

Na prawach rękopisu

INSTYTUT CYBERNETYKI TECHNICZNEJ  
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ  
Raport serii PRE nr 55/04

## **Budowa prostego dalmierza ultradźwiękowego**

Mariusz Janiak

Słowa kluczowe: sonar, ultradźwięki, pomiar

Wrocław 2004

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Budowa dalmierza</b>	<b>2</b>
2.1	Obwód wyjściowy nadajnika . . . . .	2
2.2	Obwód wejściowy odbiornika . . . . .	2
2.3	Dalmierz – wersja 1 . . . . .	3
2.4	Dalmierz – wersja 2 . . . . .	4
2.5	Dalmierz – wersja 3 . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Obsługa dalmierza - oprogramowanie</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Podsumowanie</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Załącznik</b>	<b>8</b>

# 1 Wstęp

Potrzeba zbudowania prostego urządzenia do wykrywania przeszkód narodziła się wraz z ogłoszeniem przez Koło Naukowe Robotyków otwartych zawodów Mini-sumo robotów. Roboty te musiały być całkowicie autonomiczne, nie mogły być cięższe niż 500g oraz powinny mieścić się w skrzynce 10x10cm. Wymusiło to na konstruktorach aby zainstalowane na ich robotach czujniki były niewielkie i dość lekkie. Raczej nie można było sobie pozwolić na ich dublowanie, na rozwiązania tylko częściowo spełniające swoje zadanie. Warto podkreślić że urządzenie takie powinno być tanie i możliwe do realizacji skromnymi środkami technicznymi. Uwzględniając wszystkie te wskazania zaproponowałem budowę prostego dalmierza ultradźwiękowego wymagającego jedynie trzech, łatwo dostępnych, układów scalonych i niewielkiej ilości elementów dyskretnych. Miniaturyzację uzyskałem poprzez zastosowanie elementów wyłącznie w obudowach SMD. W toku prac powstało kilka, nieznacznie różniących się, wersji dalmierza, które postaram się dokładniej opisać w tej pracy.

## 2 Budowa dalmierza

Tak jak już wspomniałem powstały trzy wersje dalmierza ultradźwiękowego różniące się między sobą sposobem generowania fali nośnej oraz sposobem progowania sygnału wejściowego (odbitego echa). Kolejne wersje są próbą wyeliminowania słabych punktów układu, których nie przewidziano na etapie projektowym a które pojawiły się podczas uruchamiania urządzenia. Wszystkie zaproponowane układy posiadają identyczną część wyjściową nadajnika oraz część wejściową odbiornika.

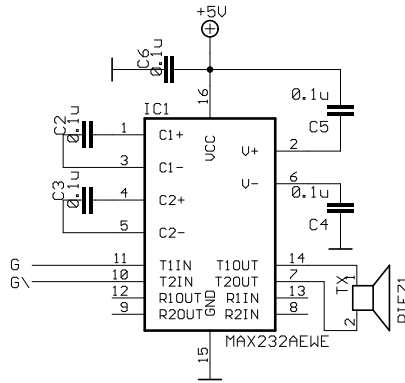
### 2.1 Obwód wyjściowy nadajnika

Obwód wejściowy nadajnika zbudowany jest na popularnym układzie MAX232 (rysunek 1). Jest to przetwornica pojemnościowa wykorzystywana do dopasowania napięć w torach transmisji szeregowej w standardzie RS232. W moim urządzeniu układ ten wykorzystywany jest do innych celów i pracuje w trochę nietypowy, jak dla niego sposób. Spowodowane jest to tym, że dalmierz ultradźwiękowy zasilany jest jedynie pojedynczym napięciem +5V przy którym przetwornik piezoelektryczny, będący źródłem ultradźwięków, nie działa poprawnie (wymaga około 20V). Zadaniem układu MAX232 jest podwyższenie napięcia do takiego, przy którym będzie możliwa poprawna praca przetwornika piezoelektrycznego. Przetwornica pracuje w układzie mostkowym, w którym przetwornik umieszczony jest pomiędzy dwoma kanałami wyjściowymi układu MAX232. Na jeden z kanałów podawany jest sygnał wprost z generatora  $G$ , na drugi sygnał zanegowany  $\overline{G}$ .

### 2.2 Obwód wejściowy odbiornika

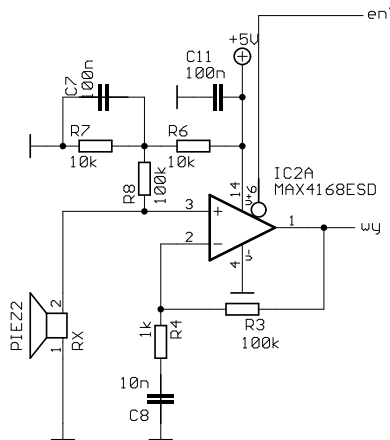
Obwód wejściowy odbiornika zbudowany jest w oparciu o układ MAX4168 (rysunek 2). Jest to precyzyjny, szybki wzmacniacz operacyjny z wejściami i wyjściami typu rail-to-rail, 5MHz polem wzmocnienia oraz trybem shutdown. Wzmacniacz pracuje w układzie nieodwracającym ze zmiennoprądowym sprzężeniem zwrotnym. Na wejście nieodwracające wzmacniacza podawany jest sygnał z czujnika ultradźwięków. Dodatkowo wejście to polaryzowane jest połową napięcia zasilania. Usunięcie składowej stałej sygnału zapewnia kondensator w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego. Wzmocnienie układu dla składowej zmiennej sygnału dobrane jest na poziomie około 100, teoretycznie można je zwiększyć do ok 125.

Stan niski na linii  $\overline{en}$  powoduje przejście wzmacniacza operacyjnego w tryb obniżonego poboru mocy



Rysunek 1: Schemat obwodu wyjściowego nadajnika

oraz ustawienie wyjścia w stan wysokiej impedancji. Taki sposób pracy wzmacniacza wykorzystanym do blokowania odbiornika podczas nadawania. Zwiększa to odporność na zakłócenie odbiornika przez własny nadajnik.



Rysunek 2: Schemat obwodu wyjściowego odbiornika

### 2.3 Dalmierz – wersja 1

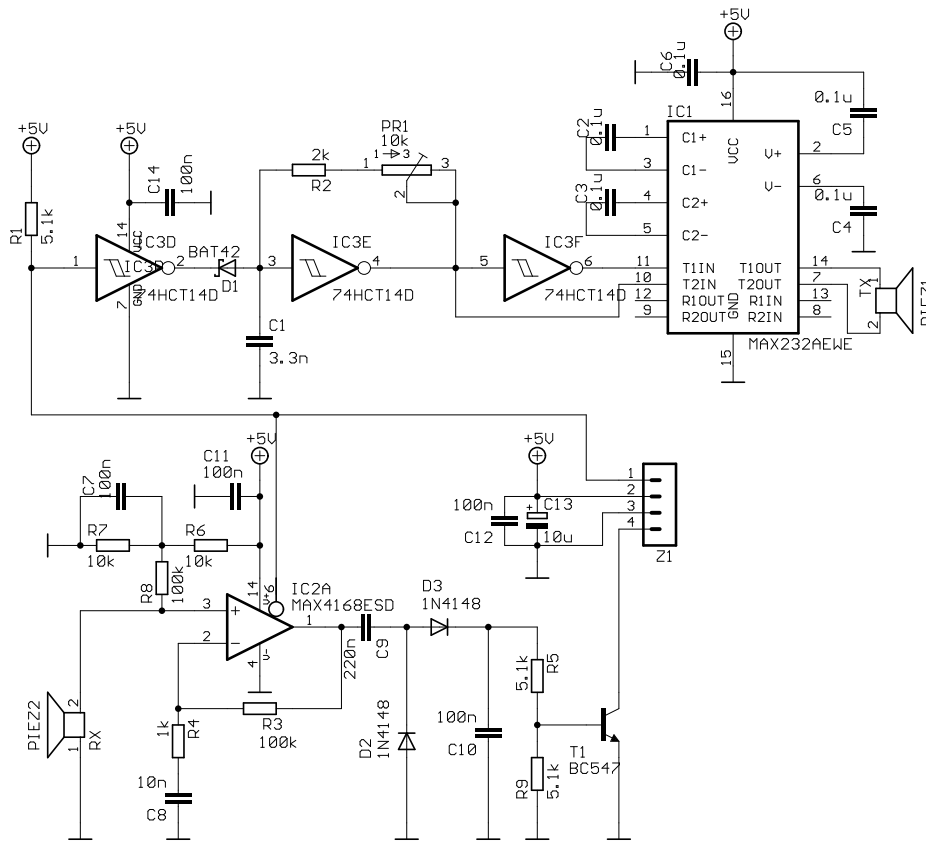
Układ przedstawiony na rysunku 3 powstał jako pierwszy i posłużył do zbadania zachowania się układu MAX232 w torze wyjściowego nadajnika.

Do generowania fali prostokątnej użyto prostego generatora RC zbudowanego w oparciu o jeden negator 74HCT14, bramkowany zewnętrznym sygnałem poprzez diodę Schottky’ego. Aby umożliwić precyzyjne dostrojenie się do częstotliwości 40kHz zastosowano wieloobrotowy potencjometr montażowy – helitrim. Tak zbudowany układ generował fale prostokątne o małej stałości częstotliwości w czasie oraz wypełnieniu różnym od 50%. W konsekwencji powodowało to znaczące pogorszenie emitowanego sygnału. Niestety kiedy powstawała ta wersja dalmierza nie dysponowaliśmy jeszcze rezonatorami kwarcowymi na częstotliwość 40kHz.

Stopień wyjściowy odbiornika składa się z detektora zbudowanego na elementach D2, D3, C10, R5,

R9 oraz tranzystora T1 pracującego w układzie otwartego kolektora. Dzięki zastosowaniu detektora uzyskujemy jeden długi impuls, zamiast paczki impulsów. Łatwiej jest wtedy zbudować urządzenie obsługujące taki dalmierz ponieważ wystarczy tylko wykrywać odpowiednie zbocza. Baza tranzystora zasilana jest z dzielnika R5, R9 stanowiącego jednocześnie obciążenie detektora.

Tak zaprojektowany układ został zbudowany i uruchomiony. Pomimo nienajlepszego obwodu generatora dalmierz posiadał dość znaczny zasięg dzięki dużej czułości odbiornika. Powodowało to jednak, że nadajnik zakłócał odbiornik. Wymusiło to odizolowanie części nadawczej od części odbiorczej lub zmniejszenie czułości a przez to zmniejszenie zasięgu dalmierza.



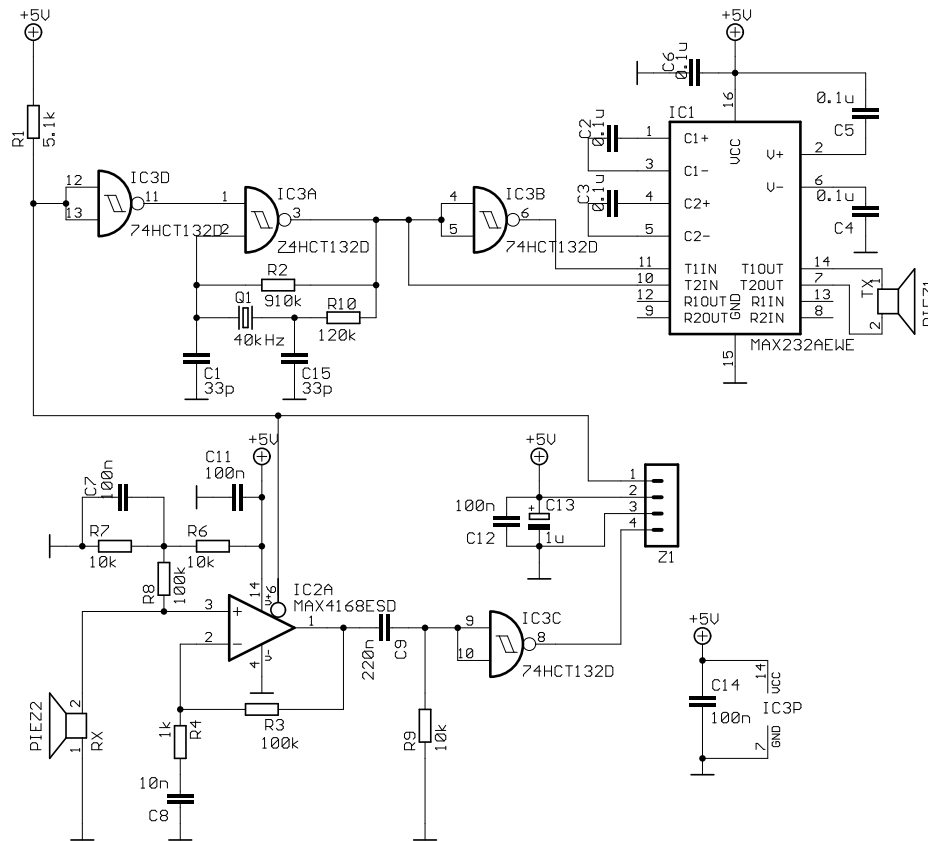
Rysunek 3: Schemat pierwszej wersji dalmierza ultradźwiękowego

## 2.4 Dalmierz – wersja 2

Schemat drugiej wersji dalmierza ultradźwiękowego można zobaczyć na rysunku 4. Po pierwsze zmianie uległ obwód generatora. Został zbudowany w oparciu o bramkę NAND 74HCT132 oraz rezonator kwarcowy. Zastosowanie rezonatora kwarcowego poprawiło znacznie stabilność generowanego sygnału oraz wyeliminowało potrzebę strojenia układu. Użycie bramki NAND zamiast NOT spowodowane było tym, że przy wcześniejszym sposobie bramkowania generator nie chciał się wzbudzać. Zastosowanie rezystora R2 ułatwia wzbudzenie się układu. Rezystor R10 wraz z kondensatorem C15 stanowi prosty filtr dolnoprzepustowy uniemożliwiający wzbudzenie się układu na wyższych częstotliwościach.

Po drugie zmianie uległ obwód wyjściowy odbiornika, został nieco uproszczony. Nie posiada ob-

wodu detektora dlatego przy odbiorze echa otrzymamy paczkę impulsów zamiast jednego dłuższego impulsu. Bramka IC3C pracuje tu w roli komparatora, progującego sygnał. Niestety nie mamy wpływu na dobór tego progu co jest istotną wadą. Co więcej każda bramka posiada nieco inne progi przełączania, rozrzut jest tutaj dość znaczny. Ponadto są one zależne od temperatury oraz napięcia zasilania. Zaletą takiego rozwiązania jest to, że sygnał z wyjścia bramki można podać bezpośrednio na wejścia cyfrowych układów pomiarowych. Nie trzeba stosować dodatkowych układów formujących zbocza sygnału wyjściowego. Takie rozwiązanie jest bardzo proste oraz łatwe w realizacji. Podczas testów okazało się że dalmierz posiada bardzo ograniczony zasięg dochodzący maksymalnie do 20cm. Takie wyniki nie były zadowalające. Czułość urządzenia pogarszała znaczna histeresa bramki Schmitta, na którą niestety nie mamy wpływu. Wydłużanie generowanego impulsu oraz zmiana wartości niektórych elementów nie dawała zadowalających rezultatów dlatego zdecydowałem się na zaprojektowanie trzeciej wersji dalmierza.



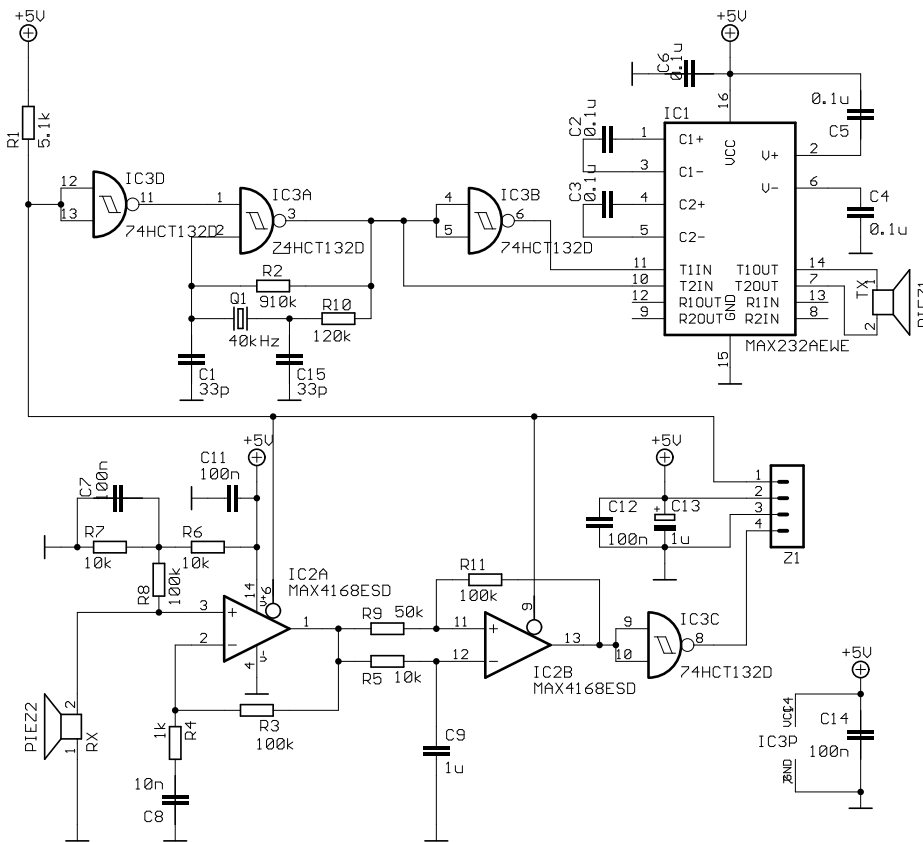
Rysunek 4: Schemat drugiej wersji dalmierza ultradźwiękowego

## 2.5 Dalmierz – wersja 3

W tej wersji poprawiony został tylko układ wyjściowy odbiornika. Schemat układu widać na rysunku 4. W roli komparatora użyłem drugiego, niewykorzystanego wzmacniacza operacyjnego z układu MAX4168. Zastosowałem tu rozwiązanie, w którym próg komparacji wyznacza wartość średnia sygnału podawanego na komparator. Na wejście nieodwracające układu IC2B podawany jest sygnał wprost z pierwszego wzmacniacza IC2A. Na drugie wejście – odwracające, podawany jest

ten sam sygnał po przejściu przez filtr uśredniający R5, C9. Czulość układu reguluje się za pomocą zmiany histerezy komparatora, która wyznaczają rezystory: R9, R11. Wyjście wzmacniacza IC2B połączone jest z wejściami bramki IC3C, której zadaniem jest poprawa stromości zboczy sygnału wyjściowego.

Dalmierz w takiej postaci spisywał się bardzo dobrze, zasięg wzrósł do ok 40cm, co było zadowalającym wynikiem. W każdej chwili można było zmienić czulość układu poprawiając przez to zasięg dalmierza. Niestety nie można zwiększać jej w nieskończoność. Od pewnego poziomu dają o sobie znać szumy uniemożliwiające przeprowadzenie poprawnych pomiarów.



Rysunek 5: Schemat trzeciej wersji dalmierza ultradźwiękowego

### 3 Obsługa dalmierza - oprogramowanie

Do obsługi dalmierza najlepiej wykorzystać zewnętrzny mikroprocesor. Sama obsługa jest wtedy bardzo prosta i wymaga jedynie od procesora zdolności odmierzenia czasu z odpowiednią precyzją, umiejętności przechwytywania zewnętrznych zdarzeń oraz sterowania zewnętrznym urządzeniem poprzez jedną linię portu. Tym wymaganiom bez problemu sprosta nawet najprostszy mikrokontroler. Algorytm obsługi dalmierza jest następujący:

- włącz nadajnik na pewien czas – stan niski,
- wystartuj licznik oraz zapamiętaj jego stan,

- czekaj na powrót echa – zboczne opadające,
- jeżeli wykryłeś echo, zapamiętaj aktualny stan licznika oraz wykonaj odpowiednie operacje matematyczne by wyliczyć dystans, powrót na początek,
- jeżeli nie wykryłeś echa, po czasie wynikającym z maksymalnego zasięgu dalmierza zainicjuj pomiar od nowa.

W załączniku (punkt 5) znajduje się fragment kodu napisanego w języku C na mikrokontroler MC68332 obrazujący sposób obsługi dalmierza ultradźwiękowego. Do obsługi dalmierza wykorzystano dwie popularne i proste w użyciu funkcje TPU:

- PWM – cyklicznie włącza nadajnik na czas wynikający z wypełnienia przebiegu,
- ITC – przy zboczu opadającym na wejściu wybranego kanału zapamiętuje aktualny stan licznika.

Pomiary wykonywane są cyklicznie w przerwaniach bez zbytejnego angażowania jednostki centralnej.

## 4 Podsumowanie

Budowa nawet tak prostego urządzenia jak proponowany przezemnie dalmierz ultradźwiękowy, nie była zadaniem łatwym, jak mogło się wydawać na samym początku. Podczas prac uruchomieniowych pojawiało się wiele nieprzewidzianych problemów, z którymi trzeba było sobie jakoś poradzić. Pewne rozwiązania okazywały się niestety ślepyimi uliczkami, z których trzeba było zrezygnować. W wyniku tego powstały aż trzy wersje dalmierza, które na pierwszy rzut oka nieznacznie się różnią. Jakościowo są to jednak różne rozwiązania dające znacząco odbiegające od siebie wyniki. Moim zdaniem, warty uwagi i polecenia w zastosowaniu w robocie sumo jest wariant pierwszy i trzeci. W wariacie pierwszym warto zmienić generator na kwarcowy i ewentualnie nieznacznie zmodyfikować stopień wyjściowy. W wariacie trzecim możnaby się pokusić o lepszy dobór wartości poszczególnych elementów. W zaproponowanej postaci układy te działają poprawnie i realizują postawione im zadanie w sposób zadowalający.



## 5 Załącznik

```
/******  
*  
* sonar.c  
*  
* Programik w C ilustrujący obsługę dalmierza ultradźwiękowego z  
* wykorzystaniem wbudowanych funkcji TPU: PWM i ITC.  
*  
* Używa LCD do wyświetlania wyników  
*  
* Mariusz Janiak, 2004  
*  
*****/  
  
#include <stdio.h>  
  
#include "qsm.h" /* definicje rejestrów QSM dla 68332 */  
#include "sim.h" /* definicje rejestrów SIM dla 68332 */  
#include "tpu.h" /* definicje rejestrów TPU dla 68332 */  
#include "Lcd.h" /* funkcje do obsługi wyświetlacza LCD*/  
  
#define RBASE 0x800000  
  
/*Makra dla PWM-a*/  
  
#define PWMCHAN 0 /* wybrany kanał TPU dla PWM */  
#define PWMFUN 9 /* kod funkcji PWM w masce A */  
#define PWM_PERIOD (32600) /* okres PWM-a*/  
#define PWM_HI (32000) /* wypełnienie*/  
#define PWM_LO (PWM_PERIOD-PWM_HI) /*stan niski*/  
  
/*Makra dla ITC-a*/  
  
#define ITC 1 /* kanał TPU dla ITC */  
#define ITCFUN 10 /* kod funkcji ITC w masce A */  
  
/*Makra dla TPU*/  
  
#define TI_LEVEL 5 /* poziom przerwania dla TPU*/  
#define TI_VECT 4 /* wektor przerwania TPU(cztery starsze bity)*/  
  
extern BYTE tpumska; /* obraz TPURAM dla maski A TPU */  
  
/*Zmienne globalne*/  
  
int start_time=0, end_time=0, flaga=0;  
  
/* procedura obsługi przerwania kanału TPU z funkcja ITC*/  
  
interrupt void int_ITC()  
{  
    ClrInt(ITC);  
    end_time = TPURAM(ITC,4);  
    flaga=1;  
}  
  
/* procedura obsługi przerwania kanału TPU z funkcja PWM*/
```

```

interrupt void int_PWM(){
    ClrInt(PWMCHAN);
    start_time = TPURAM(PWMCHAN,1) - PWM_LO;
    SetSer(ITC,1);          /* inicjalizacja kanału z funkcją ITC*/
}

main()
{
    int i;
    char buf[32];
    char * ptr;
    BYTE * tmaptr, * ramptr;

    /* Emulacja maski A TPU w RAM */

    *((WORD *)0xffffb04) = RBASE>>8;
    tmaptr = (BYTE *)& tpumska;
    ramptr = (BYTE *)RBASE;
    for(i=0;i<2048;i++) ramptr[i] = *tmaptr++;
    ramptr = tmaptr;

    TPUMCR = 0x1a4e|0x0400;      /* emulacja TPU */
    CPR[0] = 0;
    CPR[1] = 0;                  /* zatrzymanie wszystkich kanałów */

    /*Konfiguracja przerwan TPU */

    *((void (**) ()) (4*((TI_VECT<<4)+ITC))) = int_ITC;      /*ustawienie wektora*/
    *((void (**) ()) (4*((TI_VECT<<4)+PWMCHAN))) = int_PWM; /*ustawienie wektora*/

    TICR = (TI_LEVEL<<8)+(TI_VECT<<4); /* poziom i wektor przerwania TPU */

    TPURAM(PWMCHAN,0) = 0x92;      /* sterowanie kanału */
    TPURAM(PWMCHAN,2) = PWM_HI;    /* czas impulsu */
    TPURAM(PWMCHAN,3) = PWM_PERIOD; /* okres impulsu */

    SetFun(PWMCHAN,PWMFUN);        /* kod funkcji: PWM */
    SetSer(PWMCHAN,2);             /* zadanie: inicjacja */
    SetCpr(PWMCHAN,3);            /* priorytet: wysoki */
    EnInt(PWMCHAN);               /* zezwolenie na przerwanie od kanłu z
                                   funkcja PWM*/

    /*Konfiguracja ITC*/

    TPURAM(ITC,0) = 11;           /* wykrywanie zbocza opadajacego */
    TPURAM(ITC,1) = 0x010E;
    TPURAM(ITC,2) = 1;           /* tylko jeden impuls do zliczenia */
    TPURAM(ITC,3) = 0;           /* zerowanie licznika impulsów */

    SetFun(ITC,ITCFUN);          /* kod funkcji: ITC */
    SetSeq(ITC,0);               /* single shot, no links*/
    SetCpr(ITC,3);              /* priorytet: wysoki */
    EnInt(ITC);                 /* zezwolenie na przerwanie od kanlu z
                                   funkcja ITC*/

    Lcd_Init();                  /*inicjalizacja wyświetlacza */

    asm { ANDI #0xf8ff,SR
    }                             /* ustawienie poziomu przerwan na 0 */
}

```

```
Lcd_Cls();                               /*wyczyść wyświetlacz*/
Lcd_PutCtrl(ONOFF|DISP);                 /*wyłączony kursor i miganie*/
sprintf(buf,"Sonar (MJ)");
Lcd_PutText(buf);

while(1){
    if(flaga){
        flaga = 0;
        sprintf(buf,"Odleglosc: %u   ",end_time-start_time);
        Lcd_PutText(buf);
    }
}

/* koniec pliku sonar.c */
```

Mariusz Janiak  
Instytut Cybernetyki Technicznej  
Politechniki Wrocławskiej  
ul. Janiszewskiego 11/17  
50-372 Wrocław

Niniejszy raport otrzymują:

1. OINT ..... - 1 egz.  
3. Autorzy ..... - 4 egz.

Razem : 5 egz.

Raport wpłynął do redakcji I-6  
w listopadzie 2004 roku.