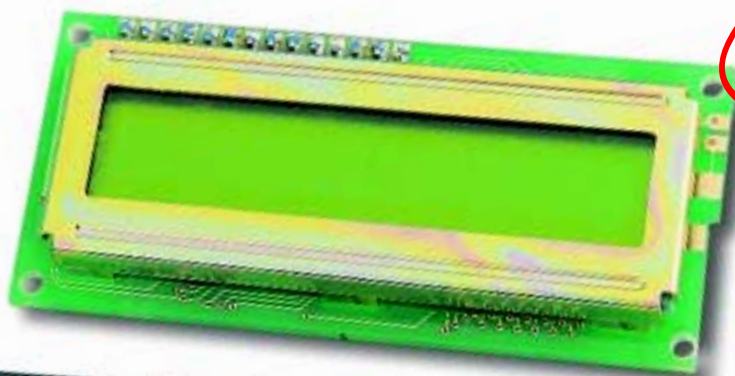
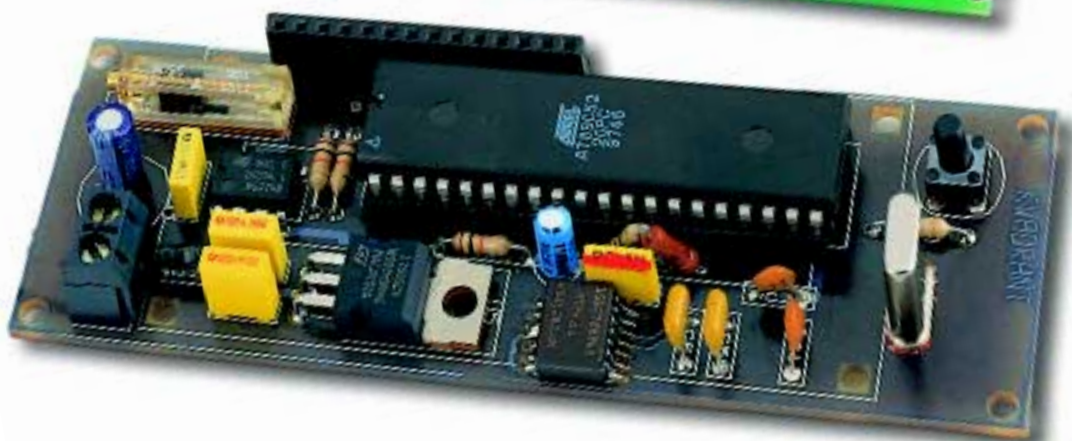


Elektroniczny kwadrant

AVT-866



**PROJEKT
Z OKŁADKI**



Wiele wszelkiego rodzaju czujników stwarza dziś elektronikowi-konstruktorowi duże możliwości działania. Przy odrobinie fantazji można zbudować urządzenia, których wykonanie jeszcze do niedawna było zupełnie niemożliwe. Popatrzmy zatem, co też bardzo efektownego, a przy tym przydatnego można zrobić z czujnikiem przyspieszenia.

Parametry charakterystyczne i właściwości układu ADXL202:

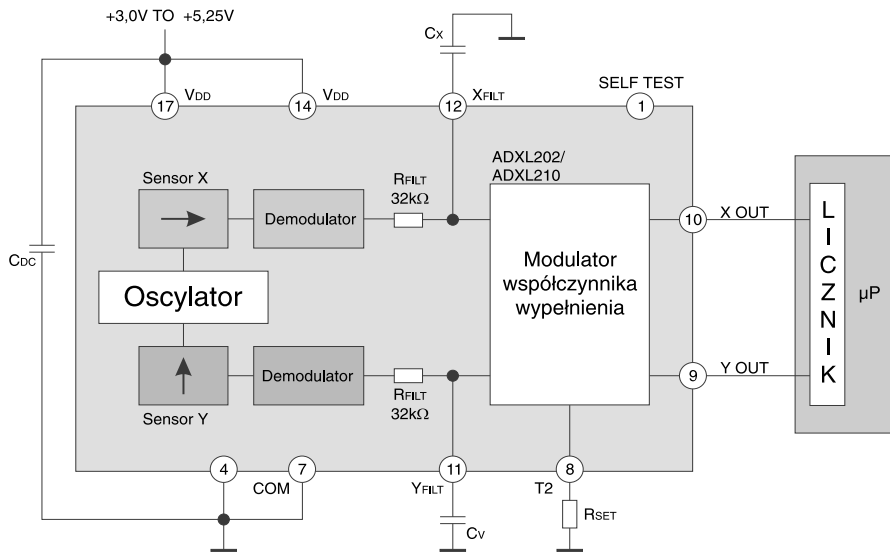
- ✓ 2-wymiarowy czujnik przyspieszenia w jednej strukturze.
- ✓ Możliwość pomiaru przyspieszeń statycznych i dynamicznych.
- ✓ Wyjście typu Duty Cycle - zmienny współczynnik wypełnienia fali prostokątnej o częstotliwości ustalonej przez użytkownika.
- ✓ Mały pobór prądu (<0,6 mA).
- ✓ Szybka odpowiedź w układach czujników przechyłu.
- ✓ Pasmo robocze regulowane jednym kondensatorem.
- ✓ Rozdzielczość 5mg dla pasma 60Hz.
- ✓ Zasilanie jednym napięciem +3 do +5,25V.
- ✓ Odporność na udar 1000g.

Nie tak dawno pomagałem dwóm Czytelnikom „Elektroniki Praktycznej“, poznanym dzięki internetowej liście dyskusyjnej, uruchamiać pewien układ. Pomyślałem sobie wtedy, że w czasach szczególnej „materializacji“ społeczeństwa miło jest mieć do czynienia z młodymi ludźmi, którzy mają jakąś pasję i poprzez nią próbują czegoś się nauczyć. W ich przypadku pasją tą jest oczywiście elektronika. Ale czy tylko? Już dawno zauważyłem, że my elektronicy bardzo często mamy zainteresowania sięgające innych dziedzin. Ot, chociażby fotografia, modelarstwo, astronomia. Właśnie na tej ostatniej chciałbym się na chwilę skupić.

Trudno byłoby sobie wyobrazić uprawianie tej dyscypliny bez wykorzystywania map nieba. Kiedyś niełatwo było je zdobyć. Czasami drukowały je pisma popularnonaukowe, ale nie były zbyt użyteczne, gdyż przedstawiały wygląd nieba o określonej porze, w konkretnym miejscu na Ziemi. Od czasu do czasu można było natrafić na mapy obrotowe, dzięki którym pora obserwacji nie stanowiła już problemu. Raz udało

mi się nawet kupić taką mapę bodajże w Muzeum Techniki w Warszawie. Dziś, w dobie Internetu, miłośnicy astronomii mogą „pracować“ w zupełnie innych warunkach. Istnieje multum programów, nawet shareware'owych, umożliwiających porównywanie wyglądu prawdziwego nieba z prezentowanym na ekranie monitora. Bardziej wyrafinowane potrafią nawet automatycznie śledzić ruch obserwowanego obiektu, sterując ustawieniem lunety lub teleskopu. Wszystko to odbywa się oczywiście w czasie rzeczywistym i nie zależy od położenia geograficznego miejsca obserwacji.

Podczas wykorzystywania prostszych programów występuje jednak pewna trudność zidentyfikowania gwiazdy na nieboskłonie. Jest ich przecież niemało. Na szczęście większość programów umożliwia wyświetlenie danych dotyczących wybranego obiektu, zawierających m.in. jego współrzędne: azymut i wysokość, na ogół również deklinację i rektascencję. Opisywany tu kwadrant to urządzenie służące do określania wysokości gwiazdy, czyli kąta, pod jakim ją widzimy, mierzonego



Rys. 1. Budowa wewnętrzna układu ADXL202.

od poziomu. Do jego budowy zostanie wykorzystany półprzewodnikowy czujnik przyspieszenia. Zasadę pomiaru przedstawiłem w artykule „Precyzyjna poziomnica“, zamieszczonym w numerze EP9/99. Tym razem zostanie zastosowany nowszy wyrób firmy Analog Devices, oznaczony jako ADXL202JQC.

Jak działa ADXL202

Schemat blokowy układu ADXL202 przedstawiamy na rys. 1. Zasada pomiaru przyspieszenia, wykorzystana w układzie ADXL202 jest bardzo podobna jak w ADXL05. Odsyłam więc zainteresowanych Czytelników do wspomnianego wyżej artykułu. Tutaj skupię się na przedstawieniu różnic.

Po pierwsze więc: układ ADXL202 jest czujnikiem dwuwymiarowym. W swojej strukturze zawiera dwa ortogonalne czujniki przyspieszenia, których zakres pomiarowy jest równy $\pm 2g$ (istnieje analogiczny model oznaczony jako ADXL210 o zakresie $\pm 10g$).

Po drugie: wprowadzono nowy sygnał wyjściowy - nazwijmy go cyfrowym, choć może nie jest to do końca określenie słuszne. Na wyjściu tym występuje fala prostokątna o stałym okresie i zmiennym współczynniku wypełnienia, proporcjonalnym do wartości przyspieszenia. Wyjścia takie oznaczone są jako X_{OUT} i Y_{OUT} . Taki typ wyprowadzania danych jest określany w materiałach firmowych jako *Duty Cycle Output*. Większości Czytelnikom będzie się

to kojarzyło raczej z określeniem PWM (ang. *Pulse Width Modulation*). To, że zakwalifikowałem ten rodzaj informacji do gatunku cyfrowego, wynika z faktu, że do obróbki takiej danej nie jest konieczne stosowanie przetwornika analogowo-cyfrowego. W takich przypadkach świetnie sprawdzają się oczywiście mikrokontrolery (wyczuwam już jęk zawodu u wielu Czytelników, ale cóż, po co komplikować sobie życie jak mamy narzędzia, które nam je ułatwiają). Nawet te najprostsze mają jakiś układ czasowy, który pozwoli nam w prosty sposób mierzyć współczynnik wypełnienia fali prostokątnej doprowadzonej do jednego z wejść. Na uwagę zasługuje fakt, że do ustalenia częstotliwości (okresu T_2 - rys. 2) przebiegu wyjściowego w obydwu kanałach wystarczy dobranie wartości tylko jednego rezystora R_{SET} . Zasady jego obliczania zostaną przedstawione później.

Po trzecie: układ ADXL202 jest wykonywany wyłącznie w obudowie 14-lead CERPAK (QC-14) do montażu powierzchniowego, co również zapewne nie wywoła entuzjazmu Czytelników. Na pocieszenie mogę jednak dodać, że raster wyprowadzeń jest równy 0,050 milsa (1,27 mm), a więc przy odrobinie wprawy będzie można przylutować układ ręcznie bez większych problemów.

Zwolennicy techniki analogowej powinni też być usatysfakcjonowani, gdyż ADXL202 posiada wyjścia X_{FILT} i Y_{FILT} , na których -

po odfiltrowaniu - występuje napięcie proporcjonalne do wartości przyspieszenia. Wykorzystanie tych wyjść pociąga za sobą bezwzględną konieczność dołączenia do nich odpowiedniego kondensatora, który razem z opornością wyjściową będzie stanowił jednobiegowy filtr dolnoprzepustowy (układ całkujący). Oporność ta jest równa $32k\Omega$, co jest wartością raczej dużą, wymagającą stosowania dodatkowych buforów. Jest to pewna wada. Zaletą natomiast jest możliwość uzyskania w tym przypadku pasma 5kHz. Budowa więc urządzeń do pomiarów wibracji staje się bajecznie prosta. Dla porządku dodam jeszcze, że czułość i offset wyjść X_{FILT} i Y_{FILT} są zależne od napięcia zasilającego i dla układu ADXL202 wyrażają się zależnościami:

$$\text{(dla } 0g) \text{ Offset} = V_{DD}/2$$

$$\text{Czułość} = (60mV \times V_{DD})/g,$$

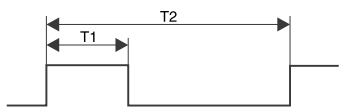
co dla $V_{DD}=5V$ daje $300mV/g$,
 g - przyspieszenie ziemskie.

Doświadczeni elektronicy zauważają, że informację o wartości przyspieszenia można uzyskać jeszcze w inny sposób. Tym razem na zasadzie odfiltrowywania przebiegu prostokątnego z wyjść X_{OUT} i Y_{OUT} . W tym przypadku wystarczy zbudować filtr dolnoprzepustowy RC, przy czym wartość rezystora nie powinna być mniejsza niż $100k\Omega$, a okres przebiegu pomiarowego (T_2) powinien być ustawiony na 1ms. Trzeba również spełnić warunek, aby częstotliwość odpowiadająca 3-dB spadkowi napięcia wyjściowego filtru była co najmniej 10 razy mniejsza niż częstotliwość przebiegu wyjściowego. Stosując to rozwiązanie nie da się jednak uzyskać pasma 5kHz.

A teraz obiecana metoda obliczania wartości rezystora R_{SET} , dołączanego między wyjście T_2 i masę. Okres przebiegu wyjściowego można wyrazić zależnością:

$$T_2[s] = R_{SET}[\Omega] / 125[M\Omega]$$

Okres ten powinien zawierać się w przedziale od 0,5 do 10ms. Oczywiście im dłuższy będzie czas T_2 , tym większą uzyskamy rozdzielczość. Trzeba pamiętać, że rezystor R_{SET} powinien być dołączany do układu bez względu na to, czy korzysta się z wyjść cyfrowych, czy analogowych. Jego wartość może się zmieniać od $500k\Omega$ do $2M\Omega$.



Rys. 2. Przebiegi na wyjściach X_{OUT} i Y_{OUT} .

Do ustalania roboczego pasma częstotliwości służą kondensatory C_x i C_y . Pasma jest o tyle istotne, że wpływa na poziom szumów. Oczywiście ograniczanie częstotliwości powoduje redukcję poziomu szumów. Zależność przydatna do ewentualnych obliczeń jest przedstawiona poniżej, a w **tab. 1** podano kilka typowych wartości.

$$F_{-3dB} = 1 / (2\pi(32k\Omega) \times C_x)$$

Jak już pisałem wcześniej, zakres pomiarowy układu ADXL202 wynosi $\pm 2g$. Dla przyspieszenia równego zero, na wyjściach X_{OUT} i Y_{OUT} występuje przebieg prostokątny o współczynniku wypełnienia równym 1/2. To oczywiście tylko teoria, w praktyce jest niestety gorzej. Zwiększając przyspieszenie w kierunku wartości ujemnych powodujemy zmniejszenie współczynnika wypełnienia na wyjściu (skrócenie czasu T_1 - rys. 2). Odwrotnie dzieje się, gdy rośnie dodatnie przyspieszenie. Ogólnie, przyspieszenie można określić zależnością:

$$\alpha = (T_1 / T_2 - 0,5) / 0,125$$

z której wynika przedział zmian współczynnika wypełnienia przebiegu wyjściowego dla całego zakresu pomiarowego. Po prostych obliczeniach otrzymujemy: $\alpha = 0,25..0,75$ dla $\pm 2g$ lub $\alpha = 0,375..0,625$ dla $\pm 1g$, co w przypadku budowy kwadrantu bardziej nas interesuje. W powyższych zależnościach $\alpha = T_1 / T_2$ (współczynnik wypełnienia).

Układy ADXL202/ADXL210 mają wejście ST (self-test), umożliwiające samokontrolę. Jeśli wejście to dołączy się do napięcia zasilającego, to wewnątrz układu jest wymuszana pewna siła elek-

trostatyczna, symulująca przyspieszenie. Typowo powoduje ona 10-procentową zmianę współczynnika wypełnienia przebiegu wyjściowego, odpowiadającą przyspieszeniu 10 mg.

Opis konstrukcji kwadrantu

Zanim przedstawię opis części elektronicznej, niestety konieczny będzie jeszcze jeden łęk teorii. Na **rys. 3** przedstawiony jest nasz przyrząd w trzech różnych położeniach względem poziomu. Załóżmy, że czujnik Y reaguje na składową przyspieszenia prostopadłą do jego dłuższego boku. W położeniu „a” zmierzy więc przyspieszenie ziemskie (g), w położeniu „b” i „c” będzie to składowa a_y . Ta wiedza wystarczy nam do określenia kąta przechyłu ϕ . Jak widać niezbędne będzie tu zastosowanie funkcji trygonometrycznych (no proszę, jednak na coś się przydadzą). Interesująca nas zależność to:

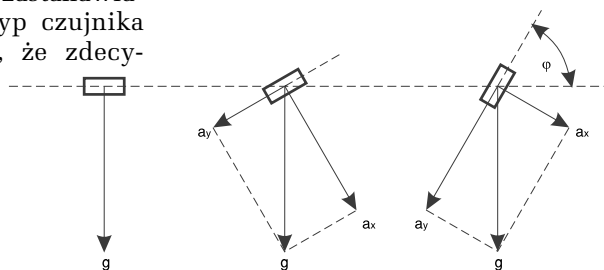
$$\phi = \arccos(a_y / g)$$

Niestety tak skonstruowany przyrząd będzie miał bardzo nieprzyjemną właściwość, wynikającą zresztą z zasady działania czujnika. Otóż wraz ze wzrostem kąta, czujnik będzie mierzył coraz mniejsze wartości. W okolicach 90° prawidłowy odczyt będzie już praktycznie niemożliwy, gdyż sygnał odpowiadający składowej a_y staje się porównywalny z szumami układu. Katalogowa rozdzielczość ADXL202 jest równa 5mg, co przekłada się na rozdzielczość kątową równą ok. 0,3°. Na szczęście jednak, do wyeliminowania tej niedogodności można wykorzystać przecież drugi sensor umieszczony prostopadle względem pierwszego. Tak więc w zakresie od 0° do 45° dane będą odczytywane z wyjścia Y_{OUT} , a od 45° do 90° z wyjścia X_{OUT} .

Przed przystąpieniem do opracowania konstrukcji zastanawiałem się, jaki wybrać typ czujnika przyspieszenia. O tym, że zdecydowałem się na układ ADXL202 nie przesądziła jego dwuwymiarowość, bo początkowo nie zdawałem sobie sprawy z problemów opisanych wyżej. Zachęciła mnie

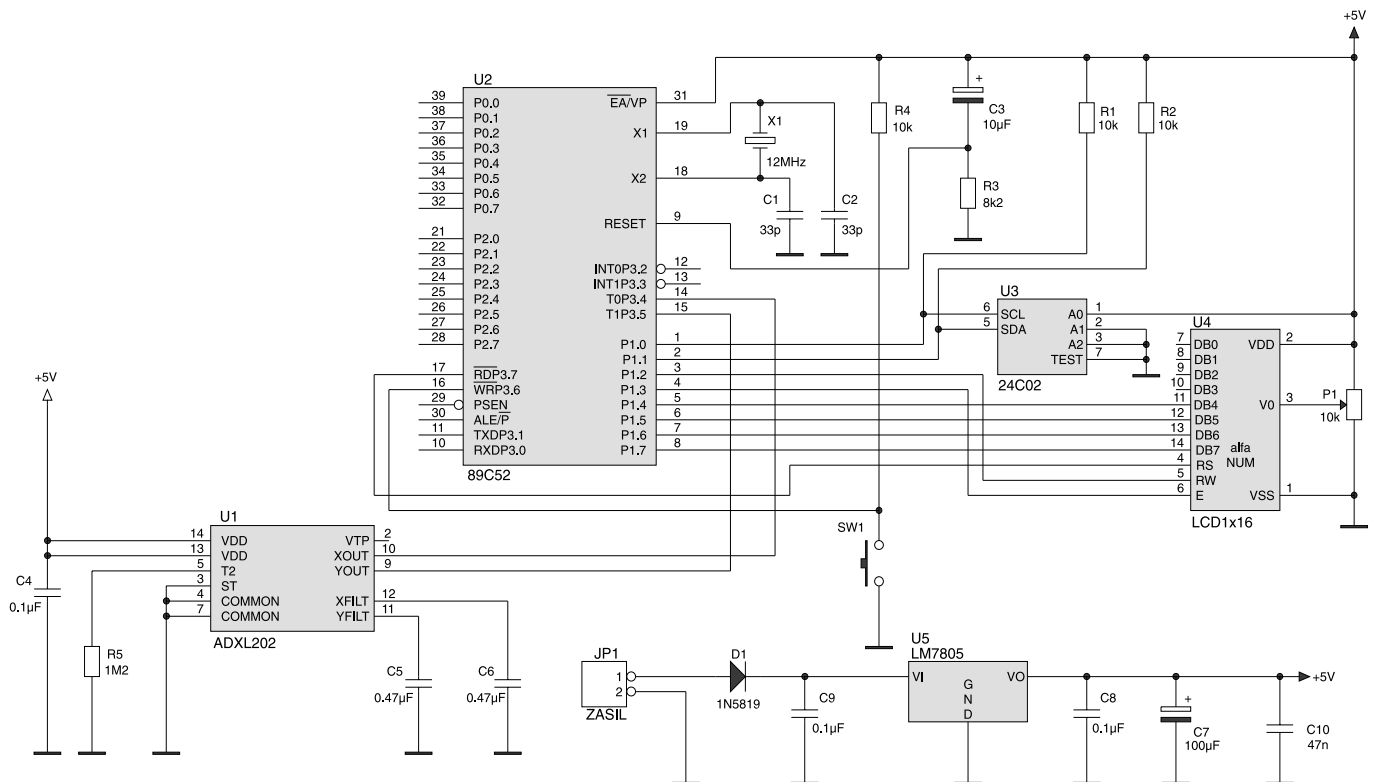
raczej możliwość wykorzystania wyjść cyfrowych X_{OUT} lub Y_{OUT} oraz moje przywiązanie do mikrokontrolerów rodziny '51. Na ogół prostsze ich wersje nie posiadają przetworników AC, a więc wyjścia cyfrowe przetworników dawały nadzieję na proste rozwiązanie układowe.

Schemat ideowy kwadrantu jest przedstawiony na **rys. 4**. Jak widać, jego układ jest dosyć prosty. Czujnik przyspieszenia pracuje w swojej typowej aplikacji. Sygnały z wyjść X_{OUT} i Y_{OUT} są podawane na wejścia P3.4 i P3.5, ustawione jako porty wejściowe. Kondensator C4 ma za zadanie blokowanie napięcia zasilającego układu U1. Rezystor R5 ustala okres T2 przebiegu wyjściowego. Ze względu na dość statyczną pracę kwadrantu, jego oporność powinna wynosić 1,25M Ω , co da okres T2 równy 10ms (największa dopuszczalna wartość). W urządzeniu modelowym zastosowałem wartość 1,2M Ω (z szeregu). Kondensatory C5 i C6, o wartościach jak na schemacie, ustalają częstotliwość graniczną filtra na 10Hz, ograniczając tym samym do maksimum wpływ szumów na wynik pomiaru. Mikrokontroler U2 na podstawie pomiaru współczynnika wypełnienia przebiegów doprowadzonych do wejść P3.4 i P3.5 oblicza wartość przyspieszenia wskazywanego przez każdy z sensorów. Zgodnie z opisaną wyżej metodą, daje to możliwość obliczenia kąta nachylenia kwadrantu względem poziomu. Aby nie utrudniać sobie życia, oprogramowanie napisałem w języku C, w którym obliczenie funkcji arccos nie stanowi problemu. Zostało to okupione niestety kodem wynikowym sporej wielkości, który nie zmieścił się do małych Atmeli. Zadaniem mikrokontrolera jest jeszcze przekazanie wyniku do wyświetlacza. Czyni to za pomocą



Rys. 3. Osie czujnika.

Tab. 1. Dobór kondensatorów C_x i C_y dożądanego pasma.	
Pasma	Pojemność kondensatorów
10Hz	0,47 μ F
50Hz	0,10 μ F
100Hz	0,05 μ F
200Hz	0,027 μ F
500Hz	0,01 μ F
5kHz	0,001 μ F



Rys. 4. Schemat elektryczny kwadrantu.

4-przewodowej szyny danych i charakterystycznych dla typowego, alfanumerycznego wyświetlacza LCD linii: RS, RW i E. Potencjometr P1 służy do regulacji kontrastu. Aby w pełni wykorzystać inteligencję zaszytą w półprzewodnikowej strukturze mikrokontrolera, przewidziałem również możliwość jego komunikacji z operatorem za pomocą przycisku SW1 i wyświetlacza.

Pomiary kąta realizowane są w głównej pętli programu z okresem dobranym tak, aby wyświetlane wartości nie męczyły wzroku, ale w miarę możliwości nadążały za zmianami położenia kwadrantu. Jedno wskazanie składa się z uśrednionego wyniku 16 pomiarów przeprowadzonych jeden po drugim. W praktyce mogą wystąpić przypadki ustawiania położenia przyrządu bez możliwości spoglądania na wyświetlacz. Dlatego oprogramowanie umożliwia zatrzymanie wskazania. Dzieje się to po naciśnięciu przycisku SW1. W stanie zamrożenia wyniku na wyświetlaczu pojawia się napis „Nachylenie=...“; w normalnym trybie napis ten jest wyświetlany z małej litery. Tu jedna uwaga. Przycisk nie jest obsługiwany w przerwaniu. Zbyt krótkie jego

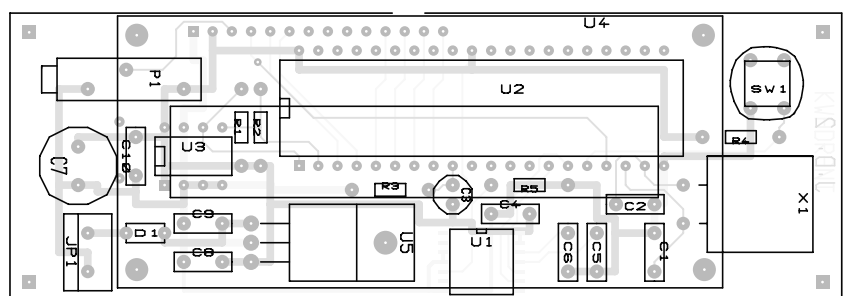
naciśnięcie może nie spowodować żadnej reakcji.

Na płytce znajduje się pamięć EEPROM typu 24C02 (24C04) - U3. Służy ona do przechowywania parametrów kalibracji układu. Dzięki temu czynność ta nie jest konieczna po każdorazowym wyłączeniu zasilania.

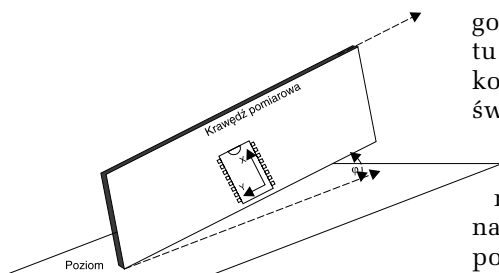
Montaż

Elementy kwadrantu są montowane na płytce dwustronnie drukowanej z metalizacją otworów (rys. 5). Montaż proponuję zacząć od stabilizatora wraz z przyległymi kondensatorami i diodą D1. Przed dalszymi pracami warto sprawdzić, czy po, choćby prowizorycznym, doprowadzeniu napięcia zasilającego 9V, na ścieżkach zasilania występuje napięcie 5V. Układ ADXL202 nie należy do

najtańszych. Jego uszkodzenie z powodu źle działającego stabilizatora byłoby bardzo bolesne. Jeśli wszystko jest w porządku, można lutować kolejne elementy. Na szczególną uwagę zasługuje sam czujnik przyspieszenia. Jak już wiadomo, jest on wykonany w obudowie do montażu powierzchniowego. Niezbędna więc będzie lutownica z cienkim grotem, w żadnym wypadku „transformatorówka“. Raster 1,27mm jest „do przejścia“ nawet dla początkujących, choć na pewno nie będzie to zadanie łatwe. W katalogach układ ten ma ostrzeżenie: „Warning! ESD sensitive device“. Wydaje mi się, że niestety miałem możliwość się o tym przekonać, choć nie bardzo w to wierzę, bo nigdy wcześniej nic podobnego mi się nie zdarzyło. Na wszelki



Rys. 5. Położenie kwadrantu podczas pracy.



Rys. 6. Zalecana orientacja czujnika.

wypadek nie radzę brania układu „gołymi rękami“.

Mikrokontroler U2 wkładamy do podstawki. Nóżki rezonatora kwarcowego należy wygiąć tak, aby można go było wlotować w pozycji leżącej. Trzeba zwrócić uwagę na to, by po zagięciu nie były zwierane przez obudowę. Wyświetlacz jest przykręcany do płytki za pomocą odpowiednich tulejek dystansowych, a jego wprowadzenia są wkładane do specjalnej łączówki. Zasilanie (np. z baterii 9 V) doprowadzamy za pomocą złącza ARK.

Uruchomienie i kalibracja

Prawidłowo zmontowany układ powinien zadziałać zaraz po zmontowaniu. Jeśli na wyświetlaczu nie będą widoczne żadne znaki, będzie to oznaczało najprawdopodobniej, że potencjometr połażony jest ustawiony w złym położeniu. Należy więc, za pomocą cienkiego śrubokrętu, doświadczalnie ustawić jego suwak w najlepszym położeniu. Ocenę przeprowadzamy „na oko“, patrząc na wyświetlacz. W trakcie pierwszego użycia wskazania kątów przez kwadrant z pewnością nas nie zadowolą. Jest to skutek rozrzutu parametrów układów ADXL202. Są one na tyle duże, że do prawidłowego korzystania z przyrządu niezbędna będzie jego kalibracja. Tu jednak istotna uwaga. Na rys. 6 przedstawiono uproszczony rysunek płytki. Widać na nim, jak są położone osie X i Y układu pomiarowego. Wynika z niego, że aby obie osie były „czynne“ podczas pracy, płytka kwadrantu powinna znajdować się w położeniu pionowym, przy czym dłuższa krawędź wyznacza nam mierzony kąt względem poziomu.

Wejście do trybu kalibracji odbywa się zaraz po włączeniu zasilania kwadrantu. Przed zakończeniem wyświetlania winietki należy nacisnąć przycisk i trzyma-

go aż do ukazania się komunikatu: „KALIBRACJA“. Następnie na kolejnych ekranach będzie wyświetlana krótka instrukcja, po czym komunikatem „Kalibracja...“ zostanie zasygnalizowana gotowość do wykonania tej czynności. Teraz należy pokazać pion każdemu z czujników zawartych w układzie ADXL202. Przekręcamy kwadrant o 360° kolejno wokół dłuższej, a następnie krótszej krawędzi. Trzeba się przy tym starać, aby nie wykonywać żadnych dodatkowych ruchów. Zostaną one przecięż również zarejestrowane i wpłyną na wynik końcowy. Najlepiej jest wykonywać tę czynność opierając kwadrant o blat stołu. Podczas kalibracji procesor odczytuje wskazania czujnika, obliczając w czasie rzeczywistym minimalną i maksymalną wartość współczynnika wypełnienia sygnału pomiarowego. Wartości te odpowiadają przyspieszeniom +g i -g, a więc położeniom pionowym do dołu i do góry. Na zakończenie obliczana jest wartość średnia z α_{\max} i α_{\min} odpowiadająca położeniu poziomemu. Dane te są zapisywane do pamięci nieulotnej. Metoda taka uwalnia użytkownika od problemów związanych z offsetem układu ADXL202. Przypomnę tylko, że chodzi tu o występowanie wartości współczynnika wypełnienia sygnału pomiarowego innego niż 1/2 dla przyspieszenia równego 0. Kalibrację kończy się naciskając przycisk. Kwadrant od razu przechodzi do pracy normalnej, tym razem już prawidłowo mierząc kąty. Jest jeszcze problem umocowania kwadrantu na lunecie, ale pozostawiam go do rozważania Czytelnikom.

Na koniec jeszcze kilka słów dotyczących astronomii - bądź co bądź, to właśnie ona zainspirowała mnie do skonstruowania tego przyrządu. Miesiąc, w którym ukaże się artykuł, według moich prognoz nie będzie tak ciekawy do obserwacji, jak to miało miejsce w okresie zimowym. Jeden z najpiękniejszych gwiazdozbiorów - Orion - w maju już jest praktycznie niewidoczny. Pojawia się wprawdzie Lew, ale to już nie jest to samo. Niemal całkowicie znikają planety naszego układu słonecznego, głównie te bliższe.

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

P1: 10k Ω wieloobrotowy potencjometr montażowy
R1, R2, R4: 10k Ω
R3: 8,2k Ω
R5: 1,2M Ω

Kondensatory

C1, C2: 33pF
C3: 10 μ F/16V
C4, C8, C9: 0,1 μ F
C5, C6: 0,47 μ F
C7: 100 μ F/25V
C10: 47nF

Półprzewodniki

D1: 1N5819
U1: ADXL202JQC
U2: 89C52
U3: 24C02 (24C04)
U4: wyświetlacz LCD 1x16
U5: LM2940 lub LM7805

Różne

SW1: Przycisk miniaturowy
X1: rezonator kwarcowy 12MHz
Złącze: ARK2
Łączówka do baterii 9V
goldpin 1x14
złącze szufladowe 1x14

Na swój debiut w prognozowaniu zjawisk astronomicznych proponuję więc wycelowanie teleskopów 12 maja o godz. 0:00 w kierunku: azymut=267°, wysokość=32°. Powinien się tam znaleźć Księżyc, w niespełna 9. dniu swojego cyklu (trochę światła będzie dawał), w towarzystwie Regulusa i Algieba - chyba najśłyniejszej gwiazdy podwójnej na niebie - w gwiazdozbiórze Lwa. A więc bezchmurnych nocy!

Jarosław Doliński
jdolin@optimus.waw.pl

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/pcb.html> oraz na płycie CD-EP05/2000 w katalogu PCB.

Firmowe materiały dotyczące układu ADXL można znaleźć na stronie producenta: www.analog.com/pdf/ADXL202_10_b.pdf, oraz na płycie CD-EP5/2000 w katalogu \Noty katalogowe do projektów

Za udostępnienie lunety astronomicznej serdecznie dziękujemy warszawskiemu supermarketowi:

Media Markt