

# Kompresija audio signala

---

**Franc, Matej**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:889636>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-31**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

# **Kompresija audio signala**

**Završni rad**

**Matej Franc**

**Osijek, 2023**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 20.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Matej Franc
<b>Studij, smjer:</b>	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	4906, 21.09.2020.
<b>OIB Pristupnika:</b>	21164896839
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Davor Vinko
<b>Sumentor:</b>	,
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Kompresija audio signala
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektronika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rad:</b>	Zadatak završnog rada je opisati princip rada sklopa za kompresiju audio signala. Napraviti simulaciju rada odabranog sklopa. Na izrađenom sklopu izvršiti laboratorijska mjerenja u vremenskoj i frekvencijskoj domeni. Usporediti rezultate mjerenja i simulacija. Tema rezervirana za: Matej Franc
<b>Prijedlog ocjene završnog rada:</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	20.09.2023.
<b>Datum potvrde ocjene od strane Odbora:</b>	
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 21.09.2023.

**Ime i prezime studenta:**

Matej Franc

**Studij:**

Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

4906, 21.09.2020.

**Turnitin podudaranje [%]:**

10

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Kompresija audio signala**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Davor Vinko

i sumentora ,

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. Zadatak završnog rada .....	1
<b>2. KOMPRESIJA AUDIO SIGNALA</b> .....	<b>2</b>
2.1. Parametri kompresije .....	2
2.2. Tipovi audio kompresora .....	5
2.3. Uporaba kompresora u glazbi .....	9
<b>3. KORISTENI PROGRAMI</b> .....	<b>10</b>
3.1. NI Multisim.....	10
<b>4. IZRADA PEDALE U NI MULTISIMU</b> .....	<b>12</b>
4.1. Orange Juicer pedala.....	12
<b>5. IZRADA FIZIČKOG MODELA PEDALE</b> .....	<b>14</b>
5.1. Popis svih komponenti sklopa .....	14
5.2. Spajanje komponenti .....	15
5.3. Model pedale.....	16
5.4. Valni oblik signala gitare.....	24
<b>6. VREMENSKE I FREKVENCIJSKE KARAKTERISTIKE</b> .....	<b>27</b>
6.1. Usporedba vremenskog signala na ulazu i izlazu iz fizičkog modela i iz simulacije .....	27
6.2. Usporedba frekvencijskih karakteristika .....	29
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>33</b>
<b>8. LITERATURA</b> .....	<b>34</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>36</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>37</b>

# 1. UVOD

Kompresija audio signala bitan je proces u glazbenoj industriji koji omogućava kontrolu dinamike zvuka. Jedan od popularnih primjera kompresijskih uređaja je gitarska kompresor pedala koja se koristi za postizanje ravnoteže u dinamici gitarskog signala. U ovom radu fokusirati će se na proces izrade Orange Juicer pedale, jedne od poznatijih modela gitarskih kompresor pedala. Također će se izvršiti mjerenja i analiza u programu Multisim kako bi se provjerile performanse pedale.

U drugom dijelu rada detaljno će biti opisana kompresija audio signala i njen značaj u glazbenoj industriji. Objasnit će se kako kompresija radi, naglašavajući parametre kompresije kao što su prag, omjer, vrijeme napada i otpuštanja te izlaz. Također će se razmotriti različiti tipovi audio kompresora, poput VCA, optičkog, FET i cijevnog kompresora.

U trećem dijelu rada, opisati će se računalni program NI Multisim te će se prikazati izgled njegovog sučelja, kao i način dodavanja komponenti u programu. U četvrtom dijelu prikazati će se i objasniti shema Orange Juicer pedale izrađena u Multisimu, te shema unaprijedene verzije Orange Juicer pedale. U petom dijelu biti će nabrojane sve komponente potrebne za izradu navedenog sklopa te će biti prikazan i opisan proces izrade fizičkog modela pedale. U šestom dijelu izvršiti će se laboratorijska mjerenja te prikazati usporedba signala fizičkog modela i simulacije.

## 1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak završnog rada je opisati princip rada sklopa za kompresiju audio signala. Napraviti simulaciju rada odabranog sklopa. Na izrađenom sklopu izvršiti laboratorijska mjerenja u vremenskoj i frekvencijskoj domeni. Usporediti rezultate mjerenja i simulacija.

## 2. KOMPRESIJA AUDIO SIGNALA

Kompresija audio signala omogućuje kontrolu dinamičkog raspona signala, smanjivanjem njegove razine nakon što pređe određeni prag [1]. Djeluje kao automatski upravljač glasnoće, prilagođavajući glasnoću signala prema postavljenim parametrima, a uređaj koji se koristi za to naziva se kompresor. Kompresiju audio signala treba koristiti razumno kako bi smo izbjegli prekomjerno sažimanje signala te gubitak detalja i jasnoće .

### 2.1. Parametri kompresije

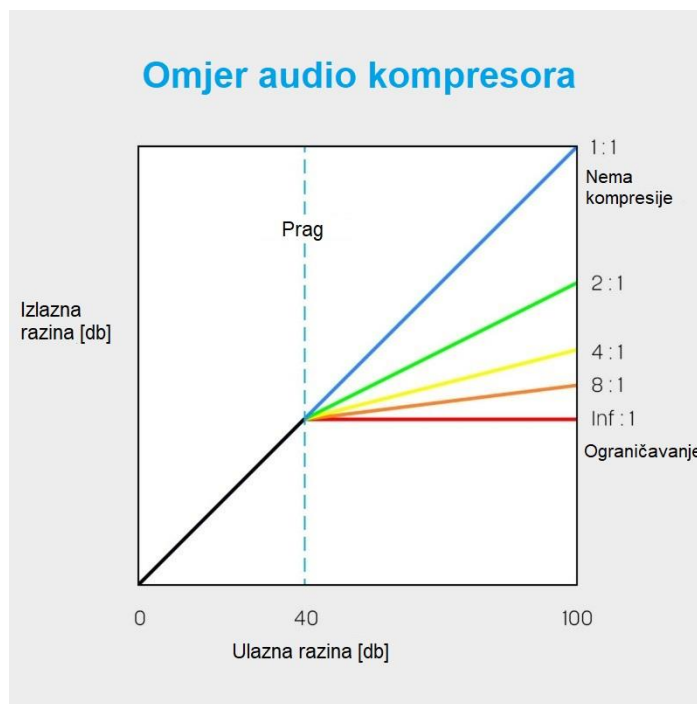
Kompresija audio signala ima nekoliko parametara za kontroliranje zvuka:

- Prag (*eng. Threshold*)

Prag je prvi parametar većine efekata kompresije. Podešavanjem praga, mjenog u decibelima (dB) postavlja se razina pri kojoj će se izvršiti kompresija signala [2]. Kompresija se izvršava tek kada signal prijeđe prag. Što je niži prag, to će signal biti više komprimiran.

- Omjer (*eng. Ratio*)

Omjer predstavlja količinu kompresije koja će biti primijenjena na signal nakon što prijeđe prag, a izražava se u decibelima. Primjerice, ako je omjer 2:1, a signal prijeđe prag za 2 dB, biti će prigušen na 1 dB iznad praga. Omjer 3:1 smatra se umjerenom kompresijom, 5:1 srednjom dok omjer 8:1 počinje ulaziti u jaku kompresiju [3]. Omjer preko 20:1 je ekstreman te stvara učinak koji osigurava da signal nikada ne prijeđe postavljeni prag. Omjer 1:1 znači da nema prigušenja.



Slika 2.1: Omjer audio kompresije [1]

- Napad (*eng. Attack*)

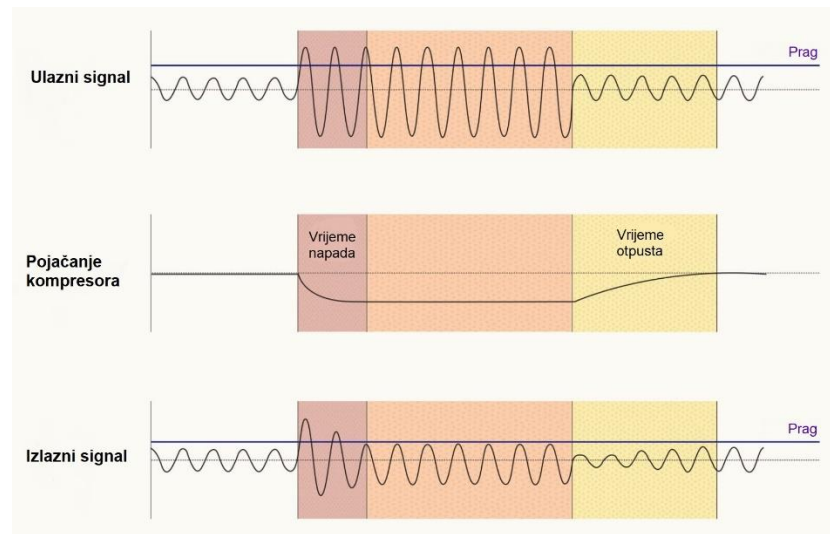
Napad predstavlja vrijeme koje je potrebno da signal postane potpuno komprimiran nakon prekoračenja praga [1]. U procesu kompresije, napad se može kontrolirati kako bi se očuvala dinamika zvuka. Brža vremena napada obično su između 20 i 800 mikrosekundi, a njihovim postavljanjem zvuk će brzo dostići punu jačinu. Sporija vremena obično se kreću između 10 i 100 milisekundi, a uzrokuju postepeni porast jačine zvuka te mogu prigušiti nagli porast zvuka. Odabir odgovarajućeg napada ovisi o vrsti materijala te željenom zvučnom učinku. Primjerice, za brze udarce kao što su bubnjevi, brži napad može pomoći u očuvanju oštine i naglosti zvuka. Sporiji napad koristi se primjerice, za vokalne melodije kako bi se očuvala dinamičnost i prirodnost zvuka.

- Otpust (*eng. Release*)

Nakon što signal padne ispod određenog praga, otpust će odrediti vrijeme potrebno da kompresor vrati signal u izvorno nekomprimirano stanje. Postavljanje odgovarajućeg vremena otpusta uvelike ovisi o ritmu, tempu, vrsti signala koji se komprimira i željenom učinku [1]. Otpust je zapravo suprotnost napadu, no vremena otpusta bit će



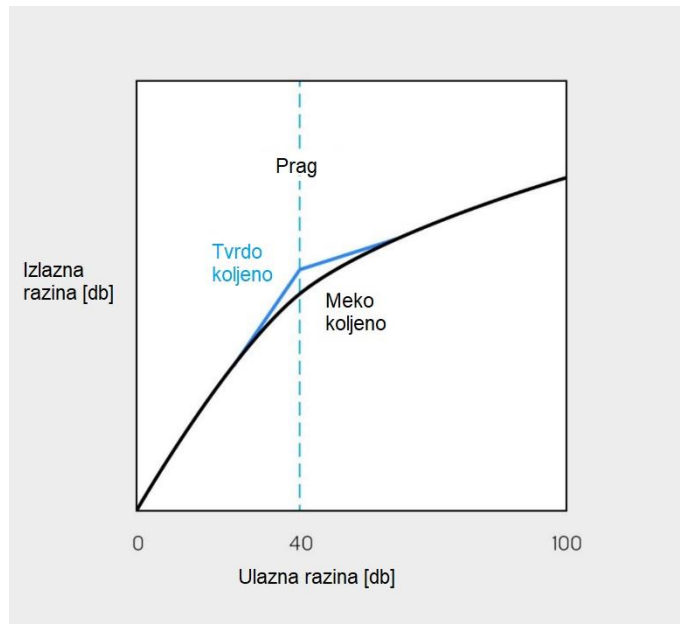
znatno dulja od vremena napada. Obično su u rasponu od 40-60 ms do 2-5 sekundi, a mogu se izraziti i u dB. Utjecaj napada i otpusta na signal prikazan je na slici 2.2:



Slika 2.2: Utjecaj napada i otpusta na audio signal

- Koljeno (*eng. Knee*)

Koljeno kontrolira kako će kompresor reagirati na signal kada prijeđe određeni prag glasnoće [1]. Kada signal prelazi preko praga, kompresor smanjuje njegovu jačinu kako bi se postigla ravnoteža između glasnih i tihih dijelova signala, a koljeno omogućava da se primjena kompresije postupno povećava kako se signal približava pragu. Takav način primjene kompresije na audio signal naziva se meko koljeno, a rezultira postupnim smanjivanjem dinamičkog raspona postizanjem ravnoteže između glasnih i tiših dijelova signala. S druge strane, postoji tvrdo koljeno koje označava oštar prijelaz između komprimiranog i nekomprimiranog dijela signala. Nakon prelaska praga, kompresija se primjenjuje odmah i naglo, što kompresiju signala čini snažnijom i jasnijom.



Slika 2.3: Razlika mekog i tvrdog koljena [1]

- Izlaz (*eng. Output gain*)

Nakon što je signal komprimiran, dijelovi koji prelaze preko praga glasnoće biti će smanjeni, dok će tihi dijelovi signala ostati gotovo nepromijenjeni [1]. Rezultat toga može biti smanjenje ukupne glasnoće signala nakon kompresije. Parametar izlaz omogućuje dodavanje dodatne jačine nakon kompresije, kako bi se nadoknadio ukupni gubitak glasnoće. Vrijednost izlaza obično se postavlja u decibelima (dB), a omogućava precizno podešavanje ukupne glasnoće signala nakon kompresije kako bi se postigao željeni zvučni efekt.

## 2.2. Tipovi audio kompresora

- Cijevni kompresor (*eng. tube*)

Cijevni kompresori koriste vakuumske cijevi za dinamičku kontrolu zvuka (kompresiju) po čemu su i dobili naziv. Cijevni kompresori prisutni su od 1950-ih, a poznati su po davanju topline, boje i harmonika zahvaljujući stupnju pojačanja u cijevi. Oni obično imaju sporije vrijeme napada i otpusta, što rezultira „vintage“ zvukom koji je teško postići s drugim vrstama kompresora. Najpoznatiji primjer hardverskog cijevnog kompresora je legendarni Fairchild 670. [4]



Slika 2.4: Cijevni kompresor

- Optički kompresori (*eng. Optical*)

Optički kompresori ili skraćeno „opto“ koriste LDR fotootpornik i optičku ćeliju. Ulazni signal uključuje izvor svjetla unutar kompresora koji će svijetliti jače ili slabije, ovisno o razini ulaza. Fotootpornik tada uzrokuje da kompresor primjeni smanjenje pojačanja (*engl. gain*); kada se svjetlo priguši kao odgovor na ulazni signal, količina kompresije se smanjuje. U optičkom kompresoru još se mogu koristiti i:

- Svjetleća dioda (LED): poluvodička dioda koja svijetli kada se primijeni napon. Često su dizajnirane za pokazivanje specifičnih karakteristika napada i otpusta.
- Elektroluminiscentni uređaj: sastoji se od dvije vodljive ploče odvojene malim razmakom (slično kondenzatoru). Elektroluminiscentni uređaji nude brzo vrijeme napada i svjetlinu koja je izravno proporcionalna ulaznom naponu.
- Fluorescentna žarulja: staklena cijev koja zrači svjetlost kada fosfor na njezinoj unutarnjoj površini fluorescira ultraljubičastim zračenjem živinih para.
- Žarulja sa žarnom niti: žarulja koja emitira svjetlost zagrijavanjem svoje žarne niti. Toplinska inercija uzrokuje sporo vrijeme reakcije između svjetline i ulaznog napona [5].

Optički kompresori su prilično spori (u usporedbi s FET i VCA kompresorima) budući da izvor svjetlosti i LDR fotootpornik nisu posebno brzi. Optički kompresor prikazan je na slici 2.5.



Slika 2.5: Optički kompresor [6]

- VCA kompresor

VCA kompresor koristi VCA<sup>1</sup> (*eng. voltage-controlled amplifier*) unutar svog sklopa za smanjenje pojačanja. VCA je pojačalo koje mijenja svoje pojačanje (primijenjeno na ulazni/noseći signal) proporcionalno upravljačkom naponu (CV) ili signalu modulatora. VCA se mogu koristiti za pojačavanje, prigušivanje ili na neki drugi način kontroliranje amplitude ulaznog signala. VCA povežujemo s tri signala, a to su:

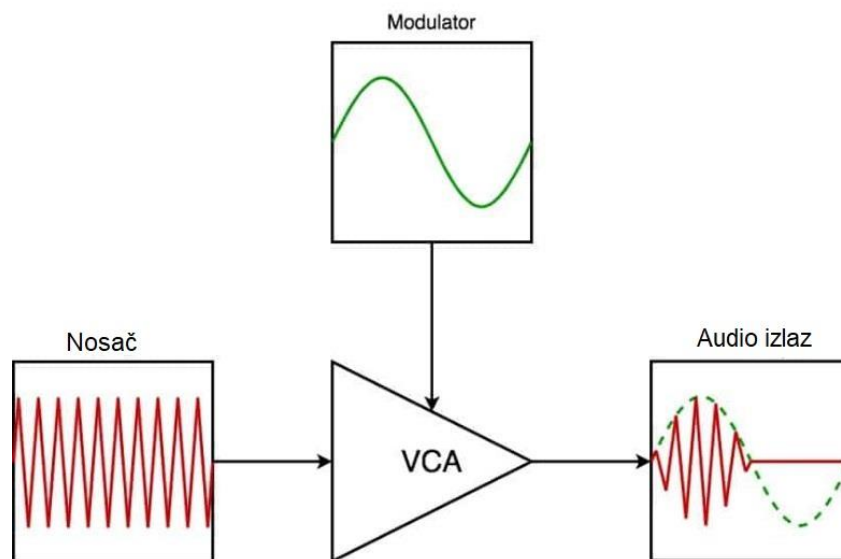
- Nosač: ulazni AC signal (audio signal) koji je općenito bipolarni (ima negativne i pozitivne amplitude). Nosač je signal koji mijenja VCA.
- Modulator: upravljački napon/ulaz koji je unipolarni u VCA kompresorima (ima samo pozitivnu amplitudu). Modulator je signal koji učinkovito mijenja audio signal/nosač.
- Izlaz: trenutni umnožak nositelja i modulatora, sve dok je modulator pozitivan.

Riječ "pojačalo" u izrazu naponski kontrolirano pojačalo nije najbolja, budući da većina VCA sklopova ne prelazi omjer pojačanja od 1, što znači da VCA zapravo prigušuju umjesto da pojačavaju signal. Što je jači upravljački napon/modulator (najveća amplituda), više signala nositelja prolazi do izlaza. To znači nekoliko stvari:

- Na određenoj razini upravljačkog napona/modulatora, puna razina signala nosača prolazi kroz izlaz.
- Kada je razina upravljačkog napona/modulatora nula ili negativna, nikakav nosivi signal ne prolazi do izlaza.

U svim ostalim, modulator će imati učinak prigušivanja signala između ulaza i izlaza VCA, što možemo vizualizirati na slici 2.6. osnovnog VCA s bipolarnim nosačem i bipolarnim modulatorom [7]:

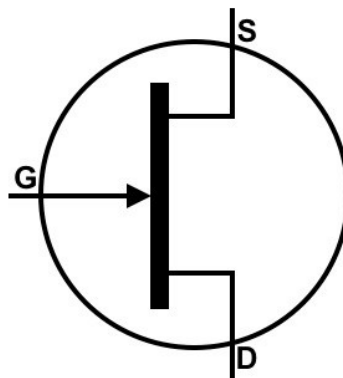
<sup>1</sup> Naponsko kontrolirano pojačalo



Slika 2.6: Osnovni VCA s bipolarnim nosačem i bipolarnim modulatorom [7]

- FET kompresor

FET<sup>2</sup> (*engl. field-effect transistor*) je poluvodički uređaj koji koristi električno polje za kontrolu protoka struje između terminala izvora i odvoda [8]. FET se sastoji od 3 terminala: uvod (*engl. source, S*), odvod (*engl. drain, D*) i upravljačka elektroda (*engl. gate, G*). Navedeni terminali prikazani su na slici 2.7.



Slika 2.7 Terminali tranzistora s efektom polja [8]

Uvod je ulazni terminal FET kompresora spojen na audio signal koji se obrađuje. Pruža ulazni signal FET-u koji se zatim koristi za kontrolu protoka struje kroz uređaj. Odvod je izlazni terminal FET kompresora spojen na izlaz uređaja. Prima obrađeni audio signal te ga šalje dalje

---

<sup>2</sup> Tranzistor s efektom polja

kroz audio lanac. Obično je spojen na opterećenje poput zvučnika ili pojačala, a koristi se za primanje struje iz tranzistora. Upravljačka elektroda je kontrolni terminal FET kompresora odgovoran za kontrolu protoka struje kroz uređaj. Spojena je na upravljački napon koji se koristi za podešavanje otpora FET-a čime je omogućeno kontroliranje pojačanja koje se primjenjuje na audio signal. Kako se napon povećava, FET postaje više vodljiv dopuštajući da kroz njega teče više struje čime se povećava pojačanje signala. Suprotno, smanjenjem napona FET postaje manje vodljiv što uzrokuje smanjenje pojačanja signala [9].

### **2.3. Uporaba kompresora u glazbi**

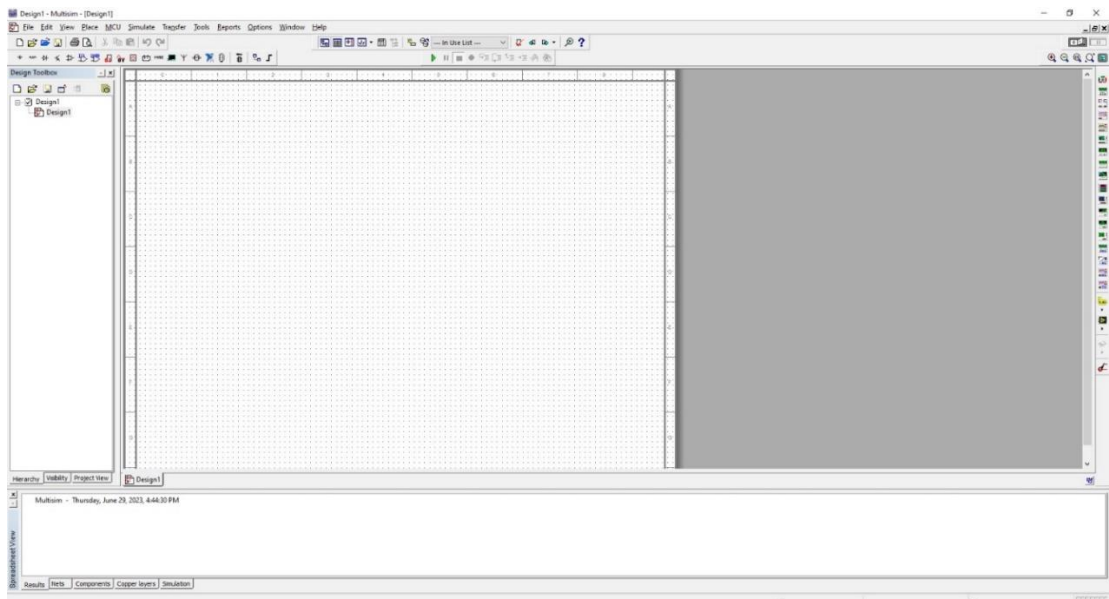
Glazbeni producenti koriste kompresore u različite svrhe. Nepravilna izvedba zvuka može imati neželjene dinamičke varijacije – neki snimljeni dijelovi su preglasni, neki pretihi. Tijekom faze zvučne obrade ili snimanja navedeni problem se može riješiti kompresijom, tako da se izjednače razine glazbenog zapisa, što zvuk čini dosljednijim [10]. Kratki i promjenjivi dijelovi zvuka koji se pojavljuju na početku sviranja određenog instrumenta, poput zvuka udaranja bubnjarske palice o okvir bubnja ili udaranja trzalice o žicu gitare mogu stvoriti digitalnu distorziju. Digitalna distorzija obično nije željen efekt u glazbenoj produkciji, a u njezinoj kontroli pomoći će kompresor. Kompresor također nakon zvučne obrade može podići ukupnu razinu glazbe, što će glazbi dati izraženiju kvalitetu. Ipak, kompresor nije potrebno koristiti uvijek, već samo u slučaju postojanja dinamičkih problema.

### 3. KORISTENI PROGRAMI

Za crtanje sheme Orange juicer pedale za gitaru korišten je program NI Multisim.

#### 3.1. NI Multisim

NI Multisim je industrijsko standardno simulacijsko okruženje, a koristi se za simulaciju i dizajniranje sklopova za analognu, digitalnu i energetska elektroniku. Popularan je alat, a razvila ga je tvrtka National Instruments. Multisim softver integrira standardnu SPICE (*engl. Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*)<sup>3</sup> simulaciju s interaktivnim shematskim okruženjem za trenutnu vizualizaciju i analizu ponašanja elektroničkih sklopova [11]. Osim simulacija, NI Multisim također pruža mogućnost provođenja PCB (*engl. Printed Circuit Board*)<sup>4</sup> dizajna, što omogućuje korisnicima izradu električne ploče temeljene na vlastitim shemama i simulacijama. Također nudi biblioteke komponenta koje korisnici mogu koristiti za brže i jednostavnije stvaranje električnih shema. Na slici 3.1 prikazano je sučelje NI Multisim programa.

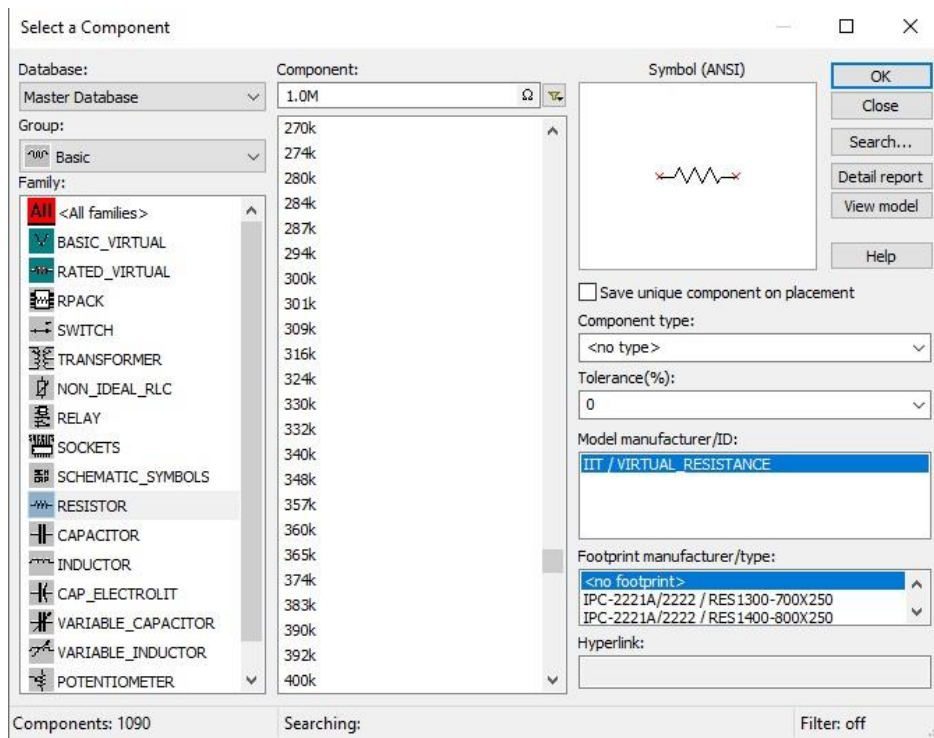


Slika 3.1: Sučelje NI Multisim programa

Na slici 3.2 vidljiv je prozor za odabir komponenti. Odabir komponenti u NI Multisimu ovisi o vrsti sklopa koji se simulira i specifičnim zahtjevima projekta.

<sup>3</sup> Simulacijski program s naglaskom na integrirane krugove, koristi se za modeliranje, analizu i simulaciju elektroničkih krugova i sustava

<sup>4</sup> Elektronički sklop koji koristi bakrene vodiče za stvaranje električnih veza između komponenti



Slika 3.2: Odabir komponenti u NI Multisimu

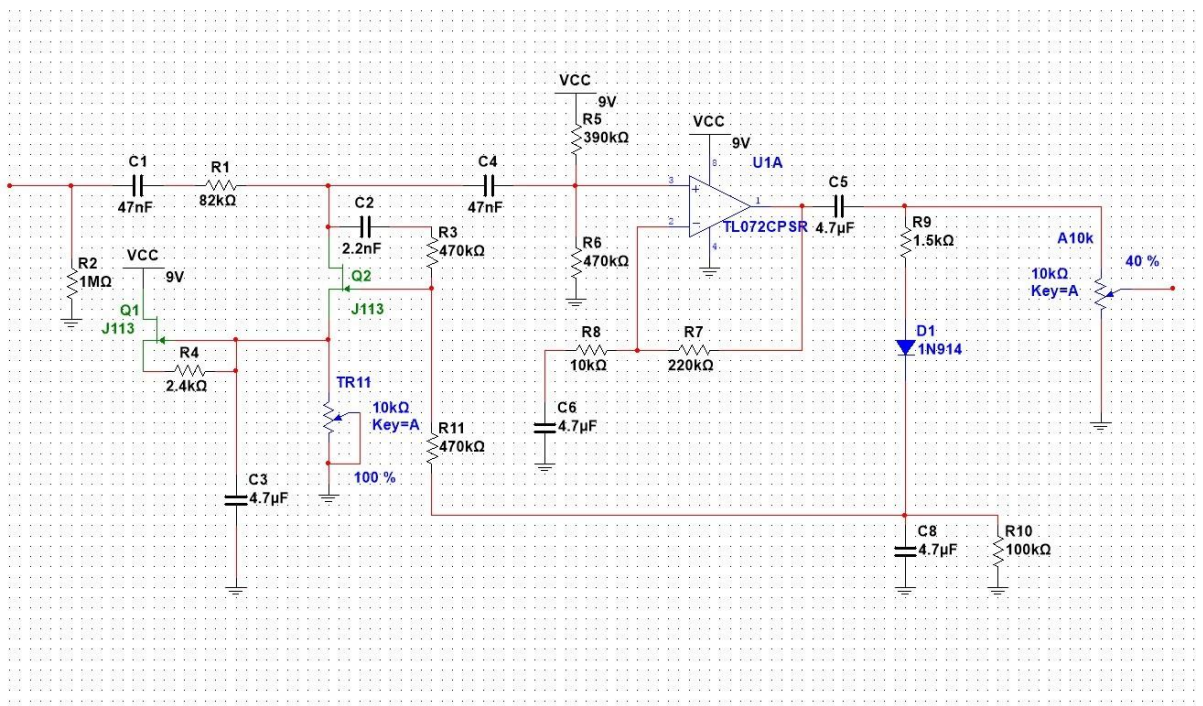


## 4. IZRADA PEDALE U NI MULTISIMU

Za izradu pedale odabrana je shema Orange Juicer pedale te su napravljene male preinake radi bolje iskoristivosti efekta pedale.

### 4.1. Orange Juicer pedala

Orange Juicer pedala temeljena na Orange Squeezer pedali Dana Armstronga [12]. Poznata je po glatkoj kompresiji, a za razliku od drugih kompresijskih pedala koje koriste specijalizirano operacijsko pojačalo, Orange Juicer stvara kompresiju pomoću JFET<sup>5</sup> tranzistora. Iz tog razloga, sadrži smanjen broj dijelova, što ga čini jednostavnim za izradu. Količina kompresije i glasnoće može se podesiti regulacijom na potenciometru. Slika 4.1 prikazuje shemu Orange Juicer pedale izrađene u Multisimu.



Slika 4.1: Shema Orange Juicer pedale izrađene u Multisimu

U ovom radu napravljene su male izmjene na shemi. Uz početni potenciometar TR11, koji nije napravljen za korisnika već je podešen na zadanu vrijednost 10kΩ, paralelno je dodan otpornik

<sup>5</sup> Poluvodički uređaj s unipolarnom strujom i tri terminala: uvod, odvod i upravljačka dioda, obično se koristi kao sklopka ili pojačalo



## 5. IZRADA FIZIČKOG MODELA PEDALE

U ovom poglavlju opisan je postupak izrade fizičkog modela pedale za gitaru. Nabrojane su korištene komponente te je prikazan i objašnjen način njihovog spajanja.

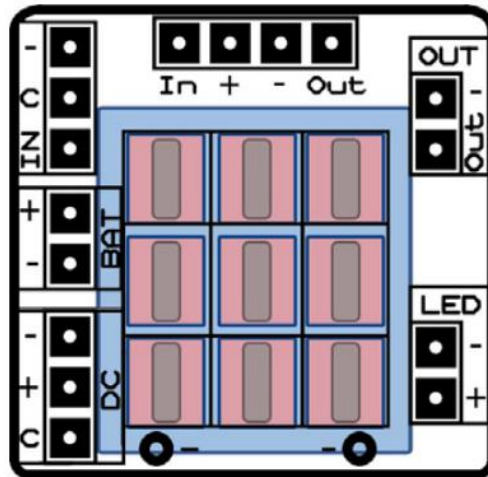
### 5.1. Popis svih komponenti sklopa

Za izradu Orange Juicer pedale za gitaru korištene su sljedeće komponente:

- 2x J113 tranzistor
- 3x otpornika vrijednosti  $470\text{k}\Omega$
- 1x otpornik vrijednosti  $1\text{M}\Omega$
- 1x otpornik vrijednosti  $82\text{k}\Omega$
- 1x otpornik vrijednosti  $2.4\text{k}\Omega$
- 2x otpornik vrijednosti  $2.2\text{k}\Omega$
- 1x otpornik vrijednosti  $390\text{k}\Omega$
- 1x otpornik vrijednosti  $220\text{k}\Omega$
- 1x otpornik vrijednosti  $10\text{k}\Omega$
- 1x otpornik vrijednosti  $1.5\text{k}\Omega$
- 1x otpornik vrijednosti  $100\text{k}\Omega$
- 1x regulacijski otpornik vrijednosti  $10\text{k}\Omega$
- 1x regulacijski otpornik vrijednosti  $5\text{k}\Omega$
- 2x kondenzatora vrijednosti  $47\text{nF}$
- 4x kondenzatora vrijednosti  $4.7\mu\text{F}$
- 1x kondenzator vrijednosti  $2.2\text{nF}$
- 1x 1N914 dioda
- 1x TL072CPSR pojačalo
- 1x konektor za bateriju
- 1x DC konektor
- 1x LED s ugrađenim otpornikom
- 1x okvir za LED
- 1x 3PDT pločica
- 2x IN, OUT 6.35 mm priključak
- 1x 10k logaritamski potenciometar

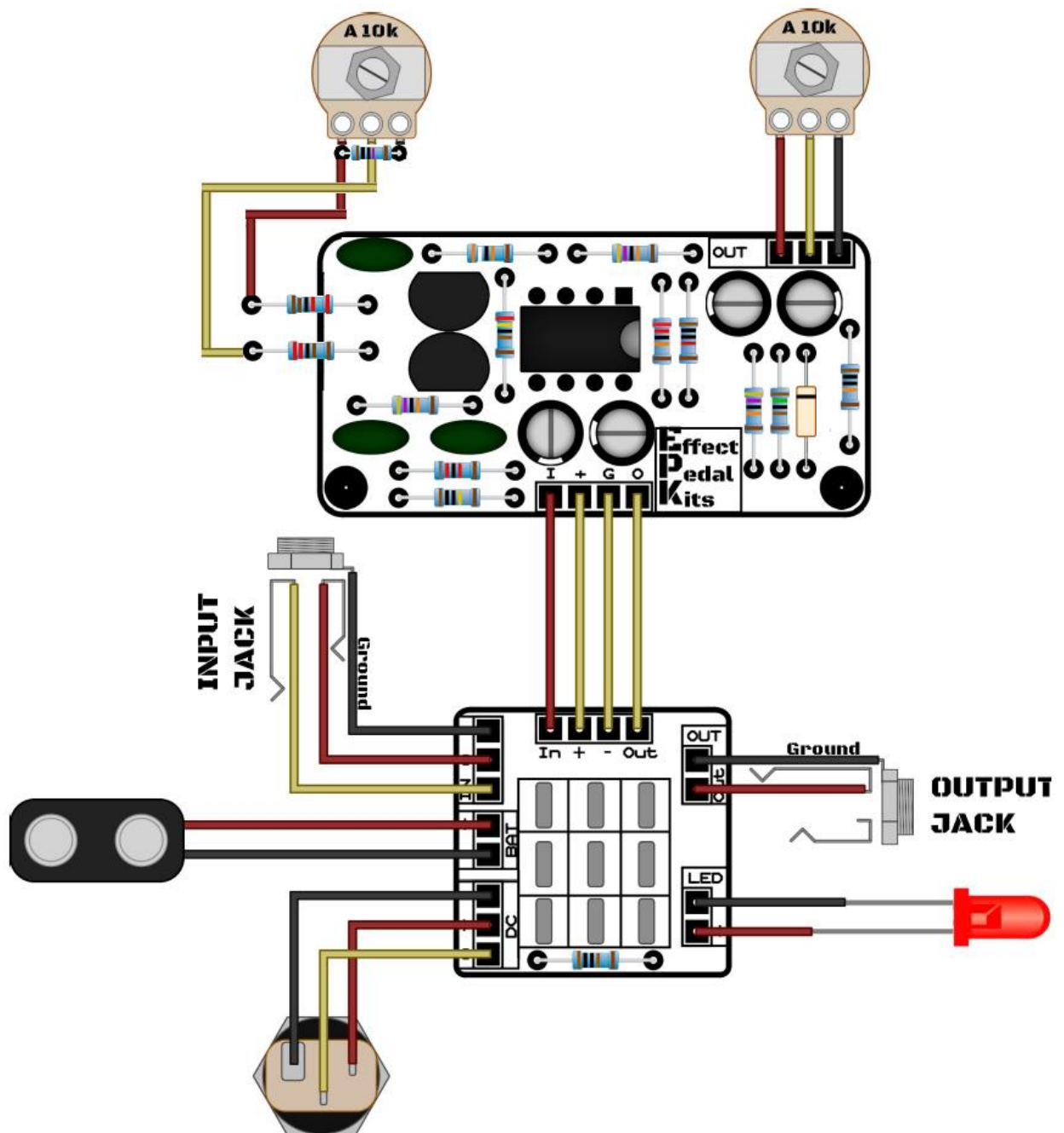
## 5.2. Spajanje komponenti

Prilikom spajanja komponenti potrebno je voditi računa o orijentaciji 3PDT pločice. Pinovi pločice trebaju biti postavljeni kao na slici 5.1.



Slika 5.1: Orijentacija 3PDT pločice [11]

Kod lemljenja važno je voditi računa da vrijeme pri kojem držimo lemlicu na određenom dijelu spoja bude što kraće, kako bi se izbjeglo oštećenje bilo kojeg dijela. Za pravilno lemljenje potrebno je nanijeti pravu količinu lema tako da ono ima konkavan oblik oko spoja, a u slučaju da se ne uspije dobro zalemiti iz prvog pokušaja, potrebno je pustiti da se malo ohladi prije ponovnog pokušaja. Kod dijelova koji imaju polaritet potrebno je paziti na njihov položaj. Integrirani krugovi imaju malu točkicu ili oznaku koja mora odgovarati oznaci na ploči. Kod kondenzatora i LED dulji pin potrebno je spojiti na „+“ priključak. Položaj komponenti prikazan je na slici 5.2.



Slika 5.2: Položaj komponenti nakon izmjene

### 5.3. Model pedale

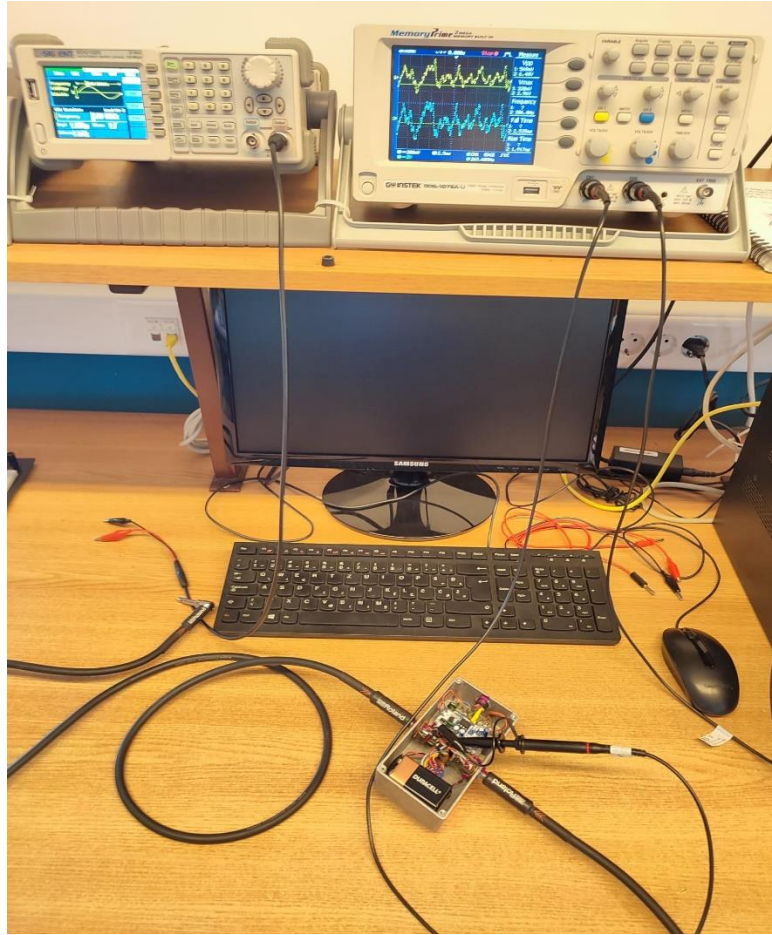
Nakon spajanja i lemljenja komponenti prema slici 5.2 izrađen je fizički model čija unutrašnjost je prikazana na slici 5.3.



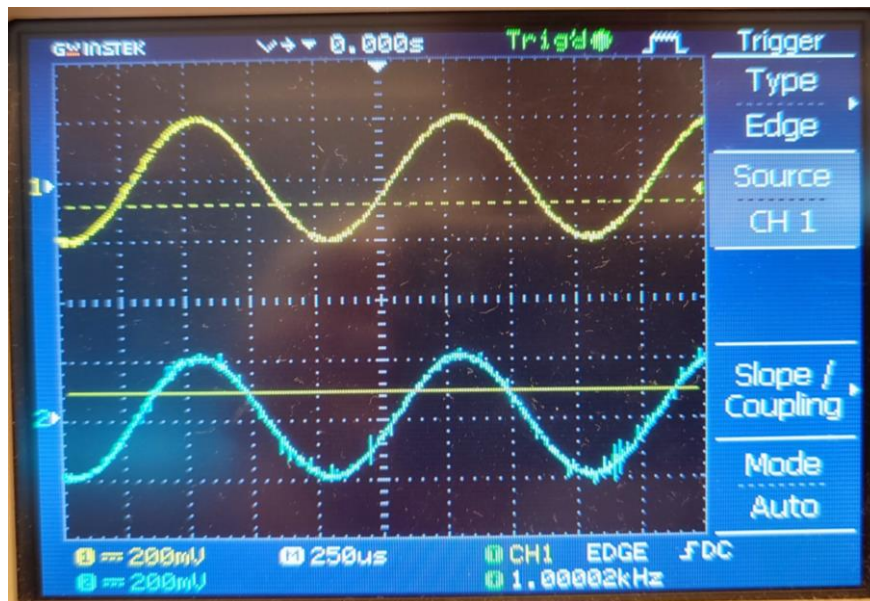
Slika 5.3: Unutrašnjost fizičkog modela pedale

Na slici 5.6 nalazi se prednja strana vanjskog dijela pedale na kojoj imamo 2 potenciometra, LED diodu i prekidač za pokretanje. Sa strane imamo dva priključka: desni je ulaz, lijevi izlaz. Pritiskom na prekidač za pokretanje pali se LED lampica koja označava da smo pokrenuli kompresiju. Do trenutka uključivanja u sklop imamo tzv. „True Bypass“. Pojam „True Bypass“ često se koristi u kontekstu gitarskih pedala, a označava prekidanja signala efekta dok se pedala ne koristi. Ovo je važna karakteristika za mnoge gitariste jer omogućuje očuvanje originalnog, čistog zvuka gitare dok je pedala isključena. Cjelokupno testno okruženje prikazano je na slici 5.4, a spojeno je prema shemi prikazanoj na slici 6.2. Način rada „True Bypass“ prikazan je na slici 5.5. Na slici je vidljiv ulazni signal koji direktno prolazi kroz komponente pedale i izlazni signal, koji je identičan ulaznom signalu ako je aktivan „True Bypass“.





Slika 5.4: Testno okruženje pedale



Slika 5.5: True Bypass način

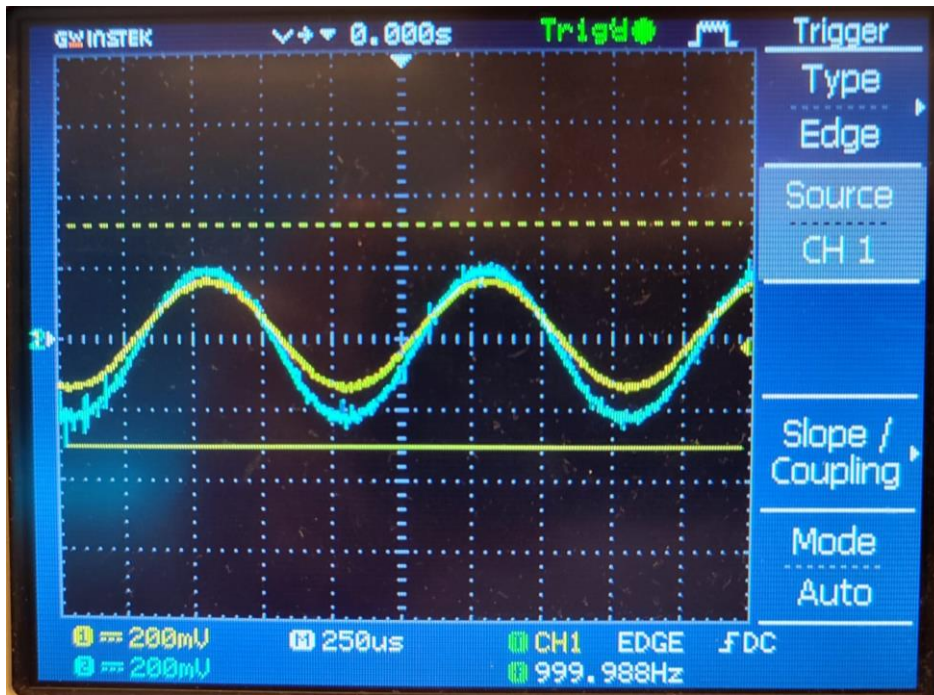
Potenciometri imaju oznake L i C. Potenciomtar L predstavlja „glasnoću“ (*engl. level*), dok potenciomtar C predstavlja „kompresiju signala“ (*engl. compress*). Potenciomtar L kontrolira izlazni signal, a izlazni signal je važan jer će se tijekom kompresije određeni dijelovi signala prigušiti kako bi se postigla ravnoteža između glasnih i tiših dijelova. Okretanjem potenciomtra L povećavamo amplitudu sinusnog vala kojeg šalje generator signala. Potenciomtar C upravlja pragom kompresije. Kada signal premaši prag, primjenjuje se kompresija. Okretanjem potenciomtra C i smanjivanjem praga, može se postići veća kompresija gdje će više dijelova signala biti prigušeno, stvarajući time pravokutni signal.



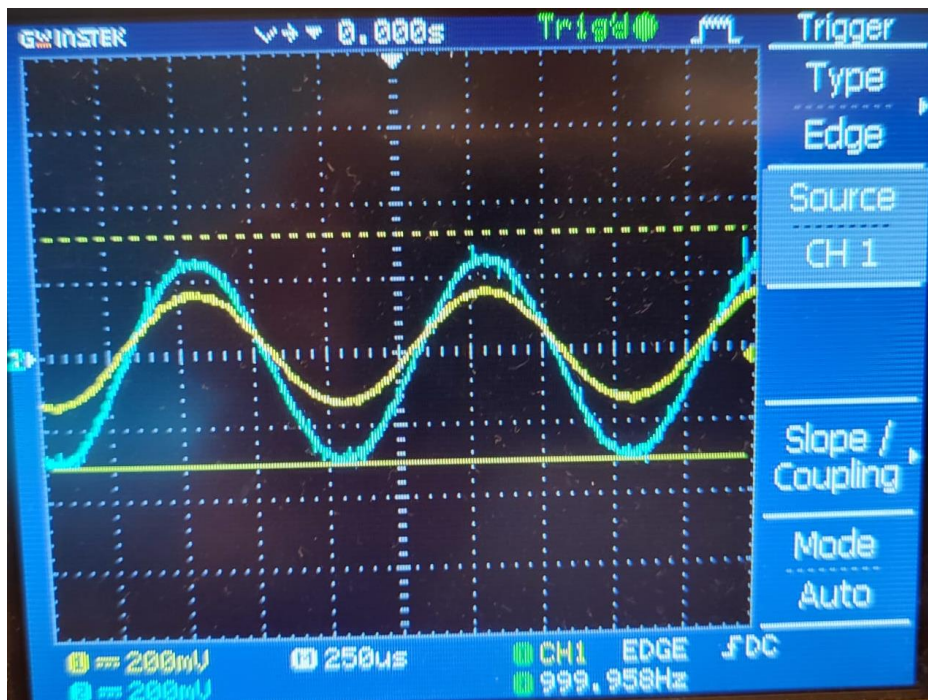
Slika 5.6: Prednja strana vanjskog dijela pedale

Napravljena su različita mjerenja kako bi se uočio utjecaj potenciomtrara L i C na ulazni i izlazni signal. U svim mjerenjima frekvencija generatora podesena je na 1kHz, a potenciomtar L je postavljen na konstantnu vrijednost 50%. U prvom mjerenju na generatoru funkcije amplituda je postavljena na 300 mVpp, a potenciomtar C postavljen je redom na vrijednosti od 0%, 50% i 100%. Signal u navedenim slučajevima prikazan je na slikama 5.7, 5.8 i 5.9.

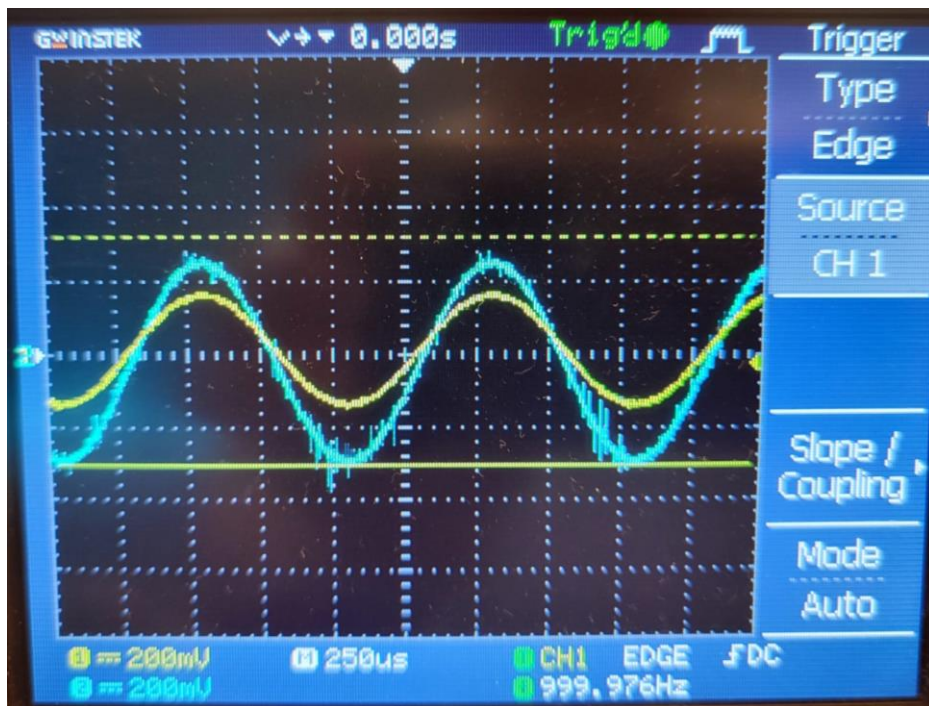




Slika 5.7: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potenciometar C postavljen na 0%

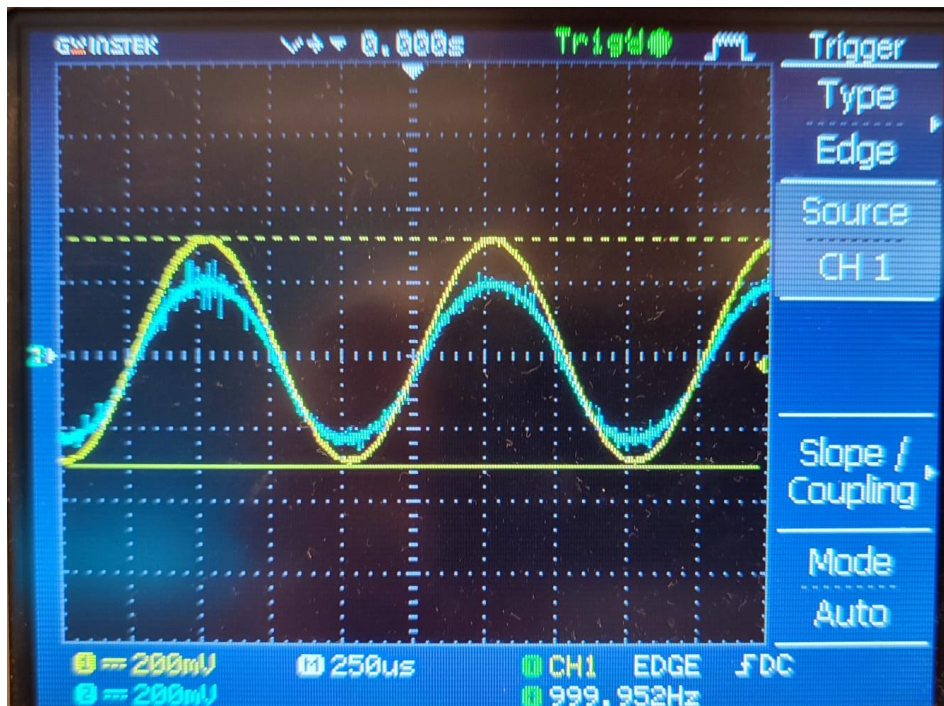


Slika 5.8: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potenciometar C postavljen na 50%



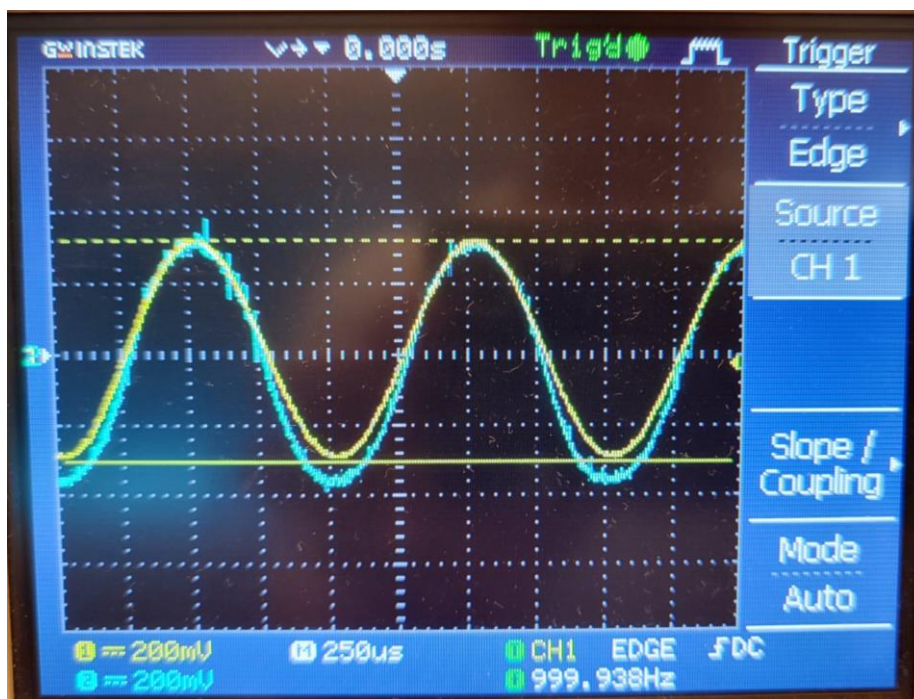
Slika 5.9: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potenciometar C postavljen na 100%

U drugom mjerenju amplituda je povećana na 600 mVpp, a potenciometar C ponovno je postavljen na 0%, 50% i 100%. Navedeno mjerenje prikazano je na slikama 5.10, 5.11 i 5.12.

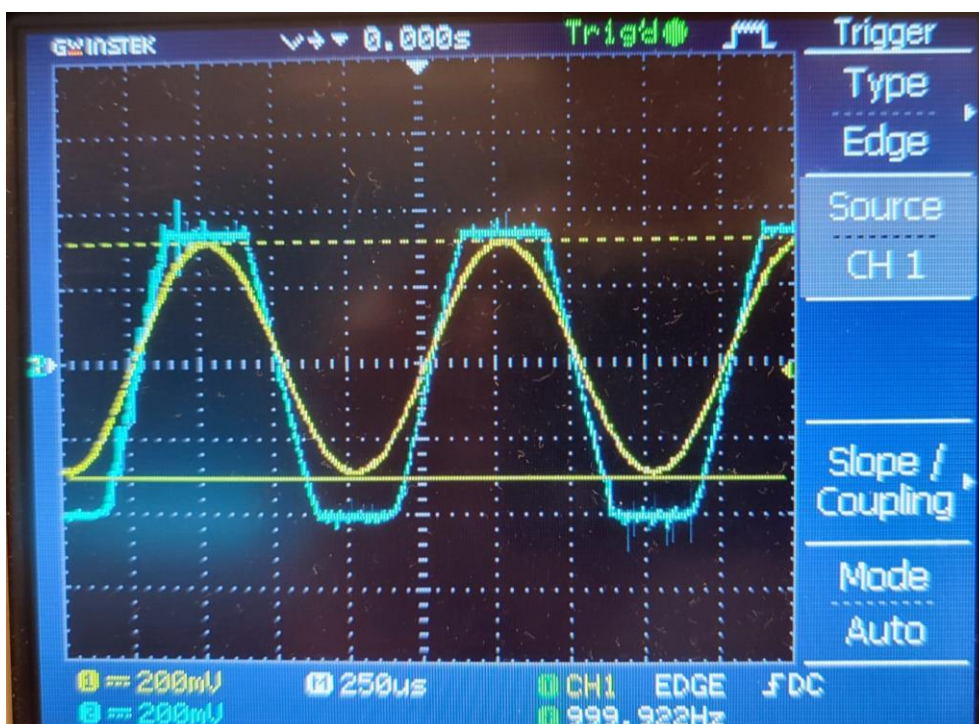


Slika 5.10: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potenciometar C postavljen na 0%



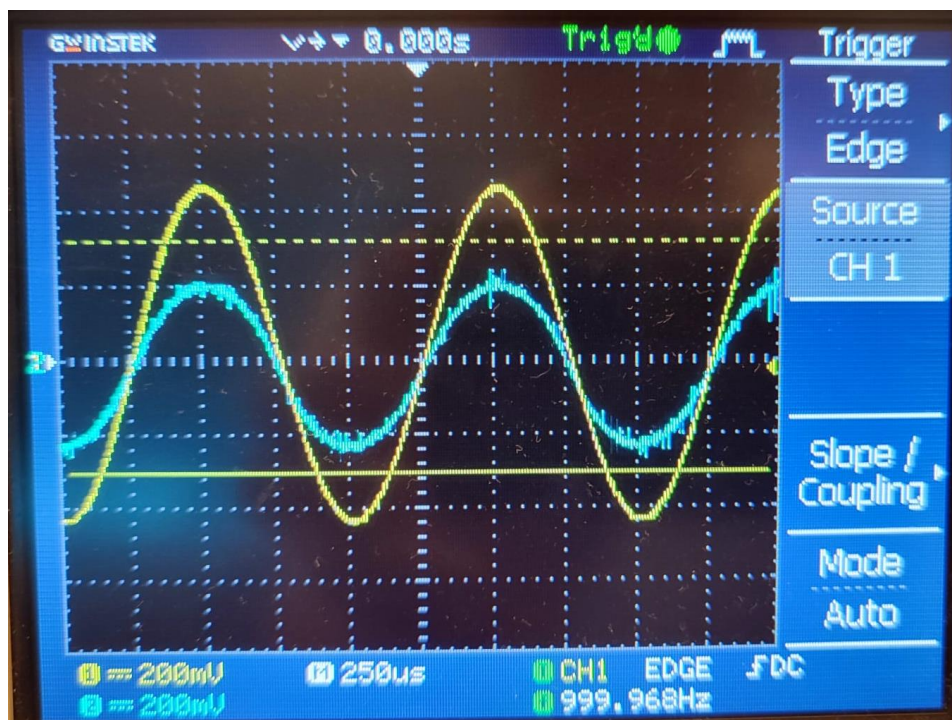


Slika 5.11: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potenciometar C postavljen na 50%

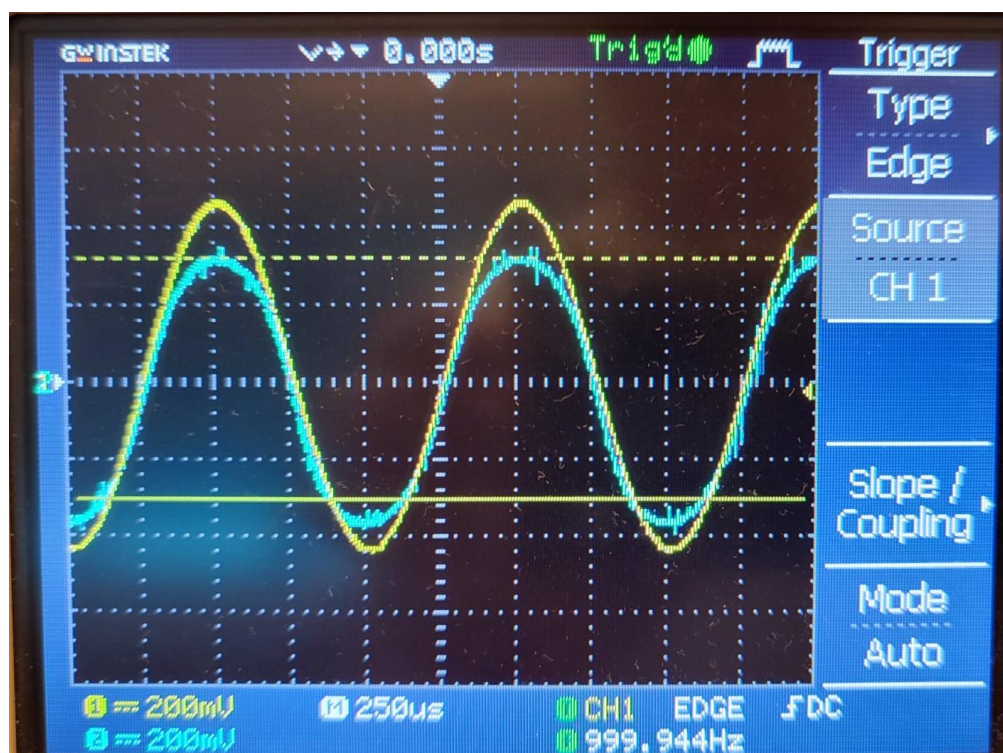


Slika 5.12: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potenciometar C postavljen na 100%

U trećem mjeranju amplituda je povećana na 900 mVpp, a potenciometar C opet je postavljen na 0%, 50% i 100% što je prikazano na slikama 5.13, 5.14 i 5.15.

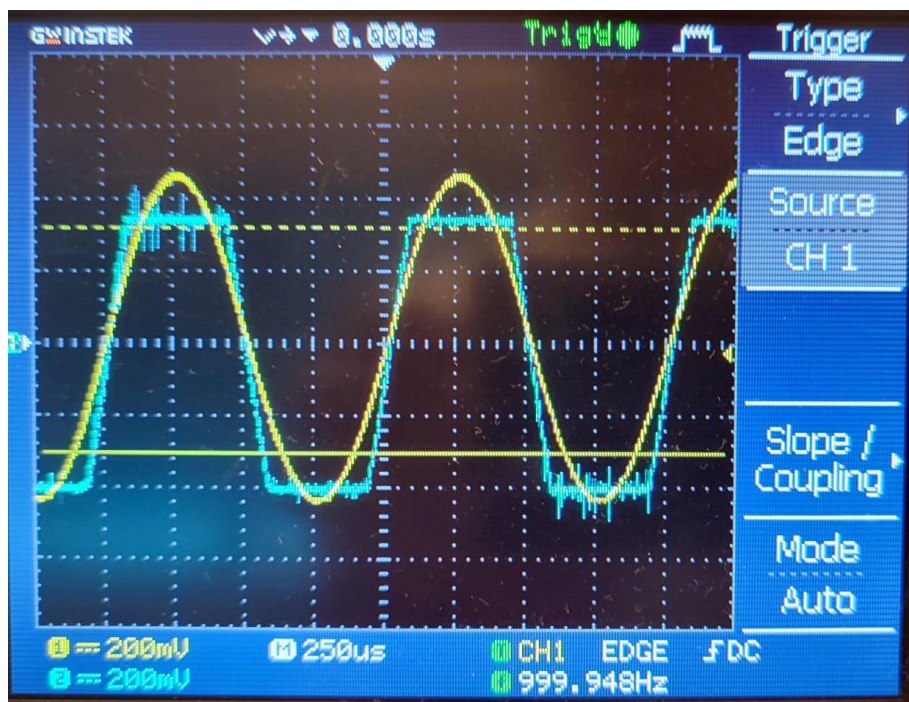


Slika 5.13: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potenciometar C postavljen na 0%



Slika 5.14: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potenciometar C postavljen na 50%



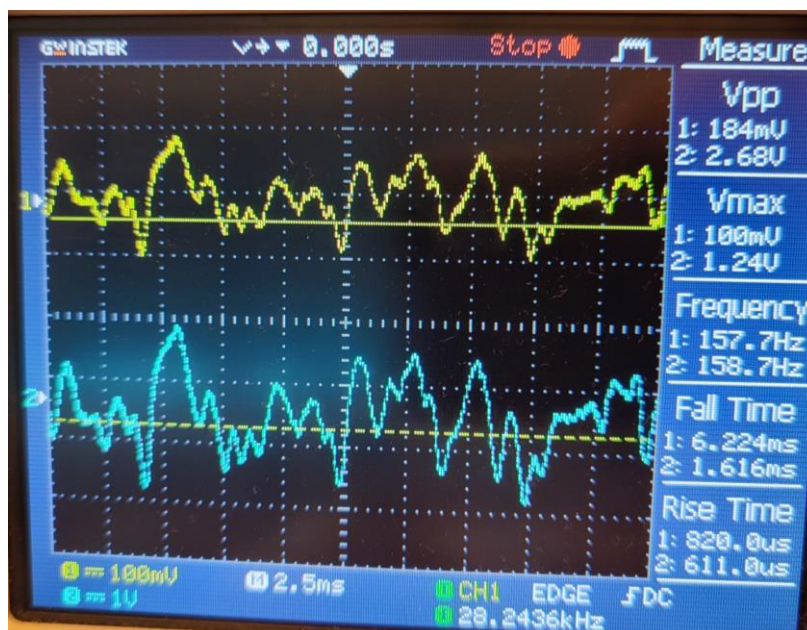


Slika 5.15: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potencijetar C postavljen na 100%

Vidljivo je da se povećanjem potencijetra C pri svakom mjerenju signal sve više izobličuje, odnosno siječe se signal svaki put kad se prijeđe prag i primjeni kompresija.

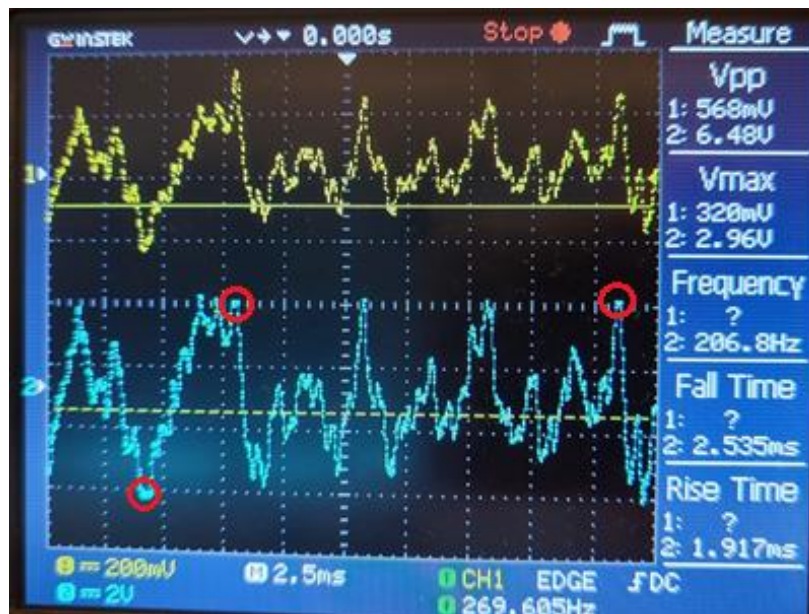
#### 5.4. Valni oblik signala gitare

Na slici 5.9 prikazan je signal nakon spajanja gitare na osciloskop u True Bypass načinu rada. Vidljivo je da je izlazni signal identičan ulaznom signalu, jer je signal usmjeren prema izlazu bez ikakvih dodataka u tonu.



Slika 5.9: Signal gitare u True Bypass načinu rada

Slika 5.10 prikazuje signal kada su potencijometri L i C postavljeni na 100%. Postavljanjem potencijometra L na maksimum, ulazni signal pojačan je do svoje najveće razine čime amplituda postaje jako visoka. Postavljanjem potencijometra C na maksimum, primjenjena je maksimalna kompresija na signal. Rezultat ovih postavki uzrokovati će clipping, odnosno izobličenje signala što se može vidjeti na osciloskopu u obliku odrezanih vrhova signala na zaokruženim područjima na slici 5.10. Clipping može biti koristan ako je potreban ekstremno izobličen zvuk karakterističan za heavy metal ili hard rock, no ako se želi zadržati čist zvuk, preporuča se smanjiti postavke glasnoće L i kompresije C kako bi se izbjegao clipping.



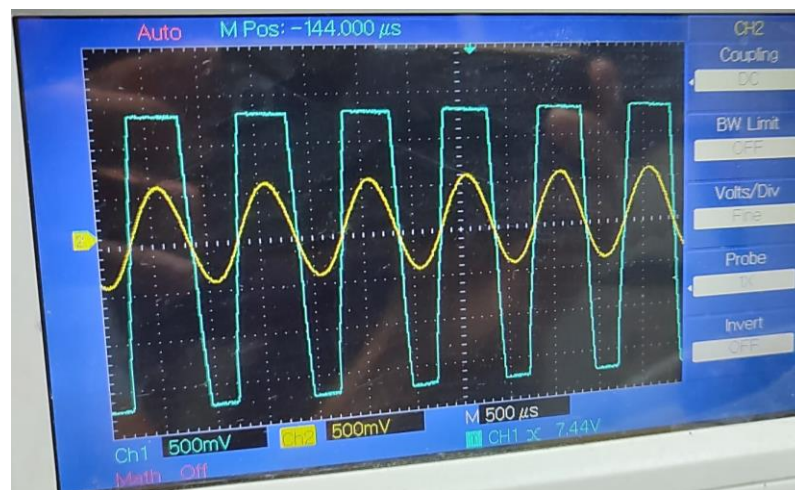
Slika 5.10: Signal gitare kada su potenciometri L i C postavljeni na 100%

## 6. VREMENSKE I FREKVENCIJSKE KARAKTERISTIKE

U ovom poglavlju napravljena je usporedba vremenskog signala na izlazu iz fizičkog modela i iz simulacije te je prikazano kako frekvencija utječe na signal.

### 6.1. Usporedba vremenskog signala na ulazu i izlazu iz fizičkog modela i iz simulacije

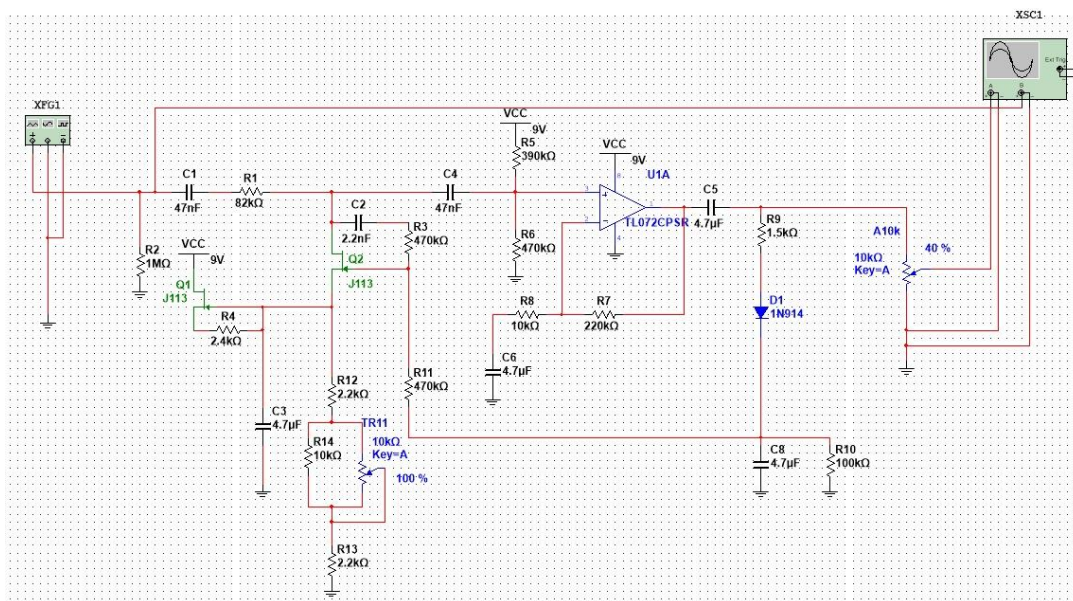
Na ulaz i izlaz fizičkog modela spojen je osciloskop te su dobiveni signali prikazani na slici 6.1. Na generatoru signala odabrana je frekvencija 1 kHz te amplituda 500 mVpp.



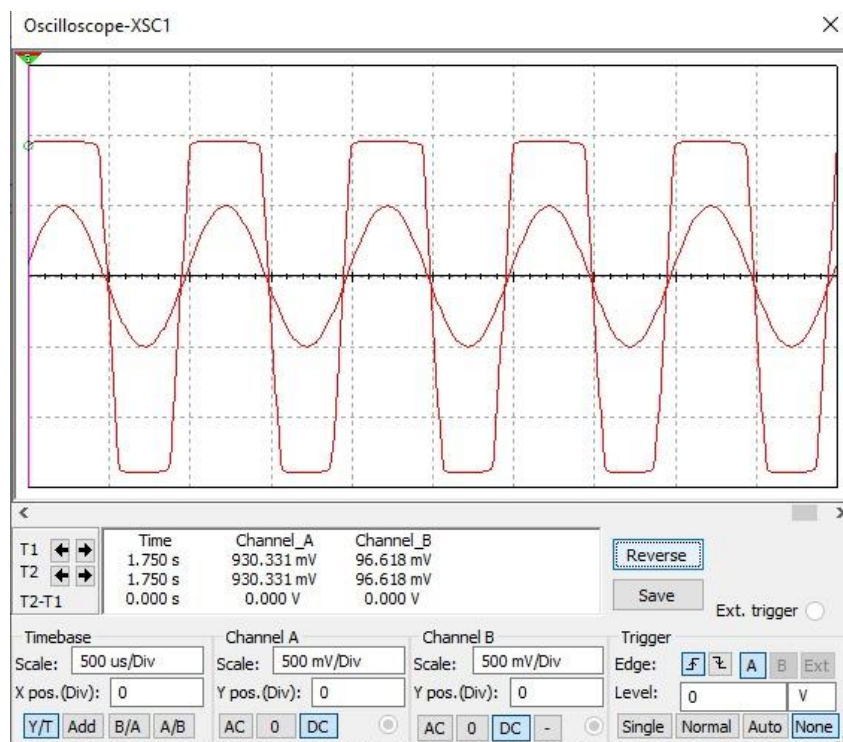
Slika 6.1: Prikaz vremenskog signala na ulazu i izlazu iz pedale

Oba kanala postavljena su na 500 mV, dok vremenska osnova iznosi 500 us. Na isti način spojen je osciloskop u simulaciji, a način spajanja prikazan je na slici 6.2. Nakon pokretanja simulacije dobiveni su signali prikazani na slici 6.3.





Slika 6.2: Način spajanja osciloskopa u simulaciji

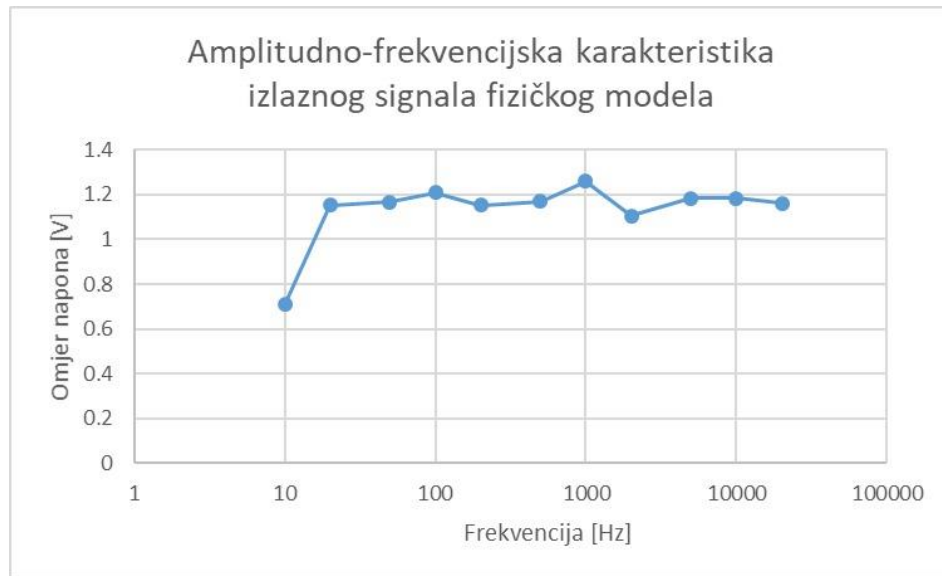


Slika 6.3: Prikaz vremenskog signala na ulazu i izlazu iz simulacije

Ulazni signal je sinusnog oblika, te on sa sobom nosi dinamiku i nijanse svojstvene izvoru zvuka. Orange Juicer pedala ima sposobnost da blago izmjeni ulazni signal, tako što može prigušiti vrhove signala, čime se postiže ravnoteža u glasnoći i produljuje trajanje tonova. Kada signal dođe do izlaza, uobličiti će se, a oštri vrhovi će biti blago prigušeni što je rezultat kompresije signala. Opisano je vidljivo i kod fizičkog modela i u simulaciji.

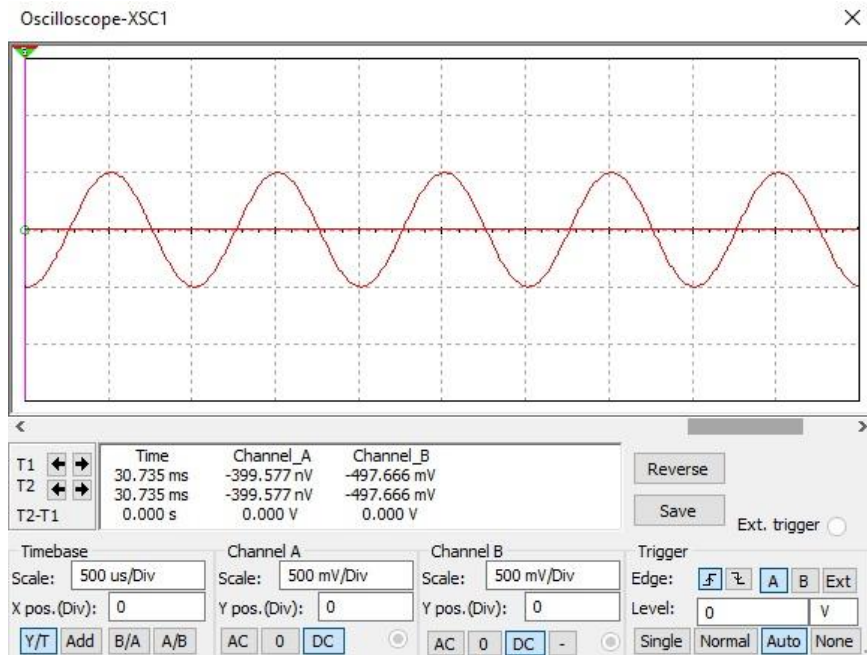
## 6.2. Usporedba frekvencijskih karakteristika

Za mjerenje frekvencijskog radnog područja pedale, izvršena su mjerenja izlaznog vrh do vrh napona pri frekvencijama 10-20000 Hz po logaritamskoj skali. Rezultati mjerenja prikazani su na grafu 6.1.



Graf 6.1: Amplitudno-frekvencijska karakteristika izlaznog signala fizičkog modela

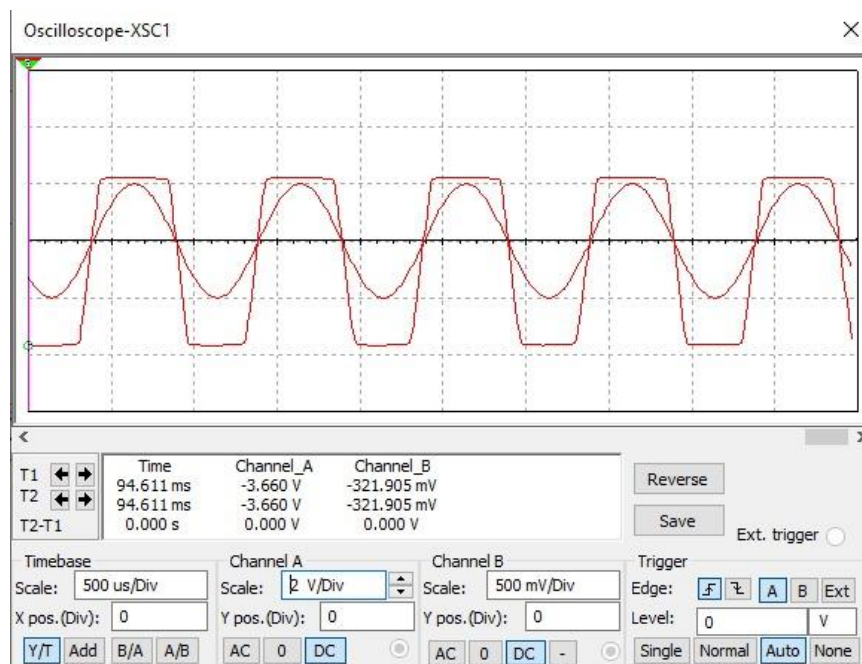
U simulaciji su napravljena mjerenja za usporedbu signala na višim i nižim frekvencijama. U prvom mjerenju na generatoru je odabrana amplituda 600 mVpp, te je odabrana frekvencija 1 kHz. Izvršena su mjerenja kada je su potenciometri postavljeni na 0%, 50% i 100%, što je prikazano na slikama 6.4, 6.5 i 6.6.



Slika 6.4: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potenciometar L i C postavljen na 0% pri amplitudi 600 mVpp i frekvenciji 1 kHz

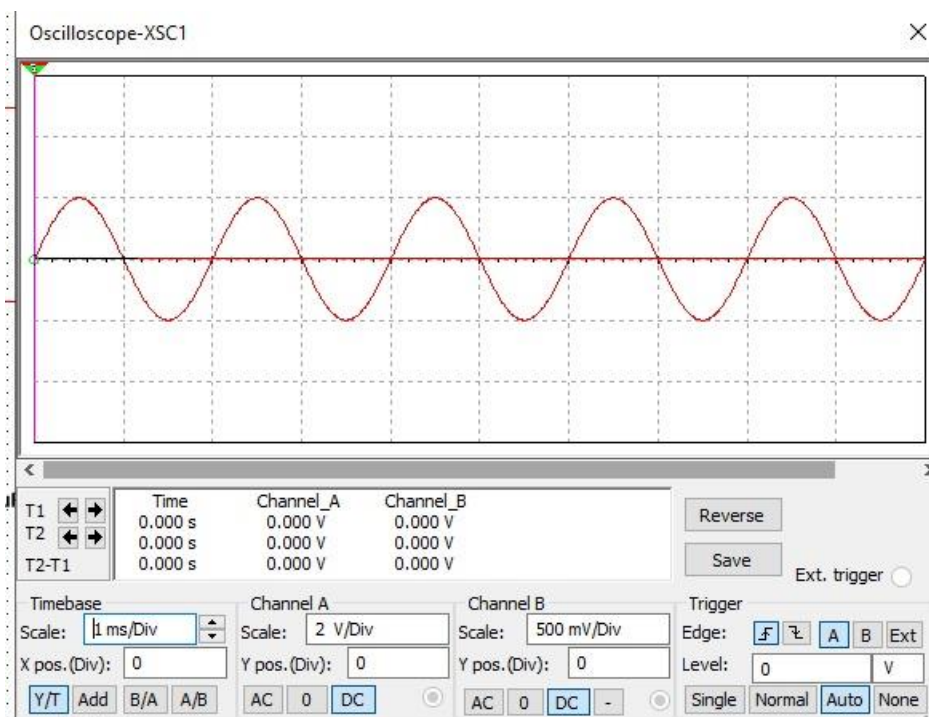


Slika 6.5: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potenciometar L i C postavljen na 50% pri amplitudi 600 mVpp i frekvenciji 1 kHz



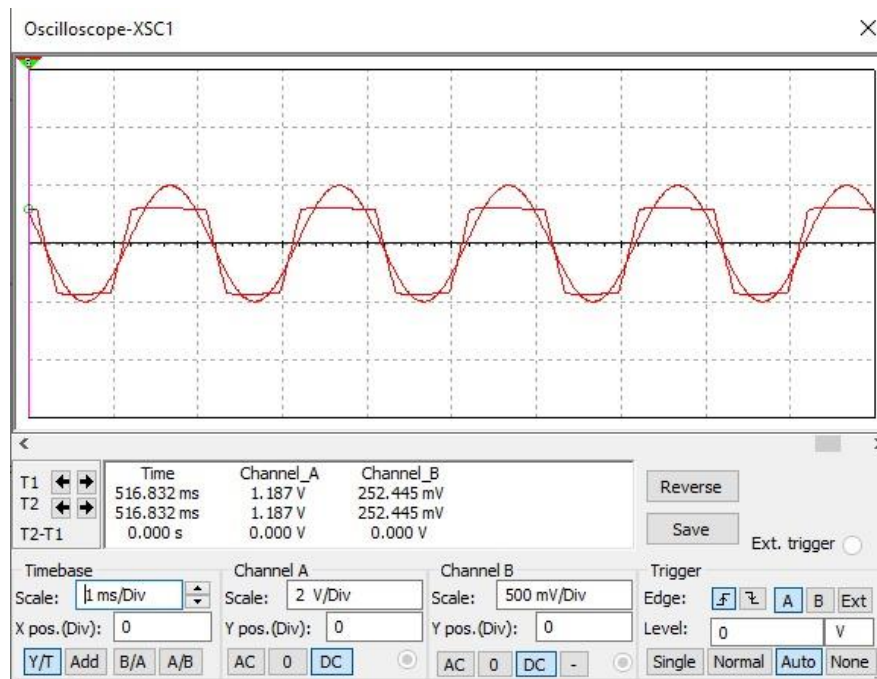
Slika 6.6: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potenciometar L i C postavljen na 100% pri amplitudi 600 mVpp i frekvenciji 1 kHz

U drugom mjerjenju odabrana je manja frekvencija 500 Hz, dok su ostale postavke ostale nepromijenjene. Navedeno mjerjenje prikazano je na slikama 6.7, 6.8 i 6.9.

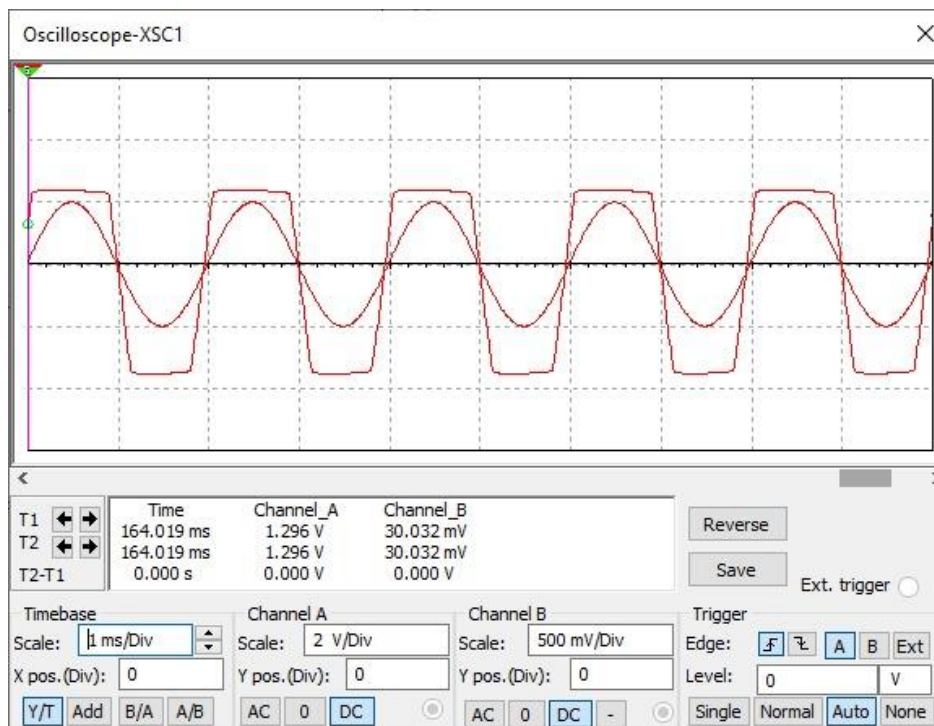


Slika 6.7: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potenciometar L i C postavljen na 0% pri amplitudi 600 mVpp i frekvenciji 500 Hz





Slika 6.8: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potenciometar L i C postavljen na 0% pri amplitudi 600 mVpp i frekvenciji 500 Hz



Slika 6.9: Prikaz ulaznog i izlaznog signala kada je potenciometar L i C postavljen na 0% pri amplitudi 600 mVpp i frekvenciji 500 Hz

Na izlaznom signalu, smanjenje frekvencije zadržava naglašene niske tonove te dodatno ističe dubinu zvuka.

## 7. ZAKLJUČAK

Kompresija audio signala tehnika je koja služi za kontrolu dinamike zvuka, tako što smanjuje razliku između najglasnijih i najtiših dijelova zvuka, a uređaj koji se koristi za to naziva se kompresor. Kompresija audio signala ima nekoliko parametara, a to su: prag, omjer, napad, otpust, koljeno i izlaz. Postoji nekoliko glavnih tipova audio kompresora, a to su: cijevni kompresor, optički kompresor, VCA kompresor te FET kompresor.

Zadatak ovog rada bio je opisati princip rada sklopa za kompresiju signala. Napraviti simulaciju rada odabranog sklopa, te na izrađenom sklopu izvršiti mjerenja u vremenskoj i frekvencijskoj domeni. Za izradu sklopa odabrana je Orange Juicer pedala temeljena na Orange Squeezer pedali Dana Armstronga. Orange Juicer pedala stvara kompresiju pomoću JFET tranzistora. Iz tog razloga, sadrži smanjen broj dijelova što ju čini jednostavnijom za izradu. Shema Orange Juicera izrađena je u NI Multisimu, a napravljene su male izmjene koje omogućavaju dodatnu kontrolu te daju korisniku mogućnost preciznijeg podešavanja željenih parametara zvuka.

Nabrojane su korištene komponente, prikazan način njihovog povezivanja te je napravljen fizički model pedale. Pedala je napravljena tako da ima dva potenciometra koji reguliraju glasnoću i kompresiju signala. Izvršena su mjerenja za različite amplitude signala pri različitim pozicijama potenciometara, kako bi se uočio utjecaj potenciometara na izlazni signal. Napravljena je usporedba vremenskog signala na ulazu i izlazu iz fizičkog modela i simulacije, te je napravljena usporedba frekvencijskih karakteristika izlaznog signala.

## 8. LITERATURA

- [1] Izotope. „What Is Audio Compression? Everything You Need to Know“. Pristupljeno: 28. lipanj 2023. <https://www.izotope.com/en/learn/what-is-audio-compression.html>
- [2] The Beat. „What Is Audio Compression?“ Pristupljeno: 28. lipanj 2023. <https://www.premiumbeat.com/blog/what-is-audio-compression/>
- [3] Uaudio. „Audio Compression Basics“. Pristupljeno: 28. lipanj 2023. <https://www.uaudio.com/blog/audio-compression-basics/>
- [4] Produce like a pro. „Types of Audio Compressors and Their Uses“. Pristupljeno: 28. lipanj 2023. <https://producelikeapro.com/blog/types-of-audio-compressors/#:~:text=The%20types%20of%20audio,optical%2C%20tube%2C%20and%20PWM>
- [5] mynewmicrophone.com. „What Is An Optical Compressor & How Does It Work?“ Pristupljeno: 28. lipanj 2023. <https://mynewmicrophone.com/what-is-an-optical-compressor-how-does-it-work/>
- [6] Ik Multimedia. „Opto Compressor“. Pristupljeno: 28. lipanj 2023. <https://www.ikmultimedia.com/products/troptocomp/>
- [7] mynewmicrophone.com. „What Is An VCA Compressor & How Does It Work?“ Pristupljeno: 28. lipanj 2023. <https://mynewmicrophone.com/what-is-a-vca-compressor-how-does-it-work/>
- [8] mynewmicrophone.com. „What Is An FET Compressor & How Does It Work?“ Pristupljeno: 28. lipanj 2023. <https://mynewmicrophone.com/what-is-a-fet-compressor-how-does-it-work/#:~:text=A%20FET%20compressor%20is%20an,than%20other%20types%20of%20compressors>.
- [9] whippedcreamsounds.com. „What Is A FET Compressor? And How To Use It To Better Mixes“ Pristupljeno: 16. rujan 2023. <https://www.whippedcreamsounds.com/fet-audio-compression/>
- [10] routenote.com. „What is compression in audio? 6 ways to use compression in music production“. Pristupljeno: 28. lipanj 2023. <https://routenote.com/blog/what-is-compression-in-audio/>

[11] Medium. „What is Multisim?“ Pristupljeno: 28. lipanj 2023. <https://ea-ham-nitw.medium.com/what-is-multisim-f237b874c5d6>

[12] effectpedalkits.com. „Orange Juicer Compressor Kit Building Manual“ Pristupljeno: 10. rujan 2023. <https://effectpedalkits.com/wp-content/uploads/manuals/orange-juicer-compressor-kit-building-manual.pdf>



## SAŽETAK

Kompresija signala omogućava kontrolu dinamičkog raspona signala. Ima nekoliko glavnih parametara koji su nabrojani i opisani u ovom radu. Također, nabrojani su i opisani glavni tipovi audio kompresora. Izrađen je model pedale za gitaru koji je prvo napravljen u programu NI Multisim, a izradu pedale odabrana je Orange Juicer pedala temeljena na Orange Squeezer pedali Dana Armstronga. Orange Juicer pedala poznata je po glatkoj kompresiji koju stvara pomoću JFET tranzistora. U radu su napravljene male izmjene na shemi radi bolje iskoristivosti efekta pedale, te je kasnije napravljen i fizički model pedale za gitaru na kojem su napravljena mjerenja i simulacije.

Ključne riječi: kompresija signala, NI Multisim, Orange Juicer pedala

## **ABSTRACT**

### **Audio compression**

Signal compression enables control of the dynamic range of the signal. It has several main parameters that are listed and described in this paper. Also, the main types of audio compressors are listed and described. A guitar pedal model was first created in the NI Multisim program, and choice for the pedal desing was Orange Juicer pedal based on Dan Armstrong's Orange Squeezer. The Orange juicer pedal is known for the smooth compression it creates using JFET transistors. In the paper, small changes were made to the scheme for better use of the pedal effect, and later a physical model of the guitar pedal was made, on which measurements and simulations were made.

Keywords: signal compression, NI Multisim, Orange Juicer pedal