

Šolski center Celje
Srednja šola za strojništvo, mehatroniko in medije

Električna violina

Raziskovalna naloga

Področje: mehatronika

Avtorja:

Aljaž Rozman, M-2. f

Matevž Rožej, M-2. f

Mentorja:

mag. Andro Glamnik, univ. dipl. inž.

Martin Amon, mag. inž. Str

Celje, februar 2023

IZJAVA*

Mentorja Andro Glamnik in Martin Amon v skladu z 2. in 17. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljava, da je v raziskovalni nalogi z naslovom Električna violina, katere avtorja sta Aljaž Rozman in Matevž Rožej:

- besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,
- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- da je za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu,
- da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogo v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna naloga nastala v okviru projekta Mladi za Celje,
- da je raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,
- da smo seznanjeni z razpisni pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje, _____

žig šole

Podpis mentorja

Podpis odgovorne osebe

***POJASNILO**

V skladu z 2. in 17. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje je potrebno podpisano izjavo mentorja in odgovorne osebe šole vključiti v izvod za knjižnico, dovoljenje za objavo avtorja fotografskega gradiva, katerega ni avtor raziskovalne naloge, pa hrani šola v svojem arhivu.

ELEKTRIČNA VIOLINA

Ključne besede: električna violina, izdelava, ojačanje signalov, »pick up« sistem

POVZETEK

Pri redni vaji igranja na violino se je pojavila težava, da nekateri niso najbolj navdušeni nad njenimi visokimi toni, zato smo se odločili za izdelavo električne violine, ki omogoča tiho vajo. V procesu izdelave smo se naučili veliko novega, kot na primer: 3D-izris, CAM-pisanje kode, CNC-obdelava, postopki eloksacije, obdelava lesa, elektronika (sprejem in ojačevanje signalov). Poleg tega smo spoznali tudi tehnično plat glasbe. Na koncu smo violino primerjali z ostalimi inštrumenti, ki delujejo na podoben princip, ter za dober končni zvok spreminjala postavitev magnetov.

SUMMARY

Key words: electric violin, manufacturing, signal amplification, pick up system

When practicing the violin regularly, the problem arose that some people are not the most enthusiastic about its high notes, so we decided to make an electric violin that allows silent practice. During the production process, we learned a lot of new things, such as: 3D-drawing, CAM-code writing, CNC-processing, anodizing processes, woodworking, electronics (signal reception and amplification). In addition, we learned about the technical side of music. In the end, we compared the violin with other instruments that work on a similar principle, and changed the placement of the magnets for a good final sound.

KAZALO

| | | |
|-------|---------------------------|----|
| 1 | UVOD | 9 |
| 1.1 | Cilji | 10 |
| 1.2 | Hipoteze | 11 |
| 1.3 | Metode raziskovanja | 11 |
| 2 | IZRIS | 12 |
| 2.1 | Trup | 12 |
| 2.1.1 | Ideje in zahteve | 12 |
| 2.1.2 | Izris | 12 |
| 2.2 | Vrat | 14 |
| 2.2.1 | Ideje in zahteve | 14 |
| 2.2.2 | Izris | 14 |
| 2.3 | Ubiralka | 15 |
| 2.3.1 | Ideje in zahteve | 15 |
| 2.3.2 | Izris | 15 |
| 2.4 | Podbradek | 15 |
| 2.4.1 | Ideje in zahteve | 15 |
| 2.4.2 | Izris | 15 |
| 2.5 | Strunek | 16 |
| 2.5.1 | Ideje in zahteve | 16 |
| 2.5.2 | Izris | 16 |
| 2.6 | Kobilica | 17 |
| 2.6.1 | Ideje in zahteve | 17 |
| 2.6.2 | Izris | 18 |
| 3 | IZDELAVA | 19 |
| 3.1 | Trup | 19 |
| 3.1.1 | Kaj je eloksacija | 21 |
| 3.2 | Vrat | 23 |
| 3.2 | Ubiralka | 24 |
| 3.3 | Podbradek | 24 |
| 3.4 | Strunek | 25 |
| 3.5 | Kobilica | 26 |
| 4 | SESTAVLJANJE | 28 |
| 4.1 | Mehanika | 28 |
| 4.2 | Elektronika | 28 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.2.1 | Piezo | 28 |
| 4.2.2 | Magneti..... | 29 |
| 4.2.3 | Ojačenje signala | 31 |
| 4.2.4 | Filtri..... | 37 |
| 5 | ANALIZA..... | 41 |
| 5.1 | Osciloskop | 41 |
| 5.1.1 | Kaj je osciloskop | 41 |
| 5.1.2 | Zaslona in osnovne zunanje lastnosti..... | 42 |
| 5.1.3 | Velikost in prenosnost..... | 42 |
| 5.1.4 | Vhodi osciloskopa | 43 |
| 5.1.5 | Sonde osciloskopa..... | 43 |
| 5.2 | Meritve..... | 44 |
| 6 | ZAKLJUČEK | 49 |
| 6.1 | Analiza hipotez | 49 |
| 7 | VIRI IN LITERATURA | 50 |

KAZALO SLIK

| | |
|---|----|
| Slika 1: Simbolična slika električne violine | 9 |
| Slika 2: Simbolična slika klasične violine..... | 9 |
| Slika 3: Matevževa prva izdelana violina iz posode za kuhanje | 10 |
| Slika 4: Matevževa druga violina, izdelana iz plastike | 11 |
| Slika 5: Trup klasične violine v programu 'Fusion 360'..... | 12 |
| Slika 6: Funkcija »shell« v programu Fusion 360..... | 13 |
| Slika 7: Vrat, sestavljen s funkcijo »loft« | 14 |
| Slika 8: S funkcijo loft sestavljena ubiralka..... | 15 |
| Slika 9: Podbradek na izrisanem trupu..... | 16 |
| Slika 10:V programu izrisan strunek..... | 17 |
| Slika 11: V programu izrisana črka R | 18 |
| Slika 12: Lučki, ki osvetlujeta črko R..... | 18 |
| Slika 13: Del kupljenega aluminija | 19 |
| Slika 14: Trup na tri osnem CNC stroju med obdelavo | 20 |
| Slika 15: Blok pred obdelavo | 20 |
| Slika 16: Trup pred eloksacijo | 21 |
| Slika 17: Trup pred eloksacijo (bližje)..... | 23 |
| Slika 18:Ubiralka z vratom | 24 |
| Slika 19: Izdelan podbradek..... | 25 |
| Slika 20: Strunek in navijalci za strune | 26 |
| Slika 21:Izdelana kobilica | 27 |
| Slika 22: Mehanično sestavljena violina..... | 28 |
| Slika 23: Med navijanjem magneta..... | 30 |
| Slika 24: Že naviti tuljavi iz relejev | 30 |
| Slika 25:Vezje in graf ojačevalnika razreda A..... | 32 |
| Slika 26:Vezje in graf ojačevalnika razreda B | 33 |
| Slika 27:Vezje in graf ojačevalnika razreda AB | 34 |
| Slika 28:Vezje in graf ojačevalnika razreda C | 35 |
| Slika 29: Vezava ojačevalca..... | 36 |
| Slika 30:Grafске oblike filtrov | 38 |
| Slika 31: Frekvence tonov | 39 |
| Slika 32: Končna elektro shema..... | 40 |
| Slika 33:Izdelana violina priklopljena na osciloskop..... | 42 |
| Slika 34:Signal električne kitare | 44 |
| Slika 35: Signal iz piezo kristala | 45 |
| Slika 36: Signal iz piezo kristala (iz druge strani) | 45 |
| Slika 37: Signal iz magenta..... | 46 |
| Slika 38: Signal iz magneta (iz druge strani) | 46 |
| Slika 39: Kombinacija obeh signalov..... | 47 |
| Slika 40: Piezo kristal, pred in po ojačenju..... | 47 |
| Slika 41: Magnet, pred in po ojačenju..... | 48 |

UPORABLJENE KRATICE

mm – milimeter

kg – kilogram

uF – mikrofarad

pF - pikofarad

mV – milivolt

Hz – hertz

MΩ – megaohm

AC – izmenični tok

DC – enosmerni tok

° - stopinje

min – minute

nF – nanofarad

N – Newton

CNC - računalniško numerično krmiljenje

°C – stopinje celzija

cm² – kvadratni centimeter

g - gram

1 UVOD

Električna violina je inštrument, ki je podoben klasični violini oz. se na njo igra na enak način kot na klasično, le da je oddajanje zvoka tehnično bolj dodelano.



Slika 1: Simbolična slika električne violine

(Vir: <https://www.melodija.si/elektricna-violina-yamaha-sv-255-komplet>)



Slika 2: Simbolična slika klasične violine

(Vir: <https://glasbena-sola.com/violina>)

Ideja za električno violino se je porodila med vajo violine. Matevž je imel doma vedno težave, saj je zelo rad vadil v poznih nočnih urah. Zaradi neprimerne akustike se je zvok violine slišal po vsej hiši. Večkrat se je njegova družina zbudila nenaspana in ne dovolj pripravljena na nov delovni dan, zato se je Matevž odločil, da bo z Aljaževo pomočjo izdelal električno violino.

Matevžev problem je bil zvok violine, zaradi katerega njegova družina ni mogla spati. Električna violina je zanj prava rešitev. Zaradi zaprtega in polnega dela trupa violina ne oddaja glasnega hrupa. Njen zvok oz. ton, ki ga zaigramo, pa lahko vseeno slišimo preko priklopa, ki nam omogoča poslušanje na slušalkah ali ozvočenju.

1.1 Cilji

Zadali smo si cilj, da izdelamo delujočo električno violino, ki bo imela dva ločena “pickup sistema”, enega na piezzo, drugega pa na magnet. Pri tem smo predvsem želela spoznati, na kakšen način vse to deluje.

Matevž je do sedaj že izdelal dve violini, ki pa žal zaradi slabe izdelave in napačne izbire materialov nista primerni za igranje.

Njegova prva violina je bila izdelana iz posode za kuhanje in je imela obliko banja. Problem te violine je bila teža, saj je tehtala 1,6 kg, kar v primerjavi s klasično violino, ki tehta 500 g, predstavlja velik problem za igranje. Druga violina je bila v celoti natisnjena s 3D-tiskalnikom. Zaradi napetih strun, izbire napačnega filameta in slabe ojačitve je violina čez čas popustila in se zlomila. Obe violini, ki ju je izdelal, še nista imeli kakršnekoli možnosti oddajati zvoka preko kabla.



Slika 3: Matevževa prva izdelana violina iz posode za kuhanje

(Osebni vir)



Slika 4: Matevževa druga violina, izdelana iz plastike

(Osebni vir)

1.2 Hipoteze

Cilj naloge je: bolje spoznati potek obdelave aluminija, izdelati električno vezje, tako da bomo iz šibkega signala dobili močen signal in ga regulirali s potenciometrom.

Zaradi neobičajne izbire materialov pričakujemo posebne značilnosti violine in zvoka:

- visoke frekvence bodo bolj izrazite,
- glasnost magnetov, brez ojačevalnika, bo občutno manjša kot pri ostalih Piezo kristalih,
- violina bo zaradi drugačnih materialov težja od klasične violine,
- violina bo delujoča,
- violina brez ozvočenja bo zelo tiha,
- uglaševanje violine bo občutno lažje v primerjavi s klasično violino,
- imela bo priključek in možnost poslušanja s slušalkami.

1.3 Metode raziskovanja

V postopku raziskovanja bomo uporabili sledeče metode:

- Metodo analize, ki temelji na osnovi razčlenitve neke celote na njene osnovne sestavne dele. Na ta način smo si delo razdelili na 2 dela: snovanje/konstruiranje in izdelava električnega vezja.
- Primerjalno metodo, s katero smo izdelek primerjali še z ostalimi, z že izdelanimi podobnimi izdelki, kjer je način pobiranja in pridobivanja zvoka zelo podoben.

2 IZRIS

Izdelavo smo začeli s skicami vsakega dela violine posebej. Odločili smo se, da bo oblika violine zaradi principa igranja še vedno imela podobo klasične violine, ki je zasnovana po zlategem rezu. To smo morali upoštevati že pri risanju skic. Ocenili smo, da teža ne sme presegati 1kg, saj bi s pretežko violino bilo igranje precej oteženo. Vse modele smo popravili več kot dvajsetkrat. Tako smo izboljšali obliko trupa in določili končne mere za izdelavo.

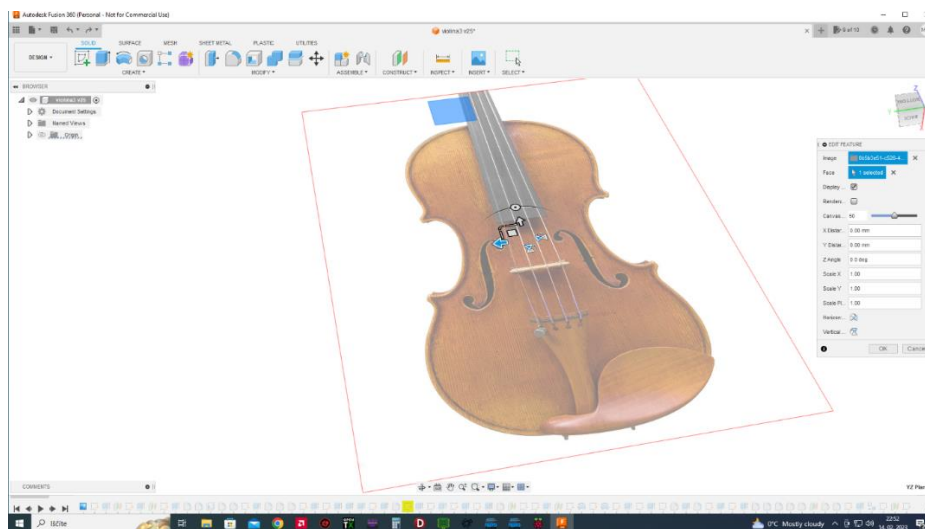
2.1 Trup

2.1.1 Ideje in zahteve

- Mora ostati enako velik kot pri klasični violini, vendar mora kljub temu imeti obliko, ki bo posebna.
- Biti mora iz materiala, ki omogoča dobro izdelavo (aluminij).
- Imeti mora dovolj prostora za vgradnjo mikrokrmilnika ali računalnika npr. ESP 32 ali Raspberry Pi Zero W.
- Imeti mora dovolj prostora za dodajanje še kakšne komponente (efekt ali »looper«).
- Na violini morata biti prilepljena vrat in ubiralka.

2.1.2 Izris

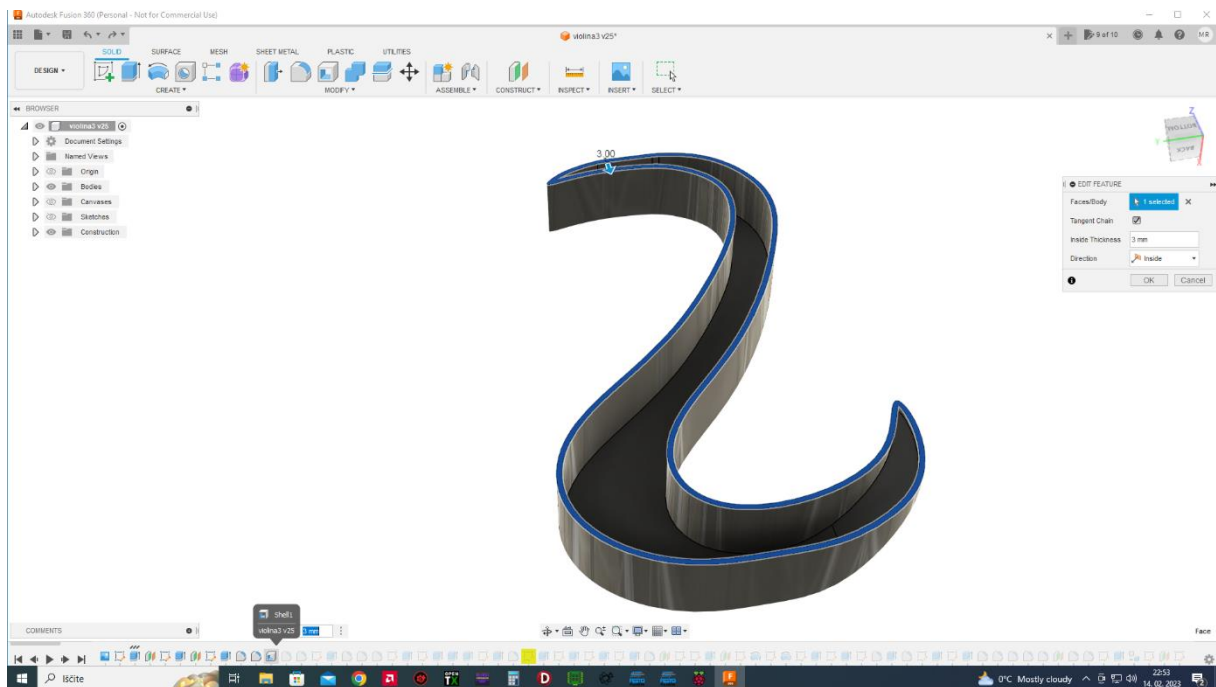
Ko so vse skice izpolnjevale naše želje, se je začel izris v programu Fusion 360. Začeli smo z meritvami trupa klasične violine, ki je dolg natanko 350 mm, 210 mm širok in 40 mm debel. S temi podatki smo narisali kvader, na katerega smo pripeli sliko klasične violine in s funkcijo »spealine« izrisali željeno obliko.



Slika 5: Trup klasične violine v programu 'Fusion 360'

(Osební vir)

Da smo violino naredili votlo, smo v programu uporabili funkcijo »shell«. Ta funkcija naredi izrisan predmet votel na debelino stene, ki jo navedeš. Izbrali smo debelino stene 3 mm, saj bi lahko tanjša stena povzročala težave pri obdelavi in lepljenju lesa na violino.



Slika 6: Funkcija »shell« v programu Fusion 360

(Osebni vir)

Zaradi stabilnosti trupa smo morali dodati ojačitve in s tem razdeliti violino na vsaj 4 dele. Povezave oz. ojačitve imajo debelino tudi 3 mm in trupu dodajo 34 g teže. Na obeh koncih trupa sta zaključka, ki violino naredita lažjo in lepšo.

Sledila je izdelava lukenj za vse dodatne dele, ki so potrebni za igranje violine. Zaradi odprtih na sprednji strani smo se odločili, da dodamo pokrovčke, ki se bodo držali trupa s pomočjo magnetizma. Na pokrovčkih bodo vtisnjene matice, na trupu pa bodo vdelani pet milimetrski magneti, ki bodo privlačili pokrovčke. Glede na naš načrt naj bi bili pokrovčki iz aluminija, vendar smo jih zaradi njihove teže zamenjali za plastične, natisnjene v 3D iz petg 1,75 mm filamenta. S funkcijo »offset« smo dodali vbod in izrezali 3 mm globine okoli roba, tako da smo s pokrovčkom lahko pokrili odprte dele. Ko smo v programu izdelali osnovno obliko, smo dodali še okrogline, ki so še polepšale videz trupa violine.

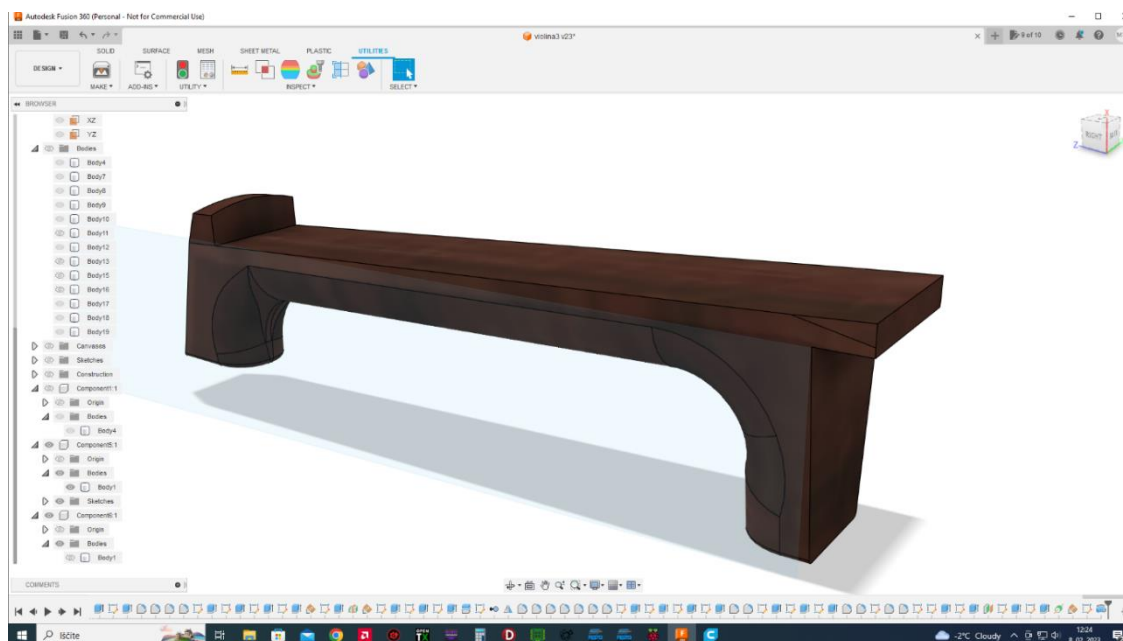
2.2 Vrat

2.2.1 Ideje in zahteve

- Oblika mora ostati enaka, da je igranje čim bolj primerljivo.
- Vrat, ki je prilepljen na trup, naj bi bil iz aluminija, vendar je zaradi toplotne prevodnosti narejen iz lesa.

2.2.2 Izris

Delo smo nadaljevali z izrisom vratu, ki bo od trupa do konca obiralke enak vratu klasične violine. Na polžu ne bo napenjalcev, saj bodo le-ti na struneku. Začeli smo s pobiranjem dimenzij in kotov pri stiku vratu s trupom. Določili smo kot, ki meri 5 stopinj, pod katerim se vrat rahlo nagiba. Pod tem kotom smo naredili ravnino, narisali maksimalno dimenzijo vratu in ga ekstrudirali v dolžino 170 mm. Od strani smo izrezali približno podobo violine, kot smo jo želeli. S funkcijo »loft«, ki nam omogoča risanje in združevanje več skic, smo narisali vrat v dveh delih in ga z isto funkcijo povezali.



Slika 7: Vrat, sestavljen s funkcijo »loft«

(Osebni vir)

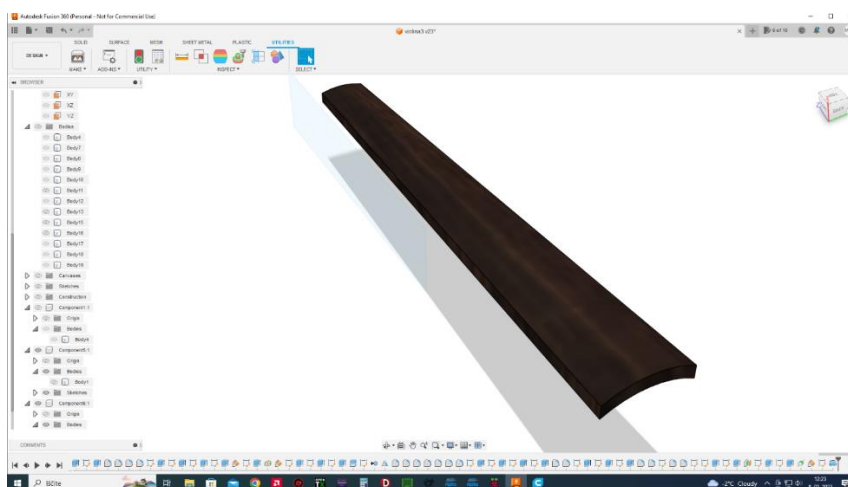
2.3 Ubiralka

2.3.1 Ideje in zahteve

- Ubiralka je klasična, brez prečk, kar daje poseben čar igranju zaradi prostosti gibanja po vratu, a je igranje s to ubiralko v rock skupini precej oteženo zaradi glasnosti ostalih inštrumentov.

2.3.2 Izris

Ubiralka je glede na izdelavo najpreprostejši del violine. Izrisali smo dve skici in ju povezali s funkcijo »loft«. Tako je bila ubiralka končana.



Slika 8: S funkcijo loft sestavljena ubiralka

(Osebni vir)

2.4 Podbradek

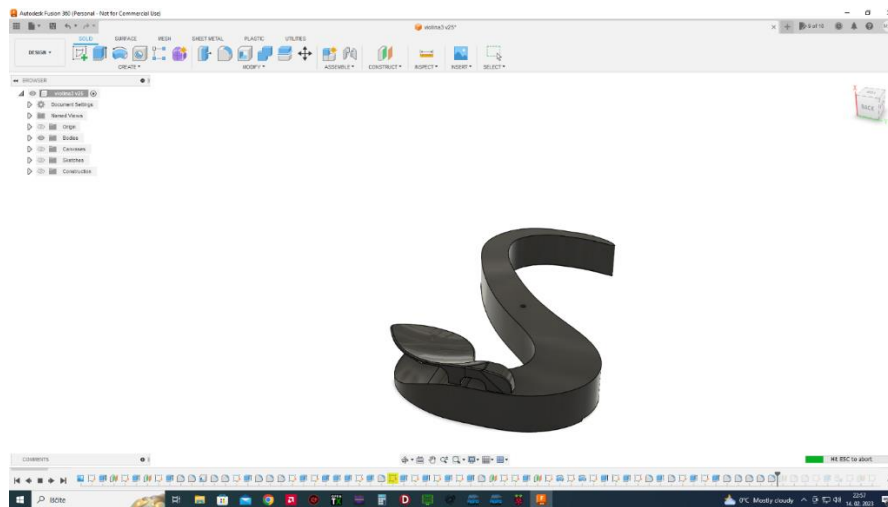
2.4.1 Ideje in zahteve

- Podbradek mora ostati enake oblike kot pri klasični violini, da občutek ostane čim bolj primerljiv.

2.4.2 Izris

Podbradek nam omogoča, da violino držimo z brado tudi brez držanja z roko. To je bil naslednji izris, ki smo ga pričeli izdelovati na zgornjem delu trupa. Zopet smo si pomagali z vstavljenimi in povečanimi fotografijami. Glede na obliko podbradka na fotografiji smo svojega izrisali ter uporabili funkcijo »extrude«. Oblika podbradka je precej valovita, zato smo pri izrisu morali biti precej pazljivi in iznajdljivi. Ker je v obliki podolgovate posodice, smo iz oddaljenosti 100 mm naredili točko, okoli katere smo s funkcijo »revolve« zavrteli krog 70 mm, ki je izrezal površino, tako da je ustrezala našim željam. Za izdelavo spodnje strani te

posodice smo pa le povečali oddaljenost kroga od točke in ob uporabi funkcije »revolve« in funkcije »intersect« smo dobili popolno obliko dela podbradka.



Slika 9: Podbradek na izrisanem trupu

(Osebni vir)

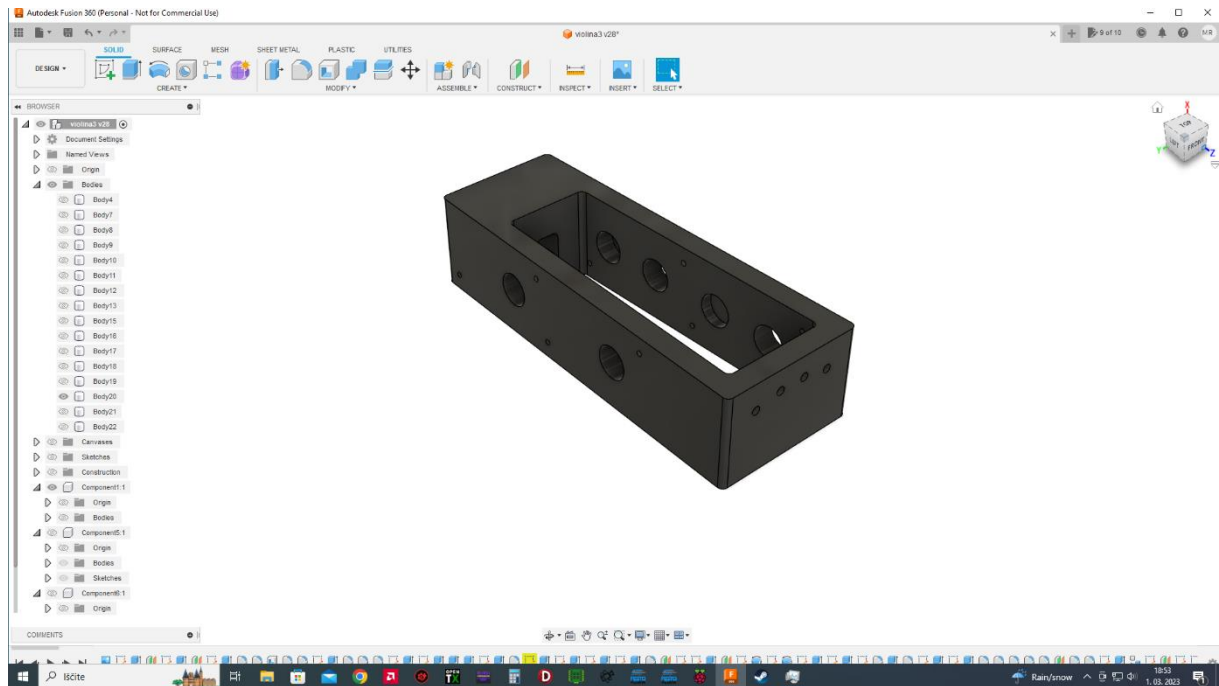
2.5 Strunek

2.5.1 Ideje in zahteve

- Zaželeno je, da so napejalci kitarski, saj se je s tem mogoče izogniti dvojnemu klasičnim napejalcem, s katerimi je težje uglasti violino. Na vratu pri polžu so grobi napejalci, ki delujejo samo na trenje, pri podbradku so pa na strunku lahko tudi fini napejalci, ki so kovinski in omogočajo natančno uglastev.
- Ta sistem nam ni najbolj všeč, saj je uglaševanje precej zapleteno in je nevarnost, da napejalci na trenje nepričakovano popustijo, kar povzroči precejšen problem, posebej če se to zgodi na nastopu.

2.5.2 Izris

Pri izrisu strunka je bilo največ težav. Prva ideja je bila, da so napejalci obrnjeni tako, da stojijo vodoravno, vendar je ta zasnova imela ključno napako, in sicer se takšna oblika ne prilega kovčku, saj je zgoraj oblika preširoka. Zato smo se odločili, da napejalce obrnemo navpično navzdol, tako da so ključi v višini trupa. S tem smo strunek zgoraj zelo zožili in ga zasnovali tako, da je čim bolj kompakten. Ta način je ustrežal meram kovčka.



Slika 10: V programu izrisan strunek

(Osebni vir)

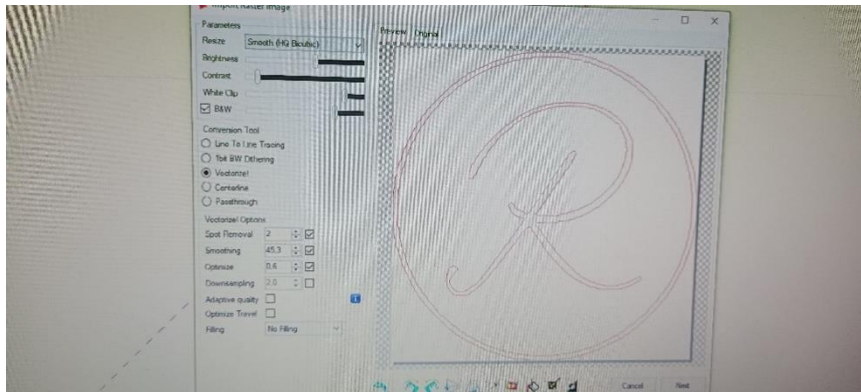
2.6 Kobilica

2.6.1 Ideje in zahteve

- Narejena mora biti iz lesa.
- Biti mora nekaj posebnega, kot je posebna violina oz. njen trup.
- Dobro mora prenašati vibracije na »piezo« kristal, ki se nahaja pod njo.

2.6.2 Izris

Mere smo pridobili iz klasične violine. Najpomembnejša stvar je, da so strune na pravi višini, v oddaljenosti od ubiralke (E-struna mora biti nižje, kot G-struna, ker je njeno vibriranje manjše), prav tako pa je tudi izjemno pomembno, da so strune med seboj v pravem razmaku. Da bi bila kobilica nekaj posebnega, sva se odločila, da vanjo vgradiva LED lučko, ki osvetljuje prvo črko priimka.



Slika 11: V programu izrisana črka R

(Osebni vir)



Slika 12: Lučki, ki osvetlujeta črko R

(Osebni vir)

3 IZDELAVA

3.1. Trup

Po večkrat preverjenih izmerjenih vrednostih smo natisnili mini model violine. V Impolu smo kupili del aluminija, v velikosti 360x220x40, s kakovostjo ENAW5754. Ta material nima najboljših lastnosti za obdelavo, vendar ima dobre lastnosti za eloksacijo, s katero nameravamo trup obarvati črno.

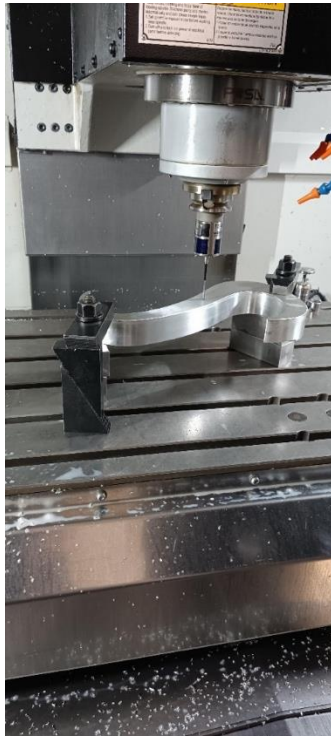


Slika 13: Del kupljenega aluminija

(Osebni vir)

Blok smo odnesli v firmo Mobilis, d.o.o, kjer so nama na 3-osnem CNC-rezalnem stroju izdelali trup. Poslali smo jim model violine v STEP-formatu ter ga v firmi Mobilis z zaposlenimi spremenili v G-kodo. Najprej smo dobro pregledali, kako se bomo lotili izdelave, ter naleteli na manjšo težavo zaradi bloka z majhnimi tolerancami, ki ga je bilo težko vpeti. Vpeli smo ga na dveh mestih, kjer ni potekal frezalnik za freziranje violine, ter pričeli s frezanjem prekatov na spodnji strani bloka. Ko smo odstranili vse robove s trupa, smo trup zopet vpeli na mizo, tako da so bili deli, kjer je bila obdelava še potrebna, dostopni. S tega položaja je stroj izdelal

zaključke ter utor za montažo vratu v trup. Po tem je bilo delo na CNC-ju končano. Sledilo je brušenje in poliranje, ki je bilo izjemno pomembno zaradi dobre eloksacije.



Slika 14: Trup na tri osnem CNC stroju med obdelavo

(Osebni vir)



Slika 15: Blok pred obdelavo

(Osebni vir)

3.1.1 Kaj je eloksacija

Eloksacija je tehnologija površinske obdelave profilov iz aluminijastih zlitin, preprosto rečeno je zaščita aluminija pred oksidacijo. Hkrati je po njej lepši tudi videz. Eloksirana površina postane neprevodna. Običajna (naravna) eloksacija je srebrne barve, lahko pa se izbira tudi druge barve (inox, zlata, črna, rdeča ...). Eloksaciji se običajno reče tudi “anodna oksidacija”, saj se na električnem polu “anoda” ustvarja umetni oksid. Tako da eloksacija ni nič drugega kot pospešena oksidacija aluminija. Aluminij se veže s kisikom. Pomembna je tudi globina oksidne plasti, ta je običajno 3-50 mikronov, odvisno od velikosti električnega toka in trajanja postopka. Ta postopek povzroči na površini izredno trdo površino, ki jo lahko primerjamo s trdoto keramike. [7]



Slika 16: Trup pred eloksacijo

(Osebni vir)

Eloksiranje ima naslednje prednosti:

- enakomeren videz površine,
- preventivna zaščita pred korozijo,
- površina odbija umazanijo,
- dekorativni videz površine,
- gladka površina,
- površina odporna na odrgnine z nizkim koeficientom trenja in

- električno izolativna površina.

Postopek eloksiranja je sestavljen iz štirih korakov: predobdelava, eloksiranje, umirjanje in pečatenje. Najbolj razširjen tip eloksiranja je naravno eloksiranje. Po mehanski ali kemični predobdelavi (cca. Deset minutno luženje) in temeljitemu čiščenju površine (s tekočo vodo) se začne elektrolitski proces. Material se priključi kot anodo v tokokrog. Elektrolit je običajno sestavljen iz razredčene (25 %-35 %) žveplove kisline pri sobni temperaturi. Med procesom anodične oksidacije atomi kisika pridejo na površino materiala. Kisik in aluminij se vežeta in nastane prevleka aluminijevega oksida Al_2O_3 . Proces se nadaljuje, dokler ni dosežena zaželena debelina oksidove prevleke. Nastala prevleka iz oksida vsebuje pore, približno $10^{11}/cm^2$. Da bi dosegli gladko površino, moramo pore zapreti z voskanjem. To je obdelava v čisti vodi pri 95-98 °C. Segrevanje spremeni aluminijev oksid v bohemid. Volumen naraste, pore se zaprejo. Oksidna prevleka, ki nastane, je prozorne barve. Barvne odtenke lahko pridobimo z barvanjem z organskimi ali anorganskimi pigmenti. Natur eloksirani profili so dobavljeni v mat ali polmat varianti. Nastala oksidna prevleka je odporna na korozijo. Pod pogojem, da je površina čiščena, je vzdrževanje domala nepotrebno. Površino čistimo z vodo in nevtralnimi detergenti. Topila ne vplivajo na eloksiran aluminij, močnih alkalnih raztopin pa se moramo izogibati. Odpornost na korozijo, razbarvanje in abrazijo običajno naraste skladno z debelino prevleke. Eloksirani ekstrudirani profili naj ne bi bili naknadno plastično preoblikovani, lahko pa jih rezkamo in vrtamo, vendar dobimo neobdelan prerez obdelane površine. Varjenje moramo izvesti pred eloksiranjem. Eloksiran aluminij je dobro zaščiten pred korozijo, še posebej s pH-vrednostjo med 4 in 9. Če je površina v stiku s posebno alkalno raztopino, jo ta lahko poškoduje. Eloksiran aluminij moramo varovati pred apnom, cementom in mavcem. Trdota oksidne prevleke je odvisna od postopka eloksiranja. V glavnem pa je trša od stekla. [7]



Slika 17: Trup pred eloksacijo (bližje)

(Osebni vir)

3.2. Vrat

Zaradi spremembe med izdelavo trupa smo se odločili, da naredimo vrat in obiralko iz lesa. To nam je omogočilo, da smo uporabili domač les in ga obdelali doma. Začeli smo z razrezom materiala na primerno velike dele z vsaj 10 mm nadmere. Izbrali smo les hruške in jablane, da smo dobili bolj zanimive barvne kombinacije. Les smo posušili ter se tako izognili kasnejšim spremembam, ki bi se lahko pojavile zaradi sušenja lesa. Ko je bil les dovolj suh, smo ga odrezali po obliki s strani, nato pa še z vrha in s tem dobili grobo podobo, ki smo jo želeli. Iz kartona smo izdelali modele v obliki vratu in z njimi primerjali, kje je potrebno še kaj materiala odvzeti. Po grobi obdelavi z rašplo je sledilo brušenje z več stopnjami brusnega papirja. Brusili smo tako dolgo, dokler ni bil les čisto gladek.

Končanem delu z lesenimi deli je sledilo lakiranje. Uporabili smo lak, ki je namenjen večjim obremenitvam in ne počí tako hitro kot ostali. Prelakirali smo jih s kompresorsko pištolo za barvanje in po dnevu sušenja smo dele lahko začeli sestavljati.

3.2 Ubiralka

Za ubiralko smo uporabili rahlo temnejši les, in sicer jablano. Izdelavo ubiralke smo začeli tako, da smo si na kos lesa narisali obliko z merami 270x42 mm. Nato smo jo z brusilko oblikovali tako, da je bila na eni strani ravna, na drugi strani pa v obliki polkroga. Po finem brušenju je bila ubiralka končana. Ko smo zaključili z vratom in ubiralko smo začeli izdelovati podbradek.



Slika 18:Ubiralka z vratom

(Osebni vir)

3.3 Podbradek

Tega smo izdelali na podoben način kot vse ostale dele. Najprej smo odrezali obliko z vbodno žago, nato z dletom in kladivom izdoblili dele, ki morajo biti izdolbeni in na koncu smo še vse fino pobrusili. Dodali smo tudi dva vsadka, ki skupaj z vijaki povezujejo trup in podbradek.



Slika 19: Izdelan podbradek

(Osebni vir)

3.4 Strunek

Strunek smo izdelali s 3D-tiskalnikom. To smo naredili zato, ker ima veliko zapletenih oblik, ki jih je težko narediti na roke. Prva verzija je bila takšna, da so bili ključi napenjalcev vodoravni. Ta se zaradi širine ni prilegal kovčku, zato sva se odločila za drugo verzijo, ki je ožja in bolj kompaktna. Pri tej verziji so kitarski napenjalci obrnjeni eden proti drugemu, tako da se jih navija od spodaj. Ta verzija je prav tako bila narejena s 3D-tiskalnikom. Ker pa nam ni bilo všeč, da je ta del natisnjen iz plastike, smo se odločili, da ga poustvarimo iz lesa. Les je hruškov. Pri izdelavi smo pazili na orientacijo letnic, da se čez čas ne bi kaj zlomilo, pri tem smo upoštevali sile, ki delujejo nanj, in znašajo okoli 300 N. Natančna napetost je odvisna od

strun. Na spodnji strani je strunek pritrjen s plastificirano jekleno pletenico, debeline 1,3 mm. Natezna trdnost te pletenice je 800 N, kar ustreza standardom najine izdelave.



Slika 20: Strunek in navijalci za strune

(Osebni vir)

3.5 Kobilica

Za kobilico smo se odločili, da bo izdelana iz lesa, in sicer iz lesa hruške. Letnice so obrnjene vertikalno. Na ta način je zagotovljeno najboljše prenašanje vibracij iz strun na piezo lovilec vibracij. Obliko smo natisnili v 3D in jo prenesli na papir. Po obliki smo izrezali papir in ga prenesli na les. Prav tako smo si prenesli dimenzije oddaljenosti strun in njihovih razmakov. Debelina kobilice je različna. Pri dnu je debela 4,5 mm, na vrhu pa 1,7 mm. Obliko smo izrezali s krožno žago, fine detajle pa smo izbrusili na tračni brusilnik. Konus smo izdelali prav tako na tračnem brusilniku, tako da smo kobilico prilepili z dvostranskim lepilnim trakom na kos lesa,

da jo je bilo med obdelavo lažje držati. Sledile so podrobnosti, kot so drobne zareze in utori. Da bi bila kobilica nekaj posebnega, smo se odločili, da vanjo vgradiva LED-lučko, ki osvetljuje prvo črko najinih priimkov. Črka je izrezana z laserjem iz orehovega lesa. Oblika je bila izdelana v programu inkscape. G-koda za CNC-laser je bila izdelana v programu laser GRBL, ki je prav tako tudi krmilnik laserja. LED-lučka je sestavljena iz dveh diod v velikosti 2x3x0,5 mm. Napajalna napetost ene diode je 3V, zato pri zaporedni vezavi potrebujemo napajanje 6 V. Ker za napajanje uporabljamo 9 V-baterijo, potrebujemo predupor v vrednosti 2 kOhm. Pri tem diode ne gorijo s polno močjo, za daljšo življenjsko dobo baterije.



Slika 21: Izdelana kobilica

(Osebni vir)

4 SESTAVLJANJE

4.1 Mehanika

Najprej smo zlepili trup in vrat. Za to smo uporabili lepilo Gorila glue. To lepilo smo izbrali zaradi njegovih karakteristik, ker dobro prenaša vibracije in je zelo močan. Pri tem smo upoštevali, da je bil zleplni spoj čim tanjši in zato tudi močnejši.



Slika 22: Mehanično sestavljena violina

(Osebni vir)

4.2 Elektronika

Za ozvočenje smo izbrali 2 različna sistema, ki sta istočasno vgrajena v violino. Razlog za to je, da lahko tako primerjamo med dvema različnima sistemoma, kakšne prednosti in slabosti se kažejo pri vsakem posebej.

4.2.1 »Piezo«

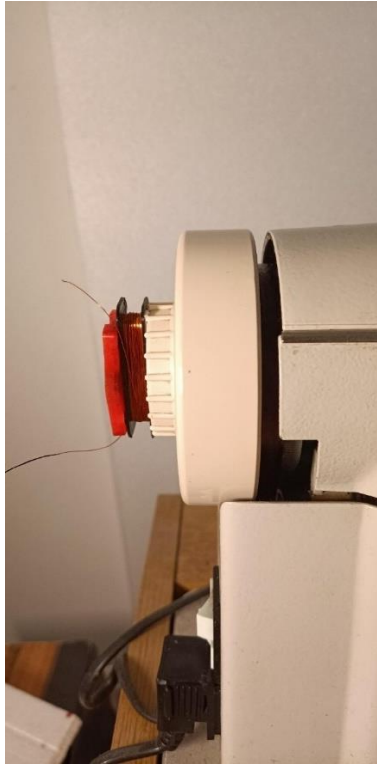
Prvi sistem deluje na princip piezo kristala, ki pod pritiskom oz. vibracijami oddaja zelo majhno el. napetost. Temu pojavu pravimo piezo-električni efekt.

4.2.2 Magneti

Drugi sistem pa je elektomagnetni. Pod kovinskimi strunami se nahaja tuljava, ki ima v sredini magnetne silnice in s tem povzroči, da se v tuljavi inducira šibek elektro signal, ki je ojačan s pomočjo ojačevalnega vezja. Pomembno je, da je žica lepo navita, ker s tem precej izboljšamo delovanje magnetov in s tem zmanjšamo motnje ter prostor, ki bi ga zasedla tuljava. Za prvo tuljavo sva izbrala žico debeline 0,07 mm. Nosilec smo natisnili s 3D- tiskalnikom. Da bi bila tuljava lepo navita, smo uporabili šivalni stroj. Na desno stran smo prilepili ohišje tuljave, z nogo smo regulirali vrtljaje, z rokami smo pa usmerjal žico tako, da je bila lepo navita. Poleg tega smo si za ta namen izdelali tudi števec obratov. Ta je bil izdelan iz ESP 32 krmilnika in infrardečega senzorja, ki zaznava, kdaj ima pred sabo kakšno odbojno oz. neodbojno stvar. Koda je sestavljena tako, da vsakič ko zazna, da je senzor »HIGH«, ji hkrati spremenljivka $cu=0$ doda število + 1 in tudi $cu+1$, ko pa je senzor na »LOW«, pa nastavi samo $cu=p$. S tem zagotovimo štetje v obeh stanjih.

Ko smo imeli vse to nastavljeno, smo začeli z navijanjem. Zavedali smo se, da zaradi velikosti magneta ni mogoče narediti magnet s toliko navitji, kot jih je na magnetih nekaterih kitarah; to je približno 7000 ovojev, 42 »gauge wire«, katere presek znaša okoli 0.0635 mm. Upali smo, da jih bo približno vsaj 3000, saj bi s tem zagotovili dovolj veliko napetost in tok na izhodu za ojačenje signala brez večjih motenj. Pri tem igra ključno vlogo izbira magneta, žice, št. ovojev ter oddaljenost strune od magneta.

Prva ideja za izdelavo magneta je bila sledeča. Navijemo tuljavo na nosilec iz dveh delov, ki je natisnjen v 3D, ga razstavimo in iz njega dobimo tuljavo, ki jo vstavimo v ovalni nosilec, ki je istega radiusa, kot je obiralka. Ideja je bila zelo dobra, vendar se je zapletlo pri debelini žice in njeni krhkosti. Pri tej debelini je natezna trdnost zgolj 0,05 N. Pri navijanju žice, debeline 0,1 mm, pa smo dosegli le 800 ovojev z upornostjo le 40 ohmov. Pri testih na osciloskopu se je pokazalo, da je izhodna napetost premajhna za uporabo.



Slika 23: Med navijanjem magneta

(Osebni vir)

Zato smo rešitev poiskali pri že navitih tuljavah, ki so na trgu lahko dobavljive. Našli smo jih v relejih. Zaradi upornosti in števila ovojev smo se odločili za releje, ki so namenjeni za 220 V. Ti imajo upornost 18 kohm in premer vodnika 0.03 mm, kar pri tej upornosti znaša 750 m vodnika. Ker so se nam karakteristike zdele zadovoljive, smo pričeli s testi.



Slika 24: Že naviti tuljavi iz relejev

(Osebni vir)

Na osciloskopu smo preverili napetost signala. Pri neodemijum magnetu, oddaljenem 5 mm od strune, je oddajal pri maksimalni napetosti 600 mv, to je več kot zadovoljiv rezultat za nadaljnje teste. Zagotovo pa ta signal nima velike moči oz. proizvede zelo majhen tok, kar bo potrebno rešiti z ojačenjem čim bližje izvoru zvoka.

4.2.3 Ojačenje signala

Zaradi dveh različnih »pickupov« smo se odločili, da namestiva tudi dva ojačevalca. Prvi ojačevallec skrbi za ojačenje signala, ki prihaja iz tuljav. Ta ima nastavitev gaina in pa glasnosti. Drugi ojačevallec je pa kupljen iz spletne trgovine »Ebay«. Ta pa ima poleg nastavitve za glasnost tudi filtre visokih in nizkih frekvenc.

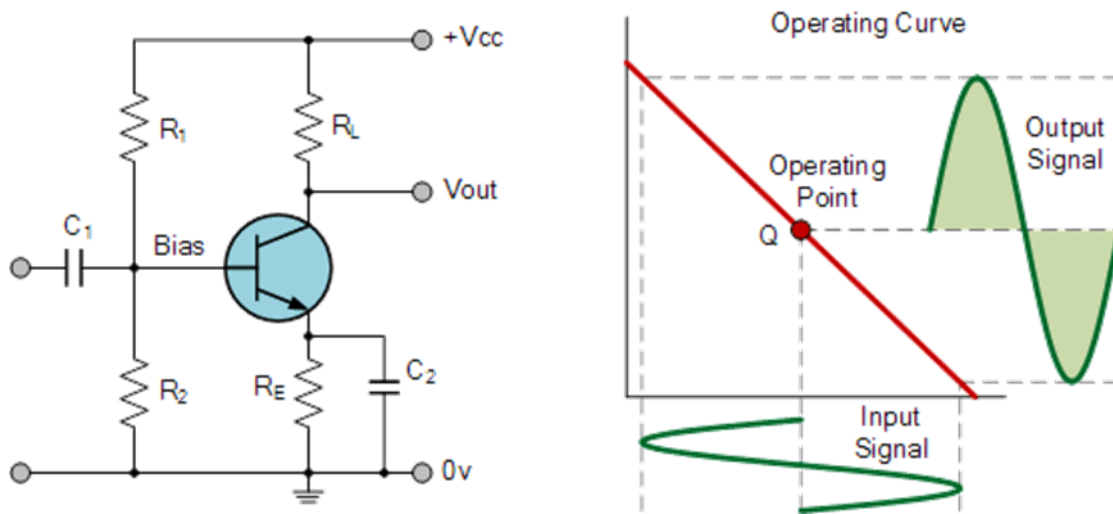
4.2.3.1 Izdelava ojačevalnika

Operacijski ojačevalnik se največ uporablja pri analognih operacijah v industrijski elektroniki za gradnjo ojačevalnih sistemov s končnim ojačenjem, seštevalnih in odštevalnih vezij, napetostnih in tokovnih virov, DA- in AD-pretvornikov in še marsičesa.

Primeri vezij brez povratne zveze so zelo redki. Največkrat izhod operacijskega ojačevalnika preko različnih elektronskih elementov povežemo z enim ali z obema vhodoma. Pozitivna povratna zveza, ko izhod povežemo z neinvertirajočim vhodom, je nestabilna, izhod operacijskega ojačevalnika je enak eni izmed napetosti nasičenja. To izkoriščamo pri gradnji preklopnih vezij, npr. Schmittovih prožilnikov. Največkrat zato izvedemo negativno povratno zvezo, kjer izhod povežemo z invertirajočim vhodom. Takšno vezje je stabilno in izhodna napetost operacijskega ojačevalnika se po navadi giblje med obema napetostma nasičenja. Ob predpostavki, da imamo opraviti z idealnim operacijskim ojačevalnikom, sta analiza in izračun izhodne napetosti sorazmerno preprosta. Oba vhodna toka zanemarimo in zaradi predpostavke neskončnega ojačenja določimo, da sta potenciala na obeh vhodnih priključkih enaka. Sedaj moramo na enem vhodnem priključku (po navadi za invertirajoči vhod) nastaviti enačbo iz tokovnega »Kirchoffovega« zakona in napetostno tokovnih karakteristik, uporabljenih elektronskih elementov, ter iz nje izračunati neznanko, največkrat izhodno napetost.

Vrst ojačevalnikov je veliko. Delimo jih na 4 skupine: A, B, AB in C. Vsak ima svoje prednosti in slabosti.

4.2.3.2 Ojačevalnik razreda A



Slika 25: Vezje in graf ojačevalnika razreda A

(Vir: <https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amplifier-classes.html>)

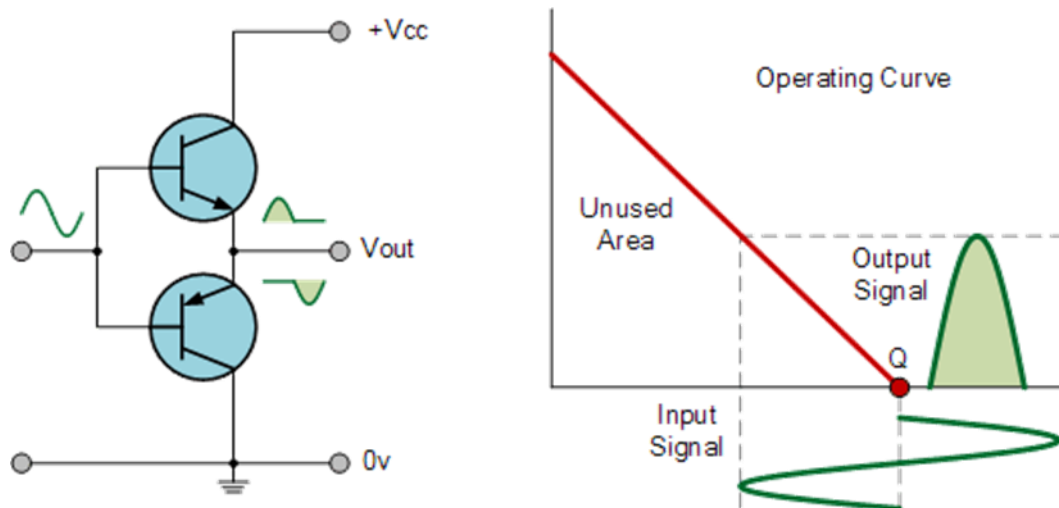
Da bi dosegli visoko linearnost in ojačenje, je izhodna stopnja ojačevalnika razreda A ves čas vklopljena (prevodno). Da bi bil ojačevalnik razvrščen kot "Razred A", mora biti ničelni tok v prostem teku signala v izhodni stopnji enak ali večji od največjega toka obremenitve (običajno zvočnik), ki je potreben za ustvarjanje največjega izhodnega signala.

Ker ojačevalnik razreda A deluje v linearnem delu svojih karakterističnih krivulj, enotna izhodna naprava prevaja skozi polnih 360 stopinj izhodne valovne oblike. Potem je ojačevalnik razreda A enakovreden viru toka.

Ker ojačevalnik razreda A deluje v linearnem območju, je treba enosmerno prednapetost baze (ali vrat) tranzistorjev pravilno izbrati, da se zagotovi pravilno delovanje in nizko popačenje. Ker pa je izhodna naprava ves čas vklopljena, nenehno teče tok, kar predstavlja stalno izgubo moči v ojačevalniku.

Zaradi te stalne izgube moči ojačevalniki razreda A ustvarjajo ogromne količine toplote, kar prispeva k njihovi zelo nizki učinkovitosti pri približno 30 %, zaradi česar so nepraktični za močne ojačevalce. Tudi zaradi visokega toka prostega teka ojačevalnika mora biti napajalnik ustrezno dimenzioniran in dobro filtriran, da se izognete brnenju in hrupu ojačevalnika. Zato so bili zaradi nizke učinkovitosti in težav s pregrevanjem ojačevalnikov razreda A razviti učinkovitejši razredi ojačevalnikov. [4]

4.2.3.3 Ojačevalni razreda B



Slika 26: Vezje in graf ojačevalnika razreda B

(Vir: <https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amplifier-classes.html>)

Ko je vhodni signal pozitiven, pozitivni tranzistor prevaja, medtem ko je negativni tranzistor izklopljen. Podobno, ko je vhodni signal negativen, se pozitivni tranzistor izklopi, medtem ko se negativni tranzistor vklopi in prevaja negativni del signala. Tako tranzistor prevaja le polovico časa, bodisi na pozitivni ali negativni polovici cikla vhodnega signala.

Nato lahko vidimo, da vsaka tranzistorska naprava ojačevalnika razreda B prevaja samo eno polovico ali 180 stopinj izhodne valovne oblike v strogi časovni izmenjavi, a ker ima izhodna stopnja naprave za obe polovici signalne valovne oblike, sta obe polovici združeni za izdelavo celotne linearne izhodne valovne oblike.

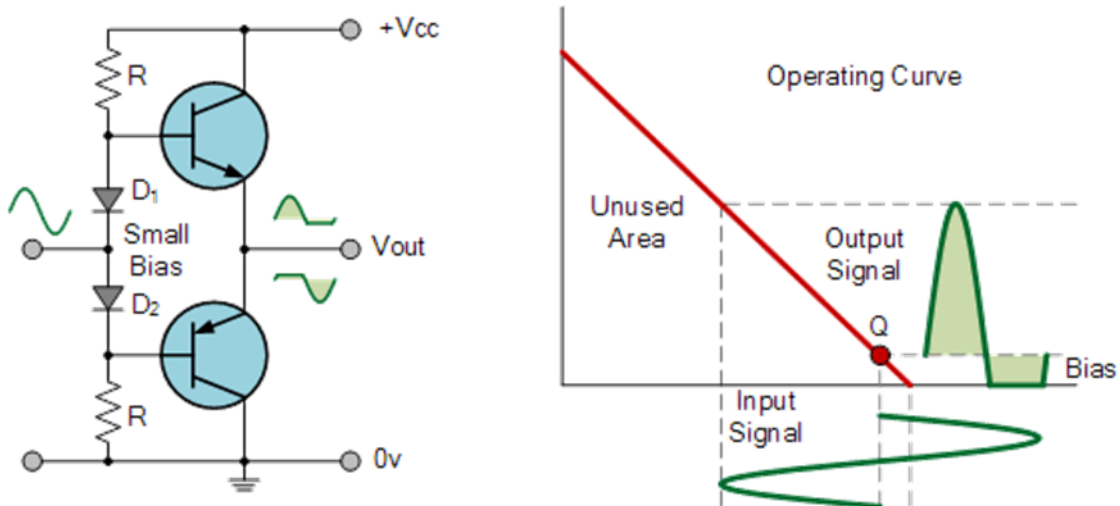
Ta potisno-vlečna zasnova ojačevalnika je očitno učinkovitejša od razreda A, približno 50 %, vendar je težava z zasnovo ojačevalnika razreda B ta, da lahko povzroči popačenje na točki prehoda ničelne oblike valov zaradi mrtvega pasu tranzistorjev. vhodne osnovne napetosti od $-0,7V$ do $+0,7$.

Iz vadnice o tranzistorju se spomnimo, da je potrebna napetost baza-emiter približno 0,7 volta, da bipolarni tranzistor začne prevajati. Nato v ojačevalniku razreda B izhodni tranzistor ni "pristranski" v stanje delovanja "ON", dokler ta napetost ni presežena.

To pomeni, da del valovne oblike, ki spada v to 0,7-voltno okno, ne bo natančno reproduciran, zaradi česar je ojačevalnik razreda B neprimeren za aplikacije natančnih zvočnih ojačevalnikov.

Za premagovanje tega popačenja, ki prečka nič (znano tudi kot Crossover Distortion), so bili razviti ojačevalniki razreda AB. [4]

4.2.3.4 Ojačevalnik razreda AB



Slika 27: Vežje in graf ojačevalnika razreda AB

(Vir: <https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amplifier-classes.html>)

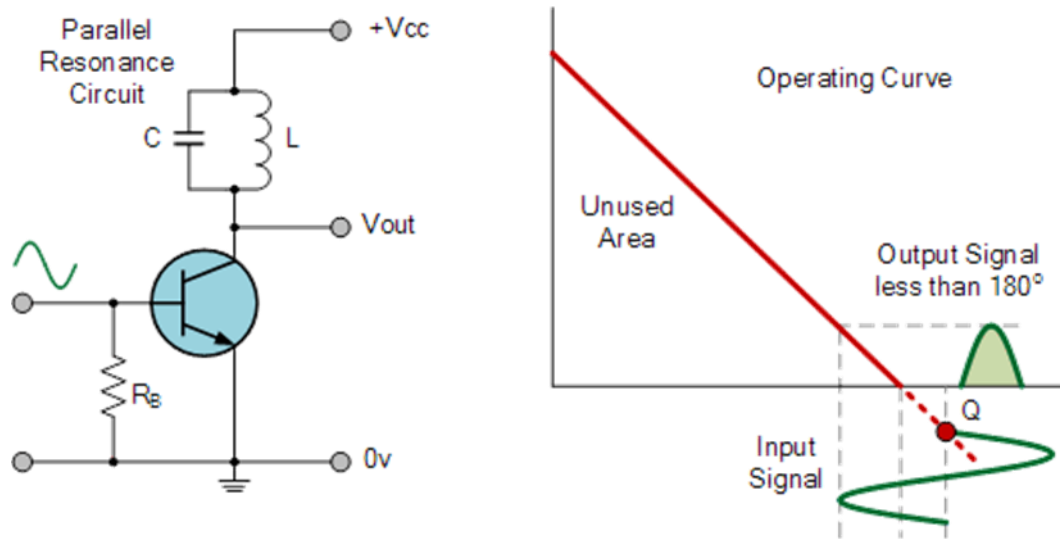
Kot že ime pove, je ojačevalnik razreda AB kombinacija ojačevalnikov tipa "Razred A" in "Razred B", ki smo si jih ogledali zgoraj. Klasifikacija ojačevalnikov AB je trenutno ena najpogosteje uporabljenih vrst zasnove ojačevalnikov zvoka.

Ojačevalnik razreda AB je različica ojačevalnika razreda B, kot je opisano zgoraj, le da lahko obe napravi hkrati prevajata okoli točke križanja valovnih oblik, kar odpravlja težave s popačenjem križanja prejšnjega ojačevalnika razreda B.

Oba tranzistorja imata zelo majhno prednapetost, običajno pri 5 do 10 % mirujočega toka, da prednapetost tranzistorjev doseže tik nad mejno točko. Nato bo prevodna naprava, bodisi bipolarna ali FET, "VKLOPLJENA" več kot pol cikla, vendar veliko manj kot en polni cikel vhodnega signala. Zato v zasnovi ojačevalnika razreda AB vsak od potisnih in vlečnih tranzistorjev prevaja nekaj več kot polovico prevodnega cikla v razredu B, vendar veliko manj kot celoten cikel prevodnosti razreda A.

Z drugimi besedami, prevodni kot ojačevalnika razreda AB je nekje med 180° in 360° , odvisno od izbrane prednapetostne točke, kot je prikazano. [4]

4.2.3.5 Ojačevalnik razreda C



Slika 28: Vezje in graf ojačevalnika razreda C

(Vir: <https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amplifier-classes.html>)

Zasnova ojačevalnika razreda C ima največjo učinkovitost, a najslabšo linearnost med tukaj omenjenimi razredi ojačevalnikov. Prejšnji razredi A, B in AB veljajo za linearne ojačevalnike, saj sta amplituda in faza izhodnih signalov linearno povezani z amplitudo in fazo vhodnih signalov.

Vendar pa je ojačevalnik razreda C močno pristranski, tako da je izhodni tok enak nič več kot polovico cikla vhodnega sinusnega signala s tranzistorjem v prostem teku na svoji mejni točki. Z drugimi besedami, prevodni kot za tranzistor je znatno manjši od 180° in je na splošno okoli območja 90° .

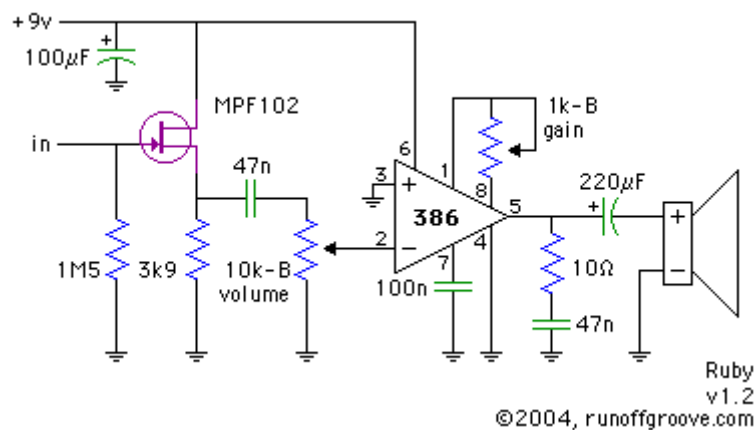
Medtem ko ta oblika prednapetosti tranzistorja daje veliko bolj izboljšano učinkovitost, okoli 80 % ojačevalnika, uvaja zelo močno popačenje izhodnega signala. Zato ojačevalniki razreda C niso primerni za uporabo kot avdio ojačevalniki.

Zaradi velikega zvočnega popačenja se ojačevalniki razreda C običajno uporabljajo v visokofrekvenčnih sinusnih oscilatorjih in nekaterih vrstah radiofrekvenčnih ojačevalnikov, kjer je mogoče impulze toka, proizvedene na izhodu ojačevalnika, pretvoriti v celotne sinusne valove določene frekvence. Uporaba LC-resonančnih krogov v svojem kolektorskem krogu.

Zaradi majhne porabe pri slušalkah in velikosti smo se odločili za ojačevalnik razreda AB. Po tehtnem premisleku smo se odločili za ojačevalnik lm386. Ta je bil razvit okoli leta 1975 in je zaradi svoje preprostosti uporabljen v veliko napravah, kot so: radiji, televizije ... Spada v kategorijo op-amp (operational amplifier).

Vhodni impedanci sta končni, lahko sta celo različni za vsak vhod. Tudi izhodna upornost ni enaka natančno nič. Ojačenje ne more biti neskončno.

Njegova moč je en Watt, kar se sliši zelo malo, vendar je v tem svetu, kjer je veliko zavajajočih informacij, en Watt povsem dovolj, da zapolni celo sobo z zvokom. Ko smo razumeli delovanje in uporabo, smo se lotili načrtovanja sheme za ojačevalca. Po veliko pregledanih shemah, ki smo jih našli na spletu, smo izbrali takšno, ki se nam je zdela najbolj primerna za naše potrebe. Iskali smo takšno, ki ima najmanjše število komponent in ima nastavljiv gain in volume. Poleg tega smo tudi našli posnetek, kjer je bilo jasno, da to vezje dejansko deluje. [4]



Slika 29: Vezava ojačevalca

(Vir: <http://www.runoffgroove.com/ruby.html>)

Shema vsebuje:

- 1x lm386
- 1x 100uf
- 2x 47n
- 1x 100nf
- 1x 1k potenciometer
- 1x 10k potenciometer
- 1x fet
- 1x 1M5 Ohm
- 1x 3k9 Ohm
- 1x 10 Ohm

Ni nam preostalo drugega, kot da jo sestavimo in preizkusimo. Najprej smo jo sestavili na preizkusno ploščico. Za vezavo smo potrebovali 15 min. Vezje je delovalo, vendar smo že pri prvih testih opazili, da je zvok z veliko motnjami, ki se spreminjajo glede na to, kje oz. če se dotikaš vezja. Razlog za te šume so dolgi nezaščiteni vodniki, ki delujejo kot antene. Pri

visokih frekvencah se iz enega vodnika inducira napetost v drugega, kar v kombinaciji z visoko stopnjo ojačenja povzroči, da se vse skupaj samo eksponentno stopnjuje, dokler ne doseže maksimalne zmogljivosti ojačenja.

Zato smo to upoštevali pri izdelavi vezja na THT-ploščico, na kateri sva komponente razvrstila tako, da so bile razdalje vodnikov čim krajše. Narisali smo skico, kako sestaviti vezje. Za izdelavo vezja smo potrebovali 40 min. Z milimetrom smo preverili vse povezave in če je kateri vodnik v stiku, s čimer ne bi smel biti. Sledil je test.



Slika: Potenciometer z ojačevalcem zvoka priklopljen na zvočnik

(Osebni vir)

4.2.4 Filtri

Poznamo dve osnovni obliki filtrov. To so »high pass« in »low pass« filtri. Kot že ime pove, »low pass« prepušča samo nizke frekvence, »high pass« pa prepusti samo visoke frekvence.

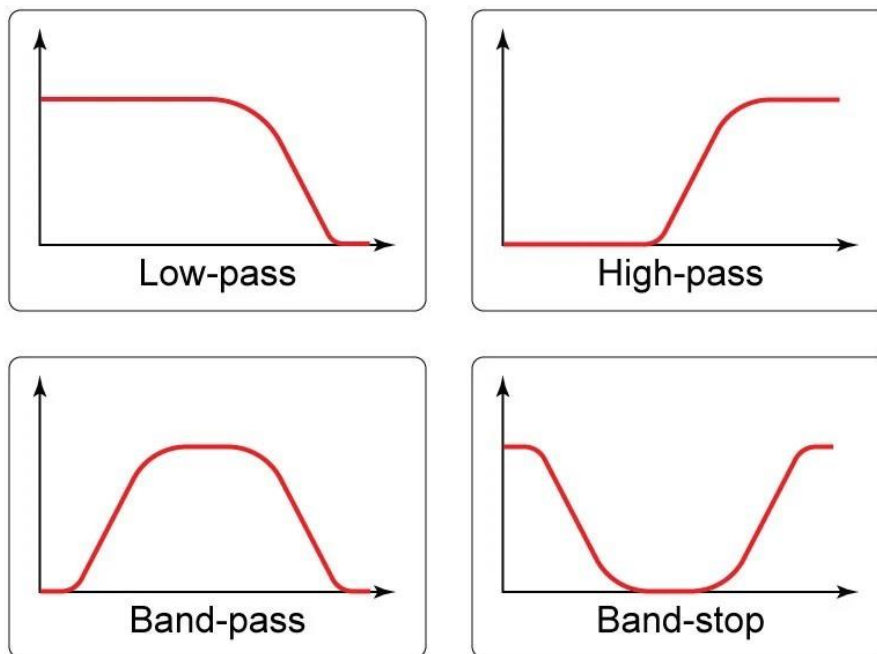
Takšen filter je sestavljen iz 3 osnovnih komponent: kondenzator, upor in potenciometer. V različnih vezavah in vrednostih dobimo željeno stopno filtriranje.

Mi smo raje uporabili spletni kalkulator.

- Pod nizke frekvence spadajo toni, ki imajo manjšo frekvenco od 350 Hz, srednje od 350 Hz do 700 Hz in visoke več kot 700 Hz

Filter za srednje frekvence je sestavljen iz »low pass« in »high pass« filtra, ki omejita svoje delovanje na točno določeno območje.

Prazna tretja struna je A4, katere frekvenca znaša 440 Hz, kar pomeni, da struna zaniha 440-krat v sekundi. Vsaka oktava višje je frekvenca enkrat večja. Torej A5 zaniha 880-krat v sekundi.



Slika 30: Grafske oblike filtrov

(Vir: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/low-pass-filter-tutorial-basics-passive-RC-filter/>)

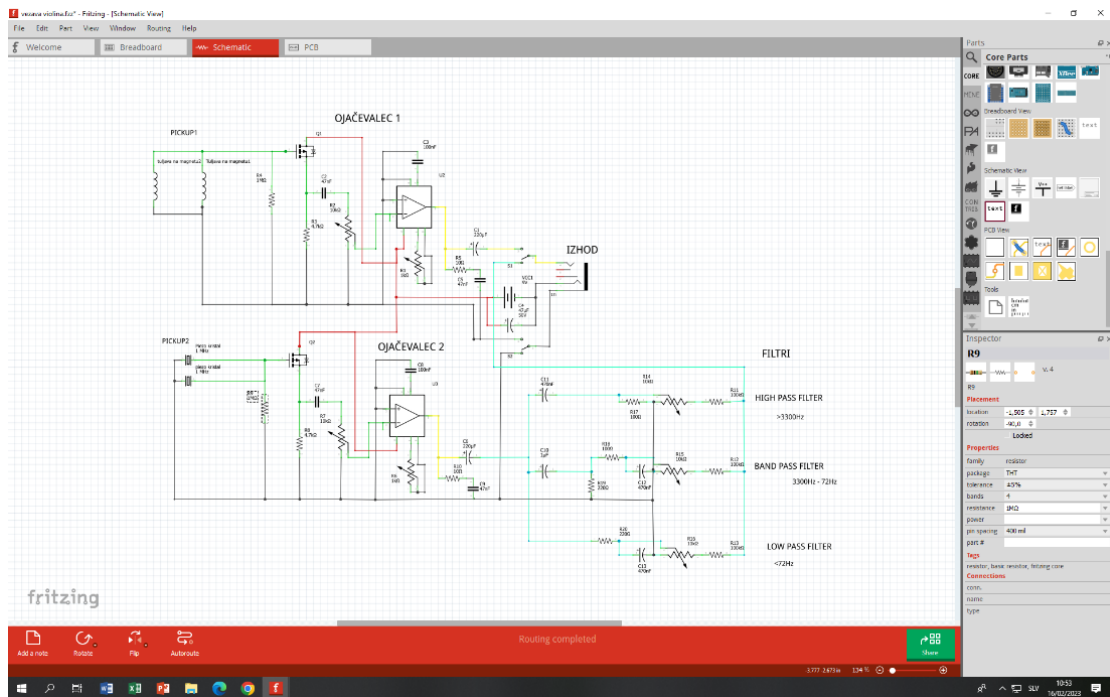
Zelo zanimivo je tudi, kakšne so spremembe oblike grafa pri različnih tehnikah igranja. npr. pri pizzicatu je sinusoida zelo čista. Pri igranju z lokom (arco) pa je zelo narezljana, kar kaže na to, kako lok deluje na struno. Prav tako je zanimivo, kako se razlikuje graf pri vlečenju v eno ali drugo smer, in sicer se celoten graf obrne za 180°.

| Nizke frekvence | | | Srednjo visoke frekvence | | | Visoke frekvence | | |
|-----------------|----------------|-----------------|--------------------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|
| Note | Frequency (Hz) | Wavelength (cm) | Note | Frequency (Hz) | Wavelength (cm) | Note | Frequency (Hz) | Wavelength (cm) |
| C0 | 16.35 | 2109.89 | F#4/Gb4 | 369.99 | 93.24 | F#5/Gb5 | 739.99 | 46.62 |
| C#0/Db0 | 17.32 | 1991.47 | G4 | 392.00 | 88.01 | G5 | 783.99 | 44.01 |
| D0 | 18.35 | 1879.69 | G#4/Ab4 | 415.30 | 83.07 | G#5/Ab5 | 830.61 | 41.54 |
| D#0/Eb0 | 19.45 | 1774.20 | A4 | 440.00 | 78.41 | A5 | 880.00 | 39.20 |
| E0 | 20.60 | 1674.62 | A#4/Bb4 | 466.16 | 74.01 | A#5/Bb5 | 932.33 | 37.00 |
| F0 | 21.83 | 1580.63 | B4 | 493.88 | 69.85 | B5 | 987.77 | 34.93 |
| F#0/Gb0 | 23.12 | 1491.91 | C5 | 523.25 | 65.93 | C6 | 1046.50 | 32.97 |
| G0 | 24.50 | 1408.18 | C#5/Db5 | 554.37 | 62.23 | C#6/Db6 | 1108.73 | 31.12 |
| G#0/Ab0 | 25.96 | 1329.14 | D5 | 587.33 | 58.74 | D6 | 1174.66 | 29.37 |
| A0 | 27.50 | 1254.55 | D#5/Eb5 | 622.25 | 55.44 | D#6/Eb6 | 1244.51 | 27.72 |
| A#0/Bb0 | 29.14 | 1184.13 | E5 | 659.25 | 52.33 | E6 | 1318.51 | 26.17 |
| B0 | 30.87 | 1117.67 | F5 | 698.46 | 49.39 | F6 | 1396.91 | 24.70 |
| C1 | 32.70 | 1054.94 | | | | F#6/Gb6 | 1479.98 | 23.31 |
| C#1/Db1 | 34.65 | 995.73 | | | | G6 | 1567.98 | 22.00 |
| D1 | 36.71 | 939.85 | | | | G#6/Ab6 | 1661.22 | 20.77 |
| D#1/Eb1 | 38.89 | 887.10 | | | | A6 | 1760.00 | 19.60 |
| E1 | 41.20 | 837.31 | | | | A#6/Bb6 | 1864.66 | 18.50 |
| F1 | 43.65 | 790.31 | | | | B6 | 1975.53 | 17.46 |
| F#1/Gb1 | 46.25 | 745.96 | | | | C7 | 2093.00 | 16.48 |
| G1 | 49.00 | 704.09 | | | | C#7/Db7 | 2217.46 | 15.56 |
| G#1/Ab1 | 51.91 | 664.57 | | | | D7 | 2349.32 | 14.69 |
| A1 | 55.00 | 627.27 | | | | D#7/Eb7 | 2489.02 | 13.86 |
| A#1/Bb1 | 58.27 | 592.07 | | | | E7 | 2637.02 | 13.08 |
| B1 | 61.74 | 558.84 | | | | F7 | 2793.83 | 12.35 |
| C2 | 65.41 | 527.47 | | | | F#7/Gb7 | 2959.96 | 11.66 |
| C#2/Db2 | 69.30 | 497.87 | | | | G7 | 3135.96 | 11.00 |
| D2 | 73.42 | 469.92 | | | | G#7/Ab7 | 3322.44 | 10.38 |
| D#2/Eb2 | 77.78 | 443.55 | | | | A7 | 3520.00 | 9.80 |
| E2 | 82.41 | 418.65 | | | | A#7/Bb7 | 3729.31 | 9.25 |
| F2 | 87.31 | 395.16 | | | | B7 | 3951.07 | 8.73 |
| F#2/Gb2 | 92.50 | 372.98 | | | | C8 | 4186.01 | 8.24 |
| G2 | 98.00 | 352.04 | | | | C#8/Db8 | 4434.92 | 7.78 |
| G#2/Ab2 | 103.83 | 332.29 | | | | D8 | 4698.63 | 7.34 |
| A2 | 110.00 | 313.64 | | | | D#8/Eb8 | 4978.03 | 6.93 |
| A#2/Bb2 | 116.54 | 296.03 | | | | E8 | 5274.04 | 6.54 |
| B2 | 123.47 | 279.42 | | | | F8 | 5587.65 | 6.17 |
| C3 | 130.81 | 263.74 | | | | F#8/Gb8 | 5919.91 | 5.83 |
| C#3/Db3 | 138.59 | 248.93 | | | | G8 | 6271.93 | 5.50 |
| D3 | 146.83 | 234.96 | | | | G#8/Ab8 | 6644.88 | 5.19 |
| D#3/Eb3 | 155.56 | 221.77 | | | | A8 | 7040.00 | 4.90 |
| E3 | 164.81 | 209.33 | | | | A#8/Bb8 | 7458.62 | 4.63 |
| F3 | 174.61 | 197.58 | | | | B8 | 7902.13 | 4.37 |
| F#3/Gb3 | 185.00 | 186.49 | | | | | | |
| G3 | 196.00 | 176.02 | | | | | | |
| G#3/Ab3 | 207.65 | 166.14 | | | | | | |
| A3 | 220.00 | 156.82 | | | | | | |
| A#3/Bb3 | 233.08 | 148.02 | | | | | | |
| B3 | 246.94 | 139.71 | | | | | | |
| C4 | 261.63 | 131.87 | | | | | | |
| C#4/Db4 | 277.18 | 124.47 | | | | | | |
| D4 | 293.66 | 117.48 | | | | | | |
| D#4/Eb4 | 311.13 | 110.89 | | | | | | |
| E4 | 329.63 | 104.66 | | | | | | |
| F4 | 349.23 | 98.79 | | | | | | |

Slika 31: Frekvence tonov

(Vir: <https://pages.mtu.edu/~suits/notefreqs.html>)

4.2.4.1 Končna vezava



Slika 32: Končna elektro shema

(Osebni vir)

5 ANALIZA

5.1 Osciloskop

Za analiziranje, testiranje in primerjanje smo si pomagali z digitalnim osciloskopom SIGLENT SDS1104X-U 100MHz. Ta nam omogoča, da lahko opazujemo, kako se spreminja napetost v odvisnosti od časa. Z njim smo si pomagali analizirati signale, ki smo jih dobili iz različnih pickupov. Prvi test smo naredili s kar eno tuljavo, ki smo jo imeli doma. Vanjo smo vgradili magnet in jo priklopili na osciloskop. Ko smo blizu tuljave zabrenkali na strune, smo na osciloskopu dobili podatke o izhodni napetosti. Ta je znašala okoli 10mV, kar nam je dalo znak, da ni potrebna neka posebna tuljava za pobiranje signalov.

Da bi pa lahko te pridobljene podatke ovrednotili, smo potrebovali še referenčne podatke. Pridobili smo jih z analizo signala električne kitare, akustične kitare s piezo pickupom in akustične violine s piezo pickupom. Najprej smo premerili el. kirato. Ta je na magnetu z upornostjo $6k\Omega$ in kapacitivnostjo $107\mu F$ podala maksimalno napetost 700mV. Sledila je akustična violina, katera uporablja »piezo« kristal. Ta je na izhodu podal maksimalno napetost 180mV. Po primerjavi podatkov smo lahko poleg tega, da imajo instrumenti različno barvo zvoka ocenili, da se napetosti med seboj precej razlikujejo vendar se gibljejo v območju enega volta.

5.1.1 Kaj je osciloskop

Elektronski osciloskop je elektronska merilna naprava, ki omogoča opazovanje nenehnega spreminjanja signala napetosti, po navadi kot dvodimenzionalni graf enega ali več električnih potencialnih razlik, z uporabo navpične osi ali osi »y«, ter izpis kot funkcija časa (vodoravna ali »x« os). V primerni izvedbi omogoča opazovanje napetosti, malih po velikosti in velikih po frekvenci, pri tem pa zelo malo obremenjuje vir merjenega signala, kar posledično omogoča realen in natančen prikaz merjenega signala. Čeprav osciloskop prikazuje napetost na svoji navpični osi, lahko prikaže katero koli drugo količino, ki se lahko pretvori v napetost. V večini primerov osciloskop kaže dogodke, ki se ponavljajo bodisi brez sprememb bodisi z zelo počasnimi spremembami. Osciloskopi se običajno uporabljajo za opazovanje natančne oblike vala električnega signala. Poleg prikaza amplitude signala osciloskop lahko pokaže izkrivljanje, čas med dvema dogodkoma (kot so širina pulza, čas ali čas vzpona) in relativen čas dveh povezanih signalov. Navedene lastnosti naredijo osciloskop enega najuporabnejših instrumentov na področju tehnike in naravoslovnih znanosti. Osciloskopi se uporabljajo v znanosti, medicini, tehniki in telekomunikacijski industriji. Najpogostejša uporaba osciloskopov je za vzdrževanje, popravila in diagnostiko elektronske opreme in za raznorazne

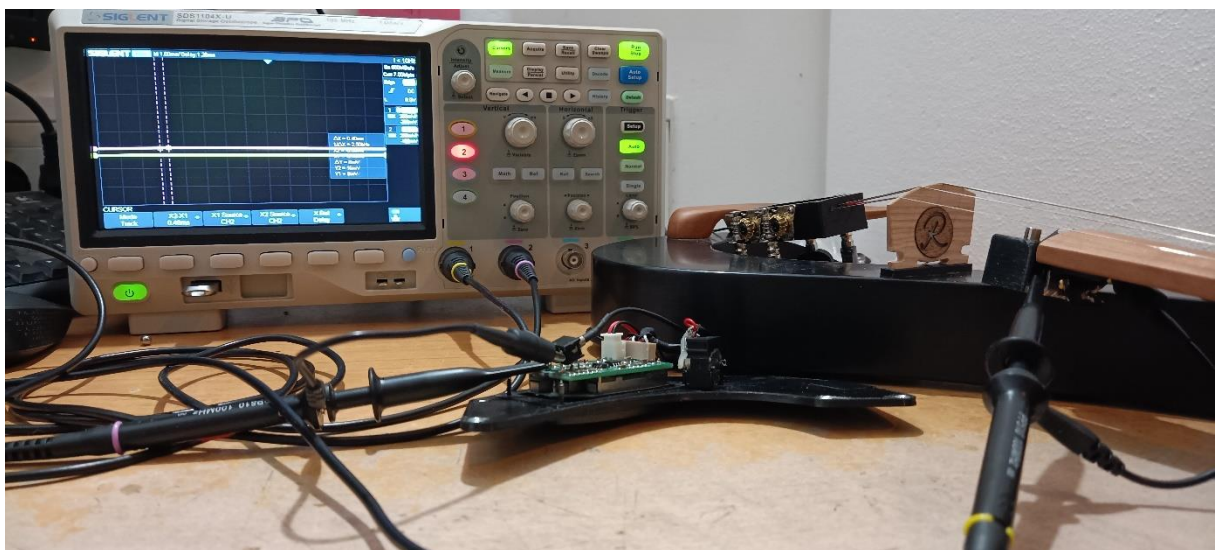
meritve pri raziskovalno/laboratorijskem delu. Za posebne namene pa se osciloskopi lahko uporabljajo kot merilni inštrument pri analizi avtomobilskega sistema ali za prikaz vala pri srčnem utripu (elektrokardiogram). [1]

5.1.2 Zaslona in osnovne zunanje lastnosti

Sprednja stran klasičnega osciloskopa je običajno razdeljena na štiri dele: zaslon, vertikalni nadzor, horizontalni nadzor in kontrol proženja. Prikaz je na zaslonu (CRT ali LCD), na katerem se nahajajo horizontalne in vertikalne črte, skupaj z merilno skalo. Poleg zaslona pa je večina osciloskopov opremljena še s tremi osnovnimi kontrolami, to so: gumb za nastavev ostrine žarka, gumb za nastavev svetlosti žarka ter gumb za iskanje žarka. Vertikalni del nadzira velikost prikazane amplitude signala (izbiramo merilno območje na vertikalni Y osi, število voltov na razdelek), vertikalni del vsebuje tudi preklopnik, na katerem izberemo, kakšno vrsto napetost bomo merili (AC/DC), ter ozemljitev (GND) za nastavev izhodiščne pozicije žarka. [1]

Horizontalni del pa nadzira merilno območje časa (izbiramo merilno območje časa potovanja žarka skozi en kvadrant na zaslon).

Poleg osnovnega merilnika pa potrebujemo tudi merilno sondo, s pomočjo katere merimo signal. Sonde imajo vgrajeno stikalo, ki služi kot delilnik napetosti, s čimer si še dodatno razširimo merilno območje. [1]



Slika 33: Izdelana violina priklopljena na osciloskop

(Osebni vir)

5.1.3 Velikost in prenosnost

Večina sodobnih osciloskopov je dovolj lahkih in kompaktnih, da lahko z njimi dela samo ena oseba. Poznamo tudi druge posebne prenosne enote, recimo številne miniaturne na baterijski

pogon, za merilne aplikacije, ki jih potrebujemo na terenu. Laboratorijski osciloskopi, zlasti starejše enote, ki uporabljajo vakuumске cevi, pa se uporabljajo kot stacionarne naprave ali pa se lahko pritrdijo na posebne namenske vozičke. Poznamo pa tudi posebne osciloskope, ki se zaradi njihovega namena in potrebe po stalni prisotnosti vgradijo kar v samo ohišje naprave, ki jo merimo. [1]

5.1.4 Vhodi osciloscopa

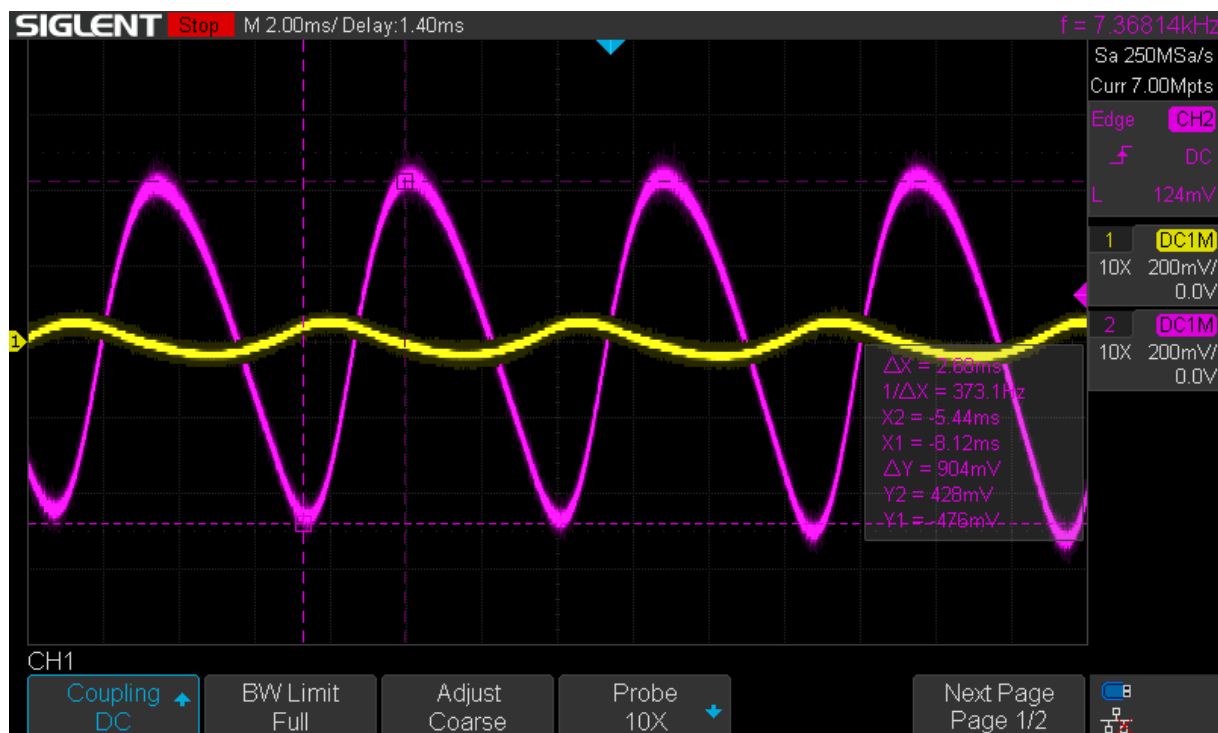
Signal, ki ga merimo, priključimo na enega izmed vhodov osciloscopa, kar je običajno koaksialni priključek, kot je BNC in UHF. Banana vtiči se lahko uporabljajo za nižje frekvence. Če ima vir signala svoj koaksialen priključek, uporabimo kar tega, drugače pa uporabimo kabel osciloscopa s posebno merilno sondo. Za splošne namene imajo osciloskopi običajno prisotno vhodno impedanco $1\text{ M}\Omega$ vzporedno z majhno kapacitivnostjo 20 pF (pico faradov). To omogoča uporabo standardnih sond osciloscopa. Osciloskopi za uporabo zelo visokih frekvencah imajo 50-ohmske vložke, ki jih je treba bodisi neposredno povezati z 50-ohmskimi signali bodisi uporabljati sonde Z0 oziroma aktivne sonde. [1]

5.1.5 Sonde osciloscopa

Poleg osnovnega merilnika potrebujemo tudi merilno sondo, s pomočjo katere merimo signal. Sonde imajo vgrajeno stikalo, ki služi kot delilnik napetosti, s čimer si še dodatno razširimo merilno območje. [1]

5.2 Meritve

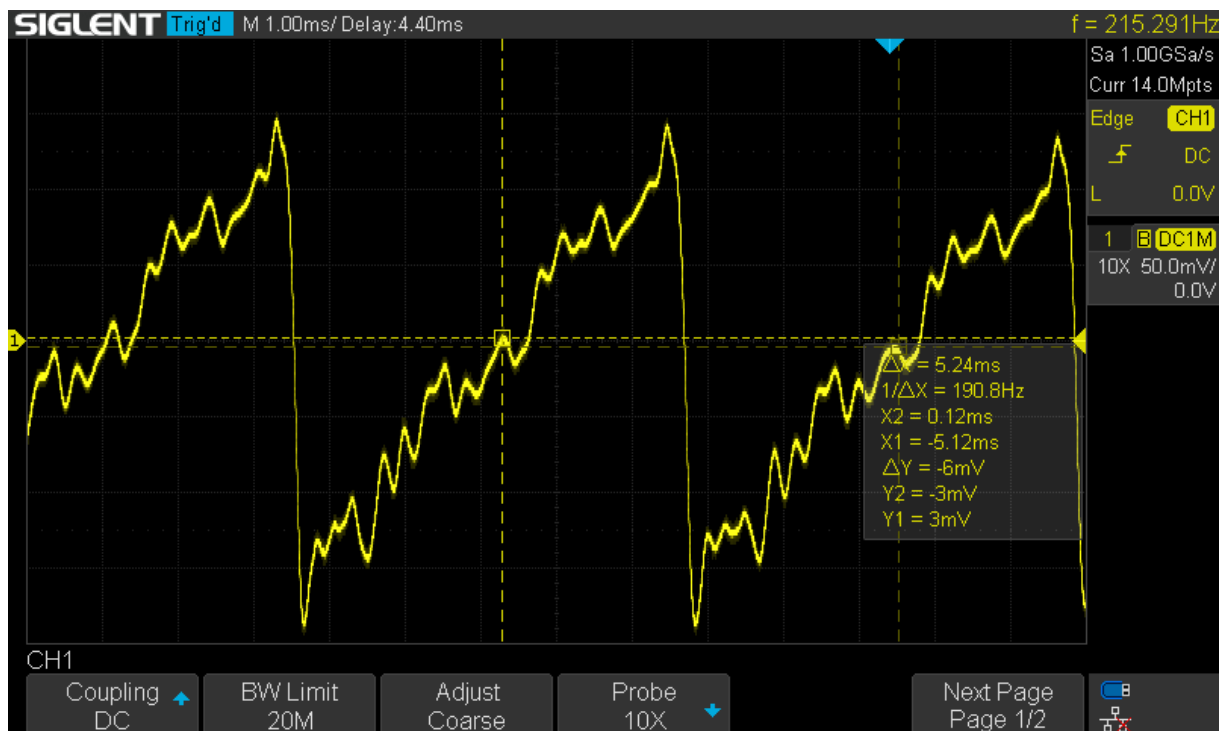
Vsi testi so izvedeni na G-struni, ki vibrira s frekvenco 192 Hz.



Slika 34: Signal električne kitare

(Osebni vir)

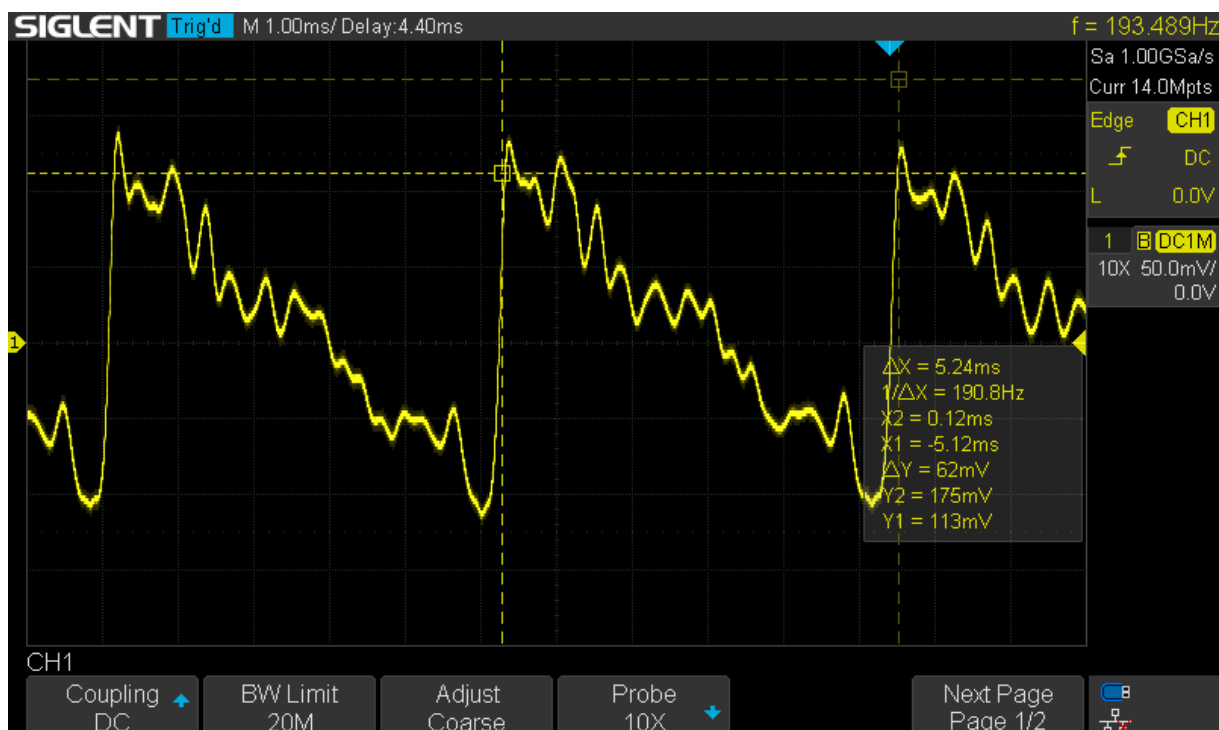
Za primerjavo smo vzeli el. kitaro. Ta oddaja napetost okoli 100 mv in po ojačenju se ta dvigne na okoli en volt. To je končna napetost, ki jo želimo doseči. Vidimo lahko tudi, kako čist je signal.



Slika 35: Signal iz piezo kristala

(Osební vir)

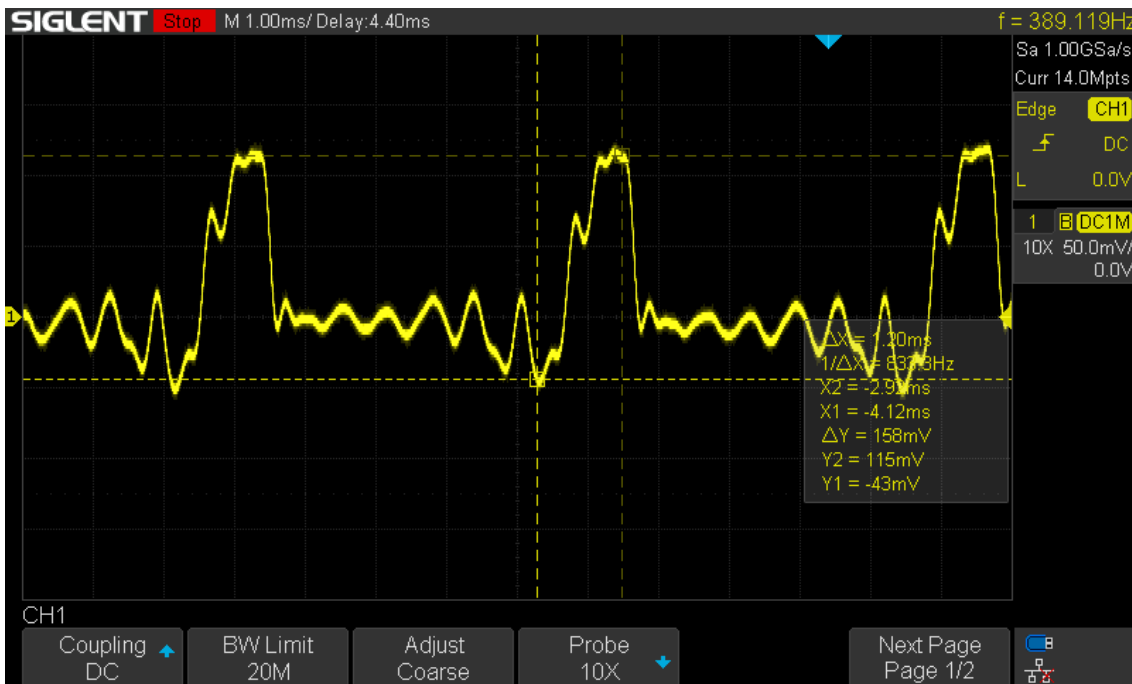
Na grafu lahko vidimo meritev izhodne napetosti iz piezo kristala. Takšen graf dobimo pri igranju z lokom od žabice porti konici.



Slika 36: Signal iz piezo kristala (iz druge strani)

(Osební vir)

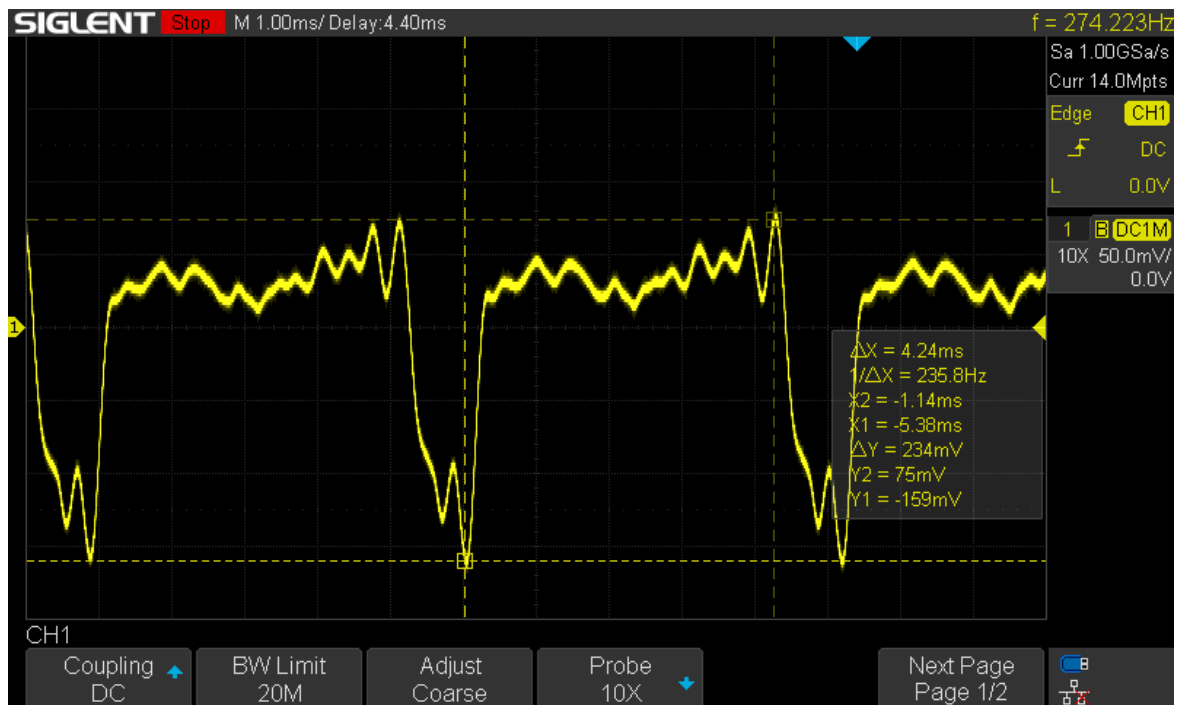
Na grafu lahko vidimo meritev izhodne napetosti iz piezo kristala. Takšen graf dobimo pri igranju z lokom od konice porti žabici.



Slika 37: Signal iz magenta

(Osební vir)

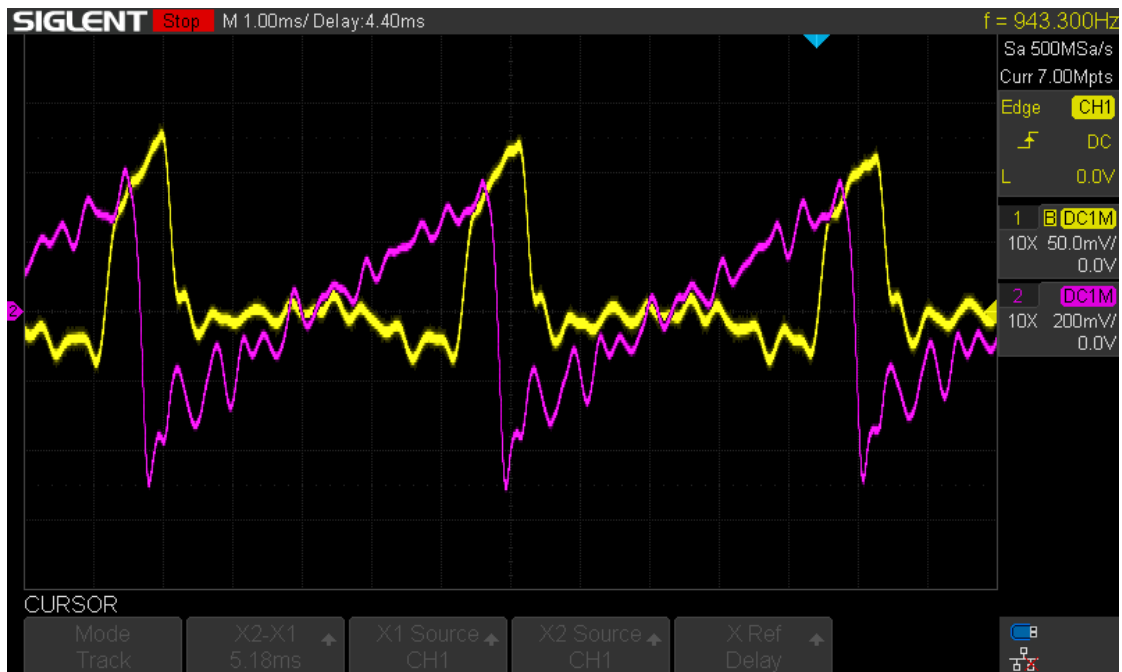
Na grafu lahko vidimo meritev izhodne napetosti iz magneta. Takšen graf dobimo pri igranju z lokom od žabice porti konici.



Slika 38: Signal iz magneta (iz druge strani)

(Osební vir)

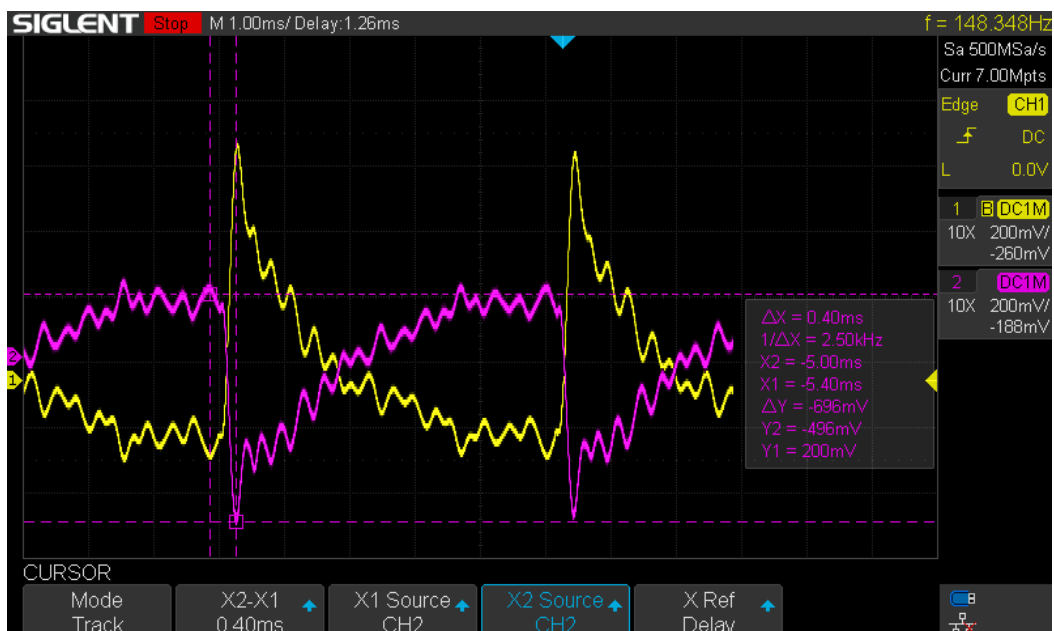
Na grafu lahko vidimo meritev izhodne napetosti iz magneta. Takšen graf dobimo pri igranju z lokom od konice porti žabici.



Slika 39: Kombinacija obeh signalov

(Osebni vir)

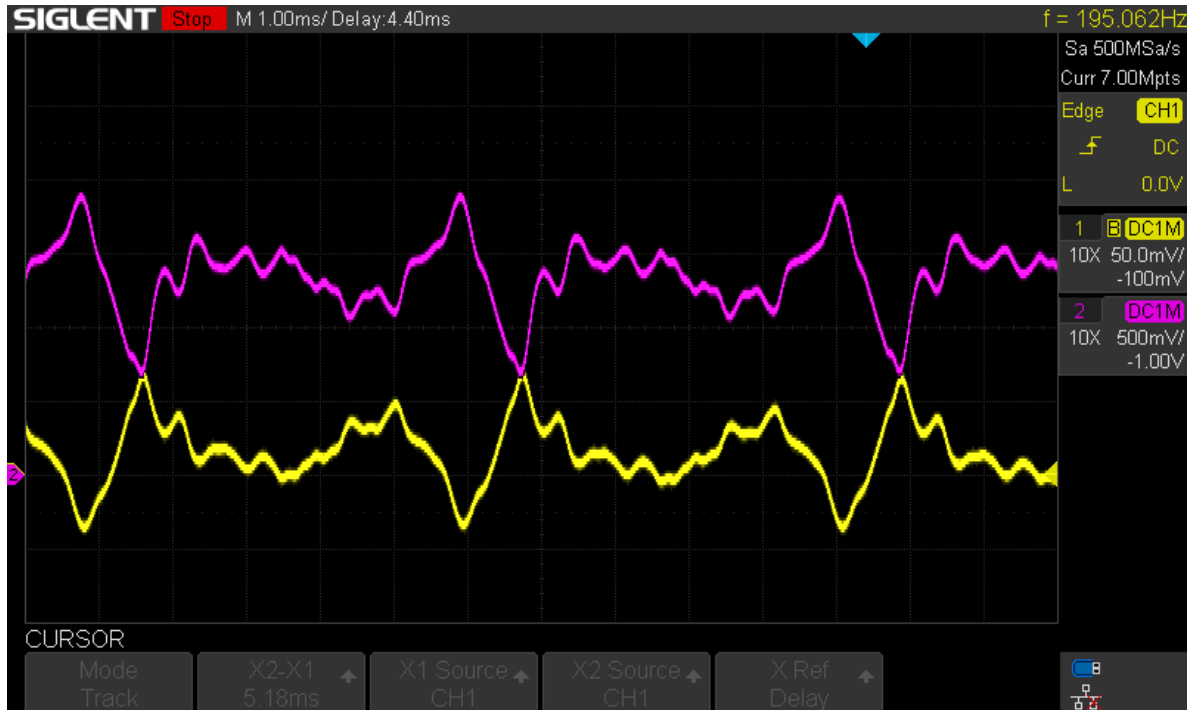
Na prvem kanalu lahko vidimo graf izhodne napetosti iz magneta. Na drugem kanalu pa lahko vidimo graf izhodne napetosti iz piezo kristala.



Slika 40: Piezo kristal, pred in po ojačenju

(Osebni vir)

To je meritev piezo sprejemnika. Na prvem kanalu (rumen) je direktna meritev na sprejemniku. Na drugem kanalu je meritev po ojačenju. Zanimivo je, da se napetost nič ne spremeni. Spremeni pa se oblika signala in sicer je obrnjen za 180°. Poleg tega so pa vrhi malo zglajeni (verjetno zaradi filtrov).



Slika 41: Magnet, pred in po ojačenju

(Osebni vir)

To je meritev ojačenja magnetov. Na prvem kanalu je merjeno direktno na magnetih. Na drugem pa je merjeno po ojačenju. Treba se je zavedati, da je razmerje 1 kanala nastavljeno na 50 mv na sektor. Na drugem kanalu pa je nastavljeno na 500 mv na sektor, kar pomeni da je gain okoli 10.

6 ZAKLJUČEK

Celotno raziskovalno delo je bilo zelo zanimivo, ker smo na začetku vedeli zelo malo o elektrifikaciji instrumentov in ojačanju signalov. Za nas je bil prav velik izziv vse skupaj izrisati, ker je veliko neravnih površin, ki jih je težko dimenzionirati. Kljub vsem zanimivim težavam nam je končen izdelek prinesel zadovoljstvo, ker deluje tako, kot smo si želeli. Ostalo je še precej stvari neraziskanih. Na primer: kakšni tokovi tečejo pri izmenjavi signalov, na kakšni razdalji se začnejo pojavljati motnje, kako spremeniti ne balansiran signal v balansiranega...Zagotovo se bomo še lotili izdelave kakšne violine, mogoče celo akustične. Vso pridobljeno znanje nam bo zagotovo služilo pri nadaljnjih projektih.

6.1 Analiza hipotez

- Visoke frekvence so manj izrazite (pri poslušanju se je izkazalo, da je glasnost nizkih frekvenc večje, kot pri visokih. Razlog za to je, da les blokira visoke frekvence ter amplituda pri nižjih frekvencah je večja)
- Glasnost samih magnetov, brez ojačevalnika, je občutno manjša, kot pri ostalih Piezo kristalih (to se je videlo pri testih z osciloskopom. Amplituda pri magnetih je manjša, ker niso optimizirani za to nalogo)
- Teža violine je presegla 1kg (pri tehtanju se je pokazalo, da teža znaša kar 1,5kg.)
- Violina je delujoča (pri igranju se je pokazalo, da violina deluje, kot smo pričakovali)
- Violina brez ojačenja je zelo tiha (pri igranju je nismo slišali☺)
- Uглаševanje violine je občutno lažje in bolj natančno, v primerjavi s klasično violino (pri uglaševanju se je pokazalo, da je bilo precej lažje struno uglasti na pravo frekvenco)
- Ima priključek in možnost poslušanja na slušalke (uspelo nam je narediti, da elektronika omogoča tudi poslušanja na slušalke)

7 VIRI IN LITERATURA

- [1] Wikipedija. Osciloskop (Svetovni splet). 2022. (citirano: 25.2.2023)
Dostop na naslovu:
<https://sl.wikipedia.org/wiki/Osciloskop>
- [2] Wikipedija. Operacijski ojačevalec (Svetovni splet). 2023. (citirano: 22.2.2023)
Dostop na naslovu:
https://en.wikipedia.org/wiki/Operational_amplifier
- [3] Ruby. Shema vezave ojačevalca (Svetovni splet). 2021. (citirano: 21.2.2023)
Dostop na naslovu:
<https://www.runoffgroove.com/ruby.html>
- [4] Electronics tutorials. Razredi ojačevalcev (Svetovni splet). 2023. (citirano: 5.2.2023)
Dostop na naslovu:
<https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amplifier-classes.html>
- [5] Physics of music. Frekvence tonov (Svetovni splet). 1998. (citirano: 8.2.2023)
Dostop na naslovu:
<https://pages.mtu.edu/~suits/notefreqs.html>
- [6] Mastering box. Filtri frekvenc (Svetovni splet). 2023. (citirano: 13.2.2023)
Dostop na naslovu:
<https://www.masteringbox.com/filter-types/>
- [7] Blue vision. Eloksacija (Svetovni splet). 2023. (citirano: 27.2.2023)
Dostop na naslovu:
<https://www.alu-ograje.net/ufaq/kaj-je-eloksacija-eloksiran-aluminij/>