

# Sklop za mjerenje udaljenosti

---

**Samardžić, Marin**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:375261>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-27**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -  
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for  
permanent storage and preservation of digital  
resources of the institution](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**MARIN SAMARDŽIĆ**

**SKLOPOVI ZA MJERENJE UDALJENOSTI**

**ZAVRŠNI RAD**

**SPLIT, 2020.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**STUDIJ: POMORSKE ELEKTROTEHNIČKE I INFORMATIČKE**  
**TEHNOLOGIJE**

**SKLOPOVI ZA MJERENJE UDALJENOSTI**

**ZAVRŠNI RAD**

**MENTOR:**  
**dr. sc. Hrvoje Dodig**

**STUDENT:**  
**Marin Samardžić**  
**(MB:0171275975)**

**SPLIT, 2020.**

## **SAŽETAK**

U ovom radu obrađena je tema sklopovi za mjerenje udaljenosti. Napravljen je kratak uvod u metode mjerenja udaljenosti. Opisan je princip rada i građa laserskog, radarskog i ultrazvučnog sklopa za mjerenje udaljenosti kao i ultrazvučnog sklopa za mjerenje razine. Navedene su značajke i načini na koje dobivamo informacije o udaljenosti u pojedinom sklopu. Svaki prikazan sklop mjeri udaljenost na drugačiji način, ima određene prednosti i nedostatke pa je prilikom odabira mjernog uređaja potrebno proučiti i dobro promisliti koji uređaj odabrati u određenoj situaciji.

**Ključne riječi:** *mjerenje udaljenosti, daljinomjer, laserski daljinomjer, radarski daljinomjer, ultrazvučni daljinomjer*

## **ABSTRACT**

This article deals with the topic of the distance measuring devices. A brief introduction to distance measurement methods is made. The working principle and structure of the laser, radar and ultrasonic distance measuring device as well as the ultrasonic level measuring device is described. The features and ways in which we obtain information about the distance in a particular device are listed. Each displayed device measures distance in different way, has certain advantages and disadvantages, so when choosing a measuring device it is necessary to study and think carefully about which device to choose in a particular situation.

**Keywords:** *distance measurement, rangefinder, laser rangefinder, radar rangefinder, ultrasound rangefinder*

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>5</b>
<b>2. MJERENJE UDALJENOSTI</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1. METODE MJERENJA UDALJENOSTI</b> .....	<b>6</b>
2.1.1. Optički daljinomjer .....	6
2.1.2. Elektronički daljinomjer .....	7
<b>3. SKLOPOVI ZA MJERENJE UDALJENOSTI</b> .....	<b>9</b>
3.1. LASERI.....	9
3.2. LASERSKI DALJINOMJER.....	10
3.2.1. Blok shema laserskog daljinomjera .....	13
3.3. RADAR.....	14
3.4. BLOK SHEMA I PRINCIP RADA RADARA .....	16
3.5. RADARSKO MJERENJE UDALJENOSTI.....	21
3.5.1. Domet radara .....	22
3.5.2. Pogreške mjerenja udaljenosti .....	25
3.6. ZVUK I ULTRAZVUK.....	25
3.7. NASTANAK ULTRAZVUKA.....	28
3.8. ULTRAZVUČNO MJERENJE UDALJENOSTI .....	29
3.8.1. Sklop za ultrazvučno mjerenje .....	30
3.9. ULTRAZVUČNO MJERENJE RAZINE .....	31
3.10. PRIMJENA ULTRAZVUKA .....	32
<b>4. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>34</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>36</b>
<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>37</b>
<b>POPIS TABLICA</b> .....	<b>38</b>
<b>POPIS KRATICA</b> .....	<b>39</b>

## 1. UVOD

Duljina je osnovna fizikalna veličina kojom se opisuje udaljenost dviju točaka u prostoru. Mjerna jedinica duljine je metar (m). Sklop koji mjeri udaljenost između dvije točke naziva se daljinomjer. Postoji više vrsta daljinomjera, u ovom radu su opisani način rada i građa laserskog, radarskog i ultrazvučnog sklopa za mjerenje udaljenosti.

Sklopovi imaju jednostavan princip rada, zasnivaju se na mjerenju vremena ili fazne razlike nakon putovanja elektromagnetskog ili ultrazvučnog vala do cilja i natrag do sklopa. Služe za precizno mjerenje udaljenosti i mogu se koristiti kod nepravilnih ili nepristupačnih terena. Također, mogu služiti i za mjerenje dubine. Imaju široku primjenu u medicini, vojsci, pomorstvu, graditeljstvu i tako dalje.

U drugom poglavlju završnog rada opisane su metode mjerenja udaljenosti, podjela sklopova za mjerenje udaljenosti te je opisan način na koji optički i elektronički sklopovi mjere udaljenost.

Iduće poglavlje detaljno opisuje lasere, njihov princip rada, način na koji mjere udaljenost te je prikazana blok shema laserskog sklopa za mjerenje udaljenosti. U istom poglavlju opisan je način rada i građa radara, način radarskog mjerenja udaljenosti te njegov domet i pogreške koje se javljaju prilikom radarskog mjerenja udaljenosti. Nadalje, opisan je način nastanka ultrazvuka i mjerenje udaljenosti ultrazvukom. U posljednjem poglavlju rada nalazi se zaključak.

## 2. MJERENJE UDALJENOSTI

### 2.1. METODE MJERENJA UDALJENOSTI

Sklopovi za mjerenje udaljenosti ili daljinomjeri služe kako bi se točno mogla odrediti udaljenost od stajališta promatrača i nekog objekta ili između dva objekta. Razvojem tehnologije tijekom stoljeća dolazi i do razvoja daljinomjera, postoje veoma jednostavne izvedbe za mjerenje udaljenosti te složenije izvedbe. Primjenjuju se na brodovima, u geodeziji, vojsci i ratnoj mornarici služe za određivanje udaljenosti od mete. Značaj njihove upotrebe dolazi do izražaja na neravnom i nepristupačnom terenu kada je direktno mjerenje udaljenosti između dvije točke nemoguće. Daljinomjeri se dijele u dvije skupine:

- optički daljinomjeri
- elektronički daljinomjeri

#### 2.1.1. Optički daljinomjer

Osniva se na rješavanju zamišljenog paralaktičnog trokuta od instrumenta do cilja. Prema slici 1. vidimo da je jedan kut trokuta veoma je malen (paralaktički kut), a nasuprot njemu nalazi se veoma mala stranica koja se naziva bazom, ona se može nalaziti na stajalištu promatrača ili na cilju. Daljinomjer koji ima bazu na stajalištu sastoji se od dva objektiva s paralelnim osima, a njihov razmak tvori bazu trokuta. Zbog toga se u okularu vide dvije slike cilja koje se zakretanjem jednog objektiva spajaju u jednu sliku, pa se tako mjeri kut potreban za izračunavanje udaljenosti pomoću jednostavnih trigonometrijskih jednadžbi (5). Daljinomjeru s bazom na cilju baza služi kao mjerna letva. Poravnanjem mjernih niti u okularu određen je istodobno i paralaktički kut, pa se može izračunati udaljenost. Optički daljinomjer je u današnjem vremenu slabo korišten, ima mali doseg mjerenja (od 100 do 200m) i male su točnosti.

$$l = \frac{d}{\tan \alpha} + \frac{d}{\tan \beta} \quad (1)$$

$$\text{Iz čega proizlazi: } d = \frac{l}{\frac{1}{\tan \alpha} + \frac{1}{\tan \beta}} \quad (2)$$

$$\text{Korištenjem trigonometrijskih jednadžbi: } \tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \quad (3)$$

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta \quad (4)$$

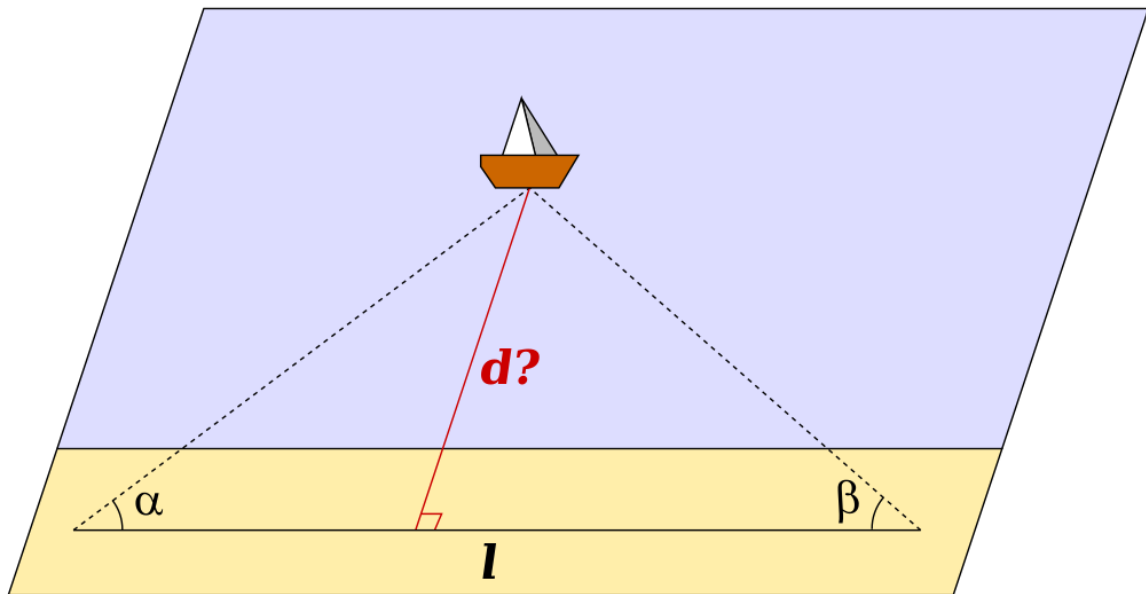
dobijemo: 
$$d = \frac{l \sin \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (5)$$

Iz ove jednadžbe možemo jednostavno izračunati udaljenost do nekog objekta.

gdje je : d-udaljenost

l-duljina baze

$\alpha$  i  $\beta$ - mjereni kutovi



Slika 1.Triangulacija[1]

### 2.1.2. Elektronički daljinomjer

Postoje dvije izvedbe elektroničkih daljinomjera i to:

- impulsni daljinomjer
- fazni daljinomjer

Osnova elektroničkog daljinomjera je mjerenje vremena (impulsni daljinomjer) ili fazne razlike (fazni daljinomjer) nakon putovanja elektromagnetskog vala do cilja i natrag do daljinomjera (Slika 2.). Većina ovakvih daljinomjera rade s vidljivim i infracrvenim zračenjem, pa je zbog toga nužna izravna optička povezanost s ciljem. Ovaj tip daljinomjera ima velik doseg i srednju do visoku točnost mjerenih udaljenosti (od  $10^{-4}$  do manje od  $10^{-6}$ ). Većinom su to instrumenti koji rade na visokom stupnju automatizacije



zbog primjene računala koje upravlja mjernim procesom i obavlja sve kontrolne i računске funkcije. Izvedba elektroničkog daljinomjera koja odašilje kratak impuls elektromagnetskog zračenja koji se od reflektora na cilju odbija i vraća natrag do daljinomjera se naziva impulsna. Na temelju proteklog vremena koje je potrebno impulsu da prijeđe put do cilja i natrag određuje se udaljenost do cilja (7). Način rada impulsnog daljinomjera je u načelu jednostavan, mjerenje udaljenosti je vrlo složeno zbog velike razine širenja elektromagnetskih valova, pa je zbog toga potrebno mjeriti vrijeme putovanja s velikom točnošću. Na brzinu širenja impulsa utječe i sastav i nestabilnost atmosfere, a zbog divergencije snopa nastaju refleksi koji smanjuju točnost mjerenja. Za vrijeme emisije impulsa veličina impulsa treba biti konstantna. Impulsni način mjerenja ima široku primjenu pri mjerenju kratkih duljina zbog toga što se duljina dobiva direktno, traje veoma kratko te su moguća mjerenja kratkih duljina bez reflektora na cilju. Izvedba elektroničkog daljinomjera koja kontinuirano odašilje elektromagnetske valove i ponovno ih prima nakon refleksije na cilju, a iz fazne razlike između odaslanog i povratnog vala određuje udaljenost do cilja naziva se faznom. Za vrijeme mjerenja emitira modulirane svjetlosne valove ili valove mikrovalnog područja. Na osnovi usporedbe razlika faza dvaju signala u jednom trenutku u mjerачu faze dobivamo osnovnu informaciju o duljini [1].

$$c = \frac{c_0}{u} \quad (6)$$

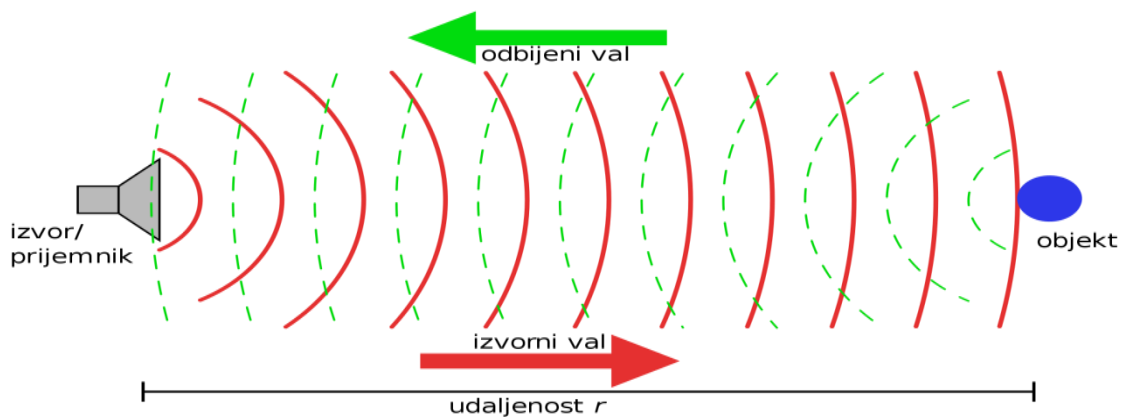
gdje je: c-brzina vala u toku mjerenja

$c_0$ -brzina vala u vakuumu

u-indeks prelamanja

$$D = \frac{c_0 t}{u} \quad (7)$$

gdje je: t-vrijeme potrebno valu da prijeđe udaljenost do cilja i natrag

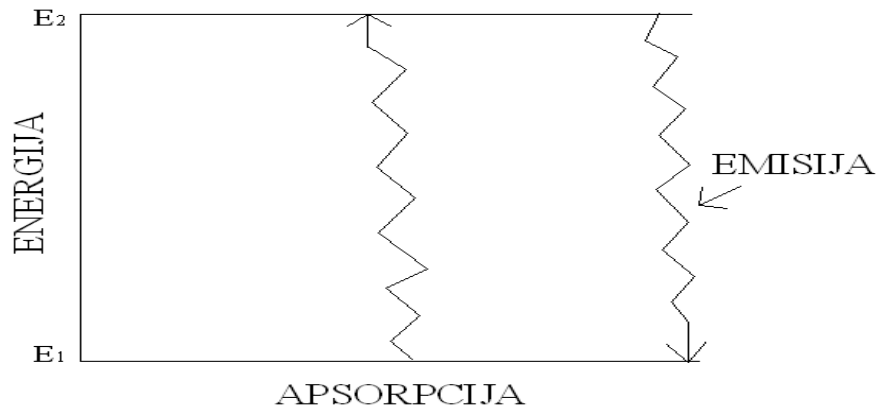


Slika 2. Način rada sonara[1]

### 3. SKLOPOVI ZA MJERENJE UDALJENOSTI

#### 3.1. LASERI

Laser (eng. **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation: pojačanje svjetlosti s pomoću stimulirane emisije zračenja) je uređaj za pojačavanje i stvaranje koherentnog elektromagnetskog usko usmjerenog zračenja. Zasniva se na kvantnim pojavama pri prijenosu energije zračenjem i na međudjelovanju atoma ili molekula s vlastitim zračenjem. Laserska je svjetlost emitirana pri prijelazu atoma iz višeg u niže energetske stanje. U laserima atomi djeluju zajedno kako bi proizveli svjetlost koja je karakteristična po tome što je sastavljena od samo jedne frekvencije (visoko monokromatska), usmjerena je i koherentna. Laserska svjetlost se može oštro fokusirati. Emisija svjetla nastaje kao posljedica promjene energije atomskog ili molekularnog skupa. Takva emisija može se shvatiti ako se promatra nastala svjetlost i skup atoma koji je tu svjetlost stvorio, kao zatvoreni sustav. Tada se dolazi do zakonitosti koje tumače pojačavanja svjetlosti u atomskoj sredini. Tako definirana atomska sredina s vlastitim poljem zračenja zatvorena unutar optičkog rezonatora daje laserske oscilacije uz određene uvjete. Izmjena energije zračenja s atomima ili molekulama zbiva se apsorpcijom (upijanjem), te spontanom i stimuliranom emisijom zračenja. Ta se izmjena može objasniti na jednostavnom modelu atoma s dvije energetske razine (8) [2].



**Slika 3. Izmjena energije zračenja**

Izmjena energije jednaka je razlici energija  $E_2$  i  $E_1$ :

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad (8)$$

Stimulirana emisija zbiva se kada na atom u pobuđenom stanju djeluje zračenje energije. Zračenje nastalo emisijom širi se u istom smjeru kao i ono koje je stimuliralo atome na emisiju.

Dijelovi lasera su:

- aktivna tvar (sredstvo)
- rezonator
- izvor napajanja
- elektronika koja kontrolira rad
- izlazna optika

Prema režimu rada laseri se dijele na impulsne i one s kontinuiranim radom. Imaju široku primjenu u biologiji i medicini, s njima je moguće obrađivati materijale, mjeriti duljine, služe za komunikaciju i navođenje itd.

### 3.2. LASERSKI DALJINOMJER

Razvojem poluvodičkih lasera, mikroprocesora i poluvodičkih integriranih elektroničkih sklopova u drugoj polovici dvadesetog stoljeća omogućen je razvoj laserskih daljinomjera. Prvi takav daljinomjer predstavljen je 1994.g. na sajmu u Parizu, kao novi proizvod švicarske tvrtke Leica.

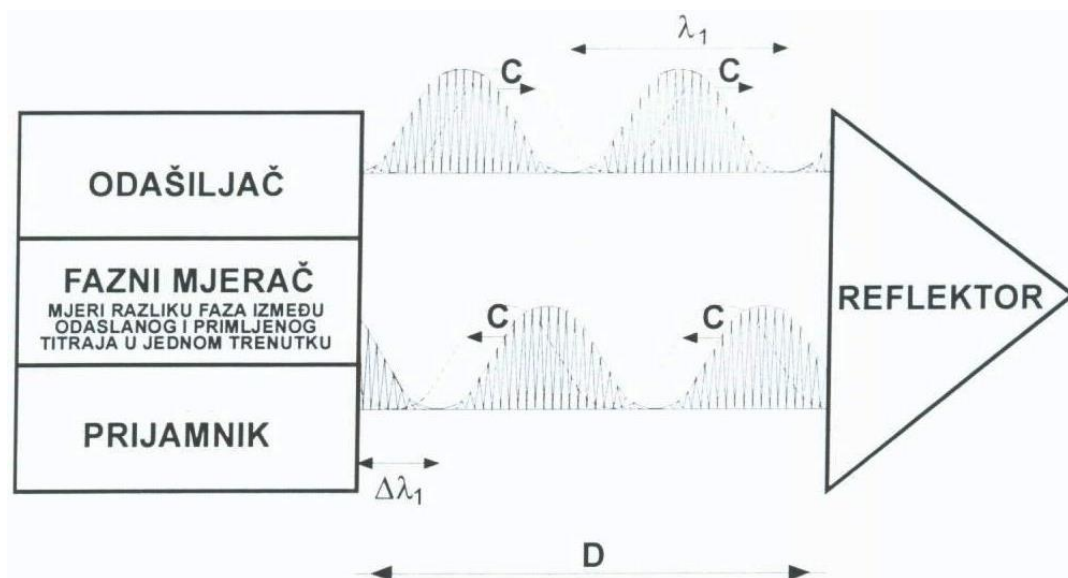
Laser odašilje uski snop crvene svjetlosti iz laserskog daljinomjera (valne duljine  $670 \mu\text{m}$ ) amplitudno modulirane frekvencijom 50 MHz. Uz brzinu širenja svjetlosti od cca

300 000 km/s, te frekvenciju od 50 MHz iz daljinomjera se odašilje crvena svjetlost lasera amplitudno modulirana valnom duljinom  $\lambda_1=6m$ . Svjetlost na putu od daljinomjera do reflektora i natrag prijeđe put  $2D$ . Na slici 4. se vidi da se u duljini  $2D$  nalazi cijeli broj valnih duljina ( $\lambda_1$ ) i dio valne duljine ( $\Delta \lambda_1$ ).

Proizlazi da je:

$$2D=n \lambda_1+ \Delta \lambda_1 \quad (9)$$

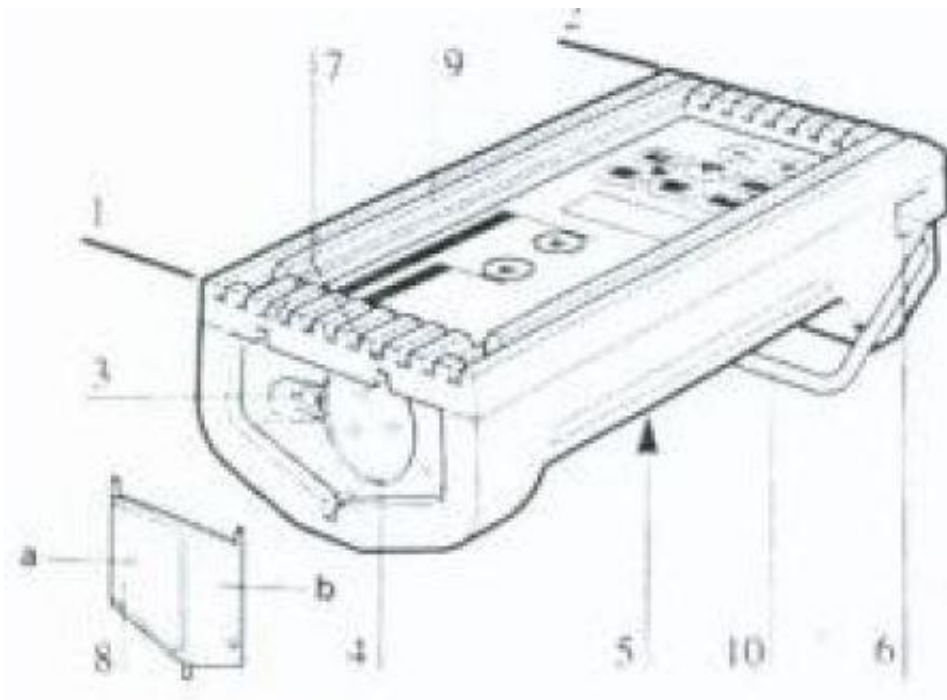
Nakon što se izmjeri cijeli broj valnih duljina („grubo“ mjerenje), ostatak valne duljine ( $D \lambda_1$ ) određuje se faznim mjeračem, mjerenjem razlike faze ( $f_1$ ) između odaslanog i primljenog signala u istom trenutku, tj. određuje se „fino“ mjerenje kojim se dobije ostatak duljine. Kombinacija amplitudne i fazne modulacije, uz pomoć mikroprocesora ugrađenog u daljinomjer omogućuje da se istovremeno obavi „grubo“ i „fino“ mjerenje.



Slika 4.Princip faznog načina mjerenja duljina

Osnovne karakteristike laserskog daljinomjera su visoka preciznost mjerenja, relativno malena veličina daljinomjera te jednostavna upotreba i korištenje. Digitalnim tregačem zrake jednostavno se i brzo pronalazi cilj uz mogućnost primjene digitalnog povećanja (engl.zoom) s nitnim križem. Modernim laserskim daljinomjerima može se izmjeriti duljina od 5cm do 200m s mjernom nesigurnošću od  $\pm 1,5mm$ . Vrijeme mjerenja duljine je od 0,4s do 4s,dok je širina laserskog snopa između 6mm i 60mm ovisno o udaljenosti do ciljne točke. Izvor napajanja su najčešće baterije od 1,5V ili, rjeđe, kabel za

punjenje struje akumulatora. Dimenzije laserskog daljinomjera su različite od modela do modela (npr.102x58x33 mm), a masa im je između 0,16kg do 0,36kg. Laserski daljinomjeri se primjenjuju za mjerenje duljine, visine, nagiba te služe za izračun površine i volumena mjenenog objekta.



**Slika 5.Opis laserskog daljinomjera Leica "DISTO"[3]**

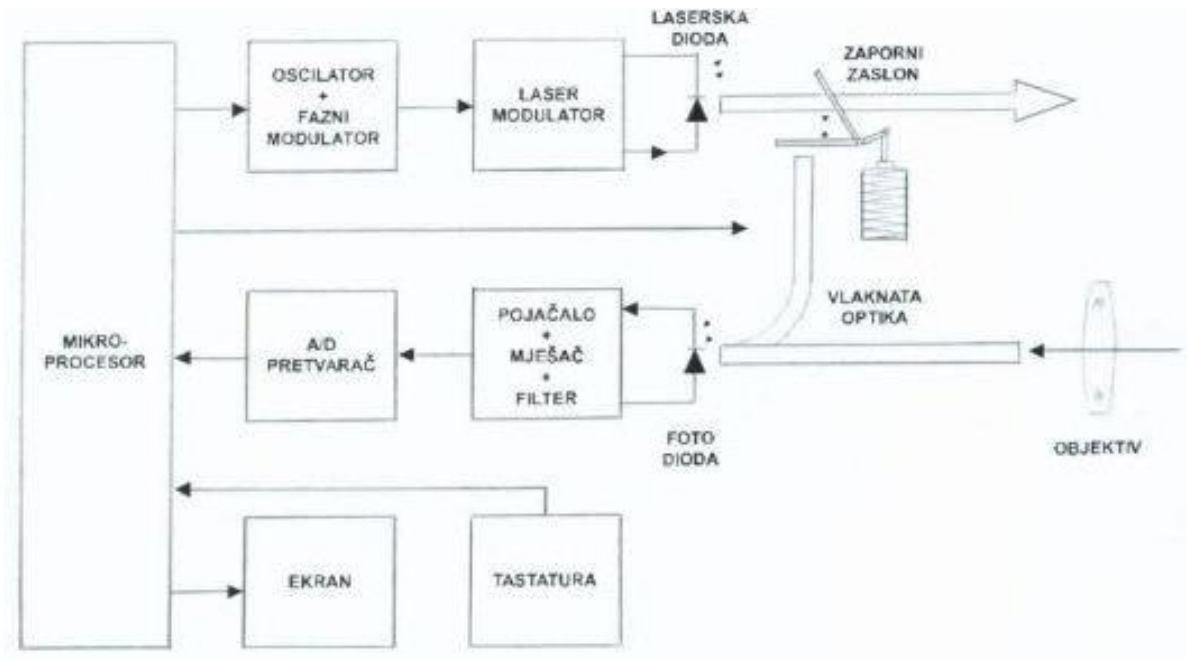
- 1-kućište uređaja
- 2-prednji rub do kojeg daljinomjer mjeri duljinu
- 3- stražnji rub do kojeg daljinomjer mjeri duljinu
- 4-otvor kroz koji izlazi laserski snop iz daljinomjera
- 5-objektiv kroz koji u daljn timer dolazi reflektirani laserski snop (od točke do koje se mjeri duljina)
- 6-donja strana kućišta daljinomjera prilagođena za držanje daljinomjera
- 7-utičnica za kabel
- 8-urezi za postavljanje zaštitnog poklopca objektiva
- 9-poklopac za zaštitu objektiva
- 10-zaštitni omotač
- 11-potporni držač daljinomjera



**Slika 6. Laserski daljinomjer**

### **3.2.1. Blok shema laserskog daljinomjera**

Mikroprocesor upravlja oscilatorom i faznim modulatorom (Slika 7.) , tako da u mikroprocesoru postoji odaslani digitalizirani signal niske frekvencije, a laserski je snop amplitudno moduliran visokom frekvencijom 50 MHz i fazno moduliranom frekvencijom 1.042 MHz. Reflektirajuću lasersku svjetlost od zida, stijene ili objekta do kojeg se mjeri duljina objektiv fokusira na fotodiodu koja modulirani svjetlosni signal pretvara u električni kojeg pojačalo pojačava. Analogno-digitalni pretvarač (A/D) primljeni analogni signal iz mješača i filtera niske frekvencije pretvara u digitalni signal. Mikroprocesor računa fazni pomak između odaslanog i primljenog signala. Fazni pomak  $f$  određuje se za sto perioda valova i uzima srednju vrijednost, radi veće točnosti mjerenja. Mikroprocesor neprekidno mjeri fazni pomak između odaslanog i primljenog signala za unutarnji i vanjski put svjetlosti i uzima ih u obzir prije pokazivanja konačnog rezultata mjerenja na pokazivaču (engl.display) [3].

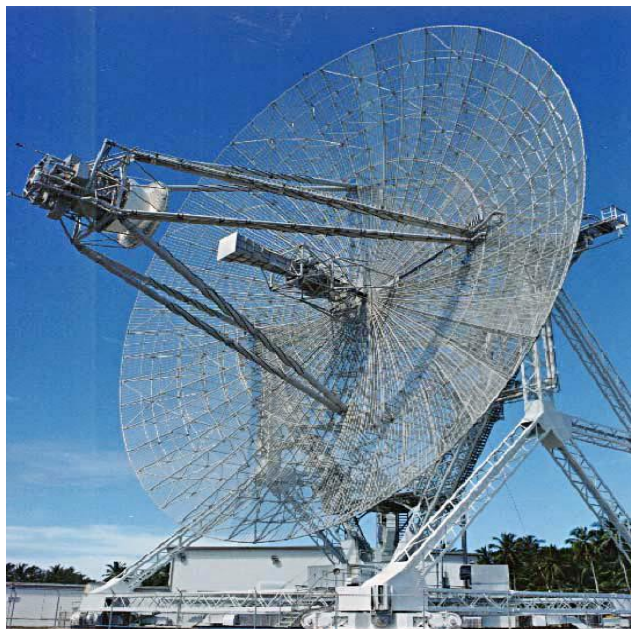


Slika 7. Blok shema laserskog daljinomjera Leica "DISTO"

### 3.3. RADAR

Radar ( **R**adio **D**etection and **R**anging; otkrivanje i određivanje udaljenosti radio valovima) je elektronički uređaj za određivanje lokacije, udaljenosti, azimuta, kutne visine i brzine nekog predmeta na temelju refleksije (odbijanja) iz uređaja emitiranih elektromagnetskih valova od taj predmet. Prvi takav uređaj izrađen je oko 1900.godine u svrhu sprječavanja sudara brodova, izumio ga je njemački znanstvenik Christian Hulsmeyer. Prvi uređaj koji je u osnovi istovjetan današnjim radarima izradio je Robert Watson-Watt 1935.godine. Radar omogućuje otkrivanje predmeta u uvjetima loše i smanjene vidljivosti, na primjer kroz kišu, maglu ili dim te u mraku. Kako se elektromagnetski valovi šire pravocrtno domet radara ograničen je zakrivljenošću Zemljine površine, pa tako na primjer u kontroli zračnog prometa iznosi oko 400km. Domet od nekoliko tisuća kilometara ima jedino radar koji koristi refleksiju valova na ioniziranim slojevima atmosfere (ionosfera). Radari se primjenjuju u područjima kontrole zračnog prometa. U tu svrhu se koriste promatrački radari velikog dometa i radari koji nadziru prilaz pojedinoj zračnoj luci, njihov domet je od nekoliko desetaka kilometara. Radari se primjenjuju i u navigaciji, takvi radari imaju domet do 100km i služe za pomoć posadi pri upravljanju brodom ili zrakoplovom u uvjetima smanjene vidljivosti i/ili gustog prometa.

Slični se radari postavljaju u zračnim i pomorskim lukama te uz plovne puteve i služe za nadzor prometa. Upotreba radara važna je u meteorologiji zbog lociranja područja oborina i oblaka u atmosferi te gibanja tih oblaka. Koriste se i za određivanje vrste i jakosti oborina, strukture oblaka i za određivanje visinskog vjetra. Meteorološki radari rade u više frekvencijskih područja jer se zbog različite reflektivnosti na različitim frekvencijama može dobiti znatno više meteoroloških podataka. Radari se koriste za promatranje Zemljine površine i drugih planeta, a prikupljeni podatci nalaze primjenu u šumarstvu, agronomiji, rudarstvu, geografiji, oceanografiji, ekologiji, astronomiji i tako dalje. Radari koji se koriste u tu svrhu imaju antenu koja je postavljena na pokretni predmet (zrakoplov, satelit) koji se kreće konstantnom brzinom iznad ili uzduž promatranog područja. Računalnom obradom podataka prikupljenih promatranjem uz više uzastopnih položaja antene dobiva se slika promatranog područja visoke razlučivosti. Vojna primjena radara uslijedila je netom nakon njegova izuma. Početkom II. svjetskog rata vodeće sile svijeta počele su koristiti i razvijati radare. Pomoću radara, koji su se najčešće postavljali uzduž obale, sile su mogle pratiti protivničke zrakoplove i nadzirati vatru protuzračnih topova. Danas se radari koriste u svim granama oružanih snaga. Najčešće se koriste u protuzračnoj i proturaketnoj obrani, služe za prikupljanje obavještajnih podataka, otkrivaju i prate kretanje vozila, ali i pojedinačnih vojnika na bojištu [4].



**Slika 8. Radarska antena**



### **3.4. BLOK SHEMA I PRINCIP RADA RADARA**

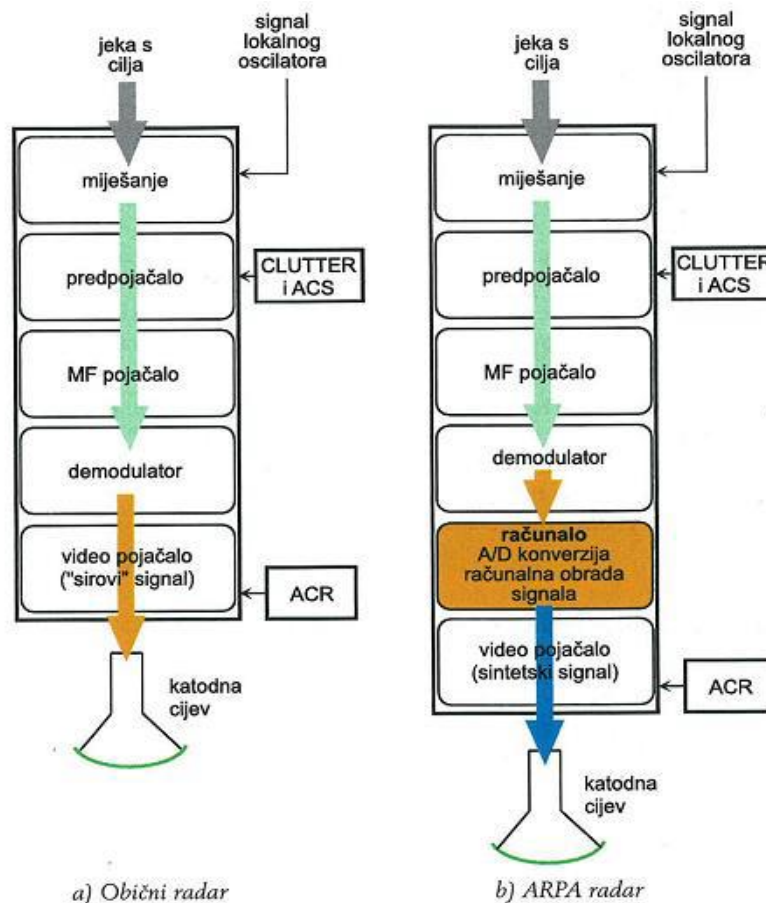
Način rada radara poprilično je jednostavan. Temelji se na odašiljanju vrlo kratkih elektromagnetskih impulsa u određenom smjeru i na mjerenju vremena do povratka jeke od objekta koji je zahvaćen tim impulsom. Zbog velike brzine širenja elektromagnetskih valova jedini moguć sustav prikazivanja jeke je pokazivač s katodnom cijevi. Odašiljani elektromagnetski valovi šire se pravocrtno, a zatim se reflektirani vraćaju u brodsku antenu odakle ih antenski preklopnik odvodi u prijemnik, impuls se pojačava i demodulira i stiže u radarski pokazivač. Radar je obvezan za brodove veće od 1000 GT te je potrebno da otkriva objekte na što manjoj udaljenosti, postigne što veći domet te da može dobro razlikovati objekte po azimutu i po udaljenosti. U počecima primjene radara za izbjegavanje sudara na moru, u određenim intervalima podatci sa zaslona radara prenosili su se na dijagram ili stol za ucrtavanje (engl. Plotting chart). Pojava ARPA sustava, sustava automatskog radarskog ucrtavanja uvelike je olakšala procjenu mogućih sudara i praćenje željenih ciljeva. To je sustav sa ugrađenim računalom koji je cijeli postupak ucrtavanja automatizirao i poboljšao. Položaj točke na zaslonu označava koordinate cilja, a njegova svjetlina veličinu [5].



**Slika 9. ARPA radarsko ucrtavanje na brodu**

Radarski uređaj sastavljen je od predajnika (odašiljača), prijemnika, antene, računala za obradu i prikaz podataka. Osim navedenih elektronskih komponenti u sklopu radara je i motor generator. **Predajnik** brodskog radara je oscillator koji generira impulse SHF (Super High Frequency) valnih duljina od dva do deset centimetara (frekvencija od 3 GHz do 15 GHz) vrlo velike snage (do 100 kW). Glavni dijelovi predajnika su multivibrator, modulator i magnetron. Master oscillator ima funkciju uključivanja uređaja, to je zapravo bistabilni **multivibrator** koji generira igličaste impulse vrlo stabilne frekvencije. U jednoj sekundi generira 500 do 3500 impulsa koji se iz master oscilatora dijele na dva dijela: jedan dio vodi prema prijemniku, a drugi prema predajniku i obje komponente radarskog uređaja uključuje istodobno. **Modulator** ima funkciju odgovarajućeg moduliranja igličastog signala u pravokutni čije trajanje određuje vrijeme rada predajnika. U prosjeku vrijeme trajanja jednog pravokutnog signala je između 0,2 mikrosekundi i 1,25 mikrosekundi. S obzirom da svaki impuls uključuje predajnik ovaj se element zove i okidač (engl. trigger), a element modulatora koji ima funkciju generiranja impulsa se prema tome naziva trigatron. **Magnetron** je šuplji rezonator na kojeg je narinut vrlo visoki napon (do 10 kV) čime se proizvodi potrebna snaga signala (20 do 100 kW). Magnetron generira impuls vrlo visoke frekvencije (do 12.5 GHz) i velike snage (do 100

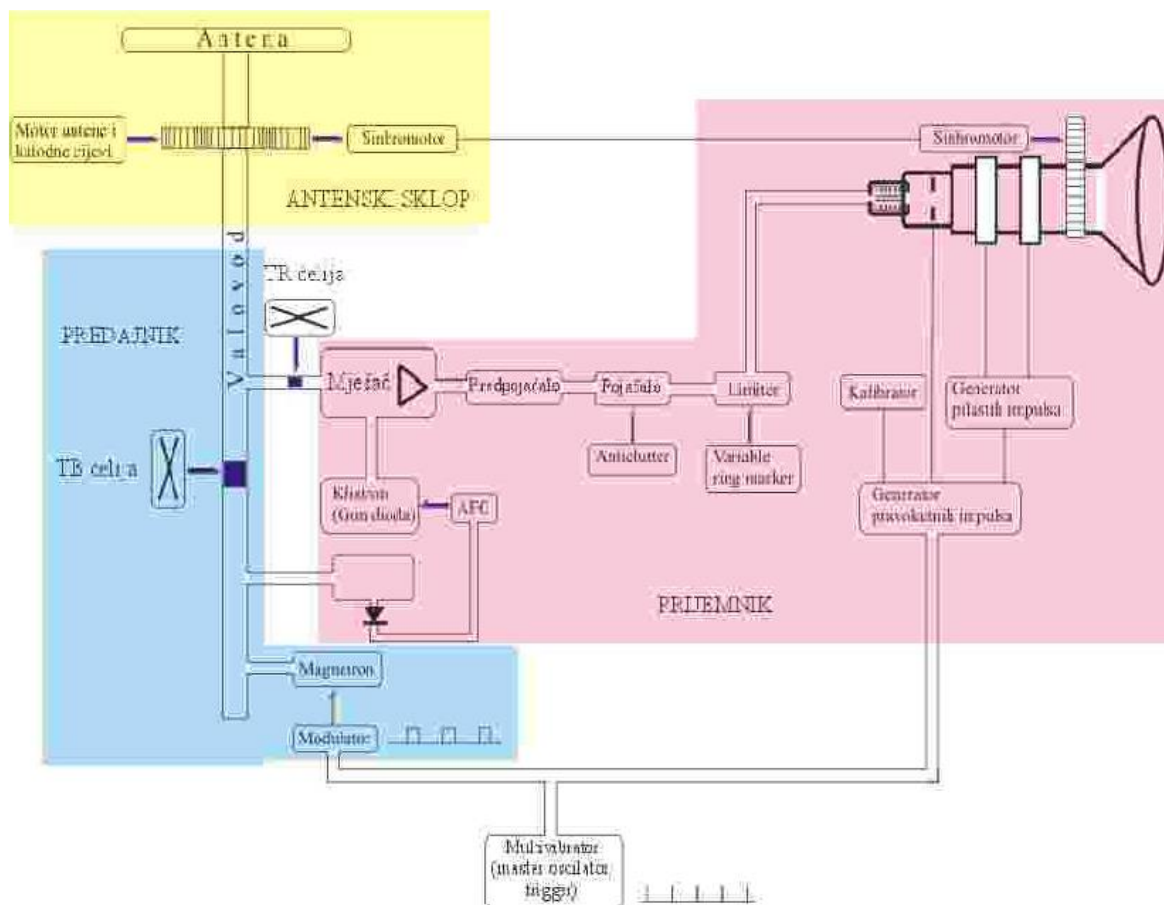
kW), a impuls se generira samo onoliko vremena koliko traje pravokutni modulirani signal iz modulatora (pravokutni impuls uključuje magnetron koji radi onoliko vremena koliko impuls traje). Ako modulirani signal traje jednu mikrosekundu šuplji rezonator (frekvencije 10 MHz) zatitra 10000 puta, a impuls je u tom slučaju dugačak 300 metara. Iz magnetrona impuls ulazi u valovod. **Valovod** je šuplja cijev pravokutnog oblika koja se može shvatiti i kao velik broj šupljih rezonatora spojenih u seriju. Prolaskom kroz valovod elektromagnetski val se ne rasipa i ne slabi jer su dimenzije valovoda sinhronizirane s valnom duljinom impulsa. Na taj način impuls dolazi u antenu bez gubitka energije. U valovodu impuls nailazi na dva elektronska sklopa: TB ćeliju i TR ćeliju (TB cell i TR cell). TB ćelija propušta impuls iz magnetrona u anteni, a blokira obijeni impuls, dok TR ćelija blokira prolaz impulsa iz magnetrona prema prijemniku, a propušta odbijeni impuls u prijemnik. Ćelije su zapravo diode koje naizmjenično propuštaju impuls iz magnetrona prema anteni, odnosno vraćenu jeku iz antene prema prijemniku. **Antenski sklop** brodskog radara je uređaj koji omogućava ravnomjerno emitiranje u prostor impulsa super visoke frekvencije i visoke snage, te prijem jeke male snage. Sastoji se od antene i sinhromotora. Kod novijih radara antena je zapravo produžetak valovoda zaokrenutog za  $90^\circ$  koji može rotirati. Na anteni su prorezi širine jedne četvrtine valne duljine ( $\lambda/4$ ) čime se postiže da se impuls direktno iz valovoda emitira u prostor, te da impuls ima vrlo uski horizontalni kut emitiranja ( $0,5^\circ$ ). Otklonske zavojnice katodne cijevi moraju rotirati sinhrono s antenom, tako da je motor generator sinhroniziran sa sinhrogeneratorom na anteni i sinhromotorom smještenim uz katodnu cijev, a ovi dijelovi nemaju direktnu vezu s elektronikom unutar radara. Nakon što je emitiran iz antene, impuls vrlo visoke frekvencije i velike snage putuje brzinom svjetlosti kroz prostor. Kad naiđe na neku prepreku dio emitiranog impulsa se odbije natrag prema anteni i vrlo oslabljen se ponovno propušta.



Slika 10. Blok shema običnog i ARPA sustav radara[6]

**Prijemnik** broskog radara je sklop koji jeke vrlo slabe snage (do 5 mW) pojačava i na ekranu prikazuje kao videosignale od kojih se formira panoramska slika područja određenog na određenom dometu. Sastoji se od mješača, pojačala, limitera i katodne cijevi s pokazivačem. **Mješač** je sklop u kojem se miješa frekvencija jeke s frekvencijom koju generiraju posebni elektronski elementi (gun dioda ili klistron) , a koja je od frekvencije magnetrona manja između 40 i 60 MHz. Miješanjem dvaju različitih frekvencija javlja se takozvani superheterodinski efekt, to jest val superponiranih amplituda s frekvencijom koja odgovara razlici frekvencije magnetrona i gun diode ili klistrona (na primjer ako je frekvencija magnetrona 10000 MHz, a frekvencija gun diode 9400 MHz, superponirani val imati će frekvenciju 60 MHz). Posebna kristalna dioda iz mješača propušta samo pozitivnu poluperiodu signala. Klistron je generator vrlo visokih frekvencija koji se koristio u prvim radarima i već dugo se ne upotrebljava, a gun dioda je poluvodič od galija i arsena koja je u stanju proizvoditi potrebne frekvencije, smještena je u šupljem rezonatoru. S obzirom da je snaga signala koji izlazi iz mješača vrlo mala signal se mora pojačavati dvaput, prvo u predpojačalu, a zatim u **pojačalu** te nakon izlaska iz pojačala ima veliku snagu i može se

registirati na zaslonu katodne cijevi kao videosignal. Snaga signala je mnogo veća od potrebne pa se zato koristi **limiter**, sklop koji vrlo pojačan i signal slabi na snagu koja je dovoljna da se propusti prema zaslonu katodne cijevi. U pojačalo dolaze signali iz anticluttera, to jest sklopa na koji se može ručno djelovati u svrhu smanjivanja snage signala. Potrebno je ukoliko se na radarskom ekranu pojavljuju smetnje nastale utjecajem valova (engl. sea clutter) ili kiše (engl. rain clutter). Iz multivibratora igličasti se impulsi upućuju i prema prijemu, takvi se impulsi obrađuju u dva elektronska sklopa. Prvi takav sklop je Variable Range Marker koji obrađuje impulse u oblik pogodan za mjerenje udaljenosti. Drugi je generator pravokutnih impulsa (engl. Block wave generator) u kojem se igličasti impulsi pretvaraju u pravokutne te se za vrijeme njihova trajanja aktivira anodna rešetka katodne cijevi tako da njen elektronski top emitira elektrone. Zbog toga se period trajanja pravokutnog impulsa naziva svijetli period. Iz blok generatora impulsi se upućuju na dva druga sklopa, koja rade sinhronizirano. Jedan je kalibrator koji u vremenu trajanja svjetlog perioda generira određeni broj pilastih impulsa i stvara lažu jeku na određenoj udaljenosti od središta cijevi, a drugi je generator pilastih impulsa čiji napon linearno raste sinhrono s dometom radara. Napon se dovodi do otklonskih zavojnica katodne cijevi, a one stvaraju jako električno polje koje povija snop elektrona iz elektronskog topa prema obodu zaslona katodne cijevi. U trenutku završetka svjetlog perioda napon naglo pada na nulu, a snop elektrona se ponovno povija u središte ekrana. **Katodna cijev** je elektronski sklop koji omogućava da se jeka registira kao videosignal. Ona je visokovakumska cijev koja ima elemente koji formiraju sliku okolnog prostora (katoda, anoda, mreža, focus, otklonske zavojnice). Katoda je jako grijana žica koja zbog toga emitira elektrone koji velikom brzinom ulijeću u vakuum. S obzirom da su negativno nabijeni privlači ih anoda s naponom od 10000 V, tako da dobiju veliko ubrzanje. Anoda ima otvor kroz koji dio elektrona prolazi na fluorescentni ekran katodne cijevi. Mreža je povezana s blok generatorom i definira rad katodne cijevi, focus je sklop koji fokusira snop elektrona. Otklonske zavojnice služe za otklanjanje elektronskog snopa od središta prema rubu ekrana [7].



Slika 11. Blok shema brodskog radara

### 3.5. RADARSKO MJERENJE UDALJENOSTI

Udaljenost objekta od radara se određuje na temelju potrebnog vremena  $t$  da elektromagnetski val prijeđe put od radara do objekta i natrag (10). Kako bi bilo moguće mjeriti udaljenost na svakom radaru su postavljene stvarne daljinarske kružnice (engl. fixed range ring) koje se sastoje od nekoliko koncentričnih elektroničkih svjetlećih kružnica. Ekvidistanca između tih kružnica jednaka je, iznosi između 0,25 i 8 m te ovisi o dometu radara. Daljinarske kružnice slijede vlastiti brod pri pravoj radarskoj slici i pri ekscentričnoj. Uz navedene stvarne daljinarske kružnice na brodovima se primjenju i promjenjive daljinarske kružnice (engl. Variable Range Marker). Obično na brodovima postoje od jedne do tri takvih kružnice, one se promjenom promjera dovode do promatranog objekta. Izmjerena udaljenost se čita na posebnoj skali. Sve kružnice, stvarne i promjenjive se po potrebi mogu uključiti ili isključiti. Točnost mjerene udaljenosti kod stvarnih je oko 1% , a promjenjivih 1,5% najveće udaljenosti mjenenog područja. Za

mjerenje udaljenosti u prostor se emitira impuls određene duljine koja je definirana vremenom rada magnetrona i fokusiran je prema samo jednom smjeru, smjeru u kojem je okrenuta antena. Multivibrator predajnika generira 1000 igličastih impulsa u sekundi koji pobuđuju trigatron. Modulator trigatrona generira pravokutne impulse u vremenu od 0,1 mikrosekunde te uključuje magnetron koji u tom period zatitra oko 1000 puta (ako je frekvencija impulse 10 GHz). Dakle, ako se impuls u magnetronu generira 1 mikrosekundu njegova udaljenost iznosi 30 m (1000 valnih duljina po 3 cm). Za mjerenje smjera pri prikazivanju slike služi elektroničko smjeralo (engl. electronic cursor). To je svjetleća crta koja se proteže od ishodišta vremenske baze do ruba ekrana te se smjer može postaviti ručno.

$$R = \frac{c_0 \times t}{2} \quad (10)$$

Gdje je:  $c_0$  – brzina svjetlosti ( $3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ )

t – mjereno vrijeme

### 3.5.1. Domet radara

Domet radara ovisi o dva faktora: konstrukcijska izvedba uređaja i radarski horizont.

Domet je određen sljedećim elementima:

- Broj impulsa emitiranih u jedinici vremena. Za veći domet treba poslati što više impulsa u jedinici vremena, pojava lažnih jeka ograničava broj impulsa na 600 do 800 impulsa po sekundi.
- Valna duljina. Porastom valne duljine raste domet radara. Elektromagnetski signali veće valne duljine bivaju manje gušeni od valova kraćih duljina putujući kroz prostor.
- Oblik, visina i dimenzije antene. Sa visinom antene raste i radarski horizont. Duža antena emitira užu snop, pa je gustoća energije na mjestu udaljenijeg objekta veća.

Domet određen konstrukcijskom izvedbom ovisan je o kvaliteti komponenti od kojih je radar izrađen, frekvenciji i o vanjskim faktorima (npr. svojstva prepreke od koje se odbija emitirani implus).

Jednadžba ima oblik:

$$r = \sqrt[4]{\frac{1}{4} \frac{P_{max}}{P_{min}} \frac{A^2}{\lambda^2} \delta \mu} \quad (11)$$

Gdje je: r - domet

$P_{min}$  -minimalna osjetljivost prijemnika

$P_{max}$  -maksimalna snaga predajnika

A-površina antene

$\lambda$ -valna duljina

$\delta$ -površina objekta

$\mu$ -koeficijent odbijanja

Ako se domet želi dvostruko povećati, snaga impulsa ( $P_{max}$  se mora povećati na četvrtu potenciju (16 puta) ili se odjetljivost prijemnika  $P_{min}$  mora povećati 16 puta. Za povoljan domet poželjno je izabrati odgovarajući odnos površine antene i valne duljine, zbog toga što površina antene (A) utječe na domet u funkciji kvadrata kao i valna duljina koja na njega utječe recipročno. Različiti materijali imaju različite koeficijente odbijanja ( $\mu$ ). Najbolji imaju metali, dok najlošiji imaju područja pokrivena šumom i močvarna zemljišta. Na kvalitetu jeka utječe i kut pod kojim impuls upada na prepreku. Kod prepreka nepravilnih oblika i hrapave površine kut pod kojim impuls upada nije previše bitan, jer daju dobru jeku bez obzira na kut upada, dok prepreke pravilnog oblika i glatke površine daju dobru jeku ako impuls upada okomito, a slabu ako impuls upada pod nekim kutom.

**Tablica 1. Koeficijent refleksije materijala**

Vrsta materijala	Koeficijent refleksije
Metal	1
Kamena obala	0,9
Morska voda	0,8
Livada	0,7-0,8
Led	0,3
Obraslo tlo	0,1-0,4
Šuma	0,1



Domet radarskog horizonta funkcija je udaljenosti, s obzirom na atmosferske uvjete i zakrivljenost Zemljine površine koji utječu na rasprostiranje impulsa. Valna duljina radarskog impulsa veća je od valne duljine svjetlosti, pa se kroz atmosferske slojeve različite gustoće impulse više lome. Radarski horizont izražen u kilometrima iznosi (12), a u nautičkim miljama (13) .

$$D = 4,06 \sqrt{H_{ant}} + 4,06 \sqrt{H_{obj}} \quad (12)$$

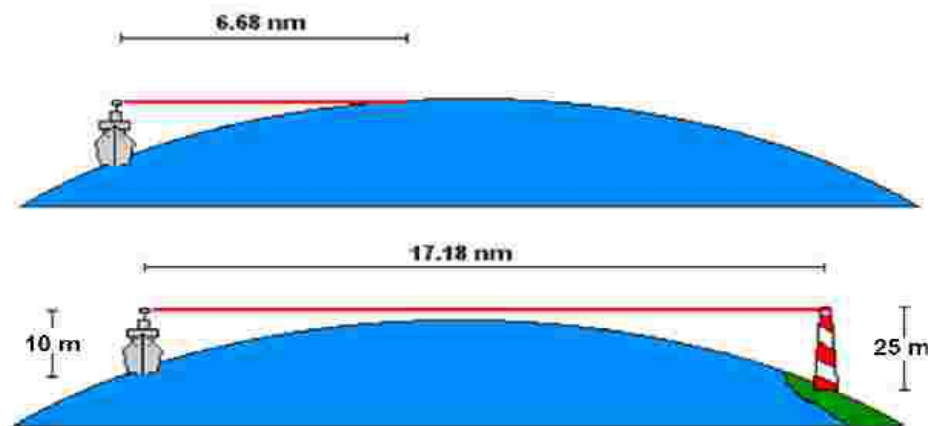
$$D = 2,2 \sqrt{H_{ant}} + 2,2 \sqrt{H_{obj}} \quad (13)$$

Gdje je: D-udaljenost radarskog horizonta

$H_{ant}$ -visina antene

$H_{obj}$  -visina objekta

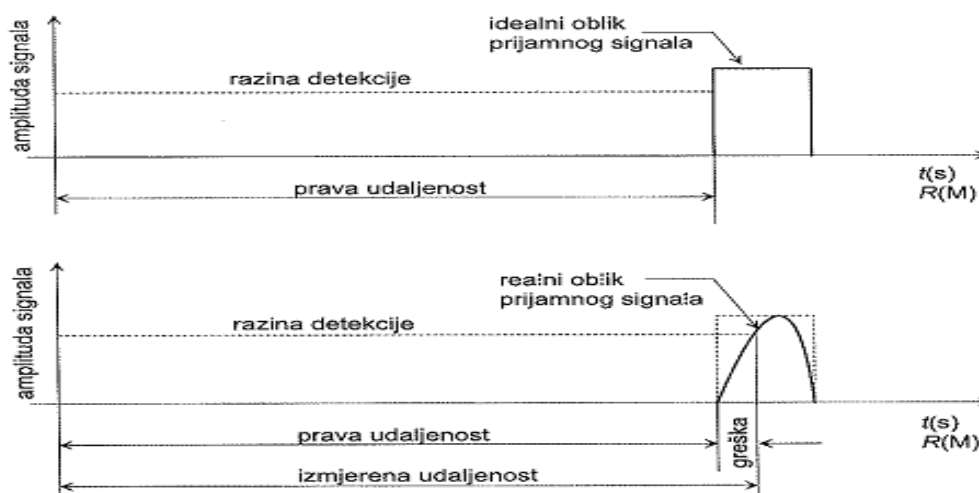
Udaljenost radarskog horizonta vrijedi za standardne atmosferske pojave, a ako atmosferski uvjeti (vlažnost, temperatura, tlak) nisu standardni dolazi do pojava subrefrakcije i superefrakcije. Ako je zrak uz more topliji nego u atmosferi zraka se povija prema gore (subrefrakcija) , a ako je zrak uz more hladniji nego zrak u atmosferi zraka se povija prema dolje te se značajno povećava domet, zraka bolje prati zakrivljenost Zemljine površine (superefrakcija).



Slika 12.Udaljenost radarskog horizonta[7]

### 3.5.2. Pogreške mjerenja udaljenosti

Pri mjerenju udaljenosti broda do nekog objekta može doći do pogreške u mjerenju, najčešće zbog valjanja vlastitog broda i zbog promjene duljine prijemnog impulsa. Prema propisima pogreška u mjerenjima udaljenosti kalibracijskim prstenovima ne smije biti veća od 1,5% dometa na kojem radar radi u tom trenutku. Pogreška za kalibracijske prstenove može iznositi najviše 68 metara, a pogreška za promjenjive daljinarske kružnice do 115 metara ili 2,5% dometa. U praksi se za mjerenje udaljenosti koriste promjenjive daljinarske kružnice jer nije potrebna interpolacija u mjerenjima udaljenosti. Provjera mjerene udaljenosti radarom obavlja se za vrijeme dok se brod nalazi u luci usporedbom udaljenosti očitanih na radaru s onima koje se mogu očitati na planu, također, na isti se način izvršava i provjera točnosti mjenjenih smjerova i pramčanih kutova.



Slika 13. Greška u mjerenju udaljenosti zbog promjene duljine impulsa[6]

### 3.6. ZVUK I ULTRAZVUK

Zvukom se naziva sve ono što ljudska osoba može čuti i zamijetiti sluhom. Glasnoća zvuka se najčešće izražava u decibelima (dB), decibel je mjerna jedinica izvedena iz jedinice bel (B) koja je tako nazvana u čast A.G.Bella, izumitelja telefona. Iz praktičnih razloga se ne koristi bel, nego decibel koji je deset puta manja logaritamska mjera od bel. Određen je frekvencijom, amplitudom, brzinom i smjerom u kojem se kreće, tj. širi. Nastaje periodičnim titranjem izvora koji u neposrednoj okolini mijenja tlak sredstva (medija), poremećaj tlaka se prenosi na susjedne čestice sredstva i tako se širi, širi

se uglavnom u obliku longitudinalnih valova (širi se u istom pravcu u kojem se gibaju čestice sredstva pri titranju) u plinovima i tekućinama, dok se u čvrstim tijelima može širiti i transverzalno (čestice sredstva titraju okomito na pravac širenja vala). Izvor zvuka je mehaničko titranje nekog tijela, energija zvuka širi se sredstvom u obliku mehaničkog vala. Bez sredstva u kojem se šire mehanički valovi ne možemo čuti zvuk, to je sredstvo obično zrak, može biti i tekuće ili elastično čvrsto tijelo. Zvuk obuhvaća frekvencije unutar područja čujnosti, od 16 Hz do 20 kHz. Zvuk frekvencije niže od 16 Hz naziva se infrazvuk, a zvuk frekvencije više od 20 kHz se naziva ultrazvuk. Područje infrazvuka se koristi u seizmografiji u svrhu otkrivanja potresa, ono ima svojstvo da prelazi velike udaljenosti i prelazi preko čvrstih prepreka s malim gubitcima. Područje infrazvuka nije korisno za mjerenje udaljenosti pomoću zvuka, kao ni područje čujnosti, jer bi svi uređaji koji bi mjerili udaljenost koristeći frekvencije od 16 Hz do 20 kHz bili neugodno čujni i neprecizni. Za mjerenje udaljenosti zvukom koristi se ultrazvuk koji zbog svoje visoke frekvencije ima malu valnu duljinu pa postoji velika vjerojatnost da će se taj val odbiti od nekog objekta. Brzina širenja zvučnog vala je različita za različite medije kroz koje se val širi, Brzinom 343 m/s zvučni val se širi u zraku, u vodi se širi brzinom koja je približna 1500 m/s, dok je brzina širanj zvuka u željeznoj žici oko 5000 m/s. Brzina širenja zvuka u nekom mediju ovisi o njegovoj gustoći i elastičnosti. Što je manja gustoća medija, a veća njegova elastičnost to će se zvuk brže širiti kroz medij (14). Temperatura utječe na brzinu širenja zvuka zbog toga što se povećanjem temperature u nekom mediju njegova gustoća smanjuje. Zvuk je određen frekvencijom i valnom duljinom (15). Zvukovi se dijele na šumove i tonove. Šumovi su zvukovi koji nastaju nepravilnim titranjem zvučnog izvora pri čemu se frekvencija stalno mijenja, a tonovi nastaju pravilnim titranjem zvučnog izvora i frekvencija je konstantna [8].

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (14)$$

Gdje je: v-brzina zvuka

E-modul elastičnosti

$\rho$ -gustoća tijela

$$v = f \times \lambda \quad (15)$$

Gdje je: v-brzina zvuka

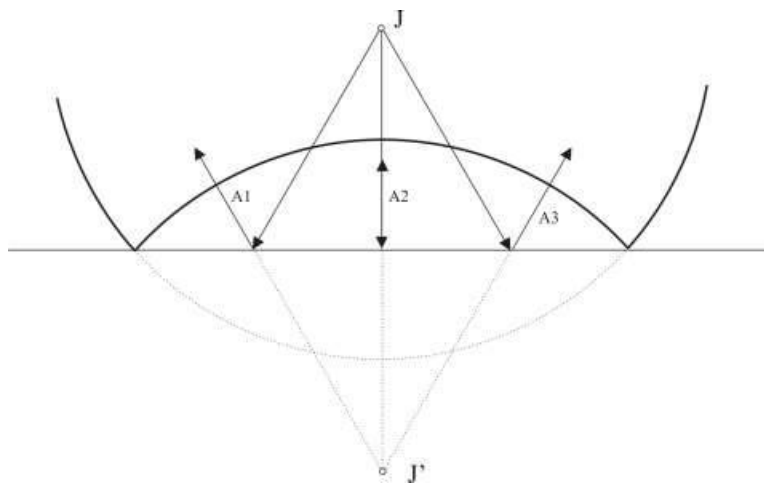
f-frekvencija

$\lambda$ -valna duljina

**Tablica 2. Brzina širenja zvuka kroz pojedini medij[8]**

Medij	Brzina zvuka
Kisik	317 m/s
Zrak	343 m/s
Olovo	1250 m/s
Voda	1485 m/s
Krv	1570 m/s
Beton	3750 m/s
Željezo	5170 m/s
Staklo	5500 m/s
Aluminij	6300 m/s

Zvučni val se širi određenom brzinom, put širenja zvučnog vala može se prikazati zvučnim zrakama, to su zamišljene zrake okomite na čelo vala koje omogućuju da se optički zakoni vezani za refleksiju svjetlosti primjene na zvuk. Zvučni val se reflektira kad u svom širenju naiđe na zapreku. Kut upadanja jednak je kutu odbijanja kod refleksije zvuka, reflektirani zvuk se vraća i mi ga čujemo kao ponovljeni zvuk, to se naziva jeka. Prema slici 14. vidimo da je J izvor zvučnog vala, te ako je taj isti izvor i prijemnik, u isti odašiljač će se vratiti samo zvučna zraka koja upada pod kutom od  $90^\circ$  (A2). Prema tome zaključujemo da će zvučni mjerač mjeriti samo najbližu udaljenost do medija, a ostale će zrake izbjeći prijemnik, ili će se vratiti u njega kasnije, ako se reflektiraju od drugih prepreka, te će biti zanemarene [9].



**Slika 14. Refleksija zvuka od ravnu podlogu[9]**

### **3.7. NASTANAK ULTRAZVUKA**

U područje ultrazvuka spadaju zvukovi frekvencije od 20 kHz do 10 Mhz. Frekvencija ultrazvučnog vala veća je od gornje granice osjetljivosti čovjekovog uha, te ljudska bića ne mogu čuti ultrazvukove, dok neke životinje, kao što su šišmiši, dupini i psi mogu jer imaju višu gornju graničnu frekvenciju od čovjeka. Valna duljina ultrazvučnog vala iznosi do 0,5  $\mu\text{m}$  u zraku, dok u tekućinama i čvrstim tijelima ona iznosi između 2 i 6  $\mu\text{m}$ , zbog veće brzine širenja ultrazvuka. Izvori ultrazvuka su uređaji koji pretvaraju energiju u ultrazvuk. u principu to su zvučnici koji proizvode zvučne valove frekvencija viših od 20 kHz. Prijemnici imaju obrnut princip od izvora i to su mikrofoni koji primaju frekvencije iznad 20 kHz. Promjena struje u zavojnici zvučnika stvara promjenjivi magnetski tok koji djeluje na permanentni magnet, stvara se sila koja pomiče membranu i stvara titranje membrane koje proizvodi zvuk. Ako zvučni val dolazi iz izvora prema zvučniku on stvara titranje membrane koja pomiče zavojnicu unutar magnetskog polja te se inducira napon. Vidimo da su zvučnik i mikroskop u principu jedan uređaj te zbog toga ultrazvučne predajnike i prijemnike nazivamo zajedničkim imenom primopredajnici (engl.transducers). Ultrazvuk se proizvodi ultrazvučnim generatorima, najpoznatiji takav je kvarcni generator. Njegov rad zasnovan je na pizelektričnom učinku, svojstvu nekih kristala i keramičkih masa da induciraju napon kada su izloženi mehaničkom naprezanju, te mogu detektirati ultrazvuk ako se stave u izmjenično električno polje određene frekvencije. Pizelektrični materijal se deformira ukoliko mu se narine napon, te se može postići elektrosticija stavljanjem pločica u izmjenično električno polje vrlo visoke frekvencije. Kada se frekvencija izmjeničnog napona poklopi s vlastitom frekvencijom

kvarcne pločice nastupa rezonancija te pločica jako titra i proizvodi ultrazvučne valove. Ultrazvuk se može dobiti i elektromagnetskim putem, magnetostrikcijom. To je pojava pri kojoj se mijenja duljina feromagnetičnih tijela (željezo, nikal, kobalt) pod utjecajem magnetskog polja. Ako se feromagnetski materijal postavi unutar promjenjivog magnetnog polja i propusti se izmjenična struja određene frekvencije dolazi do rezonantnog longitudinalnog titranja koje se u tehnici može iskoristiti za proizvodnju ultrazvuka [10].

### 3.8. ULTRAZVUČNO MJERENJE UDALJENOSTI

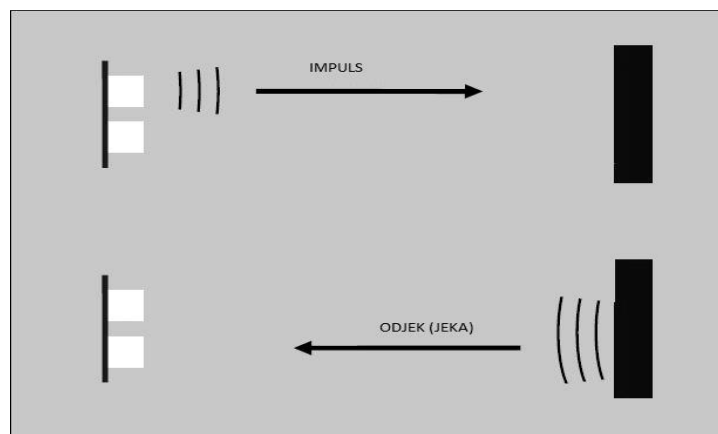
Princip ultrazvučnog mjerenja udaljenosti veoma je jednostavan, to je jedna od češćih metoda koje se koriste za mjerenje udaljenosti do nekog objekta. Na ovaj način mogu se mjeriti udaljenosti od čvrstih objekata, prepreka, tekućina i tako dalje. Osniva se na slanju ultrazvučnog vala kratkog vremenskog intervala do nekog objekta te mjerenju vremena potrebnog valu da se odbije od objekta i vrati natrag na mjesto slanja (16). Put koji val prijeđe od predajnika do objekta i natrag je dvostruko veći od udaljenosti. Za izračunavanje udaljenosti potrebno je poznavati brzinu kojom se zvuk širi kroz medij kroz koji prolazi. Ukoliko se ultrazvučni val koristi za mjerenje udaljenosti kroz zrak, brzina njegova širenja je 343 m/s (1234.8 km/h) [9].

$$L = \frac{c \times t}{2} \quad (16)$$

Gdje je: L-mjerena udaljenost [m]

c-brzina zvuka [m/s]

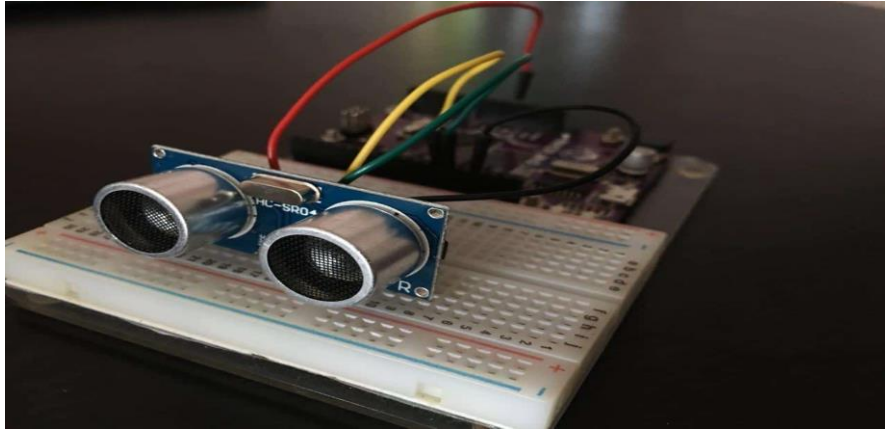
t-vrijeme [s]



**Slika 15. Princip ultrazvučnog mjerenja udaljenosti**

### 3.8.1. Sklop za ultrazvučno mjerenje

Sklop za ultrazvučno mjerenje se sastoji od izvora napajanja, ultrazvučnog senzora i mikrokontrolera. Nakon programiranja u mikrokontroleru se pohranjuje taj program za mjerenje udaljenosti. Ultrazvučni senzor odašilje kratke ultrazvučne valove koji se reflektiraju od prepreke i vraćaju natrag u senzor. Na temelju proteklog vremena koje je potrebno ultrazvučnom valu da se reflektira od prepreke i uz poznatu brzinu širenja zvuka program lako izračuna udaljenost. Najčešći izvor napajanja su alkalne baterije koje osiguravaju sigurno napajanje na svakom mjestu. Ultrazvučni senzor se sastoji od četiri priključka, dva služe za napajanje od 5 V, dok preostala dva služe za slanje i primanje valova. U prikazanom sklopu korišten je „HC-SR04“ ultrazvučni senzor. Može mjeriti udaljenosti do 4 m, a ima kut mjerenja od 15°. Baterija se spaja na  $V_{in}$  pin i napon joj mora biti između 5 i 9 V. Mikrokontroler „Arduino“ se spaja na ultrazvučni senzor. U njega se upisuje program, za upisivanje programa u „Arduino“ mogu se koristiti programski jezici C i C++. Mikrokontrolerom se šalje 5 V na „trig“ pin senzora u trajanju od 10 ms, zatim ultrazvučni senzor odašilje 8 impulsa od 40 kHz. Nakon refleksije odaslanih impulsa senzor šalje podatke mikrokontroleru preko „echo“ pina i mikrokontroler računa udaljenost [12].



**Slika 16. Sklop za ultrazvučno mjerenje udaljenosti [12]**

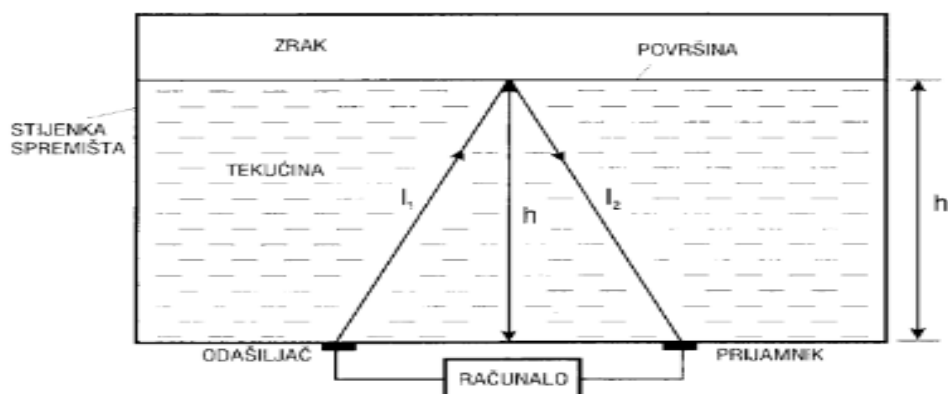
### 3.9. ULTRAZVUČNO MJERENJE RAZINE

Princip ultrazvučnog mjerenja razine isti je kao i princip ultrazvučnog mjerenja udaljenosti. Ultrazvučni valovi se emitiraju iz predajnika te se reflektiraju o površinu tekućine i vraćaju se u prijemnik. Uređaj koji se koristi za mjerenje dubine, smjera i lokacije naziva se sonar ili podvodni električni lokator (engl. sound navigation ranging). Senzor za mjerenje razine tekućina je ultrazvučna sonda, ona šalje ultrazvučne valove do razine tekućine te oduzimajući ukupnu udaljenost spremnika (udaljenost od sonde do dna spremnika) od mjerene udaljenosti (udaljenost od sonde do razine tekućine) daje razinu tekućine u spremniku. Za mjerenje razine potrebno je izračunati vrijeme koje je potrebno valu da se reflektira od površinu tekućine natrag do sonde te je potrebno znati brzinu širenja valova kroz tekućinu. Ukoliko se mjeri razina vode ili mora brzina širenja valova je 1485 m/s (5346 km/h). Prema Slici 16. vidimo način na koji se mjeri razina tekućine. Ako se ultrazvučni valovi emitiraju iz odašiljača (predajnika) pod nekim kutom oni će se reflektirati od tekućine pod tim isti kutom prema prijemniku. Vidljivo je da odaslani i reflektirani valovi tvore stranice ( $I_1$  i  $I_2$ ) jednakokračnog trokuta, pa se uz računanje opsega tog trokuta može izračunati i visina trokuta ( $h$ ) koja je jednaka razini tekućine u spremniku. Predajnik i prijemnik ultrazvučnih valova mogu biti na dnu spremnika ili na vrhu spremnika [11].

$$\text{Opseg trokuta: } O = 2h + I_1 \quad (17)$$

$$\text{Razina tekućine: } h = \frac{1}{2}(O - I_1) \quad (18)$$

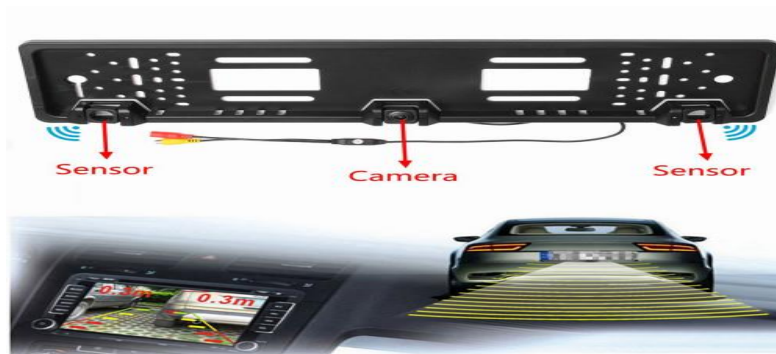




Slika 17. Mjerenje razine ultrazvučnim valovima[11]

### 3.10. PRIMJENA ULTRAZVUKA

Ultrazvučno mjerenje koriste parkirni senzori u automobilima. Parking senzori su postavljeni na prednju i stražnju stranu automobila te mjere udaljenost do objekata u blizini. Pomažu vozačima odrediti prepreke na koje mogu naići na kolinku ili parkiralištu. Što se automobil približava bliže objektu senzori vozaču daju zvučni signal jačeg inteziteta i trajanja. Iz parking senzora se emitiraju ultrazvučni valovi koji se reflektiraju od najbližeg objekta natrag u senzor te se na osnovu vremena potrebnog valu da se vrati natrag u senzor mjeri udaljenost. Kao što je već ranije navedeno, ultrazvučno mjerenje koriste sonari koji pomoću ultrazvučnih valova otkrivaju dubinu mora, lokaciju jata riba, podmornice, potopljene brodove i slično. U tehnici, ultrazvuk se koristi za kontrolu materijala, detektira pukotine u krutim objektima, koristi se za ustanovljenje stanja materijala, utvrđiva oblik i može mjeriti predmet. Značajnu primjenu ultrazvuk ima u medicini gdje se koristi za liječenje raznih reumatskih bolesti, dijagnostici i kardiologiji. Primjenjuje se i za pregled trbušnih organa i srčanih zalistaka, u ginekologiji i praćenju trudnoće. Pomoću ultrazvučnih valova mogu se utvrditi svojstva određenog tkiva na temelju brzine kojom se val širi kroz tkiva. Otpor kojeg valovima pružaju tkiva može se pretvaranjem reflektiranih ultrazvučnih valova u električne impulse pratiti na zaslonu (ehokardiografija, ehosonografija). Istraživanja koja se provode posljednjih nekoliko godina pokazala su da ultrazvuk nema štetan utjecaj na zdravlje osobe prilikom ultrazvučnog pregleda.



**Slika 18. Parkirni senzor**

Ultrazvuk se koristi i u stomatologiji za čišćenje (npr. zubala nakon poliranja i brušenja). Uređaji koji za čišćenje koriste ultrazvuk mogu biti raznih dimenzija, od onih koji služe za čišćenje malenih laboratorijskih ladica do onih koji čiste velika industrijska postrojenja. Mnogi se proizvodi čiste ultrazvukom, dijelovi automobilskih motora i strojeva, medicinska oprema i tako dalje. Koristi se i pri zavarivanju, najčešće spaja plastične dijelove koji su nalegli jedan na drugog. Ti dijelovi se na dodirnom mjestu zagrijavaju trenjem uzrokovanim ultrazvučnim mehaničkim titrajima koje na mjesto zavarivanja prenosi ultrazvučna elektroda. Postupak ultrazvučnog zavarivanja je brz i ne uzrokuje deformacije materijala. Na široku primjenu ultrazvuka nailazimo u vojsci. Izrađuju se oružja koja koriste zvuk i ultrazvuk kako bi oštetili neprijatelja (USW). Ultrazvučni valovi mogu uništiti bubnjiće te na taj način uzrokovati veliku bol i dezorijentiranost neprijatelja. Neka od ultrazvučnih oružja imaju ograničenu upotrebu ili je njihova upotreba potpuno zabranjena jer mogu uzrokovati ogromnu štetu [10].



**Slika 19. Ultrazvučna slika u trudnoći[10]**

## 4. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu opisani su osnovni sklopovi koji se koriste za mjerenje udaljenosti, nazivaju se još i daljinomjeri. Imaju važnu ulogu u raznim djelatnostima. Koriste se u navigaciji, građevini, vojsci, meteorologiji, zrakoplovstvu i drugim raznim djelatnostima. Sklopovi služe kako bi se točno mogla odrediti udaljenost između dva objekta ili od promatrača do objekta. Osnovna podjela sklopova za mjerenje udaljenosti je na optičke i elektroničke. Optički su male točnosti i mogu mjeriti relativno male udaljenosti pa se zbog toga rjeđe koriste. Elektronički se dijele na impulsne i fazne. Impulsni daljinomjeri mjere udaljenost pomoću vremena koje je potrebno elektromagnetskom valu da se reflektira od objekta natrag do daljinomjera, dok fazni daljinomjer mjeri faznu razliku odaslanog i reflektiranog vala. Velike su točnosti i imaju velik doseg. Automatizirani su zbog toga što koriste mikrokontroler koji obavlja sve računske funkcije pri mjerenju udaljenosti. U ovom radu opisani su laserski, radarski i ultrazvučni sklop za mjerenje udaljenosti. Njihov princip rada prilično je jednostavan. Laser odašilje snop laserske svjetlosti, koja se reflektira od prepreke i vraća natrag u laser pri čemu prijeđe dvostruku udaljenost, pa se faznim mjeračem mjeri fazna razlika između odaslanog i primljenog signala i na taj se način određuje udaljenost. Radarska antenna odašilje elektromagnetske valove male valne duljine prema prepreci do koje se želi mjeriti udaljenost, valovi se reflektiraju od prepreka prema anteni i na temelju proteklog vremena potrebnog valovima da se vrate radar mjeri udaljenost. Elektromagnetski se valovi šire pravocrtno pa je domet radara ograničen zakrivljenošću Zemljine površine. Za brodске radare je potrebno da imaju velik domet i da mogu otkriti objekte na malim udaljenostima. Prilikom radarskog mjerenja udaljenosti dolazi do pogrešaka zbog promjene valne duljine valova te zbog valjanja broda. Ultrazvuk je zvuk frekvencija viših od 20 kHz, potrebno ga je proizvesti. Najčešće se proizvodi ultrazvučnim generatorima koji pretvaraju jedan oblik energije u energiju ultrazvučnih valova. Sklop za ultrazvučno mjerenje udaljenosti ili razine odašilja kratki ultrazvučni val prema prepreci i na temelju vremena potrebnog tom valu da se reflektira u sklop mjeri udaljenost. Potrebno je poznavati brzinu širenja ultrazvučnih valova kroz medij kroz koji se šire. Za mjerenje razine potrebno je izračunati vrijeme koje je potrebno valu da se reflektira od površinu tekućine.

Navedeni sklopovi imaju određene nedostatke koji mogu utjecati na točnost mjerenih rezultata, poželjno je da površina od koju se odbijaju odašiljani signali ima dobar

koeficijent refleksije, da ne upija signale, da je okrenuta okomito na odašiljač te da object ima veću površinu kako bi mogli lakše odaslati signal. Ukoliko ima slabije reflektivne karakteristike smanjuje se domet, a time i točnost mjerenja. Navedenim sklopovima moguće je mjeriti velike udaljenosti, ali bolje mjere manje udaljenosti jer će zbog toga reflektirani signal biti jači i mjerenje će se moći obaviti točnije i brže. Uz navedeno, poželjno je da je objekt do kojeg se mjeri udaljenost ravan, zbog toga što će se onda signali moći okomito reflektirati prema sklopu i biti detektirani. Ako površina nije ravna kut refleksije može biti prevelik te se signal neće vratiti u sklop, pa se neće moći izmjeriti udaljenost do željenog objekta.

Prednosti navedenih sklopova su da relativno brzo i točno mjere udaljenosti, mogu mjeriti udaljenosti na nepristupačnom terenu te su jednostavni za korištenje. Svi rade na visokom stupnju automatizacije, njima je moguće upravljati putem računala te se zbog toga očekuje da će se navedeni sklopovi još razvijati te da će biti još jednostavniji, praktičniji i točniji pri mjerenjima udaljenosti.

## LITERATURA

- [1] *Daljinomjer. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje.* Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020.  
URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=13773/>, (pristupljeno 10.06.2020.)
- [2] *Laser. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje.* Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020.  
URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=35494>, (pristupljeno 16.06.2020.)
- [3] Lasić, Z.: *Primjena laserskih uređaja*, Zavod za primjenjenu geodeziju-Institute of applied geodesy, Zagreb, 2008., str.14-18.
- [4] Skolnik, M.I.: *Introduction to Radar Systems*, McGraw-Hill, 2002.
- [5] Simović, T.A.: *Elektronička navigacija*, Element Zagreb, 2010.
- [6] Šušanj, J.: *Navigacijski radar*, Pomorski fakultet u Rijeci; 2006.
- [7] [http://www.unizd.hr/portals/1/nastmat/elektronicka/predavanje\\_3.pdf](http://www.unizd.hr/portals/1/nastmat/elektronicka/predavanje_3.pdf) (pristupljeno 29.07.2020.)
- [8] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Sound#Speed\\_of\\_sound](https://en.wikipedia.org/wiki/Sound#Speed_of_sound) (pristupljeno 23.08.2020.)
- [9] Horvat, G.: *Ultrazvučno mjerenje i regulacija razine sa ATMEL ATmega8535*, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2008.
- [10] URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasound> (pristupljeno 27.08.2020.)
- [11] Torman, T.: *Primjena uređaja za mjerenje razine u industrijskim pogonima*, Osijek, 2015.
- [12] URL: <https://www.vidilab.com/vidi-project-x/arduino/4168-mjerite-udaljenost-arduinom> (pristupljeno 29.08.2020.)

## POPIS SLIKA

Slika 1.Triangulacija[1] .....	7
Slika 2.Način rada sonara[1] .....	9
Slika 3.Izmjena energije zračenja.....	10
Slika 4.Princip faznog načina mjerenja duljina .....	11
Slika 5.Opis laserskog daljinomjera Leica “DISTO”[3] .....	12
Slika 6.Laserski daljinomjer .....	13
Slika 7.Blok shema laserskog daljinomjera Leica "DISTO" .....	14
Slika 8.Radarska antena.....	15
Slika 9.ARPA radarsko ucrtavanje na brodu.....	17
Slika 10.Blok shema običnog i ARPA sustav radara[6].....	19
Slika 11.Blok shema brodskog radara .....	21
Slika 12.Udaljenost radarskog horizonta[7] .....	24
Slika 13.Greška u mjerenju udaljenosti zbog promjene duljine impulsa[6].....	25
Slika 14.Refleksija zvuka od ravnu podlogu[9] .....	28
Slika 15.Princip ultrazvučnog mjerenja udaljenosti .....	30
Slika 16.Sklop za ultrazvučno mjerenje udaljenosti[12] .....	31
Slika 17.Mjerenje razine ultrazvučnim valovima[11] .....	32
Slika 18.Parkirni senzor.....	33
Slika 19.Ultrazvučna slika u trudnoći[10].....	33

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Koeficijent refleksije materijala .....	23
Tablica 2. Brzina širenja zvuka kroz pojedini medij[8] .....	27

## POPIS KRATICA

A/D (engl. <i>Analog to Digital Conversion</i> )	analogno-digitalna pretvarač
LASER (engl. <i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i> )	Pojačanje svjetlosti s pomoću stimulirane emisije zračenja
ARPA (engl. <i>Automatic Radar Plotting Aid</i> )	Sustav s automatskim ucrtavanjem(plotiranjem)
MHz	megahertz
GHz	gigahertz
kW	kilowatt
kV	kilovolt
GT (engl. <i>gross tonage</i> )	Bruto tonaža
m/s	metar po sekundi
km/h	kilometar po satu
SONAR (engl. <i>sound navigation ranging</i> )	Elektronički podvodni lokator
USW (engl. <i>ultrasonic weapons</i> )	Ultrazvučno oružje