

Univerza v Ljubljani



Fakulteta za elektrotehniko v Ljubljani



## **Elektronska vezja**

Seminarski projekt  
ULTRAZVOČNI SENZOR

*Poročilo o načrtovanju*

Ime in priimek: Vjekoslav Delimar  
Študijski program: Elektrotehnika, UNI

Datum: 15 januar, 2002

<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>VEZJE</b>	<b>1</b>
Princip delovanja	1
Generator oddajnih impulzov (modulacijski signal)	1
Generator ultrazvočne frekvence	2
Vezje za poganjanje ultrazvočnega oddajnika	2
Sprejemnik z ojačevalnikom	2
Detektor	2
Merilnik časa	4
<b>PRIKLOP IN UGLASITEV</b>	<b>6</b>
<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>6</b>
<b>PRILOGE</b>	<b>7</b>

## UVOD

Ultrazvočne naprave se največkrat uporabljajo za razne senzorje gibanja, merilnike distanc, merilnike pretoka, čistilce. Uporabljajo se celo v medicini. Izraz ultrazvok se uporablja za longitudinalno, mehansko valovanje v snovi, kjer je frekvenca valovanja nad 20kHz, torej nad slišnim območjem človeškega ušesa. Za klinično rabo so frekvence valovanja od 2 MHz - 10MHz.

Za seminarsko nalogo sem se odločil izdelati in predstaviti ultrazvočni senzor. Vezje bo oddajalo in nato sprejemalo odbito ultrazvočno valovanje. Odvisno od pretečenega časa med oddajo in sprejemom bo vezje reagiralo z svetlobnim indikatorjem in tako sporočilo da je v opazovanem prostoru nek objekt.

## VEZJE

### ***Princip delovanja***

Vezje je sestavljeno iz oddajnika, sprejemnika, detektorja in merilnika časa. Oddajnik generira in oddaja ultrazvočno valovanje. Sprejemnik sprejme odbiti val in ga pretvori v primeren električen signal, katerega peljemo v detektor. Z detektorjem ugotovimo ali je v prostoru nek objekt ali ne. Oddajnik signala ne oddaja vedno ampak je moduliran. Tako lahko tisti čas, ko ne oddajamo nemoteno sprejemamo odbiti val. Koliko časa je preteklo od oddaje in odbojem pa nam pove merilnik časa. Ta sklop nam ne bo pokazal informacijo koliko stotink sekunde je minilo od oddaje do sprejema ampak bo primerjalo čas, ki je potreben da se val odbije od maksimalne oddaljenosti npr. stene in neke ovire, ki je pred to steno.

### ***Generator oddajnih impulzov (modulacijski signal)***

Generator oddajnih impulzov je izveden s pomočjo timerja 555 IC<sub>1</sub> v taki vezavi, da deluje kot astabilni multivibrator. Frekvenco oscilacij določata R<sub>1</sub> in R<sub>4</sub> ter C<sub>5</sub>. Čas ko je na izhodu nizko stanje (gledano s stališča logičnih stanj) je določen s  $t_1 = 0,693 \cdot R_4 \cdot C_5$ . Čas ko pa je na izhodu visoko stanje pa je določeno s  $t_2 = 0,693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_5$ . Naš oddajnik bo oddajal ultrazvočne impulze le kratek čas. Ker je duty cycle pri tej vezavi vedno večje od 50%, mi pa potrebujemo kratek čas oddajanja (krajši čas je pa sedaj v nizkem stanju), bomo invertirali visoko stranje z logičnim inverterjem družine CMOS 4069 – IC<sub>3</sub>. Zakaj CMOS? Ker nima omejenega napajanja tako kot TTL. Kratek čas oddajanja potrebujemo zato, da lahko preostali čas nemoteno sprejemamo morebitne odbite signale.

Torej bo čas oddajanja ultrazvočnega signala enak t<sub>1</sub>. Pri danih elementih znaša ta čas približno 1ms.

## **Generator ultrazvočne frekvence**

Tako kot generator oddajnih impluzov, je tudi generator ultrazvočnega signala narejen s 555, vezan kot astabilni multivibrator. Vendar pa je izhod iz tega čipa (IC<sub>2</sub>) odvisen od stanja na pinu 4 (RESET). Ob visokem stanju na tem pinu je izhod omogočen v nasprotnem je izhod v nizkem stanju. Na ta pin bomo pripeljali invertiran izhod prejšnjega timerja. Torej bo izhod iz IC<sub>2</sub> omogočen vsakih t<sub>2</sub> za t<sub>1</sub>.

Po podatkih proizvajalca ultrazvočnega oddajnega in sprejemnega člena [Murata](#) je resonančna frekvenca le-teh 40kHz. Perioda  $T = 0,693 \cdot C_{10} \cdot (2 \cdot (R_6 + R_7) + R_5)$ . Ker je R<sub>5</sub> nekajkrat manjši od vsote R<sub>6</sub> in R<sub>7</sub>, bo duty cycle približno 50%. Točno resonančno frekvenco se nastavi s spremenljivim upornikom R<sub>6</sub>.

Na podoben način deluje radio na kratkih valovih s CW modulacijo. Znaki se oddajajo z vključevanjem oz. izključevanjem beat signala neke frekvence.

## **Vezje za poganjanje ultrazvočnega oddajnika**

Uporabljen je kar ostanek čipa 4069. Ker je za ultrazvočni oddajni element potreben izmenični signal, delamo pa samo z enosmerno napetostjo, je potrebno ta izmenični signal proizvesti. Ravno to počnejo inverterji. Če enosmerne impulze invertiramo, jih seštejemo z neinvertiranimi in pred tem še odvzamemo enosmerno komponento s kondenzatorjem C<sub>3</sub> dobimo približno dvojno vrednost izmenične napetosti. Ta je dovolj velika, da poganja ultrazvočni oddajni element s tako močnim signalom, da se bo odbil tudi od bolj oddaljenih objektov. Oblika signala sicer ni najlepša ampak to nas sploh ne moti.

## **Sprejemnik z ojačevalnikom**

Sprejemnik je zelo enostaven. Osnovnemu sprejemnemu elementu je dodan nizkošumni ojačevalnik IC<sub>4</sub>, ki bo ojačil šibek sprejemni signal. Zaradi nizkih vhodnih je potrebno uporabiti nizkošumni ojačevalnik in veliko ojačanje. Ker operacijski ojačevalnik nima simetričnega napajanja, je potrebno dvigniti vhodni signal na polovico napajalne napetosti. To vlogo odpravita R<sub>10</sub> in R<sub>11</sub>. Sedaj pa izmenični signal dobimo tako, da enosmerno komponento odstranimo s kondenzatorjem C<sub>11</sub> in C<sub>12</sub>. To je pravzaprav diferenciator, ki ima omejeno ojačanje pri visokih frekvencah in sicer prva stopnja z

$$Au_1 = -\frac{R_2}{R_9} \text{ in druga stopnja z } Au_2 = -\frac{R_{14}}{R_{12}}.$$

## **Detektor**

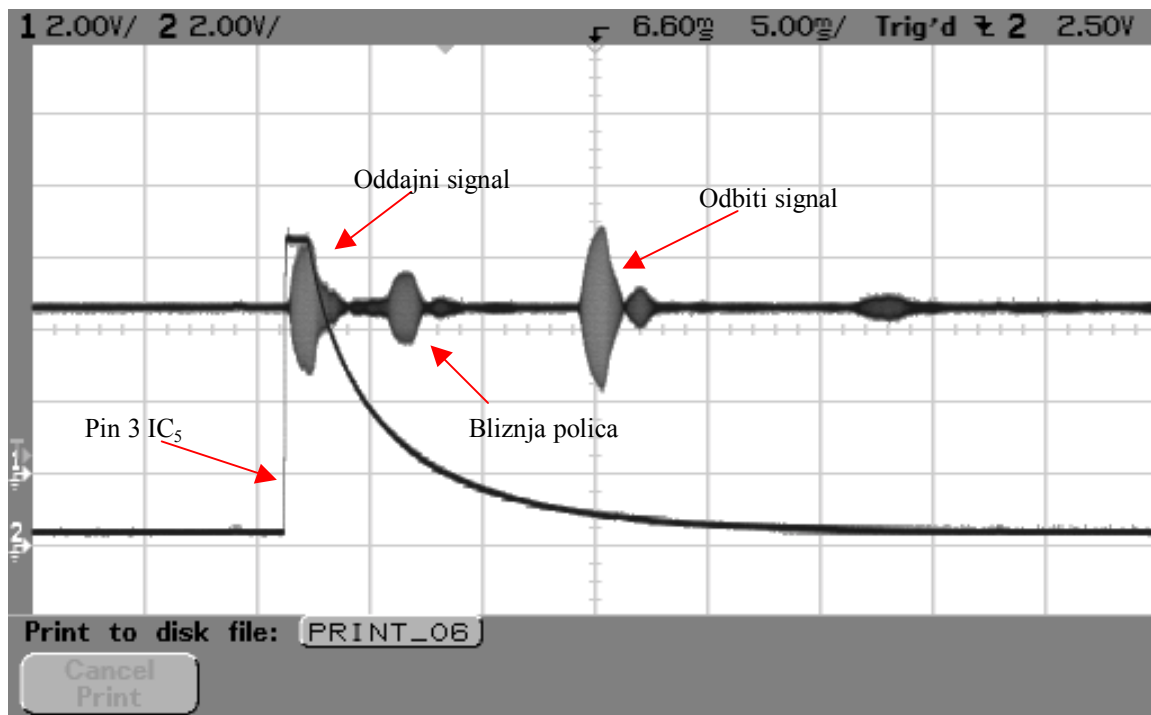
Ojačan signal najprej detektorjem dvotemenske vrednosti dvotemenske vrednosti C<sub>13</sub>, C<sub>14</sub>, D<sub>1</sub> in D<sub>2</sub> usmerimo nato pa peljemo na komparator IC<sub>5</sub>. Komparator je vezan tako, da

nima histereze, ker je ne potrebujemo. Tu so uporabljene shottky diode, zaradi dobrih preklopnih lastnosti in nizke kolenske napetosti. Kondenzator  $C_{14}$  in upornik  $R_{16}$  za usmernikom določata velikost detektiranega signala. Upornik  $R_{16}$  sem kasneje v vezje dodal sam, ker sem ugotovil, da je vezje brez tega nestabilno oz. sploh ne deluje pravilno – kondenzator  $C_{14}$  se je zaradi visoke vhodne impedance komparatorja oz. operacijskega ojačevalnika v prvotni izvedbi praznil prepočasi.

Komparator primerja referenčni signal, ki je nastavljen s pomočjo  $R_{12}$  in  $R_{13}$ .

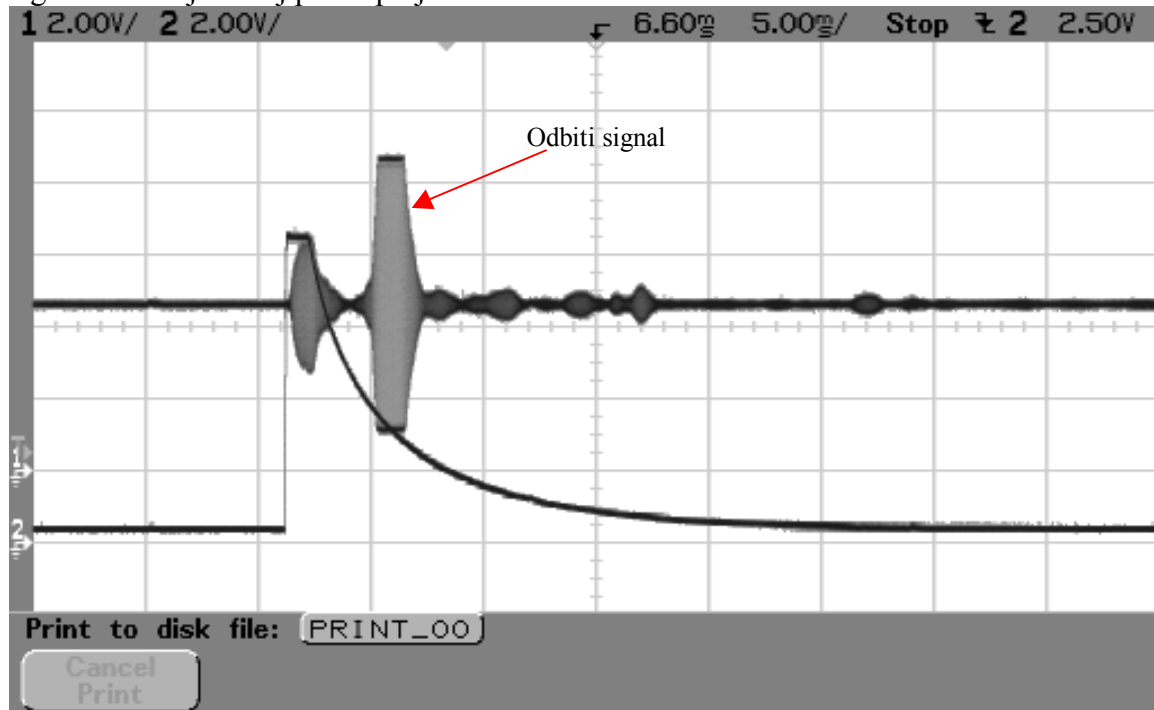
$V_{ref} = V_{CC} \frac{R_{15}}{R_{15} + R_3}$  Ko bo na neinvertirajočem vhodu komparatorja signal večji od te

referenčne napetosti, bo šel izhod komparatorja na nizko stanje. Dioda  $D_3$ , ki pride na neinvertirajoč vhod komparatorja iz oddajnega dela vezja ima to vlogo, da sporoči komparatorju kdaj je bil sprožen oddajni signal. Takrat se referenčna napetost dvigne na  $V_{CC} - V_{diode}$ . S tem preprečimo da bi se vezje prožilo na napačen signal, torej signal s katerim smo poslali oddajni impulz. Če imamo samo diodo, lahko uspešno preprečimo napačno detekcijo samo na sprednji del oddajnega impulza. Da podaljšamo ta čas preprečitve napačne detekcije, uporabimo še kondenzator  $C_9$ . Tako bo padajoči del oddajnega impulza počasi padal proti referenčni napetosti. S tem kondenzatorjem je določena tudi učinkovitost senzorja na krajših razdaljah. Če želimo imeti senzor, ki bo občutljivejši na kratkih razdaljah, potem mora biti  $C_9$  majhen, ker želimo, da se komparator normalno odziva na signale, ki se odbijejo od ovire, ki so blizu. Za primer: ultrazvočni signal za 30cm dolgo pot (objekt je na razdalji 15cm) pri 20°C porabi 1.75ms. Za lepšo predstavbo sem s pomočjo osciloskopa posnel signale na pinu 3  $IC_5$  (spodnji signal) in pin 1  $IC_4$  (zgornji signal). Na prvi sliki se vidita oddajni signal (ter signal na



vhodu komparatorja pinu 3  $IC_5$ , ki onemogoci delovanje) in odbite signale stropa (kasnejši odboj) in bliznje police (manjsi).

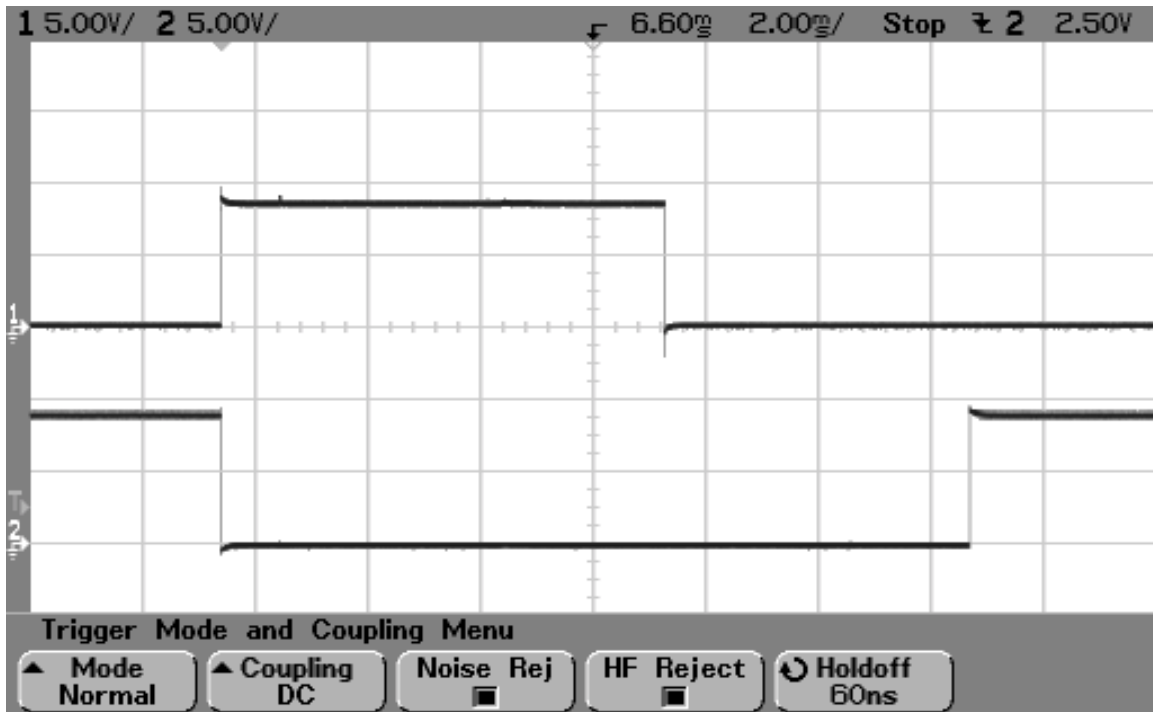
Kasneje sem postavil oviro, ki je lepše odbila oddani signal. Za pravilno delovanje senzorja ovira ne sme biti pod velikim kotom. V nasprotnem primeru se ultrazvočni signal ne odbije nazaj proti sprejemniku.



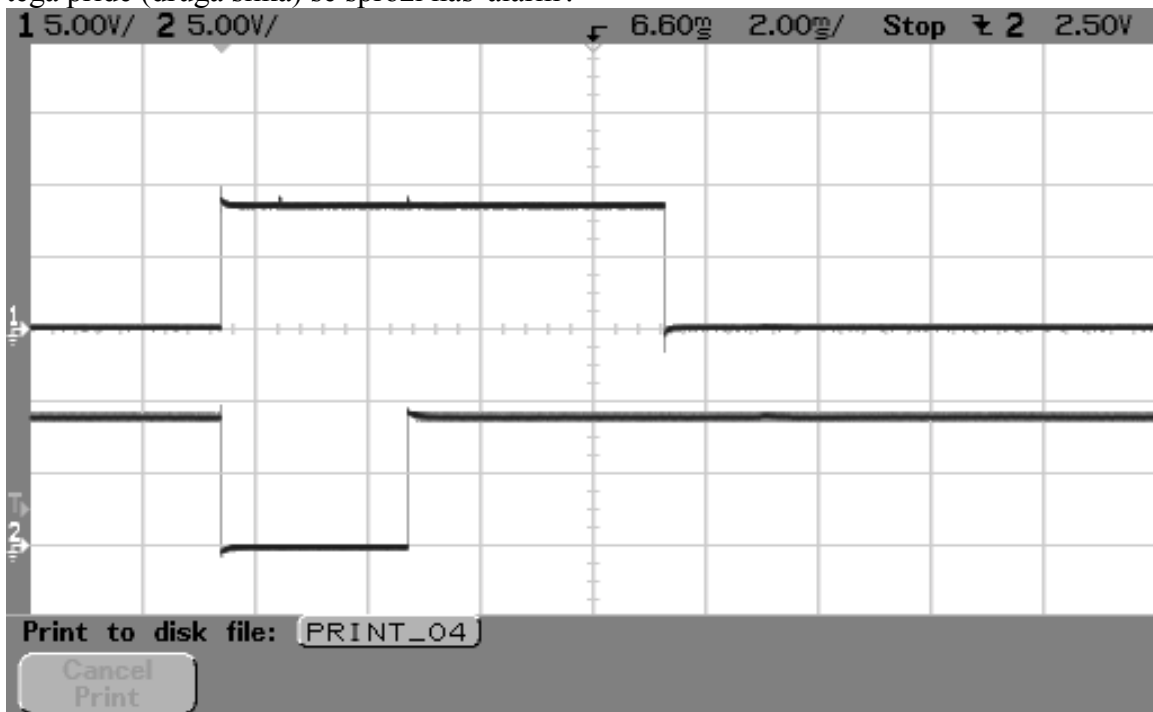
### **Merilnik časa**

Merilnik časa odboja je izveden z RS flip-flopom (RS-ff) in monostabilnim multivibratorjem. RS-ff je izveden kar z NAND vrati IC<sub>6</sub>. Monostabilni multivibrator je narejen s 555 IC<sub>7</sub>. Ko pripeljemo na pin 2 IC<sub>7</sub> nizko vrednost za kratek čas, bomo spremenili stanje na izhodu (pin 3) iz nizkega na visoko za nek določen čas, ki ga določata R<sub>17</sub>+R<sub>18</sub> in C<sub>18</sub>. Po tem času, se bo izhod postavil na prvotno stanje (nizko). Ko bomo začeli oddajati ultrazvočni signal, bomo pripeljali na pin 2 IC<sub>7</sub> nizko vrednost in spremenili stanje na izhodu na visoko. S tem smo sprožili 'stoparico'. Pin 6 IC<sub>6</sub> je sedaj na visokem stanju in izhod bo odvisen od stanja na pinu 5 IC<sub>6</sub>. Če bo pin 5 IC<sub>6</sub> postavljen na visoko stanje, bo izhod NAND vrat skočil na nizko stanje in s tem sprožil naslednji monostabilni multivibrator, ki je prav tako izveden s 555 IC<sub>8</sub>. Pin 5 pa je izhod nasega RS-ff. Le ta bo spremenil stanje takrat ko bomo sprejeli odbiti signal. Odbiti signal pa lahko pride preden je izhod IC<sub>7</sub> spremenil stanje ali kasneje. Če pride kasneje, pomeni, da nismo zaznali nobenega objekta ali pa je ta predaleč in se stanje na pinu 6 IC<sub>6</sub> postavi na nizko. Pin 4 IC<sub>6</sub> bo zato vedno na visokem stanju. Če pa pride prej kot pričakujemo, se bo tudi pin 5 IC<sub>6</sub> spravil na visoko stanje. Stanje na pinu 4 IC<sub>6</sub> bo zato spremenilo vrednost in kot rečeno, sprožilo naslednjo stopnjo (IC<sub>8</sub>).

Na osciloskopu sem spremljal signala na vходу NAND vrat IC6B. Zgornji signal je signal na pinu 6, spodnji pa na pinu 5. Zgorji signal ima konstanto dolžino trajanja. To je naš referenčni čas.



V času ko je na pinu 6 visoko stanje ne pričakujemo visokega stanja na pinu 5. Če pa do tega pride (druga slika) se sproži naš 'alarm'.



Dolžina trajanja nizkega stanja na pinu 5 nam pove koliko je stran naša ovira. Če bi dodali števec, bi lahko imeli merilnik razdalje.

Kdaj pričakujemo odbiti signal nastavimo z nastavljivim upornikom  $R_{17}$ . Minimalna razdalja je, kot smo povedali, določena s kondenzatorjem  $C_9$  pri komparatorju  $IC_5$ . S tako vrednostjo je minimalna razdalja približno 40cm. Če je razdalja do objekta 40cm je pot, ki jo prepotuje ultrazvočni signal 80cm in hitrost ultrazvoka pri  $20^{\circ}C$  je  $343,5m/s$ . Monostabilni multivibrator mora na izhodu držati svoje stanje najmanj:

$$T_1 = \frac{0,8m}{343,5m/s} = 2,33ms. \text{ Za razdaljo do ovire, ki je stran } 10m \text{ bi bil čas}$$

$$T_2 = \frac{20m}{343,5m/s} = 58,2ms. \text{ Vrednost } R_{18} \text{ dobimo pri najkrajšem času. } R_{18} = \frac{T_1}{C_7}, \text{ vrednost}$$

$$R_{17} \text{ pa dobimo ko bomo imeli najdaljši čas } R_{17} + R_{18} = \frac{T_1}{C_{18}}.$$

$IC_8$  je tudi 555 v vezavi, ki omogoča monostabilno delovanje. Sam detektor daje prekratko informacijo o tem ali je kak objekt zmotil ultrazvočni val. Zato to informacijo podaljšamo še z enim monostabilnim multivibratorjem.  $R_{19}$  in  $C_{21}$  sta preračunana prilično na 1 sekundo delovanja. Če bo kakšen moteči objekt v opazovanem prostoru, bo  $IC_8$  vedno prožen in bo konstantno držal svoje stanje na visokem stanju. Če bi šel izhod  $IC_8$  na nizko stanje za kratek čas, bi se tranzistor takoj zaprl in hitro prekinil tok skozi rele. Zato je na bazi tudi kondenzator  $C_{22}$ , ki shranjuje naboj in se počasi prazni preko  $R_{20}$ .  $T_1$  pa deluje kot stikalo, ki krmili rele. Dioda  $D_5$  je namenjena zaščiti vezja proti visokonapetostnim konicam, ki jih ustvarja tuljava releja pri preklopih.

## PRIKLOP IN UGLASITEV

Vezje postavimo tako, da sta senzorja obrnjena proti oviri, ki naj bo za začetek stran 1m.  $IC_1$  vzamemo iz vezja in pin  $IC_3$  postavimo na maso. Tako smo omogočili konstantno delovanje  $IC_2$ . Sondo osciloskopa priključimo na pin 1  $IC_4$ . Potenciometer  $R_6$  vrtimo toliko časa, dokler ne dobimo maksimalnega odčitka. Takrat smo ujeli resonančno frekvenco (40kHz po podatkih proizvajalca Murata) ultrazvočnega oddajnika. To je ves postopek uglaševanja. Potenciometer  $R_{17}$  pa služi nastavitvi razdalje do katere naj senzor zazna oviro.  $R_{17}$  zato nastavimo po potrebi.

## ZAKLJUČEK

Pri izdelavi seveda ni šlo brez problemov.

Samo vezje je zelo občutljivo na motnje, kajti sprejemni signal zna biti zelo šibek. Zato je potrebno za ojačevalnik sprejemnega signala vzeti nizkošumni ojačevalnik. Najbolj se obnesejo audio operacijski ojačevalniki kot sta NE5532 in LM833 (boljše). Tudi napajanje mora biti dobro izvedeno, saj se motnje iz napajalnika takoj pomešajo med koristne signale. To je še posebej opazno, če se vezje naredi na protoboardu. Dodatni



tritočkovni napajalnik je obvezen, kot tudi blokirni kondenzatorji med napajalnimi pini čipov. Še posebej pri 555, ki med preklopi zelo packajo napajalno napetost.

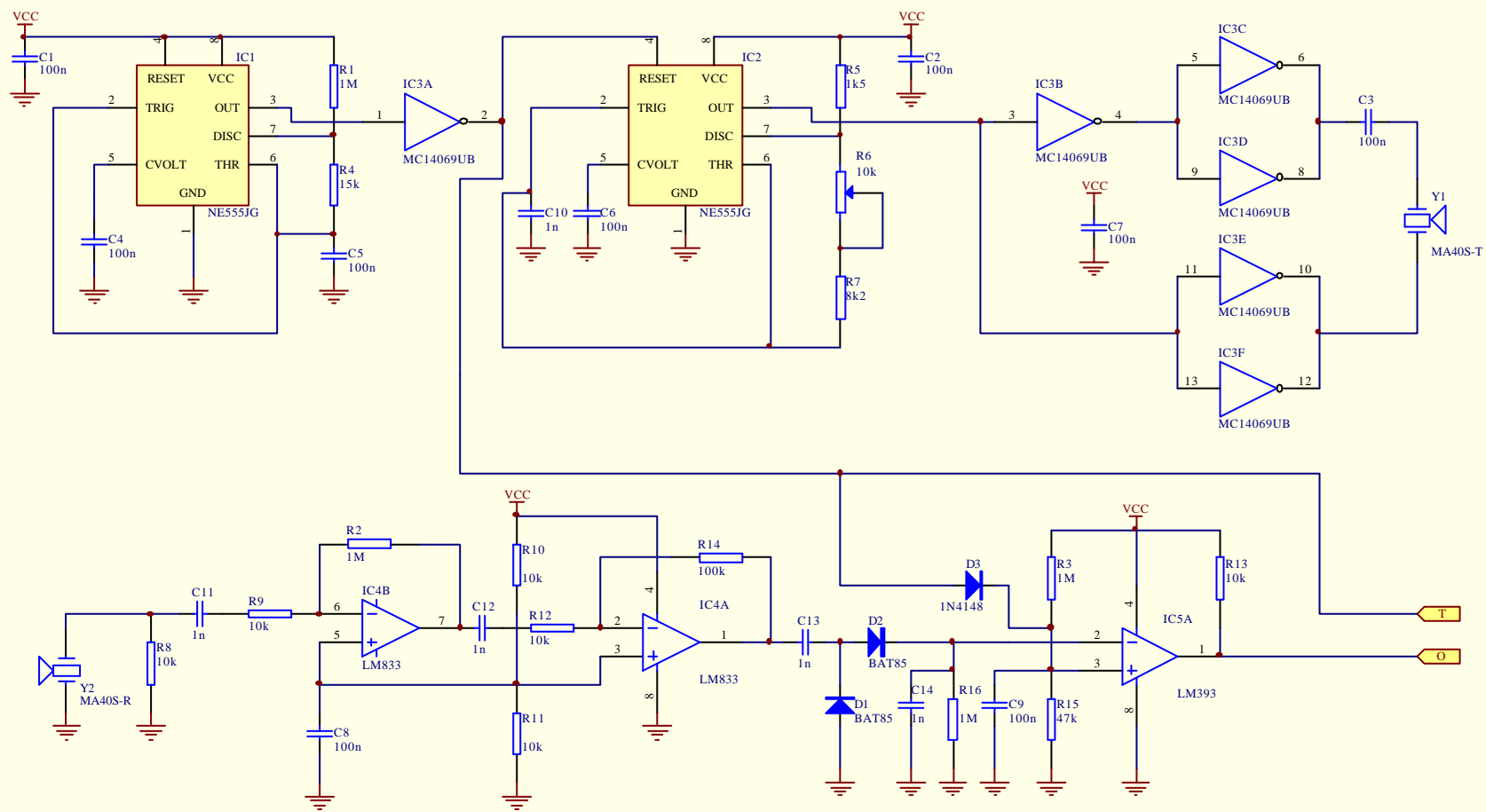
Za čim boljše delovanje bi bilo dobro, če bi bila ultrazvočni oddajni in sprejemni člen spravljena v nek tulec, ki bi jima določal boljšo smernost. Če tega ni, se lahko zgodi, da lahko bližnji objekt, ki ni ravno na poti tudi zmoti delovanje.

Vezje se lahko uporabi kot alarmna naprava proti vlomilcem, senzor pri delu s kakšnim nevarnim strojem (recimo če bi hoteli vstaviti roko v področje rezil pri kakšnem lesarskem orodju), indikator razdalje pri avtomobilu in podobno. Vezje se da spremeniti tudi v taki meri, da bi lahko naredili pravi merilnik razdalje, potrebovali bi še nekaj logike, ki bi bolj točno merila odbiti čas in pa seveda prikazovalnike.

## **PRILOGE**

- Shema sprejemnega in oddajnega dela z detektorjem
- Shema merilnika časa

# Shema oddajnika in sprejemnika



Shema merilnika èasa

