



KoNaR

KOŁO NAUKOWE ROBOTYKÓW

Koło Naukowe Robotyków „KoNaR”

Sonar ultradźwiękowy

Jan Kędzierski

Wrocław. 04.04.2006

Spis treści

1. Cel projektu.....	3
2. Wstęp.....	3
3. Układ nadawczy.....	4
4. Układ odbiorczy.....	8
5. Pomiar.....	13
6. Podsumowanie.....	17
7. Załącznik.....	18

1. Cel projektu

Celem projektu było skonstruowanie modułu sonarów ultradźwiękowych, pozwalającego na pomiar odległości oraz położenia obiektów w przestrzeni działania robota, który byłby zaopatrzony w zaprojektowany czujnik.

2. Wstęp

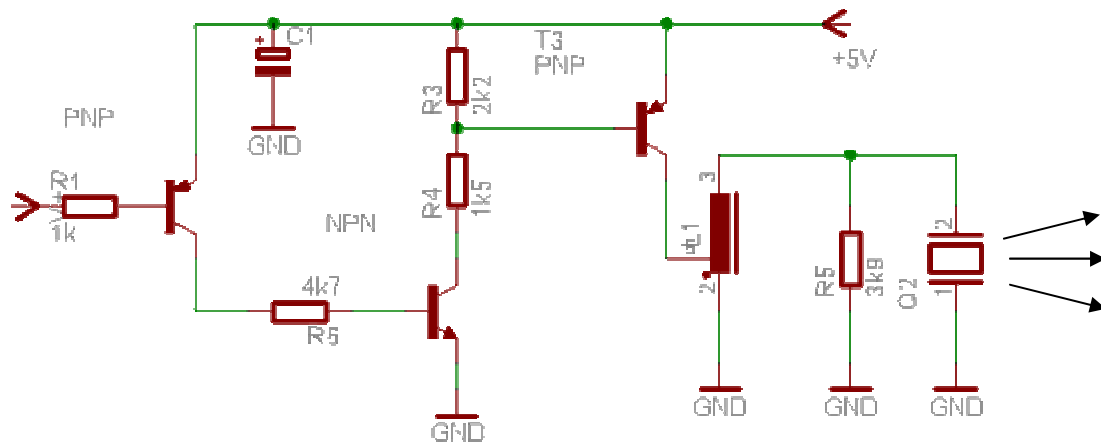
Pomiar odległości ultradźwiękami jest pomiarem pośrednim. Polega on na wyemitowaniu kilku impulsów o określonej częstotliwości, a następnie zmierzeniu czasu powrotu od napotkanego obiektu [Rys.1]. Ważne jest by zastosowane do pomiaru nadajniki sygnału i odbiorniki były odpowiednio selektywne i właściwie dobrane. Dzięki temu sygnał odbierany przez odbiornik, nie będzie wymagał dodatkowej filtracji. Na rynku dostępnych jest sporo gotowych rozwiązań układów ultradźwiękowych. Jednakże prawie każde gotowe rozwiązanie zawiera w sobie mikrokontroler, który mierzy czas oraz generuje niezbędne do wykonania pomiaru sygnały. Ponieważ w większości docelowych projektów stosuje się centralny mikrokontroler, w celu obniżenia kosztu całości zdecydowano opracować jedynie układy do sterowania odbiornikiem i nadajnikiem ultradźwięków.

Jednostką centralną tego układu może być dowolny mikrokontroler, do testów użyto mikrokontroler Motorola MC68332. Użycie tego kontrolera nie było do końca trafnym wyborem, ponieważ jest to jednostka dość droga i rozbudowana, a w tym przypadku wystarczający byłby mikrokontroler wyposażony w PWM (pulse width modulation) oraz funkcje IC (input capture).



Fot 1. Widok z przodu

3.Układ nadawczy



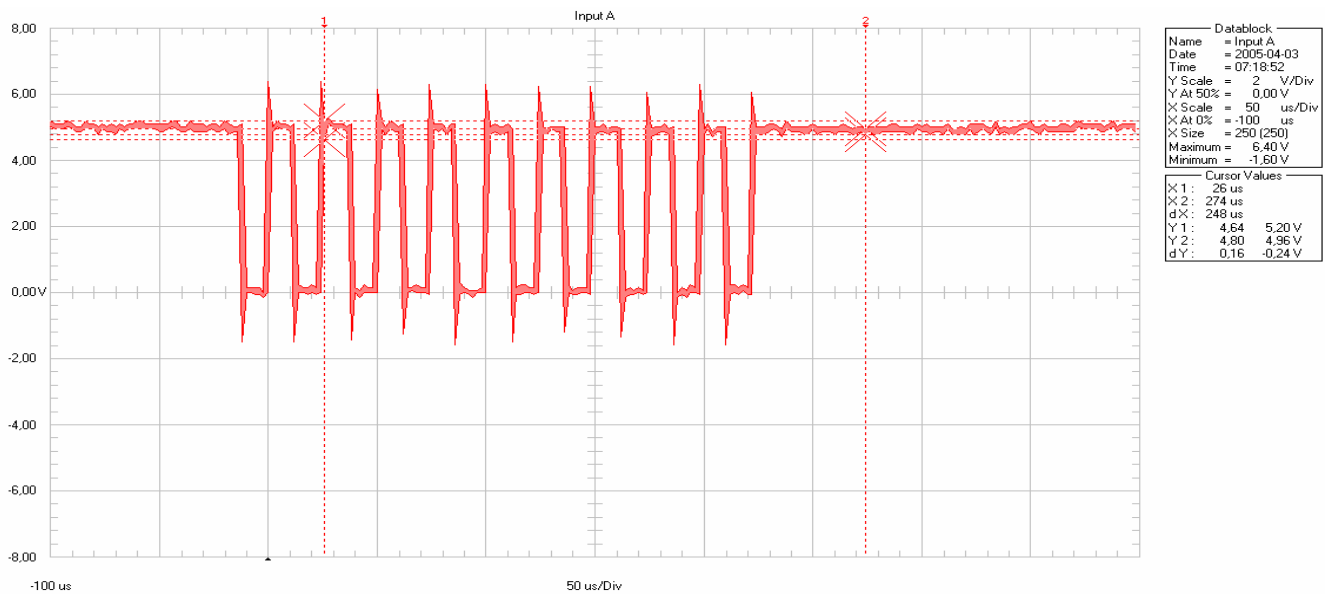
Schemat 1 Schemat ideowy nadajnika

W układzie nadawczym została zastosowana cewka z odczepem [Fot.2], która posłużyła do powielenia napięcia, którym pobudzany jest nadajnik, oraz razem z pojemnością nadajnika i rezystorem tworzą układ rezonansowy [Schemat 1]. Rolą rezystora R5 jest zmniejszenie dobroci układu rezonansowego jak również szybkie wytłumienie oscylacji po ustaniu kluczowania tranzystora T3. Tranzystor T3 powinien być tranzystorem o zwiększonej mocy np. BD140. Dławik został wykonany przez nawinięcie 2x110 zwojów drutem 0,2mm i umieszczeniu ich w rdzeniu o średnicy zewnętrznej 14mm i wysokości 8mm oraz stałej rdzenia 200nH/zw². Rdzeń został wykonany z materiału F2001. Do obliczenia wymaganej liczby zwojów można posłużyć się wzorem:

$$N = \sqrt{L / AL}$$

gdzie **N** - ilość zwojów
L - indukcyjność (9mH)
AL - stała rdzenia

Ponieważ większość mikroprocesorów ma po restarcie stany wysokie, układ został nieco zmodyfikowany o dołączenie tranzystora T1, co pozwoliło na ustalenie jako aktywnego, stan niski [Schemat 1].

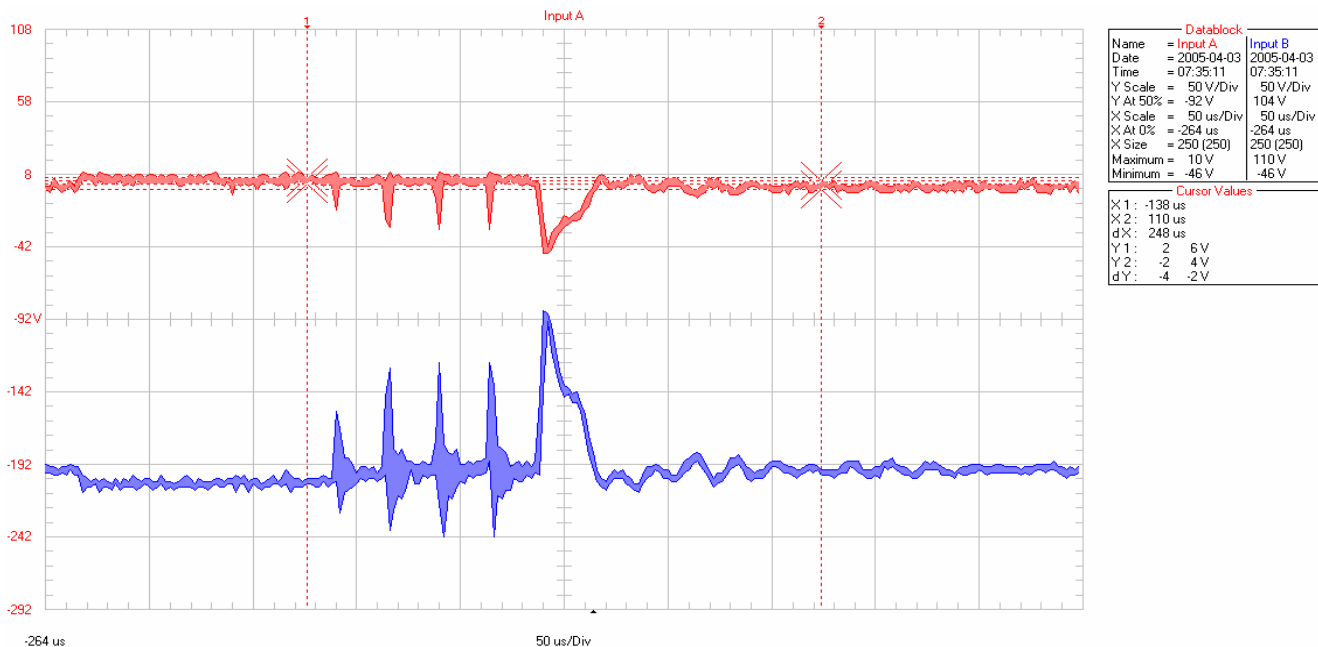


Rys.1 Przykładowe przebiegi sygnału pobudzającego cewkę. (10 impulsów, pomiar na wejściu czujnika)



Fot 2. Widok cewki

Poniżej przedstawiono przebiegi napięć na odczepie oraz na wyjściu cewki [Rys2]. Można zaobserwować, że nie do końca została prawidłowo wykonana cewka. Sygnał powinien być „bliższy” sygnałowi klucza. Spowodowane może być to tym, że w naszym projekcie celowo odczep wypuszczono wcześniej niż jak opisano powyżej. Uzyskaliśmy dzięki temu większe napięcia na nadajniku. Nie jest to jednak prawidłowa droga postępowania. Cewkę zaleca się wykonać prawidłowo z odczepem w środku. Daje to również zadawalające efekty.

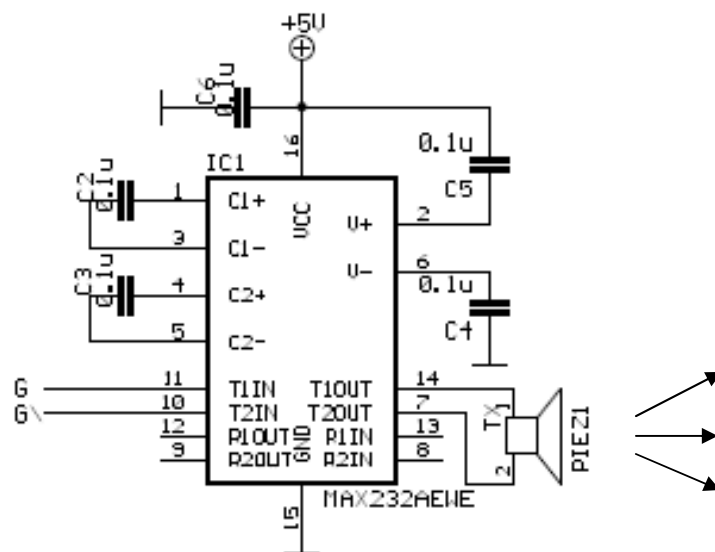


Rys.2 Przebiegi napięć na odczepie oraz na wyjściu cewki.

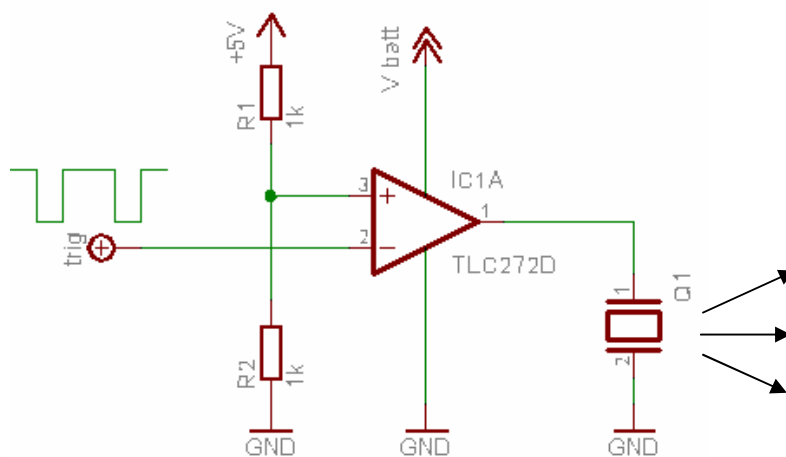
Zasięg dalmierza zbudowanego w oparciu o wyżej opisaną cewkę wynosił ok. 3m. Gdy cewka zostanie wykonana prawidłowo i zwiększy się ilość impulsów emitowanych z nadajnika zasięg ten można zwiększyć do max 6m.

Wadą powielacza okazała się trudna w wykonaniu wyżej opisana cewka. Nie łatwy był również zakup rdzenia. Prościej jest zbudować przetwornice pojemnościową lub wykorzystać gotowe układy powielające np. MAX232 [5] [Schemat 2] stosowany do budowy interfejsów RS232. Układy te jednak posiadają słabe parametry i napięcie na ich wyjściu „przysiada” w trakcie pracy. Nieco lepszym rozwiązaniem jest układ ST232CD charakteryzuje się on trochę lepszą wydajnością prądową.

Przypadku gdy istnieje potrzeba wykonania pomiarów z bardzo krótkiej odległości do 0,5-1m (np. Roboty Minisumo) możemy pobudzać nadajnik jedynie 5V. Daje to zupełnie zadawalające efekty zwłaszcza jeśli zasilanie baterii jest większe niż zasilanie pozostałych układów urządzenia. W trakcie badań posłużono się baterią 7,4V dodatkowo użyto wzmacniacza z wyjściami Rail-To-Rail, które to dostarczały do nadajnika napięcie odpowiadające napięciu zasilania. Aby zapewnić szybkie przełączanie się wyjścia, wzmacniacz pracuje w układzie komparatora [Schemat 3]. Układ należy tak zaprojektować, aby stan aktywny na wyjściu był stanem wysokim. W innym przypadku pojemność nadajnika będzie stale naładowana, a amplituda drgań bardzo mała.



Schemat 2 Przykład nadajnika na układzie MAX232 (przetwornica pojemnościowa).



Schemat 3 Przykład nadajnika bez powielacza napięcia. Układ zasilany bezpośrednio z baterii.

4. Układ odbiorczy

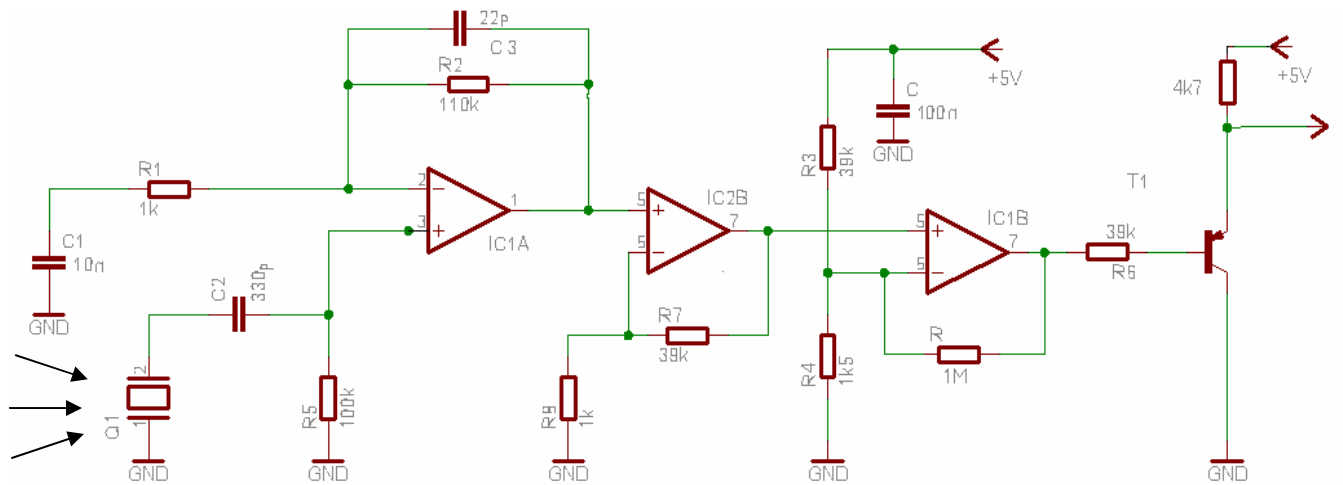
Pierwsze dwa elementy kaskady widoczne na układzie tworzą wzmacniacz wejścia [Schemat 4]. Pierwszy z nich pracuje w pętli ujemnego, zmiennoprądowego sprzężenia zwrotnego (C1 i R1). Aby układ odczulić na wysokie częstotliwości równolegle z rezystorem R2 wpięto kondensator C3 rzędu piko-faradów. Kondensator można wlutować tuż obok lub nad rezystorem R2. Element C2 powinien mieć wartość w granicach 300p-10nF. Mała wartość może delikatnie skrócić zasięg ale skutecznie odkłada układ wejściowy od mechanicznych drgań. Ostatni wzmacniacz pracuje w układzie komparatora, dzielnik rezystorowy R3 i R4 ustala próg progowania. Zwiększając rezystor R4 zwiększamy czułość układu co za tym idzie, również i zasięg. Wartość ta powinna być w granicach 1-2k Ohm. Rezystor R rzędu mega-omów zapobiega wahaniom komparatora (histereza). Rezystor ten nie jest uwzględniony w projekcie płytki znajdującej się w dalszej części raportu. Do budowy toru odbiornika użyto łatwo dostępny układ TLC274C (zintegrowane 4 wzmacniacze w jednym układzie, pasmo 2MHz) [Schemat 2]. Należy pamiętać aby czwarty wzmacniacz układu miał zwarte wejścia do masy. Ważne jest również aby kondensator C był jak najbliżej układu wzmacniaczy.

Jak widać na zdjęciu [Fot.1] użyto nadajnika i odbiornika o średnicy 16mm. Nadajniki tej średnicy charakteryzują się dużym wzmocnieniem ponad 119dB w porównaniu do 12mm (110dB). Zwiększa to oczywiście masę całego czujnika zatem decydując się na zainstalowanie czujnika w konstrukcjach Mini-Sumo wystarczą nawet te 10mm (110dB). Wzmocnienie odbiorników również wzrasta gdy wybierzemy przetworniki o większej średnicy. Dla odbiorników 16mm wynosi -65dB, dla 12mm i 10mm -70dB. Warto pamiętać aby w trakcie lutowania przetworników ultradźwiękowych zachować szczególną ostrożność. Ich nadmierne podgrzewanie i naginanie wyprowadzeń może doprowadzić do pogorszenia parametrów, a co gorsza do ich całkowitemu uszkodzeniu.

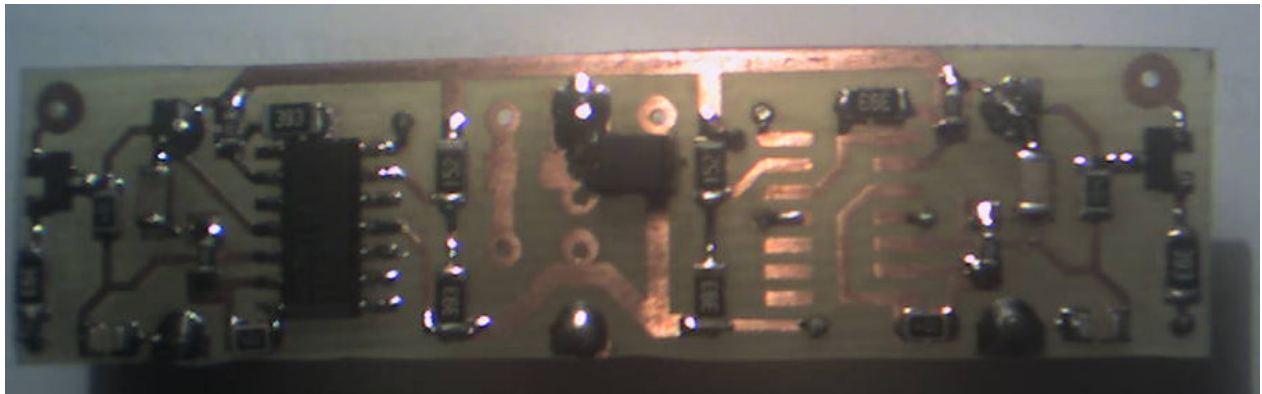
Niestety w momencie wysyłania szeregu sygnałów, nadawane fale są słyszalne dla odbiornika, ponieważ układ jeszcze przez chwile rezonuje, i drgania te są przechwytywane przez odbiornik. W celu eliminacji tego problemu odbiornik zaczyna nasłuchiwać dopiero po odczekaniu pewnej chwili od nadawania. Realizuje się to programowo. Sygnał nadawany, jest to kilka impulsów, zwiększenie ilości impulsów zdecydowanie poprawia zasięg, ale powoduje to wydłużenie strefy martwej, ponieważ wydłuża się czas oczekiwania odbiorników na wygaśnięcie drgań układu. Innym problemem w trakcie budowy okazało się podwójne echo [Rys.6]. Niestety nie zdołano wyjaśnić skąd ono pochodzi. Można jedynie przypuszczać, że prawdopodobnie pierwsze zakłócenie pochodzi bezpośrednio od nadajnika, a drugie odbija się od odbiornika znajdującego się po drugiej stronie nadajnika. Wyeliminowanie zjawiska zostało zrealizowane na 2 sposoby: odpowiednie nachylenie odbiornika względem nadajnika oraz zmniejszenie czułości układu na komparatorze.

Na rysunku 7 pokazano widmo sygnału odebranego przed odbiornik. Pomiaru dokonano na wyjściu 1-go wzmacniacza tak aby sygnał nie był zakłócony przez przewody i sondy oscyloskopowe. Wyraźnie widać prążki sygnału częstotliwości 40kHz czyli takiej z jaką pracuje nadajnik.

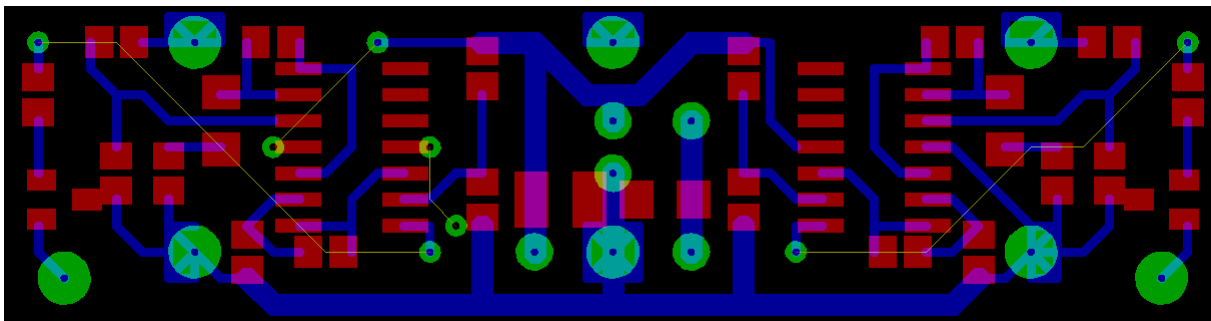
Dodatkowo zdecydowano o rozbudowie czujnika o dodatkowy identyczny tor odbiornika, co zwiększyło precyzję pomiaru, oraz umożliwi śledzenie przeciwnika na ringu (wykorzystanie w robocie sumo).



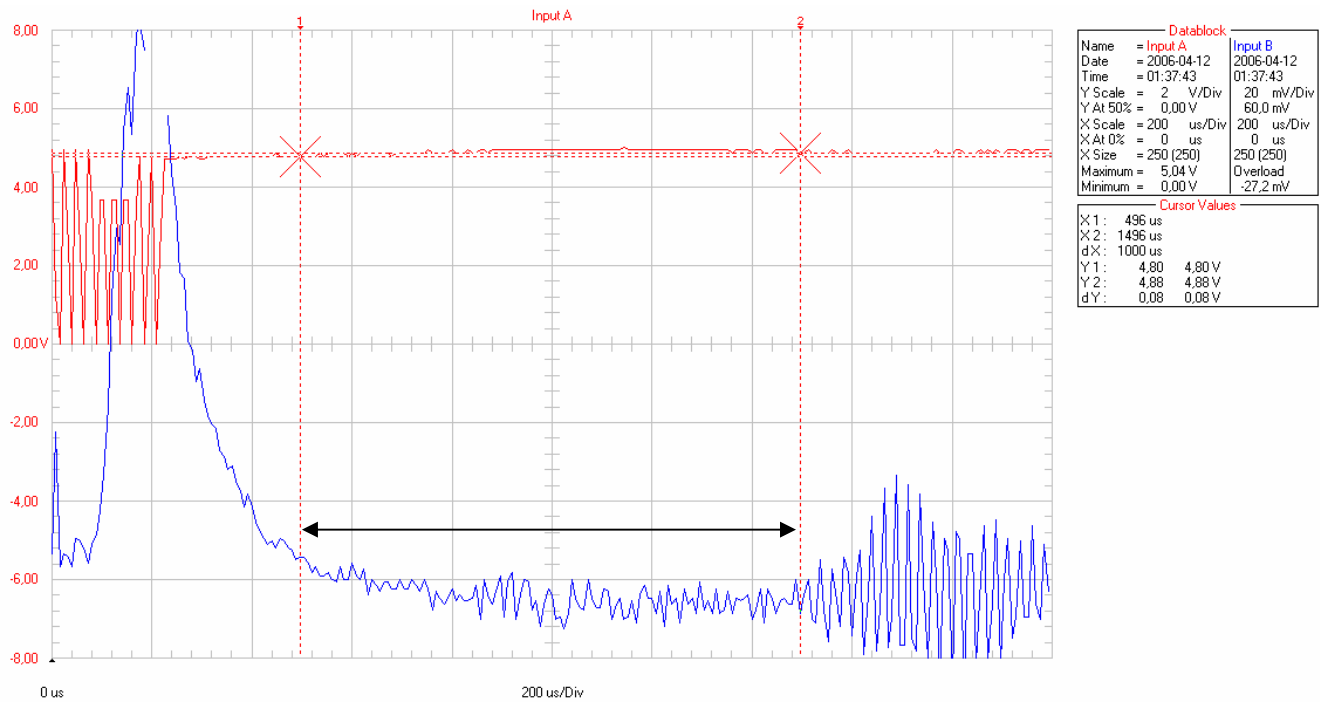
Schemat 4 Schemat ideowy pojedynczego odbiornika



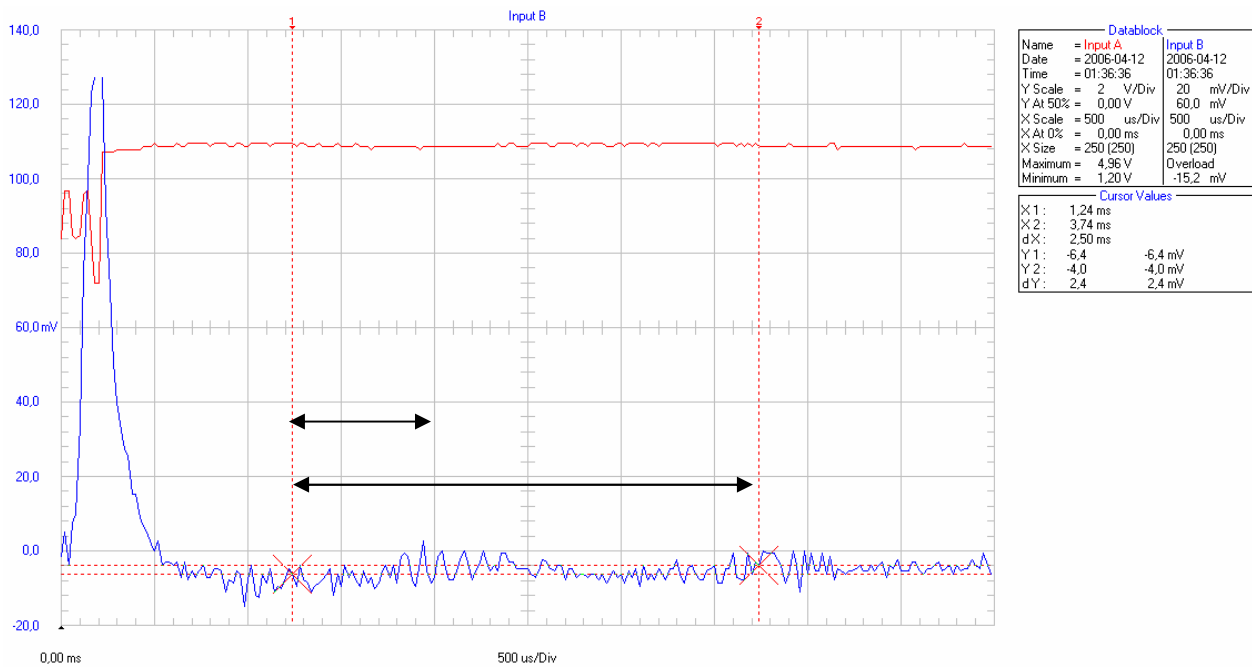
Fot 3. Widok płytki odbiornika (bark jednego układu i kilku elementów pomocniczych)



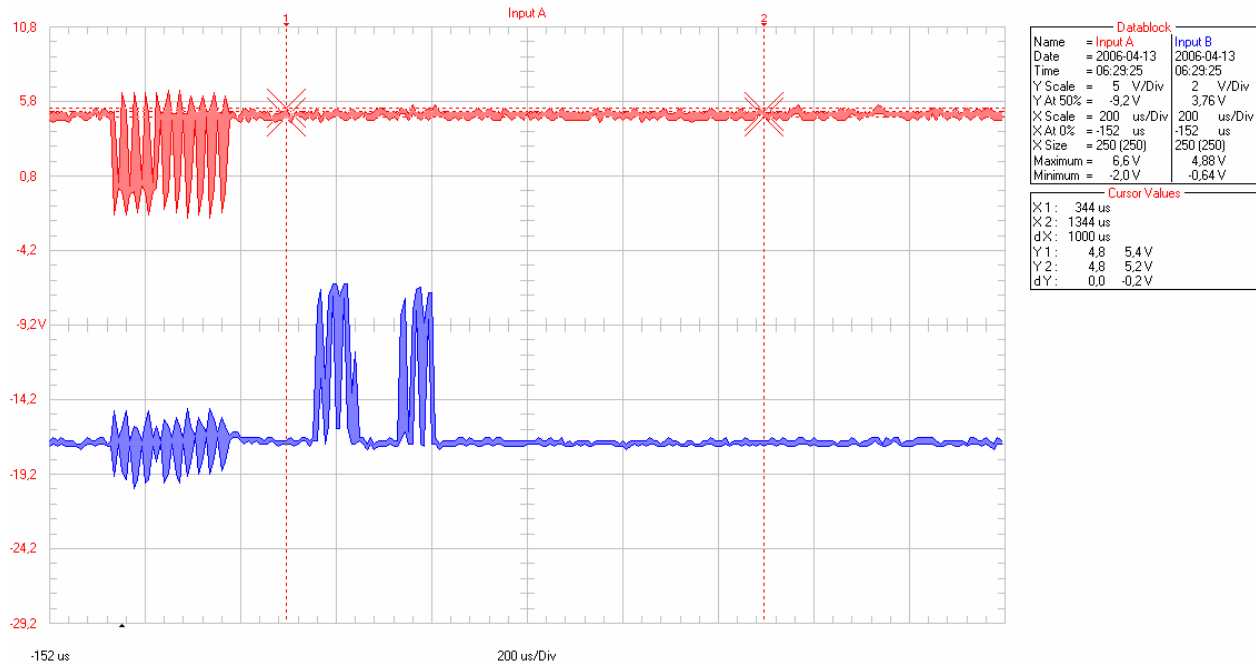
Rys 3. Projekt płytki odbiornika



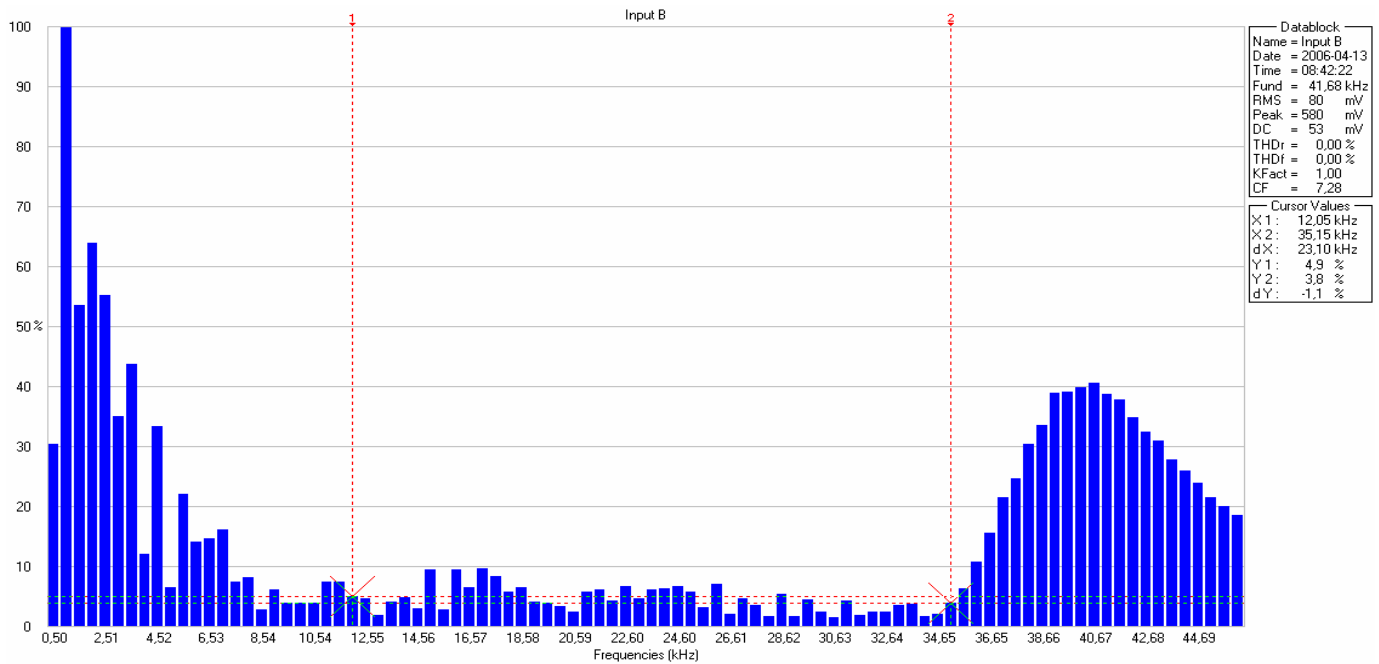
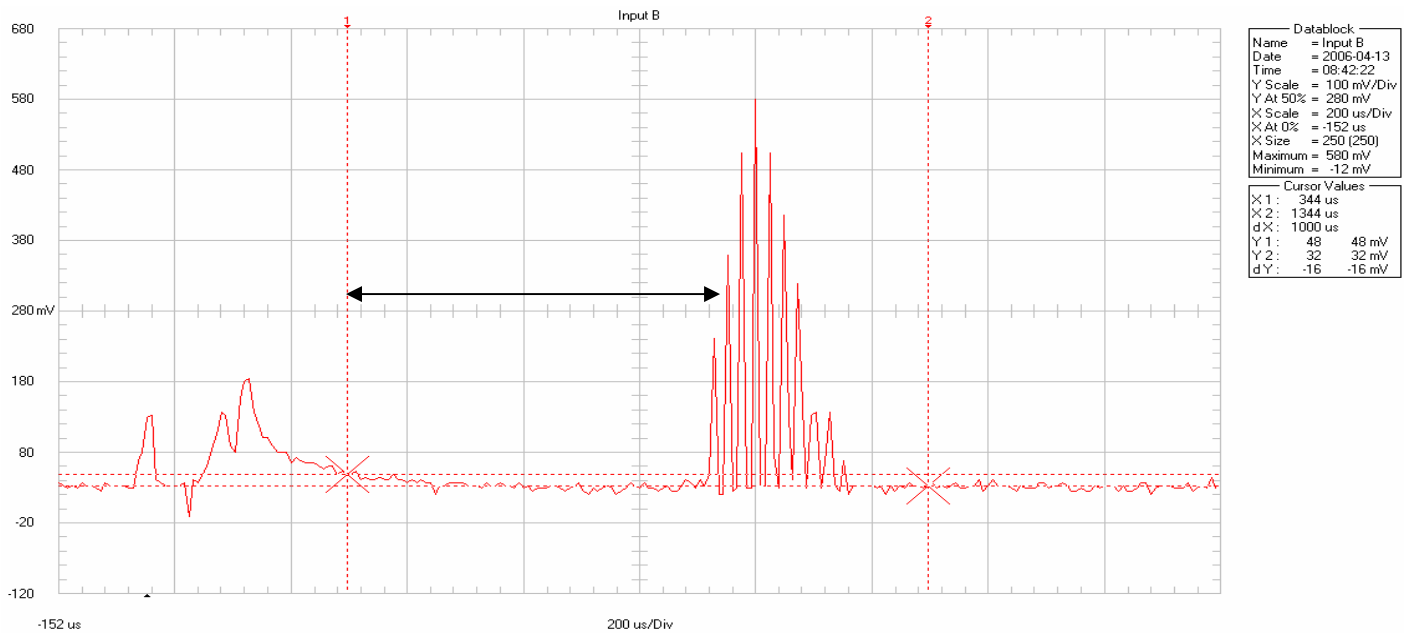
Rys.4 Przebiegi napięć zmierzone na wyprowadzeniach odbiornika (obiekt znajdował się odległości 20cm).



Rys.5 Przebiegi napięć zmierzone na wyprowadzeniach odbiornika (obiekt znajdował się nieco dalej). Można rozróżnić dwie serie odbitych od obiektu impulsów.



Rys.6 Podwójne echo sygnału emitowanego przez nadajnik (pomiar na wejściu i wyjściu czujnika)



Rys.7 Od góry, przebieg zmierzony na wyjściu 1-go wzmacniacza, następnie analizując wykres uzyskano składowe (widmo) odebranego sygnału.

5.Pomiar.

Pomiar przeprowadzany za pomocą sonarów jest pomiarem pośrednim. Nadajnik emituje fale akustyczne o częstotliwości ok. 40 kHz . Niestety prędkość fali rozchodzącej się w powietrzu napotyka na szereg problemów związanych z ciśnieniem, temperaturą oraz skład chemiczny powietrza. Fala która ewentualnie odbije się od napotkanej przeszkody wraca i jest przechwytywana przez odbiornik. Dzięki temu możemy w prosty sposób obliczyć odległość do obiektu ze wzoru:

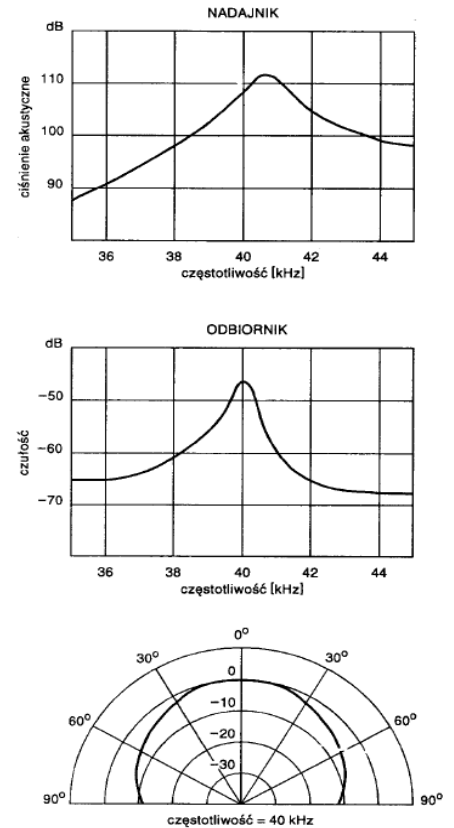
$$L=v*dt/2$$

Gdzie :

L –odległość od przedmiotu

V – prędkość dźwięku

Dt – zmierzone opóźnienie sygnału

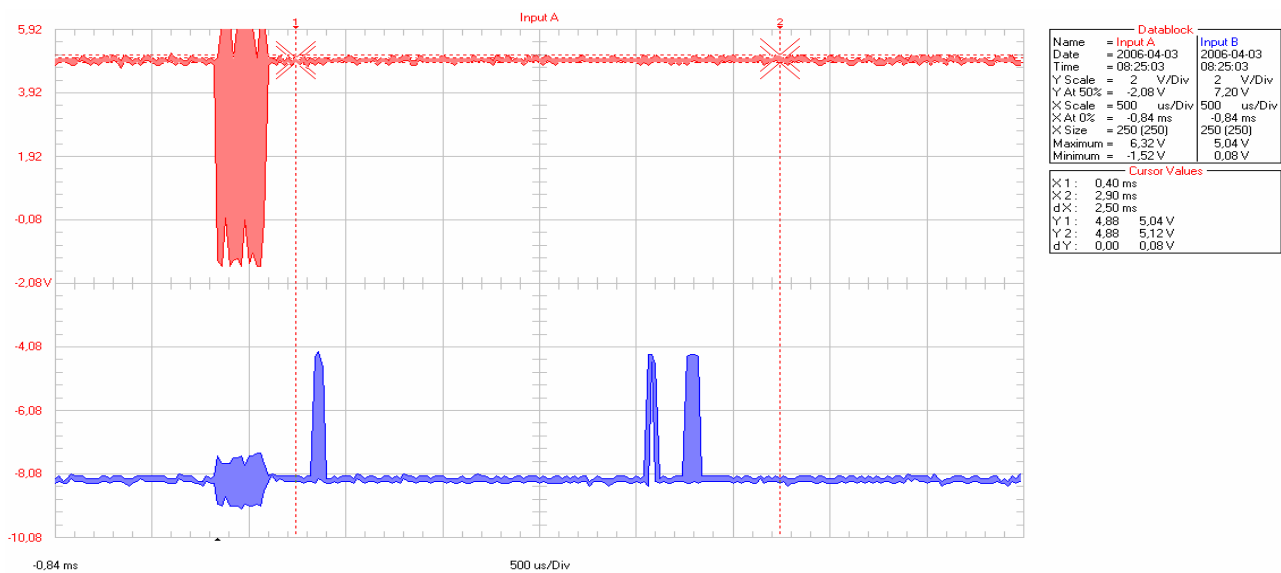


Rys.8 Charakterystyki nadajnika i odbiornika

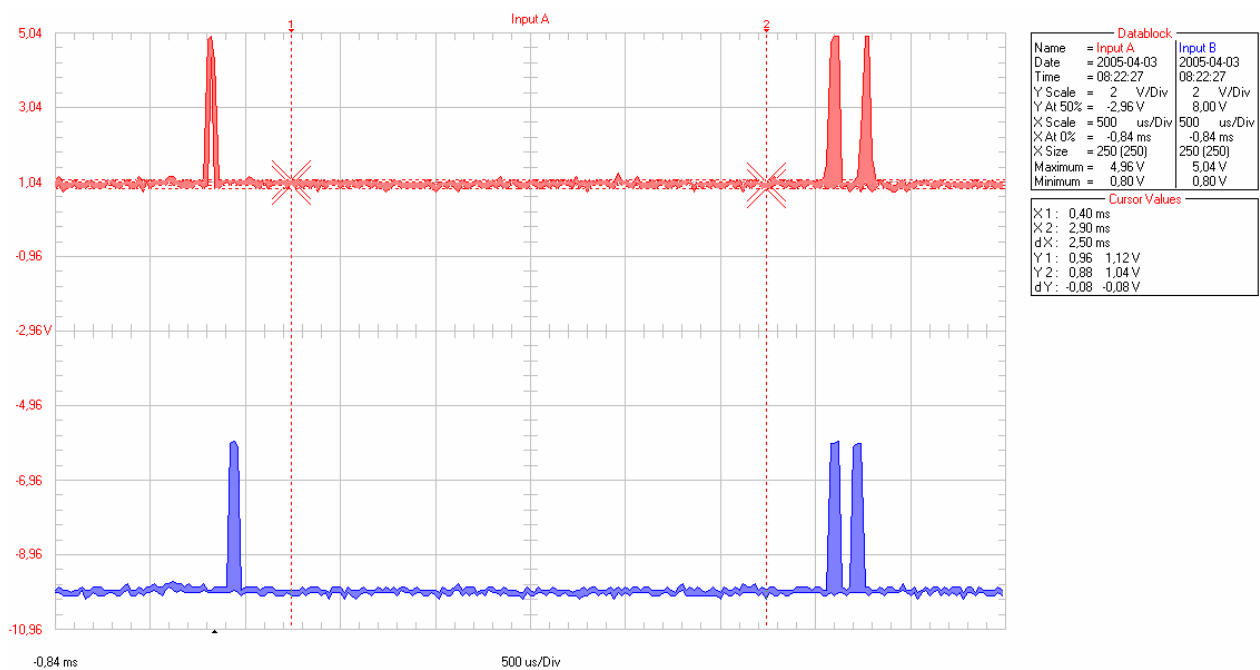
W trakcie testów zasięgu czujnika obiektem badanym, tym od którego odbijał się nadawany sygnał, była ściana pomieszczenia. Są to oczywiście bardzo dogodne warunki. Niestety podczas badania czujnika z różnymi obiektami (nieregularne bryły) zasięg okazał się nieco gorszy. Sygnał powracający od odbitego obiektu był za słaby i nie do wykrycia. Problemem nie do rozwiązania okazały się powierzchnie znajdujące się pod kątem do czujnika [Rys. 9] Sygnał odbijał się od obiektu ale nie wracał w pole „widzenia” odbiorników [Rys. 8].



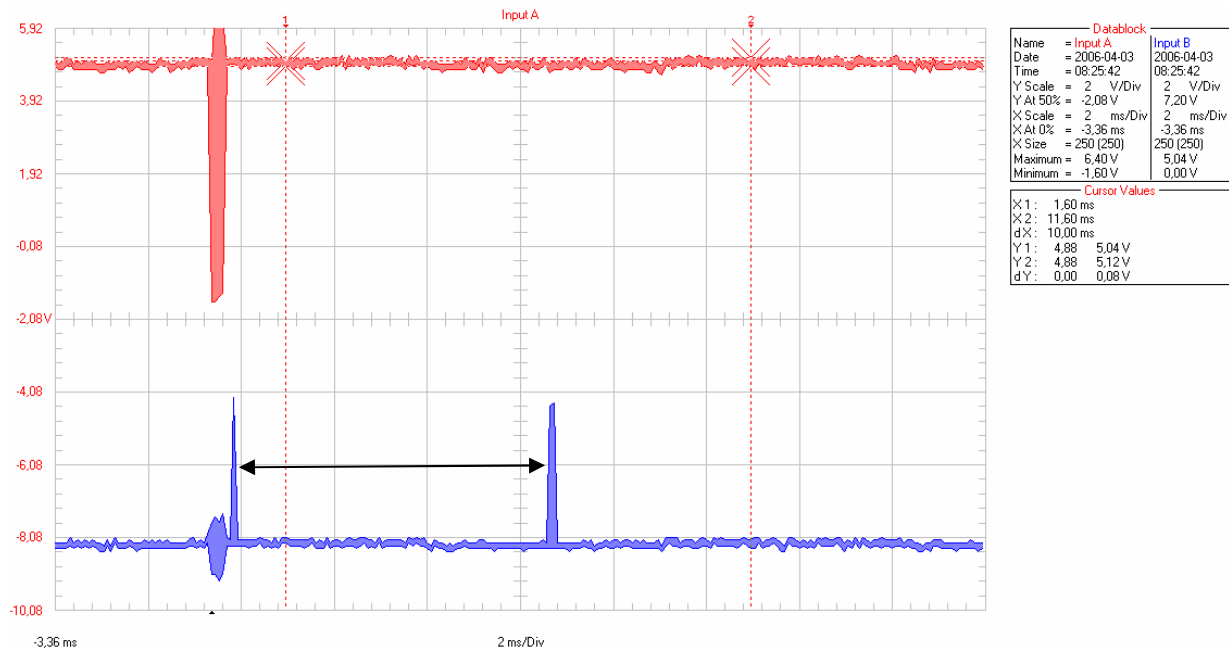
Rys. 9 Przykład błędnego działania czujnika – odbity sygnał nie dociera w pole „widzenia” odbiorników



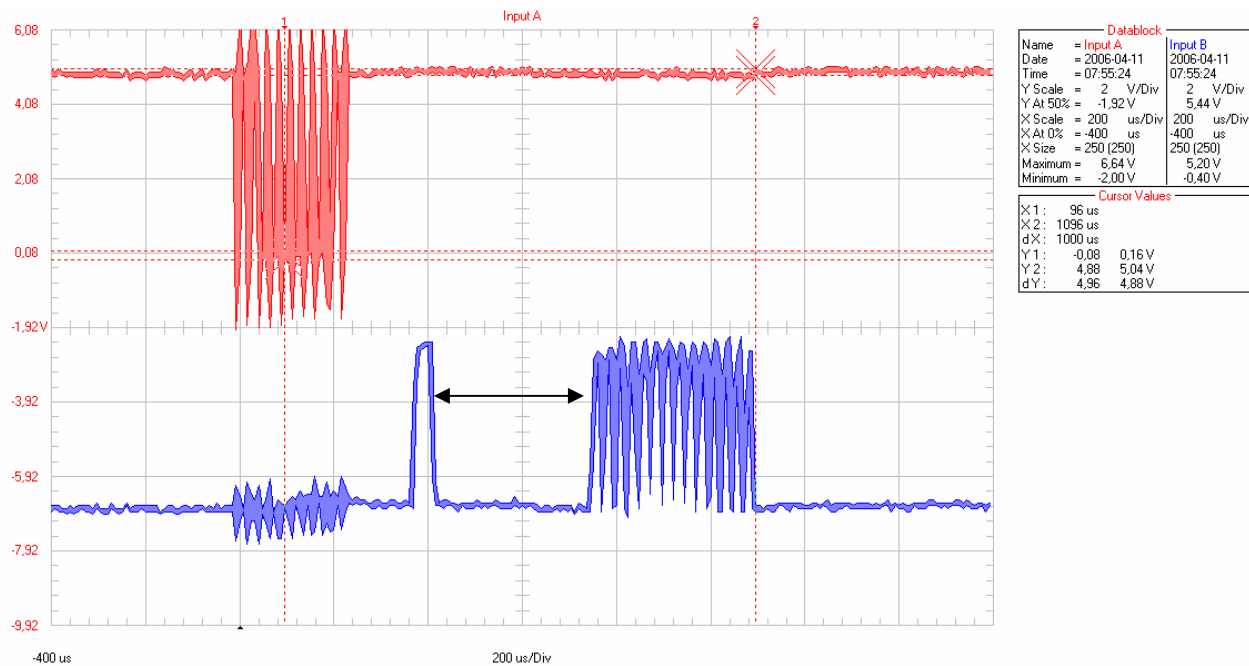
Rys.10 Oto przebiegi czasowe pokazujące sygnał wysłany oraz odebrany, widać tu jako pierwsze (od lewej przebieg koloru niebieskiego) drgania na obudowie następnie echo sygnału nadanego oraz właściwy odbity od obiektu sygnał. (pomiar na wejściu i wyjściu czujnika)



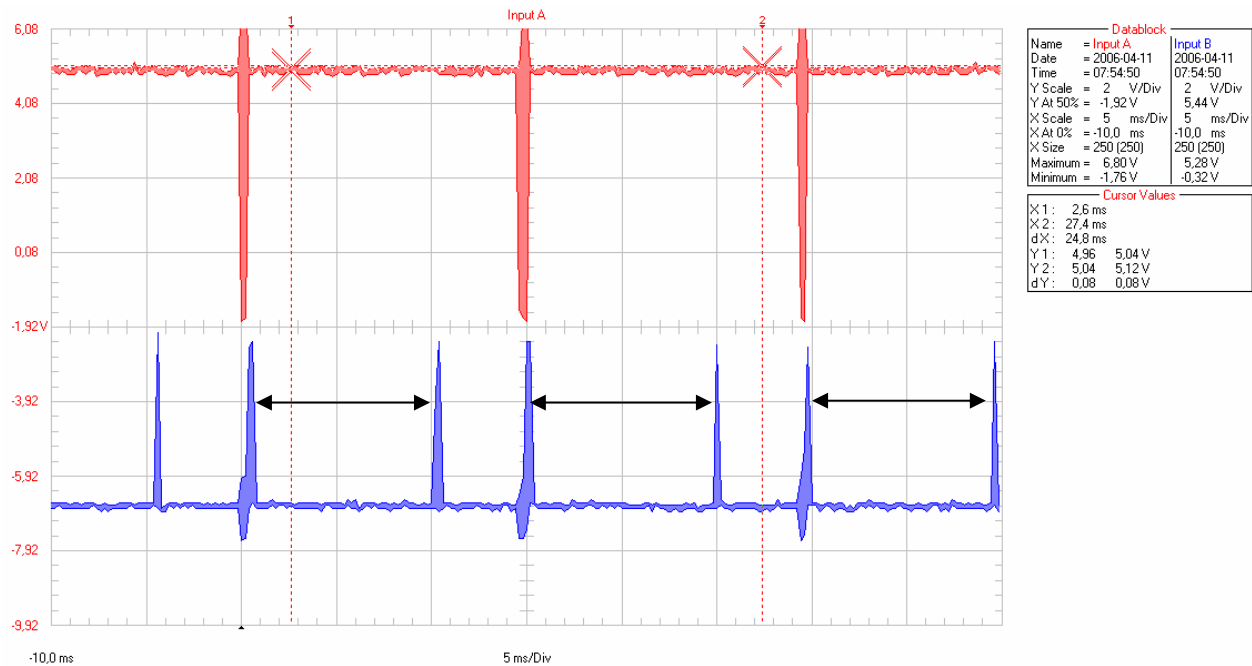
Rys.11 Podobny pomiar jak wyżej tylko, że dla dwóch kanałów (pomiar na wejściu i wyjściu czujnika)



Rys.12 Przebiegi czasowe kanału nadawczego i odbiorczego dla obiektu umiejscowionego w większej odległości ok. 1,5m (pomiar na wejściu i wyjściu czujnika)



Rys.13 Przebiegi czasowe kanału nadawczego i odbiorczego dla obiektu umiejscowionego bardzo blisko ok. 10cm. Wyraźnie widać, że sygnał odebrany jest w 100% a nawet nieco szerszy co jest spowodowane wielokrotnym odbiciem. (pomiar na wejściu i wyjściu czujnika)



Rys.14 Charakterystyka kilku pomiarów wykonywanych jeden po drugim w równych odstępach czasu. Dolny przebieg (niebieski) przedstawia w pierwszej kolejności echo a następnie sygnał powracający od odbitego obiektu. (pomiar na wejściu i wyjściu czujnika)

6. Podsumowanie

W trakcie realizacji projektu najwięcej problemów przysporzył układ odbiorczy. Najtrudniejszym z zadań było wyeliminowanie zakłóceń oraz dobranie czasów oczekiwania na nasłuch. Należy zwrócić szczególną uwagę aby obydwie układy odbiorcze miały identyczny rozstaw elementów. Układ nadawczy powinien być w miarę możliwości odseparowany od układów odbiorczych, dobrym rozwiązaniem okazało się umieszczenie w.w. modułów na osobnych płytkach. Do układy zaprojektowanego w tym projekcie można wprowadzić jeszcze wiele usprawnień. Chociażby wprowadzając dynamiczne progowanie, które wraz z upływem czasu maleje. Jeżeli zależy nam na większym zasięgu, a mniej istotne są pomiary obiektów znajdujących się w pobliżu sonaru, należy zwiększyć ilość impulsów wysyłanych przez nadajnik. Zwiększenie pojemności kondensatora C_1 również poprawia zasięg, niestety kosztem strefy martwej.

Projekt miał na celu głównie pokazanie, że w domowych warunkach jest możliwe wykonanie czujnika o równie dobrych parametrach jak te gotowe, które możemy zakupić w sklepie. Oczywiście wymaga to poświęcenia czasu na precyzyjne dobranie elementów. W prawdzie układ złożony w sposób pokazany wyżej od razu powinien działać to warto sprawdzić czy istnieje jeszcze możliwość poprawy zasięgu zmieniając np. wartość progowania. Z drugiej strony gotowe układy mają już w sobie zintegrowane szybkie mikrokontrolery i nie musimy już wnikać w zasadę działania sonaru. Nie mniej jednak koszt wykonania czujnika wg tego projektu jest wielokrotnie mniejszy niż tych gotowych rozwiązań. Przykładowa realizacja programu na mikrokontrolerze opisanym w raporcie znajduje się w załączniku nr.1.

[1] Praktyczny Elektronik 7/1996 *Ultradźwiękowy miernik odległości.*

[2] WNUK M. *Instytut Informatyki Automatyki i Robotyki Politechniki Wrocławskiej. Raport serii SPRnr 7/04 Moduł z mikrokontrolerem MC68332.*

[3] *TPU Time Processor Unit Reference Manual*, TPURM/AD Rev. 3, Motorola Inc., 1996.

[4] KĘDZIERSKI.J *Kompaktowy zestaw czujników do percepcji otoczenia dla platform mobilnych* Konferencja Naukowa Studentów na PWr.

[5] JANIĄK M. *Instytut Informatyki Automatyki i Robotyki Politechniki Wrocławskiej. Budowa prostego dalmierza ultradźwiękowego. Raport serii PRE nr. 55/04*

Załącznik 1

```
#define pulse_led1 1
#define GENCHAN 0      /* wybrany kanal TPU dla PWM */
#define GENFUN 9       /* kod funkcji PWM w masce MJ */
#define GEN_PERIOD (104) /* okres PWM-a*/

#define NITC1 1        /* kanal TPU dla NITC */
#define NITCFUN 10     /* kod funkcji NITC w masce MJ */

#define NITC2 2        /* kanal TPU dla NITC */
#define NITCFUN 10     /* kod funkcji NITC w masce MJ */

TPURAM(GENCHAN,0) = 0x92;      /* sterowanie kanalu */
TPURAM(GENCHAN,2) = GEN_PERIOD; /* czas impulsu */
TPURAM(GENCHAN,3) = GEN_PERIOD; /* okres impulsu 100 -> 40kHz*/

SetFun(GENCHAN,GENFUN);      /* kod funkcji: PWM z maski MJ */
SetSer(GENCHAN,2);           /* zadanie: inicjacja -> Host Service */
SetCpr(GENCHAN,3);           /* priorytet: wysoki -> Chanell Priority*/
EnInt(GENCHAN);              /* zezwolenie na przerwanie od kanlu z
                             funkcja GENCHAN*/

/*Konfiguracja NITC*/

TPURAM(NITC1,0) = 7;         /* wykrywanie zbocza narastajacego */
TPURAM(NITC1,2) = 1;         /* tylko jeden impuls do zliczenia */
TPURAM(NITC1,3) = 0;         /* zerowanie licznika impulsow */
TPURAM(NITC1,4) = 0;
TPURAM(NITC1,5) = 0;

SetFun(NITC1,NITCFUN);      /* kod funkcji: NITC z maski janiaka */
SetSeq(NITC1,0);           /* single shot, no links*/
SetSer(NITC1,1);           /* zadanie: inicjalizacja "TCR mode"*/
SetCpr(NITC1,3);           /* priorytet: wysoki */
EnInt(NITC1);              /* zezwolenie na przerwanie od kanlu z
                             funkcja NITC*/

TPURAM(NITC2,0) = 7;         /* wykrywanie zbocza narastajacego */
TPURAM(NITC2,2) = 1;         /* tylko jeden impuls do zliczenia */
TPURAM(NITC2,3) = 0;         /* zerowanie licznika impulsow */
TPURAM(NITC2,4) = 0;
TPURAM(NITC2,5) = 0;

SetFun(NITC2,NITCFUN);      /* kod funkcji: NITC z maski janiaka */
SetSeq(NITC2,0);           /* single shot, no links*/
SetSer(NITC2,1);           /* zadanie: inicjalizacja "TCR mode"*/
SetCpr(NITC2,3);           /* priorytet: wysoki */
EnInt(NITC2);              /* zezwolenie na przerwanie od kanlu z

interrupt void int_PIT()
{
char i=0;
char p=0;

par_sonar.ch1_ready=0;
par_sonar.ch2_ready=0;
par_sonar.ch1=65535;
par_sonar.ch2=65535;

DisInt(NITC1);
DisInt(NITC2);
gen_pulse=0;
ClrInt(GENCHAN);
TPURAM(GENCHAN,2) = GEN_PERIOD/2;
```

```
    sonar_start_t = TPURAM(GENCHAN,1);  
    EnInt(GENCHAN);  
}
```

```
interrupt void int_GENCHAN()  
{  
    gen_pulse++;  
    if (gen_pulse==8) {          /* 8 impulsow  
        TPURAM(GENCHAN,2) = GEN_PERIOD;  
    }  
}
```

```
if (gen_pulse==25) {  
    DisInt(GENCHAN);  
    ClrInt(NITC2);  
    ClrInt(NITC1);  
    EnInt(NITC2);  
    EnInt(NITC1);  
    SetSer(NITC1,1);  
    SetSer(NITC2,1);  
    }  
ClrInt(GENCHAN);  
}
```

```
interrupt void int_NITC1()  
{  
    ClrInt(NITC1);  
    par_sonar.ch1=TPURAM(NITC1,4)-sonar_start_t;  
    par_sonar.ch1_ready=1;  
}
```

```
interrupt void int_NITC2()  
{  
    ClrInt(NITC2);  
    par_sonar.ch2=TPURAM(NITC2,4)-sonar_start_t;  
    par_sonar.ch2_ready=1;  
}
```