

Računalo kao osciloskop u nastavi fizike

Sesar, Danijela

Master's thesis / Diplomski rad

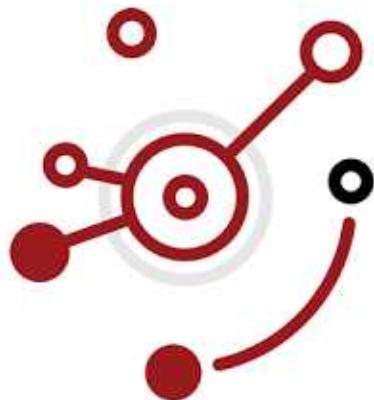
2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:160:913186>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-15**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



SVEU ILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



DANIJELA SESAR

RA UNALO KAO OSCILOSKOP U NASTAVI FIZIKE

Diplomski rad

Osijek, 2015.

SVEU ILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



DANIJELA SESAR

RA UNALO KAO OSCILOSKOP U NASTAVI FIZIKE

Diplomski rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveu ilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

radi stjecanja akademskog naziva MAGISTRA EDUKACIJE FIZIKE I INFORMATIKE

Osijek, 2015.

"Ovaj diplomski rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom doc. dr. sc. Denisa Stanića u sklopu Sveučilišnog diplomskog studija Fizike i informatike – nastavnički smjer na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku".

Sadržaj

1.	Uvod	8
2.	Povijest osciloskopa	9
3.	Osnovna gra a osciloskopa.....	12
3.1	Katodna cijev	14
3.1.1.	Otklanjanje elektronskog snopa	14
3.1.2.	Elektrostatsko otklanjanje elektronskog snopa	15
3.1.3.	Osjetljivost	20
3.1.4.	Magnetsko otklanjanje elektronskog snopa	20
3.1.5.	Naknadno ubrzanje elektrona	21
3.1.6.	Zaslon katodne cijevi	21
3.1.7.	Katodne cijevi s pam enjem	22
4.	Sustav za horizontalni otklon	23
4.1.	Horizontalni otklonski sustav i pilasti napon	23
4.1.1.	Dobivanje pilastog napona	25
4.2.	Astigmatizam i sinkronizacija.....	26
4.3.	Na ini rada vremenske baze	28
5.	Sustav za vertikalni otklon	31
5.1.	Linija za kašnjenje	32
6.	Posebne vrste osciloskopa.....	32
6.1.	Mjerenja osciloskopom	34
7.	Digitalni osciloskop.....	35
7.1.	Metoda uzorkovanja	36
7.2.	Karakteristi ne veli ine digitalnog osciloskopa.....	37
8.	PC (ra unalo) kao osciloskop.....	39
8.1.	Zvu na kartica kao analogno digitalni pretvornik	39
8.	Alati za prikaz i obradu signala.....	41
8.1.	Winscope	41
8.2.	Soundcard Oscilloscope	41
8.3.	Visual Analyzer	42
10.	Mjerenja pomo u Visual Analyzer-a	46
10.1.	Eksperimentalni dio	47
10.1.1.	Glazbeni instrumenti (osnovna frekvencija i frekvencija viših harmonika).....	47

10.1.2.	Zvučni udari.....	50
10.1.3.	Akustična rezonancija.....	55
10.1.4.	Dopplerov efekt	57
10.1.5.	Ljudski glas kao instrument.....	61
10.2.	Vježbe	65
10.2.1.	Određivanje frekvencije glazbene viljuške.....	65
10.2.2.	Određivanje frekvencije gradske mreže i oblik signala.....	66
10.2.3.	Osciloskop i RC krug	67
11.	Zaključak.....	68
12.	Literatura	69
13.	Životopis.....	72

RA UNALO KAO OSCILOSKOP U NASTAVI FIZIKE

DANIJELA SESAR

Sažetak

Diplomski rad s temom Ra unalo kao osciloskop u nastavi fizike je podijeljen u tri dijela kojeg
ine analogni osciloskop, digitalni osciloskop i demonstracijske vježbe.

U prvom dijelu opisani su dijelovi analognog osciloskopa i njegov princip rada. Obuhvaen je i
povijesni pregled razvoja osciloskopa te osnovna građa osciloskopa, kao i sustav za horizontalni
te vertikalni otklon.

U drugom dijelu je opisan digitalni osciloskop, ra unalo kao osciloskop i softver Visual
Analyzer.

Zadnji dio diplomskog rada ine demonstracijske vježbe, izvedena na ra unalu, pomoću
programa Visual Analyzer, koje se mogu primjenjivati u nastavi fizike. U svim
demonstracijskim vježbama je navedena potrebna aparatura, postupak izvođenja vježbe kao i
fizikalna podloga.

(72 stranice, 62 slika, 57 literaturna navoda)

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: osciloskop/ demonstracijski pokusi/ nastava fizike

Mentor: doc. dr. sc. Denis Stanić

Ocenjivači: mr.sc. Slavko Petrinšak, doc.dr.sc. Marina Poje, doc.dr.sc. Denis Stanić

Rad prihvoden:

J. J. Strossmayer University in Osijek
Department of Physics

Bachelor of Science Thesis

PC AS AN OSCILLOSCOPE IN TEACHING PHYSICS

DANIJELA SESAR

Abstract

My thesis on computer oscilloscopes is divided into three main parts. The analogue oscilloscope, the digital oscilloscope and experiments.

The first part includes descriptions of the parts and work principle of the analogue oscilloscope. It also includes a overview of the history and basic structure of the analogue oscilloscope, as well as a description of systems for horizontal and vertical deflection.

In the next part I describe the digital oscilloscope, PC oscilloscope and the software Visual Analyzer.

The last part of my thesis contains experiments, used in teaching physics, performed on a PC oscilloscope. In all of the presented experiments there is a description of the necessary equipment, the way in which they were performed and the foundation each experiment has in physics.

(72 pages, 62 figures, 57 references)

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: oscilloscope/ demonstration experiments/ instruction physics

Supervisor: doc. dr. sc. Denis Stani

Reviewers: mr.sc. Slavko Petrinšak, doc.dr.sc. Marina Poje, doc.dr.sc. Denis Stani

Thesis

accepted:

1. Uvod

Osciloskopi su ure aji koji su osim svoje rasprostranjenosti u istraživa kim i razvojnim laboratorijima, svoju primjenu našli i u brojim drugim granama djelatnosti, poput servisnih radionica i medicine, u kojoj služe za prikazivanje bioloških napona (EEG ili EKG). Koriste se za prikaz i odre ivanje parametara vremenski ovisnih (naponskih) signala. Brojnih su mogu nosti, te je tako uz primjenu odgovaraju ih strujnih sondi, odnosno odgovaraju ih senzora mogu e prikazivanje i neelektri nih signala (npr.zvuka ili vibracija).

Razvojem tehnologije tijekom godina, digitalni mjerni ure aji su iz uporabe po eli izbacivati analogne. To nije, sve do sredine 20. stolje a za mjerenje veli ina, kako elektri nih tako i neelektri nih, rabili su se samo analogni ure aji, koji su tada i doživjeli svoj vrhunac. Zbog potrebe za preciznijim mjernim ure ajima razvijeni su oni kod kojih se analogna veli ina pretvarala u digitalni zapis nazvani digitalni mjerni ure aji.

ovjekov mozak prilago en je analognom prikazu. Prakti na primjena pokazala je da, u sustavima gdje je potrebno istodobno pratiti pokazivanje triju ili više instrumenata te u skladu s njihovim pokazivanjima obavljati neke radnje (npr.uklju ivati ili isklju ivati strujne krugove kod odre enih iznosa mjerene veli ine), valja rabiti instrumente s analognim prikaznicima.

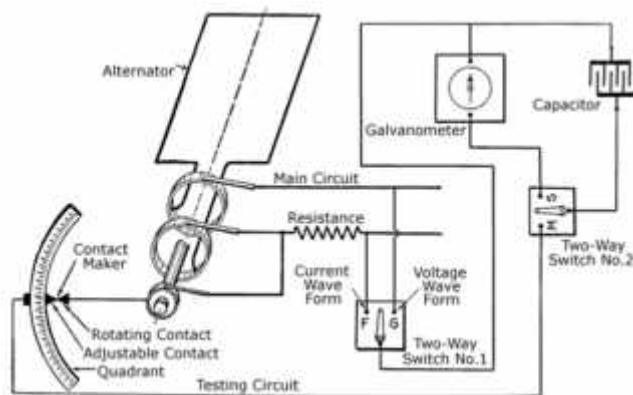
Neke od prednosti digitalnih osciloskopa nad analognim su laki prijenos rezultata mjerenja na ra unalo, te time i njigova daljnja obrada, korištenje monitora na bazi teku ih kristalaime se smanjuje težina i dimenzija osciloskopa itd.

2. Povijest osciloskopa

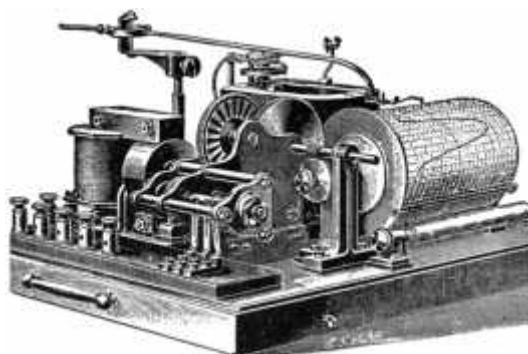
Osciloskopi su instrumenti koji služe za prikaz vremenski ovisnih signala. Obično na y-osi prikazuju amplitudu signala (napon), dok na x-osi prikazuju vrijeme. Osciloskopi su korisni za promatranje napona u elektrnim krugovima ili npr. u srcima. Povijesni razvoj osciloskopa je usmjeren na automatizaciju, brzinu i koherentnost oslikavanja napona.

1. Oscilogram i oscilograf

Oscilogram (ručno crtanje) u usporedbi s očitavanjem galvanometra je bio najstariji način za prikazivanje elektrinih valnih oblika. 1880. godine Jules Francois Joubert je izumio „point-to-point“ stroboskopsku kontaktnu metodu koja je omogućavala mehanizmima, kao što je Hospitalier Ondograph, da djelomično automatiziraju proces. Ponekad su se te djelomično automatizirane slike nazivale oscilografi.



Slika 1: Ilustracija Joubertove „point to point“ stroboskopske kontaktne metode. [5]

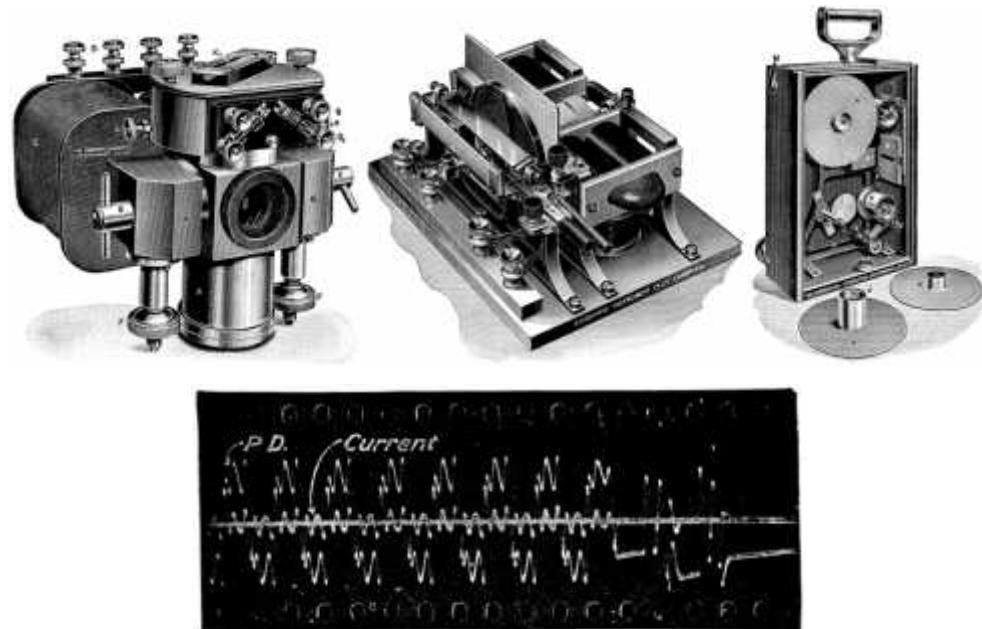


Slika 2: Hospitalier Ondograph. [5]

2. Zrcalni galvanometri

1826. godine, Johann Poggendorff je izumio zrcalni galvanometar, poznat i kao elektrodinamički mjerilnik, uređaj kojega je, u svojim djelima, popularizirao Lord

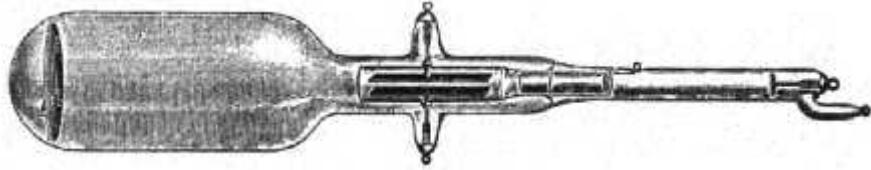
Kelvin. Kako bi se omoguilo izravno mjerjenje valnih oblika, uređaji za snimanje su trebali koristiti male mase kako bi se sustav mjerjenja mogao gibati dovoljnom brzinom da odgovara gibanju stvarnih valova koji se mjere. Ovo je postignuto razvojem oscilografa s pomicnim svitkom. Razvio ga je William Duddell, a u moderno doba se taj oscilograf naziva još i zrcalni galvanometar.



Slika 3: Duddellov pokretni namotaj; rotirajući okidač i pokretno zrcalo; pokretna kamera. Filmski zapis iskrenja preko prekida u kontakta, kada je isključen strujni krug visokog napona. [5]

3. Katodne cijevi

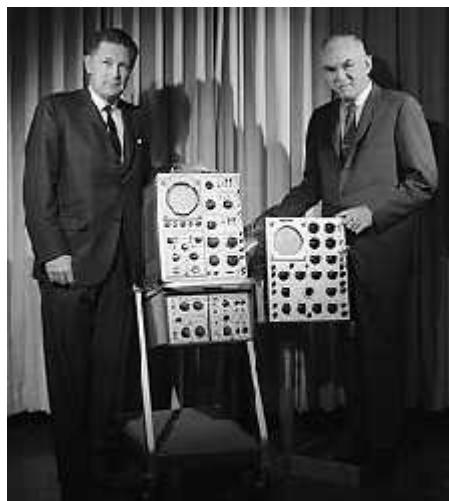
Iako su oscilogrami, oscilografi i zrcalni galvanometri bili važan pomak prema u inkovitom vizualnom prikazu napona, sve tri tehnike su napon prikazivale presporo. Izumitelji su, tražeći brže tehnologije, eksperimentirali s mlazovima žive, vrućim žicama i s još mnogo toga. Katodne cijevi, predložene od strane Alberta Hess-a i Ferdinandera Braun-a, su u inile korak naprijed. Usporedujući ih sa ranijom opremom, katodne cijevi su omogućavale bolju i uinkovitiju sliku napona. Te katodne cijevi se nazivaju hladnjima, jer nisu električno zagrijavane od strane žarne niti. Međutim, tek 1920.-ih godina su osciloskopi s katodnim cijevima postali praktični i široko rasprostranjeni.



Slika 4: Braun-ova hladna katodna cijev (1897.). [42]

4. CRT osciloskopi (osciloskop s katodnim cijevima)

Tijekom 20. stoljeća nastaje nekoliko vrsta osciloskopa. Na primjer, neke cijevi koriste dvije zrake istovremeno kako bi prikazale sliku različitih napona; drugi osciloskopi dopuštaju promatračima da prebacuju pojedinu zraku između dva različita naponska signala. CRT osciloskopi su konstantno bili unaprijeđivani. 1946. godine, Howard Vollum i Jack Murdock su riješili problem prikazivanja ponavljajućih valnih oblika na stacionaran i staljiv na ekran, tako što su izumili aktivni osciloskop, koji je iskoristio prednosti fosforskog zaslona. U to vrijeme, Tektronix je bio vodeći proizvođač CRT osciloskopa.



Slika 5: Vollum i Murdock, osciloskop nazvan 511. [43]

5. Digitalni osciloskopi

1985. godine, tvrtka Leroy je predstavila prvi digitalni osciloskop, kompjutoriziranu verziju analognog stroja. Digitalni osciloskop u 21. stoljeću koristi digitalnu memoriju i složene digitalne tehnologije za obradu signala koji vizualno predstavljaju napone, na sofisticiran način. Softver za osciloskop je sada pristupačan za svakodnevnu upotrebu na kućnim računalima, a pokušaji daljnjih inovacija su usredotočeni na bežne mreže.

3. Osnovna građa osciloskopa

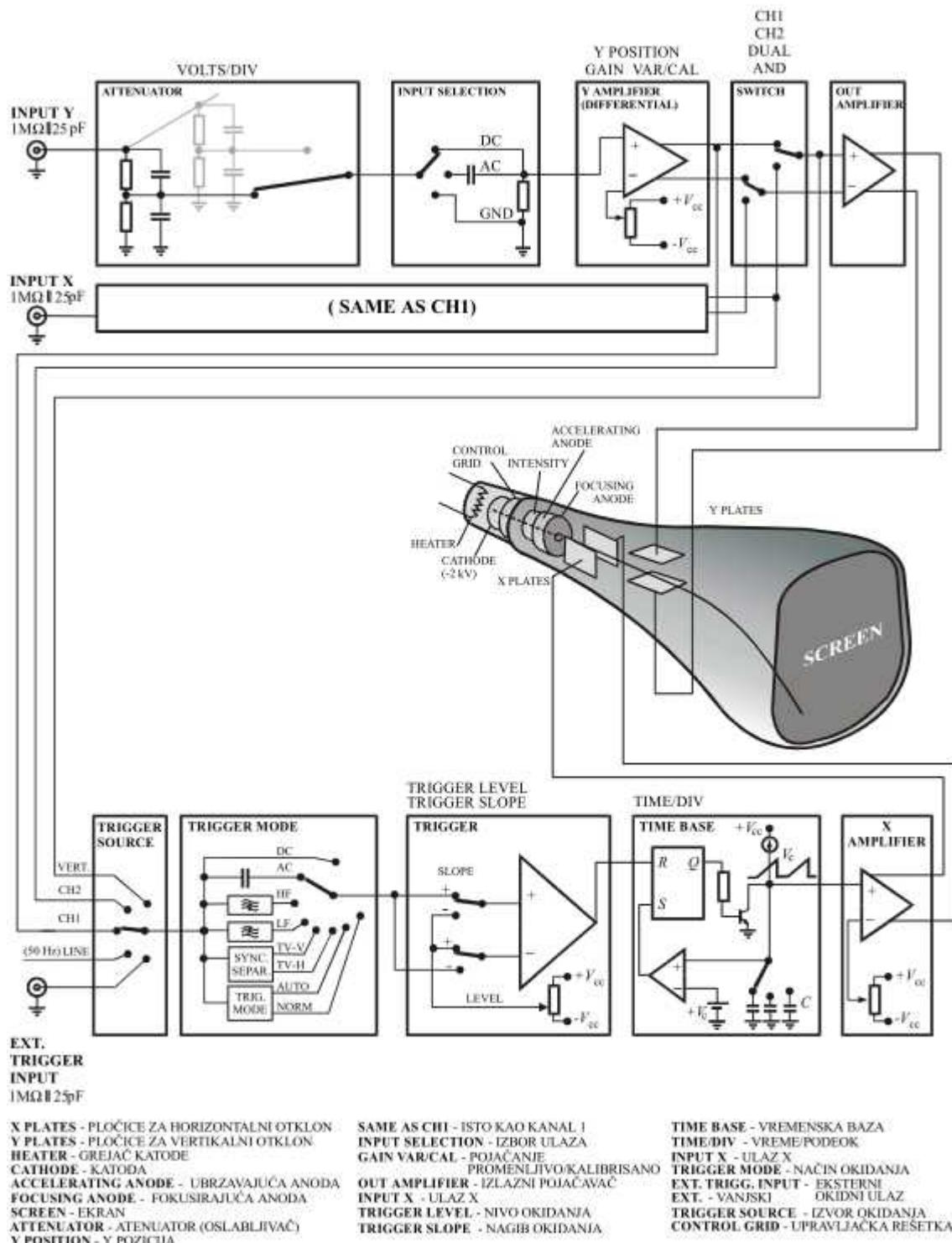
Osciloskop je ure aj širokog spektra mogu nosti, te se njime može mjeriti napon (AC/DC), jakost elektri ne struje, valni oblici, vremenski intervali, periodi, frekvencije, fazne razlike, omjeri frekvencija (Lissajoussove krivulje – prikazuju stazu gibanja estice koja istovremeno izvodi dva me usobno okomita harmoni ka titranja oko iste to ke).

Osciloskop je ure aj velikog unutarnjeg otpora pa se u strujni krug spaja paralelno, te time ne utje e na prolazak struje kroz dani element, odnosno ona je gotovo jednaka kao i prije uklju ivanja osciloskopa. Drugim rije ima, odnosi struja i napona u strujnom krugu se ne mijenjaju.

Sliku na osciloskopu iscrtava tanak snop brzih elektrona koji udara na fluorescentni zaslon katodne cijevi. Snop se otklanja djelovanjem elektri nih ili magnetskih polja i slijedi njihove promjene sve do vrlo visokih frekvencija bez vremenskog zaostajanja, odnosno slijedi trenutne vrijednosti mjerene veli ine koja je prouzrokovala ta elektri na ili magnetska polja. Time je omogu eno snimanje pojave ija je frekvencija ak i preko 100 MHz. [1] Otklanjanje elektrona ovisi o na inu na koji priklju ujemo napon, tj. priklju ujemo li ga na tzv. y- plo icu, x-plo icu ili oba para plo ica (kondenzator) izme u kojih prolaze elektroni. U prvom slu aju, kada napon priklju ujemo na y-plo icu, elektroni e se otklanjati gore dolje (y os); u slu aju x-plo ice, elektroni e se otklanjati lijevo desno (os x). Takav napon se naziva pilasti i kod njega je karakteristi no što se elektroni polagano otklanjaju u desnu stranu, a brzo se vra aju u po etni položaj. To je posljedica okidne vremenske baze. U zadnjem slu aju, kada napon spajamo na oba para plo ica, dobivamo sliku valnog oblika napona, odnosno vremenske promjene. Uvjet za ovakvo spajanje napona jest da oba napona moraju me usobno biti uskla ena, tj. moraju imati isti po etak.

Osnovni dijelovi osciloskopa jesu:

- Katodna cijev
- Vertikalno poja alo
- Linija za kašjenje
- Generator pilastog napona
- Horizontalno poja alo
- Sklop za okidanje
- Izvor visokog i niskog napona



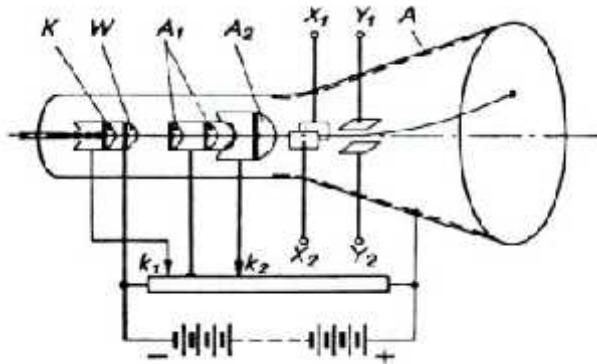
Slika 6: Principijelna shema osciloskopa. [15]

3.1 Katodna cijev

Osnovi dio svakog osciloskopa jest katodna cijev. Snop elektrona koji se otklanja, najviše to pod utjecajem električnog polja,ime se postiže velika brzina pisanja, velika ulazna impedancija te linearnost odnosa između otklona snopa i napona koje stvara električno polje. Kod sustava s magnetskim otklonom, na fluorescentnom zaslonu se stvara manje svjetla mrlja, potrebna je kvalitativna katodna cijev, ulazna impedancija je mala pa je to jedan od razloga zašto se rjeđe upotrebljavaju u mjernim svrhama.

Elementi katodne cijevi su:

- Neizravno grijana katoda (stvara slobodne elektrone)
- Elektronska optika (fokusira snop elektrona na zaslon; omogućuje oštru sliku)
- Sustav za otklanjanje elektronskog snopa
- Zaslon (snop elektrona pada na njega i kinetičku energiju pretvara u svjetlosnu)



Slika 7: Katodna cijev. [7]

3.1.1. Otklanjanje elektronskog snopa

Visoko vakuumirani stakleni balon, unutar kojeg je tlak manji od 10^{-6} mm Hg, je napravljen cilindričan, a dalje se širi te na završetku ima blago izbočeno dno koje je premazano fluorescentnim slojem. Najdublje u balonu se nalazi katoda, koja je svrha da zagrijava nit i emitira uzak snop elektrona, kružnog presjeka, što je posljedica emisijskog sloja katode postavljenog u okruglom udubljenju katodne površine isijavanja. Prije su se katode izrađivale od volframa, no zbog potrebne niže temperature za izbijanje elektrona, danas se koriste katode izrađene od metalnih oksida. Iza nje, nalazi se Wehneltov cilindar (naziv je dobio radi cilindrične oblike) koji ima kuglasti otvor u sredini. Na negativnom je potencijalu katode,

izme u -20 i -40 V, a zadatak mu je prisiliti elektrone da se skupljaju oko osi cijevi. Osim toga, kao glavni zadatak Wehneltovog cilindra, se javlja promjena potencijala prema katodi, time se mijenja broj elektrona snopa, što direktno utječe na svjetlinu mrlje koja se javlja na fluorescentnom zaslonu. Ukoliko se postigne dovoljno velik negativni potencijal, sprjeava se prolaz elektrona kroz otvor Wehneltova cilindra, te se ne pojavljuje svjetla mrlja na fluorescentnom zaslonu.

Idući dio katodne cijevi je anode koji imaju oblik šupljeg metalnog valjka i nalaze se na visokom potencijalu, a njene uloge su da privlače elektrone i prisiljavaju ih da se kreću u velikom brzinom prema zaslonu katode te fokusiranje elektronskog snopa. Nakon prolaska elektronskog snopa kroz otvor na dijafragmu anode, sprjeava se širenje elektronskog snopa pomoću oblikovanja električnog polja kroz koje prolaze elektroni. Prijelazom iz jedne u drugu ekvipotencijalnu plohu, koje se mogu formirati oblikom anoda te njihovom potencijalnom razlikom na nainda se na zaslonu upravo dobije fokus elektronskog snopa, dolazi do loma elektronskog snopa. Razlika potencijala između anoda se može mijenjati koristeći se klizem.

Nakon što elektroni dođu na fluorescentni zaslon, na njemu dolazi do sekundarne emisije elektrona, tj. elektrona iz površine koja je bombardirana elektronima velikih brzina. Ti elektroni se skupljaju na grafitnom sloju na unutrašnjosti cijevi koji je povezan s elektrodom koja služi za naknadno ubrzavanje elektrona nakon što isti prolaze kroz otklonske pločice, što rezultira većom svjetlinom slike.

3.1.2. Elektrostatsko otklanjanje elektronskog snopa

Između zaslona katodne cijevi i anoda nalaze se još dva para elektroda, paralelnih pločica koje su namještene tako da elektronski snop prolazi između oba para pločica. Jedan par pločica je smješten okomito na drugi, odnosno onaj par koji je smješten vodoravno uzrokuje otklon snopa u okomitom smjeru, a onaj par koji je smješten okomito uzrokuje otklon elektronskog snopa u vodoravnom smjeru. Ako na vodoravne otklonske pločice dovedemo istosmjerni napon, svjetla mrlja pomakne se iz središta u okomitom smjeru za udaljenost koja je razmjerna narinutom istosmjernom naponu. Ako se pak na te pločice dovede izmjeni na napon, na zaslonu se pokaže okomita svjetla crta čija je dužina razmjerna dvostrukoj amplitudi narinutog izmjeni nog napona. [2] Ukoliko među otklonskim pločicama

nema potencijala, elektronski snop će udarati u sredinu zaslona. Silu koja djeluje na elektron elementarnog naboja e_0 i mase m_0 možemo izračunati na sljedeći način:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad (1.1)$$

Koristeći drugi Newtonov zakon dobivamo:

$$m\vec{a} = q \cdot \vec{E} \rightarrow \vec{a} = \frac{q}{m} \vec{E} \quad (1.2.)$$

Promatramo sticu u elektrostatskom polju koje je određeno gradijentom električnog potencijala U (usmjeren je od točke do točke kama manjeg potencijala, tj. u smjeru negativne derivacije potencijala) [53]

$$\vec{E} = -\vec{g} \quad (x, y, z) = -\left(\frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}\right) \quad (1.3)$$

Ukoliko polje gledamo kao konzervativno, onda će zbroj energija u vremenskom trenutku t_1 biti jednak zbroju energija u vremenskom trenutku t_2 , odnosno slijedi:

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + qU_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + qU_2 \quad (1.4)$$

Iz gornje jednadžbe, dobivamo izraz za krajnju brzinu, v_2 .

$$\frac{1}{2}mv_2^2 = -q(U_2 - U_1) + \frac{1}{2}mv_1^2 \quad (1.5)$$

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 - \frac{2q}{m}(U_2 - U_1)} \quad (1.6)$$

Ako za početne uvjete ($t_1 = 0$) stavimo: $v_1 = 0$ i $U_1 = 0$, krajnja brzina će biti dana izrazom: $v_2 = \sqrt{-2 \frac{q}{m} U_1}$ (1.7)

U situaciji kada elektron pokreće se iz stanja mirovanja, vrijediti će:

$$\frac{1}{2}mv_2^2 = -qU_1 \quad (1.8)$$

Električno polje je usmjerenod od točke do točke kama manjeg potencijala (anoda) prema točki kama manjeg potencijala (katoda), i opisujemo ga izrazom:

$$\vec{E} = E_y \cdot \vec{j}; \quad y = -\frac{d}{\partial} = -\frac{U_a}{d} \quad (1.9)$$

Gdje je U_a napon izvora koji omogućava stvaranje električnog polja između plošnih elektroda, a d udaljenost između elektroda.

Ako je u trenutku $t=0$ elektron emitiran iz katode iji je potencijal uzet kao referentan, tj.jednak nuli, s brzinom v_k u smjeru elektri nog polja, za jednadžbu gibanja imamo:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{q_0}{m_0} \cdot \frac{U_0}{d} \quad | \int \quad (1.10)$$

$$\frac{d}{dt} = v = -\frac{q_0}{m_0} \cdot \frac{U_0}{d} t + C_1 \quad (1.11)$$

U trenutku $t = 0$, po etna brzina $v = v_k$, slijedi $C_1 = v_k$, pa e brzina elektrona biti dana kao:

$$\frac{d}{dt} = v = -\frac{q_0}{m_0} \cdot \frac{U_0}{d} t + v_k \quad (1.12)$$

$$y = -\frac{q_0}{m_0} \cdot \frac{U_0}{d} \frac{t^2}{2} + v_k t \quad (1.13)$$

Gornji izraz predstavlja položaj elektrona u trenutku t , a dobili smo ga integriranjem prethodnog izraza, uz $C_2 = 0$. Konstanta iš ezava jer se u trenutku $t = 0$ elektron nalazi na katodi gdje je $y = 0$.

Ako pak uzmemo da je $v_k = 0$, jednadžbe gibanja e glasiti:

$$v = \frac{d}{dt} = -\frac{q_0}{m_0} \cdot \frac{U_0}{d} t \quad (1.14)$$

$$y = -\frac{q_0}{m_0} \cdot \frac{U_0}{d} \frac{t^2}{2} \quad (1.15)$$

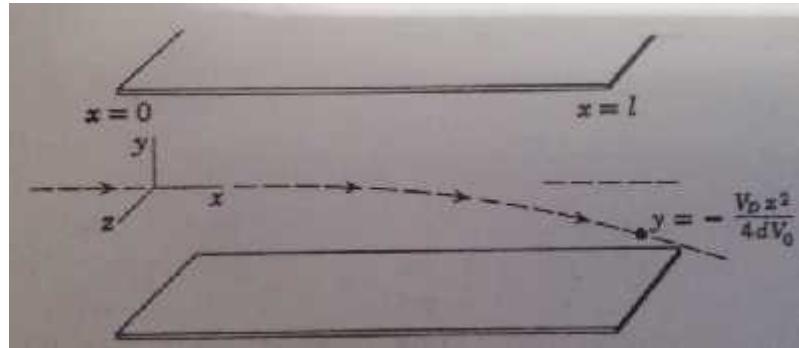
Kombiniranjem ta dva izraza dobivamo izraz za brzinu koji je neovisan o vremenu, a ovisan o potencijalu unutar plo a:

$$v = \sqrt{-\frac{2q_0}{m_0} U(y)} \quad (1.16)$$

Gdje je $U(y)$ potencijal na koordinati y unutar plo a, a u slu aju homogenog polja dan je kao:

$$U(y) = \frac{U_0}{d} y \quad (1.17)$$

U slu aju dosada opisanom trajektorija je pravac. Ukoliko je po etna brzina proizvoljno orijentirana, trajektorija elektrona e biti parabola.



Slika 8: Paraboli na trajektorija izme u plo a.[54]

Ako elektron u e u elektri no polje s brzinom $\vec{v}_u = v_u \hat{i}$, a smjer kretanja elektrona je okomit na elektri no polje paralelno osi y , jednadžba gibanja e biti odre ena na sljede i na in (slika 8):

$$\vec{E} = \vec{E}_y = (-E) \hat{j}; |\vec{E}| = E = k \quad . \quad (1.18)$$

$$\vec{E} = -\vec{g} = -\frac{\partial}{\partial} \vec{j} \quad (1.19)$$

Derivacijom x , y i z komponente dobijemo slijede e vrijednosti:

$$x = v_u t \quad (1.20)$$

$$y = \frac{-q_e}{m_{eu}} E \frac{t^2}{2} \quad (1.21)$$

$$z = 0 \quad (1.22)$$

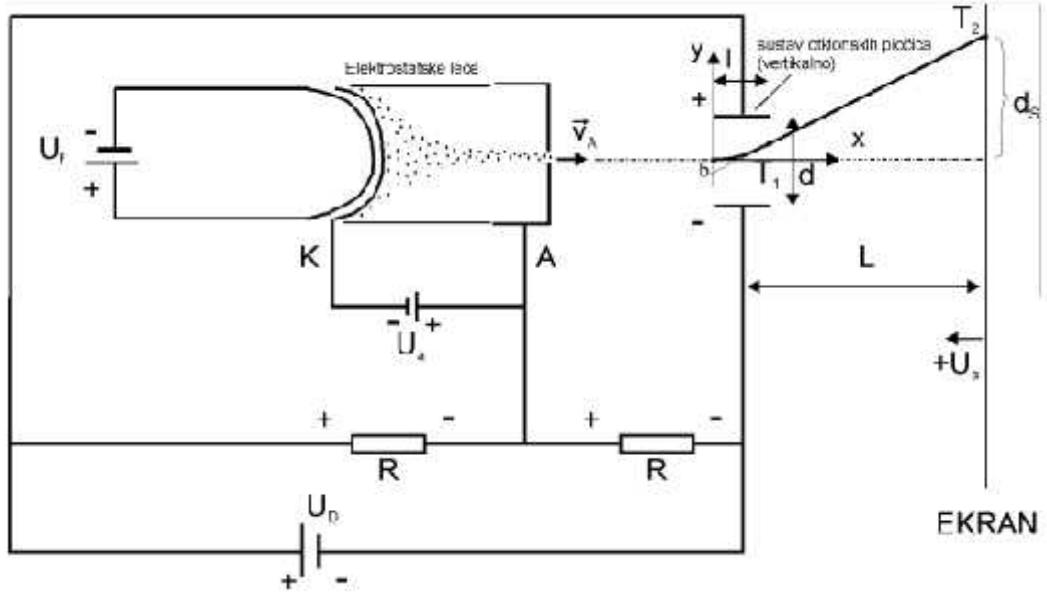
Rješavanjem sustava (vrijednosti za x i y komponentu) slijedi:

$$t = \frac{x}{v_u} \quad y = \frac{-q_e}{m_{eu}} E \frac{1}{2v_u^2} x^2 (p \quad o \quad p \quad d) \quad (1.23)$$

Izlaskom iz polja, elektron se giba po paraboli, a dalje tangencijalnom brzinom \vec{v}_2 po pravcu.

Promjenom napona izme u otklonskih plo ica mijenjamo i veli inu otklona elektrona. Elektri no polje izme u tih plo ica je promjenjivo u vremenu, no ako su zadovoljeni odre eni uvjeti aproksimativno možemo uzeti da se elektron giba u elektrostatskom polju. [53]

Osim dosada odre enog, možemo izra unati i vrijednost apsolutnog vertikalnog otklona.



Slika 9: Otklon elektronskog snopa. [53]

Odredimo to ke T_1 i T_2 . Iz izraza (1.16) i (1.23) proizlazi:

$$y = \frac{-q_e}{m_{e0}} \frac{U_D}{2dU_a} x^2$$

$$v_a = \sqrt{2 \frac{-q_e}{m_{e0}} U_a}$$

$$y = \frac{U_D}{4dU_a} x^2 \quad (1.24)$$

Gdje je U_D izvor napajanja otklonskih pločica, odnosno napon kojim otklanjamo elektrone, dok je U_a napon kojim ubrzavamo elektrone.

Koordinate to aka: $T_1(l, y_1)$ i $T_2(L + \frac{l}{2}, d_s)$

$$y_1 = \frac{U_D}{4dU_a} l^2; \quad y'_1 = \frac{U_D l}{2dU_a} \quad \text{koeficijent u smjeru } T_1 \quad (1.25)$$

Tangenta $y_t = y'_1 x + b$

$$\frac{U_D l^2}{4dU_a} = \frac{U_D l}{2dU_a} l + b \quad b = -\frac{U_D l^2}{4dU_a} \quad y_t = \frac{U_D l}{2dU_a} x - \frac{U_D l^2}{4dU_a} \quad (1.26)$$

Kako je i to ka T_2 na tangenti, njezine koordinate uvrstimo u jednadžbu:

$$d_s = \frac{U_D l}{2dU_a} \left(L + \frac{l}{2} \right) - \frac{U_D l^2}{4dU_a} \quad (1.27)$$

Apsolutna vrijednost vertikalnog otklona se računa iz izraza:

$$d_s = \frac{U_D l}{2dU_u} \quad (1.28)$$

Kao što vidimo iz prethodnog izraza, otklon će biti veći što je otklonski napon veći, dužina pločica i njihova udaljenost od zastora veća, a napon ubrzanja i razmak pločica manji.

3.1.3. Osjetljivost

Osjetljivost katodne cijevi se definira kao omjer otklona i otklonskog napona na način:

$$S_t = \frac{y}{U} = \frac{l}{2dU_A} \quad (1.29)$$

Osjetljivost nam kazuje koliki je otklon za neki fiksirani otklonski napon U , tako da će osjetljivija cijev za isti otklonski napon imati veći otklon.

3.1.4. Magnetsko otklanjanje elektronskog snopa

Magnetsko otklanjanje elektronskog snopa se provodi pomoću zavojnica koja polja djeluju okomito na elektronski snop. Obitno je zavojnica podijeljena na dvije dijela spojena u seriju i postavlja se na obje strane cijevi. Ako s B označimo magnetsku indukciju proizvedenu u tim zavojnicama, s x smjer elektrona, v_x brzinu elektrona u smjeru x , na elektron će djelovati sila $F = Bv_x e_0$, te će on dobiti akceleraciju okomitu na os x danu izrazom:

$$a_y = \frac{F}{m_0} = \frac{B \cdot v_x e_0}{m_0} \quad (1.30)$$

Brzina u smjeru osi y se računa prema sljedećem izrazu:

$$v_y = a_y t = \frac{B \cdot v_x e_0}{m_0} \cdot \frac{l}{v_x} = \frac{B \cdot l \cdot e_0}{m_0} \quad (1.31)$$

Iz prethodnog izraza se vidi kako brzina ovisi o t – vremenu zadržavanje elektrona u magnetskom polju, odnosno v_x – brzini elektrona u smjeru osi x i dužini l na koju djeluje magnetsko polje.

Otklon na zaslonu:

$$y = v_y \frac{L}{v_x} = \frac{B \cdot t \cdot L}{\sqrt{2 \cdot U_0 \cdot m_0 \cdot t \cdot e_0}} \quad (1.32)$$

Zaključak je kako je pri magnetskom otklanjaju elektronskog snopa otklon obrnuto proporcionalan drugom korijenu anodnog napona, dok je kod elektrostatskog otklanjanja on obrnuto proporcionalan anodnom naponu.

3.1.5. Naknadno ubrzanje elektrona

Do poteškoća dolazi kada se žele snimati pojave velikih brzina koje se ne ponavljaju, jer je za takvo snimanje potreban veliki intenzitet svjetleće mrlje, što pak zahtijeva povećanje snage elektronskog snopa. Ukoliko se snaga povećava na račun struje, otežava se fokusiranje i gubi se na oštrini slike, a smanjena osjetljivost je također i rezultat povećanja anodnog napona, pa se kao rješenje uzima anoda za naknadno ubrzavanje elektrona. Nanosi se u obliku vodljivog sloja na konusni dio katodne cijevi iime se stvara električno polje koje naknadno ubrzava elektrone i malo smanjuje osjetljivost. Promatranje pojave koje se ne ponavljaju i snimanje istih, pri tome da te pojave traju manje od 0,1 μs, omogućeno je takođe što se na anodu za naknadno ubrzavanje dovodi pozitivni napon koji može biti i nekoliko puta veći od napona između katode i anode, aki 20 kV.

3.1.6. Zaslon katodne cijevi

Fluorescentni zaslon katodne cijevi je prozirna površina premazana fluorescentnim tvarima koje svijetle i stvaraju slike ovisno o tome koliko ih je elektrona pogodilo, a broj elektrona koji pada na pojedino mjesto na zaslonu u svakom trenutku ovisi o naponu na upravljačkoj rešetki. [8] Kao premazi se najčešće koriste kalijev volfram, cinkov sulfid, cinkov ortosilikat itd., i nanose se na unutrašnju stranu dna cijevi te taj sloj nanešenog materijala omogućuje pretvorbu kinetičke energije elektrona u svjetlost.

Osnovna svojstva koja imaju zasloni, odnosno osnovna svojstva materijala su:

- a) Persistencija – vrijeme potrebno da svjetlina mrlje na zastoru padne na ništicu. Ovo svojstvo zaslon posjeduje jer i nakon uzbudivanja mora emitirati elektrone neko vrijeme. Ono može biti kratko, ukoliko se slika mijenja pri promatranju, pa

imamo manju persistenciju kako bi slika bila pregledna (periodi ne pojave velikih frekvencija), ili duže vrijeme, kod npr. prijelaznih pojava koje se ne ponavljaju, kada imamo veću persistenciju (niže frekvencije).

- b) Fluorescencija – isijavanje svjetlosti pri udaru elektrona
 - vrlo nestabilni elektroni („brz povratak“)
 - intenzivna svjetlost
- c) Fosforscencija – isijavanje svjetlosti nakon udara elektrona
 - stabilniji elektroni („spor povratak“)
 - slabiji intenzitet svjetlosti, no duže trajanje

3.1.7. Katodne cijevi s pamćenjem

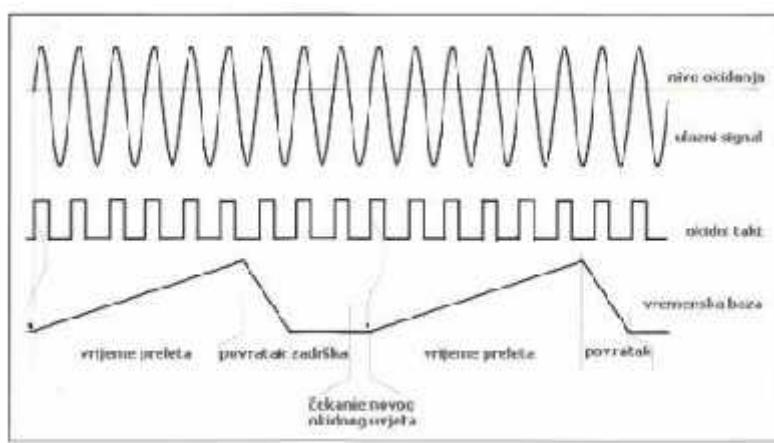
Osim prethodno opisane katodne cijevi, postoji još nekoliko vrsta istih, kao npr. katodne cijevi s pamćenjem, katodne cijevi s dva elektronska snopa, katodne cijevi u kojima elektronski snop otklanja magnetsko polje itd.

Katodne cijevi s pamćenjem su one koje mogu gotovo trajno zadržati sliku na zaslonu. Razlikuju se one katodne cijevi koje mogu sliku zadržati na zaslonu i one koje to ne mogu. Ova mogućnost je rezultat primjene materijala koji, bombardirani snopom elektrona u određenim uvjetima, emitiraju više elektrona nego što su ih bombardiranjem primili. Zbog nemogućnosti mijenjanja intenziteta svjetla zapisa, katodne cijevi s pamćenjem na zaslonu se rijetko koriste u praksi.

4. Sustav za horizontalni otklon

4.1. Horizontalni otklonski sustav i pilasti napon

Na osciloskopu se najčešće promatraju veline koje se mijenjaju s vremenom, te stoga horizontalni otklonski sustav mora biti razmjeran vremenu, a sustav koji ga kontrolira se naziva vremenska baza. U osciloskopu postoji generator za prebrisavanje (sweep generator) kojemu je zadata da precizno iscrtava elektronski snop preko zaslona nekom brzinom koju je odabralo korisnik.

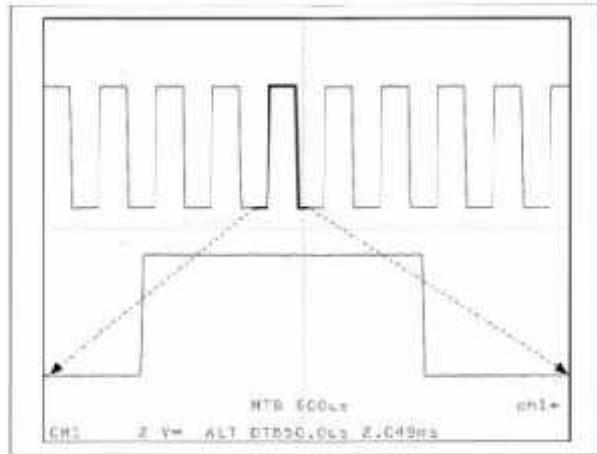


Slika 10: Izlaz generatora vremenske baze. [10]

Najčešće je brzina iscrtavanja između 20 ns/pod do 0,5 s/pod, sa podešavanjem vremenske baze u koracima 1-2-5, koja se može postaviti i na različite vrijednosti od standardnih.ime se omogućuje prikaz cijelog perioda nekog valnog oblika preko cijelog zaslona. Moderniji osciloskopi mogu raditi u kontinuiranom kalibriranom varijabilnom modu što omogućuje bolju vremensku razlučivost mjerjenja te smanjuje mogućnost pogreške. Uobičajeno okidanje vremenske baze kod složenih video signala nije dati dobre rezultate te zbog toga moderniji osciloskopi koriste dvije vremenske baze:

- a) Glavna vremenska baza (MTB) – može biti okidana glavnim okidnim događajem unutar valnog oblika, a dio traga ove baze se prikazuje svjetlijie, intenzivnije
- b) Usporena vremenska baza (DTB) – zapominje na početku intenziviranog dijela, može se postaviti na vlastitu brzinu prebrisavanja

Kod osciloskopa s dvije vremenske baze, elektronski snop naizmjenično prebriše zaslon s dvije različite brzine prebrisavanja.

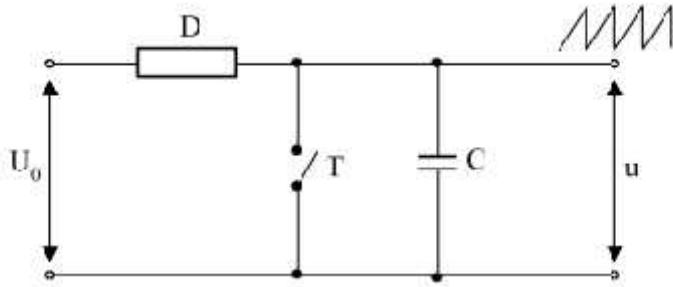


Slika 11: Signal prikazan s dvije vremenske baze. [10]

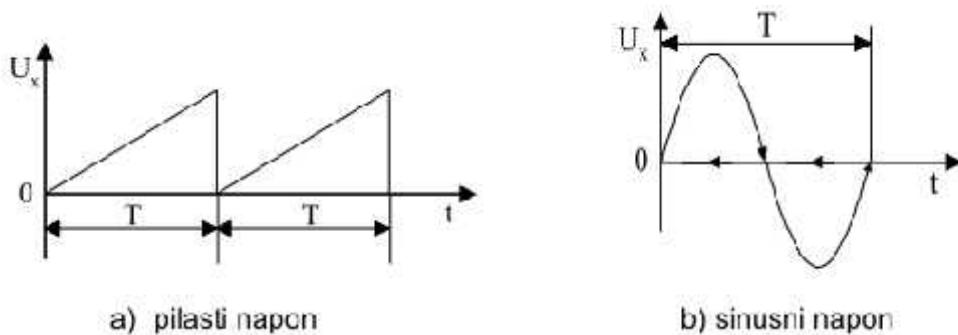
Naini rada osciloskopa s dvije vremenske baze:

1. MTB – aktivna samo glavna vremenska baza
2. MTBI – intenzivirana glavna vremenska baza, prikazuje prebrisavanje samo MTB, prikazana po etna pozicija za DTB
3. DTB – usporena vremenska baza, prikazano samo DTB prebrisavanje
4. MTBI i DTB – isti princip kao i kod MTBI, prikazuje prebrisavanje DTB

U skladu s vremenski promjenjivim promatranim veli inama, elektronskom snopu je dana neka stalna brzina u horizontalnom smjeru, i potrebno je da se snop što je mogu e prije vrati s desne strane na lijevu kako bi nastavio, tj. ponovno po eo s crtanjem po zaslonu. Mjereni napon se dovodi na jedan par metalnih plo ica (vertikalni), a na drugi par metalnih plo ica (horizontalni) treba dovesti onoliko napona koliko e snopu dati jednoliku brzinu gibanja. Tom uvjetu odgovara generator pilastog napona iji napon raste linearno i periodi ki nakon nekog vremena pada od najve e vrijednosti na po etnu vrijednost. Princip je sljede i: tokom rasta napona na plo icama, snop putuje od lijevog ruba zaslona prema desnom, i u trenutku kada postigne punu visinu, elektronski snop je dospio na desni rub zaslona, te se tada pilasti napon mora brzo smanjiti, odnosno pasti na ništicu kako bi snop mogao što brže do i u po etni položaj, te tako iznova zapo eti rasti, tj. crtati po zaslonu. Na zaslonu se o ituje bijela mrlja samo kada pilasti napon raste, za vrijeme povratka i mirovanja istog, mrlja je ugašena. To se može posti i odgovaraju im pravokutnim naponom na Wehneltovu cilindru.



Slika 12: Principijelna shema generatora pilastog napona. [7]



Slika 13: Utjecaj pilastog napona. [7]

4.1.1. Dobivanje pilastog napona

Pilasti napon se dobiva na principu punjenja kondenzatora izvorom konstantne struje, što uzrokuje linearno smanjenje napona na njegovim krajevima, te naglim pražnjenjem kondenzatora. U trenutku otvaranja prekida a (slika 12) kondenzator se po inje nabijati strujom i napon mu raste prema izrazu:

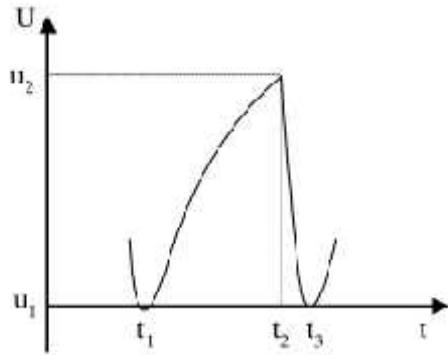
$$u = \frac{1}{C} \frac{t_2 - t_1}{t_2} i_C \quad (1.33)$$

Ukoliko je struja konstanta, što osigurava element R , napon na kondenzatoru će rasti linearno. Ako govorimo o običnom otporniku, onda napon na kondenzatoru raste eksponencijalno po izrazu:

$$u = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (1.34)$$

U trenutku t_2 , napon na kondenzatoru dosegne vrijednost u_2 , zatvaranjem tipke po inje naglo pražnjenje kondenzatora (otpor tipke mnogostruko manji od otpora R). Smanjenjem napona kondenzatora na polovinu vrijednosti, po inje novi period pilastog napona. Kako bi bilo što bolje iskorištenje istosmjerne struje, potrebno je da napon izvora bude znatno veći od u_2 , jer u

tom sluaju nabijanje kondenzatora te je po približno pravocrtnom dijelu eksponencijalne krivulje nabijanja. Ukoliko to nije sluaj, te ukoliko vrijeme trajanja izbijanja kondenzatora nije kratko, dobivamo iskrivljeni oscilogram pojave koju snimamo, paemo umjesto sinusoide dobiti slijede u sliku:



Slika 14: Pilasti napon dobijen punjenjem kondenzatora. [7]

Pomo u posebnih elektroničkih sklopova, kao što je npr. Millerov integrator ili integrirajući pojačalo, uz konstantnu struju nabijanja kondenzatora, postiže se bolje iskorištenje istosmjerne struje. Njima se dobiva linearost pilastog napona bolja od 1%, trajanje perioda napona od $1\mu\text{s}$ sve do 50 s, uz odgovarajuće promjene otpora R i kapaciteta C .

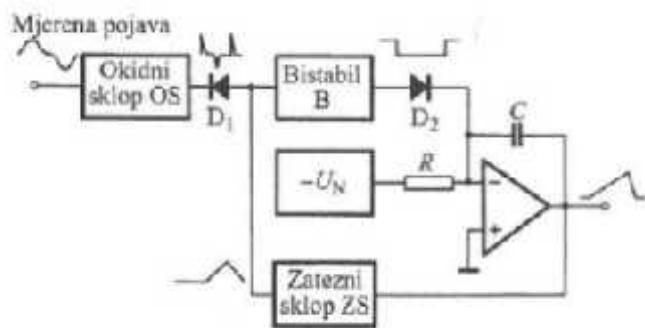
4.2. Astigmatizam i sinkronizacija

Astigmatizam katodne cijevi je pojava u kojoj otklanjanje elektronskog snopa elektronskim poljem, što je posljedica nesavršenosti elektronske optike, utječe na fokus snopa.

Kako bismo dobili mirnu sliku promatrane periodi ne pojave na zaslonu osciloskopa, odnos između frekvencije pojave i frekvencije pilastog napona mora biti cijeli broj, koji se, kao i fazni pomak, za vrijeme mjerjenje neće mijenjati. Ta pojava se naziva sinkronizacija. Ukoliko je period pilastog napona za n puta veći od perioda mjerene pojave, na ekranu će se vidjeti n perioda mjerенog signala, a ukoliko je manji, vidjet će se samo dio jednog perioda mjerenog signala. Sinkronizacijom se postiže da crtanje novog oscilograma uvijek počinje u istoj poziciji promatranog signala, a za pouzdan sinkronizam je potrebno omogućiti utjecaj mjerene pojave na generator pilastog napona. To se postiže na način da se iz vertikalnog otklopnog pojačala izvede jedan dio pojačanja mjerenog napona u generator pilastog

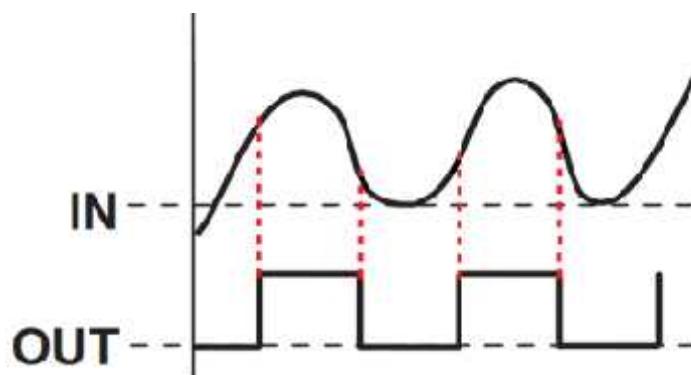
naponu, te se takva sinkronizacija naziva interna, dok se vanjska sinkronizacija postiže utjecajem vanjskog signala na generator pilastog napona. U ovom sluaju se vanjski signal dovodi na odgovarajući priključak na plovu i osciloskopa. Tako je moguće da i sinkronizacija na mrežnu frekvenciju, što se događa kada se generator pilastog napona sinkronizira naponom napajanja. Osim toga, potrebno je omogućiti promatranje pojave koje se ne ponavljaju a kratkotrajne su i prijelazne, te onih pojave koje se ponavljaju u nepravilnim vremenskim razmacima. To se postiže okidnom vremenskom bazom. Ona „okida“ jednu periodu pilastog napona nakon djelovanja odgovarajućeg signala, te je za svako novo okidanje potreban novi signal koji se dobiva ili iz mjerene pojave ili nekog drugog vanjskog izvora.

Okidni sklop se sastoji od djelila, pojačala i Schmittovog okidnog sklopa.



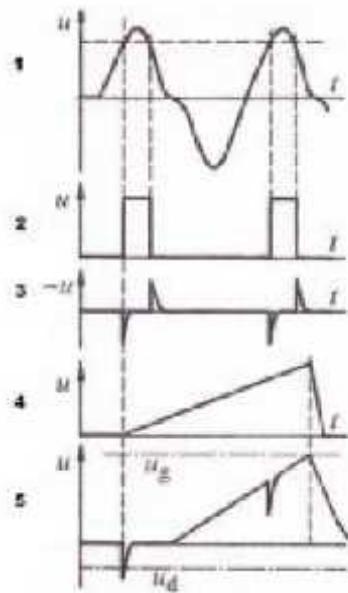
Slika 15: Okidna vremenska baza. [6]

Schmittov okidni sklop je naponski komparator koji ima dvije okidne razine (histereza). Do okidanja dolazi kada njemu dovedeni napon premaši određenu vrijednost, a kada padne ispod određene vrijednosti, se vraća u potpunu položaj. Zada mu je da svaki ulazni signal pretvara u pravokutni, smanjuje vrijeme porasta/pada ulaznog signala te otklanja šum na ulaznom signalu. Ovo se koristi za rekonstrukciju izobličenog digitalnog signala.



Slika 16: Rekonstrukcija digitalnog signala. [12]

Pravokutni impulsi se dalje deriviraju pomoću u RC sklopa i pretvaraju u strme kratkotrajne impulse. S negativnim impulsima se upravlja radom tranzistora u bistabilu, koji zaporno polariziraju diodu D_2 i omogućuju nabijanje kondenzatora u integratoru te dobivanje pilastog napona na izlazu. Pilastim naponom se preko posebnog zateznog sklopa upravlja bistabilom i omogućuje njegov povratak u početno stanje. [14]



Slika 17: Oblici impulsi dobiveni djelovanjem vremenske baze. [14]

4.3.Naćini rada vremenske baze

Krug vremenske baze analognog osciloskopa može raditi na sljedećem načinu:

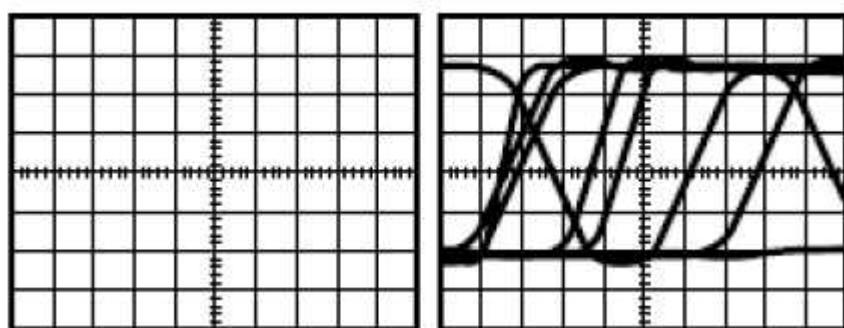
1. Automatski način – omogućuje prazan hod prebrisavanja vremenske baze na niskim frekvencijama te postavljanje vertikalne pozicije valnog oblika
2. Uobičajeni način rada – zahtijeva prisustvo signala na odabranom ulazu, dovoljno visokog nivoa kako bi mogao obaviti okidanje vremenske baze
3. Pojedinačni ili udarni signal – vremenska baza je prebrisana samo jednom, primitkom okidnog događaja

Okidački krug je taj koji osigurava da vremenska baza zapone u točnoj vrijeme kad je na ulaznom signalu, i to svaki put kada vremenska baza vraća signal na početak zaslona. Polazišna tabela je određena sa četiri kontrole:

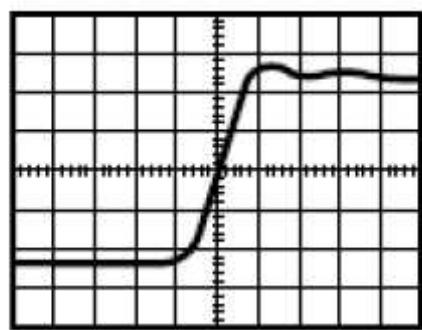
- a) Kontrola izvora okidanja (trigger source) odre uje od kuda dolazi okida ki signal. Može se koristiti jedan ili više kanala.
- b) Kontrola razine okidanja (trigger level) se postavlja na razinu napona koju okida ki signal mora prije i kako bi aktivirao okida ki sklop vremenske baze.
- c) Kontrola strmine okidanja (trigger slope) odre uje ho e li se okidanje izvršiti na rastu i ili padaju i brid signala izvora. Ukoliko je razina okidanja ve a ili jednaka amplitudi signala, na zaslonu se ne e iscrtati slika.
- d) Okida ka sprega (trigger coupling) predstavlja vezu kojom je povezan izvorišni signal s okida kim krugom.

Ta veza može biti:

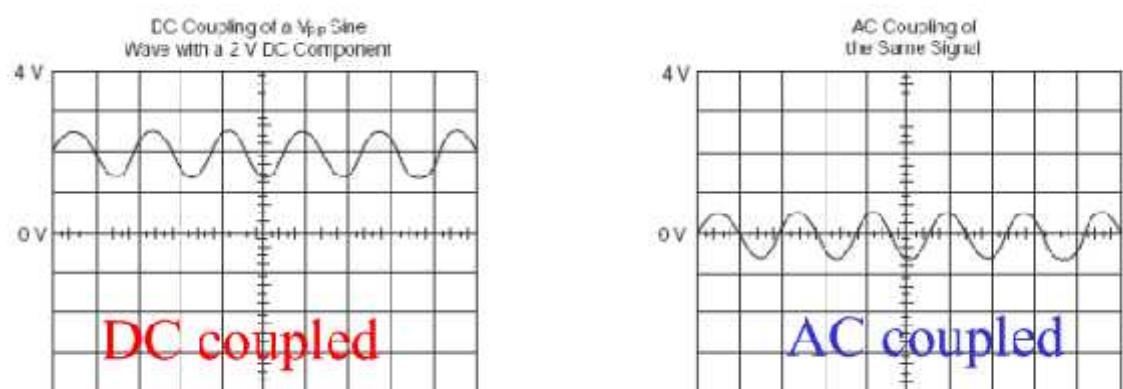
- Istosmjerno povezivanje (DC coupling)– izvor spojen direktno na okida ki krug
- Izmjeni no povezivanje (AC coupling)– izvor spojen na okida ki krug preko serijskog kondenzatora
- Vršni nivo (peak to peak level) – kada je raspon kontrole nivoa okidanja postavljen na na in da bude nešto manji od vršnih vrijednosti signala
- Niskopropusni filter – ako izvorišni signal prolazi kroz niskopropusni filter za blokiranje visokih frekvencija; vremenska baza se može okidati samo na niskim frekvencijama signala
- Visokopropusni filter – ako izvorišni signal prolazi kroz visokopropusni filter za blokiranje niskih frekvencija (npr. prikaz signala koji sadrži velike mrežne smetnje)
- TV okidanje – na in rada u kojem je kontrola razine okidanja neaktivirana pa osciloskop koristi sinkronizacijske impulse unutar video signala



Slika 18: Neokidani signal. [44]



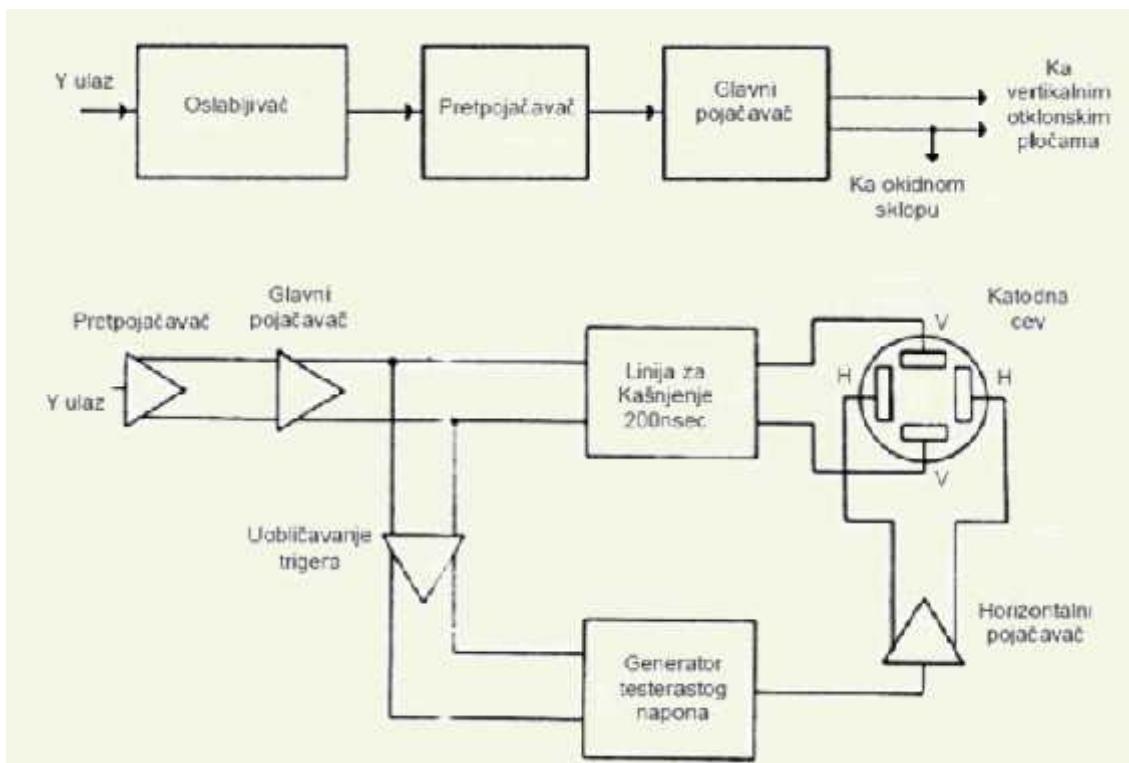
Slika 19: Okidani signal. [44]



Slika 20: DC vs AC povezivanje. [44]

5. Sustav za vertikalni otklon

Osjetljivost katodne cijevi je najviša u granicama između 0,1 i 2 mm/V, zbog čega se mali naponi ne mogu izravno snimati, pa se za poviranje mjerjenog napona upotrebljava pojačalo koje mora biti neovisno o frekvenciji, a ujedno ne smije izazvati veliki fazni pomak. Ovo pojačalo se naziva vertikalno, i njegova zadataća je omogućiti pojačan signal mjerodavne razine za pogon otklonskih pločica, bez uvođenja ikakvih mjerljivih deformacija u sustav. Otklonske ploče osciloskopa se ponašaju kao pločice kondenzatora te kada frekvencija ulaznog signala prelazi 1 MHz, struja potrebna za punjenje i praznjenje kondenzatora formirana otklonskim pločicama raste. Tako bi vertikalno pojačalo trebalo biti u mogunosti opskrbiti struju dovoljno da se otklonske ploče kondenzatora napune i isprazne.



Slika 21: Vertikalni pojačalo [15]

Električni signal kasni određenu koliku vremena dok se prenosi elektronom krugom. Ulazni signal na vertikalne otklonske ploče katodne cijevi će kasniti otprilike isto koliko ili malo duže vremena kako bi operator mogao vidjeti početni rub signala vala koji se prouzrokuje na zaslonu. U tu svrhu, linija za kašnjenje je uvedena između vertikalnog pojačala i pločica katodne cijevi.

Vertikalno pojačalo se najviše sastoji od dva dijela: prepojačala i glavnog pojačala.

5.1.Linija za kašnjenje

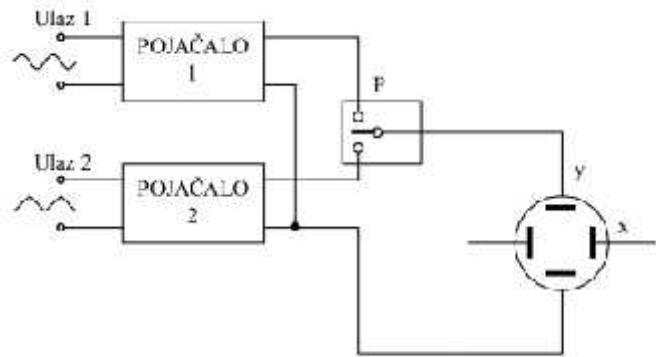
Linija za kašnjenje je dio vertikalnog otklonskog sustava, koja omoguava prikaz prvog dijela signala, iako na kašnjenje takođe utječe i okidaći sklop i horizontalni sistem. Okidaći i skloovi vremenske baze brzo odgovaraju na okidaći uvjet. Što se time e pilastog napona, on se generira na rastući ili padajući brid signala u trenutku kada je ispunjen uvjet okidanja, a samo iscrtavanje signala započinje otprilike 100 ns nakon što je ispunjen uvjet.

6. Posebne vrste osciloskopa

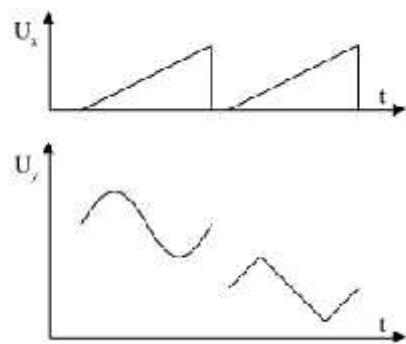
Neke od posebnih vrsta osciloskopa su:

- a) Dvokanalni osciloskopi
 - b) Osciloskopi s katodnom cijevi s više elektronskih snopova
 - c) Osciloskopi s pamjenjem
 - d) Osciloskopi s uzimanjem uzoraka
-
- a) Dvokanalni osciloskop

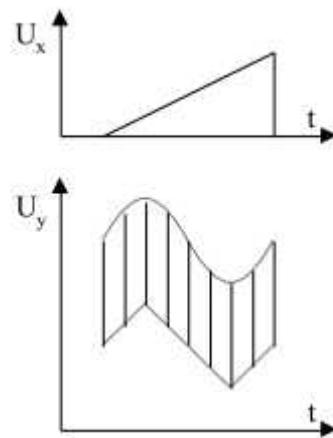
Dvokanalni osciloskopi se koriste za promatranje dviju periodičnih pojava, a sam proces se odvija pomoću katodne cijevi s jednim snopom, gdje važnu ulogu ima sistem koji taj jedan snop elektrona razdvaja u dva snopa koji reagiraju na istu vremensku bazu. U krugu za vertikalno otklanjanje se nalaze dva identična pojačala za dva odvojena ulazna kanala, a izlazi iz tih pojačala vode na elektronsku sklopku koja ih pak naizmjenično uključuje na vertikalne otklonske plove katodne cijevi. Pri tome se izmjenjuju dvije metode, metoda zamjene i metoda sjeckanja, ili možemo reći kako postoje dva načina rada, sinkroni i asinkroni. U metodi zamjene se jedna pojava prikazuje za vrijeme jedne periodice pilastog napona, druga pojava za vrijeme druge periodice i tako dalje, a koristi se za signale visokih frekvencija, kada se može primijetiti diskontinuitet u iscrtavanju signala. Kod metode sjeckanja, elektroni ka sklopku uključuju mnogo puta jednu i drugu pojavu za vrijeme jedne periodice pilastog napona, te je povoljno rješenje kod prikazivanja signala niskih frekvencija, kad relativno mala persistencija zaslona dovodi do treperenja slike. Mirna slika kod obje metode je da se dobije jedino kada se frekvencije mjerene pojava odnose kao cijeli brojevi, pošto generator pilastog napona pokreće jedna od mjerene pojava.



Slika 22: Blok shema dvokanalnog analognog osciloskopa. [7]



Slika 23: Metoda zamjene; jedan signal prikazuje se za vrijeme jedne peride pilastog napona, drugi signal za vrijeme druge peride pilastog napona. [7]



Slika 24: Metoda sjeckanja. [7]

- b) Osciloskop s katodnom cijevi s više elektronskih snopova

Svaki snop u ovakvim osciloskopima ima svoj otklonski sustav, ime je omogu eno promatranje više pojava koje ne moraju biti periodi ne. Naj eš e se izra uju osciloskopi s dva snopa. Funkcija im je sli na dvokanalnom osciloskopu s razlikom da osciloskopi s dva snopa koriste posebnu katodnu cijev koja generira dva odvojena elektronska snopa.

c) Osciloskopi s pam enjem

Kod ovih osciloskopa je omogu eno zadržavanje slike na ekranu za duži vremenski period, ime je omogu ena i usporedba pojave koje se ne doga aju istovremeno ili se samo jednom pojavljuju. U na elu postoje dvije vrste ovih osciloskopa: osciloskopi koji koriste posebnu katodnu cijev s pam enjem i osciloskopi koji koriste digitalne sklopove. Ova cijev ima dva elektronska topa, jedan za upisivanje a drugi za obasjavanje.

d) Osciloskopi s uzimanjem uzoraka

Kako su osciloskopi normalne izvedbe frekvencijski ograni eni, do nekih 500 MHz, a porastom frekvencije ulaznog signala raste brzina ispisivanja snopa, na ekranu dolazi do smanjenja svjetline slike. Ukoliko su signali koje želimo promatrati ponovljivi, primjenjuje se metoda uzorkovanja iji frekvencijski opseg može i i do 18 GHz. Metoda uzorkovanja se bazira na transpoziciji visokofrekvencijskih signala u niskofrekvencijsko podru je. Ovi osciloskopi se odlikuju osjetljivoš u, prikladni su za mjerjenje valnih oblika koji se ne ponavljaju i daju jasni prikaz.

6.1. Mjerena osciloskopom

- a) Mreža meridijana i paralela
- b) Mjerjenje napona
- c) Mjerjenje amplitude
- d) Mjerjenje jednosmjerne komponente naizmjeni nih signala
- e) Mjerjenje vremenskih intervala
- f) Mjerjenje periode i frekvencije
- g) Mjerjenje fazne razlike
- h) Mjerjenje fazne razlike primjenom Lissajousove krivulje – ili metoda usporedbe u X-Y režimu.

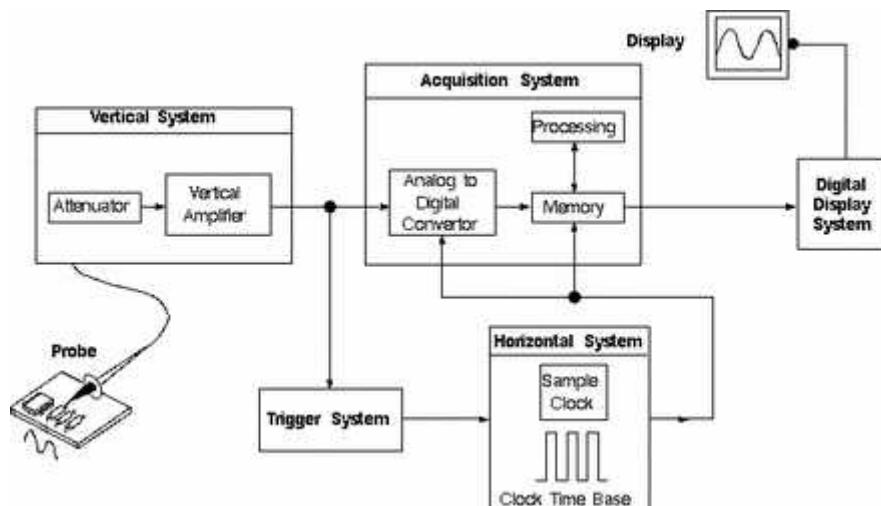
7. Digitalni osciloskop

Prednost digitalnih osciloskopa nad analognima je što mogu prikazivati prijelazne pojave, zapise koji se promatraju mogu spremati u memoriju za daljnju obradu, te je takođe moguće prikazivanje signala u frekvencijskoj domeni, kao i veća mogućnost sinkronizacije signala. Digitalni osciloskop ne radi direktno s dobivenim signalom, već se taj signal uzorkuje i pretvara u digitalni signal, a to se obavlja pomoću analogno-digitalnih pretvornika.

Postoji nekoliko osnovnih vrsta, odnosno podjela digitalnih osciloskopa:

- a) Digitalni osciloskop za skladištenje
- b) Digitalni osciloskop za uzorkovanje (uzorkovanje može biti u stvarnom vremenu ili u ekvivalentnom vremenu) – osciloskopi s digitalnim pamjenjem.
- c) Digitalni fosfor osciloskop – paralelno procesiranje informacija i zasebni procesor koji omogućuju prikaz brzih tranzijenata.
- d) Kombinirani osciloskop
- e) PC osciloskop

U dalnjem radu, pozornost ćemo обратити na PC osciloskop, no prije toga, nekoliko riječi o digitalnom osciloskopu.



Slika 25: Blok shema digitalnog osciloskopa. [18]

Ulagani dio digitalnog osciloskopa jednak je onom kod analognog osciloskopa, te se ulagani signal uzorkuje u pravilnim vremenskim intervalima, nakon čega se trenutne vrijednosti uzorka odvode u ADC (Analog to Digital Converter), odnosno analogno-digitalni pretvornik, iz čega izlaze binarne riječi koje predstavljaju svaki uzorak signala. Osnovna funkcija

analogno digitalnog pretvornika je odrediti amplitudu uzorka uspore uju i ga s vrijednoš u referentnog napona. Ovaj proces se naziva digitalizacija.

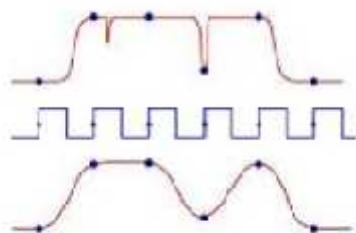
Dolaskom signala na ulaz digitalnog osciloskopa, vertikalni sustav e se automatski prilagoditi amplitudi samog signala. Dobivene binarne vrijednosti se pohranjuju u memoriju osciloskopa, a u njoj „postoji“ cirkularno polje gdje se podaci zapisuju sve dok se ne zadovolje okidni uvjeti. Podaci se iš itavaju iz memorije, gdje ih je mikroprocesor obradio kao digitalne, i odlaze u sklop za digitalno analognu pretvorbu, DAC (Digital to Analog Converter), gdje dolazi do pove anja signala i njegovog prikaza na zaslonu katodne cijevi. DAC je dio sustava za prikupljanje podataka koji uzorkuje signal. Ono što je bitno ovdje napomenuti je kako slika na zaslonu ne predstavlja signal doveden na ulaz osciloskopa, ve rekonstrukciju originalnog signala.

7.1. Metoda uzorkovanja

Cilj metode uzorkovanja je osciloskopu odrediti na in prikupljanja potrebnih podataka, ovisno radi li se o sporo promjenjivim signala ili brzim signalima. Za prvi slu aj, proces prikupljanja podataka je jednostavan, što rezultira preciznom slikom na ekranu. No kod brzih signala se javlja problem, jer je osciloskop u nemogu nosti prikupiti dovoljno to aka kako bi proveo analizu. U tom slu aju, osciloskop uzima uzorke na jedan od tri sljede a na ina:

1. Uzimanje uzoraka u stvarnom vremenu

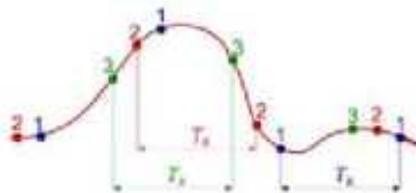
Uzorkovanje u stvarnom vremenu se naziva još i akvizicija, i tu se uzorci uzimaju na isti na in, odre enim redoslijedom kako se dijelovi signala ponavljaju na zaslonu. Ukupnu akviziciju uzrokuje samo jedan okida ki uvjet. Bitno je napomenuti kako se svaka nova skupina uzoraka uzima od novog okida kog uvjeta. To nazivamo odgovaraju e vrijeme uzorkovanja, a ono poboljšava rezoluciju osciloskopa kod rekonstrukcije ponavljaju ih valnih oblika iz razli itih perioda.



Slika 26: Uzimanje uzoraka u stvarnom vremenu (valni oblici svih kanala dobiveni u istom ciklusu). [14]

2. Slučajno uzimanje uzoraka

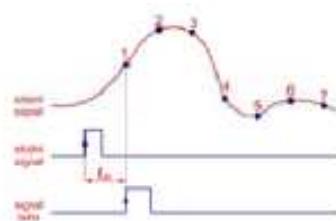
Ciklusi uzorkovanja se ponavljaju u stvarnom vremenu i u svakom ciklusu se generira slučajni vremenski pomak između okidnog impulsa i generatora takta za uzorkovanje. Moguće je uzimati jedan ili više uzoraka po periodi signala, a ti uzorci se pohranjuju u memoriju.



Slika 27: Slučajno uzimanje uzoraka. [14]

3. Sekvencijalno uzimanje uzoraka

Nakon ispunjenja okida kog uvjeta su definirani vremenskim pomakom uzima se jedan uzorak, te se u sljedećem ciklusu uzorkovanja vrijeme prodljuje za mali korak.



Slika 28: Sekvencijalno uzimanje uzoraka. [14]

7.2. Karakteristične veličine digitalnog osciloskopa

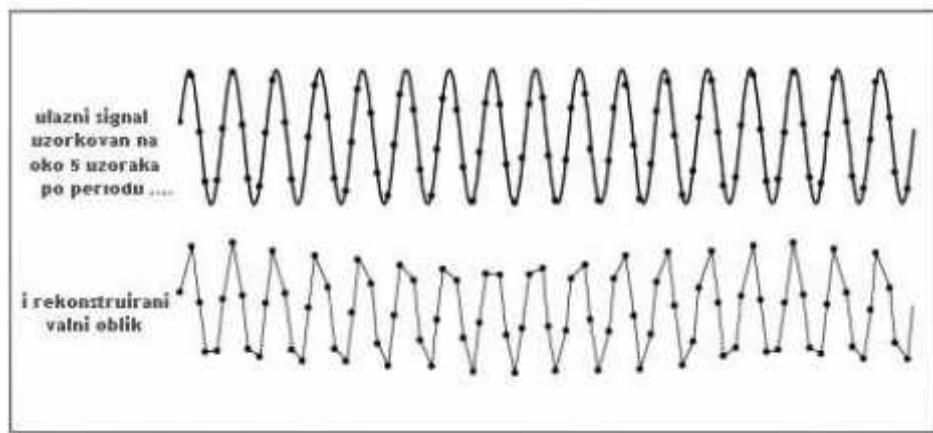
Među bitnjim karakteristikama digitalnog osciloskopa isti su se vertikalna razlučivost, vremenska baza, horizontalna razlučivost i maksimalna frekvencija uzorkovanja.

Vertikalna razlučivost – ili rezolucija osciloskopa je određena prepoznavanjem više naponskih razina ulaznog signala. Povećanje vertikalne razlučivosti omogućuje prikaz manjih detalja signala u danom valnom obliku.

Vremenska baza i horizontalna razlučivost – zadatak horizontalnog sistema je osciloskopu osigurati pohranu akviziranih uzoraka u pravom trenutku. Brzina istog ovisi o postavkama vremenske baze (s/pod).

Maksimalna frekvencija uzorkovanja – frekvencija uzorkovanja mora biti barem deset puta veća od maksimalne frekvencije signala kojeg želimo promatrati. Vrijednosti te frekvencije se kreću od 10M uzoraka/s sve do 20G uzoraka/s. Ukoliko se želi istovremeno promatrati nekoliko pojava, frekvencija uzorkovanja se mora smanjiti, a razlog tomu je što osciloskopi najčešće imaju jedan AD pretvornik.

Prosječna vrijednost koja garantira dovoljno signalnih detalja je deset uzoraka u periodu, dok za signale s manje detalja taj broj je svega pet uzoraka u periodu.



Slika 29: Signal uzorkovan s pet uzoraka u periodu. [10]

8. PC (računalo) kao osciloskop

Nakon analognih osciloskopa, dalnjim razvojem i usavršavanjem nastali su digitalni osciloskopi, koji su u koje emu prednja ili pred analognima, no ostao im je jedan nedostatak, a to je pristupa nost, odnosno cijena. Iz tog razloga, na tržištu su se po ele pojavljujivati alternative u obliku analogno digitalnih pretvornika, koji se spajaju s ra unalom putem USB-a ili kao PCI kartice, a ra unalo služi za prikaz i obradu signala. Jedna od mogu nosti je i korištenje zvu ne kartice ra unala kao analogno digitalnog pretvornika, te prikazivanje signala uz pomo odre enih softvera.

Osim cijene, velika prednost je i njihova fleksibilnost u konstruiranju sustava kakvog želimo, odnosno kakav odgovara našim potrebama. Kod virtualnih mjernih ure aja lako možemo mijenjati prvobitnu funkciju, ime nam osciloskop ne služi samo za prikaz i mjerjenje signala, ve njime možemo obra ivati signal na na in koji se ne može posti i samo hardverski, te time osciloskop preuzima neke funkcije koje prvobitno nisu zamišljene za njega.

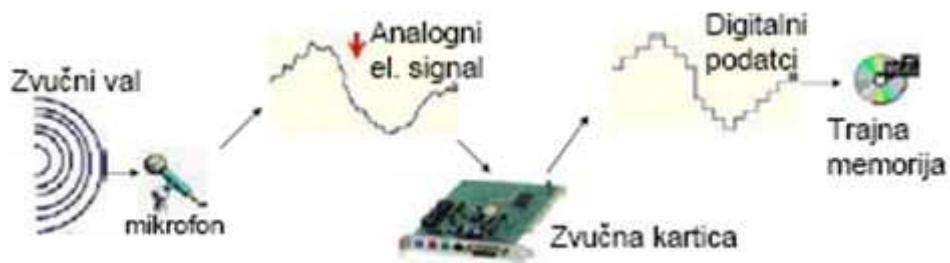
8.1. Zvučna kartica kao analogno digitalni pretvornik

Zvu nom karticom se naziva elektroni ki sklop (pretvornik) koji analogne signale pretvara u digitalne i obratno. Taj postupak unosa zvuka u ra unalo i njegova pretvorba iz analognog u digitalni oblik se naziva digitalizacija, i odvija se u tri koraka. U prvom koraku se pomo u npr. mikrofona, zvuk pretvara u analogni elektri ni signal. Nakon toga u analogno digitalnom pretvorniku zvu ne kartice se taj analogni elektri ni signal pretvara u digitalni oblik, te se na kraju digitalni oblici kodiraju, i ukoliko ima potrebe, sažimaju i pohranjuju na disk. Zadatak analogno digitalnog pretvornika u zvu noj kartici je mjeriti ulazni elektri ni signal i dobivene vrijednosti zapisivati u obliku niza brojeva koji se još nazivaju i uzorci, a niz takvih uzoraka ini digitalni zapis zvuka.

Glavni dijelovi zvu ne kartice su:

- Digitalno analogni konverter – pretvara digitalne podatke o zvuku iz ra unala u analogni zvuk koji se potom šalje zvu nicima

- Analogno digitalni konverter – vrši obrnuti proces od digitalno analognog konvertera, odnosno pretvara zvuk sa audio ulaza u digitalne podatke koje računalo može obravati
- Specijalizirani mikroprocesor – vrši dio obrade podataka prilikom analogne i digitalne pretvorbe
- Memorija – ubrzava obradu podataka na način da ih privremeno pohranjuje
- Razni ulazni i izlazni priključci



Slika 30: Proces digitalizacije. [45]

Razni softveri omogućuju stereo zvučnim karticama osciloskopski prikaz na zaslonu računala. Zvučne kartice su optimizirane na signale do 20 kHz, ali se ova ograničena propusnost može proširiti.

8. Alati za prikaz i obradu signala

8.1. Winscope

Winscope je besplatan softverski program koji koristi zvučnu karticu kako bi prikazao rezultate ulaznih valnih oblika. Osim određenih mogunosti koje nudi osciloskop, kao na primjer prikazavanje valnih oblika u realnom vremenu, mjerjenje frekvencije te ostalo, Winscope ima skladište i snaga FFT, odnosno brze Fourierove transformacije, što mu omogućuje da djeluje kao spektralni analizator. Koristeći ovaj program, možemo prikazivati jedan ili dva ulazna signala, ili njihovu međusobnu ovisnost.

Karakteristike programa Winscope:

- Duljina memorije uspremnika: 52 ms
- Propusnost: 20 Hz – 20 kHz (maksimum)
- Razina ulaznog signala: ograničena karakteristikama zvučne kartice
- Osvježenje zaslona: 6 kadrova po sekundi

Nedostaci programa Winscope:

- Razina amplitudne nije kalibrirana pa se teško koristi kao digitalni multimetar
- Relativno niska propusnost
- Mogućnost oštećenja unala prilikom povezivanja s nepoznatog izvora signala
- Ukoliko na izvor nije doveden nikakav signal, program prikazuje lažni signal velike amplitudne koja se povećava s vremenom, te se to objašnjava smetnjama na mikrofonskom ulazu zvučne kartice
- Nemogućnost rada unanja Fourierove transformacije za dva ulazna signala u realnom vremenu

8.2. Soundcard Oscilloscope

Program Soundcard Oscilloscope podatke prima iz zvučne kartice sa 44,1 kHz i 16 bitnom rezolucijom. Raspon frekvencije ovisi o samoj zvučnoj kartici, no frekvencija od 20 – 20 000 Hz bi trebala biti moguća sa svim modernim karticama. Program prikazuje signale za dva kanala, oblika sinusa, kvadrata, trokuta i pilaste oblike napona, te različite šumove spektra pokriva u frekvencijskom području od 0 do 20 kHz. Signali se takođe mogu predstaviti matematičkim relacijom, a dostupni su na izlazu mikrofona zvučne kartice. Ti signali mogu

biti pohranjeni natrag u osciloskop kako bi se generirale Lissajousove krivulje u x - y na inu rada.

8.3. Visual Analyzer

Visual Analyzer je audio program, proizvod tvrtke Sillanum Softvare. Program je besplatan, a njegova instalacija od samo par megabajta je dostupna na Internet adresi www.sillanumsoft.org. Visual Analyzer je kompletan profesionalni softver, koji radi u realnom vremenu, te se na ra unalu može korisiti u više svrha, odnosno može se transformirati u brojne mjerne instrumente:

1. Osciloskop (dva kanala, x - y osi, vremenska podjela, trigger)
2. Analizator spektra s prikazom amplitude i faze (linearni i logaritamski prikaz, linije...)
3. Generator valnih oblika (triangular, square, sinus, noise, pulsni generator)
4. „Frequency metter“ (s prikazom vremena i raspona frekvencija)
5. Volt – metar
6. „Filtering“ ure aj (low pass, hi pass, band pass, band reject...)
7. Potpuni softverski konverter za digitalno – analognu konverziju (za kompletну rekonstrukciju signala) [28]

Funkcije programa Visual Analyzer-a:

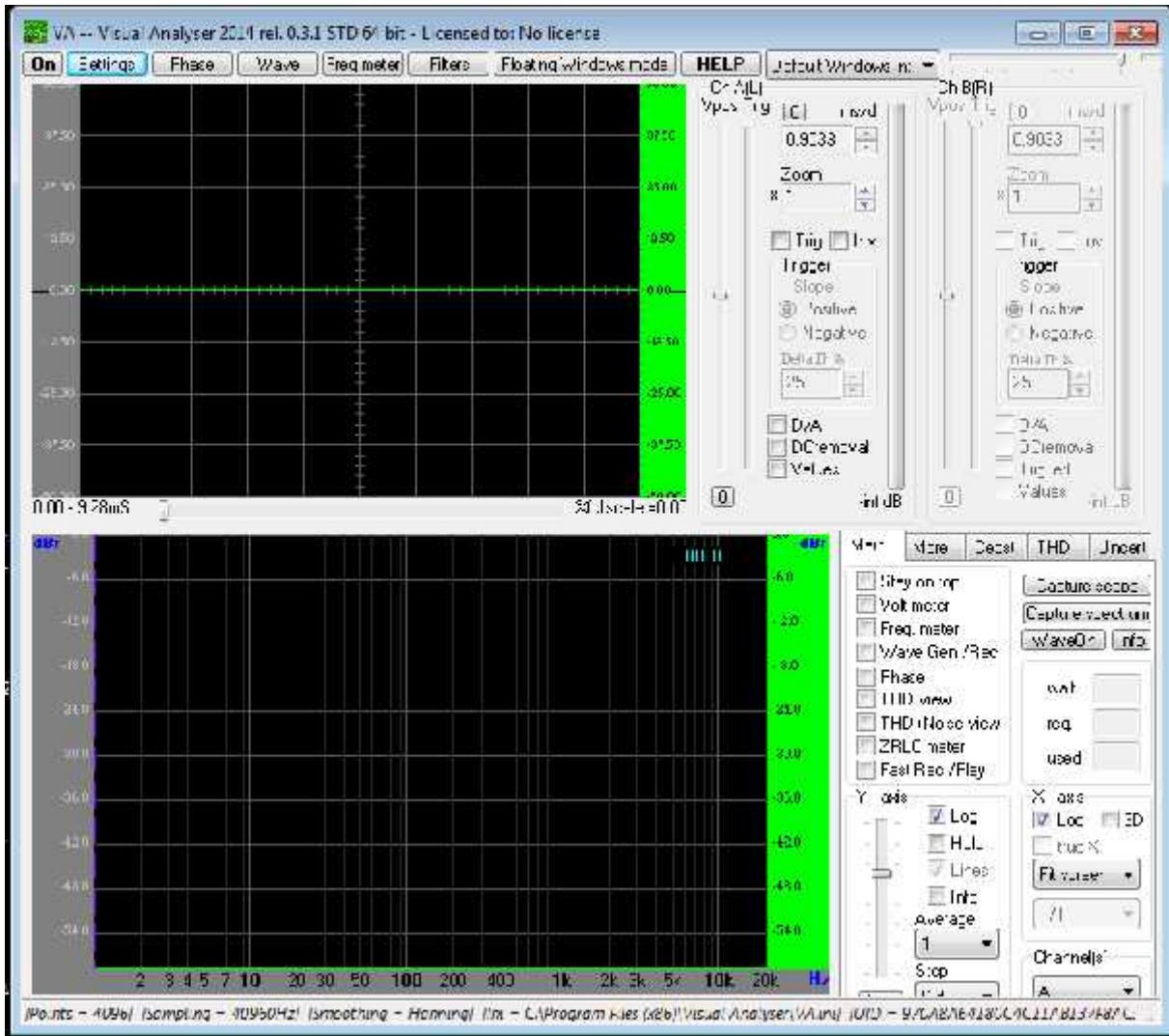
1. Graf „Call“ – prikazuje pozive odnosa me u programskim jedinicama i funkcije Graph
2. Poziv „Tree“ – prikazuje pozive odnosa me u jedinicama programa i funkcije Tree
3. Logi ki protok – prikazuje strukturu pojedinih programskih jedinica ili funkcija
4. Statisti ki popis – prikazuje statisti ke informacije pojedinih programskih jedinica ili funkcija
5. Argument popisa – prikazuje stvarne argumente i pseudo argumente koji su prošli izme u programskih jedinica ili funkcija
6. Refrenca popisa – prikazuje unakrsne referentne informacije za pojedina ne programske jedinice ili funkcije

7. Globalni popis – prikazuje globalne podatke informacija, globalne podatke u C-u, zajedni ke blokove ili module potprograma u Fortran-u¹
8. Utvr ivanje je li program standardno uskla en Fortran-u
9. Ispis

Ostale karakteristike programa Visual Analyzer:

- Memo prozori (data log) za analizu i pohranjivanje vremenskih serija, spektrara i faza s „triggering“ doga ajima; mogu nost spremanja grafike u raznim formatima (.tee,.txt, WMF) i njihovo prikazivanje s unutrašnjim preglednikom
- Kompenzacija frekvencija: mogu nost stvaranja/uga anja prilago enih frekvencijskih raspona i njihovo dodavanje na analizator spektra
- Podrška za 8/16/24 bitne zvu ne kartice putem API(Application programming interface – aplikacijsko programsko su elje) poziva
- Neograni eno uzorkovanje frekvencija (ovisi o mogu nostima zvu ne kartice)
- Cross korelacije
- Proširena mjerena ukupne harmonijske distorzije, s automatskim zamahom, kompenzacijom i data log-om
- Kalibracijski mehanizam (može se kalibrirati VA mjerilo izravno u volte, decibele ili postotke mjerila)
- Valne datoteke se mogu snimati i reproducirati
- Mogu unutarnji unos
- Visual Analyzer nudi mogu nost izbora izvora signala kojeg prikazujemo te tako možemo promatrati signal koji generiramo na ra unalu i šaljemo na izlaz zvu ne kartice

¹ Fortran je ime za proceduralni, imperativni programski jezik koji je bio razvijen 50-ih godina 20.stolje a; posebno namijenjen numeri kim prora unima.

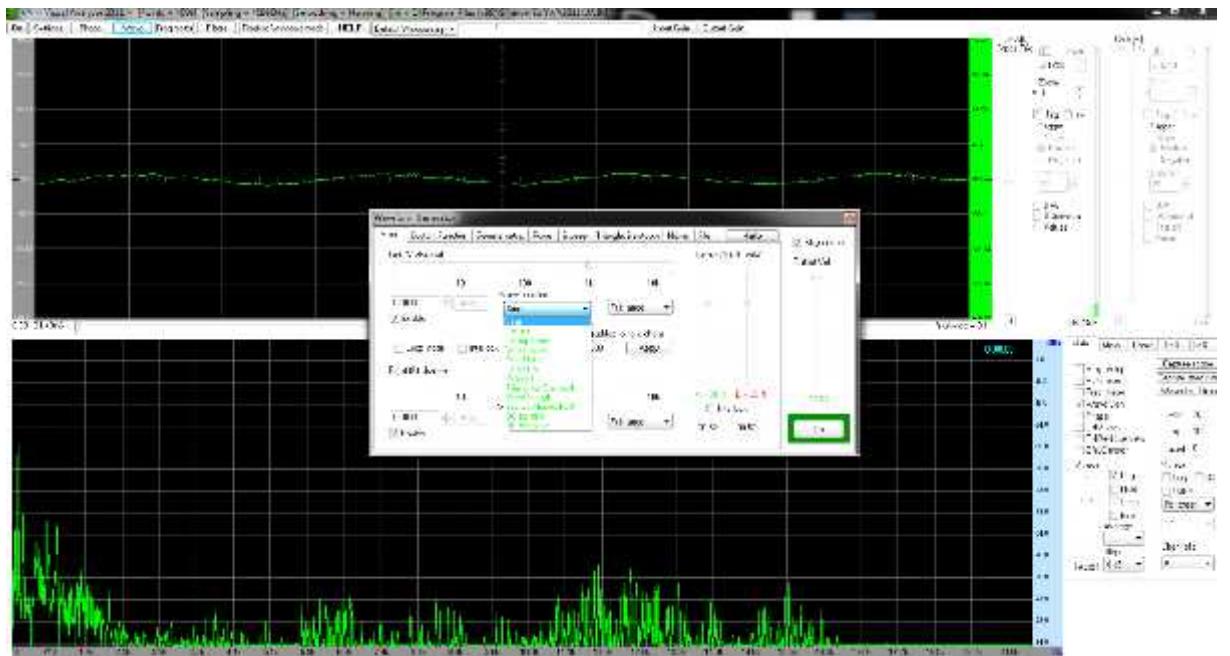


Slika 31: Screenshot of the Visual Analyzer program.

The Visual Analyzer program is divided into several sections. At the top, there is a menu bar with options like File, Edit, Settings, Phase, Wave, Freq meter, Filters, Floating window mode, HELP, and About Windows. Below the menu is a toolbar with various icons. The main interface consists of two windows: the top window displays a waveform plot with two traces (blue and red) against time, and the bottom window displays a spectrum analysis plot showing frequency components. Both windows have their own sets of controls and parameters on the right side, such as gain, offset, and trigger settings. The bottom window also includes a legend for different measurement modes and a status bar at the bottom providing system information.

The frequency of the source can be determined in the Visual Analyzer with great precision, up to 4 decimal places, which depends on the source of sound, the input signal level, and the noise level. The phase of the wave in time can be observed by using the "Phase" feature.

Još jedna od mogu nosti je generiranje raznih valnih oblika proizvoljne frekvencije. Tako je mogu e je generirati pravilne oblike valova (sinusne, pravokutne, trokutaste), valne uzorke nepravilnih oblika (šumove ili pulseve), te oblike koji nastaju postavljanjem neke proizvoljne matemati ke funkcije. [28]



Slika 32: Mogu nosti pri generiranju valnih oblika

Što se ti e na ina prihvata signala, ono se može odviti putem mikrofona, iz nekog vanjskog izvora zvuka direktno spojenog odgovaraju im kabelom, ili sa CD/DVD ure aja na ra unalu. Ukoliko se prilikom analize jave šumovi, mogu e ih je korigirati filterima koje Visual Analyzer posjeduje.

10. Mjerenja pomoću Visual Analyzer-a

Ako Visual Analyzer stavimo u kontekst demonstracijskog softvera u nastavi fizike, u kombinaciji sa akustikom smo vidjeti mogunost kreiranja velikog broja demonstracijskih vježbi. Te vježbe pripomognu i boljem i lakšem preduavanju, kao i razumijevanju akustičnih pojava kod učenika. Osim u akustici, Visual Analyzer možemo primjeniti i u području elektriciteta i magnetizma.

Prije nego što krenemo s demonstracijskim pokusima, Visual Analyzer je potrebno kalibrirati, kako bismo dobili što to nije rezultate mjerenja. Također, postupak kalibracije je potreban jer Visual Analyzer bez kalibracije rezultate mjerenja prikazuje u postocima pune skale, a nakon kalibracije sami odredujemo želimo li da nam rezultati budu prikazani u voltima, milivoltima ili decibelima. Postupak kalibracije je sljedeći:

- Za početak, potreban nam je sinusni val pogodne i povoljne razine, koja je u domeni i frekvencijskom rasponu zvukne kartice.
- U Visual Analyzer-u pokrenemo oba kanala
- Dovedemo poznati signal ili na oba kanala, ili prvo na lijevi kanal
- Označimo Value Box (vrijednosti) na oba kanala kako bismo mogli pratiti kalibraciju. Prije iste, sve amplitude će biti pokazane kao %fs
- Otvorimo Settings (postavke), odaberemo Calibrate (kalibracija)
- Iz padajućeg izbornika odaberemo ulazni izvor signala
- Na vertikalnom regulatoru jačine odaberemo razinu na kojoj želimo korisiti zvuknu karticu
- Odaberemo Unit (jedinicu) koju želimo kalibrirati (npr. volti)
- Unesemo razinu kalibracije signala koju želimo primjeniti na ulaz
- Pritisnemo Start Measure Signal (L) (početi mjeriti signal). Nakon nekoliko trenutaka nam se prikaže vrijednosti Detected Levels (otkrivenih razina) u %fs (full scale)
- Označimo Apply calibration left channel (primjeni kalibraciju lijevog kanala)
- Isti postupak ponovimo i za desni kanal
- Provedenu kalibraciju spremimo. Ukoliko to ne učinimo, nakon što zatvorimo program, izgubit ćemo kalibraciju, te ponovno morati provoditi postupak.

10.1. Eksperimentalni dio

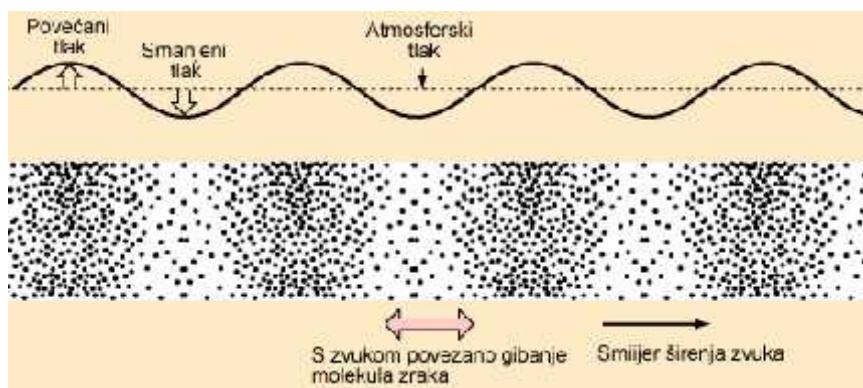
Za sve dalje navedene vježbe, provedena je kalibracija, i određene su početne postavke programa:

- Brze Fouireve transformacije (FFT veličine 2048 uzoraka)
- Frekvencija uzorkovanja (Frequency sampling) 44100 Hz
- Frekvencijski opseg 0-22050 Hz
- Mono channel
- Volt/peak to peak
- Trigger – positive 25%
- Prikaz log

10.1.1. Glazbeni instrumenti (osnovna frekvencija i frekvencija viših harmonika)

PRIBOR: glazbeni synthesizer, mikrofon, osobno računalo s instaliranim softverom (Visual Analyzer) kao osciloskopom

TEORIJSKA PODLOGA: Zvuk se sredstvom širi u obliku zvanih valova. To su longitudinalni valovi u kojima širenjem titra gustoća zraka u sredstvu. Kao izvor zvuka se uzima neko tijelo koje titra, kao npr. membrana zvuka, uz koju nastaje usko područje stisnutog zraka kada se membrana giba prema van, a u slučaju kada se giba prema unutra, uz nju se povećava slobodan prostor za molekule zraka pa se zapravo gustoća zraka na trenutak smanji. Tim titranjem membrane nastaju izmjeni na području smanjene i povećane gustoće zraka, te se to titranje rasprostire zrakom u obliku longitudinalnih valova.



Slika 33: Širenje zvuka (longitudinalni val). [48]

Valnu duljinu vala možemo odrediti kao razmak između vrhova dvaju susjednih bregova, označava se slovom λ a vrijednost se iskazuje u metrima.

Udaljenost između dva vrha vala naziva se periodom T .

Amplituda predstavlja maksimalan otklon (elongacija) od srednje vrijednosti veličine kojom se opisuje val ili titranje.

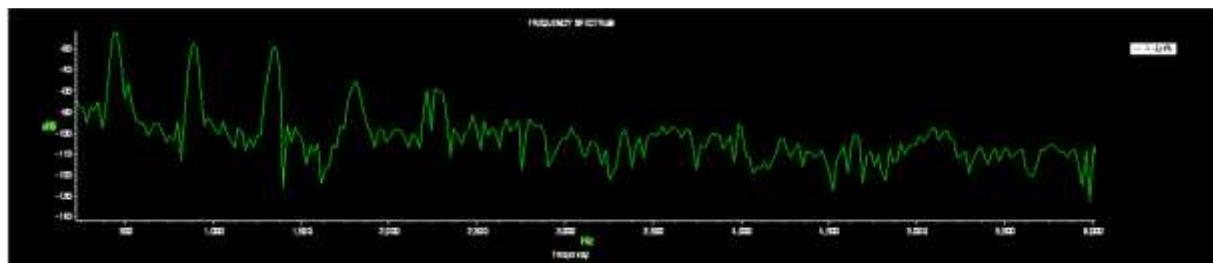
Frekvencija ili učestalost se definira kao broj titraja u sekundi; iskazuje se u mjerljivom jedinicama hertz (Hz). Frekvencije zvuka nih valova u rasponu od oko 16 Hz do 20 kHz u ljudskom uchu stvaraju osjet zvuka. Zvuk frekvencije manje od 16 Hz se naziva infravuk, a veći od 20 kHz ultravuk, dok se zvuk frekvencije iznad 10^{10} naziva hiperzvuk.

Što se tiče glazbenih tonova, oni se mogu razlikovati visinom, koja je određena frekvencijom zvuka nih valova, te takođe i bojom. Ton jednake frekvencije mogu stvoriti razna glazbala, no tonovi koje proizvode su različiti po obliku pripadnog zvuka nog vala. Svaki neharmonički val frekvencije f može se prikazati kao rezultat interferencije harmoničkih valova čiji su frekvencije $f, 2f, 3f, 4f, \dots$ koji imaju određene amplitude. Takav prikaz valova pomognut superpozicije harmoničkih valova zove se Fourierov razvoj. Kaže se da je f osnovna frekvencija, a frekvencije $2f, 3f, 4f, \dots$ su viši harmonici. [3]

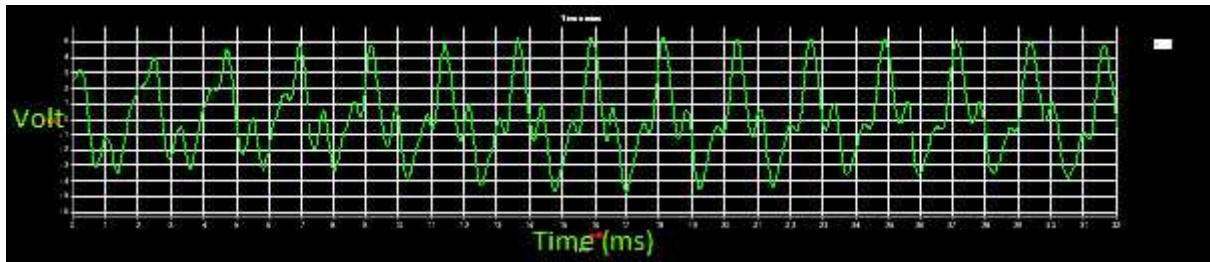
OPIS POKUSA: Na glazbenom sintesajzeru redom za tri različita instrumenta odsviramo notu A, poznate frekvencije 440 Hz. Promatramo izgled zvuka nog vala na osciloskopu, te primjećujemo kako je za svaki instrument različito. Visual Analyzerom vršimo spektralnu analizu, i na temelju dobivenih rezultata donosimo zaključak. Za svaki instrument mjereno ponavljamo tri do pet puta.

REZULTATI MJERENJA:

Glasovir



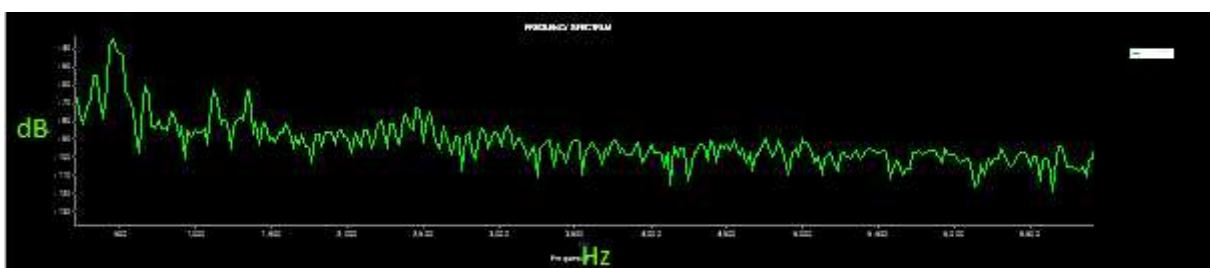
Slika 34: Spektar A note odsvirane na glasoviru.



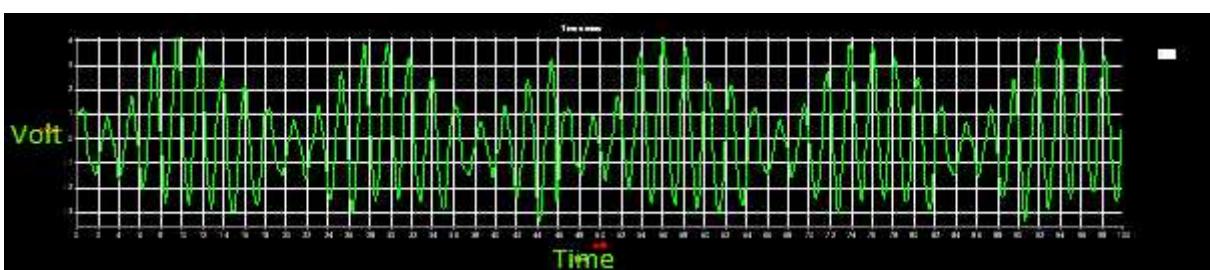
Slika 35: Valni oblik u harmonicima glasovira.

- Izmjerena prosjećna osnovna frekvencija (3 mjerena): 425, 53 Hz, odnosno $(425,53 \pm 3,8 \text{ Hz})_3$.
- Mjerenja ukazuju na to da se formira pravilan stojni val osnovne frekvencije 440 Hz, te viši harmonici te frekvencije. Amplituda opada strmo od osnovnog tona i opada prema višim harmonicima. Odstupanje dobivenih vrijednosti od poznate vrijednosti je 3,3%.

Gitara (električna)



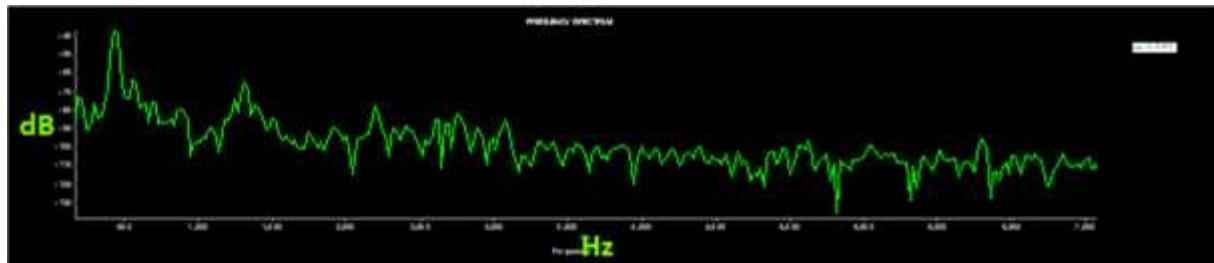
Slika 36: Spektar A note odsvirane na gitari.



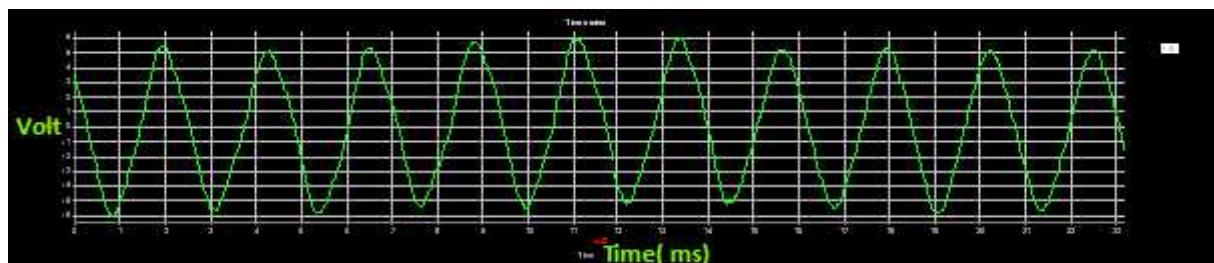
Slika 37: Valni oblik u harmonicima gitare.

- Izmjerena prosjećna osnovna frekvencija (3 mjerena): 449,14 Hz, odnosno $(449,14 \pm 6,02 \text{ Hz})_3$
- Harmonici nisu pravilno raspoređeni, amplituda opada strmo od osnovnog tona prema višim harmonicima
- Prosjećno odstupanje dobivenih vrijednosti od poznate vrijednosti iznosi 2%

Glazbeno zvono



Slika 38: Spektar A note glazbenog zvona



Slika 39: Valni oblik glazbenog zvona

- Izmjerena prosječna osnovna frekvencija (3 mjerenja): 438,29 Hz, odnosno $(438,29 \pm 3,7 \text{ Hz})_3$
- Pokazuje se val osnovne frekvencije s pripadajućim višim harmonicima, gdje imamo pad amplitude prema istima
- Prosječno odstupanje dobivenih vrijednosti od poznate vrijednosti iznosi 0,4%

ZAKLJUČAK: Iz gore priloženih slika je vidljiva razlika između valnih oblika glasovira, glazbenog zvona i gitare. Na osnovu tih razlika se dobiva dojam o različitim bojama zvuka, tj. različitim glazbenim instrumentima. Utvrđena je istinitost valne teorije zvuka te pokazana funkcionalnost sustava. Na temelju dobivenih podataka možemo vršiti daljnju analizu zvukova i njihovih karakteristika. Osim akustičkih, primjenom programa Visual Analyzer, učenici mogu steći i vizualni dojam o zvuku i kombinacijom njih lakše usvajati trajne spoznaje o prirodi zvuka.

10.1.2. Zvučni udari

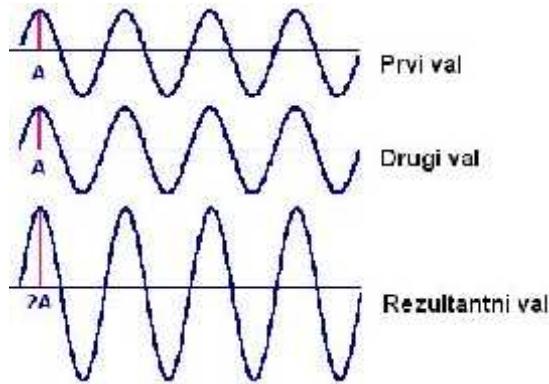
PRIBOR: Glazbene viljuške poznate frekvencije (440 Hz) (2 komada), bati, ravnalo s instaliranim Visual Analyzer-om, mikrofon, uteg ili uzak komadi gumene cijevi



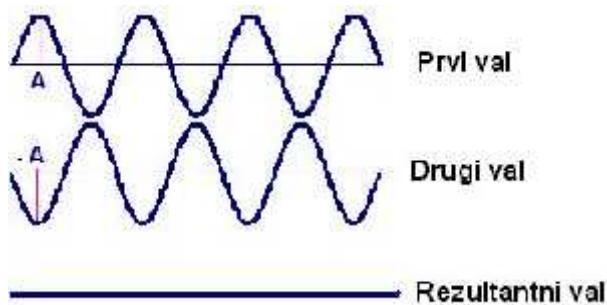
Slika 40: Pribor potreban za izvo enje pokusa.

TEORIJSKA PODLOGA: Interferencija valova je pojava superpozicije (zbrajanja, slaganja) valova koji se susretnu u jednoj to ki prostora. Ona može biti konstruktivna ili destruktivna. Interferencija je konstruktivna ako u trenutku potpunog preklapanja valova novonastali val ima dvostruko ve u amplitudu od svakog pojedina nog vala. Interferencija je destruktivna ako se u trenutku potpunog preklapanja suprotni valovi potpuno poništavaju, odnosno ukupni val je jednak ništici.

Glazbena vilica slabo prenosi svoje titranje na zrak, no u slu aju rezonancije, npr. sa stolom, prenošenje je mnogo ja e. Zbog toga se glazbena viljuška stavlja na rezonantnu kutiju kojoj je duljina jednaka $\frac{1}{4}$ valne duljine osnovnog tona. Kutija ima upravo toliku duljinu da zrak zatvoren u njoj ima vlastitu frekvenciju titranja jednaku frekvenciji glazbene viljuške, te zato rezonantno preuzima energiju od zatitrane viljuške i time se znatno pove ava glasno a zvuka. U sprezi s kutijom, glazbena viljuška maksimalno prenosi energiju titranja na zrak u kutiji pri emu na otvorenom kraju nastaje trbuh longitudinalnih valova i titraji se nesmetano šire kroz zrak. Poja anje tona kutijom mora zadovoljavati zakon o uvanja energije. Iako je snaga titranja ve a, energija ostaje ista.



Slika 41: Konstruktivna interferencija. [49]



Slika 42: Destruktivna interferencija. [49]

Udari nastaju interferencijom valova različitih frekvencija, a frekvencija udara je u estalost maksimalne amplitude (pozitivne i negativne). Za jednakе amplitude sinusnih valova, vrijediti će:

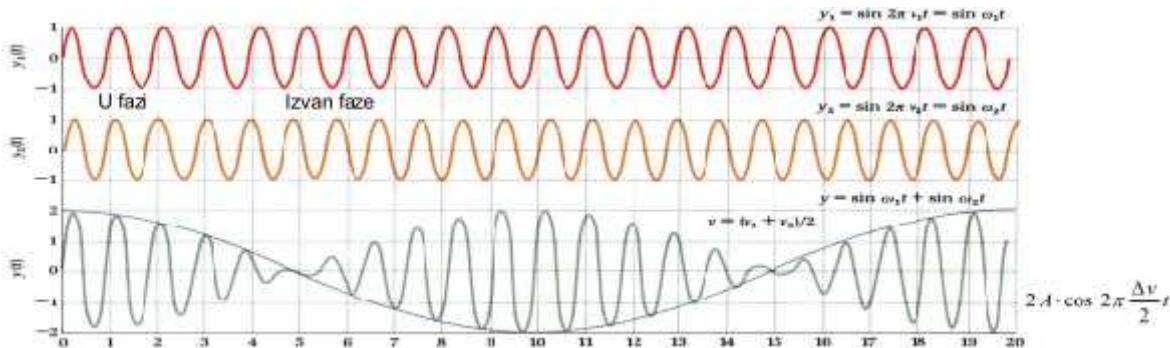
$$A \cos(2\pi f_1 t) + A \cos(2\pi f_2 t) = 2A \cos\left(2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} t\right) \cos\left(2\pi \frac{f_1 + f_2}{2} t\right) \quad (1.35)$$

Iraz (1.35) predstavlja fenomen udara s frekvencijom jednakom razlici frekvencija dva vala, odnosno frekvencija udara je dana kao:

$$f_u = |f_1 - f_2| \quad (1.36)$$

Ako su po etne frekvencije blizu jedna drugoj, prvi lan kosinusa frekvencije $\frac{f_1 - f_2}{2}$ opisuje periodi ku varijaciju amplitude titranja (anvelopu) drugog lana kosinusa u izrazu (1.35), i ja je frekvencija $\frac{f_1 + f_2}{2}$, odnosno prosječna vrijednost dviju frekvencija. Kako ljudsko uho nije osjetljivo na fazu, samo na amplitude ili intenzitet zvuka, moguće je uti samo absolutne vrijednosti envelope. Frekvencija envelope ima dvostruku frekvenciju kosinus, odnosno frekvencija udara je dana izrazom (1.36). U fizici se izraz $\cos(2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} t)$ tumači na način da

kada je jednak jedan, dva vala su u fazi i interferiraju konstruktivno. A kada je izraz jednak nuli, valovi nisu u fazi i interferiraju destruktivno.

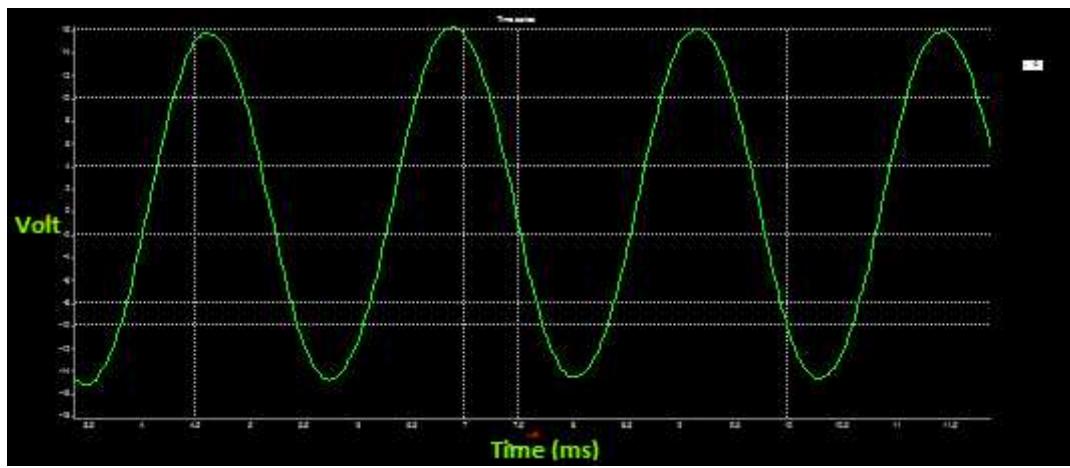


Slika 43: Zvu ni udari. [50]

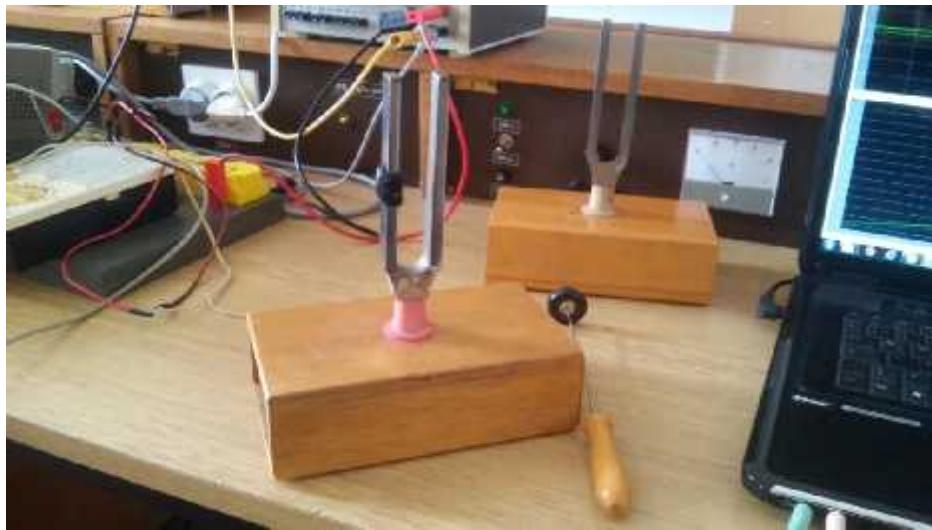
OPIS POKUSA: Za pokus koristimo dvije glazbene viljuške jednakih frekvencija, u vrš ene na rezonatorima. Viljuške postavimo na neku me usobnu odre enu udaljenost, te na jednu od vilica postavimo ili uteg ili komadi gumene cijevi kako bismo joj promijenili frekvenciju. Udarimo li bati em obje glazbene viljuške i pažljivo osluškujemo zvuk, ut emo zvu ne udare. Istovremeno programom Visual Analyzer promatramo valni oblik i frekvenciju udara. Demonstrirat u jedan zvu ni udar.

REZULTATI MJERENJA:

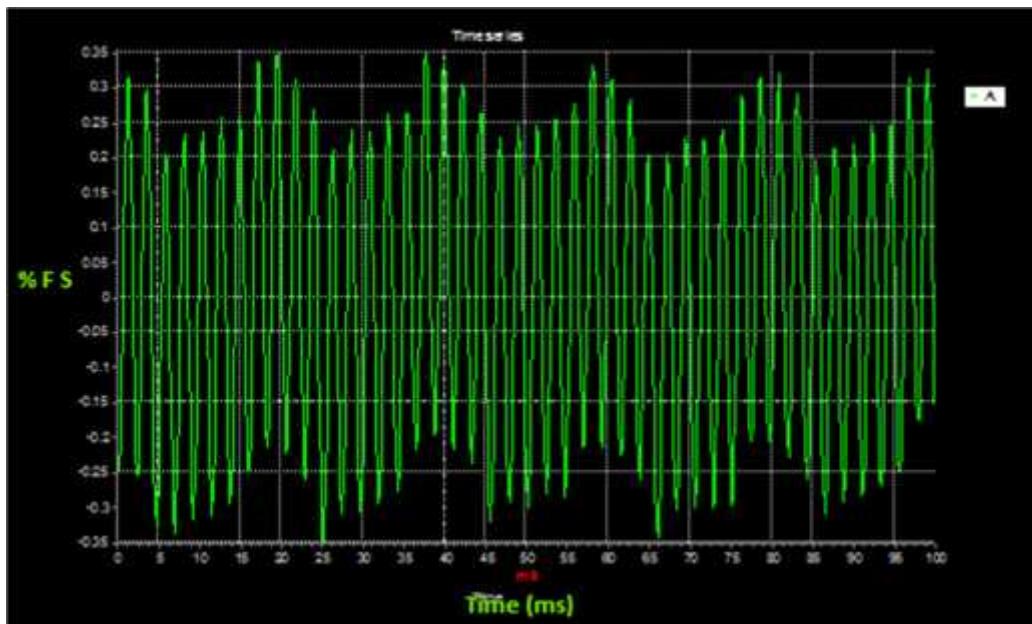
Titranje glazbene viljuške:



Slika 44: Frekvencija glazbene viljuške. $f_U = 438 H$



Slika 45: Središnji položaj gumene cijevi na glazbenoj vilici.



Slika 46: Valni oblik zvu nih udara u središnjem položaju. $f_1 = 385 \text{ Hz}$, $f_2 = 440 \text{ Hz}$

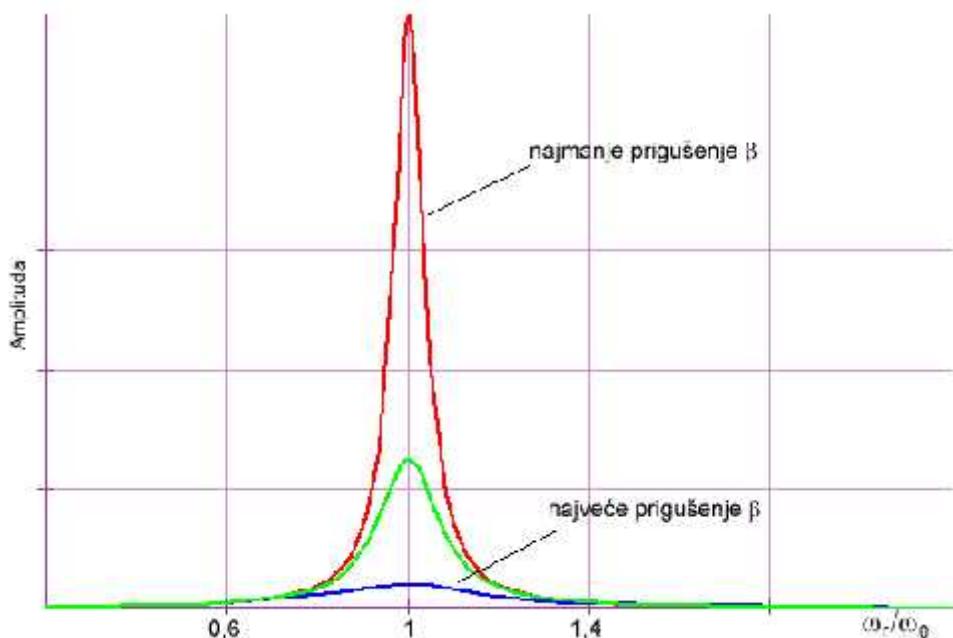
ZAKLJUČAK: Nakon što smo izveli pokus, analiziramo dobivene rezultate. Frekvencija superpozicije $(f_1 + f_2)/2$ iznosi 412,5 Hz, a frekvencija udara $(|f_1 - f_2|)$ 55 Hz. Išitavaju i s grafa period titranja (za $n = 10$) dobivamo 20,5 ms, te ra unaju i frekvenciju iz tog perioda, dobivamo vrijednost od 48 Hz. Neslaganje između vrijednosti koje smo dobili za frekvenciju udara se javlja radi ljudske greške; mogućnost pogreške je $\pm 1\text{m}$. Frekvencija zvuka nog udara nam ovisi o položaju gumene cijevi na glazbenoj vilici. Gumena cijev na glazbenoj vilici mijenja osnovnu frekvenciju titranja na na in da svojom masom i položajem utječe na duljinu zvuknih valova a samim time i na njihovu frekvenciju.

10.1.3. Akustična rezonancija

PRIBOR: dvije glazbene vilice jednakih frekvencija (440 Hz), glazbena vilica frekvencije 512 Hz, bati , mikrofon, ra unalo s instaliranim Visual Analyzer-om

TEORIJSKA PODLOGA: Akustični rezonantni sustavi su tvorevine unutar kojih titra zvuk. To titranje se može pojaviti u dva oblika. Prvi oblik se pojavljuje npr. u zvučniku bas-refleksnoj kutiji gdje masa zraka u otvoru bas-refleksa stupa u rezonanciju s elastičnom nošom u zraku zatvorenog u samoj zvučniku kutiji. Drugi oblik takvog titranja javlja se u obliku stojnog vala stupca zraka zatvorenog u duguljast prostor s otvorom na vrhu i osnova je konstrukcije brojnih glazbenih instrumenata.

Kada na oscilator djeluje neka vanjska sila koja ima vlastitu frekvenciju, nazivamo ju vanjska prisila, oscilator će izvoditi prisilno titranje. Prisilna frekvencija je ona frekvencija koju ima vanjska prisila, a f_0 je frekvencija koju oscilator ima bez vanjske prisile i naziva se svojstvena frekvencija. Amplituda prisilnog titranja će tada ovisiti o odnosu tih dviju frekvencija na ω/ω_0 da što je prisilna frekvencija f bliža svojstvenoj frekvenciji f_0 , to će biti u inkovitiji prijenos energije od vanjske prisile na oscilator, odnosno toliko je veća amplituda prisilnog titranja. Pojava se naziva rezonancija, a svojstvena frekvencija rezonantna frekvencija. Jakost rezonancije ovisi o prigušenju: ako je prigušenje veće, rezonancija je slabija.

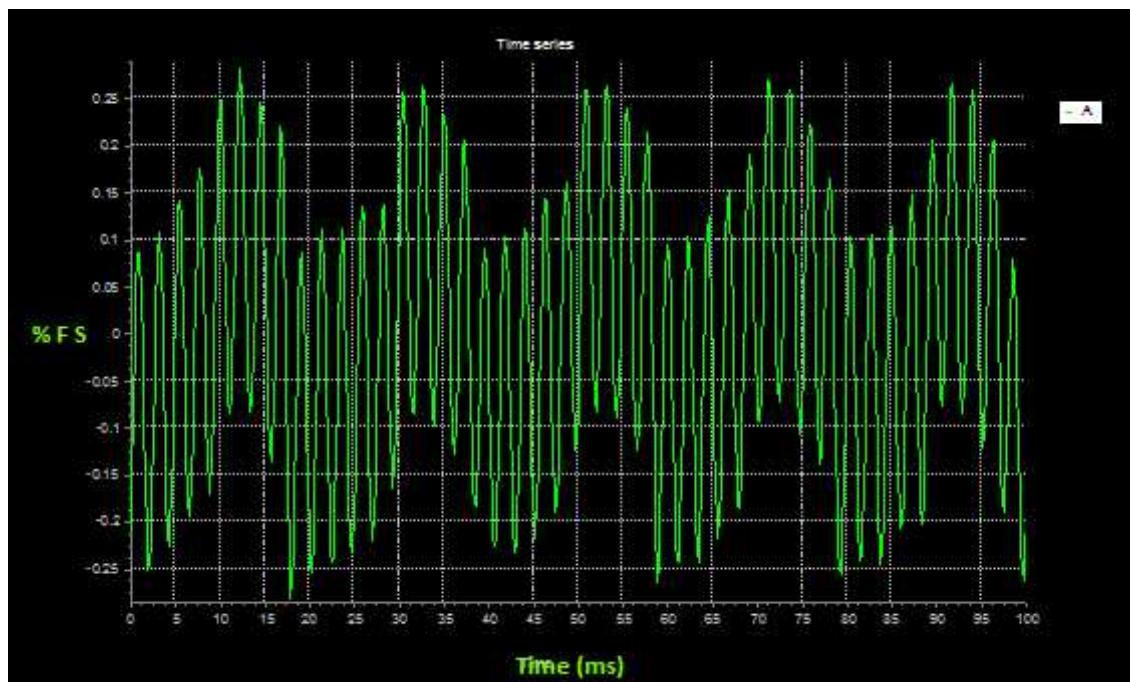


Slika 47: Amplituda prisilnog titranja. [51]

OPIS POKUSA: Dvije glazbene viljuške postavimo jednu blizu druge, na neku odreenu udaljenost. Bati em udarimo prvu viljušku, a druga viljuška će se takoće oglasiti zvunim titrajima. Kako bismo pobunu enu viljušku bolje učili, prvu moramo na vrijeme prigušiti. Mikrofon postavimo u akustičnu kutiju, koja služi za pojam anje zvuka, i snimamo zvuk. Isti postupak ponovimo s jednom glazbenom viljuškom od 440 Hz i jednom od 512 Hz. Analiziramo dobivene rezultate.

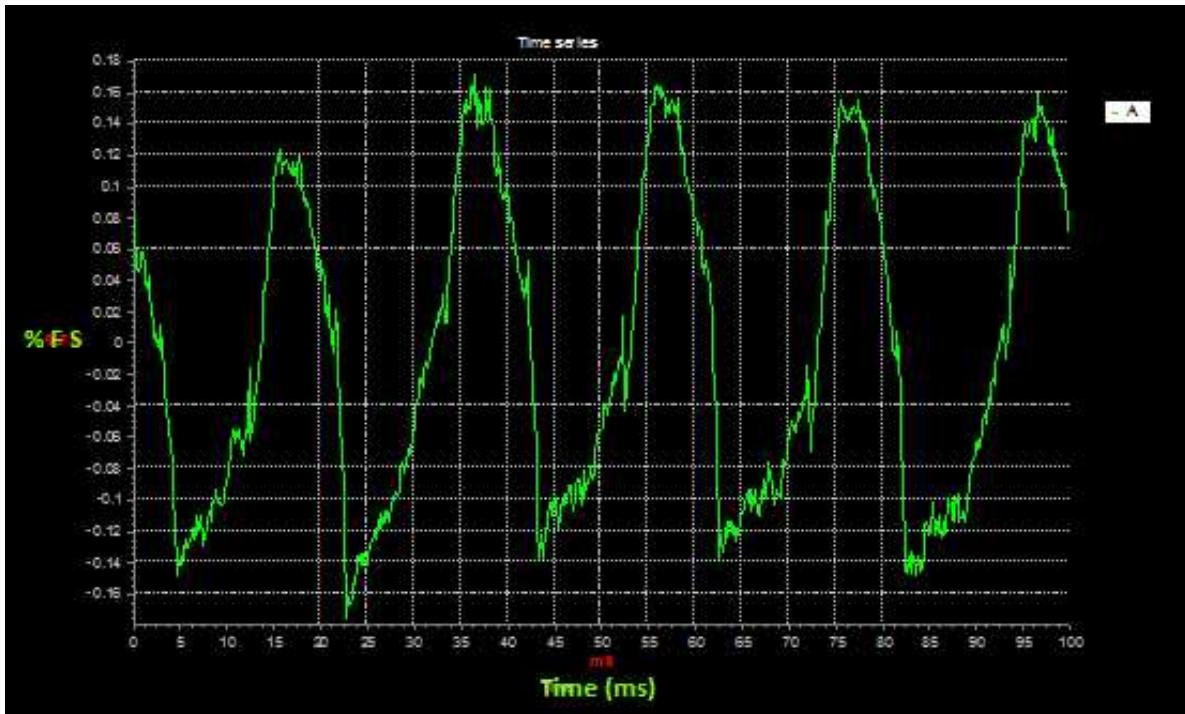
REZULTATI MJERENJA:

Dvije glazbene viljuške od 440Hz



Slika 48: Frekvencija titranja pobune ene glazbene viljuške.

Glazbena viljuška od 440 Hz i glazbena viljuška od 512 Hz



Slika 49: Frekvencija titranja pobune glazbene viljuške.

ZAKLJUČAK: Promatranjem dobivenih rezultata, a i računajući frekvencije, možemo zaključiti kako u prvom slučaju imamo akustičnu rezonanciju, dok u drugom nije došlo do pojave rezonancije. Do pojave rezonancije dolazi samo onda kada dva titrajna sustava imaju istu ili sličnu frekvenciju. Ukoliko nemamo glazbenu viljušku druge frekvencije, na viljušku iste frekvencije možemo staviti uteg ili plastelin, i time joj promijeniti frekvenciju.

10.1.4. Dopplerov efekt

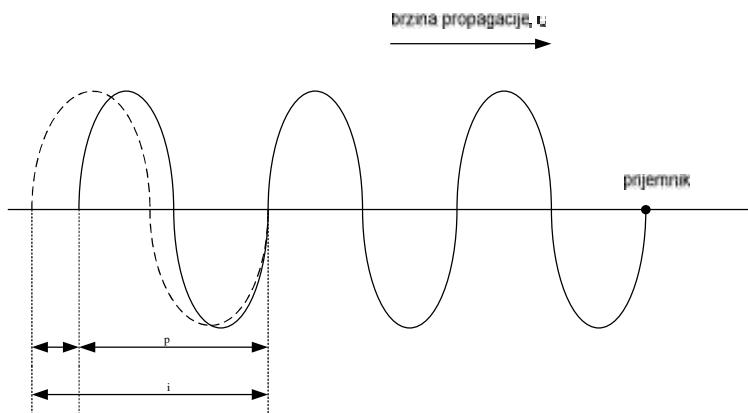
PRIBOR: izvor zvuka, mikrofon, radiovalna instalacija s Visual Analyzer-om

TEORIJSKA PODLOGA: Promjena frekvencije zvuka koja nastaje zbog gibanja izvora zvuka u odnosu prema slušatelju zove se Dopplerov efekt. [3]

Kod Dopplerovog efekta možemo promatrati tri situacije.

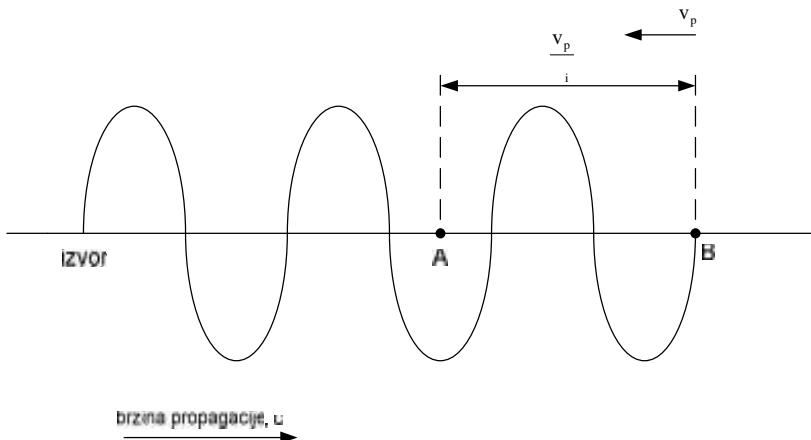
1. Izvor zvuka miruje ($v_i = 0$) i slušatelj miruje ($v_s = 0$). Tada je frekvencija koju uđe slušatelj biti jednaka frekvenciji koju emitira izvor. $f_s = f_i$
2. Izvor zvuka se giba brzinom v_i prema mirnom slušatelju ili od njega.
 - a) Izvor zvuka se približava slušatelju

- Kada se izvor zvuka giba prema slušatelju brzinom v_i , u jednoj sekundi dođe slušatelju do i više valnih fronti nego kada izvor miruje, jer u tom slučaju dolazi do smanjenja valne duljine, te će slušatelj uti višu frekvenciju nego kada izvor zvuka miruje
- $f_s = f_l \frac{v}{v - v_i}$



Slika 50: Prikaz Dopplerovog efekta kada se izvor zvuka giba prema slušatelju. [52]

- Izvor zvuka se udaljava od slušatelja
 - Kada se izvor zvuka udaljava od slušatelja brzinom v_i , u jednoj sekundi dođe slušatelju stiže manje valnih fronti nego kada izvor zvuka miruje, jer je valna duljina veća, te će slušatelj uti nižu frekvenciju
 - $f_s = f_l \frac{v}{v + v_i}$
- Slušatelj se giba brzinom v_s od izvora zvuka ili prema njemu
 - Slušatelj se približava izvoru
 - Kada se slušatelj približava izvoru zvuka, do njega dolazi više valova u sekundi, te će uti zvuk višu frekvenciju nego što je emitira izvor
 - $f_s = f_l \frac{v + v_s}{v}$

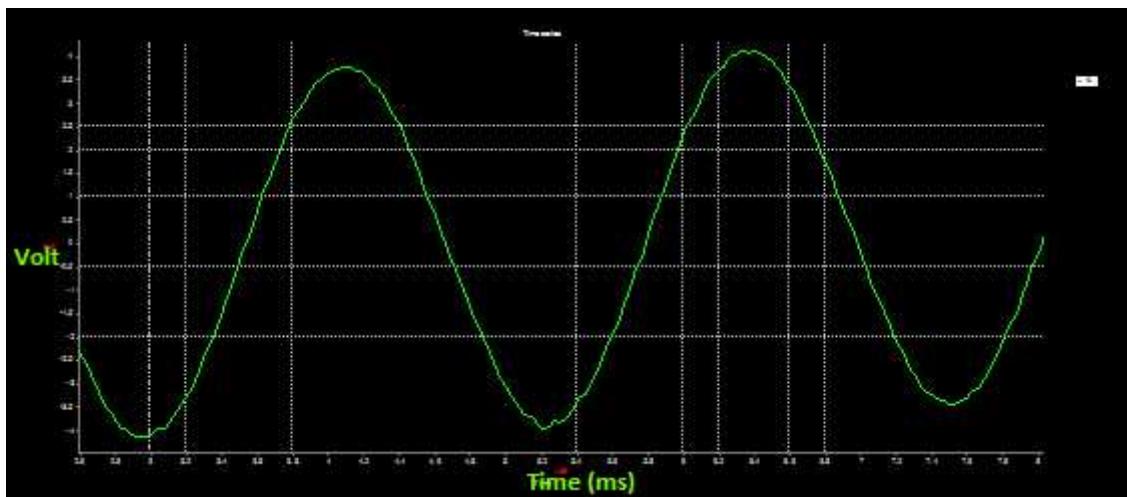


Slika 51: Prikaz Dopplerovog efekta kada se slušatelj giba u odnosu na izvor zvuka. [52]

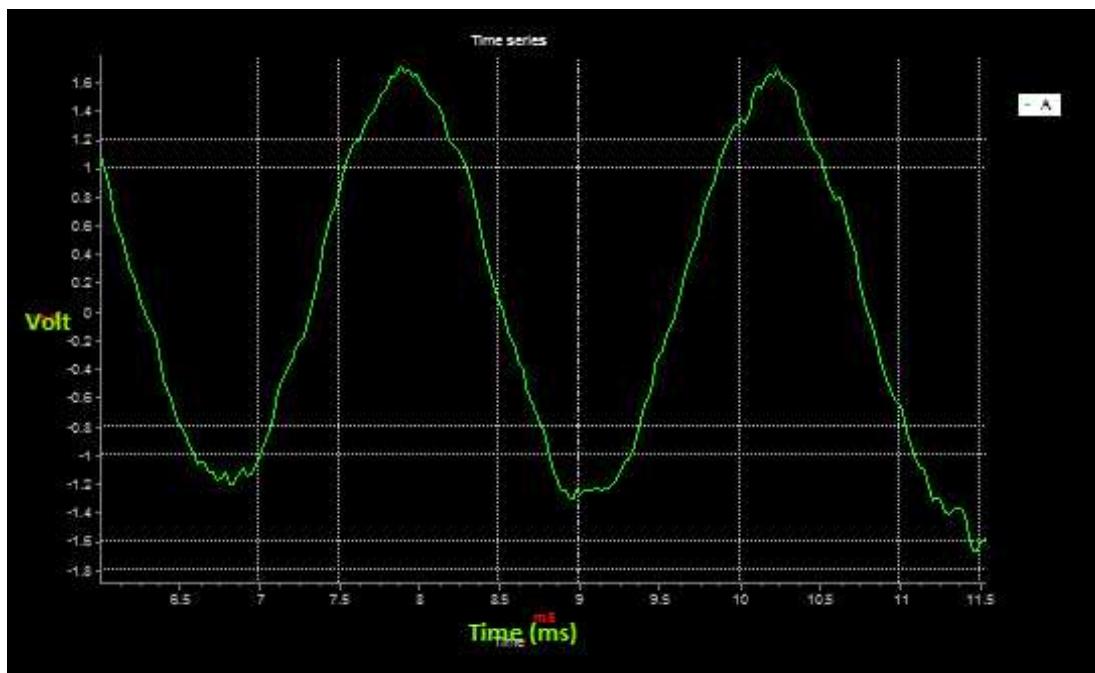
- b) Slušatelj se udaljava od izvora zvuka
- Kada se slušatelj udaljava od izvora zvuka, do njega u sekundi stiže manje valova te zbog toga uje zvuk niže frekvencije
- $f_s = f_t \frac{v - v_s}{v}$

Ukoliko imamo situaciju kada se gibaju i izvor zvuka i slušatelj, frekvencija koju e slušatelj uti e biti dana izrazom: $f_s = f_t \frac{v \pm v_s}{v}$. U izrazu gornji predznaci vrijede u slu aju približavanja, a donji predznaci u slu aju udaljavanja. Formula se naziva Dopplerova formula.

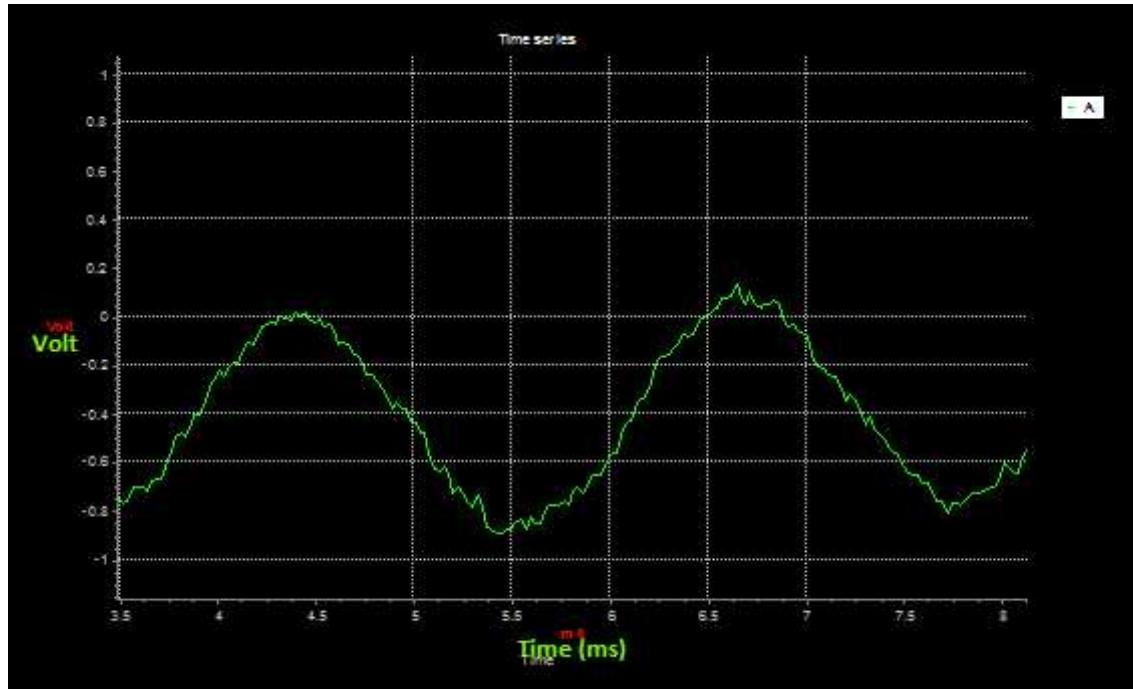
REZULTATI MJERENJA:



Slika 52: Izvor zvuka i slušatelj miruju. $f = f_0 = 442,48 \text{ H}$



Slika 53: Udaljavanje izvora zvuka od slušatelja. $f' = 433,09 \text{ Hz}$



Slika 54: Približavanje izvora zvuka slušatelju. $f'' = 448,23 \text{ Hz}$

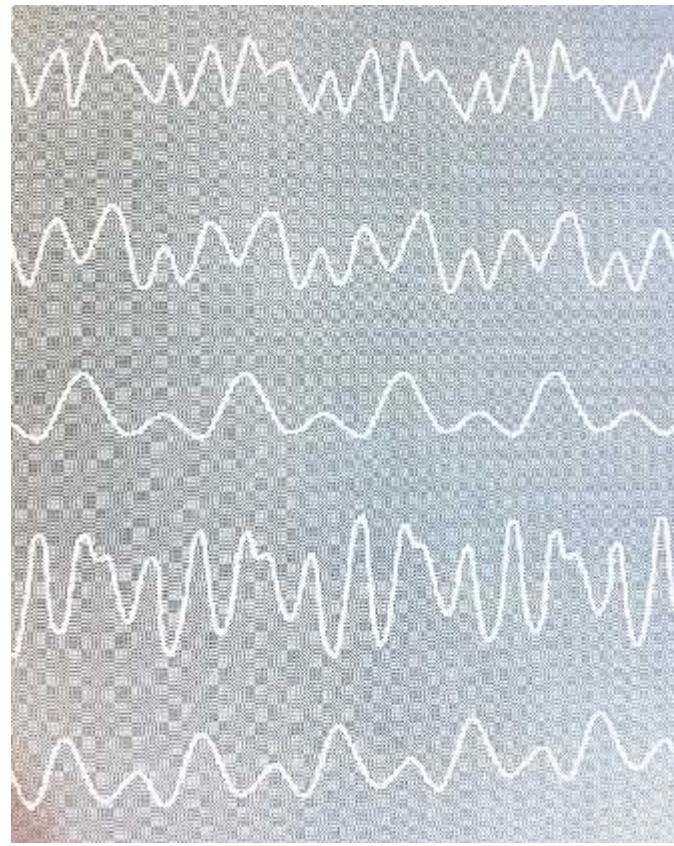
ZAKLJUČAK: Analizom dobivenih valnih oblika možemo izračunati frekvencije za sva tri slušatela, pa tako za slušaj mirovanja izvora zvuka i slušatelja dobiti za vrijednost

frekvencije 442,48 Hz (korišten izvor frekvencije 440 Hz), za sluaj kada se izvor zvuka približava slušatelju, dobivena vrijednost iznosi 448,23 Hz, te u posljednjem sluaju, kada se izvor zvuka udaljava od slušatelja frekvencija iznosi 433,09 Hz. Razlike u frekvencijama bile veće da su bili idealniji uvjeti za izvoenje vježbe, te da su udaljenosti prilikom približavanja i udaljavanja bile veće. U ovoj vježbi, udaljenost izvora i slušatelja je iznosila oko 90 cm. Kako program automatski snima valni oblik tijekom jedne sekunde, nije moguće prikazati zgušnjavanje odnosno razrjeenje valnih fronti, no ipak se izoitanja frekvencija može ste i dojam, i potvrditi Dopplerov efekt.

10.1.5. Ljudski glas kao instrument

PRIBOR: mikrofon, računalo s instaliranim Visual Analyzer-om

TEORIJSKA PODLOGA: Kao što je poznato, ljudski glas nastaje u grlu, gdje glasnice uzrokuju titranje zraka. Glasnice se sastoje od dvaju nabora između kojih prolazi zrak. Na tim naborima su napete tisuće elastičnih poprenih vlakana. Kada se nabori stisnu, napeta vlakna titraju pri prolasku zraka na način koji možemo usporediti s titranjem žice jer frekvencija približno ovisi o duljini i napetosti vlakna. Mijenjanjem napetosti glasnica se mijenja i frekvencija i udio viših harmonika. Na slici 55 je prikazan valni oblik svih samoglasnika.

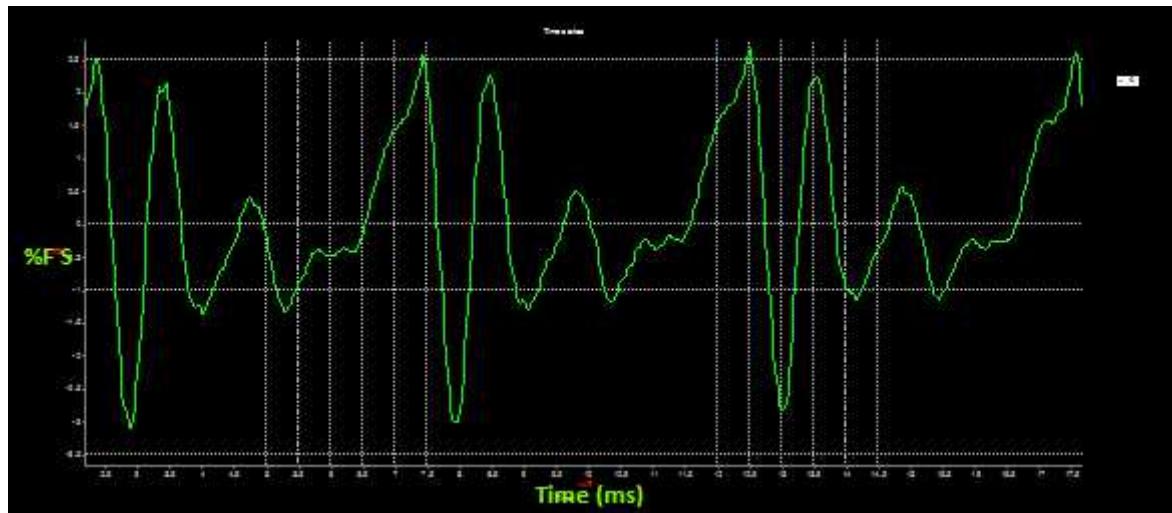


Slika 55: Valni oblik samoglasnika „A“, „E“, „I“, „O“, „U“. [55]

OPIS POKUSA: Jednakom ja inom glasa izgovaramo npr. samoglasnike, snimamo valne oblike istih, te ih kasnije analiziramo.

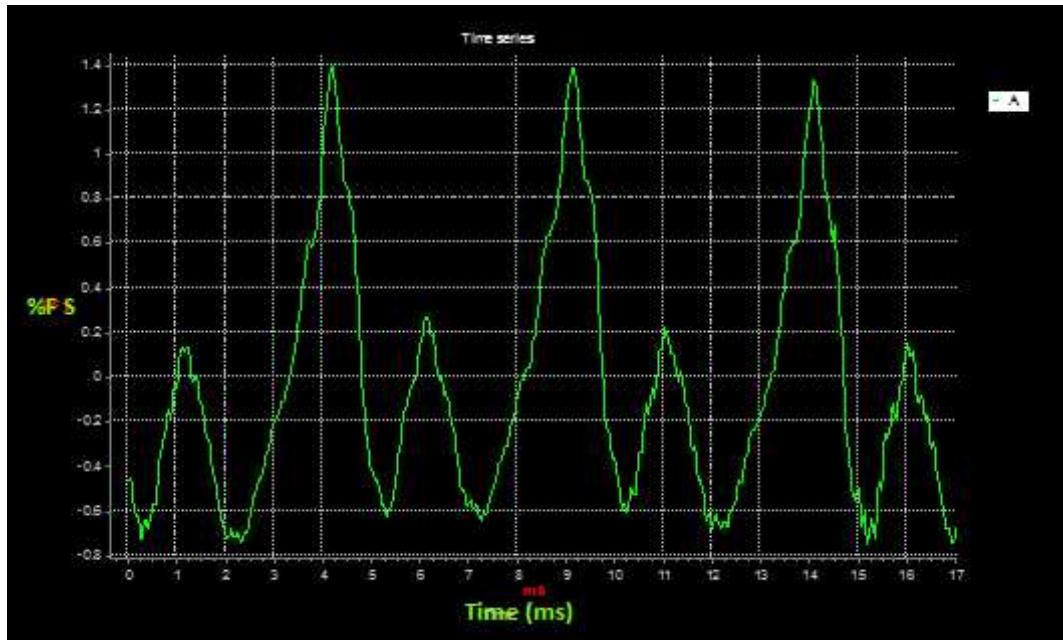
REZULTATI MJERENJA:

Samoglasnik „A“:



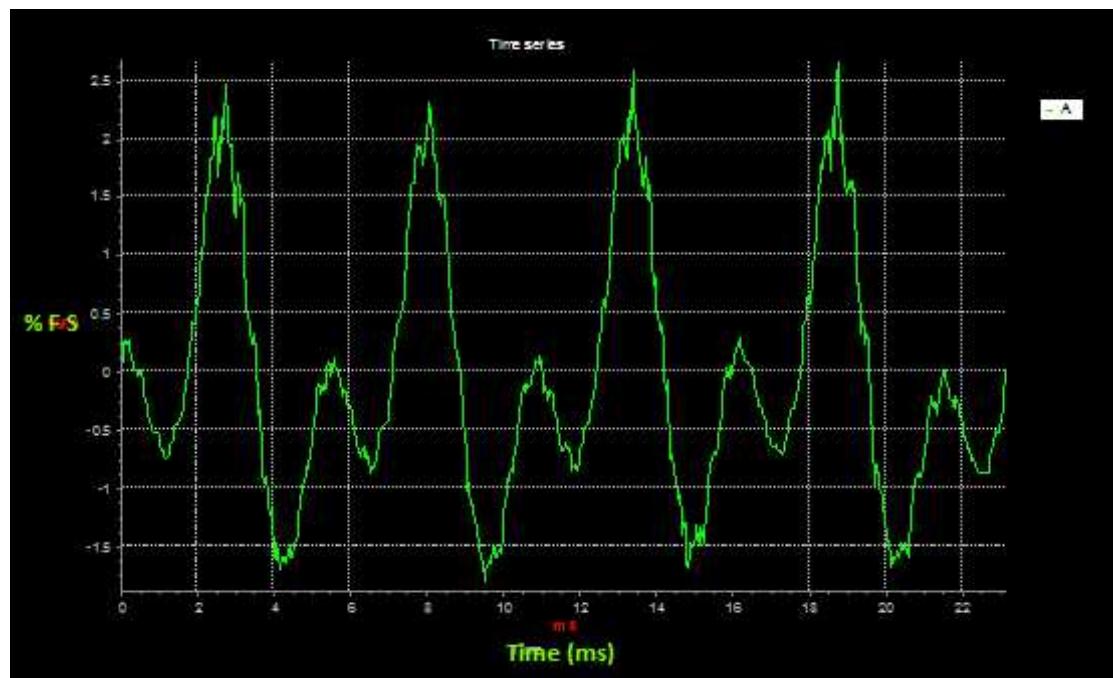
Slika 56: Valni oblik samoglasnika „A“.

Samoglasnik „E“:



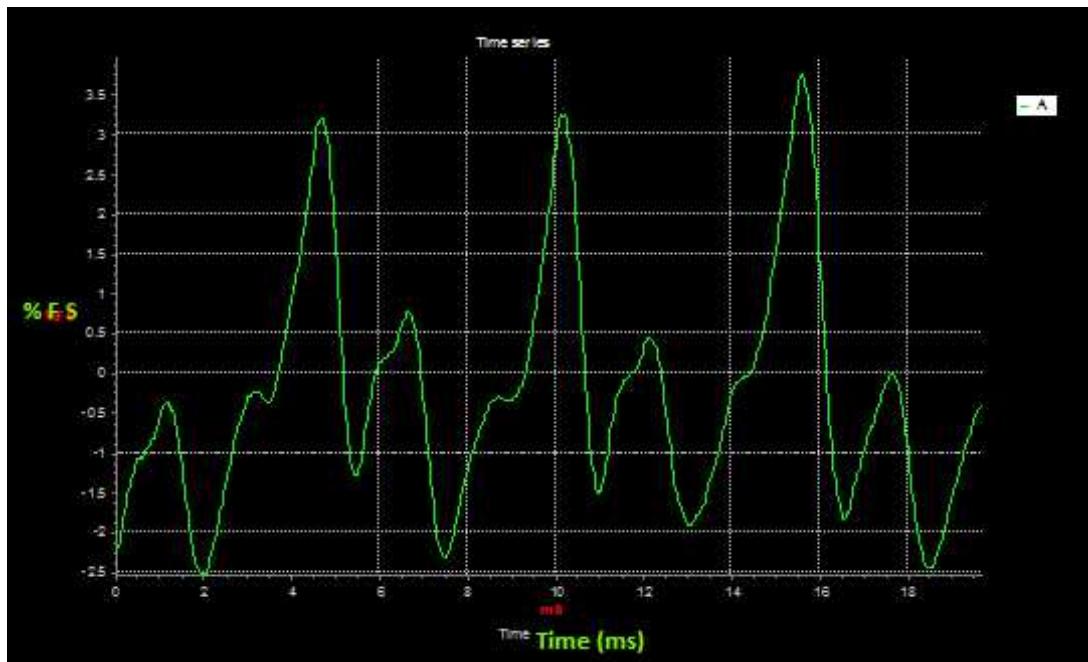
Slika 57: Valni oblik samoglasnika „E“.

Samoglasnik „I“:



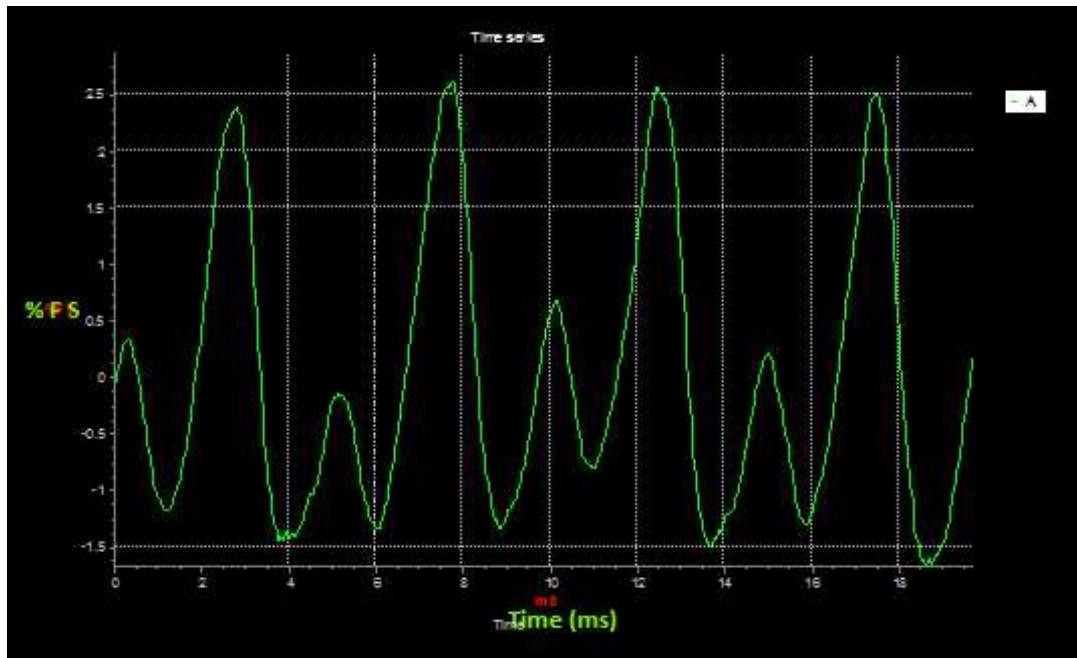
Slika 58: Valni oblik samoglasnika „I“.

Samoglasnik „O“:



Slika 59: Valni oblik samoglasnika „O“.

Samoglasnik „U“:



Slika 60: Valni oblik samoglasnika „U“.

ZAKLJU AK: Analizom dobivenih valnih oblika za sve samoglasnike, izra unali smo frekvenciju koja odgovara pojedinom samoglasniku. Tako samoglasniku *a* odgovara frekvencija od 196,08, samoglasniku *e* 208,33 Hz, samoglasniku *i* 192,31 Hz, samoglasniku *o*

181,82 Hz, te samoglasniku u 212,77 Hz. Ove frekvencije ovise o napetosti glasnica i mogu se mijenjati. No ono što se ne mijenja je oblik vala koji je karakterističan za svaki pojedini samoglasnik. Ovime smo pokazali kako bez obzira što svi izgovoreni samoglasnici dolaze od iste osobe, svaki samoglasnik ima svoj karakteristični valni oblik. Različiti valni oblici se javljaju zbog različitog oblika usne šupljine (rezonantne kutije) pri izgovaranju različitih samoglasnika. Oblik usne šupljine (rezonantne kutije) utječe na to koji viši harmonici će biti pobuđeni te kakav će biti oblik vala, a time i boja glasa.

10.2. Vježbe

U sljedećem dijelu je navedeno nekoliko pokusa koji se mogu upotrijebiti za demonstracije različitih pojava iz područja fizike, ali i iz svakodnevnog života.

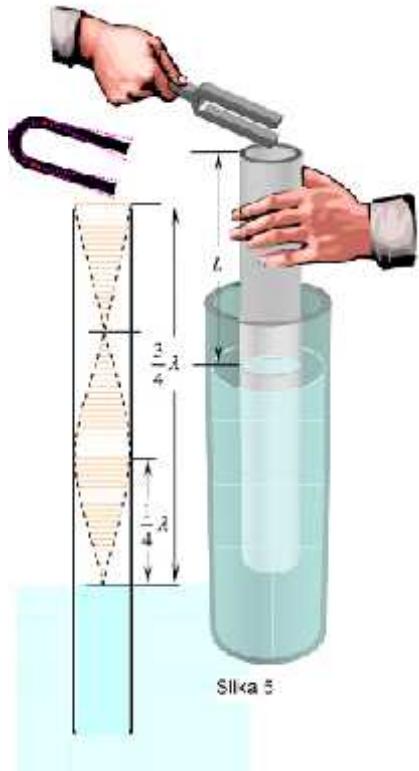
10.2.1. Određivanje frekvencije glazbene viljuške

PRIBOR: batić, glazbena viljuška, staklena cijev, posuda s vodom, mikrofon, računalo s instaliranim Visual Analyzer-om

OPIS POKUSA: Glazbenu viljušku udarimo batim da zatitra i stavimo ju iznad staklene cijevi uronjene u posudu s vodom. Dijemo i spuštamo staklenu cijev, i time mijenjamo razinu vode u cijevi, odnosno povećavamo ili smanjujemo visinu stupca zraka u dijelu cijevi iznad vode. Kod određene duljine stupca zraka u cijevi se čuje glasniji ton, i taj ton snimimo program. Pomičemo cijev gore dolje i snimamo valni oblik svih tonova kod kojih ujemo da su glasniji. Koliko će biti takvih tonova, ovisi o duljini staklene cijevi. Ukoliko nam je poznata teorija frekvencija glazbene viljuške, ovim pokusom možemo odrediti i brzinu zvuka, prema izrazu: $v = \lambda \cdot f = 4L \cdot f$; uz dani izraz: $L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4}$ gdje L je teoretski odgovara točno četvrtina valne duljine i to za cijev beskonačno malog promjera.

Na 0 °C brzina zvuka iznosi oko 331,6 m/s, te se na drugim temperaturama ona izračuna

$$\text{prema relaciji: } v_t = v_0 \cdot \sqrt{1 + \frac{t[^\circ\text{C}]}{273,1}}$$



Slika 61: Određivanje frekvencije glazbene viljuške. [50]

10.2.2. Određivanje frekvencije gradske mreže i oblik signala

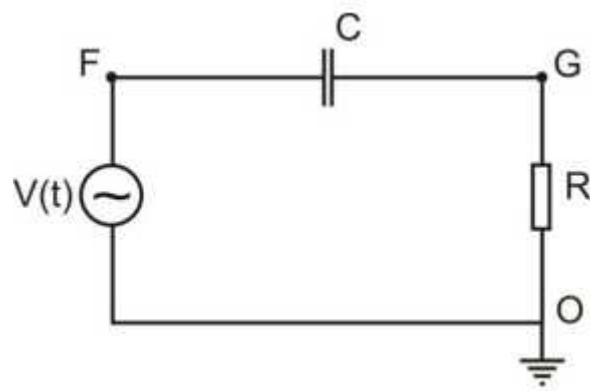
PRIBOR: radio unalo s instaliranim Visual Analyzer-om, spojni vodovi, transformator 220V/2V, generator sinusnih titraja

OPIS POKUSA: Na osciloskopu prvo napravimo kalibraciju, kako bismo mogli mjeriti vremenske intervale. Osim vremenskih intervala, promatratemo i mjeriti frekvenciju napona gradske mreže sniženog preko transformatora na 2V. Imaće, kod programa Visual Analyzer se ne preporuči korištenje većeg napona, kako ne bi došlo do oštete enja samog radio unala. Granica je postavljena na oko 2V. Vertikalno pojačanje namjestimo tako da nam je ulazni signal dobro vidljiv, odredimo frekvenciju gradske mreže iz slike izmjeni noga napona iste koju smo dobili na ekranu, te tako ćemo moći odrediti frekvenciju nekog sinusnog vala iz generatora signala i provjeriti dobivenu vrijednost s vrijednošću na skali generatora.

10.2.3. Osciloskop i RC krug

PRIBOR: izvor izmjeni nog napona, otpornik, kondenzator, ra unalo s instaliranim Visual Analyzero-om, spojni vodovi

OPIS POSTUPKA: Sastavimo RC sklop u krugu s izmjeni nom strujom. Pazimo da nam napon ne prelazi 2V, kako ne bi došlo do ošte enja ra unala. Promatramo napon izvora i napon na krajevima otpornika. Osciloskopom mjerimo period, amplitude napona te njihov fazni pomak. Pogledamo XY prikaz signala. Kao shemu, u nedostatku bolje, možemo se poslužiti dolje navedenom.



Slika 62: Shema za sklop RC u krugu s izmjeni nim naponom. [41]

11. Zaključak

Vizualizacija akustičnih pojava kao dio procesa za usvajanje novih znanja u nastavi fizike, ima veliku prednost, jer se njome postiže lakše razumijevanje akustičnih fenomena i razvoj vlastitih spoznaja o njima.

Tradicionalne metode koje su se primjenjivale u nastavi fizike su se zasnivale na mogućnostima mehaničke interpretacije u inakazuvih valova, uz korištenje mehaničkih i optičkih uređaja. Razvojem tehnologije, sam proces proučavanja tih pojava se diže na jednu novu razinu i omogućava još bolji uvid u razne fizikalne fenomene.

Kako bi se iskoristile te prednosti tehnologije u nastavi fizike, u radu sam objasnila na programu Visual Analyzer nekoliko demonstracijskih pokusa, i dokazala kako i razonalo kao osciloskop može biti nadasve korisno prilikom uvođenja u enika u nova područja fizike, te objašnjavanje istih. Ovaj program prije svega može biti velika prednost školama koje ne posjeduju analogni osciloskop, ali i svima ostalima koji se žele baviti znanostima, bilo amaterski ili u neke znanstvene svrhe. Osim što posjeduje veliki broj funkcija kojima se mogu analizirati pojave, prednost je ta što je program besplatan i lako dostupan svima.

U radu su demonstracijske vježbe orijentirane na akustiku, no osim nje, može se primjenjivati i u elektricitetu i magnetizmu.

12. Literatura

- [1] Bego Vojislav, Mjerenja u Elektrotehnici, Tehni ka knjiga, Zagreb, 1975.godina
- [2] Mlakar France, Op a elektri na mjerenja-1.dio
- [3] Paar Vladimir, Fizika 3, udžbenik za tre i razred gimnazije, Školska knjiga, Zagreb, 2005.
- [4] <http://www.ameerkabob.com/article/povijest-osciloskop.html> (17.3.2015.)
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Oscilloscope_history (20.5.2015.)
- [6] http://vtsbj.hr/images/uploads/MUM_P18.pdf (10.3.2015.)
- [7] <http://moodle.oss.unist.hr/mod/resource/view.php?id=14376> (13.3.2015.)
- [8]<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=66921> (13.3.2015.)
- [9]http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_kons_stroj/katedre/konstruiranje/kolegiji/BLab/BLab_info_files/BLab_materijali/Osciloskop.pdf (14.3.2015.)
- [10][http://oss.unist.hr/~mnizetic/ELEKTRONICKI%20SKLOPOVI/\(Microsoft%20Word%20-%20Upotreba%20osciloskopa%20za%20mjerenja\).pdf](http://oss.unist.hr/~mnizetic/ELEKTRONICKI%20SKLOPOVI/(Microsoft%20Word%20-%20Upotreba%20osciloskopa%20za%20mjerenja).pdf) (22.4.2015.)
- [11]http://www.tehnicka-skola-karlovac.hr/maturalna_pitanja/2_17schmitov_okidni_sklop.php (27.4.2015.)
- [12]https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/286300/mod_resource/content/1/Laboratorijske_vjezbe/Predlosci/Lv5 - Schmitt.pdf (11.5.2015.)
- [13]http://vtsbj.hr/images/uploads/MUM_P18.pdf (10.3.2015.)
- [14]http://vtsbj.hr/images/uploads/P9_MUM_2013_14_Osciloskop.pdf (20.5.2015.)
- [15]<https://muricmilorad.files.wordpress.com/2012/01/osciloskop.pdf> (2.5.2015.)
- [16]<http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/osciloskop.pdf> (2.5.2015.)
- [17]http://spvp.zesoi.fer.hr/seminari/2007/seminari/NikolaBradac_osciloskop.pdf (17.4.2015.)
- [18]<http://osciloskopi.weebly.com/digitalni-osciloskopi.html> (28.5.2015.)
- [19]http://os-zakanje.skole.hr/upload/os-zakanje/images/multistatic/52/File/6_razred/Audio%20formati%20i%20kvaliteta%20zapisa.pdf (8.6.2015.)
- [20]<http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/45-11/soundcard.html> (7.6.2015.)
- [21]<http://electronicdesign.com/4g/vco-transforms-sound-card-precision-dc-coupled-adc> (8.6.2015.)

- [22]http://ahyco.uniri.hr/Seminari2008/Gradja_racunala/periferni2-5.html (10.6.2015.)
- [23]<http://elektronika.jazbina.com/stari%20sajt/185%20-%20prakt%20racunara/vezba%206/Reporodukcija.pdf> (10.6.2015.)
- [24]https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/06_AD_i_DA_pretvaraci_i_zvucne_kartice_v2.pdf (10.6.2015.)
- [25]<http://www.zen22142.zen.co.uk/Prac/winscope.htm> (11.6.2015.)
- [26]http://www.zeitnitz.eu/scope_en (11.6.2015.)
- [27]<http://www.sillanumsoft.org/> (12.6.2015.)
- [28]http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/diplome/drad_ivan_lešić.pdf (7.6.2015.)
- [29]<http://www.hitsquad.com/smm/programs/VA/> (7.6.2015.)
- [30]ftp://ftp.cmpe.emu.edu.tr/COURSES/CMPE108/Fortran%2095/MANUALS/Visual_Analyzer.pdf (7.6.2015.)
- [31]http://www.mcgee-flutes.com/Visual_Analyser-Calibration.htm (17.6.2015.)
- [32]<http://nastavna-sekcija.hfd.hr/wp-content/uploads/2015/03/Pokus-i-s-glazbenim-vilicam1.pdf> (20.6.2015.)
- [33]<https://element.hr/artikli/file/1605> (22.6.2015.)
- [34]<https://hr.wikipedia.org/wiki/Amplituda> (22.6.2015.)
- [35]<http://vdjerek.net/stty/analiza%20zvuka%20v2.pdf> (15.6.2015.)
- [36]http://physics.mef.hr/Praktikum/opticka_resetka/interferencija.htm (22.6.2015.)
- [37]https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCIQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.pmfst.unist.hr%2F~luketin%2FIntroInPhys%2FZvuk%2FZvuk.ppt&ei=CiyJVaJcobbKA4Sok8gD&usg=AFQjCNGacuOG2E7nsYRkyrv4kEzHLf9Q3g&sig2=kbciTlIIVBXBNEQOm02_pUg (22.6.2015.)
- [38]http://www.unidu.hr/unidu/enus/Dopplerov%20efekt_2.doc
- [39]http://www.phy.pmf.unizg.hr/~ana/praktikum/4_4.pdf (20.6.2015.)
- [40]http://www.phy.pmf.unizg.hr/~ana/praktikum/3_4.pdf (20.6.2015.)
- [41]<http://www.phy.pmf.unizg.hr/~gorjana/nastava/Praktikum/Fizicki%20praktikum%201/vjezbe%20i%20upute/Vjezba4.pdf> (21.6.2015.)
- [42]http://en.wikipedia.org/wiki/Cathode_ray_tube Preuzeto: 22.5.2015.
- [43](http://www.ohsu.edu/xd/research/centers-institutes/vollum/about/images/vollum_murdoch_1.jpg) Preuzeto: 22.5.2015.

- [44]<http://www.phys.ufl.edu/courses/phy4802L/f05/lectures/oscilloscope.pdf> Preuzeto: 22.5.2015.
- [45]<https://www.maturski.org/INFORMACIONI%20SISTEMI/pictures/Zvucni%20podsustav.jpg> Preuzeto: 8.6.2015.
- [46] (<http://thumbs4.picclick.com/d/w225/pict/390824912335.jpg>) Preuzeto: 10.6.2015.
- [47](http://www.creative.com/emu/images/product/large/201131594229633_prod_1616MPC_Ie.png) Preuzeto: 10.6.2015.
- [48]<http://physics.mef.hr/Predavanja/zvucnival/slike/sirenjezvuka.gif> Preuzeto: 22.6.2015.
- [49](<http://dominis.phy.hr/~hmikulec/SAMP/seminar2/slika1.jpg>) Preuzeto: 20.6.2015.
- [50](<http://nastavna-sekcija.hfd.hr/wp-content/uploads/2015/03/Pokusi-s-glazbenim-vilicam1.pdf>) Preuzeto: 20.6.2015.
- [51](<http://physics.mef.hr/Predavanja/titranje/slike/prisilno.gif>) Preuzeto: 23.6.2015.
- [52](http://www.unidu.hr/unidu/enus/Dopplerov%20efekt_2.doc) Preuzeto: 23.6.2015
- [53]<http://www.pmfst.unist.hr/~santon/OE23.pdf> (6.7.2015.)
- [54]Hemenway C., Henry R., Caulton M., Fizička elektronika, Beograd 1974. (8.7.2015.)
- [55]Stanić D., Valovi i glazba (9.7.2015.)
- [56][https://en.wikipedia.org/wiki/Beat_\(acoustics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Beat_(acoustics)) (10.7.2015.)
- [57]<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/audio/sumdif.html#c1> (10.7.2015.)

13. Životopis

Rođena sam 12.lipnja 1988. godine u Vinkovcima. Osnovnu školu Antunovac sam završila u Antunovcu, nakon čega upisujem Opću gimnaziju u Osijeku. Po završetku srednje škole, 2007.godinom upisujem se kao redovita studentica na Preddiplomski studij fizike na Odjelu za fiziku, koji je u sastavu Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. 2012. Godine, nakon završetka preddiplomskog studija, upisala sam Sveučilišni diplomski studij fizike i informatike na Odjelu za fiziku.