

INSTYTUT CYBERNETYKI TECHNICZNEJ
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
Raport serii PRE nr ?

**Budowa zestawu dalmierzy
ultradźwiękowych**

Mariusz Janiak
Marcin Gajos

Słowa kluczowe: sonar, ultradźwięki, mikroprocesor, pomiar.

Wrocław 2005

Spis treści

1	Wstęp	2
2	Koncepcja układu	2
3	Budowa układu	3
3.1	Sterownik	3
3.2	Dalmierz ultradźwiękowy	4
3.3	Linijki diodowe	6
3.4	Zasilanie	6
4	Oprogramowanie	7
5	Interfejs użytkownika	10
6	Podsumowanie	11

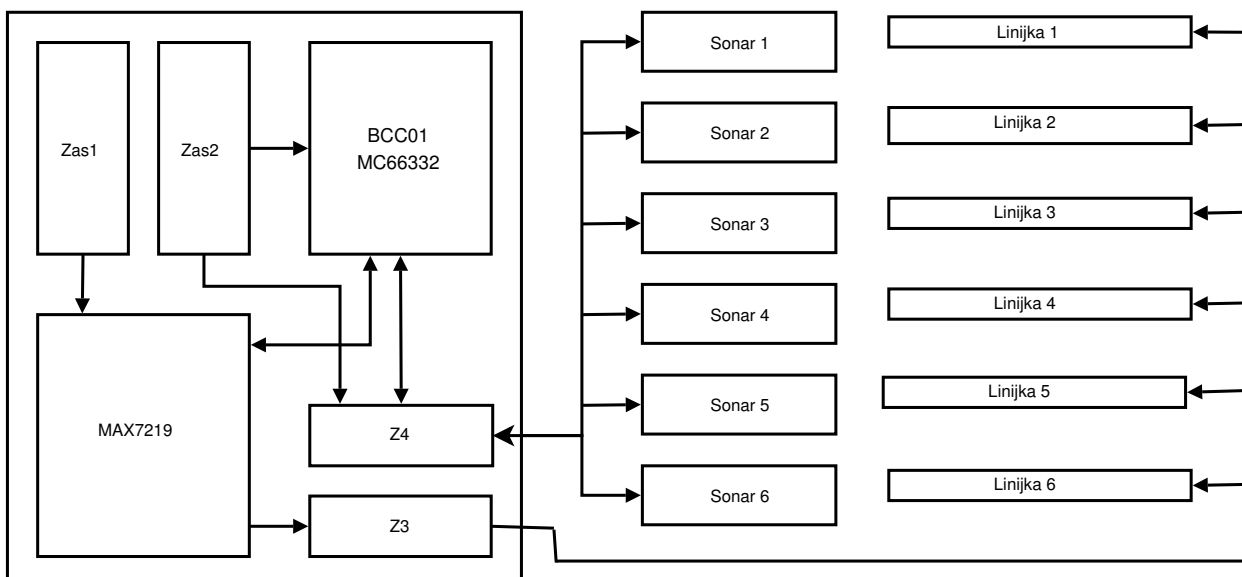
1 Wstęp

Celem projektu było zbudowanie stanowiska z zestawem sześciu dalmierzy ultradźwiękowych, na którym w prosty sposób będzie można przedstawić idee pomiaru z wykorzystaniem ultradźwięków. Do wizualizowania wyników pomiarów miała zostać wykorzystana linijka diodowa. Urządzenie miało zapewniać możliwość :

- włączania/wyłączania dowolnego dalmierza,
- ustalania dolnego i górnego zakresu pomiarowego dla dowolnego kanału,
- odwracania zakresu pomiarowego.

Komunikacja z urządzeniem miała odbywać się poprzez port szeregowy i prosty terminal znakowy. W toku prac dodano możliwość filtrowania (filtr medianowy) danych pomiarowych w dowolnym kanale.

2 Koncepcja układu



Rysunek 1: Schemat blokowy urządzenia

Schemat blokowy urządzenia przedstawiony jest na rysunku 1. Widać na nim główne elementy składowe systemu oraz połączenia między nimi. Sercem urządzenia jest płytkę na której znajduje się:

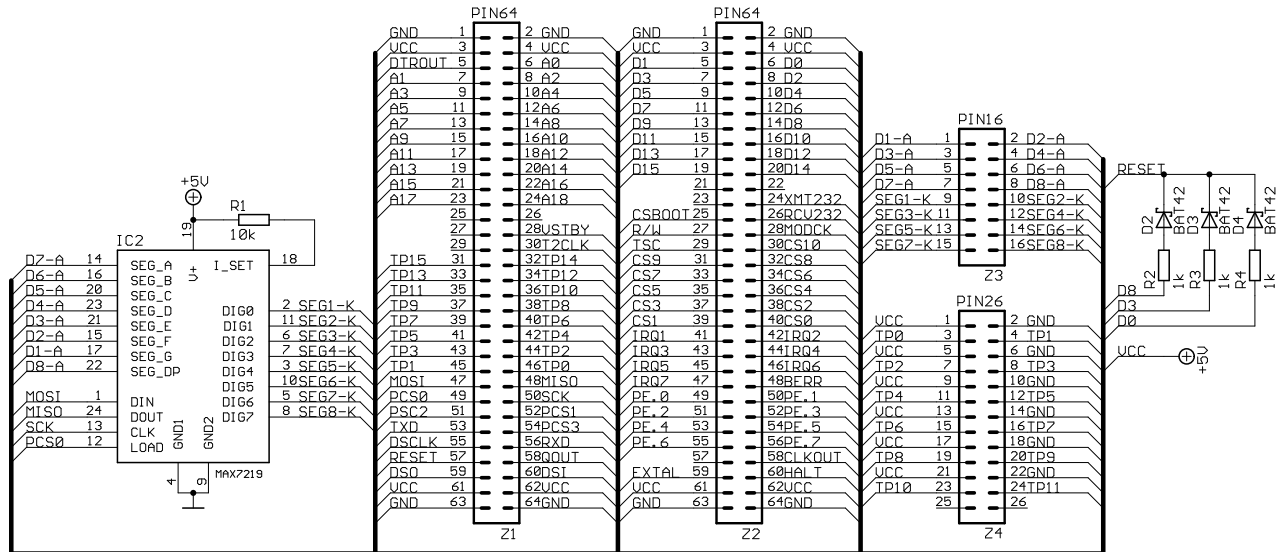
- moduł BCC01 z mikrokontrolerem MC68332 firmy MOTOROLA, 128kB pamięci RAM, 128kB pamięci FLASH,
- układ MAX7219 będący sterownikiem 60 diod led,
- zasilacz wskaźników diodowych *zas1*,
- główny zasilacz układu *zas2*,

- złącze Z3 służące do podłączenia linijek diodowych,
- złącze Z4 służące do podłączenia zestawu dalmierzy.

W skład systemu dodatkowo wchodzi zestaw sześciu linijek diodowych oraz zestaw sześciu identycznych dalmierzy ultradźwiękowych.

3 Budowa układu

3.1 Sterownik



Rysunek 2: Schemat sterownika

Schemat sterownika widać na rysunku 2. Złącza Z1 i Z2 służą do podłączenia modułu BCC01, który jest sercem układu. Moduł ten zawiera:

- mikrokontroler 68332 wykonany w technologii HCMOS:
 - jednostka centralna CPU32 - 32-bitowy procesor niewielkim poborze mocy, wykorzystujący do generacji zegara ogólnie dostępny, zewnętrzny oscylator kwarcowy 32768Hz,
 - mikroprogramowalny timer TPU (ang. *Time Processing Unit*) zawierający 16 niezależnych kanałów, które mogą pracować w wielu trybach (w tym również zdefiniowanych przez użytkownika).
 - dwa podsystemy komunikacji szeregowej - rozszerzony interfejs komunikacji SCI (ang. *Serial Communication Interface*) będący uniwersalnym asynchronicznym nadajnik/odbiorcą transmisji oraz rozszerzony, szeregowy, peryferyjny interfejs kolejkowy do komunikacji synchronicznej z urządzeniami wejścia/wyjścia QSPI (ang. *Queued Serial Peripheral Interface*),
 - 2kB pamięci statycznej RAM, która może być wykorzystana do współpracy z CPU lub jako pamięć mikrokodu dla TPU w przypadku tworzenia własnych funkcji czasowych.

- programowalny układ dekodera adresów umożliwiający wybór do 12 urządzeń zewnętrznych lub pamięci bez jakichkolwiek dodatkowych układów,
- wymienne pamięci RAM i ROM (do 1MB) zestawiane z typowych układów o organizacji bajtowej ($X \cdot 8$ bitów), które można odłączyć odpowiednimi zworkami,
- układ transmisji szeregowej RS232C wykorzystujący SCI i translator poziomów napięć - układ MAX232A,
- zwory służące konfiguracji sprzętowej,
- złącze wbudowanego emulatora BDM (ang. *Background Debug Mode*),
- standardowe złącza.

Obwód złożony z diod D2, D3, D4 oraz rezystorów R2, R3 i R4 służy do wstępnego skonfigurowania procesora po resecie systemu, i tak:

- D2, R2 - aktywny port E procesora,
- D3, R3 - aktywny ADDR19,
- D4, R4 - \overline{CSBOOT} 8-bitowy.

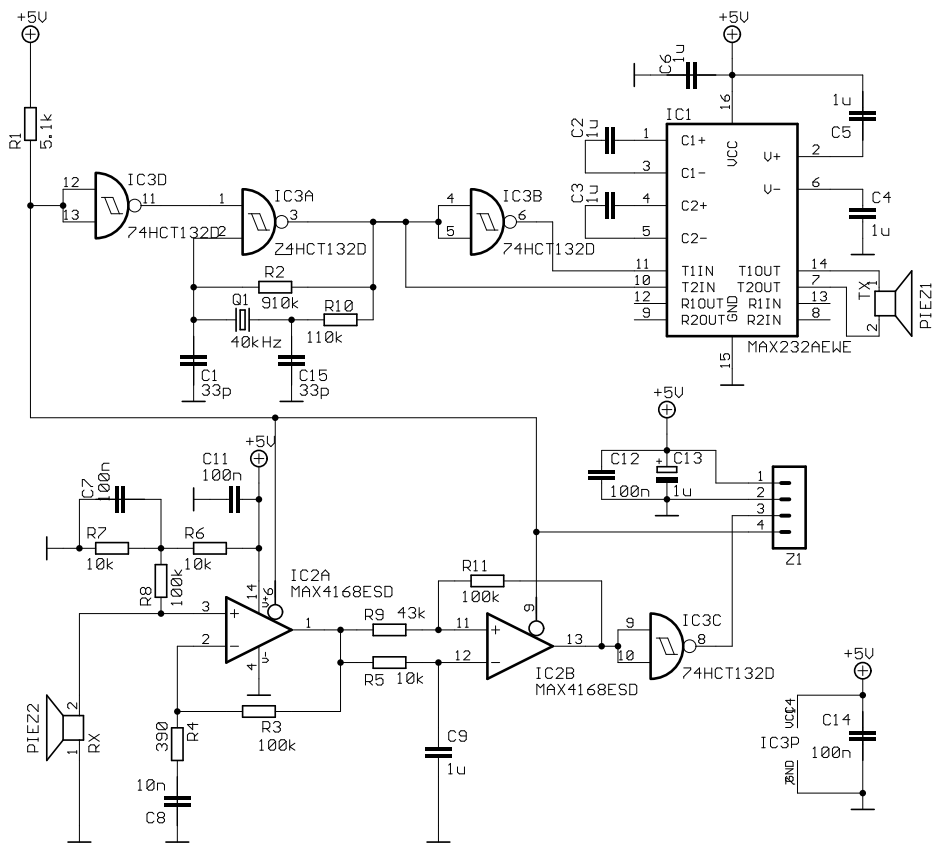
Układ MAX7219 (IC2) jest sterownikiem 8 wyświetlaczy siedmiosegmetowych z szeregowym interfejsem komunikacyjnym. Posiada konfigurację 8x8 oraz potrafi wysterować niezależnie 64 diody LED. Specyfikacja urządzenia wymagała konfiguracji 6x10 dlatego w naszym urządzeniu wykorzystywany jest w nieco nietypowy sposób. Dolne osiem diod sterowane jest standardowo w pierwszych sześciu segmentach. Za dziewiątą diodę odpowiada segment 7, za 10 segment 8. Ustawienie bitu w danym segmencie decyduje zaś, na której linijce będzie zapalona odpowiednia dioda. Złącze Z3 służy do podłączenia zestawu sześciu linijek diodowych. Złącze to połączone jest bezpośrednio z układem IC2. Złącze Z4 służy zaś do podłączenia zestawu sześciu dalmierzy ultradźwiękowych. Połączone jest ono z sygnałami TPU procesora oraz zasilaniem.

3.2 Dalmierz ultradźwiękowy

Układ dalmierza (rysunek 3) można podzielić na dwie niezależne części: nadajnik i odbiornik. W skład nadajnika wchodzi generator fali prostokątnej o częstotliwości 40kHz oraz obwód sterowania przetwornikiem piezoelektrycznym. W skład odbiornika wchodzi wzmacniacz sygnału oraz komparator z układem kształtowania sygnału wyjściowego.

Obwód generatora został zbudowany w oparciu o bramkę NAND 74HCT132 (IC3A) oraz rezonator kwarcowy Q1. Zastosowanie rezonatora kwarcowego zapewnia dobrą stabilność generowanego sygnału. Rezystor R2 ułatwia wzbudzenie się układu. Rezystor R10 wraz z kondensatorem C15 stanowi prosty filtr dolnoprzepustowy uniemożliwiający wzbudzenie się układu na wyższych częstotliwościach.

Obwód sterowania przetwornikiem piezoelektrycznym zbudowany jest na popularnym układzie MAX232. Jest to przetwornica pojemnościowa wykorzystywana do dopasowania napięć w torach transmisji szeregowej w standardzie RS232. W tym 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



Rysunek 3: Schemat dalmierza ultradźwiękowego

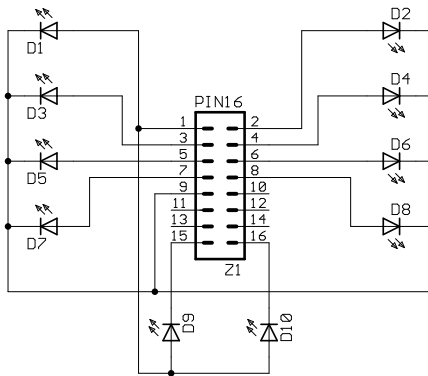
20V). Zadaniem układu MAX232 jest podwyższenie napięcia do takiego, przy którym będzie możliwa poprawna praca przetwornika piezoelektrycznego. Przetwornica pracuje w układzie mostkowym, w którym przetwornik umieszczony jest pomiędzy dwoma kanałami wyjściowymi układu MAX232. Na jeden z kanałów podawany jest sygnał wprost z generatora, na drugi sygnał zanegowany.

Obwód wejściowy odbiornika zbudowany jest w oparciu o układ MAX4168. 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 stałowej składowej 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 podany na wejście 6 układu IC2A powoduje przejście wzmacniacza operacyjnego w tryb obniżonego poboru mocy oraz ustawienie wyjścia w stan wysokiej impedancji. Taki sposób pracy wzmacniacza wykorzystany został do blokowania odbiornika podczas nadawania. Zwiększa to odporność na zakłócenie odbiornika przez własny nadajnik.

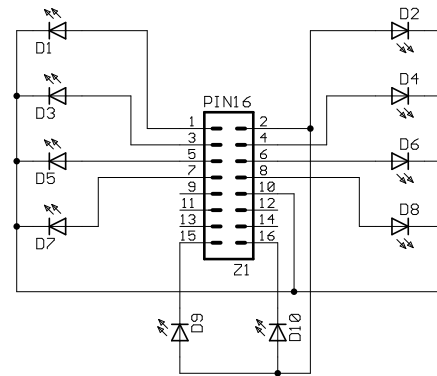
W roli komparatora użyłem drugiego, niewykorzystanego wzmacniacza operacyjnego z układu MAX4168. Zastosowałem tu rozwiązanie, w którym próg porównania wyznacza wartość średnia sygnału podawanego na komparator. Na wejście nieodwracające układu IC2B podawany jest sygnał wprost z pierwszego wzmacniacza 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.

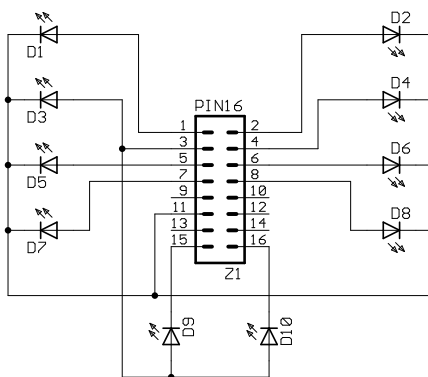
3.3 Linijki diodowe



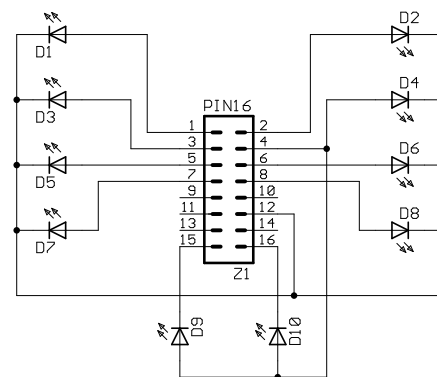
Rysunek 4: Schemat wskaźnika nr 1



Rysunek 5: Schemat wskaźnika nr 2



Rysunek 6: Schemat wskaźnika nr 3

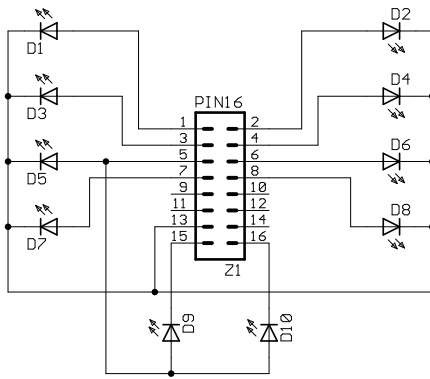


Rysunek 7: Schemat wskaźnika nr 4

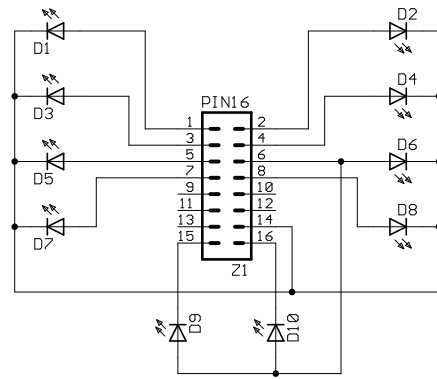
Schematy linijek diodowych przedstawione są na rysunkach 4, 5...9. Każda z nich składa się z zestawu dziesięciu diod LED oraz złącza umożliwiającego połączenie do sterownika. Poszczególne linijki diodowe różnią się między sobą rozprawdzeniem sygnałów sterujących. Wynika ono ze sposobu wykorzystania układu MAX7219 opisanego w punkcie 3.1.

3.4 Zasilanie

Zasilacze *zas1* i *zas2* są identyczne, ich schemat widać na rysunku 10. Zasilacz zbudowany jest w oparciu o układ LM294 (IC1). Jest to scalony, stabilizator liniowy o niskim spadku napięcia LDO (ang. *Low Drop*) i wydajności prądowej 1A. Układ pracuje w podstawowej konfiguracji zalecanej przez producenta. Mostek B1 prostuje wejściowe napięcie podane na złącze Z8. Napięcie to nie powinno być większe niż 10V ponieważ może powodować zbytne nagrzewanie się stabilizatora IC1.

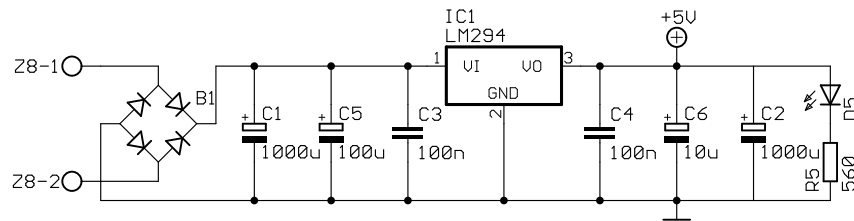


Rysunek 8: Schemat wskaźnika nr 5



Rysunek 9: Schemat wskaźnika nr 6

Kondensatory C1, C2, C3, C4, C5, C6 filtrują napięcie oraz usuwają z niego tętnienia. Diody D5 sygnalizują obecność stabilnego napięcia na wyjściu zasilacza. Rezystor R5 ogranicza prąd diody D5.



Rysunek 10: Schemat zasilacza zas1 i zas2

4 Oprogramowanie

Program sterownika można podzielić na trzy zasadnicze części:

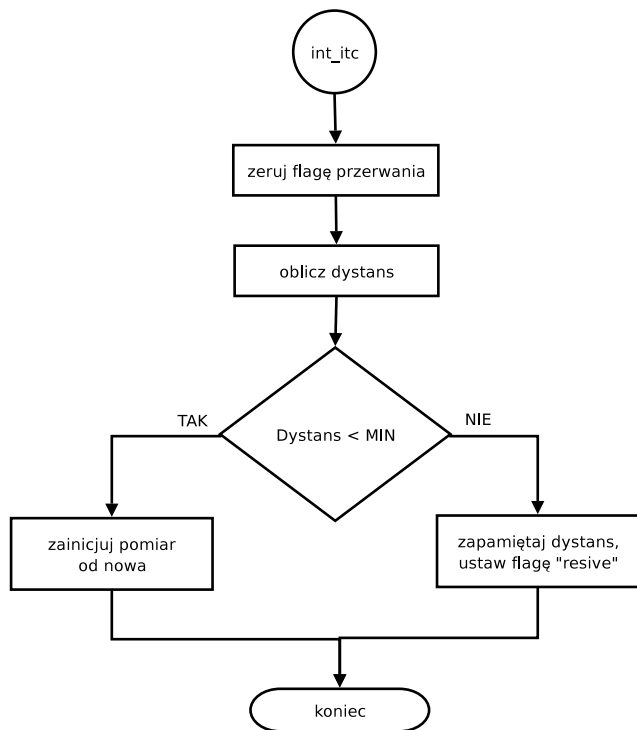
1. Pomiary

- obsługa przerwania PWM,
- obsługa przerwania ITC.

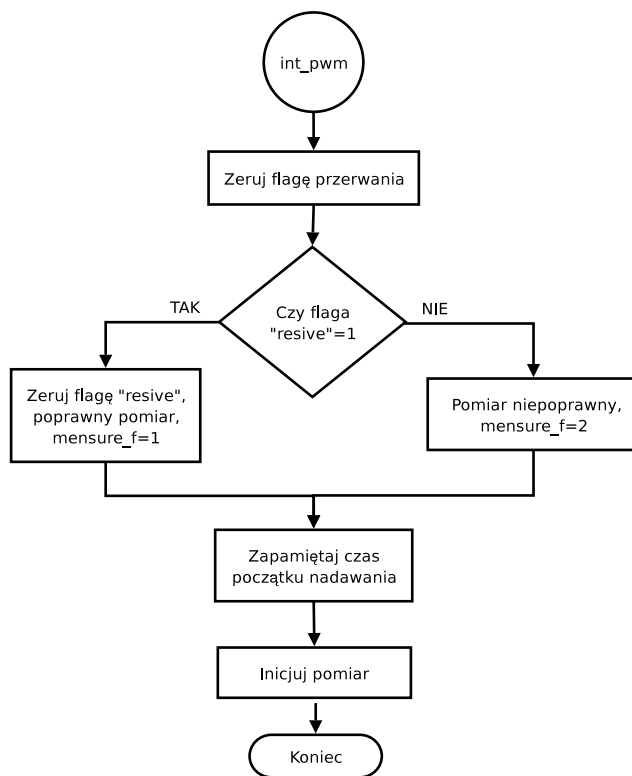
2. Obsługa powłoki i komunikacja z użytkownikiem.

3. Przetwarzanie danych pomiarowych i ich wizualizacja.

Wymienione zadania są niezależne od siebie i obsługiwane w sposób równoległy przez sterownik. Równoległość polega tu na tym że, przy realizacji poszczególnych zadań, procesor nie czeka na zewnętrzne, niezależne od systemu, zdarzenie. Dzięki temu nie następuje zatrzymanie wykonywania programu i uzyskujemy efekt jakby zadania obsługiwane były jednocześnie przez jednostkę centralną. Pomiary realizowane są identycznie w każdym kanale, dlatego zostanie opisana tu idea pomiaru tylko dla jednego kanału. Algorytm obsługi dalmierza jest następujący:



Rysunek 11: Diagram przerwania ITC



Rysunek 12: Diagram przerwania PWM

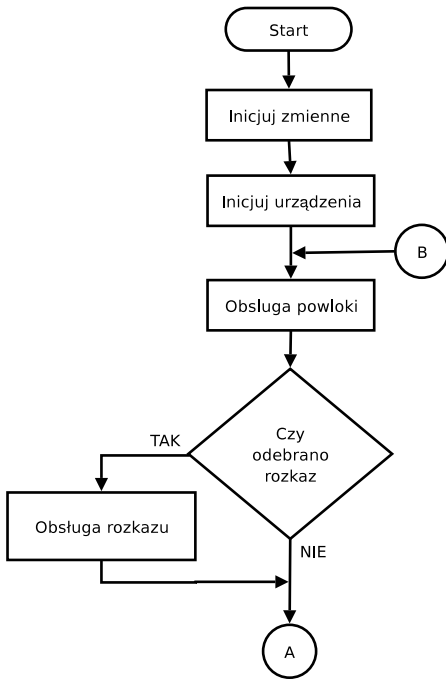
1. Włącz nadajnik na pewien czas – stan niski.
2. Wystartuj licznik oraz zapamiętaj jego stan.
3. Czekaj na powrót echa – zbocze opadające.
4. Jeżeli wykryłeś echo, zapamiętaj aktualny stan licznika oraz wykonaj odpowiednie operacje matematyczne by wyliczyć dystans, powrót na początek.
5. Jeżeli nie wykryłeś echa, po czasie wynikającym z maksymalnego zasięgu dalmierza zainicjuj pomiar od nowa.

Dzięki obecności w procesorze MC68332 bloku TPU udało się zaimplementować powyższy algorytm w prosty sposób wykorzystując do tego celu dwie popularne i proste w użyciu funkcje:

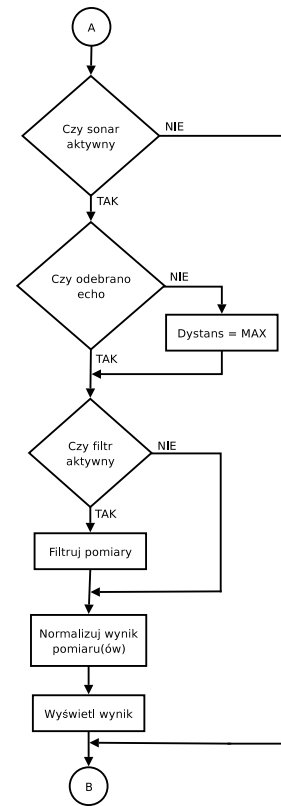
- PWM (ang. *Pulse-Width Modulation*) – cyklicznie włącza nadajnik na czas wynikający z wypełnienia przebiegu, okres wyznacza maksymalny czas pomiaru, generuje przerwanie przy zboczu narastającym,
- ITC (ang. *Input Transition Counter*) – przy zboczu opadającym na wejściu wybranego kanału zapamiętuje aktualny stan licznika oraz generuje przerwanie.

Diagram obsługi przerwania kanału TPU z funkcją PWM przedstawiony jest na rysunku 12, zaś z funkcją ITC na rysunku 11.

Komunikacja z użytkownikiem odbywa się poprzez terminal znakowy podłączony do portu szeregowego pracującego z prędkością 9600Bd. Do realizacji tego zadania w sterowniku wykorzystywane są:



Rysunek 13: Diagram głównej pętli programu (część A)



Rysunek 14: Diagram głównej pętli programu (część B)

1. Blok QSM mikrokontrolera – urządzenie SCI i jego przerwanie,

2. Moduł „scibuf” – programowe bufora wejścia/wyjścia

- sciiinit – funkcja obsługi przerwania SCI,
- txbyte – zapisuje bajt do bufora nadawczego,
- rxbyte – odczytuje bajt do bufora odbiorczego,
- qstat – zwraca stan bufora,
- qinit – inicjalizuje bufor.

3. Moduł „schell” – powłoka

- schell – funkcja obsługi powłoki,
- schell_init – inicjalizuje powłokę.

W programie głównym znajduje się definicja dostępnych rozkazów (zmienna `ord_tab`) oraz ich implementacja. Uproszczony schemat działania tej części programu widać na rysunku 13.

Na rysunku 14 widać diagram przedstawiający w uproszczony sposób zasadę przetwarzania danych pomiarowych oraz ich wizualizację. Można zauważyć że w przypadku nieodebrania echa przez dalmierz w zmienną „dystans” wpisywana jest maksymalna wartość dopuszczalna. Dzięki temu uzyskujemy efekt jakby przeszkoda była bardzo daleko. W sterowniku zaimplementowano prosty filtr medianowy. Jego włączenie powoduje otrzymanie stabilniejszych wyników a przez to mniejsze miganie linijek diodowych. Domyślnie ilość próbek dla filtru ustalona została na 11 ale można ją

zmienić, edytując stała `IL_PROBEK_SONAR`. W sterowniku konieczne było zaimplementowanie funkcji normalizującej wyniki z dowolnego przedziału $[x,y]$ w przedział $[0,10]$. Konieczność ta wynikała z faktu, że dalmierz dawał wyniki z przedziału ok. $[100,10000]$, dodatkowo przedział ten mógł być zmieniany przez użytkownika, a do dyspozycji mamy wskaźnik jedynie z dziesięcioma diodami. Funkcja wyświetlająca wyniki `SetLed` dopasowywała dane wejściowe do specyfikacji układu `MAX7219` oraz jego implementacji w naszym sterowniku (patrz punkt 3.1). W tabeli 1 pokazane jest przyporządkowanie kanałów TPU w sterowniku.

Kanał	Sygnal	Funkcja	Przeznaczenie
0	<i>OUT6</i>	ITC	Wyjście dalmierza nr 6
1	<i>IN6</i>	PWM	Wejście dalmierza nr 6
2	<i>OUT5</i>	ITC	Wyjście dalmierza nr 5
3	<i>IN5</i>	PWM	Wejście dalmierza nr 5
4	<i>OUT4</i>	ITC	Wyjście dalmierza nr 4
5	<i>IN4</i>	PWM	Wejście dalmierza nr 4
6	<i>OUT3</i>	ITC	Wyjście dalmierza nr 3
7	<i>IN3</i>	PWM	Wejście dalmierza nr 3
8	<i>OUT2</i>	ITC	Wyjście dalmierza nr 2
9	<i>IN2</i>	PWM	Wejście dalmierza nr 2
10	<i>OUT1</i>	ITC	Wyjście dalmierza nr 1
11	<i>IN1</i>	PWM	Wejście dalmierza nr 1

Tablica 1: Przyporządkowanie kanałów TPU w sterowniku

5 Interfejs użytkownika

Tak jak już zostało to wspomniane w punkcie 4 do komunikacji z urządzeniem potrzebny jest prosty terminal znakowy pracujący z portem szeregowym. Konfiguracja portu szeregowego powinna być następująca: 9600 8N1. Sterownik posiada prosty interpreter komend. Po wyświetleniu powitalnego loga:

```
ZESTAW DALMIERZY ULTRADZWIĘKOWYCH
  autorzy:          |||
M. Janiak i M. Gajos  /^\
Wrocław 2005 FwR AiR  ~
LAB 010             ~ ~
```

`help` - wyświetla dostępne polecenia

zaprasza do wprowadzania poleceń znakiem zachęty: `[sonar]$` . Wpisując rozkaz `help` otrzymamy listę dostępnych rozkazów wraz z krótkim opisem:

```
logo      - wyświetla powitalne logo
s+*       - włącza wszystkie sonary
s+ x      - włącza sonar o numerze x, x=1,2...6
f+*       - włącza filtrowanie we wszystkich kanałach
f+ x      - włącza filtrowanie w kanale nr x, x=1,2...6
s-*       - wyłącza wszystkie sonary
```

s-	x	- wylacza sonar o numerze x, x=1,2...6
f-*		- wylacza filtrowanie we wszystkich kanalach
f-	x	- wylacza filtrowanie w kanale nr x, x=1,2...6
min*		- ustawia wielkosc strefy martwej, dla wszystkich kanalow, na y, gdzie y jest liczba dodatnia
min	x y	- ustawia wielkosc strefy martwej, dla kanalu nr. x, na y, gdzie x=1,2...6, y jest liczba dodatnia
max*	x	- ustawia gorna granice zakresu pomiarowego, dla wszystkich kanalow na y, gdzie y jest liczba dodatnia
max	x y	- ustawia gorna granice zakresu pomiarowego, dla kanalu nr. x, na y, gdzie x=1,2...6, y jest liczba dodatnia
inv+*		- wlacza odwracanie zakresu pomiarowego
inv-*		- wylacza odwracanie zakresu pomiarowego

6 Podsumowanie

Opisane tu urządzenie zostało zbudowane i uruchomione. Niestety z braku niektórych elementów wykonaliśmy jedynie cztery dalmierze ultradźwiękowe. Podczas realizacji projektu napotkaliśmy na szereg trudności związanych z montażem i uruchamianiem części elektronicznej. Największe kłopoty sprawiały zaproponowane przez nas dalmierze. Ze względu na prostotę układu odznaczały się one małym zasięgiem i dużą podatnością na zakłócenia. Dodatkowo ustawienie kilku nadajników i odbiorników ultradźwięków obok siebie powodowało silne wzajemne oddziaływanie. Można oczywiście zwiększyć strefę martwą, ale zaważa się nam przez to zakres pomiarowy, który i tak jest niewielki. Chcąc rozwijać dalej ten projekt wartoby było zaprojektować lepszy układ dalmierza. Nasz odznaczał się jednopunktowym, stałym wzmocnieniem. Nowy powinien posiadać przynajmniej dwupunktowe, zmienne wzmocnienie. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie zmiennego progu komparacji.