uzyskać maksymalny sygnał dla  $a=1$ g. Większych przyspieszeń nie będziemy przecież mierzyć.

Rezystory R3 i R4 ustalają napięcie wyjściowe dla przyspieszenia zerowego. Najlepiej, gdy jest ono równe połowie napięcia zasilającego, ale nie jest to wartość krytyczna. Na płycie przewidziano dwa rezystory - dla wygody dobierania ich wartości.

W urządzeniu modelowym łączna wartość rezystancji w tej gałęzi wynosiła 3,7M $\Omega$ . Kondensator C3 wraz z rezystorem R2 stanowi jednobiegunowy filtr dolnoprzepustowy do eliminacji ewentualnych trzasków. Napięcie z U1 jest podawane na dwa wzmacniacze operacyjne, pracujące w układzie komparatorów. Jeden z nich wykrywa stan, gdy napięcie wejściowe jest większe od zadanego, drugi zaś, gdy jest ono mniejsze. Progi napięciowe ustawia się za pomocą potencjometrów P1 i P2. Dla uzyskania dużej precyzji zastosowano miniaturowe potencjometry wieloobrotowe (pamiętajmy, by miały śrubkę na górze).

Rezystory R5, R6, R11 i R12 ograniczają zakres regulacji. Wyjścia komparatorów poprzez tranzystory T1 i T2 sterują diodami świecącymi D1 i D2, które zastępują szklane okienko tradycyjnej poziomnicy. Rezystory R8 i R9 ustalają prądy tych diod. Na płycie przewidziano miejsce na scalony stabilizator LM2940 lub LM7805 (U3), wraz z przyległymi do niego kondensatorami. Ten pierwszy będzie lepszy w przypadku zasilania bateryjnego, gdyż pracuje z mniejszą różnicą napięć wyjściowego i wejściowego. Do

poziomnicy należy doprowadzić napięcie, np. z popularnego zasilacza wtyczkowego lub baterii 9V. Oczywiście w warunkach polowych (na budowie) bardziej praktyczne będzie to drugie rozwiązanie.

## Montaż

Elektroniczna poziomnica (lub wasserwaga, jak powie prawdziwy fachowiec) jest urządzeniem bardzo prostym. Mogą go wykonać nawet początkujący elektronicy (z finansowym wsparciem np. rodziców). Widok płytki z obwodem drukowanym jest przedstawiony na rys. 2.

Dla zminimalizowania wymiarów i uproszczenia montażu zastosowano płytkę dwustronną. Nie jest ona dostosowana do żadnej, typowej obudowy. Montaż rozpoczynamy od czujnika przyspieszenia U1. Należy to zrobić bardzo starannie. Układ powinien być równo umieszczony na płycie. Najpierw lutujemy jeden jego punkt, następnie po ewentualnym skorygowaniu ułożenia, lutujemy punkt przeciwległy. Jeszcze raz sprawdzamy czy równo leży i wykonujemy pozostałe połączenia. Trzeba pamiętać, że ewentualny demontaż tego elementu jest bardzo trudny. W następnej kolejności lutujemy układ U2 (można bezpośrednio do płytki - bez użycia podstawki) i potencjometry P1 i P2. Stabilizator U3 nie wymaga radiatora, gdyż całość nie pobiera zbyt dużego prądu. Pewnym problemem może być wykonanie samej poziomnicy. Konkretnie rozwiązanie zależy tutaj od inwencji i możliwości Czytelników. Może to być np. jakiś drewniany lub duraluminiowy klocek o przekroju kwadratu lub prostokąta. Można do tego wykorzystać niepotrzebną, klasyczną poziomnicę. Ja do celów doświadczalnych użyłem plastikowej laski, w jaką wkłada się magazynowane układy scalone. Płytkę po prostu przykleiłem.

Jeśli wszystkie czynności mechaniczne mamy już za sobą, następnym etapem będzie regulacja.

## Regulacja układu

Wykonany właśnie przyrząd umieszczamy na poziomej płaszczyźnie. Do kalibracji dobrze jest

dysponować klasyczną poziomnicą, którą układamy obok naszej. Po włączeniu napięcia zasilającego należy kręcić suwakiem jednego z potencjometrów P1 lub P2 do momentu, aż jedna z diod zmieni stan. Jeśli zgasła, odkręcamy nieznacznie suwak, po czym korygujemy jego położenie tak, aby wygasić ponownie diodę. Tym razem trzeba to jednak zrobić bardzo delikatnie, ustawiając napięcie tuż poniżej poziomu progowego. Jeśli żadna dioda nie zgasła, to oznacza, że kręciliśmy w złym kierunku. Trzeba więc czynność tę powtórzyć, kręcąc suwakiem tego samego potencjometru w przeciwną stronę. Podobnie postępujemy z drugim potencjometrem i oczywiście drugą diodą. Może się zdarzyć (choć to mało prawdopodobne), że mimo wszystko nie uda nam się uzyskać sytuacji opisanej wyżej. Przyczyną takiego stanu najprawdopodobniej będzie zbyt duże lub zbyt małe napięcie wyjściowe z przyspieszeniomierza. Aby temu zaradzić, należy skorygować wartość R3 i/lub R4.

Na płycie przewidziano specjalnie miejsce na dwa rezystory, aby można było łatwo dobrać odpowiednią wartość rezystancji w tej gałęzi. Za odpowiednią można uznać taką, która zapewni nam na wyjściu 9 układu U1 napięcie bliskie połowy napięcia zasilającego, czyli ok. 2,5V. Do tej regulacji niewątpliwie przyda się jakiś woltomierz. Jeśli już dojdzie do jego użycia, to przestrzegam przed przypadkowymi zwarciami końcówką pomiarową sąsiednich wyprowadzeń układu ADXL05 (bo będzie niezbędne dodatkowe wsparcie finansowe).

Na tym w zasadzie kończy się proces kalibracji urządzenia. Teraz delikatnie unosimy jeden z końców obu poziomnic. Już przy niewielkim kącie powinna zamrugać, a nawet zaświecić się światłem ciągłym jedna z diod. Czułość układu możemy porównać z poziomnicą klasyczną. Jeśli jest ona za duża, trzeba zmienić położenie su-

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

R1: 51kΩ  
R2: 510kΩ  
R3: 1MΩ  
R4: 2,7MΩ  
R5, R6, R11, R12: 1kΩ  
R7, R10: 2kΩ  
R8, R9: 330Ω  
P1, P2: 20kΩ - wieloobrotowy potencjometr montażowy

### Kondensatory

C1, C2: 22nF  
C3: 10nF  
C4, C5: 0,1μF  
C6: 100μF/50V

### Półprzewodniki

D1, D2: LED czerwone  
T1, T2: BC327  
U1: ADXL05AH  
U2: LM358  
U3: LM2940 lub LM7805

### Różne

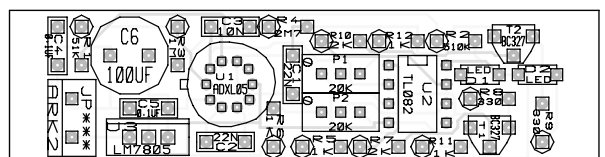
Złącze ARK2  
Łączówka do baterii 9V

waków obu potencjometrów tak, jakbyśmy chcieli głębiej wygasić diody.

Podczas montażu okazało się, że niektóre popularne wzmacniacze operacyjne, np. TL062, TL072, TL082, mają zbyt wysokie napięcia wyjściowe w stanie nasycenia. Najlepiej byłoby zastosować układy z wyjściem typu rail-to-rail, ale nie jest to konieczne. Są one na ogół droższe od zwykłych. Wystarczająco dobry okazał się LM358. Jeśli dysponujemy innym, to przed wlutowaniem go trzeba się upewnić, czy w stanie nasycenia napięcie wyjściowe nie jest większe od ok. 0,5V.

No cóż, teraz gdy wszystko już działa, wypada mi tylko życzyć udanych prac remontowych i równych podłóg.

**Jarosław Doliński**  
jdolin@optimus.waw.pl



Rys. 2. Rozmieszczenie elementów na płycie drukowanej.