

# GITARSKA FUZZ PEDALA

---

**Radičević, Valentin**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*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:200:842269>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-28**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**GITARSKA FUZZ PEDALA**

**Završni rad**

**Valentin Radičević**

**Osijek, 2019.**

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1 Zadatak .....	1
2. DIZAJNIRANJE FUZZ EFEKTA I KORIŠTENE TEHNOLOGIJE.....	2
2.1 Povijest fuzz efekta .....	2
2.2 Osnovna shema fuzz pedale .....	2
2.3 Multisim.....	4
2.4 Protoboard.....	6
3. IZRADA PEDALE.....	8
3.1 Odabir sheme spoja .....	8
3.2 Odabir tranzistora i popis svih korištenih komponenata .....	10
3.3 Proces izrade simulacije .....	12
3.4 Proces izrade fizičkog modela.....	13
4. VREMENSKE I FREKVENCIJSKE KARAKTERISTIKE PEDALE.....	15
4.1 Usporedba mjerenja vremenskog signala na izlazu iz pedale i .....	15
izlazu iz simulacije .....	15
4.2 Usporedba mjerenja frekvencijskih karakteristika simulacije i .....	20
fizičkog modela pedale.....	20
5. ZAKLJUČAK.....	23
LITERATURA.....	24
SAŽETAK .....	25
ABSTRACT .....	26
ŽIVOTOPIS .....	27

## **1.UVOD**

Za temu završnoga rada zadana je izrada gitarske *fuzz* pedale, elektroničkog uređaja za preoblikovanje signala koji izlaze iz generatora signala u instrumentu u željene oblike koji dovedeni na zvučnik stavraju željene efekte zvuka – u ovome slučaju oblik *fuzz*-a. Rad ima naglasak na analizi izlaznih signala iz pedale, kao fizičkog i digitalnog modela, u vremenskoj i frekvencijskoj domeni.

U prvome poglavlju će biti opisan početak pojave oblikovanja efekta u glazbi i sve o pojavi i autorima koji su koristili ovu vrstu efekata zbog kojih je i efekt postao popularan. U istome poglavlju objasniti će se osnovna shema ovoga spoja te objasniti njegova tri funkcionalna dijela. Tu će se prikazati signali očekivani na izlasku ovakvoga uređaja. Na kraju ovog poglavlja opisat će se tehnologije korištene za izradu simulacije (Multisim) i za izradu fizičkog modela (razvojna pločica).

U drugome poglavlju glavnoga dijela izložit će se odabrana varijacija sheme *fuzz* pedale te pojasniti razlike u usporedbi s osnovom shemom ovoga efekta. Ovaj dio prikazat će proces izrade simulacije i fizičkoga modela gdje će se pojasniti koji su signali odabrani za simuliranje signala gitare.

U posljednjem dijelu prikazat će se rezultati mjerenja modela u simulaciji i fizičkoga modela u frekvencijskoj i vremenskoj domeni na odabranim signalima – frekvencijama i amplitudama odabranim na generatorima signala. Ovdje će se usporediti dva dobivena rezultatagdje će se spominjati pojava dodatnih harmonika.

### **1.1 Zadatak**

Zadatak završnog rada je izrada gitarske *fuzz* pedale. Nakon izrade, potrebno je izvršiti laboratorijska mjerenja te evaluirati radne značajke pedale u vremenskoj i frekvencijskog domeni.



## 2. DIZAJNIRANJE FUZZ EFEKTA I KORIŠTENE TEHNOLOGIJE

### 2.1 Povijest fuzz efekta

Porijeklo današnjeg prepoznatljivog zvuka električne gitare dolazi od svojstva da je zvuk koji proizvodi gitara samo jednostavan analogni signal koji kao i svaki takav provođenjem kroz elektronička pojačala moguće izmijeniti. Signal pojačane snage osjetljiviji je na oblikovanje. Prva pojačala i izobličena signala izvođena su pomoću vakumskih cijevi, pojačala niske snage. Efekt koji se izvodi u ovome radu, fuzz, nastao je '60-ih godina kada je Grady Martin pokvario svoje predpojačalo i dobio prvi iskrivljeni zvuk.

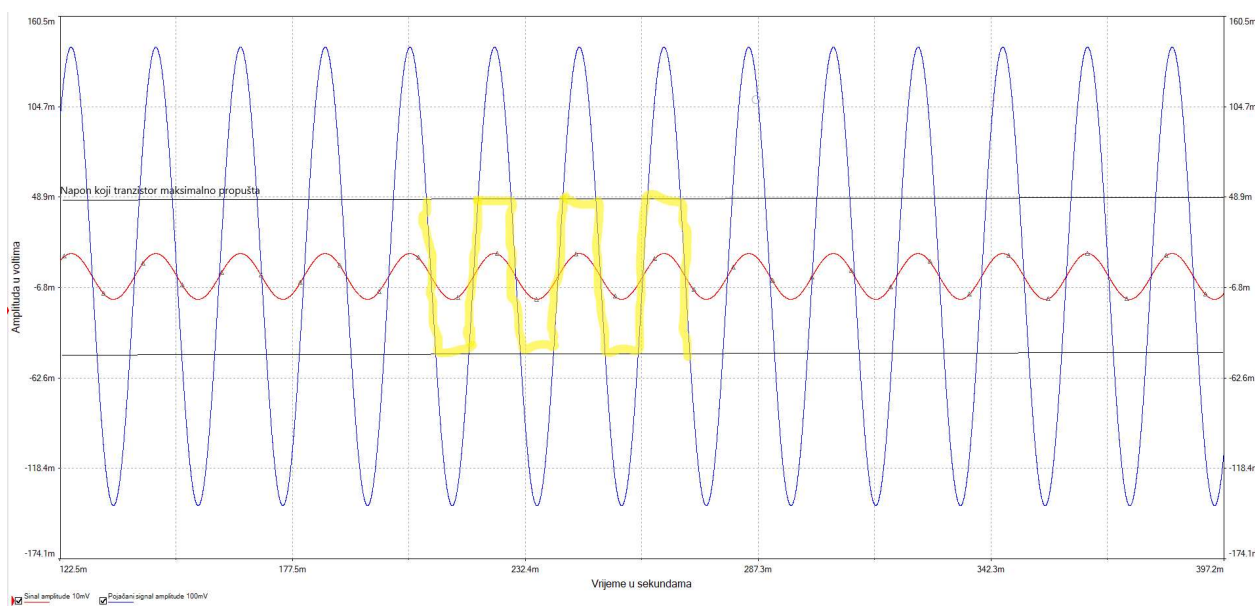
Glazbenici koji su ovaj zvuk popularizirali su svakako Jimi Hendrix pjesmama poput "Purple haze" i naravno "Foxy lady" te britanski rock bend The Rolling Stones sa svojom pjesmom "Satisfaction".

### 2.2 Osnovna shema fuzz pedale

Kako bi se postigao fuzz efekt potrebno je izobličiti vremenski signal sličan sinusnom u oblik što sličniji pravokutnom.

Ovo je geometrijski lako objašnjivo ako signal promatramo u vremenskoj domeni.

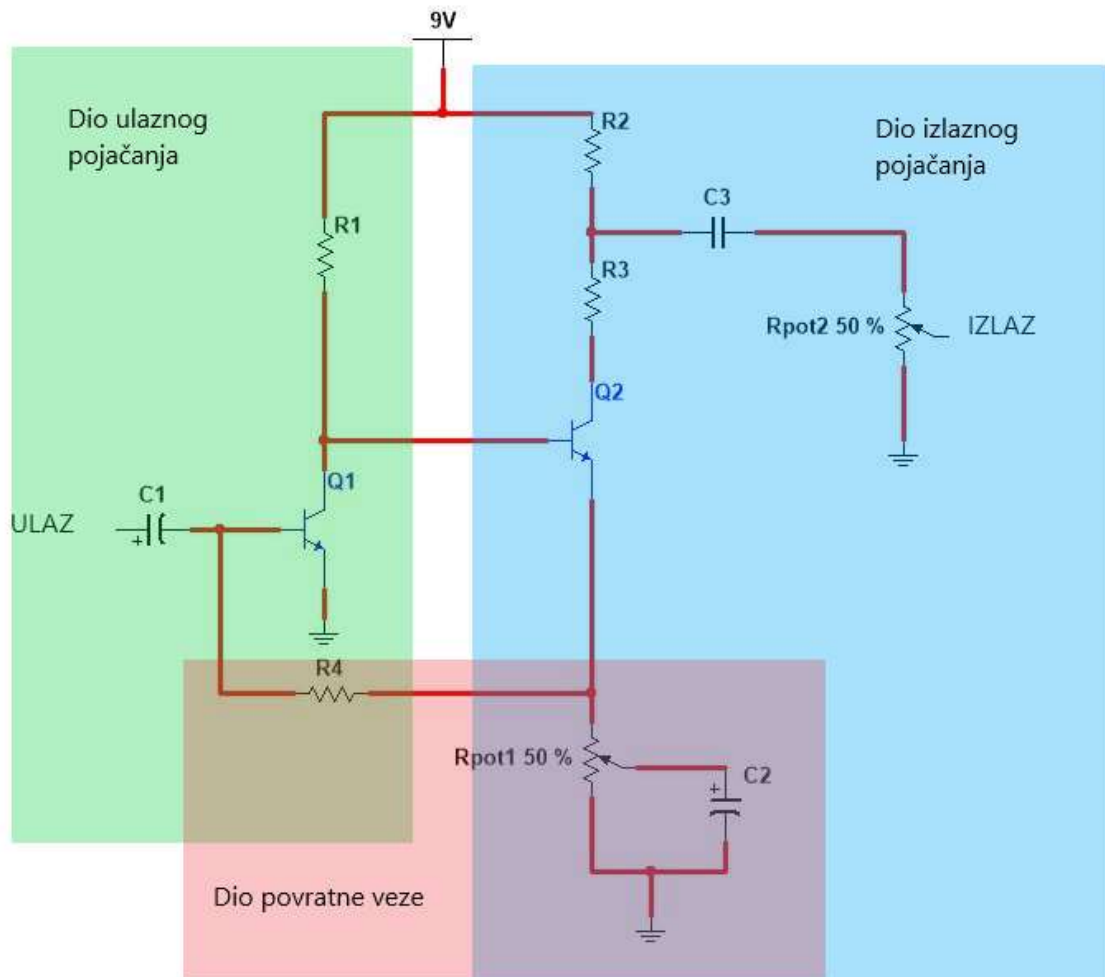
Prvi zahtjev je dobiti bočne stranice pravokutnika. To se postiže povećanjem amplitude sinusnog signala. Kako se amplituda povećava tako su u istom vremenskom odsječku mjesta gdje sinus raste i gdje pada paralelniji. dobivamo bočne stranice pravokutnika. Pojačalo naponske amplitude izvodi se pomoću tranzistora u spoju zajedničkog emitera. Na slici 2.1 prikazan je opisani princip.



Slika 2.1 Prikaz principa stvaranja pravokutnog signala pomoću tranzistora

Drugi zahtjev je da se zakrivljeni brijeg sinusa pretvori u stranicu paralelnu s vremenskom osi. Kako bi se to izvelo koristi se metoda poznata pod nazivom *clipping*, odnosno amplitudno "izrezivanje" signala. Pojava izrezivanja signala na određenoj amplitudi karakteristična je za sve vrste pojačala odnosno tranzistora. Svaki tranzistor može propustiti neku određenu maksimalnu vrijednost, sve jače od toga bit će izrezano i poprimat će vrijednost maksimalne. Ovo svojstvo zapravo rješava oba zahtjeva kreiranja pravokutnog signala od sinusnog.

Najjednostavnija izvedba fuzz pedale prikazana je na slici 2.2. u obliku strujne sheme.



**Slika 2.2** Prikaz sheme jednostavne fuzz pedale podijeljene na 3 funkcionalna dijela

Strujni krug analizira se kroz 3 dijela: dio ulaznog pojačanja signala, dio izlaznog pojačanja i dio povratne veze.

U dijelu ulaznog pojačanja najprije imamo elektrolitski kondenzator potreban za filtriranje svih DC komponenta ulaznog signal. Ono je potrebno zbog definiranog radnog područja tranzistora. DC komponente uzrokuju pomicanje signala i za rezultat imamo neočekivana izobličenja. Iza toga slijedi NPN bipolarni tranzistor u spoju zajedničkog emitera. Pomoću otpornika R1 tranzistor dovodimo u željeno radno područje - određujemo naponsko pojačanje i maksimalnu struju kolektora. Ono što je

važno za fuzz je da je ulazna impedancija što manja kako bi osjetljivost bila što veća. Izračun za ulaznu impedanciju zadan je formulom 2-1.

$$Z_{ul} = ((\beta + 1) \times V_T) / I_E \quad (2-1)$$

Gdje je  $\beta$  strujno pojačanje tranzistora,  $V_T$  termalni napon pri sobnoj temperaturi, a  $I_E$  DC struja emitera za odabranu radnu točku.

Naponsko pojačanje ovog dijela kruga u ovisnosti o otporniku  $R_I$  zadan je prema formuli 2-2.

$$A_v = (-I_E / V_T) \times R_I \quad (2-2)$$

U dijelu izlaznog pojačanja nalazi se još jedan NPN tranzistor u spoju zajedničkog emitera s degenerativnim promjenjivim otporniku na emiteru.  $R_{pot2}$  regulira koliko će struje izlaziti, odnosno koliko će glasan zvuk biti. Pomoću Otpornika  $R_2$ ,  $R_3$  i vrijednosti varijabilnog otpora  $R_{pot1}$  upravlja se ukupnim pojačanjem prema formuli 2-3.

$$A_v = (R_2 + R_3) / R_{pot1} \quad (2-3)$$

Dio povratne veze (degenerativne) zapravo regulira koliko će jako fuzz efekt biti fuzz. To čini kroz nekoliko stavaka - najprije kontrolira ulaznu impedanciju ukupnog kruga, smanjuje nelinearno izobličenje, odnosno pomiče radnu točku u linearno područje te tako čini pojačanje konstantnijim. Jednostavno je vidljivo da je uz veću vrijednost otpora  $R_{pot1}$  otpornika povratna veza veća te je u tome slučaju pojačanje manje, a uz manje vrijednosti otpora  $R_{pot1}$  otpornika povratna veza manja - može se promatrati kao da je za  $R_{pot1} = 0 \Omega$  dobiven kratki spoj i ništa ne odlazi u granu s  $R_4$  otpornikom.

## 2.3 Multisim

*Multisim* je program koji integrira SPICE simulacije industrijskih standardna s interaktivnim shematskim okruženjem za izravnu vizualizaciju rezultata simulacije i analizu radnog područja elektroničkih krugova. Sučelje je izrazito intuitivno i to pospješuje brzinu izrade modela što sigurno i utječe na brže shvaćanje teorije koju modeli predstavljaju - jer je moguća brza promjena varijabli.

SPICE (eng. *Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) je međunarodno softversko okruženje koje daje međunarodno priznate standardne modele složenih i jednostavnih komponenti poput BJT tranzistora.

SPICE modeli opisani su obično tekstualnom datotekom. Tako je npr. model PNP germanijskog AC128 tranzistora opisan ovim tekstom:

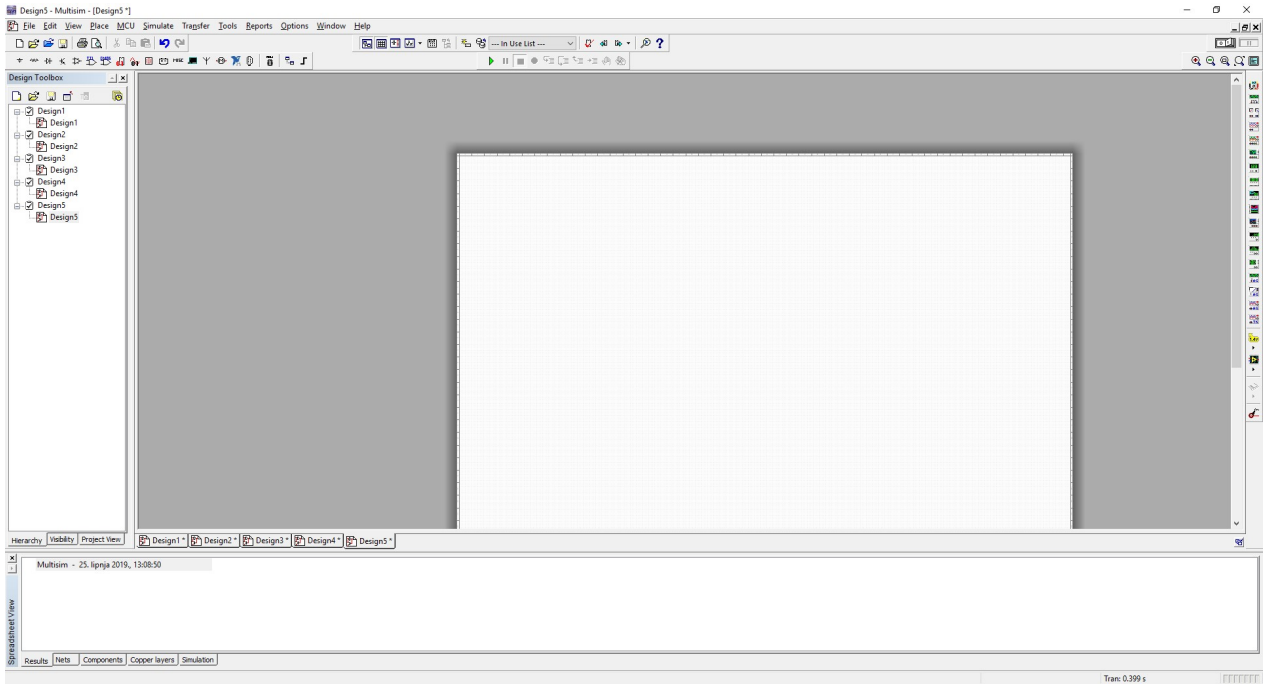
```

.MODEL GERPNP_LOWGAIN PNP(IS=85.8N BF=85.000 NF=1.000 VAF=102.207
+IKF=9.981M ISE=0.435N NE=1.200 BR=20.000 NR=1.000 VAR=20.000
+IKR=1.248M ISC=120.8N NC=1.200 RB=173.312 IRB=5.000U RBM=43.328
+RE=20.000 RC=60.000 CJE=6.000P VJE=0.400 MJE=0.400 TF=0.150U

```

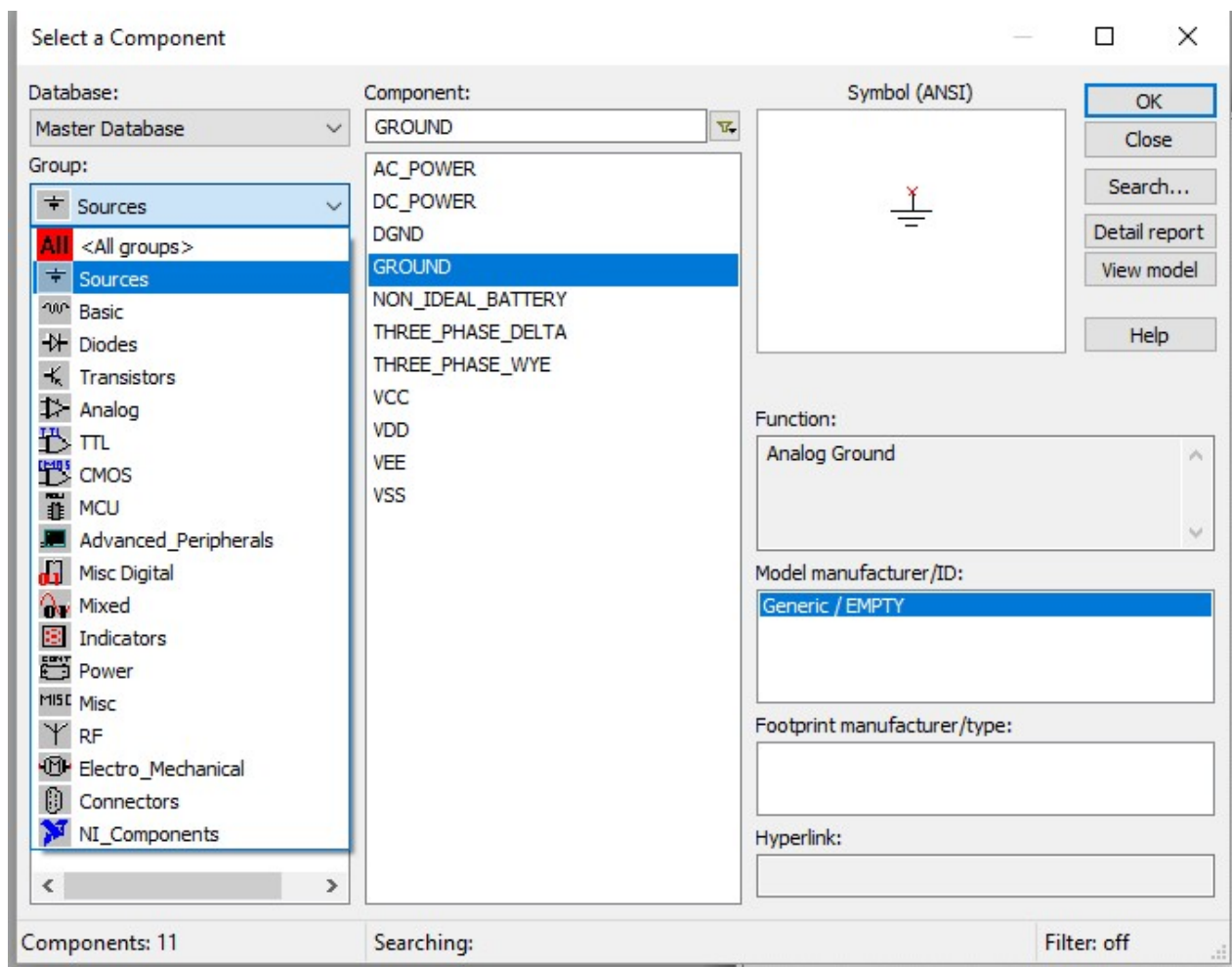
$+XTF=9.996$   $VTF=2.000$   $ITF=9.983M$   $PTF=1.000$   $CJC=3.750P$   
 $+VJC=0.600$   $MJC=0.330$   $XCJC=0.650$   $TR=2.865U$   
 $+CJS=0.0$   $VJS=0.700$   $MJS=0.500$   $XTB=1.000$   $EG=0.670$   
 $+XTI=4.000$   $KF=5.000F$   $AF=1.000$   $FC=0.750$ )  
 .END " [1]

Sučelje ovog programa prikazano je na slici 2.3.



**Slika 2.3.** Sučelje programa *Multisim*

U ovome alatu korisniku je dostupno toliko resursa da je moguće u potpunosti vladati modelom. Svi resursi intuitivno su kategorizirani što je vidljivo na slici 2.4.



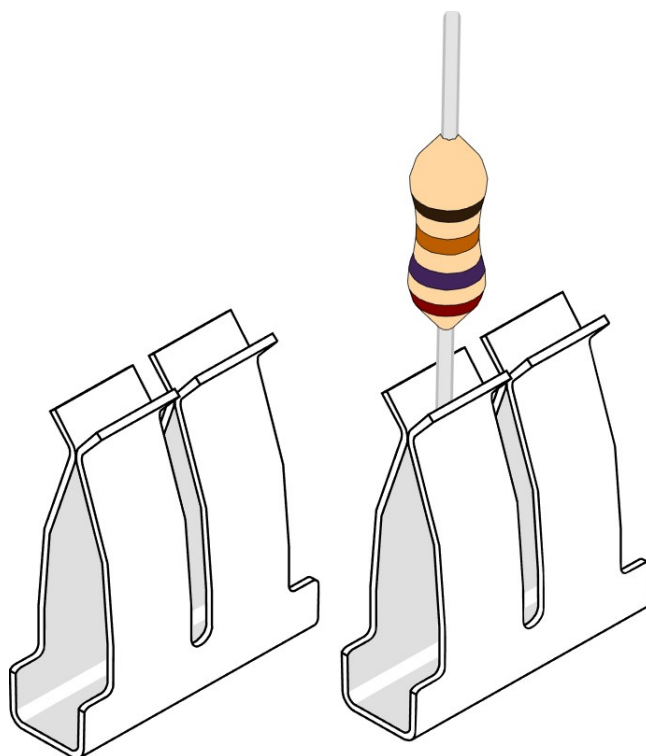
**Slika 2.4.** Odabir komponenti u programu *Multisim*

Konkretno kretanje kroz alat bit će prikazano u poglavlju kreiranja simulacije.

## 2.4 Protoboard

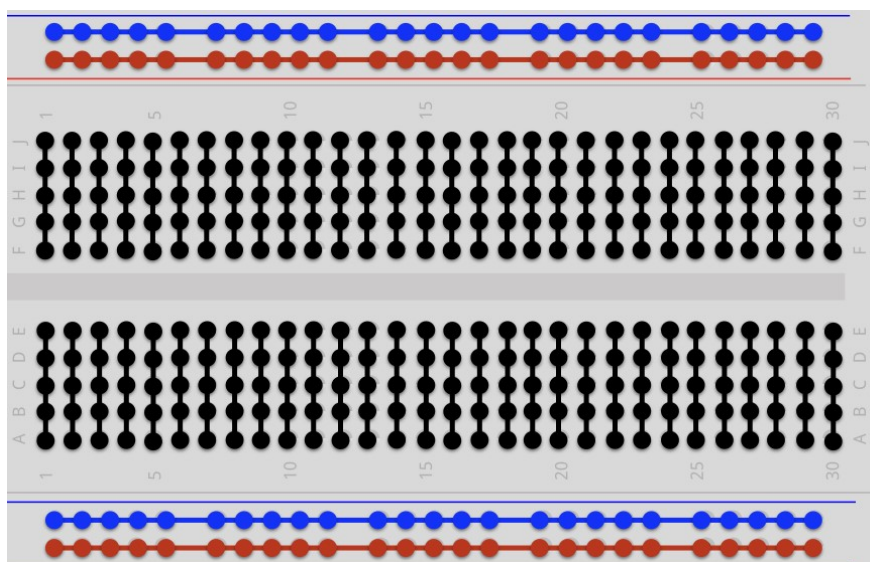
Razvojna pločica (eng. Protoboard još nazivana i Breadboard) je konstrukcijska baza za izradu prototipova elektroničkih krugova. Ideja ovakvog proizvoda je da se omogući korištenje trajno povezanih linija kako bi se izbjeglo neuredno lemljenje i kako bi se omogućila fleksibilnost promjene i premještanja komponenata.

Pločica je napravljena kao matrica rupica, gdje je u svaku rupicu moguće umetnuto jedan pol elektroničkog elementa. Unutar rupice nalazi metalni mehanički sklop koji hvata umetnuti pol i zadržava ga u sebi, kako je i prikazano na slici 2.5.



**Slika 2.5.** Unutrašnjost umetnutog jednoprilaza u rupice razvojne pločice [1]

Rupice na razvojnoj pločici međusobno su povezane na način opisan na slici 2.6. Grupe od po 5 rupica kratko su spojene. Duž cijele pločice obično se nalaze dvije linije rupica gdje su rupice svake linije kratko spojene.

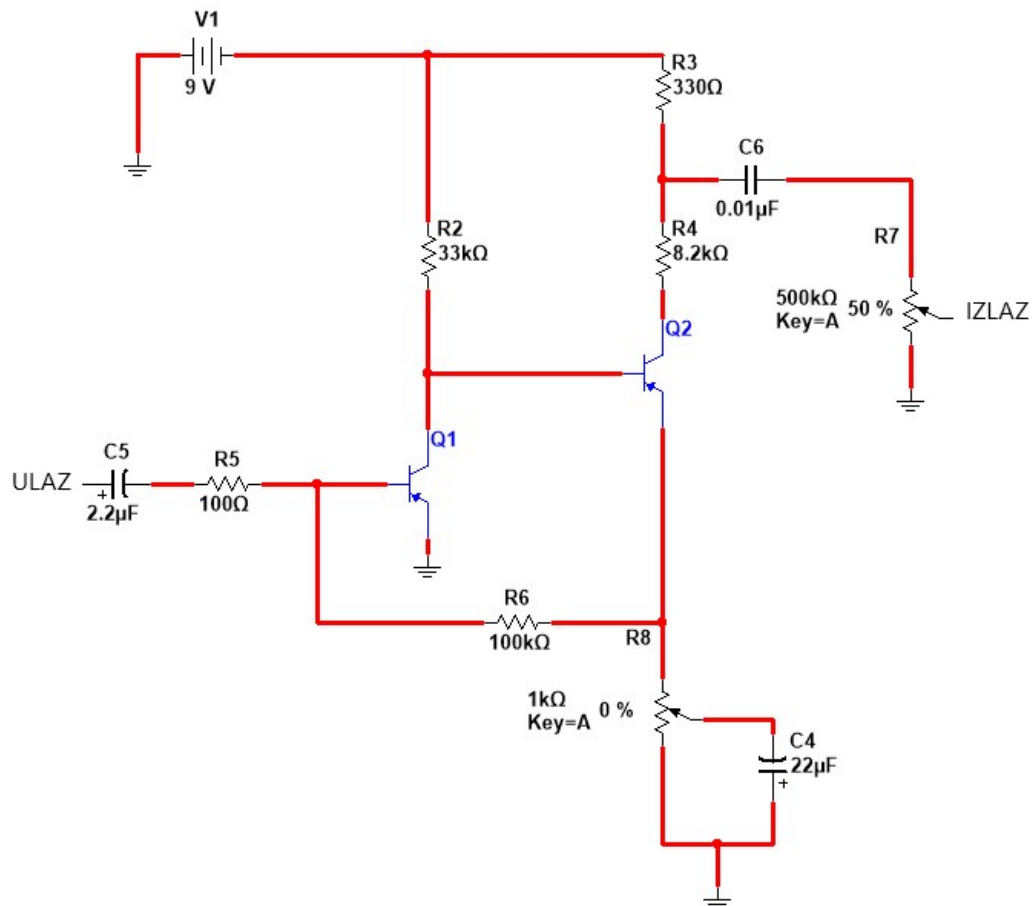


**Slika 2.6.** Prikaz način međusobnog povezivanja rupica na razvojnoj pločici

### 3. IZRADA PEDALE

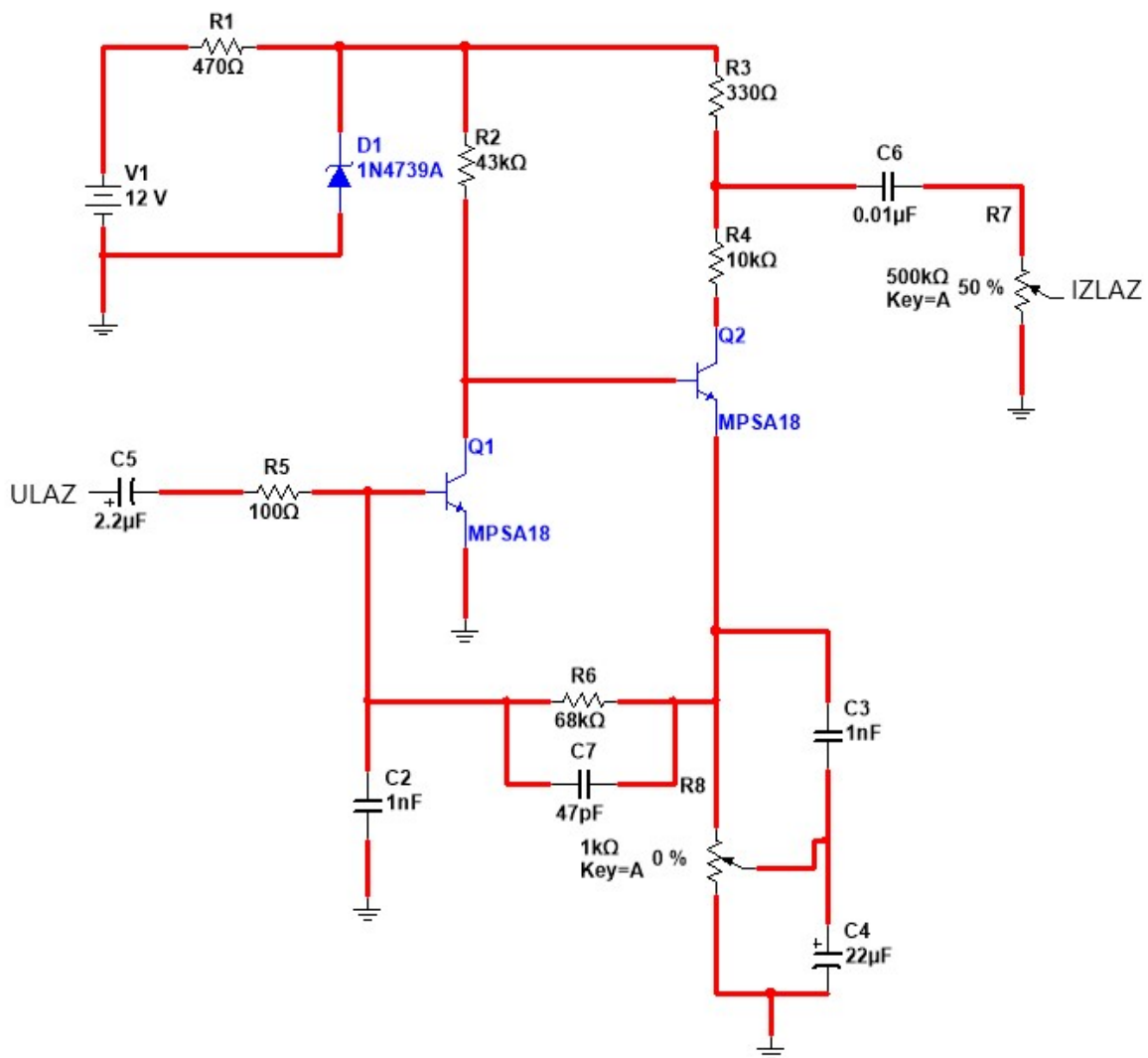
#### 3.1 Odabir sheme spoja

Nekoliko je varijacija osnovne sheme fuzz pedale. Najpopularnija varijacija je *fuzz face* koju su skoro svi proizvođači gitarski efekat padala radili i rade. Prva varijacija koja je došla u obzir je fuzz face tvrtke *Dunlop* izveden pomoću PNP tranzistora i negativnog  $V_{cc}$  istosmjernog izvora. Kao osnova kruga korišteni su germanijski tranzistori AC128. Shema je prikazana slikom 3.1.



Slika 3.1. Shema *Dunlopovog Fuzz Face*-a s germanijskim PNP tranzistorima

Zbog svojstava germanijskih tranzistora zvuk ovakve pedale dolazi iz nešto manjeg pojačanja s tranzistora, kod kojih je *clipping* nešto sporiji – sporiji *clipping* empirijski se pokazao „muzikalnijim“. Za implementaciju je odabrana NPN verzija *fuzz face*-a čiju je osnovu strukturu izmijenio Roger Mayers, tehničar za zvuk Jimi Hendrixa, a dodatno oblikovala i objavila tvrtka *Dunlop*. Shema je prikaza na slici 3.2.



**Slika 3.2.** Odabrana silikonska NPN verzija *Fuzz Face*-a poznata i pod nazivom JH2 uz neke moje prilagodbe

Na shemi je vidljivo kako su dodani kondenzatori  $C_2$ ,  $C_3$  i  $C_7$ , otpornici  $R_1$  i  $R_5$  te Zenerova dioda  $D_1$  u usporedbi s osnovnom shemom za dobivanje *fuzz* efekta.

Kondenzator  $C_7$  dodan je u svrhu filtriranja frekvencija signala u povratnoj vezi, a  $C_2$  i  $C_3$  za rješavanje parazitskih kapacitivnosti između baze i emitera.

Otpornik  $R_5$  dodan je zbog velikog strujnog pojačanja MPSA18 tranzistora – na ovaj način povećana je njegova kontrola, ali i smanjena brzina promjene pojačanja.

I otpornik  $R_1$  postavljen je da se bolje kontrolira struja kolektora – ponovno zbog svojstava korištenog tranzistora.



### 3.2 Odabir tranzistora i popis svih korištenih komponenata

S obzirom da shema odabranog spoja oblikovana prema tranzistoru MPSA18 to je bio i moj odabrani tranzistor. U usporedbi s drugim silikonskim tranzistorima prednost mu je jako mala snaga šuma (eng. *noise gain*). Možda bitnija karakteristika ovog tranzistora je izrazito visoko strujno pojačanje koje je prema *Geofax*-u prosječno 900, dok je za germanijske PNP tranzistore korištene u PNP izvedbama pedale prosječno 70-130. [3]

MPSA18 kupljeni su preko tvrtke *Tayda Electronics* [4] i specifikacije im odgovaraju opisnoj listi sa slike 3.3.

#### MPSA18

##### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
Collector-Emitter Breakdown Voltage (Note 2) ( $I_C = 10 \text{ mAdc}$ , $I_B = 0$ )	$V_{(BR)CEO}$	45	-	-	Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_C = 100 \mu\text{Adc}$ , $I_E = 0$ )	$V_{(BR)CBO}$	45	-	-	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ( $I_E = 10 \mu\text{Adc}$ , $I_C = 0$ )	$V_{(BR)EBO}$	6.5	-	-	Vdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CB} = 30 \text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ )	$I_{CBO}$	-	1.0	50	nAdc
<b>ON CHARACTERISTICS (Note 2)</b>					
DC Current Gain ( $I_C = 10 \mu\text{Adc}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 100 \mu\text{Adc}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 1.0 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 10 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ )	$h_{FE}$	400 500 500 500	580 850 1100 1150	- - - 1500	-
Collector-Emitter Saturation Voltage ( $I_C = 10 \text{ mAdc}$ , $I_B = 0.5 \text{ mAdc}$ ) ( $I_C = 50 \text{ mAdc}$ , $I_B = 5.0 \text{ mAdc}$ )	$V_{CE(sat)}$	- -	- 0.08	0.2 0.3	Vdc
Base-Emitter On Voltage ( $I_C = 1.0 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ )	$V_{BE(on)}$	-	0.6	0.7	Vdc
<b>SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS</b>					
Current-Gain - Bandwidth Product ( $I_C = 1.0 \text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ , $f = 100 \text{ MHz}$ )	$f_T$	100	160	-	MHz
Collector-Base Capacitance ( $V_{CB} = 5.0 \text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $f = 1.0 \text{ MHz}$ )	$C_{cb}$	-	1.7	3.0	pF
Emitter-Base Capacitance ( $V_{EB} = 0.5 \text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ , $f = 1.0 \text{ MHz}$ )	$C_{eb}$	-	5.6	6.5	pF
Noise Figure ( $I_C = 100 \mu\text{Adc}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ , $R_S = 10 \text{ k}\Omega$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ ) ( $I_C = 100 \mu\text{Adc}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ , $R_S = 1.0 \text{ k}\Omega$ , $f = 100 \text{ Hz}$ )	NF	- -	0.5 4.0	1.5 -	dB
Equivalent Short Circuit Noise Voltage ( $I_C = 100 \mu\text{Adc}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$ , $R_S = 1.0 \text{ k}\Omega$ , $f = 100 \text{ Hz}$ )	$V_T$	-	6.5	-	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$

2. Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300 \mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ .

**Slika 3.3.** Datasheet MPSA18 tranzistora

U opisnoj listi vidljiva su moguća pojačanja u rasponu 400-1500, a snaga šuma u području 0.5-4.0 dB što je zadovoljavajuće ako ne prelazi 1.5 dB što je polovica danih vjerojatnih vrijednosti.

Komponente koje su korištene u izradi fizičkog modela ovog uređaja prikazane su na slici 3.4. A točnije se radi o sljedećima:

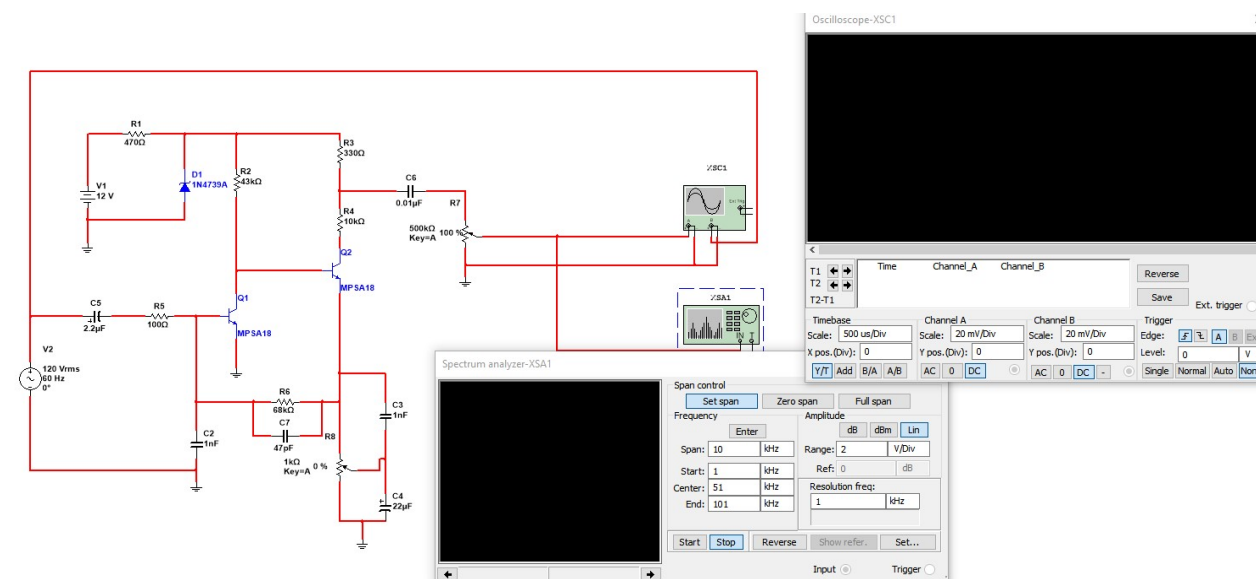
- 2x MPSA18 NPN silikonski tranzistori
- 2x keramička kondenzatora vrijednosti 1nF
- 1x keramički kondenzator vrijednosti 47 pF
- 1x keramički kondenzator vrijednosti 0.01  $\mu$ F
- 1x elektrolitski kondenzator vrijednosti 2.2  $\mu$ F
- 1x elektrolitski kondenzator vrijednosti 22  $\mu$ F
- 1x otpornik vrijednosti 470  $\Omega$
- 1x otpornik vrijednosti 43 k $\Omega$
- 1x otpornik vrijednosti 330  $\Omega$
- 1x otpornik vrijednosti 10 k $\Omega$
- 1x otpornik vrijednosti 100  $\Omega$
- 1x otpornik vrijednosti 68 k $\Omega$
- 1x varijabilni logaritamski otpornik vrijednosti 500 k $\Omega$
- 1x varijabilni linearni otpornik vrijednosti 1 k $\Omega$
- 1x 1N4739 Zenerova dioda
- 1x naponski adapter 12 V
- 2x mono audio ulaza širine 6.35 mm
- 1x DC ulaz širine 2.1 mm
- 1x 3PDT nožni prekidač
- nx bakrenih spojnih vodiča
- 1x razvojna pločica



Slika 3.4. Sve komponente i elementi korišteni u izradi pedale

### 3.3 Proces izrade simulacije

Kod izrade simulacije najprije su postavljene sve komponente potrebne za izradu. Komponente su navedene u poglavlju 3.2. Komponente je poželjno postaviti u najjednostavnijem željenom rasporedu što se radi odabirom na komponentu i povlačenjem do željenog mjesta. Nakon toga uslijedilo je povezivanje komponenti „vodičima“ na način da se najprije desnim klikom odabere prilaz prve komponente koju želimo spojiti i nakon toga druge. Kada su komponente posložene i spojene na željeni način u simulaciju se dodaju osnovni elementi poput izvora signala za što je u ovoj simulaciji korišten sinusni izvor signala s oznakom „AC\_VOLTAGE“. Sklop iziskuje istosmjerno napajanje za što je odabran istosmjerni izvor s oznakom „DC\_POWER“. Za sva uzemljenja u simulaciji odabran je element s oznakom „GROUND“. Nakon toga na sklop su postavljeni instrumenti za mjerenje. Korišteni su osciloskop s oznakom „Oscilloscope-XSC1 Prikaz sklopa prije mjerenja prikazan je na slici 3.5.

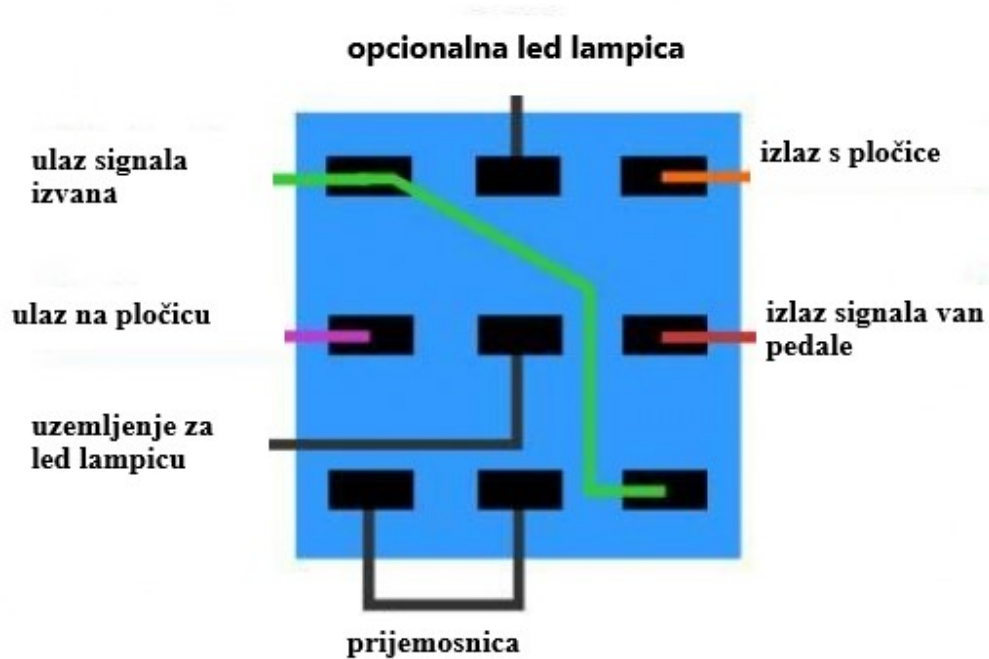


Slika 3.5. Sklop simulacije spreman za mjerenje

Sve komponente korištene u simulaciji bile su unutar alata *Multisim*, no da je bilo potrebno mogao se dodati bilo koji element opisan SPICE standardom.

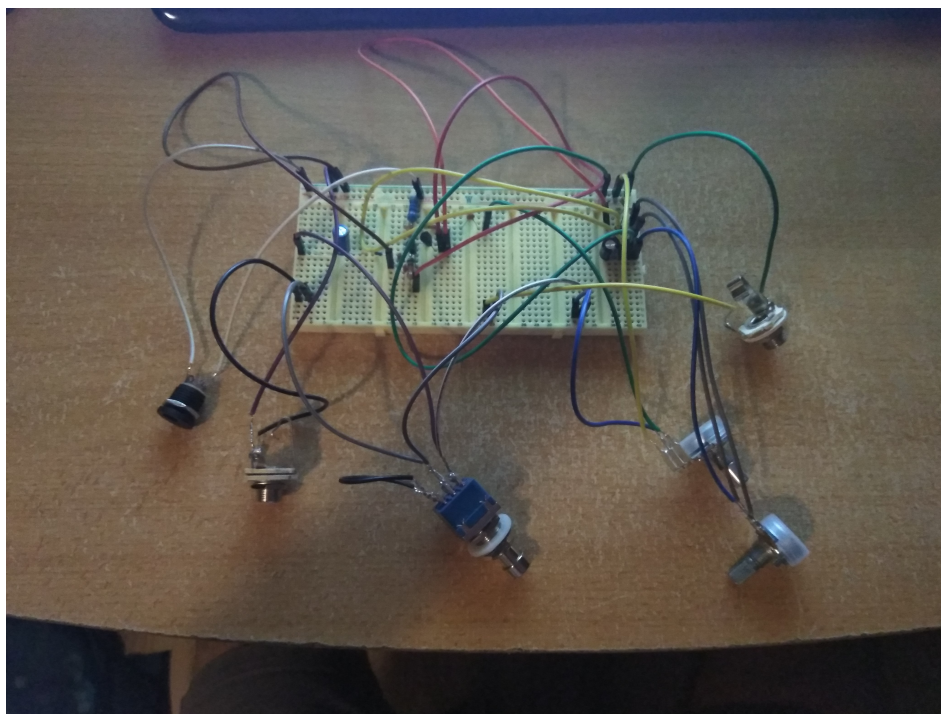
### 3.4 Proces izrade fizičkog modela

Kod fizičke implementacije sklopa korištene su ranije navede komponente iz poglavlja 3.2. Unutarnje komponente (kondenzatori, tranzistori, otpornici i diode) međusobno su povezivane nožicama *protoboarda* - postupak opisan slikama 2.5. i 2.6. Na vanjske komponente (audio ulazi, 3PDT prekidač, DC ulaz te potencijometri) najprije su zalemljeni bakreni vodiči, svaki prilaz imao je jedan vodič. Ti vodiči dovedeni su na *protoboard* na predviđena mjesta. 3PDT prekidač spojen je prema slici 3.6. kako bi se ostvarila mogućnost 2 načina rada pedale. Prvi način je izravan prolaz signala kroz prekidač s ulaza na izlaz (eng. *true bypass*), a drugi način rada je prolazak signala s ulaza kroz pedalu te na izlaz.



**Slika 3.6.** Uputa za spajanje 3PDT prekidača

Nakon što je sve potrebno zalemljeno i sve spojeno na *protoboard* pedala je izgledala kao na slici 3.7. Na ovome modelu rađena su i sva mjerenja zbog lakog pristupa golim vodičima.



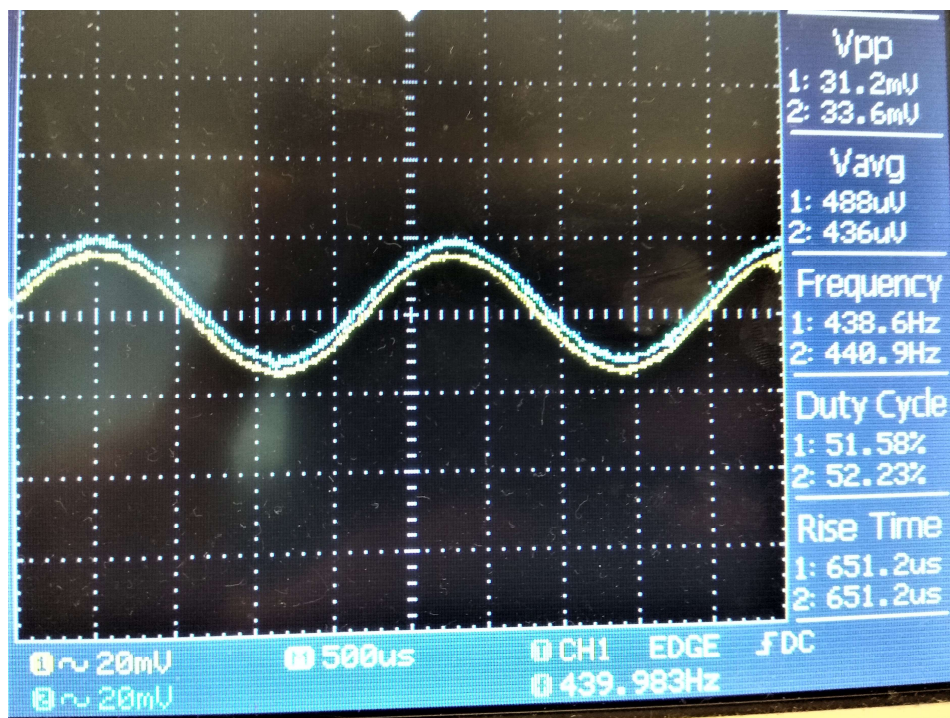
**Slika 3.7.** Fizički model pedale na razvojnoj pločici



## 4. VREMENSKE I FREKVENCIJSKE KARAKTERISTIKE PEDALE

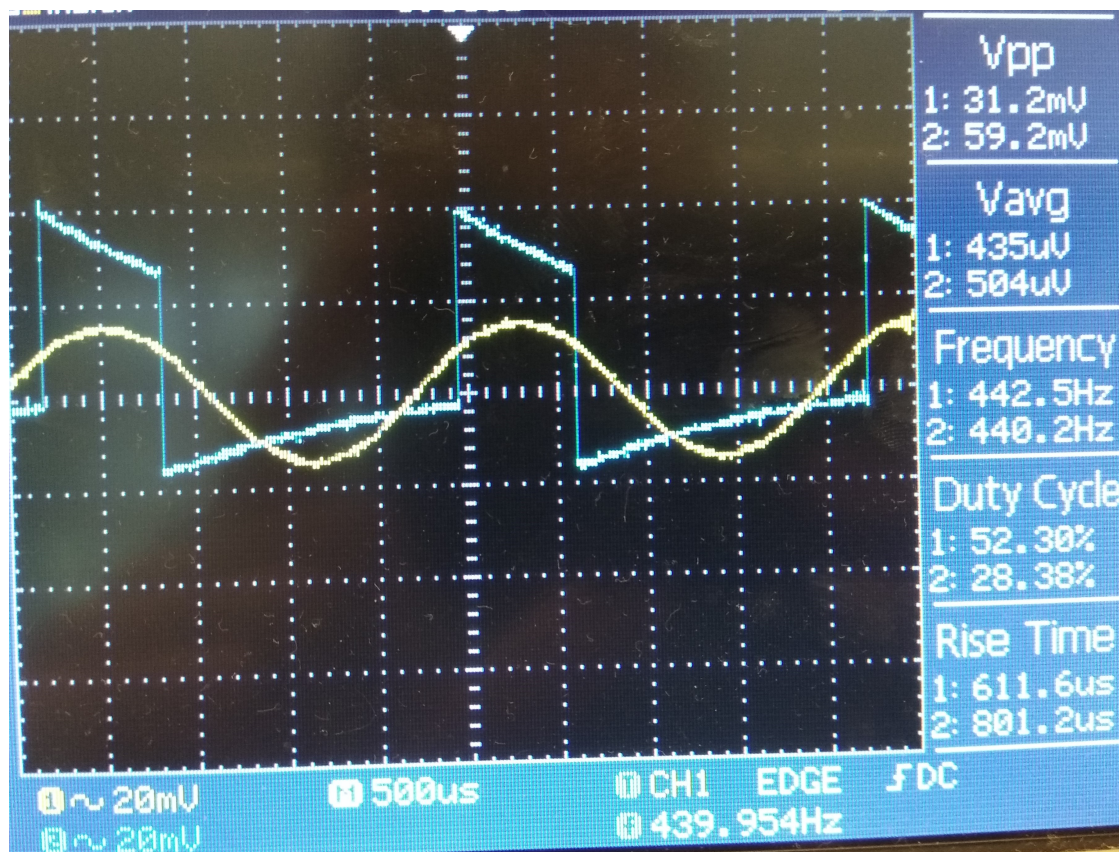
### 4.1 Usporedba mjerenja vremenskog signala na izlazu iz pedale i izlazu iz simulacije

Na oba modela, fizičkom i digitalnom, postavljani su isti izvori signala. Mjerenje u vremenskoj domeni odvijalo se kroz nekoliko dijelova. Kod instrumenta generator signala su neodimijски magneti omotani bakrenim vodičem. Pomicanjem žice nad neodimijским magnetima nastaje promjenjivo magnetko polje koje inducira promjenjivu električnu struju u bakrenim vodičima oko magnetu te ih šalje na izlaz iz instrumenta. Za izvor je u svakom mjerenju odabran sinusni signal jer on odgovara stvarnom signalu koji izlazi iz instrumenta. U prvome mjerenju za izvor je postavljen sinusni signal frekvencije 440 Hz-a i amplitude 30 mV „peak to peak“. S odabranim načinom rada „true bypass“, signali mjereni na ulazu i izlazu fizičkog sklopa 4.1. gdje žuta linija predstavlja signal s ulaza a plava s izlaza. Za napon po odjeljku odabrano je 20 mV, a za vrijeme po odjeljku odabrano je 500 μs.

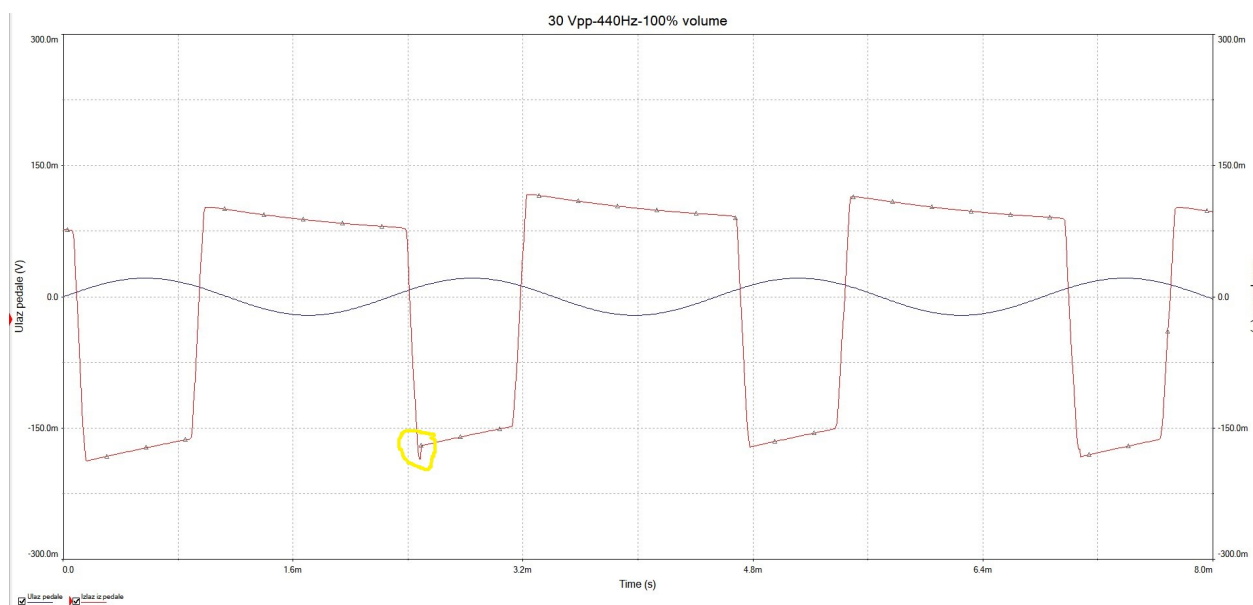


Slika 4.1. Ulaz i izlaz s fizičkog modela u načinu rada „true bypass“

Slike 4.2. i 4.3 prikazuju usporedna mjerenja na fizičkom modelu i modela u simulaciji za ulazne sinusoidalne signale na 440 Hz i amplitudu od 15mV.



**Slika 4.2.** Vremenski prikaz ulaznog (žuta linija) i izlaznog (plava linija) signala iz fizičkog modela pedale

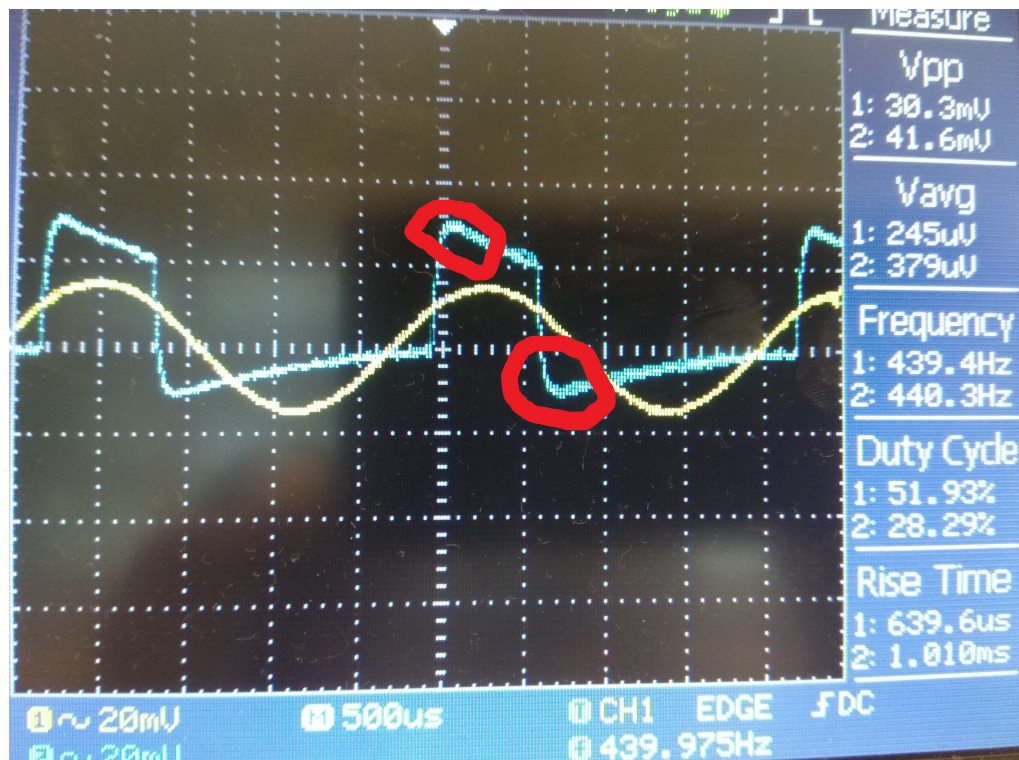


**Slika 4.3.** Vremenski prikaz ulaznog (plava) i izlaznog (crvena linija) signala iz digitalnog modela



Ono što razlikuje dobivena mjerenja je puno izraženije pojačanje kod izlaznog signala na digitalnom modelu. Na taj način tranzistori u simulaciji bolje su dovedeni u područje *clippinga* te je signal sličniji traženom pravokutnom obliku. Zabilježena nepravilnost na slici 4.3. (žuti marker) javlja se zbog neperiodične pojave signala viših frekvencija što se moglo umanjiti dodavanjem elektrolitskog kondenzatora u paralelu s istosmjernim izvorom.

Izraženo pojačanje kod simulacije proizlazi iz čistoće komponenata i lemljenih kontakata, ali i karakteristika SPICE modela MPSA18 tranzistora. Model koji je korišten ne odgovara u potpunosti komponenti s fizičkog modela iako se to očekivalo. Razlog su nesavršenost tvorničke izrade, ali i količina karakteristika samog fizičkog modela koje je zahtjevno u potpunosti opisati SPICE modelom.

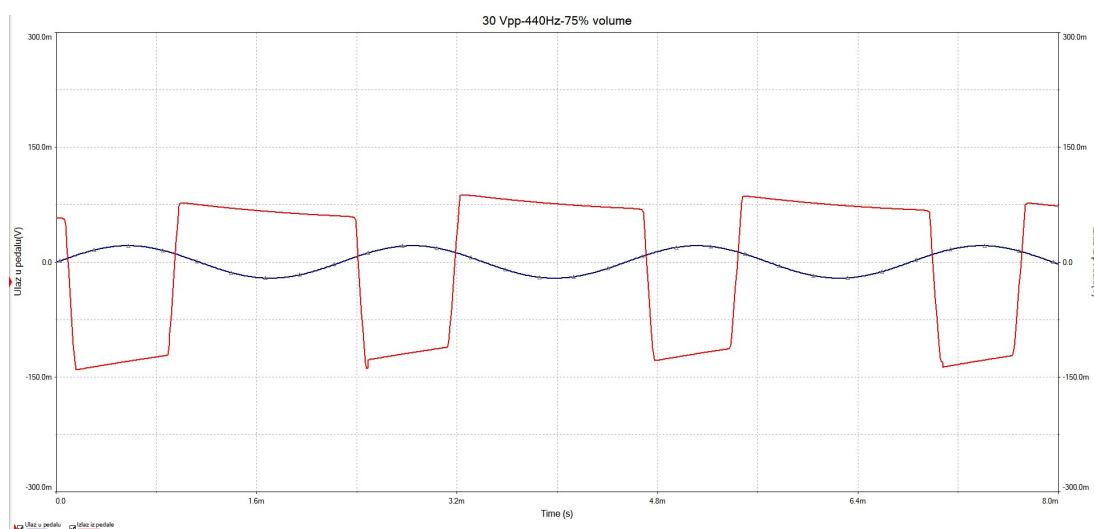


**Slika 4.4.** Vremenski prikaz ulaznog (žuta linija) i izlaznog (plava linija) signala fizičkog modela za ulazni signal amplitude 15 mV 440 Hz uz pomak potenciometra na izlazu iz pedale za 25%

Kod fizičkog modela pedale uočeno je umanjnje izlazne amplitude i umanjnje linearnog izobličenja označeno na slici 4.4. crvenim markerom. Tranzistori ovdje izlaze iz područja *clippinga* što se auditivno primjeti kao smanjenje prisutnosti *fuzz* efekta.

Na digitalnom modelu u simulaciji uz iste uvjete nije primjećeno smanjenje linearnog izobličenja, ali amplitude da, što je vidljivo na slici 4.5.

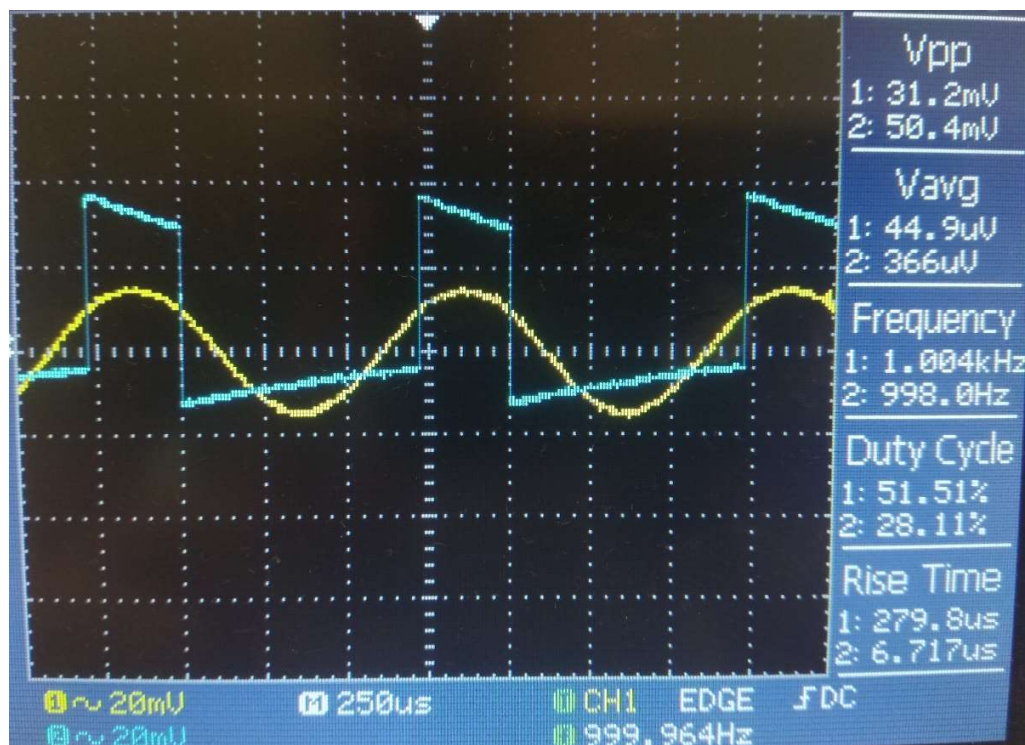




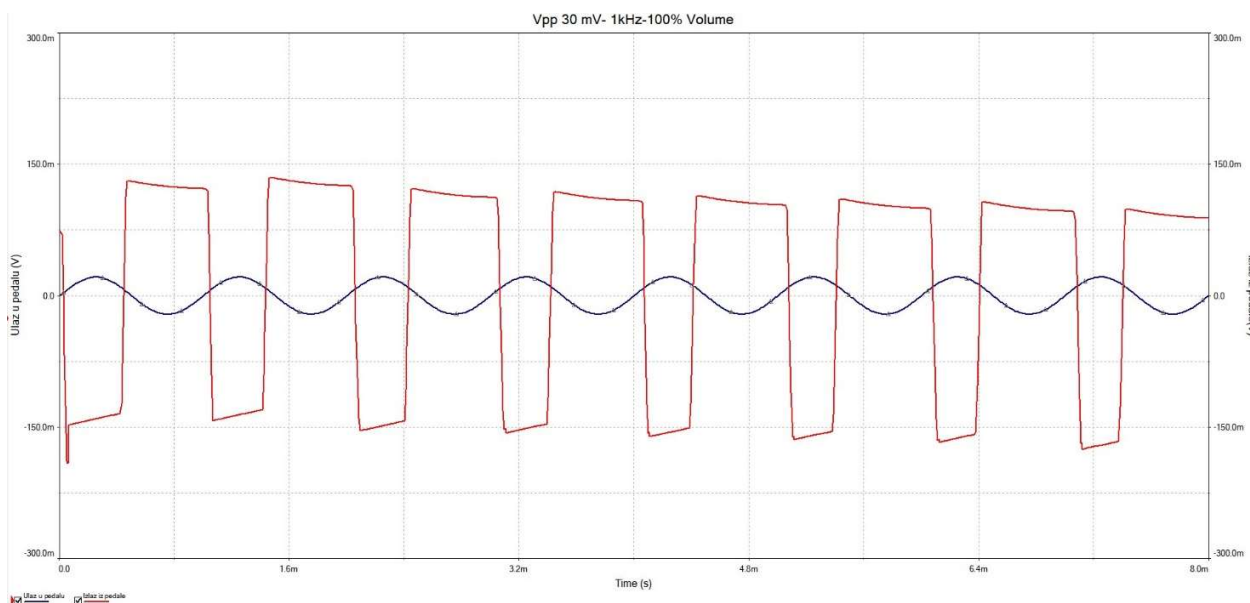
**Slika 4.5.** Vremenski prikaz ulaznog(plava linija) i izlaznog (crvena linija) signala u simulaciji za ulazni signal amplitude 15 mV, 440 Hz uz pomak potencijometra na izlazu iz pedale za 25%

Na vremenskom prikazu na slici 4.6. uočeno je veće linearno izobličenje za signal veće frekvencije što odgovara opisanim karakteristikama MPSA18 tranzistora te je signal sličniji amplitudnom.

Ista pojava uočena je i na simulaciji, ali uz, ponovno, puno veće pojačanje amplitude što je vidljivo na slici 4.7.



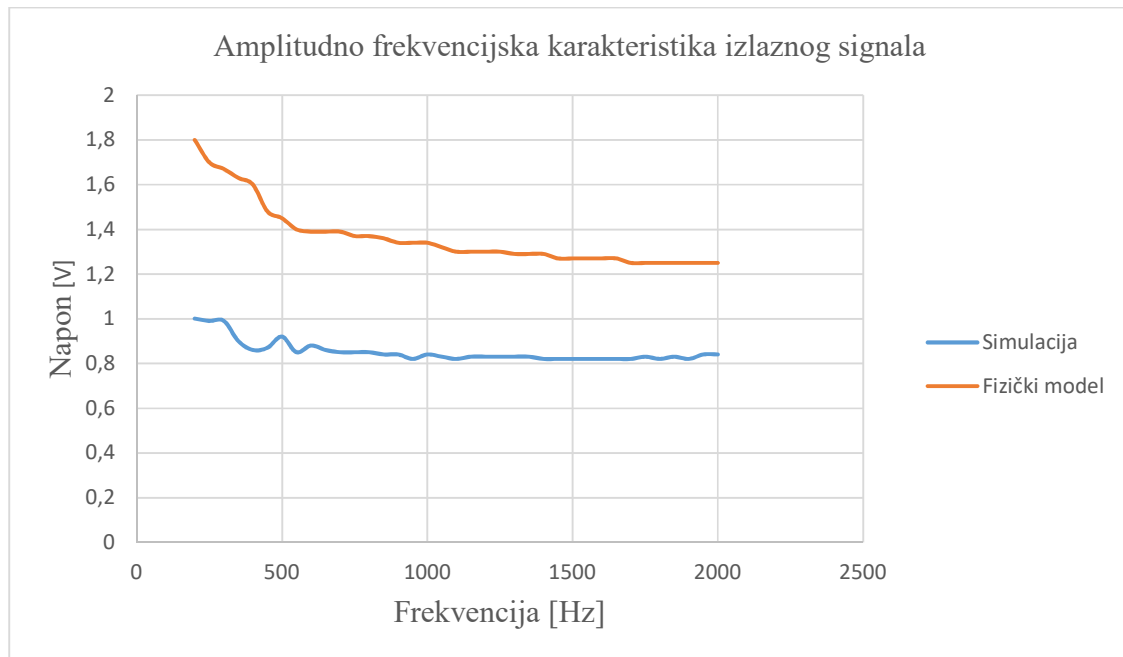
**Slika 4.6.** Vremenski prikaz ulaznog (žuta linija) i izlaznog (plava linija) signala iz fizičkog modela za sinusoidalni ulazni signal amplitude 15 mV i frekvencije 1kHz



**Slika 4.7.** Vremenski prikaz ulaznog (žuta linija) i izlaznog (plava linija) signala iz digitalnog modela za sinusoidalni ulazni signal amplitude 15 mV i frekvencije 1kHz

## 4.2 Usporedba mjerenja frekventijskih karakteristika simulacije i fizičkog modela pedale

Kako bi se provjerilo frekventijsko radno područje pedale, izvršena su mjerenja izlaznog vrh do vrh napona na frekvencijama 200-2000 Hz u koracima od 50 Hz. Za ulazni signal postavljen je sinusoidalan signal amplitude 50 mV. Rezultati mjerenja prikazani su na grafu 4.1.



**Graf 4.1.** Amplitudno frekventijska karakteristika izlaznog signala

Na grafu 4.1. vidljivo je kako je u većem amplitudnom području povećanje kod fizičkog modela veće od povećanja digitalnog. Pretpostavka je nesavršenost ispravljača korištenog za napajanje fizičkog modela. U pedalu ulaze viši harmonici i tako utječu na povećanje pojačanja tranzistora. Mjerenje je pokazalo kako je područje amplituda za zadane frekvencije mjerena na fizičkom modelu također veće od onoga na digitalnom modelu. Kod fizičkog modela je mjerenjem dobiveno područje promjene od 0,55 V, a kod digitalnog modela ono je 0,18 V.

Posljednje mjerenje izvršeno je na spektralnom analizatoru gdje je mjereno spektar izlaznog signala iz pedale. Dobiveno je da u načinu rada „true bypass“ nema pojave dodatnih harmonika što je poželjno i potvrđuje ispravnost ovog načina rada. Frekventijska karakteristika izlaznih harmonika za jednoharmonijski ulaz u „true bypass“ načinu rada prikazana je slikom 4.8. i 4.9. za dvije frekvencije - 440 Hz i 1 kHz.



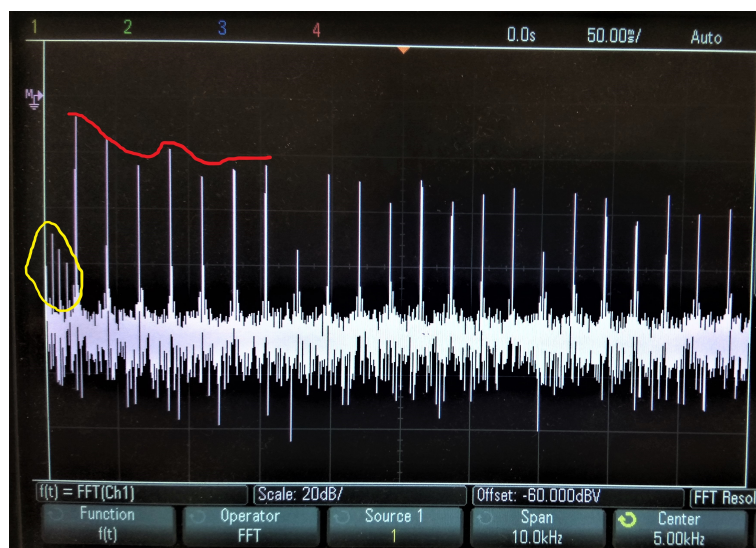
**Slika 4.8.** Spektar izlaznog signala za sinusoidalni ulazni signal 440 Hz i amplitudu 50 mV



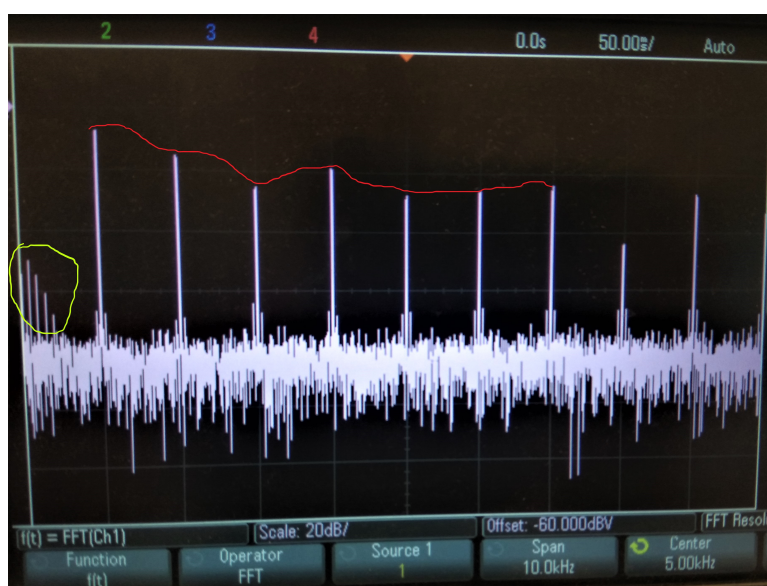
**Slika 4.9.** Spektar izlaznog signala za sinusoidalni ulazni signal 1 kHz i amplitudu 50 mV

S uključenom pedalom dolazi do pojave viših harmonika osnovne ulazne frekvencije. Idealno bi bilo da su svi harmonici i iste amplitude jer bi tako izgled signala u vremenu bio sličniji pravokutnom, no ponovno zbog nesavršenosti korištenih komponenata to nije bio slučaj što je prikazano na slikama 4.9.1. i 4.9.2. za frekvencije 440 Hz i 1 kHz i označeno crvenim markerom.





Slika 4.9.1. Spektar izlaznog signala za ulazni signal frekvencije 440 Hz i amplitude 50 mV



Slika 4.9.2. Spektar izlaznog signala za ulazni signal frekvencije 1 kHz i amplitude 50 mV

Tijekom mjerenja primjećeno je i da je svaki 8. harmonik ublažen više od ostalih što dolazi od transformacije vremenskog pravokutnog signala u frekvencijsku domenu. Kod obe frekvencije pojavljuju se harmonici označeni žutim markerom na slikama 4.9.1. i 4.9.2. koji proizlaze iz šuma generiranog ili u samoj pedali ili na ulazu u pedal.

## 5. ZAKLJUČAK

Da bi se zadovoljila želja i ideja pojedinca, subjektivno mišljenje o zvuku koji gitara proizvodi, stvarani su sklopovi poput gitarske pedale rađene u ovom radu. Tijekom izrade pedale uočeno je kako matematičko oblikovanje signala, odnosno modela sustava koji će običan sinusni signal pretvoriti u signal sličan pravokutnom, samo je dio projektiranja modela. Drugi važan dio je biranje komponenata jer iako na karakteristikama proizvođača pišu određene vrijednosti to ne mora biti slučaj. Kod izrade ove pedale najbitniji dio su tranzistori. Odabrani su tranzistori s jako visokim pojačanjem što je proizvelo zvuk sličan klasičnom modelu „Fuzz face“ *fuzz* gitarske pedale. Kod izrade je došlo do problema pojave različitih radnih područja fizičkog modela i digitalnog modela. Problem je objašnjen kao loše modelirana SPICE komponenta, no problem je i u načinu spajanja komponenti. Poželjno bi bilo da se kod izrade ovakvog sklopa elementi u buduće spajaju na tiskanu pločicu jer bi rezultati tako bili dosljedniji. Kao objekt primjene potrebno je izraditi i kućište za ovakav sklop što će također osigurati dosljednost radnog područja pedale. Za kućište je poželjno imati metalno kućište kako bi ono simuliralo „faraday“-ev kavez, ali plastično kućište stvoreno 3D printanjem bio bi dovoljno dobro. Za nadogradnju ovog sklopa preporuča se zamjena tranzistora tranzistorima s manjim pojačanjem i kupnja elektroničkih komponenti veće kvalitete.

## LITERATURA

- [1] <https://learn.stemtera.com/en/begin/tie-points>  
[11. svibnja 2019. godine]
- [2] <https://www.raspberrypi.org/magpi/breadboard-tutorial/>  
[11. svibnja 2019. godine]
- [3] [http://www.geofex.com/article\\_folders/fuzzface/fftech.htm](http://www.geofex.com/article_folders/fuzzface/fftech.htm)  
[28. svibnja 2019. godine]
- [4] <https://www.taydaelectronics.com/>  
[27. lipnja 2019. godine]

## SAŽETAK

Cilj rada je izraditi elektronički sklop gitarske *fuzz* efekt pedale. Potrebno je sinusne oblike iz gitare preoblikovati u pravokutne i tako riješiti problem. U radu je potrebno objasniti teorijski način preoblikovanja signala koristeći svojstva tranzistora (*clipping*) i načina međusobnog povezivanja više tranzistora. Mjerenjem izlaznih signala u vremenskoj i frekvencijskoj domeni određuje se radno područje sklopa. Iznimke na koje se nailazi objašnjavaju se i daje se ideja kako ih riješiti. Osnovno načelo koje se pojavljuje i objašnjava je pojačanje sklopa.

Ključne riječi: pedala, *fuzz*, *clipping*, mjerenje, tranzistor



## **ABSTRACT**

The aim of this work is to create an electronic assembly of a guitar fuzz effect pedal. To solve the problem, it is necessary to transform the sinusoidal guitar shapes into rectangular ones. The paper should theoretically explain signal transformations using the properties of transistors (clipping) and the ways of interconnecting multiple transistors. By measuring the output signals in time and frequency domains, the operating area of the circuit is determined. The exceptions encountered are explained and an idea is given how to resolve them. The basic principle that emerges and is elaborated is circuit reinforcement.

Keywords: pedal, fuzz, clipping, measurement, transistor

## **ŽIVOTOPIS**

Valentin Radičević rođen je 7. travnja 1997. godine u Slavonskome Brodu. Od 2003. do 2012. pohađa Osnovnu Školu Stjepana Radića u Oprisavcima. 2012. godine upisuje Gimnaziju "Matija Mesić" koju pohađa do 2016. Te iste godine polaže državnu maturu s vrlo dobrim uspjehom i upisuje prvu godinu preddiplomskoga studija elektrotehnike na Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijek. 2017., na drugoj godini preddiplomskog studija odabire smjer Komunikacije i informatika.