

# Joystick komputerowy dla osób niepełnosprawnych, część 2

## AVT-5007

*W drugiej, zarazem ostatniej części artykułu przedstawiamy opis programu sterującego joystickiem oraz uwagi związane z jego montażem mechanicznym i uruchomieniem.*



### Oprogramowanie

Program dla mikrokontrolera został napisany w języku C i skompilowany kompilatorem firmy ImageCraft, noszącym nazwę ICCAVR. W programie głównym można wyróżnić cztery bloki. W pierwszym następuje inicjalizacja procesora, zaś trzy kolejne bloki stanowią główną pętlę programu. Dwa z nich są niemal identyczne i realizują odczyt sygnałów wyjściowych akcelerometrów. Natomiast w ostatnim następuje interpretacja trójfazowego przebiegu na wyjściu przetwornika UTI.

Inicjalizacja polega na właściwym skonfigurowaniu portów, timerów, przerwań i stosu oraz na nadaniu wartości początkowych niektórym zmiennym. Kolejnym zadaniem programu jest odczyt sygnałów z akcelerometrów. Wyjścia obu akcelerometrów są podłączone do wejść przerwań zewnętrznych INT0 (6-U1) i INT1 (7-U1). Najpierw jest ustawiane wejście INT0 jako czułe na zbocze opadające i wykonywanie programu zostaje wstrzymane instrukcją SLEEP. Gdy na wejściu pojawi się takie zbocze, procesor budzi się i przechodzi do obsługi przerwania. Ta i wszystkie pozostałe procedury obsługi przerwań są puste. Dzięki temu procesor szybko wraca do programu głównego. Teraz jest uruchamiany wewnętrzny, 16-bitowy *Timer1*. Wejście INT0 uczulane jest na zbocze narastające i procesor jest ponownie usypiany. Zbocze kończące impuls z akcelerometru „budzi” procesor, który zatrzymuje *Timer1* i zapamiętuje jego

zawartość. W ten sposób mierzony jest czas trwania ujemnego impulsu na wyjściu oznaczonym przez producenta jako OUTX (10-U2). W naszym układzie jest to akurat wyjście sygnału zależnego od pochylania akcelerometru do przodu i do tyłu.

Taki sam cykl powtarza się dla wyjścia OUTY (9-U2) podłączonego do wejścia INT1. Różnica jest tylko taka, że mierzony jest czas trwania impulsu dodatniego.

Odchylenie czujnika od poziomu w jedną lub drugą stronę o 30 stopni powoduje zmianę wartości przyspieszenia od -0,5g do +0,5g. Sumaryczna zmiana przyspieszenia o 1g powoduje zmianę współczynnika wypełnienia sygnału wyjściowego o 12,5%. Przy okresie ustalonym na 10,4ms, moment zmiany stanu na wyjściu akcelerometru zmieni się o ±650µs. Oznacza to, że zawartość timera taktowanego sygnałem o częstotliwości 3,579545MHz zmieni się od -2327 do +2326 impulsów w stosunku do wartości odniesienia. Te liczby musimy jeszcze przeskalować na zakres -128..+127 i przesunąć do wartości 0..255. W praktyce okazało się, że niezbędna jest zmiana charakterystyki czułości w funkcji kąta wychylenia. W pobliżu pozycji spoczynkowej czułość musi być niewielka, natomiast w miarę odchylenia joysticka od poziomu czułość powinna gwałtownie wzrastać.

Tak przetworzony wynik pomiaru należy przesłać do potencjometru. Transmisja odbywa się szeregowo. Najpierw procesor uaktywnia bloki sterujące U4, ustawiając niski poziom na wyjściu PD4 (8-U1), które jest połączone z wejściem /CS (7-U4). Następnie wystawia kolejne bity przesyłanego słowa na pin PD0 (2-U1) połączony z wejściem SDI (8-U4). Po wystawieniu każdego bitu, procesor ustawia i następnie kasuje

wyjście PD1 (3-U1). Narastające zbocze tego impulsu, pojawiające się na wejściu zegarowym CLK (9-U4), powoduje zapis kolejnego bitu do rejestru szeregowego układu U4. Po przesłaniu dziesiątego bitu linia PD4-/CS jest ustawiana, a osiem młodszych bitów trafia do jednego z dwóch rejestrów pamiętających ustawienie suwaków potencjometrów. O tym, do którego potencjometru zostanie zapisana nowa wartość decydują dwa najstarsze bity słowa. Adres „00” wskazuje RDAC#1 (12, 13, 14-U4), podczas gdy „01” oznacza RDAC#2 (2, 3, 4-U4).

Nieco bardziej rozbudowany jest podprogram odczytujący przebieg wyjściowy z przetwornika UTI. W tym przebiegu można wyróżnić trzy fazy. Jego kształt ilustruje rys. 5, a fragment programu realizujący pomiar można prześledzić na list. 1. Pierwsza faza, oznaczona jako *Toff*, wskazuje offset toru pomiarowego. Dla wyróżnienia składa się ona z dwóch impulsów o identycznym okresie. W drugiej fazie - *Tab* - jest mierzone napięcie zasilające czujnik. Ostatnia, trzecia faza określa napięcie niezrównoważenia mostka pomiarowego i jest oznaczona jako *Tcd*.

Ze względu na ściśle czasowy charakter przebiegu, tutaj również wykorzystałem timer T1 z tym, że licznik zlicza impulsy bez zatrzymywania. Wyjście przetwornika UTI jest połączone z wyprowadzeniem procesora o nazwie ICP - *Input Capture Pin* (11-U1). Przy odpowiednim skonfigurowaniu tego wejścia, każde pojawiające się na nim narastające zbocze powoduje wygenerowanie przerwania i równoczesne przepisanie aktualnej zawartości licznika T1 do specjalnego rejestru ICR. Poprzednia zawartość licznika jest odejmowana od aktualnej i ta różnica jest cyklicznie zapisywana do 4-elementowego bufora. Po każdym

List.1. Podprogram pomiaru ciśnienia.

```

/***** Pomiar ciśnienia *****/
do
{
  TCCR1B = 0x41; /* capture przy 0->1, CK */
  TIFR = 0x08; /* ICF1: zeruj */
  TIMSK = 0x08; /* TICIE1: włącz */
  asm("SLEEP"); /* czekaj 0->1 na ICP */
  asm("NOP");
  TIMSK = 0x00; /* TICIE1: wyłącz */
  stop = ICR1; /* zapamiętaj koniec impulsu */

  Toff1 = Toff2; /* Toff1 <- Toff2 */
  Toff2 = Tab; /* Toff2 <- Tab */
  Tab = Tcd; /* Tab <- Tcd */
  Tcd = stop - start; /* Tcd <- czas impulsu */
  start = stop; /* koniec tego to początek następnego */
}while( (Toff1 >= Tab) || /* powtarzaj */
        (Toff1 >= Tcd) || /* aż trafisz */
        (Toff2 >= Tab) || /* na początek */
        (Toff2 >= Tcd) ); /* ramki */
cisnienie = (Tcd-Toff1-Toff2)/(Tab-Toff1-Toff2);
if( cisnienie > (normP + DELTA) )
  SW1_ON; /* dmuchnięcie */
else
  SW1_OFF;

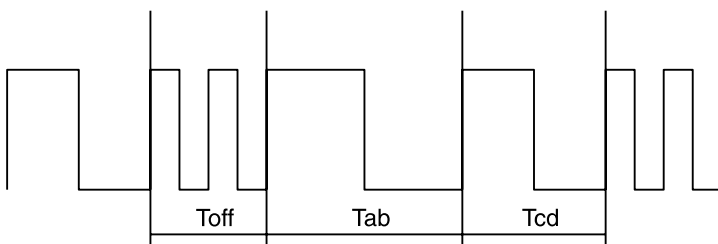
if( cisnienie < (normP - DELTA) )
  SW2_ON; /* zassanie */
else
  SW2_OFF;

```

przerwaniu procesor sprawdza czy pierwsze dwa elementy spełniają warunki nałożone na fazę *Toff*. Jeśli tak, procesor może obliczyć wartość ciśnienia ze wzoru:  $P = 1/32 * (Tcd - Toff) / (Tab - Toff)$ .

W naszym układzie nie jest ważna bezwzględna wartość ciśnienia. Wystarczy, jeśli będziemy sprawdzać czy nadciśnienie (lub podciśnienie) nie przekracza pewnej wartości. W tym celu procesor musi znać spoczynkową wartość (*normP*). Takí wzorcowy pomiar jest dokonywany podczas kalibracji, a wynik zostaje zapisany w pamięci nieulotnej. Przy kolejnych pomiarach aktualna wartość ciśnienia jest porównywana z wartością odniesienia. Jeśli obliczona wartość ciśnienia przekracza wartość minimalną, jest to interpretowane jako naciśnięcie pierwszego przycisku joysticka i procesor ustawia wyjście PD5. Jeśli natomiast w czujniku pojawi się podciśnienie o odpowiednio dużej wartości, program przyjmie, że naciśnięto drugi przycisk i mikrokontroler ustawi wyjście PBO.

Stan przycisku USTAW (W1) jest sprawdzany na końcu każdego obiegu głównej pętli programu. Jeśli procesor stwierdzi zwarcie styków, zapisuje aktualną wartość ciśnienia i przyspieszeń w obu osiach do pamięci nieulotnej. Wykonywanie programu zostaje wstrzymane do czasu zwolnienia przycisku. Gdy to nastąpi, procesor kontynuuje działanie z nową zawartością pamięci EEPROM. Za-



Rys. 5. Kształt przebiegu na wyjściu przetwornika UTI.

pamiętane w ten sposób wartości są wartościami odniesienia przy interpretowaniu następnych pomiarów.

## Montaż

Wszystkie podzespoły joysticka montujemy na dwustronnej płytce drukowanej, której mozaikę ścieżek można znaleźć na dołączonej płycie CD-EP lub na stronie internetowej EP w dziale PCB. Rozmieszczenie elementów na płytce pokazano na **rys. 6**.

Jako złącza Z1, Z2, Z3, Z45, Z6 i Z7 przewidziałem kołki lutownicze. Dopiero do nich są lutowane poszczególne przewody kabla połączeniowego. Dzięki temu podłączanie jest łatwe, a w przypadku uszkodzenia kabla w czasie eksploatacji, jego wymiana jest bardzo ułatwiona. Montaż joysticka proponuję zacząć od ostrożnego wbicia i wlutowania tych sześciu szpilek w płytkę drukowaną.

Następnie montujemy elementy w kolejności od najniższych do najwyższych. Proponuję wstrzymać się chwilowo z montażem kondensatorów C6 i C7, czujnika S1 i podstawki pod układ U3, gdyż będą one przeszkadzać przy lutowaniu czujnika U2. Element ten jest w obudowie do montażu powierzchniowego, dlatego trzeba mu poświęcić trochę więcej uwagi. Oczywiście najlepsza byłaby lutownica na gorące powietrze i pasta lutownicza. W amatorskich warunkach wystarczająco dobre rezultaty można osiągnąć stosując cynę w postaci wielordzeniowego drutu o średnicy 1mm lub mniejszej i lutownicę wyposażoną w ostro zakończony grot.

Lutujemy najpierw jeden pin i dokładnie pozycjonujemy układ. Następnie lutujemy przeciwległe wyprowadzenie i ponownie sprawdzamy czy końcówki leżą dokładnie na pocynowanych plackach miedzi. Jeśli tak jest, lutujemy pozostałe piny używając przy tym jak najmniejszej ilości cyny.

Wiemy, że podczas pracy z układami scalonymi należy stosować środki ostrożności zapobiegające powstawaniu ładunków elektryczności statycznej. W praktyce różnie z tym bywa. Chciałbym ostrzec, że układy ADXL202 są wrażliwe na elektryczność sta-

tyczną. Dlatego należy stosować uziemioną lutownicę i przewodzącą opaskę na rękę, połączoną z „ziemią“ przez rezystor 1MΩ.

W czujniku ciśnienia S1 ostrożnie zaginamy wyprowadzenia w odległości około jednego milimetra od obudowy. Końcówka numer jeden jest półkuliście nacięta, dlatego nie powinno być problemów z jej identyfikacją. Przykręcamy obudowę czujnika dwoma śrubkami  $\phi 3$  i dopiero teraz wyprowadzenia tak unieruchomionego czujnika lutujemy do płytki.

Na koniec montujemy pozostałe brakujące elementy pamiętając, że pod procesor U1, przetwornik U3 i potencjometr cyfrowy U4 należy zamontować podstawki.

Teraz pozostało nam już tylko wykonać blaszkę z dwoma otworami o średnicy 3mm odległymi od siebie o 7,5mm. W dwa otwory w płytce drukowanej, które znajdują się między złączami Z1 i Z8, wkładamy śrubki  $\phi 3$ . Pomiedzy śrubkami umieszczamy przewód połączeniowy, na wierzch zakładamy blaszkę i całość dokręcamy dwoma nakrętkami. Takie rozwiązanie skutecznie zabezpieczy przewód przed wyrwaniem.

Jeśli złącza śrubowe Z8 i Z9 wlutowujemy w taki sposób, aby kabel wchodził do nich od środka płytki, to razem z kablem łączącym joystick i komputer będziemy mogli docisnąć przewody dodatkowych przycisków.

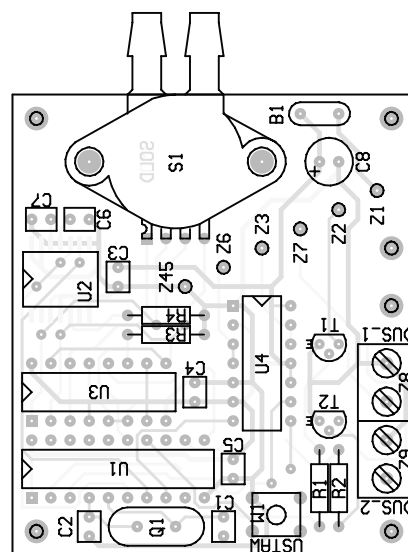
Sześć przewodów kabla połączeniowego lutujemy do kołków lutowniczych na płytce drukowanej. Z drugiego końca kabla przewód dołączony do kołka Z1 łączymy z igłą nr 1 wtyku DB15, przewód Z2 z igłą nr 2 i tak dalej. Między igłami 4 i 5 wykonujemy we wtyku mostek, który łączymy z przewodem przylutowanym do kołka Z45.

## Uruchomienie i kalibracja

Najpierw powinniśmy sprawdzić kabel łączący nasz joystick z komputerem. Wszelkie błędy w połączeniach lub zwarcia między żyłami uniemożliwią uruchomienie joysticka. Niestaranne wykonanie połączeń lub pozostawienie wtyku DB15 bez obudowy unieruchamiającej kabel, może mieć w przyszłości przykre na-

stępstwa dla naszego komputera.

Uruchomienie jak zawsze rozpoczynamy od sprawdzenia poprawności montażu podzespołów na płytce drukowanej. Jeśli nie ma zwarców między polami lutowniczymi i elementy wydają się być obsadzone poprawnie, wyciągamy z podstawek wszystkie układy scalone i podłączamy zasilanie (masę do igły numer 4 wtyku DB15, a +5V do igły nr 1). Przy pierwszym włączeniu najbezpieczniej będzie skorzystać z zasilacza stabilizowanego. Teraz sprawdzamy obecność i polaryzację napięcia zasilającego, np. między wyprowadzeniami GND (10-U1) i VCC (20-U1). Jeśli wyniki pomiarów są zgodne z oczekiwaniami, wyłączamy zasilanie i wkładamy do podstawek procesor, przetwornik oraz potencjometry i ponownie włączamy zasilacz. Jeśli i teraz napięcie zasilające i pobór prądu są w normie ( $5V \pm 5\%$ , ok. 10mA), podłączamy omomierz między wyprowadzenia W1(12-U4) i B1(14-U4) potencjometru cyfrowego. Przechylając płytkę drukowaną na boki powinniśmy obserwować zmianę rezystancji od prawie zera (przy przechyleniu w lewo) do 70..130kΩ (przy przechyleniu w prawo). Analogicznie, jeśli podłączymy miernik do pinów W2(4-U4) i B2(2-U4), a następnie przechylimy płytkę do przodu, omomierz powinien wskazać prawie zwarcie. Przechylenie w przeciwnym kierunku powinno spowodować wzrost re-



Rys. 6. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej.

zystancji do wartości maksymalnej. Tak przetestowany joystick możemy podłączyć do złącza game portu. Pamiętajmy przy tym, że tego typu czynności zawsze wykonujemy przy wyłączonym komputerze.

Teraz dopiero przeprowadzamy kalibrację akcelerometrów i czujnika ciśnienia. W tym celu włączamy komputer, płytke drukowaną kładziemy poziomo, upewniamy się, że nikt nie dmucha w rurkę czujnika i naciskamy na chwilę przycisk USTAW (W1). Wynik kalibracji jest zapisywany w pamięci nieulotnej, dlatego wystarczy wykonać ją tylko raz.

Od tego momentu joystick jest gotowy do ponownej kalibracji. Czynność ta jest niezbędna za każdym razem, gdy podłączamy do komputera nowy kontroler gier. Wytrawni gracze zapewne znają tę procedurę, a dla początkujących pokrótce ją opiszę. W systemie operacyjnym Windows 9x wygląda ona następująco:

1. *Start -> Ustawienia -> Panel sterowania -> Kontrolery gry*

2. *Dodaj -> „2-osiowy joystick z dwoma przyciskami“*

3. *Właściwości -> Kalibruj -> dalej postępujemy zgodnie z pojawiającymi się poleceniami.*

4. Na koniec sprawdzamy działanie joysticka otwierając zakładkę *Testuj*.

### Konstrukcja mechaniczna

Zmontowaną i uruchomioną płytkę z elementami należy zamknąć w niewielkiej obudowie z tworzywa sztucznego. Z obudowy powinny wystawać oba króćce czujnika ciśnienia. Rurkę podłączamy do tego, który znajduje się bliżej płytki drukowanej.

Joystick został zaprojektowany do sterowania głową, dlatego jako „element mocujący“ dobrze jest wykorzystać czapkę bejsbolówkę założoną daszkiem do tyłu. W niektórych przypadkach można wykorzystać rękawiczkę i wówczas sterujemy niewielkimi przechyłami dłoni. Na górze czapki lub rękawiczki należy przyszyć rzepy. Drugą część rzepów przyklejamy do spodu obudowy joysticka.

W daszku czapki można wykonać kilka otworów. Część z nich posłuży do zamocowania kabla połączeniowego do komputera. Do pozostałych zamocujemy pałąk z dość twardego drutu. Pałąk przechodzi koło ucha i kończy się na wysokości ust spłaszczonym oczkiem. W to oczko będzie wciśnięty ustnik, który wykonamy ze zbiorniczka kroplówki. Podgrzany w gorącej wodzie zbiorniczek musimy spłaszczyć w połowie wysokości i gwałtownie schłodzić zanurzając w zimnej wodzie. Po odcięciu górnej pokrywy powstanie całkiem zgrabny ustnik. Z drugiej strony zbiorniczka wychodzi wężyk (skrócony do niezbędnej długości) idealnie pasujący do czujnika ciśnienia.

Czujnik ciśnienia jest w dużym stopniu odporny na działanie wilgoci. Mimo to ustnik i rurkę po umyciu należy każdorazowo przedmuchać i dokładnie osuszyć.

Joystick może służyć nie tylko osobom niepełnosprawnym. Jeśli do górnej ścianki obudowy przy mocujemy pionowy uchwyt, z po-

wodzeniem będą mogli z niego korzystać osoby sprawne fizycznie. W modelu wykorzystałem do tego nakładkę na kierownicę rowerową. Taka rączka jest pusta w środku, dzięki czemu łatwo było w niej zmieścić dwa wyłączniki monostabilne. Jeden z nich ma klawisz skierowany ku górze i ten obsługujemy kciukiem. Drugi przycisk jest skierowany do przodu i znajduje się dokładnie na wysokości palca wskazującego. Otwory w uchwycie wyciąłem skalpelem, a przełączniki po osadzeniu zabezpieczyłem klejem. Tak przygotowaną rączkę wkleiłem we wcześniej wykonany otwór w górnej ściance obudowy. Przez ten sam otwór przechodzą przewody od wyłączników. Górny przycisk jest podłączony do złącza Z9. Przycisk obsługiwany palcem wskazującym jest podłączony do złącza Z8.

### Możliwości adaptacji

Konstrukcja joysticka daje dość duże możliwości adaptacji do indywidualnych potrzeb.

Zacznijmy od czułości. Przez zmianę wartości rezystora R4 możemy wpływać na okres sygnału wyjściowego z akcelerometrów. Podnosząc jego wartość do 2MΩ uzyskujemy prawie dwukrotne zwiększenie czułości. Aby czułość zmniejszyć, wystarczy zmniejszyć rezystancję R4. Przy minimalnej dopuszczalnej rezystancji wynoszącej 125kΩ uzyskamy dziesięciokrotnie mniejszą czułość.

W modelu obsługa przycisków joysticka polega na dmuchaniu lub zasysaniu powietrza z rurki podłączonej do czujnika ciśnienia. Dmuchięcie odpowiada pierwszemu, a zassanie drugiemu przyciskowi. Działanie możemy w prosty sposób odwrócić podłączając rurkę do drugiego króćca czujnika.

**Tomasz Gumny, AVT**  
**tomasz.gumny@ep.com.pl**

*Dziękuję firmie ALFINE z Poznania za udostępnienie elementów firm Analog Devices i Bourns.*

*Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/maj01.htm> oraz na płycie CD-EP05/2001B w katalogu PCB.*