

---

## Analogna efekt pedala - Distorzija

---

*Autor:*  
Damjan Prerad

---

# Sadržaj

<b>1 Uvod</b>	<b>1</b>
1.1 Kratak sadržaj . . . . .	1
<b>2 Audio efekti</b>	<b>2</b>
2.1 Audio efekti . . . . .	2
2.2 Tipovi efekata . . . . .	4
2.2.1 Distorzija i overdrajv . . . . .	4
2.2.2 Dinamički efekti . . . . .	4
2.2.3 Filtri . . . . .	4
2.2.4 Modulacija . . . . .	5
2.2.5 Efekti koji utiču na ton / frekvenciju . . . . .	5
2.2.6 Vremenski efekti . . . . .	5
2.2.7 Efekti sa povratnom spregom (eng. <i>sustain</i> ) . . . . .	5
2.2.8 Druge vrste efekata . . . . .	6
<b>3 Osnovni elektronski elementi za realizaciju</b>	<b>7</b>
3.1 Podjela komponenata . . . . .	7
3.1.1 Pasivne elektronske komponente . . . . .	9
3.1.2 Aktivne elektronske komponente . . . . .	14
<b>4 Osnovni koncepti za izradu efekt pedale</b>	<b>18</b>
4.1 Osnovni koncepti . . . . .	18
4.1.1 Kućište za pedalu . . . . .	18
4.1.2 Zaobilaznica (eng. <i>bypass</i> ) . . . . .	22
4.1.3 Konektori, potenciometri i LED indikatori . . . . .	24
<b>5 Distorzija</b>	<b>28</b>
5.1 Distorzija detaljnije . . . . .	28
5.2 Projektovanje električne šeme i simulacija . . . . .	31
5.2.1 Projektovanje elektronskog kola . . . . .	31
5.3 Dizajn štampane pločice . . . . .	36
5.4 Izrada prototipa . . . . .	40
5.5 Lista elemenata za izradu (eng. Bill of materials) . . . . .	43
<b>6 Zaključak</b>	<b>44</b>

# Poglavlje 1

---

## Uvod

### 1.1 Kratak sadržaj

Ideja, koja se provlači kroz ovaj dokument, je prikazati svijet elektronike na praktičnim, opipljivim primjerima. Jedan od primjera u kome se veoma brzo može prikazati rezultat rada su efekat pedale za muziku. Naime, prolaskom kroz čitav postupak počevši od objašnjavanja kako dati efekat radi (u ovom slučaju distorziji), projektovanja električne šeme, njene simulacije i konačno izrade uređaja, čitalac će se upoznati sa svim ovim koracima i u procesu biti približen svijetu elektronike. Dokument je pisan tako da je primarni fokus na praktičnim znanjima i osrt na teoriju će ići u dubinu samo onoliko koliko je to potrebno. Čitaocu se proces izrade gitarske efekt pedale izlaže postepeno, korak po korak.

## Poglavlje 2

---

### Audio efekti

#### 2.1 Audio efekti

Audio signal je elektronski zapis zvuka kojim se može manipulisati tako da se postigne neki cilj. Svjesna manipulacija tim signalom se naziva efekat. Audio signal može biti predstavljen u analognom ili u digitalnom formatu. Analogni audio signal je neprekidna veličina koja se mijenja u vremenu. Uglavnom se ta promjenljiva veličina izražava u voltima. Digitalni audio signal su periodični odmjerici analogne veličine u vremenu. Među muzičarima je ustaljeno mišljenje da je bolje raditi sa efektima koji rade u analognom domenu, nego sa digitalnim efektima. Razvojem tehnologije i digitalne tehnike ovakav stav više nije ispravan.

Audio efekti mijenjaju zvuk muzičkog instrumenta ili nekog drugog muzičkog izvora. Neki od najpoznatijih efekata su distorzija koja se koristi sa električnim gitarama, dinamički efekti kao npr. kompresor, različite vrste filtera npr. wah-wah filter, modulacijski efekti, npr. flanger, fejzer, vremenski efekti kao npr. reverberacija i dilej. Pedale dolaze u različitim formatima prilagođenim potrebama muzičara, bilo da je to poseban uređaj (eng. *stompbox*) ili da je nekakav dodatni priključak u instrumentu ili pojačalu, tj. kao ugrađeni efekti, zatim u formatu *reka* koji je prikazan na slici 2.2 ili kao uređaj koji u sebi posjeduje više efekata tzv. multi-efekt pedale. Na slici 2.1 je prikazan najčešći format u kome se pedale proizvode, i to kao poseban uređaj.

Moderne efekt pedale uglavnom koriste digitalnu tehniku da postignu željeni efekat, dok ranije su se izrađivale u analognoj tehnici. Neke starije pedale su imale mehaničke dijelove kojima se postizao traženi efekat.

Više efekt pedala može biti postavljeno na dasku za pedale (eng. *pedalboard*), što je prikazano na slici 2.3.

Neprocesirani zvuk se naziva suhim (eng. *dry*), a zvuk po izlasku iz efekt pedale se naziva mokrim (eng. *wet*).

Tipična efekt pedala je plastična ili metalna kutija koja na sebi ima izvučene kontrole u obliku tastera i potenciometara, obično je tu jedna *LE* dioda koja se koristi kao indikator da li je efekat aktivran. Broj potenciometara i ostalih kontrola zavisi od konkretnog efekta o kojem je riječ. Neke naprednije pedale mogu na sebi imati displej i napredniji korisnički interfejs koji je moguće postići bolju kontrolu nad efektom ili efektima, dodatno, u novije vrijeme, javljaju se pedale koje posjeduju mogućnost

bežičnog povezivanja. Fizički su oblika kvadra ali mogu se pronaći i u drugim oblicima.

Lanac efekata (eng. *chain effect*) se pravi tako što se više pedala poveže kaskadno tj. izlaz jedne na ulaz druge. Lanac efekata se pravi između gitare i pojačavača ili između predpojačavača i pjačavača. Kada je pedala neaktivna, signal sa ulaza se prosljeđuje na njen izlaz neizmjenjen. Da se očuva jasnoća tona, na početku lanca se stavlja kompresor, nakon čega ide neki modulacijski efekat (chorus, flanger, ...) i na kraju vremenski baziran efekt (dijel, reverberacija).



Slika 2.1: Primjeri različitih vrsta pedala



Slika 2.2: Efekat u obliku ormarčića (rek)



Slika 2.3: Daska za pedale (eng. *pedalboard*)

## 2.2 Tipovi efekata

### 2.2.1 Distorzija i overdrajv

Efekti koji se nalaze u skupu distorzije stvaraju "topal", "hrapav" i "nejasan" (eng. *fuzzy*) zvuk tako što zvuk dovode u saturaciju (odsijecaju vrhove signala) čime se u zvuk dodaju viši tonovi. Efekti pod skupom distorzije se često nazivaju i efektima "pojačanja". Ovi efekti su prvi put nastali tko što se pojačanje pojačavača postavi na maksimum čime se on dovodi u saturaciju.

Distorzija i overdrajv odsijecaju ili zaravnjuju vrhove signala, time se uvode visokofrekvencijske komponente u signal. Pedala za distorziju zaravnjuju "tvrdi" zaravnuju vrhove, dok kod overdrajva zaravnjenje vrhova je postepeno i naziva se "mekano" zaravnjenje.

Fuzz efekat je tip overdrajv pedale koji odsijeca zvuk tako da on počinje da izgleda kao pravougaoni signal, čime se dobija veoma izobličen "nejasan" signal. Ovakve pedale se nazivaju *fuzzbox* pedale. Jedna od poznatih pjesama koje koriste fuzz efekat je pjesma "*I can't get no satisfaction*" od *The Rolling Stones*.

### 2.2.2 Dinamički efekti

Dinamički efekti se još nazivaju i amplitudski efekti. Oni modifikuju amplitudu signala koji dolazi sa instrumenta. Dinamički efekti su jedni od prvih efekata koje su gitaristi koristili. *Boost* efekt pedala radi tako što pojačava intenzitet, tj. amplitudu signala. Ovakve efekti pedale se koriste tokom izvođenja solo dijelova pjesme čime se ublažava gubitak kvaliteta signala kroz lanac efekata.

Kompresor pedala čini jake zvukove tišim, a slabe zvukove jačim, čime se kompresuje, tj. smanjuje dinamički opseg<sup>1</sup> audio signala.

*Noise gate* je pedala koja se koristi da oslabi šum i zujanje koje se dobija na izlazu iz lanca efekata. Pedala radi tako što oslabi signal do nivoa kada šum padne ispod željenog nivoa. Ovakve pedale se koriste komplementarno sa starijim efekt pedalima koji unose više šuma u signal nego što to rade novije efekti pedale. Za razliku od kompresora, *noise gate* povećava dinamički opseg signala i time se tiki zvukovi čine još tišim.

### 2.2.3 Filtri

Filter efekt pedale mijenjaju frekvenčni sadržaj audio signala tako što pojačavaju ili oslabljuju željeni frekvenčni opseg ili niz frekvenčnih opsega.

*Ekvilajzer* pedala implementira upravo taj efekat. Ekvilajzeri se koriste za prilagođenje bass i treble zvuka.

*Talk box* je efekat koji ubličava zvuk sa gitare ili sintisajzera pomoću govornog signala, tj. zvuk poprima oblik nekog samoglasnika ili suglasnika. Pjesma koja koristi ovaj efekat je *Livin' on a Prayer* od *Bon Jovi* grupe.

---

<sup>1</sup>Dinamički opseg signala predstavlja skup vrijednosti koje signal obuhvata.

*Wah-wah* efekt pedala stvara zvuk koji pdosjeća na zvuk nekog od samoglasnika, tako što utiče na frekvencijski spektar kojeg proizvodi instrument.

### 2.2.4 Modulacija

Uopšteno, modulacija podrazumijeva upravljanje snagom signala. Neki efekti modulacije modifikuju audio signal sa signalom nosiocem, a neki efekti modulacije razdvajaju audio signal na dva dijela prilikom čega propuštaju jedan dio neizmjenjen, a drugi dio signala se modificuje.

*Horus* je reprezentativan za egekte modulacije. Ovaj efekat treba da imitira sviranje u horu ili orkestru. Uticajem na ton i visinu zvuka za male vrijednosti i sabiranjem tako dobijenog zvuka sa originalnim dobija se traženi efekat. Dodavanjem dijela dobija se efekat zvani *vibrato*.

*Flanger* pravi zvuk sličan poljetanju mlaznog aviona. Dobija se tako što se na originalni signal primjeni češljasti filter.

### 2.2.5 Efekti koji utiču na ton / frekvenciju

Ovi efekti utiču na visinu zvuka tako što mijenjaju frekvencijski sadržaj zapisa. *Harmonajzer* je efekt koji podiže visinu tona za oktavu. Jedna zanimljiva primjena ovih efekta je da pretvaraju običnu gitaru u bas gitaru.

### 2.2.6 Vremenski efekti

Ovi efekti utiču na originalni signal tako što ga zakasne i neki od njih su echo i reverberacija, a ako su dostupna kašnjena u nekom dužem vremenskom intervalu, onda se uz pomoć ovih efekata prave petlje.

Dilej (eng. *delay*) ili echo efekat je veoma jednostavan. Na ulazu se nalazi originalni signal, a na izlazu identična kopija ulaznog signala, ali zakašnjena za željeni vremenski interval. Efekat može biti takav da vrati samo jedan echo ili da ih vrati više.

Petlja pedala (eng. *looper pedal*) omogućava izvođaču da snimi zvučni zapis koji će se zaim periodično reprodukovati. Snimljene petlje se mogu praviti tokom izvođenja ili da budu snimljene nekad ranije.

*Reverberacija* je efekat koji se koristi da simulira zvuk koji se nalazi u prostorijama halama. Ovo se postiže tako što se napravi veliki broj kopija originalnog signala zakašnjelih za neki period i oslabljenih sa nekom vrijednošću. Slabljene na zakašnjene signale zavisi od dužine kašnjenja. Što je veće kašnjenje, to je veće slabljenje.

### 2.2.7 Efekti sa povratnom spregom (eng. *sustain*)

*Zvučna povratna pretlja* je efekat koji se dobije kada se mikrofon ili gitara previše približi zvučniku. Tada mikrofon ili gitara pokupe zvuk koji dopire sa zvučnika i na taj način se zatvara petlja. Ovo rezultuje zvukom visokog tona koji se u većini slučajeva izvjeđava. U nekim rok muzičkim žanrovima muzičari namjerno prinose instrument zvučniku da bi dobili taj efekat.

### 2.2.8 Druge vrste efekata

*Pratilac envelope* je efekat koji se aktivira kada je dostignut određeni prag intenziteta signala. Efekat koji se koristi kao pratilac envelope je *auto wah*.

Efekat gitarskog pojačavača je efekat koji imitira starije gitarske pojačavače koji su pravljeni sa elektornskim cijevima. Ovakvi efekti su danas digitalni.

Korekcija tona ili vokalni efekti je digitalni efekt kojima se korištenjem određenih algoritama vrši korekcija tona pjevača ili da se stvori glas koji zvuči kao robot. Za ovu primjenu se koriste različite vrste vokodera. Jedan od najpoznatijih efekata ovog tipa je *autotune*.

Bitkrašer (eng. *bitcrusher*) je efekat koji se dobija tako što se na digitalnoj efekt pedali smanji brzina odmjeravanja audio signala čime se spušta kvalitet dobijenog audio zapisa. Ovim se dobija audio zapis koji je obojen drugim tonovima.

## Poglavlje 3

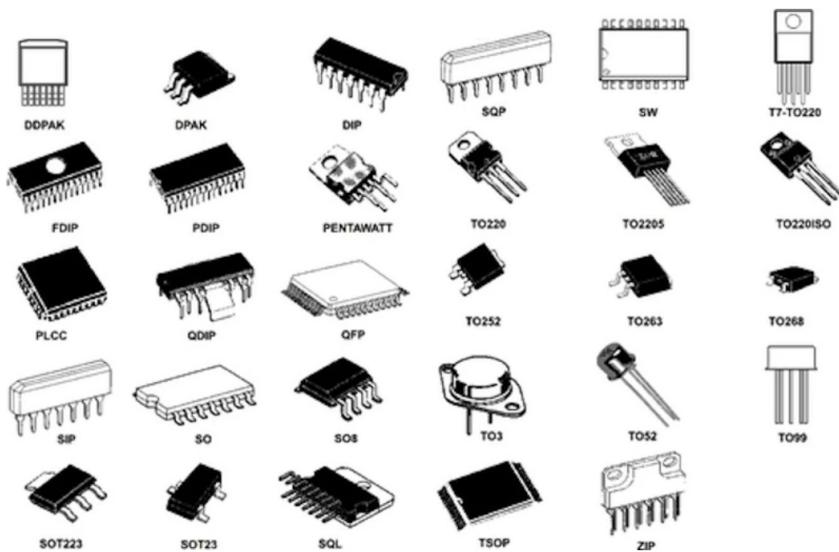
---

### Osnovni elektronski elementi za realizaciju

#### 3.1 Podjela komponenata

Za izradu efekt pedale potrebno je ovladati osnovnim elektronskim komponentama. Elektronske komponente su elementi čijim se međusobnim povezivanjem dobija elektronsko kolo. Elektronsko kolo ima određenu funkciju, u ovom slučaju funkciju željenog efekta. One predstavljaju osnovni elektronski element koji se koristi u elektronskim sistemima. Njihov rad se zasniva na fizičkim pojavama koje se tiču električnog i magnetnog polja. Po svom načinu funkcionisanja mogu se podijeliti na pasivne i aktivne.

Elektronske komponente dolaze u kućištima različitih veličina i oblika (slika 3.1, a neke mogu da se nabave i u više različitih kućišta. Prema tipu kućišta u kome dolaze, komponente mogu da se podijele na one koje prolaze kroz štampanu ploču (*eng. Through Hole Technology - THT*) i komponente koje se postavljaju na površinu štampane ploče (*eng. Surface Mount Device - SMD*). Izbor između THT i SMD komponenti se radi na osnovu željenih ciljeva. THT komponente su pogodne za izradu prototipova i za ljude koji se bave elektronikom iz hobija. One su mnogo veće od SMD komponenti, te pristup komponentama pomoću mjernih instrumenata je značajno lakši. Mana THT komponenti je što zauzimaju mnogo prostora, te za konačni proizvod sačinjen od THT komponenata je potrebno veće kućište. Sa druge strane SMD komponente su značajno manje, mnogo teže se ručno leme na štampanu pločicu, a neka pakovanja (npr. BGA pakovanje) je skoro nemoguće ručno polemiti. SMD je pogodan za automatizovanu proizvodnju elektornskih uređaja.



Slika 3.1: Neka kućišta u kome dolaze elektronske komponente

Sve elektorske komponente se postavljaju na *štampenu pločicu*. Štampana pločica je posebno projektovana tako da obezbeđuje čvrstu podlogu komponentama i da stvara odgovarajuće električne veze među komponentama. Postupkom *lemljenja* komponente ostvaruju električni kontakt sa pločicom. Pločica je u osnovi substrat neke vrste izolacionog materijala, i za efekt pedale to je uglavnom materijal koji se naziva *FR4*. Izolacioni materijal se nalazi u sendviču dvije provodne, bakarne, ploče. Pločice se mogu proizvoditi tako da postoji više bakarnih slojeva, pa tako postoje jednostrane, dvostrane, četveroslojne, štestoslojne pa čak i 24 slojne štampane pločice. Za efekt pedale jednostrane i dvostrane pločice su sasvim dovoljne, a u nekim ekstremnim situacijama je potrebno projektovati četveroslojnu pločicu (3.2).



Slika 3.2: Poprečni presjek četveroslojne štampane pločice

Postoji više načina kojima se proizvode štampane pločice, a najjednostavniji se sastoji u tome da se na površinu bakarnog dijela ploče nanese materijal otporan na kiselinu koja nagriza bakar. Potapanjem pločice u kiselinu, dio na kome nema materijala otpornog na kiselinu biva uklonjen, i tako ostaju samo veze koje su potrebne za ispravan rad projektovanog kola. O proizvodnji štampanih pločica neće biti deatljnije pisano jer to izlazi iz okvira ovog dokumenta.

### 3.1.1 Pasivne elektronske komponente

U pasivne elektronske komponente se ubrajaju otpornici, kalemovi i kondenzatori. One su okarakterisane po tome što nemaju mogućnost upravljanja električnom strujom pomoću nekog drugog električnog signala.

#### Otpornici

Otpornik je, u idealnom slučaju, linearni element koji pretvara električnu energiju u toplotnu. Koliko dobro vrši pretvaranje u toplotnu energiju je izraženo njegovom snagom u jedinici vata (eng. *wat*). Standardno, za potrebe elektronike male snage, koriste se otpornici jedne četvrtine i jedne polovine vata. Za potrebe elfekt pedala, jedna četvrtina vata je dovoljna u skoro svim situacijama.

Snaga otpornika se može povezati sa drugim veličinama koje se mogu mjeriti na njemu. Ta veza je izražena jednačinom 3.1 pri čemu je sa  $u(t)$  izražen trenutni napon na otporniku, a sa  $i(t)$  je izražena trenutna električna struja koja prolazi kroz otpornik.

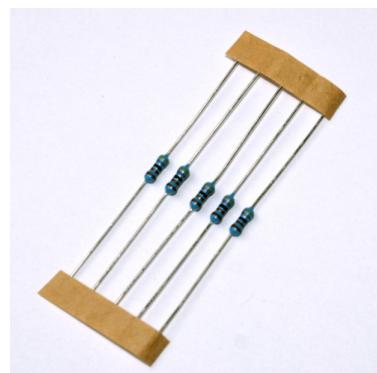
$$p(t) = u(t) i(t) \quad (3.1)$$

Odnos napona koji se razvija na krajevima otpornika i električne struje koja prolazi kroz njega se naziva *otpornost* i to je najbitniji parametar kojim se opisuje otpornik. Prilikom analize električnih kola uzima se da je ovaj odnos konstantan iako u praksi postoje određena odstupanja uslijed nelinarnosti komponente. Jedinica kojom se otpornost izražava je  $\Omega$  - om.

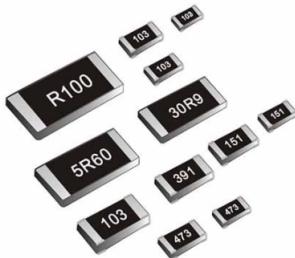
$$R = \frac{U}{I} \quad (3.2)$$

Jednačina 3.2 prikazuje vezu napona i struje kroz otpornik i ova veza se naziva ***omov zakon***. Otpornost je konstantna i prema tome napon koji se razvija na krajevima otpornika se lako dobija skaliranjem vrijednosti električne struje koja prolazi kroz otpornik sa vrijednošću otpornosti.

Otpornici su najbrojnije komponente u elektronskim uređajima. Na slikama 3.3 I 3.4 su prikazani *THT* i *SMD* otpornici, respektivno.

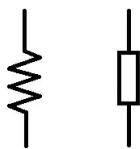


**Slika 3.3:** Otpornik u THT tehnologiji



**Slika 3.4:** Otpornik u SMD tehnologiji

Vrijednost otpornika u *THT* i *SMD* tehnologiji se drugačije označavaju. U *THT* tehnologiji, vrijednost se označava pomoću četiri prstena različitih boja na tijelu otpornika, a na *SMD* otpornicima vrijednost je označena kombinacijom brojeva. Prva dva broja nose vrijednost koja se množi sa stepenom broja 10 na broj koji se nalazi na kraju (npr. oznaka 103 obilježava otpornik vrijednosti  $10 \cdot 10^3 = 10k\Omega$ ). Boje prstena na *THT* otpornicima prenose podatak o brojnoj vrijednosti. Kada se boje prevedu u odgovarajuće brojne vrijednosti, princip je isti kao i sa *SMD* otpornicima. Otpornik u električnim šemama se označava kao na slici 3.5.



**Slika 3.5:** Simbol kojim se označava otpornik

## Kondenzatori

Kondenzator, kao idealni element, čuva električnu energiju u obliku električnog polja. On se sastoji od dvije veoma bliske ploče, razdvojene izolatorom. Elektroni ne mogu da prođu kroz izolator i bivaju "zarobljeni" na jednoj ploči kondenzatora i ona postaje negativno nanelektrisana. Druga ploča ostaje pozitivno nanelektrisana i javljaju se privlačne sile između te dvije ploče. Što je više nanelektrisanja razdvojeno, to je veća privlačna sila. Ta privlačna sila je opisana Kulonovim zakonom, tj. jednačinom 3.3, i radi intuitivnog shvatanja principa u pozadini, o ovome se može razmišljati kao rastezanje gume. Usljed djelovanja elastičnih sila, potrebna je veća sila da zadrži gumu u istegnutom stanju što je direktna analogija na kondenzator koji može da zadrži nanelektrisanja na svojim pločama. Da bi se nanelektrisanja zadržala, potrebna je određena energija koja se ulaže u kondenzator tokom njegovog punjenja, a ona se vraća u kolo prilikom njegovog pražnjenja.

Može se zaključiti da je kondenzator element koji ne izvlači energiju iz električnog kola, nego je samo čuva u obliku električnog polja do trenutka kada uslovi postanu takvi da se ta energija može ponovo osloboditi u vidu električne energije.

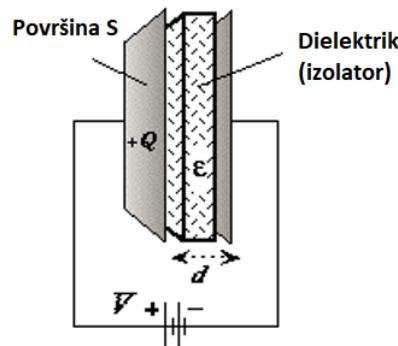
$$|F| = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{d^2} \quad (3.3)$$

Na slici 3.6 je ilustrovan pločasti kondenzator i on je reprezentativan za sve druge vrste kondenzatora, jer princip funkcionalnosti kondenzatora se ne razlikuje bez obzira na njegov oblik. Polazeći od jednačine kojom je opisan Kulonov zakon, pri čemu  $q_1$  i  $q_2$  su jedinično nanelektrisane,  $d$  je udaljenost ta dva nanelektrisana, a  $k$  je kulonova konstanta, dobija se da je odnos količine nanelektrisanja "zatočenog" na kondenzatoru i napona na njegovim krajevima (napon kao ekvivalent tome koliko je zamišljena guma zategnuta) konstantan i taj odnos se naziva kapacitivnost kondenzatora, a taj odnos je matematički zapisan jednačinom 3.4.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (3.4)$$

Za pločasti kondenzator, vrijednost kapacitivnosti zavisi od udaljenosti njegovih ploča, izolatora koji se nalazi među njima i međusobne površine ploča. Sve ove vrijednosti su povezane jednačinom 3.5

$$C = \epsilon \frac{S}{d} \quad (3.5)$$



**Slika 3.6:** Ilustracija kondenzatora

Vrijednost kapacitivnosti je izražena u jedinici *Farad* [F]. Najčešće korištene vrijednosti su pikofarad, nanofarad, mikrofarad i malo rijeđe milifarad. Veza napona na krajevima kondenzatora i struje koja prolazi kroz njega je data jednačinom 3.4.

$$i(t) = C \cdot \frac{du(t)}{dt} \quad (3.6)$$

Po vrsti materijala, u osnovi, kondenzatori se mogu podijeliti na keramičke, tantalske, blok i elektrolitske kondenzatore. Elektrolitski kondenzatori su posebni jer su njihove ploče polarizovane. Slika keramičkog kondenzatora je data na 3.7, a slika elektrolitskog kondenzatora je data na 3.8. Keramički kondenzatori se koriste kada su potrebne manje kapacitivnosti u kolu, a elektrolitski kondenzatori kada su potrebne veće kapacitivnosti. Blok kondenzatori se mogu praviti tako da podnose visok radni napon, pa se zbog toga često koriste u kolima koje rade na naponu iz mreže. Tantalski

kondenzatori se mogu koristiti umjesto keramičkih, u odnosu na keramičke kondenzatore, oni nemaju ni jedan poznat mehanizam *zastarijevanja* i uređaji napravljeni sa ovom vrstom kondenzatora su dugovječniji, ali to dolazi uz odgovarajuću cijenu, koja je veća od cijene keramičkih kondenzatora.



Slika 3.7: Kramički kondenzator

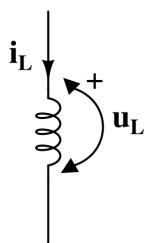


Slika 3.8: Elektrolitski kondenzator

### Kalemovi

Kalem je element koji je sličan kondenzatoru, sa razlikom da električnu energiju može da čuva u obliku magnetnog polja. Fizički, kalem se sastoji od više namotaja bakarne žice oko jezgra koje može biti vazdušno, feritno, gvozdeno ili od nekog drugog materijala. Kalem je okarakterisan veličinom koja se naziva induktivnost, a ona predstavlja napon koji se dobija na krajevima kalema u zavisnosti od promjene jačine električne struje koja prolazi kroz njega, prikazano jednačinom 3.7 pri čemu su naponi i struje kroz kalem označeni kao na slici 3.9.

$$u_L = -L \frac{di_L}{dt} \quad (3.7)$$

**Slika 3.9:** Simbol kalema

Naelektrisanja u pokretu stvaraju magnetno polje. Magnetno polje koje se stvara oko naelektrisanja u pokretu je opisano Lencovim pravilom. Ukoliko se palac desne ruke usmjeri u pravcu kretanja naelektrisanih tijela, prsti koji obmotavaju zamisljenu putanju ustvari prikazuju magnetne silnice. Kretanje naelektrisanja usmjerenog tako da njihovim zajedničkim kretanjem se dobija jače rezultantno magnetno polje daje elektromagnet i najjednostavniji način da se ovo postigne je grupisajne više namotaja žice na malom prostoru i puštanjem električne struje kroz njega.

Za razumijevanje kalema potrebno je znati dvije stvari, i to da protokom električne struje kroz kalem se stvara magnetno polje oko njega i ukoliko se kalem unese u promjenljivo magnetno polje, na njegovim krajevima nastaje napon koji će izazvati takvu struju u kalemu da stvara suprotno magnetno polje od onog u kome se nalazi. Kalem se protivi promjenama električne struje kroz sebe.

Kalemovi koji se u praksi mogu nabaviti dolaze u više različitih oblika i kućišta, a neki od njih su prikazani na slici 3.10.

Za efekt pedale kalemovi nisu od velike koristi pa neće dalje biti razmatrani.

**Slika 3.10:** Različita kućišta kalemova

### 3.1.2 Aktivne elektronske komponente

Aktivni elektronski elementi su komponente koje dobavljaju ili upravljaju energijom koja se dostavlja u elektronsko kolo. U aktivne komponente se ubrajaju:

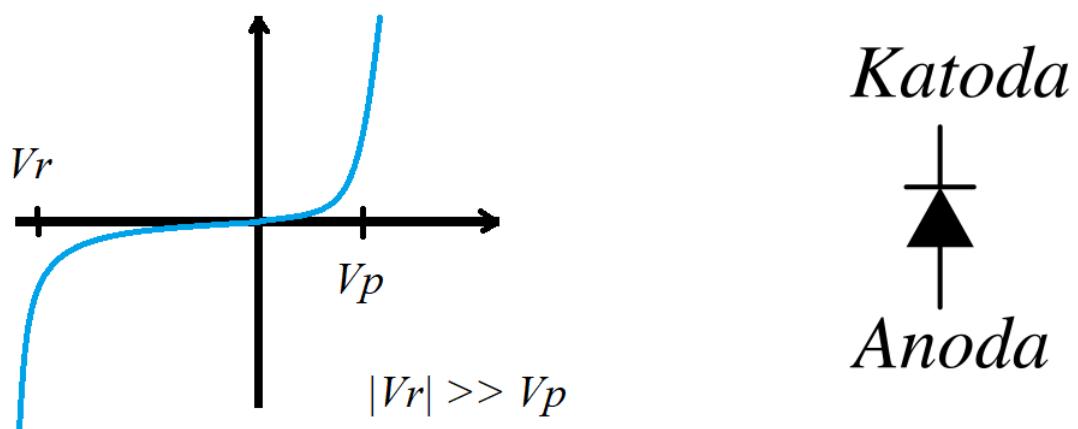
- Naponski izvori
- Strujni izvori
- Sve vrste tranzistora(bipolarni, FET, MOSFET)
- Diode (ispravljačke, zener diode, fotodiode, šotkijeve diode, LE diode, ...)

#### Diode

Dioda je poluprovodnički element čija je strujno-naponska zavisnost nelinearna. Ovi elementi se koriste za mnoge funkcije u električnim kolima, a neke od njih su:

- Ispravljanje naizmjenične struje u jednosmjernu (ispravljačka dioda, šotijeva dioda)
- Kao ograničavači napona, u sklopu regulatora napona i sl. (zener dioda)
- Za podešavanje rezonantne frekvencije u oscilatornim kolima (varikap dioda)
- Kod oscilatora i memorijskih kola (tunel dioda)

Dioda, iako može imati značajno kompleksnije ponašanje, se često opisuje kao element koji provodi električnu struju samo u jednom smjeru. Ona posjeduje dva kraja, jedan se naziva anoda, a drugi katoda. Kada je anoda na većem potencijalu od katode, za diodu se kaže da je direktno polarizovana, u suprotnom je inverzno polarizovana. Razlika potencijala koji mora biti između anode i katode da bi dioda došla u provodno stanje, za lakše računanje, se uzima da je 0.7V, međutim ovaj napon zavisi od tipa diode. Za efekt pedale, najčešće se upotrebljavaju upravljačke diode, a čija je strujno-naponska karakteristika i njen simbol su prikazan na slici 3.11.



Slika 3.11: Strujno-naponska karakteristika i simbol diode

Za postizanje efekta distorzije, dioda je nezamjenjiv element. Nelinearna karakteristika diode, u direktnoj polarizaciji, utiče na kvalitet distorzije. Zbog toga se za distorziju češće koriste germanijumske diode naspram silicijumskih, jer je njihova strujno-naponska karakteristika "blaža" čime se dobija zvuk koji ljepše zvuči.

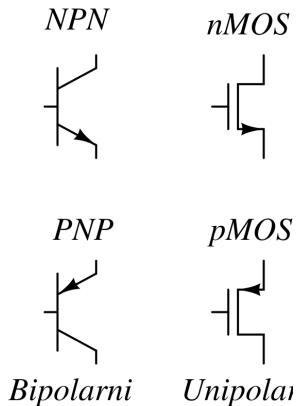
### Tranzistori

Tranzistor je takođe poluprovodnički element. Za tranzistor se smatra da je najveće otkriće dvadesetog vijeka. Dolazak tranzistora u izbacuje iz upotrebe vakumske cijevi. U muzičkoj industriji vrijedi mišljenje da uređaji sa vakumskim cijevima bolje zvuče i zbog toga se one još uvijek koriste.

Tranzistor je element koji ima tri nožice. U zavisnosti od tipa tranzistora, jačina napona ili struje na jednoj određenoj nožici (baza ili *gejt*) upravlja strujom koja prolazi kroz tranzistor preko druge dvije nožice.

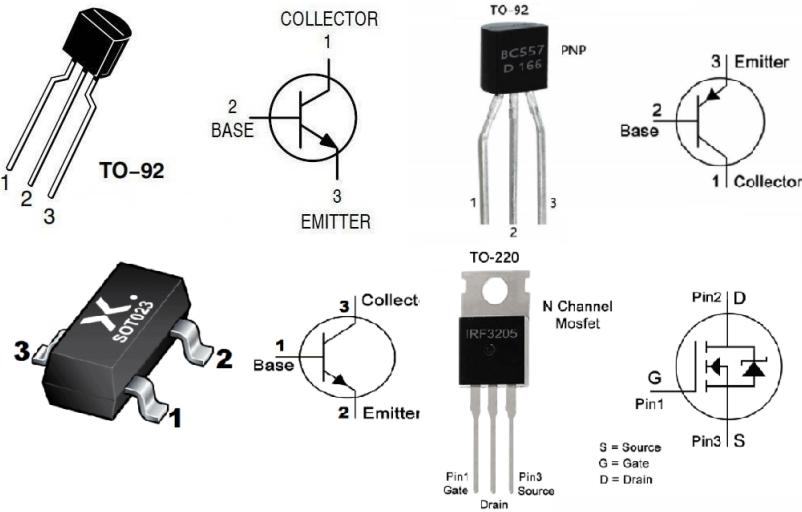
Postoji više vrsta tranzistora. Oni mogu biti bipolarni i unipolarni i svaki od njih ima svoje potpodjele. Bipolarni se dijele na NPN i PNP tranzistore, a unipolarni mogu biti nMOS, pMOS, cMOS, JFET. Najčešće korišteni tranzistori za efekt pedale su bipolarni, i to NPN tipa, kao pojačavač signala i to tranzistori NPN tipa.

Prenosna karakteristika tranzistora zavisi od tipa tranzisotra, ali i od materijala od kog su tranzistori izrađeni. U muzičkoj industriji vrijedi mišljenje da germanijumski tranzistori utiču na zvuk tako da je on ugodniji za uho naspram silicijumskih tranzisotra.



**Slika 3.12:** Simboli različitih vrsta tranzistora

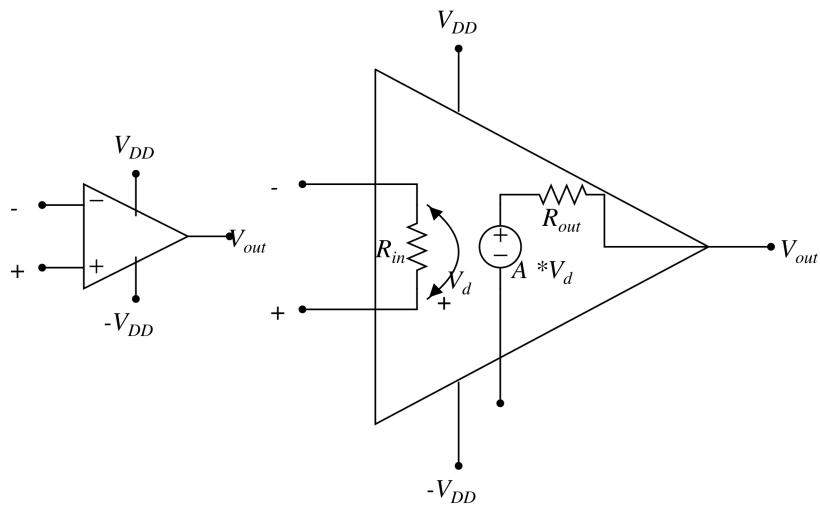
Tranzistori dolaze u raznim kućištima i oni čine glavni gradivni blok bilo kakvog kompleksnijeg sistema. Za efekt pedale, oni se najviše koriste u diskretnom obliku i to je prikazano na slici 3.13.



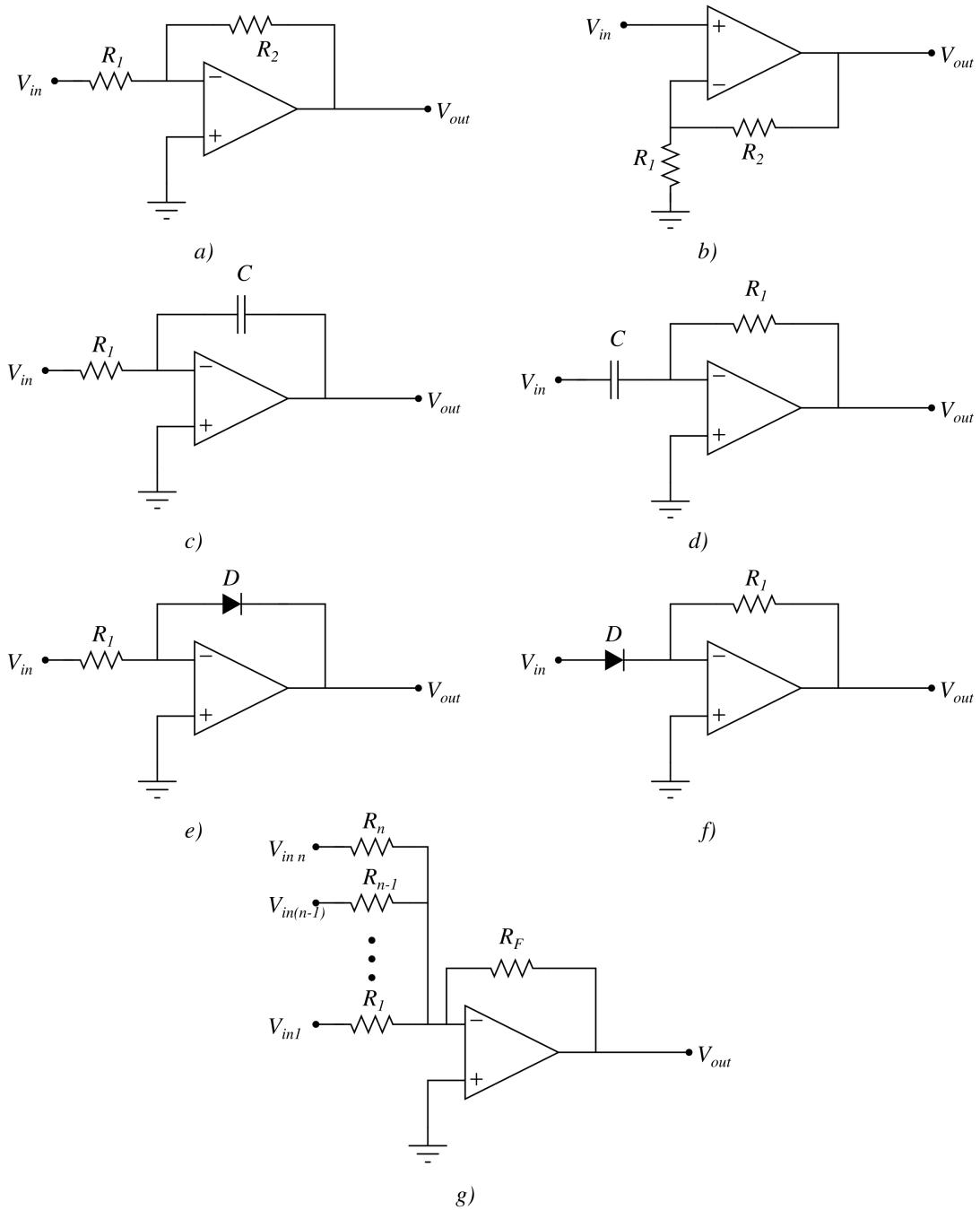
Slika 3.13: Različita kućišta tranzistora

### Operacioni pojačavači

Operacioni pojačavač je integrisano kolo koje se koristi kao diferencijalni pojačavač sa pribilžno idealnim karakteristikama i kao takav veoma je pogodan za upotrebu u efekt pedalama. On ima dva ulaza, jedan koji se naziva neinvertujući i jedan koji se naziva neinvertujući, ima jedan izlaz i dvije nožice na koje se dovodi napajanje. Uz veoma mali broj spoljašnjih komponenata, sa operacionim pojačavačem se može napraviti veliki skup različitih efekata. Neke od klasičnih primjena operacionih pojačavača u obradi signala su pojačavač, sbirač, integrator, diferencijator, kolo za logaritmovanje i kolo za eksponenciranje, i ta kola su prikazana na slici 3.15. Idealni operacioni pojačavač ima beskonačno pojačanje, ima beskonačnu ulaznu otpornost, izlaznu otpornost jednaku nuli, beskonačan propusni opseg i beskonačan CMRR (eng. *Common Mode Rejection Ratio*). Simbol operacionog pojačavača i njegov model je prikazan slikom 3.14.



Slika 3.14: Simbol operacionog pojačavača i njegov unutrašnji model



**Slika 3.15:** Klasična kola sa operacionim pojačavačima. Slike a) invertujući pojačavač, b) neinvertujući pojačavač, c) integrator, d) diferencijator, e) kolo za logaritmovanje, f) kolo za eksponenciranje, g) sabirač

Najpoznatiji tip operacionih pojačavača je uA741 i LM358.

# Poglavlje 4

---

## Osnovni koncepti za izradu efekt pedale

### 4.1 Osnovni koncepti

Pogledajmo efekt pedalu prikazanu na slici 4.1. Ona na sebi ima veliko *dugme* srebrene boje, tri koluitća koji upravljaju nekim parametrima koji su bitni za efekat koji pedala ostvaruje, ima otvore za ulaz signala i izlaz signala sa strane. Sa gornje strane, koja se ne vidi na slici, postoji otvor za napajanje pedale. Primjećuje se i mala tačkica ispod tri kolutića, to je LE dioda, koja se koristi kao indikator da li je efekat aktivran ili nije. Čitava pedala je upakovana u kućište, koje je ofarbano narandžastom bojom.



Slika 4.1: WAX DIST efekt pedala koja se koristi za distorziju

U prethodnom pasusu opisana je pedala sa slike 4.1. To su sve neophodne stvari koje pedala treba da ima da bi bila upotrebljiva. Ove stvari nemaju suštinsku ulogu u načinu funkcionisanja pedale. Ovo poglavlje je posvećeno svim elementima pedale koji su zajednički za skoro svaku pedalu.

#### 4.1.1 Kućište za pedalu

Krenimo od kućišta za pedalu. Svaka efekt pedala mora biti spakovana u odgovarajuće kućište. Ono mora biti dovoljne zapremine da u njega stane sva elektornika koja predstavlja srž pedale. Kućište mora biti izbušeno i isječeno na odgovarajući način,

tako da akomodira sve elemente kojima se omogućava pristup pedali. Prilikom izrade pedale, kada je kućište u pitanju, prva stvar koja je bitna je na koliko parametara korisnik može da utiče s polja i na koji način treba dopustiti korisniku da upravlja sa njima. Način upravljanj može biti preko potenciometra, prekidača, tastera ili pedala može imati pomoćni ulaz na koji se povezuje nešto drugo što omogućava pristup parametrima pedale. Digitalne pedale čak imaju i mogućnost povezivanja putem WiFi ili *Bluetooth* tehnologije. Ovaj podatak je potrebno znati tako da bude poznato koliko otvora na pedali mora postojati i da bi se skladno tome mogla odabrati kutija odgovarajuće veličine. Pedala uvijek mora imati bar dva otvora, jedan za ulazni signal jedan za izlazni signal. Još jedan otvor treba da postoji za napajanje, međutim neke pedale su isključivo baterijski napajane, pa ovaj otvor ne postoji. Skoro sve pedale na sebi imaju LED indikator i kutija treba da akmodira i tu želju.

Sljedeća stvar za razmišljanje je, koliko prostora zahtijeva elektronika koja treba da stane u kutiju, jer taj podatak diktira veličinu kutije koja će biti odabrana. Ako je prostor za elektroniku mali, onda je potrebno razmisiliti o upotrebi SMD komponenta tokom projektovanja elektornike za pedalu.

Kada je unutrašnja zapremina kutije poznata i kada je broj otvora, njihov oblik i veličina otvora poznat, dolazi se do faze gdje treba misliti o tome kako će pedala izgledati za korisnika. Ono što korisnik vidi, kada koristi pedalu, je kućište i raspored svih kolutića, tastera, prekidača, ulaza i izlaza pedale. Zbog toga treba obratiti pažnju na estetiku pedale, tj. uložiti određeni trud u dizajn koji će biti ugodan za korisnika. Na slici 4.1 je prikazana pedala koja je u kućištu oblika kvadra. Ovo ne mora uvijek biti slučaj, i pedale mogu biti proizvoljnog oblika.

Pedale se lakiraju u željenu boju, na njih se nanosi dizajnirana šara i ispod svakog otvora treba da stoji tekst koji govori čemu on služi. Primjer različitih šara je dat slikom 4.2.



Slika 4.2: Pedale sa različitim dizajnom

Način obrade kutije (bušenje, sječenje) i nanošenja laka, tj. boje na pedalu zavisi od vrste materijala od kog je kutija napravljena. Ovo nas dovodi do još jedne bitne stavke, a to je izbor materijala od kog je kućište načinjeno. Materijali koje se često koriste su aluminijum, plastika i drvo.

Drvo kao materijal od koga je kućište izrađeno ima pogodnost široke dostupnosti materijala i nisku cijenu. Drvo, ukoliko je tretirano na ispravan način i ukoliko se tokom radnog vijeka pedale o tome vodi računa, može biti dugovječno. Primjer pedale čije je kućište napravljeno od drveta je prikazano na slici 4.3.



Slika 4.3: Primjer efekt pedale čije je kućište drveno

Sljedeći materijal za izradu kućišta je plastika. Postoji mnogo vrsta plas-

tika koje se upotrebljavaju u komercijalne svrhe, a najčešće korištena je ABS (eng. *Acrylonitrile butadiene styrene*) plasitka. Kada govorimo o plastiči, kućište može biti izrađeno na dva načina, prvi je izrada kalupa i lijevanje plastike, što nije realistično za male serije pedala, a pogotovo ne za kućnu radionost, a drugi je upotreba 3D štampača. Pomoću 3D štampača moguće je modelovati i izraditi pedalu proizvoljnog oblika, proizvoljnih dimenzija sa proizvoljnim natpisima na veoma jednostavan način. Upotreba 3D štampača otvara vrata i za upotrebu PLA plastike. Obrada plastike je veoma lagana i to je prednost pri izradi kutije od ovog materijala, međutim, pedala treba da ima višegodišnji životni vijek prilikom čega će bit izložena malo grubljem tretmanu, i plastika nije pogodan materijal za te potrebe. Primjer efekt pedale čije je kućište plastično je prikazan na slici 4.4.



**Slika 4.4:** Primjer efekt pedale čije je kućište plastično

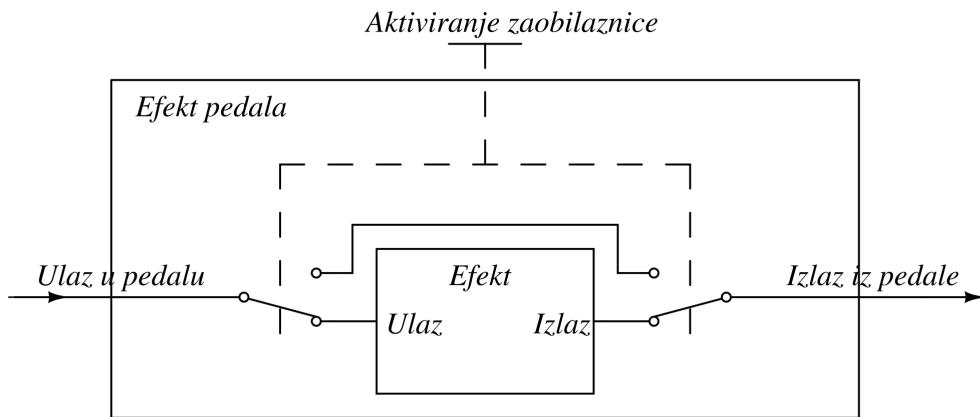
Kućište napravljeno od aluminijuma je najbolji kandidat za efekt pedalu. Aluminijum je dovoljno čvrst da može podnijeti grublji tretman, a dovoljno mekan da njegova obrada ne predstavlja problem. Na tržištu su dostupna gotova riješenja od livenog aluminijuma, i ona se najčešće i koriste. Neka od povoljnih kućišta su kutije 1590A, 1590B, 1590BB prikazana na slici 4.5. Velika prednost korištenja aluminijuma u odnosu na drvo ili plastiku je u tome što kućište od aluminijuma po svojoj prirodi čini faradejev kavez i time izoluje elektroniku koja se nalazi unutra. Preporuka je da za efekt pedale kućište bude od aluminijuma.



**Slika 4.5:** Aluminijumska kućišta dostupna na tržištu

### 4.1.2 Zaobilaznica (eng. bypass)

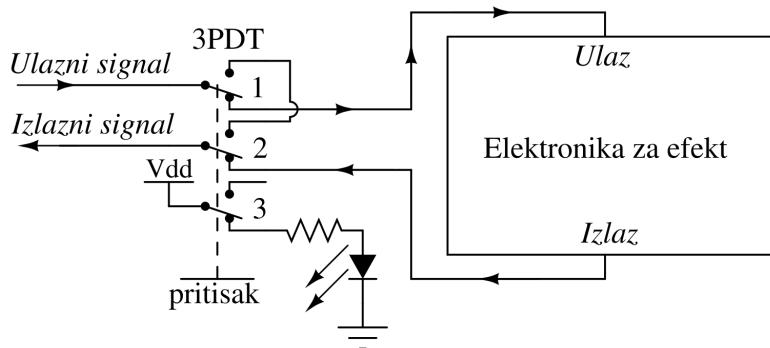
Na efekt pedalama treba da postoji mogućnost zaobilazeња efekta, tj. opcija da se aktivira efekat ili da se ugasi. Ovo se postiže tako što se u pedale ugrađuje *zaobilaznica* (eng. *bypass*). Pritiskom na dugme, efekat na pedali se aktivira ili gasi. Postoje dvije vrste *zaobilaznice* prava zaobilazinca (eng. *true bypass*) i baferovana zaobilaznica (eng. *buffered bypass*). Prava zaobilaznica je postala *de-facto* standard za efekt pedale. Funkcionalnost koju ona treba da ispunjava je da pruži korisniku mogućnost izbora kojim putem će signal da ide kroz pedalu, tj. izbor da li će signal ići direktno sa ulaza na izlaz ili će sa ulaza ići kroz elektroniku kojom se postiže željeni efekat, pa onda na izlaz. Odatle potiče naziv zaobilaznica, jer se njom može zaobići elektornika kojom se postiže željeni efekat. Kada je zaobilaznica u položaju takvom da signal sa ulaza se prosljeđuje direktno na izlaz, pedala efektivno ne treba da predstavlja ništa više od žice koja prolazi kroz kutiju. Ilustracija zaobilaznice je data slikom 4.6.



Slika 4.6: Ilustracija zaobilaznice

#### Prava zaobilaznica (eng. *true bypass*)

Prava zaobilaznica je u suštini trostruki prekidač sa dva pola (eng. *3PDT Switch*) i o njoj se u svakom smislu može misliti kao o žici koja prolazi kroz pedalu spajajući direktno izlaz sa ulazom. Ovakav mehanizam ima svoje prednosti i svoje mane. Prednosti ovog pristupa su manji šum koji se unosi u signal i ton ostaje očuvan i jednostavnost izrade. Za *true bypass* je potrebno koristiti 3PDT prekidač, a on se povezuje prema blok dijagramu datom na slici 4.8. Treba imati na umu da efekt pedala uglavnom stoji na podu i da se aktiviranje pedale radi nogom i to upravo pritiskom na ovaj prekidač. Iz tog razloga 3PDT prekidači treba da budu robustni i otporni na mehaničke kvarove. Prekidač koji ispunjava ove zahtjeve je uglavnom skuplji od uobičajenih i često se još naziva i *stompswitch*. Mana ovog pristupa je što neki prekidači mogu da unesu *prekidački šum* u signal na izlazu prilikom pritiska prekidača. 3PDT prekidač ima tri dvopolna prekidača koji se istovremeno okidaju. Da bi se funkcionalnost zaobilaznice postigla dovoljna su dva prekidača, a treći se koristi za paljenje LE diode koja služi ako indikator toga da li je pedala aktivna ili ne. Potrebno je naglasiti da prava zaobilaznica radi i kada pedala nema napajanje, što nije slučaj sa *baferovanom zaobilaznicom*.



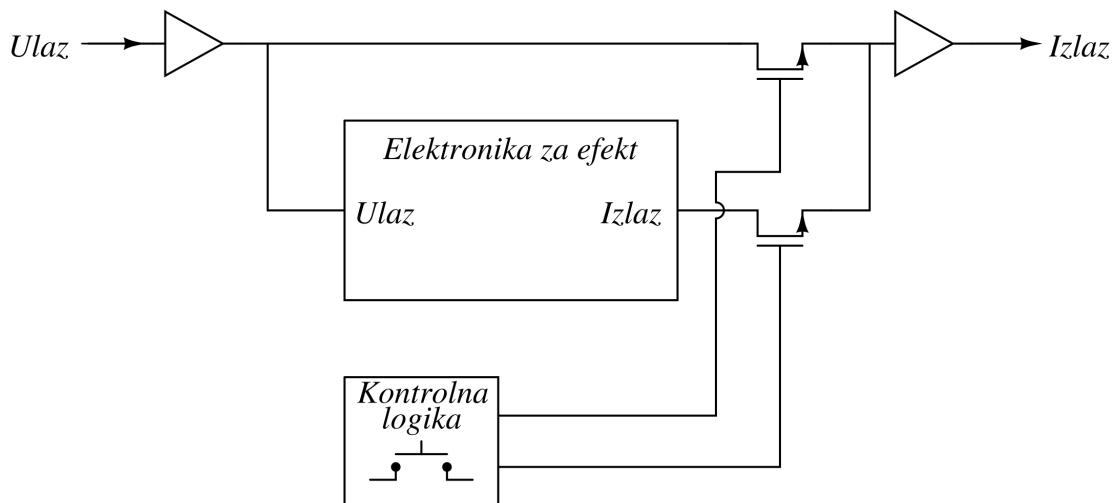
**Slika 4.7:** Upotreba 3PDT prekidača kao *true-bypass* zaobilaznice



**Slika 4.8:** Slika 3PDT prekidača

### Baferovana zaobilaznica (eng. *buffered bypass*)

Baferovana zaobilaznica je elektronska realizacije onoga što prava zaobilaznica radi. Uglavnom se pravi sa tranzistorima kojima se upravlja putanjom signala. Baferovana zaobilaznica je uvijek aktivna, tj. da bi radila potrebno je da pedala bude priključena na izvor napajanja. Ona unosi dodatnu impedansu u čitav put signala od instrumenta do zvučnika, što rezultuje time da signal održava jednaku amplitudu, nezavisno od toga da li je efekat aktivan ili nije. Baferovana zaobilaznica je poželjna jer nema *prekidačkog šuma* i ukoliko se koriste duži kablovi ona može ublažiti gubitke u kablu (ponaša se kao ripiter). Mana upotrebe ove zaobilaznice je u tome što neke vrste pedala, u lancu efekata, koje dolaze nakon baferovane zaobilaznice mogu da se ne ponašaju na očekivan način (uslijed neujednačene impedanse). Rješenje ovog problema se svodi na izmjenu redoslijeda efekt pedala u lancu efekata. Baferovana zaobilaznica je ilustrovana na slici 4.9.



Slika 4.9: Ilustracija baferovane zaobilaznice

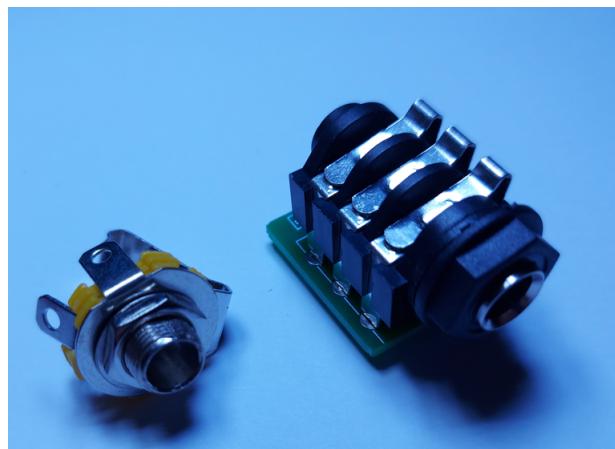
#### 4.1.3 Konektori, potenciometri i LED indikatori

Da bi efekt pedala mogla da se koristi potrebno je obezbijediti standardizovan pristup ulazima, izlazima i napajanju. Većina muzičke opreme se povezuje mono ili stereo audio kablom koji na svojim krajevima ima muški 6.35mm audio konektor. U upotrebi je i 3.5mm audio konektor koji je zastiavljen u većini potrošačke elektronike (telefoni, računaru, laptopi, ...). Ilustracija obe veličine konektora je prikazana slikom 4.10.

Pošto su ovdje od interesa muzički instrumenti koji gotovo isključivo koriste 6.35mm konektore, efekt pedala je potrebno da ima pristup takvim konektorima. U slučaju da postoji potreba za povezivanjem 3.5mm audio konektora, postoje konvertori koji omogućavaju ovaj prelaz. Na slici 4.11 su prikazana dva oblika 6.35mm audio konektora. Izbor oblika konektora se svodi na cijenu i željeni izgled i ne pravi značajnu razliku u pogledu funkcionalnosti pedale. Jedan parametar koji je poželjno razmotriti su dimenzije konektora, i kao što se može primjetiti sa slike 4.11 konektor sa lijeve strane je, zapreminski, dosta manji od konektora sa desne strane. Ako je prostor u kutiji koja je planirana za efekt pedalu ograničen resurs, treba razmotriti konektor koji zauzima manju zapreminu.



Slika 4.10: Muški stereo audio konektor 3.5mm i 6.35mm



**Slika 4.11:** Dva različita 6.35mm audio konektora

Postoji mnogo različitih konektora za napajanje, a najčešće korišteni konektor za efekt pedale je konektor pod nazivom DC-021 prikazan na slici 4.13. Izbor na ovaj konektor pada iz razloga što se većina izvora napajanja proizvodi sa muškim 2.5mm konektorima za napajanje, prikazan na slici 4.12, a upravo DC-021 ovo može da akomodira.



**Slika 4.12:** 2.5mm konektor za napajanje, muški

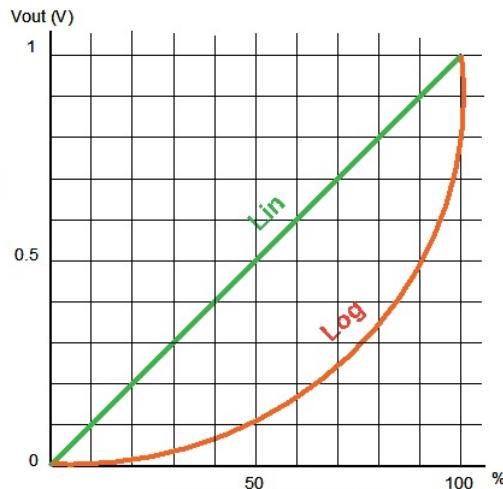


**Slika 4.13:** DC-021 konektor za napajanje

Dodatno je potrebno napomenuti da je potrebno obratiti pažnju na način na koji se konektor montira na štampanu pločicu i na kućište u koje se elektronika ubacuje. Konektori koji su ovdje pomenuti su dizajnirani tako da za njih nije potrebno ostavljati

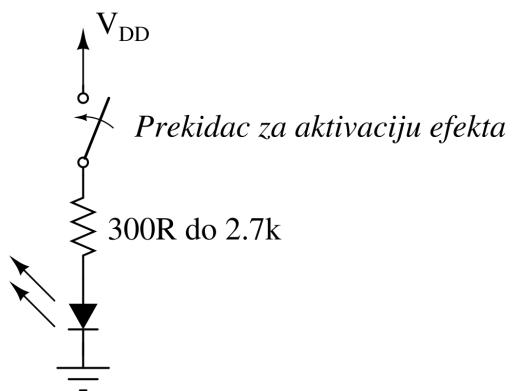
prostora na štampanoj pločici, a montirtanje na kućište zahtijeva samo okruglu rupu na nekom od zidova kutije. Postoje konektori različitih oblika za koje je problematično prilagoditi otvore na kućištu bez specijalizovanih alata.

Što se tiče potenciometara, kada je riječ o analognoj elektornici koja se bavi zvukom, gotovo uvijek je poželjno raditi sa logaritamskim potenciometrima. Potenciometri se mogu podijeliti u dvije grupe i to po zavisnosti otpornosti od ugla zakretanja, a ova zavisnost je data slikom . Logaritamski potenciometri utiču na veličinu za koju su zaduženi tako da se brzina promjene parametra mijenja u zavisnosti od njegove vrijednosti (prvi izvod logaritamske funkcije nije konstanta), a ovakva promjena više odgovara ljudskom čulu sluha.



Slika 4.14: Zavisnost otpornosti od ugla zakretanja potenciometra

Kao element koji će korisniku dati do znanja da je efekat aktiviran ili ugašen korist se LE dioda (eng. *Light Emitting Diode*). LE dioda je element koji emituje svjetlost određene talasne dužine. Pad napona na diodi zavisi od boje svjetlosti koju ona emituje. Većina LE dioda se projektuje da može da podnese maksimalnu jačinu struje koja ide kroz njih u iznosu od 20 mA. Zbog toga se u serijsku vezu sa LE diodom vezuje otpornik kojim se jačina elektirčne struje ograničava na vrijednost koja neće našteti diodi. Gotovo za sve potrebe LE diode kao indikatorskog elementa, otpornik od  $1\text{ k}\Omega$  će dati zadovoljavajuće rezultate.

**Slika 4.15:** Osnovno LED kolo

Da bi indikatorska LE dioda bila vidljiva, potrebno ju je montirati na kućište pedale i na njemu nparaviti odgovarajući otvor. Postavljanje diode bez dodatnih elemenata koji će obezbjediti da ona ostane na mjestu se ne preporučuje. Za montiranje se koriste ležišta za LE diode (eng. *Bezel*). Ova ležišta mogu da se nabave u različitim bojama i u plastičnoj i u aluminijskoj varijanti. Efekt pedala, kao uređaj koji će tokom svog radnog vijeka trpiti veće sile uslijed korištenja, treba da ima aluminijumska ležišta za indikatorska svjetla (ali i plastična neće previše oduzeti od robusnosti pedale). Na slici 4.16 su prikazani neki tipovi ležišta koji mogu da se koriste tokom izrade efekt pedale.

**Slika 4.16:** Ležišta za LE diode

## Poglavlje 5

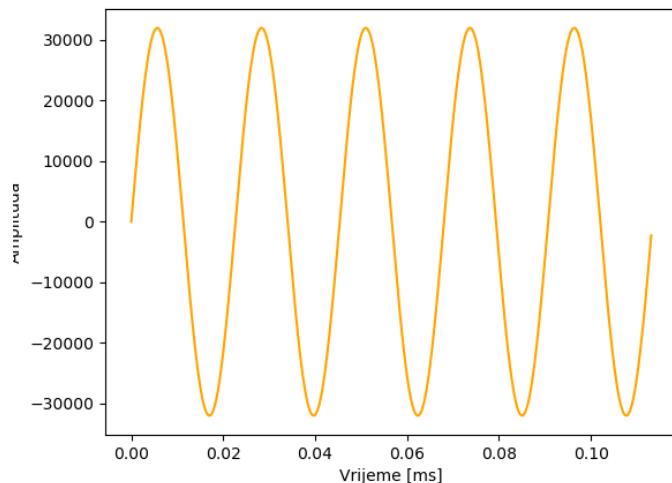
---

### Distorzija

#### 5.1 Distorzija detaljnije

Distorzija i *overdrayv* su gitarski efekti koji se veoma često koriste da bi izmjenili zvuk koji dolazi iz gitare. Tako izmjenjeni zvuk se bolje uklapa u žanr muzike koja se svira. Distorzija je efekat koji se uglavnom upotrebljava sa električnim gitarama. *Overdrayv* je specijalan slučaj distorzije.

*Overdrayv* u svojoj osnovi predstavlja odsjecanje minimuma i maksimuma signala, tj. kada apsolutna vrijednost signala pređe željenu vrijednost (prag), tada izlazni signal ima vrijednost praga. Za sve, po apsolutnoj, vrijednosti ulaznog signala manje od praga, izlazni signal je jednak ulaznom.

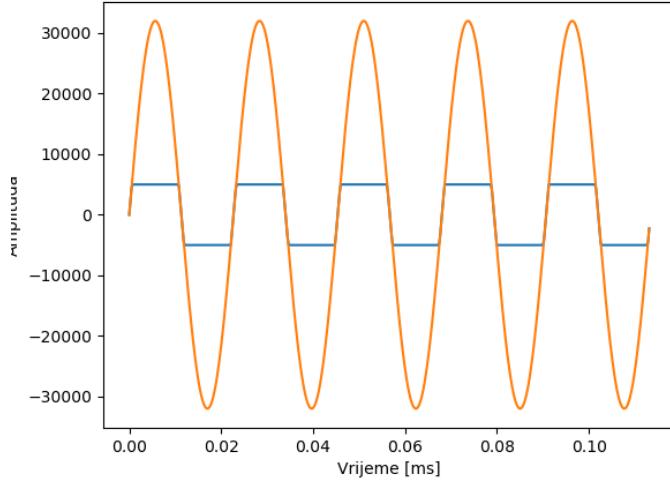


Slika 5.1: Originalni signal

Na slici 5.1 je prikazan sinusoidni signal, frekvencije 500 Hz i amplitude  $A$ , koji je opisan jednačinom 5.1

$$f(t) = A \sin(2\pi 500t) \quad (5.1)$$

Kada se primjeni *overdrazv* na takav signal, sa proizvoljnom vrijednosti praga, tada se dobija signal koji je prikazan na slici 5.2, Povećanjem vrijednosti praga dobija se signal sa slike 5.3



**Slika 5.2:** Signal posje *overdrjav* efekta. Narandžastom bojom je označen originalni signal, a plavom izlazni signal.

Matematički izraz kojim se *overdrjav* opisuje je dat jednačinom 5.2

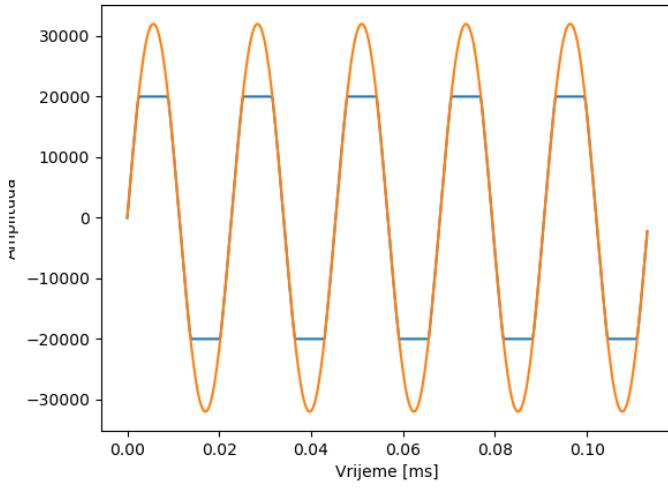
$$g(x) = \begin{cases} f(t), & |f(t)| \leq T_{prag} \\ T_{prag}, & f(t) > T_{prag} \\ T_{prag}, & f(t) < -T_{prag} \end{cases} \quad (5.2)$$

Sa slike 5.3 se vidi da signal, nakon što je odsječen, ima značajno manju amplitudu, tj. amplituda odgovara pragu *overdrjav*  $T_{prag}$ . Za velike prage ovo ne predstavlja problem, ali ukoliko je prag veoma mali, maksimalna amplituda izlaznog signala će biti onolika kolika je vrijednost praga. Zbog toga je signal poželjno pojačati tako da ima istu amplitudu kao i originalni signal. Pojačanje se radi sa inverznom vrijednosti *overdrjav*. Ako je  $T_{prag}$  bio jedna desetina amplitude originalnog signala, tada se izlazni signal pojačava za deset puta.

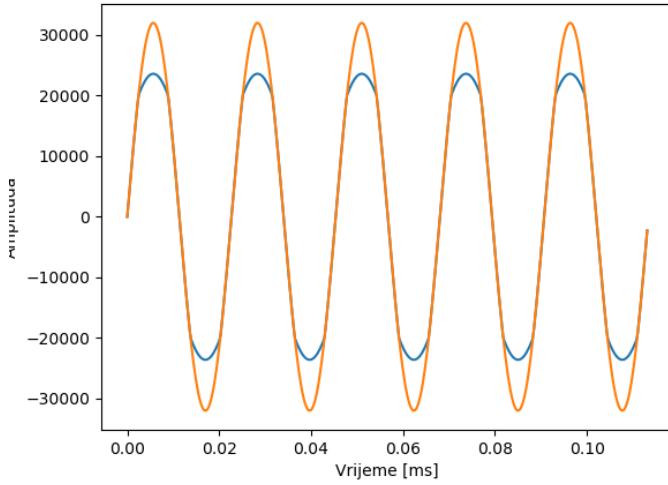
Za *overdrjav* efekat se može reći da je specijalni slučaj distorzije. Ukoliko se jednačina 5.2 izmjeni tako da se, kada apsolutna vrijednost bude veća od želenog praga, ulazni signal oslabi sa nekim faktorom, dobija se distorzija. Ovo je prikazano jednačinom 5.3.

$$f_{distorzija}(t) = \begin{cases} A_{pojacanje} \cdot f(t), & |f(t)| \leq T_{prag} \\ (f(x) \cdot A_{pojacanjeSaturacija} + T_{prag} \cdot A_{pojacanjeSaturacija}) - A_{pojacanje} \cdot T_{prag}, & f(x) > -T_{prag} \\ (f(x) \cdot A_{pojacanjeSaturacija} - T_{prag} \cdot A_{pojacanjeSaturacija}) - A_{pojacanje} \cdot T_{prag}, & f(x) < T_{prag} \end{cases} \quad (5.3)$$

Jednačina 5.3 postaje jednačina 5.2 kada je parametar  $A_{pojacanjeSaturacija}$  jednak nuli. Signal izmjenjen tako da je na njega primjenjena distorzija pri čemu je slabljenje jednako  $a_{slabljenje} = 0.3$  je prikazan na slici 5.4

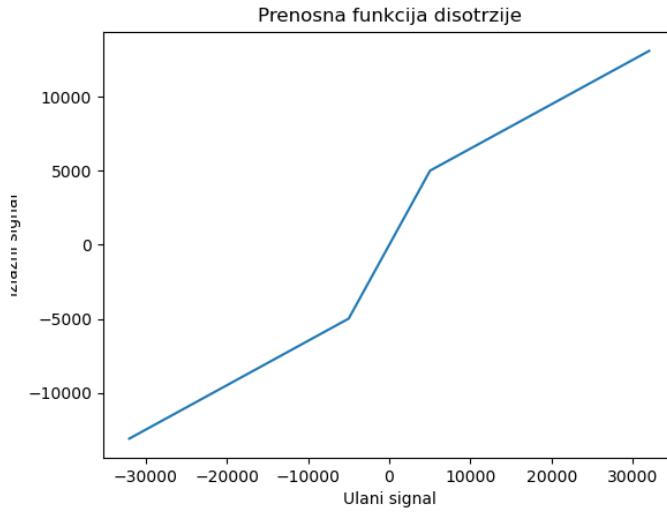


**Slika 5.3:** Signal posle *overdrajv* efekta. Narandžastom bojom je označen originalni signal, a plavom izlazni signal.



**Slika 5.4:** Signal posle distorzija efekta. Narandžastom bojom je prikazan originalni signal, a plavom bojom signal nakon distorzija efekta.

Do sada je jasno da pedala za distorziju treba da posjeduje mogućnost izmjene dva parametra, tj. da korisnik može da upravlja sa vrijednosti praga nakon kojeg nastaje distorzija i da upravlja sa jačinom slabljenja signala. Dodatno, zgodno je da pedala ima i mogućnost za kontrolisanje intenzitata zvuka. Na slici 5.5 je prikazana prenosna funkcija uopštene pedale za efekat distorzije.

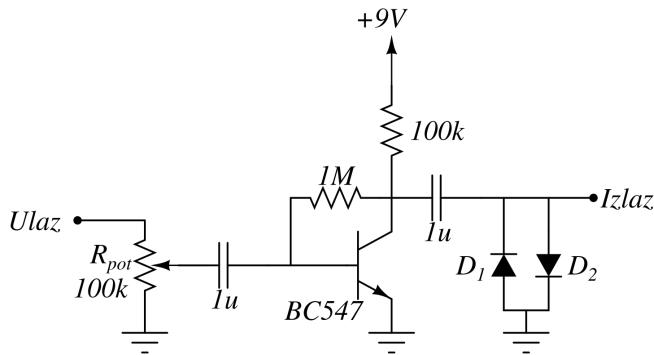


Slika 5.5: Prenosna kakrateristika efekta distorzije. Horizontalna osa predstavlja vrijednosti ulaznog signala, a preslikavanja na y osu su vrijednosti izlaznog signala

## 5.2 Projektovanje električne šeme i simulacija

### 5.2.1 Projektovanje elektronskog kola

Na slici 5.6 je prikazana osnovna šema kojom se može ostvariti efekat distorzije. Šema je veoma jednostavna, ali to donosi po koju manu, a to je da nije moguće posebno upravljati pragom i pojačanjem (tj. slabljenjem) nakon prelaska praga. Prag je definisan sa dvije diode ( $D_1$  i  $D_2$ ) koje su u tzv. spoju *back-to-back*. Za diode  $D_1$  i  $D_2$  je poželjno da budu germanijumske. Kada napon izlaznog signala, po absolutnoj vrijednosti, dostigne  $0.7V$ , jedna od dioda se otvara i izlazni signal ostaje na toj vrijednosti sve dok ne padne ispod tog napona. Srž šeme sa slike 5.6 je tranzistorski pojačavač u spoju zajedničkog emitera. Ovaj tip pojačavača je invertujući i prema tome izlazni signal će imati pomjerenu fazu za  $180^\circ$  u odnosu na izlazni signal.



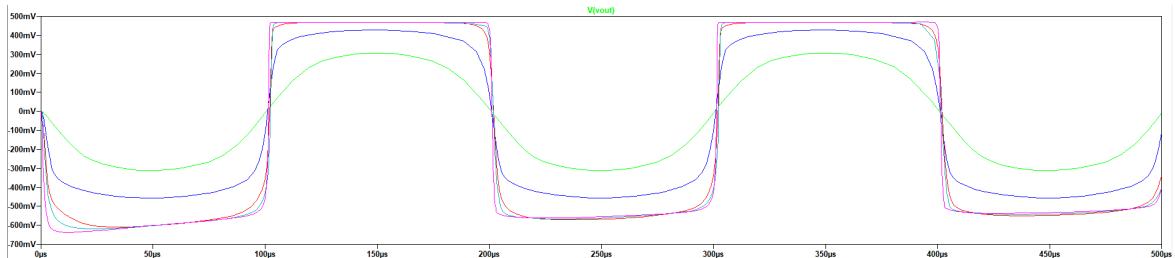
Slika 5.6: Osnovna šema koja vrši funkciju distorzije

U šemi sa slike 5.6 je moguće mijenjati prag nakon kojeg nastaje distorzija,

ali ta promjena praga je ostvarena slabljenjem ulaznog signala što za posljedicu ima pad kvaliteta signala. Pored te mane, ova šema ima još jednu, veću manu, a to je nemogućnost upravljaljajna jačinom slabljenja signala kada distrozija stupa na snagu. Osmotrimo detaljnije ulogu dioda D1 i D2 u kolu sa slike 5.6. Funkcionalnost koja se ovdje ostvaruje naziva *diodni limiter*. Diode se ovdje mogu naći u dva stanja (otvorene ili zatvorene). Ako su obe diode zatvorene, signal sa ulaza se prosljeđuje na izlaz uz malo pojačanje. U datom trenutku samo jedna od dioda može biti otvorena, i tada je, u zavisnosti od toga koja dioda je provodna, a biće otvorena kada je napon na izlazu 0.7V za D2, a -0.7V za D1.

Korištenjem softverskog paketa *LTspice* uradena je simulacija šeme sa slike 5.6. Više *LTspice* paketu možete pročitati u dodatku. Ono što se očekuje od simulacije je da, u prvom koraku pokaže da projektovano kolo radi, a zatim da se vidi kako izmjena položaja potenciometra utiče na izlazni signal. U te svrhe radi se parametarska analiza, pri čemu parametar koji mijenja vrijednost je položaj potenciometra. Za očekivati je da će distrozija biti veća za veću applitudu ulaznog signala, tj. veća kada je klizač potenciometra bliže strani na kojoj se dovodi ulazni signal.

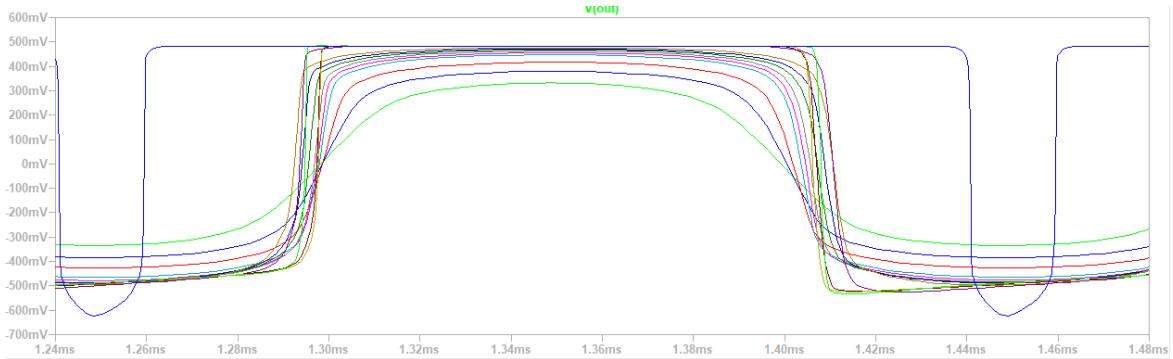
Parametarska analiza je urađena pod uslovima da se na ulazu nalazi signal generator frekvencije  $5kHz$  amplitude  $2V$ . Vrijednost otpornosti na potenciometru između klizača i mase zauzimaa vrijednosti  $100\Omega$ ,  $800\Omega$ ,  $10k\Omega$ ,  $30k\Omega$ ,  $80k\Omega$ . Grafik dobijen simulacijom je prikazan na slici 5.7.



Slika 5.7: Parametarska simulacija za različite vrijednosti potenciometra osnovne šeme

Simulacijom se dobija upravo ono što je predviđeno. Zelena linija sa slike 5.7 odgovara najnižem položaju klizača, tj. kada je signal najviše oslabljen, svaka sljedeća kriva odgovara većim vrijednostima otpornosti za koje je simulacija izvršena. Ukoliko se obrati pažnja na sliku 5.8 u kojoj je izdvojen jedan period izlaznog signala simulacije, vidi se da dobijeni signal ne odgovara u potpunosti očekivanom. U razmatranju šeme prije simulacije, navedeno je da diode na izlazu mogu biti u jednom od dva stanja i to u provodnom, prilikom čega se na njihovim krajevima razvija napon od  $0.7V$  ili u zakočenju, prilikom čega se na njihovim krajevima razvija napon koji je jednak ulaznom. Ovakvo ponašanje bi rezultovalo oštrim prelazima iz jednog u drugo stanje, što bi se ispoljilo oštrim ivicama u izlaznom signalu. Ono što se primjećuje je da to nije slučaj, a to je posljedica rada sa realnim diodama. Ovo je posebno izraženo kada je ulazni signal znatno oslabljen, i napon na diodama ne dolazi do  $0.5V$ . Još jedna stvar koju je potrebno primjetiti je da je napon na kome diode provode bliži naponu od  $0.5V$  nego predpostavljenom naponu od  $0.7V$ . U teoretskim analizama, uzima se da je napon na kome dioda sigurno dolazi u provodno stanje  $0.7V$ . Za analognu elektroniku, kao što je ovdje slučaj, ovakva pretpostavka nije dovoljno dobra, jer dioda ima prelazni

period u kome ona pruža otpor protoku struje kroz nju, a to je upravo opseg napona, koji se može okvirno odrediti gledajući sliku 5.8, od 300mV do 500mV.



Slika 5.8: Jedan period izlaznog signala dobijen simulacijom osnovne šeme

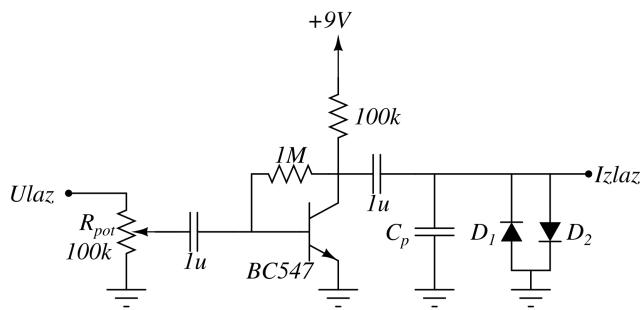
Za osnovnu šemu se može zaključiti da se sa njom može upravljati pragom nakon kojeg dolazi do distorzije, ali na štetu kvaliteta signala, i da nije moguće upravljati pojačanjem nakon praga, tj. da je pojačanje praga već utvrđeno tipom odabralih dioda.

Dodatno, bitna stvar koja se primjećuje sa slikama 5.7 i 5.8 je ta da počevši od zelenе linije koja odgovara vrijednosti otpornosti od  $100\Omega$  potenciometra između klizača i mase pa do posljednje krive koja odgovara vrijednosti od  $100k\Omega$  se vidi da u početku, za veoma male promjene vrijednosti otpornosti dolazi do značajnih promjena u obliku izlaznog signala, dok kasnije, za veće vrijednosti otpornosti potrebne su i mnogo veće promjene vrijednosti otpornosti da bi se postigle slične promjene u obliku izlaznog signala. Ovim se zaključuje da za linearu promjenu otpornosti potenciometra se ne dobija linearna promjena praga na izlaznom signalu. Ova promjena bolje odgovara linearnom zakonu, i prema tome, za efekt pedalu u ovom slučaju je mnogo pogodnije koristiti logaritamski potenciometar<sup>1</sup> jer tada za isti ugao zakretanja potenciometra, može se očekivati srazmjerna promjena izlaznog signala. Ovo nije slučaj ukoliko se koristi linearni potenciometar.

Vratimo se na problem upravljanja pojačanjem nakon što dođe do distorzije. Već je pomenuto da je to pojačanje definisano tipom dioda i da nije moguće spolja uticati na to. U tom slučaju za veće pojačanje prije nastanka distorzije, osnovna šema će se ponašati bliže *overdrayv* efektu nego distorziji. Da bi se ublažio ovaj prelaz, šema se modifikuje dodavanjem kondenzatora koji je paralelan sa dvije *back-to-back* diode. U zavisnosti koliko se želi ublažiti ovaj prelaz gdje je distorzija aktivna, tj. definisati pojačanje nakon stupanja distorzije, stavlja se drugačija vrijednost kapacitivnosti tog kondenzatora. Vrijednost ovog kondenzatora je reda  $pF$  do  $nF$ . Za veće vrijednosti dobija se *fuzz* efekat, a za manje se dobija *overdrayv* efekat. Modifikovana šema je prikazana na slici 5.9.

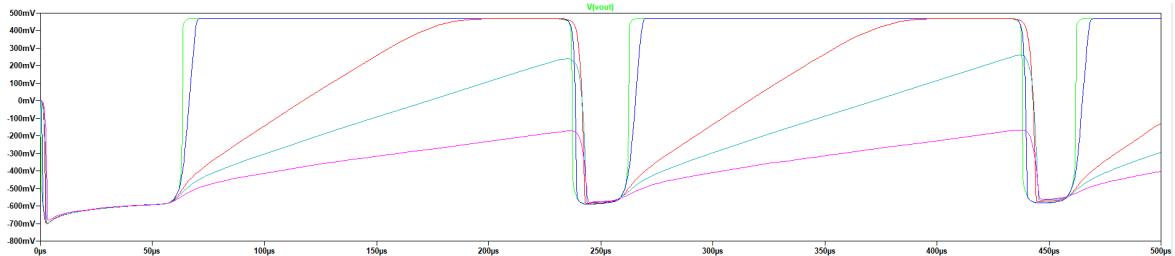
<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Logaritamski potenciometar je potenciometar koji mijenja svoju otpornost po logaritamskom zakonu u zavisnosti od svog ugla zakretanja



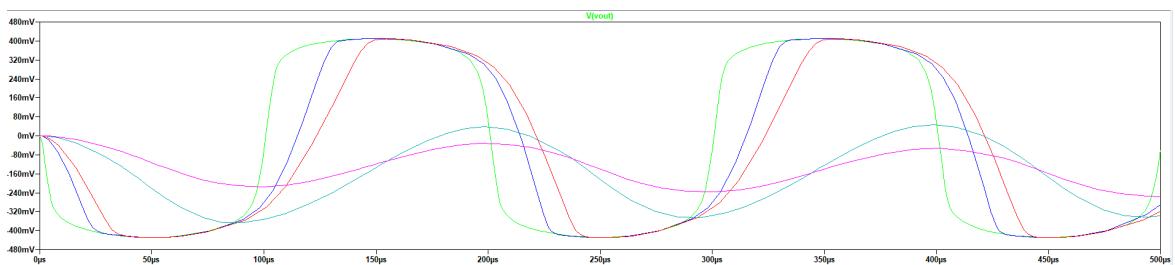
Slika 5.9: Osnovna šema sa kondenzatorom za definisanje pojačaja nakon praga

Ako se sada uradi parametarska simulacija, pri čemu se za parametar koji se mijenja uzima vrijednost kapacitivnosti kondenzatora  $C_p$  i to po listi 1pF, 50pF, 100pF, 200pF, 300pF, 500pF, 700pF, 1nF, 5nF, 10nF, 20nF, 50nF, 100nF, tada se dobija grafik prikazan na slici 5.10.



Slika 5.10: Parametarska simulacija osnovne šeme pri čemu je vrijednost kondenzatora  $C_p$  uzeta kao parametar

Na slici 5.10 roza kriva odgovara vrijednosti kondenzatora  $C_p$  od 50nF, a svaka linija iznad odgovara sljedećoj nižoj vrijednosti iz prethodno navedene liste vrijednosti, respektivno. Ono što nam novoubačeni kondenzator omogućava je podešavanje pojačanja signala nakon praga. Ukoliko se klizač potenciometra spusti, tako da je ulazni signal još više oslabljen, tada se za parametarsku simulaciju po vrijednosti kapacitivnosti kondenzatora  $C_p$  dobija grafik prikazan na slici 5.11.

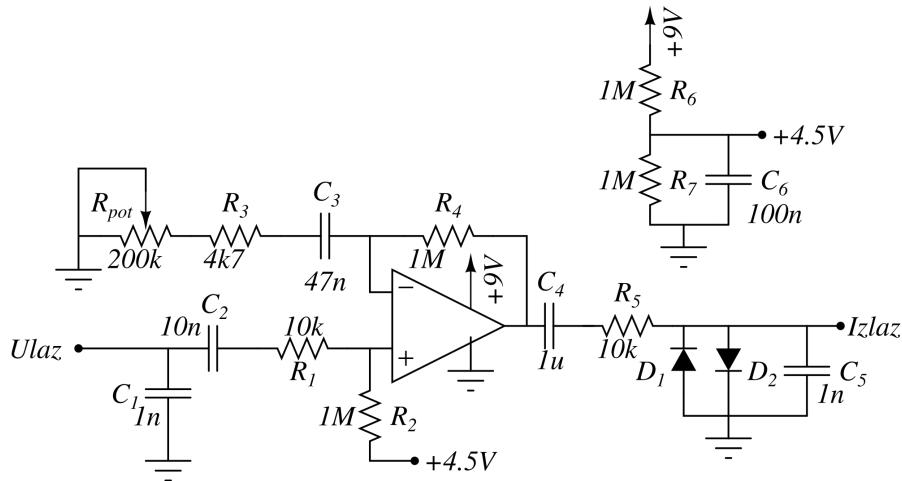


Slika 5.11: Parametarska simulacija osnovne šeme pri čemu je vrijednost kondenzatora  $C_p$  uzeta kao parametar, ulazni signal je značajno oslabljen

Izmjenju kapacitivnosti tokom rada pedale je moguće postići tako što se umjesto kondenzatora  $C_p$  konstantne vrijednosti stavi kondenzator kojem je moguće mijenjati istu, kao npr. trimer kondenzator. Promjenljivi kondenzatori uglavnom rade

na principu udaljalvanja ili približavanja ploča kondenzatora ili promjenom povrđine ploča koje učestvuju u kapacitivnosti. Ovo rezultuje velikim kondenzatorom koji je nepraktičan za upotrebu te se iz tog razloga ovo ne radi. Drugi pristup je upotreba varikap diode i potenciometra, kojim je moguće mijenjati napon inverzne polarizacije diode, i time uticati na kapacitivnost PN spoja.

Dodatni problem u osnovnoj šemi je što koristi tranzistor, diskretni element, čiji parametri nisu konstantni i kreću se u okviru nekih granica uslijed tolerancija u proizvodnji, temperatuze, i sl. Zbog toga svaka efekt pedala neće uvijek isto zvučati, čak i ako se koriste iste komponente. Pojačanje tranzistora je zavisno od radne temperatuze i od polarizacije. Na temperaturu je teško uticati (moguće je uraditi temperaturnu kompenzaciju), a što se tiče polarizacije jedino varijansa u vrijednostima otpornosti otpornika koji se koriste može da uvede odstupanja. Ovo su dodatni problemi koje treba prevazići. Upotrebom operacionog pojačavača, projektant šeme ne mora da misli na te stvari. Zbog toga se dolazi do šeme prikazane na slici 5.12.



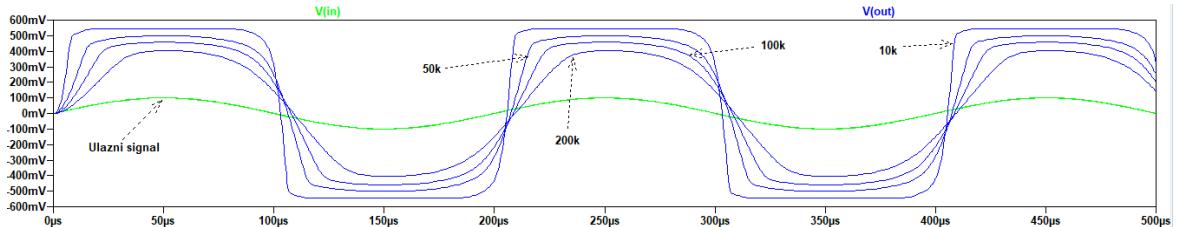
Slika 5.12: Električna šema sa operacionim pojačavačem za efekat distorzije

Šema sa slike 5.12 je u suštini neinvertujući operacioni pojačavač sa diodnim limiterom. Ulogu koju je prethodno imao tranzistor je zamijenio operacioni pojačavač. Prednost ove šeme u odnosu na osnovnu šemu je u tome što izmjena praga na kome dolazi do distorzije ne utiče na kvalitet zvuka, tj. izmjena praga se ne postiže slabljenjem signala već njegovim pojačanjem. Pošto ja napajajne unipolarno (koristi se samo napajanje od +9V) operacioni pojačavač se mora *offset-ovati* tako da izlazni signal ima srednju vrijednost polovine izvora napajanja (+4.5V). Postavljanje neinvertujućeg ulaza operacionog pojačavača na napon od +4.5V se postiže naponskim razdjeljnikom kojeg čine otpornici  $R_6$  i  $R_7$ , te kondenzatorom  $C_6$  za uklanjanje bilo kakve AC komponente na liniji napajanja.

Na izlazu operacionog pojačavača se nalazi se otpornik  $R_5$  u seriji sa dvije *back-to-back* diode  $D_1$  i  $D_2$  i kondenzatorom  $C_5$ .  $R_5$  otpornik ograničava struju koja prolazi kroz diode. Diode  $D_1$  i  $D_2$  su germanijumskog tipa koje čine najbitniji element u kvalitetu dobijene distorzije. Kondenzator  $C_5$  ima vrijednost 1nF i njegova uloga je da filtrira visoke frekvencije. Zajedno sa otpornikom  $R_5$ , kondenzator  $C_5$  čini

filtrar niskopropusnik sa graničnom frekvencijom  $f_c = \frac{1}{2\pi R_5 C_5} = 15.9$  kHz. Ovaj filtrar niskopropusnik ima ulogu da ublaži jako odsijecanje koje stvaraju diode.

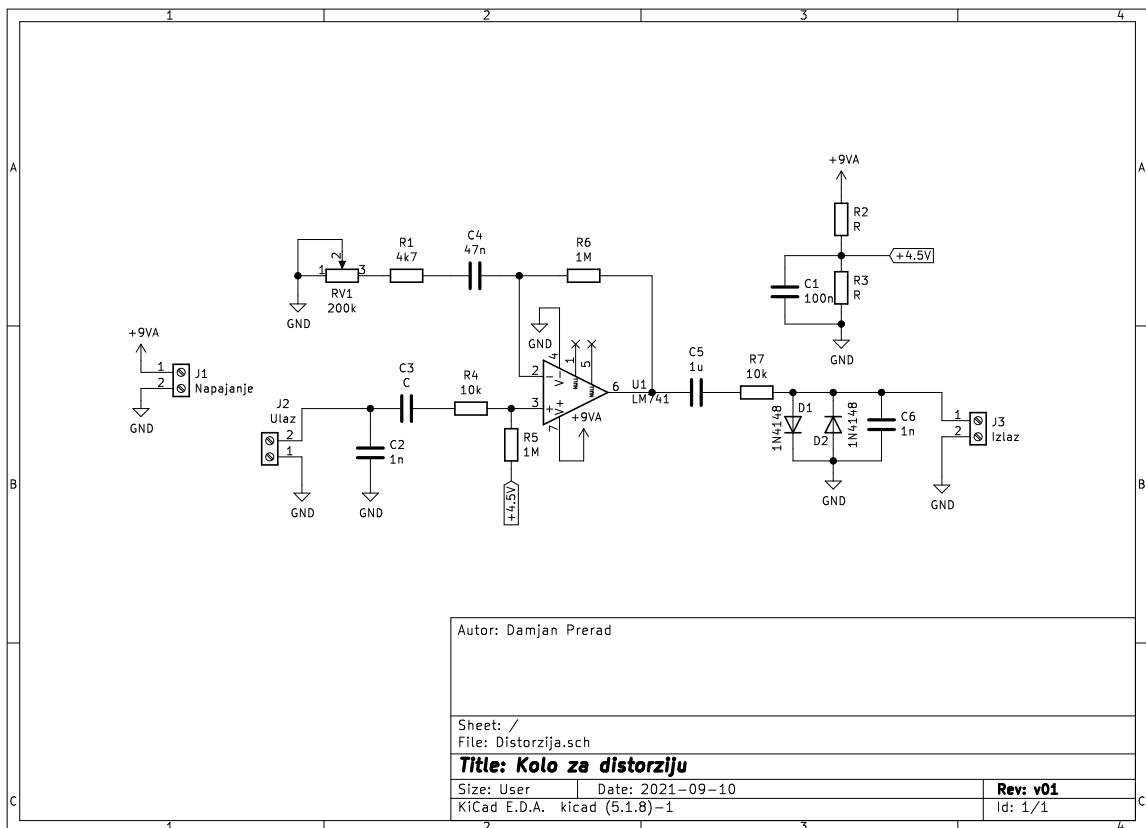
Kondenzator C2, zajedno sa ulaznom impedansom kola, koja iznosi  $676\Omega$  čini filtrar visokopropusnik čija je granična frekvencija  $f_c = \frac{1}{2\pi Z_{in} C_2} = 23.5$  Hz. Kondenzator C3, u seriji sa otpornikom R3 i potenciometrom ima ulogu visokopropusnog filtra. Osnovna funkcija mu je da oslabi niske vrekvencije koje mogu dovesti operacioni pojačavač u zasićenje. U zavisnosti od vrijednosti potenciometra granična frekvencija ovog filtra se mijenja u opsegu od 720Hz do 3Hz. Kondenzator C1 ne utiče mnogo na frekvencijsku karakteristiku kola jer je njegova vrijednost mala, a njegova uloga je uklanjanje RF šumova.



Slika 5.13: Simulacija šeme 5.12 za različite vrijednosti potenciometra

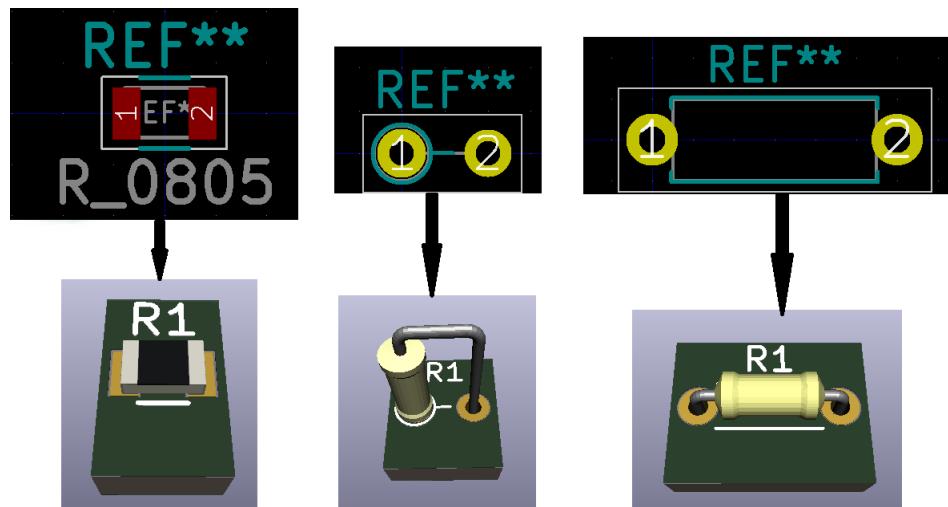
### 5.3 Dizajn štampane pločice

Po projektovanoj električnoj šemi potrebno je uraditi dizajn štampane pločice. U konstrukciji jednog elektronskog uređaja štampača pločica ima dvije uloge i to da obezbijedi električnu vezu među različitim komponenetama koje se koriste i da pruži čvrstu podlogu koja će držati komponente na jednom mjestu. Za ozbiljan projekat koji uključuje elektorniku dizajn štampane pločice je neizbjegjan.



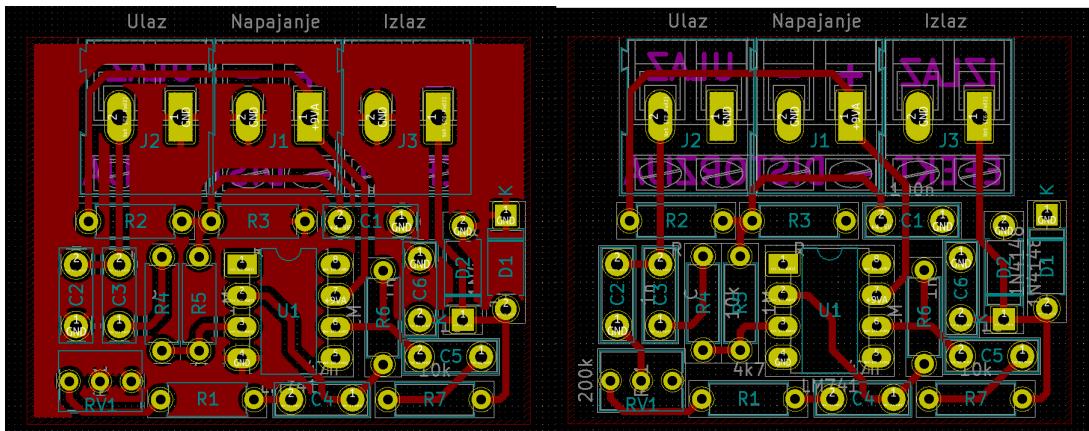
Slika 5.14: Šema u KiCAD softveru

Dizajn štampane pločice se odvija, ugrubo, u dvije faze. Prva faza je projektovanje električne šeme prilikom čega treba da se odluči koje su vrijednosti komponenta, koja integrisana kola se koriste i tip konekotra kojima se omogućava pristup ploči. Na slici 5.14 je data šema koja je projektovana za efekt distorzije. Tu se pored već diskutovanih elemenata može primjetiti konektor J1 za napajanje, J2 na koji se dovodi ulazni signal i J3 gdje se dobija izlazni signal. Kada je šema projektovana svakoj od komponenata treba dodijeliti odgovarajući *otisak* (eng. *footprint*). *Footprint* predstavlja šablon koji će biti na štampanoj pločici, a koji odgovara datoj komponenti i omogućava jednostavno lemljenje komponente na gotovu štampanu pločicu. Izbor otiska komponente zavisi od njenog kućišta i položaja u kojem se ona želi zalemiti na pločicu. Na slici 5.15 je u prvom redu prikazan otisak komponente, a u drugom redu je prikazan položaj u kome se komponenta postavlja na pločicu za dati otisak. Potrebno je pažljivo odabrati otisak za svaku komponentu u skladu sa mogućnostima i ciljem koji želi da se postigne.



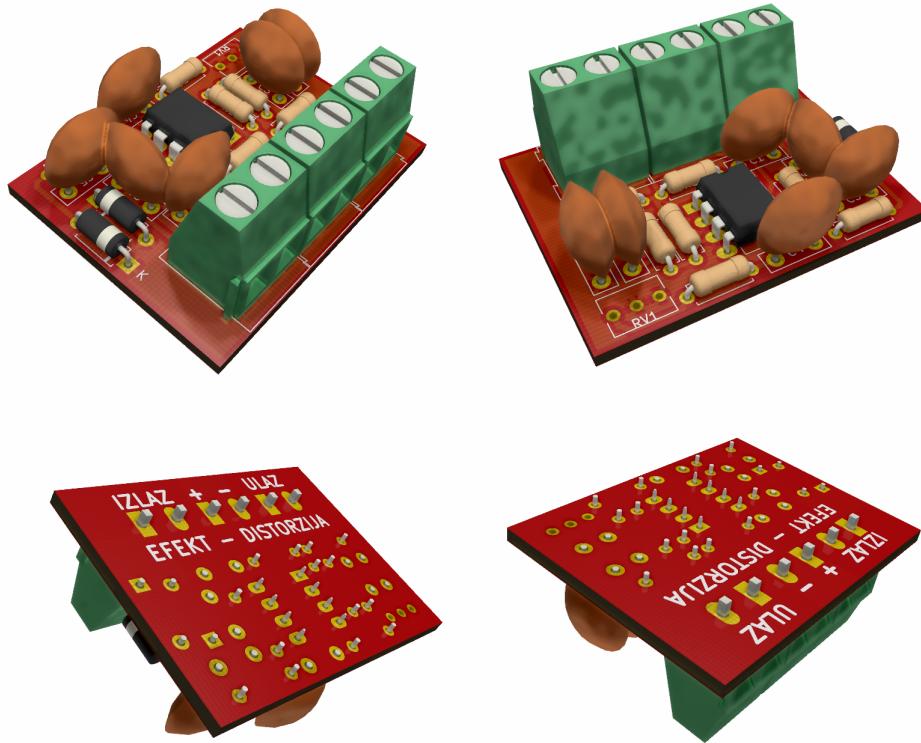
**Slika 5.15:** Otisak (*Footprint*) komponente u zavisnosti od tipa komponente i položaja lemljenja

Nakon što su za sve komponente odabrni otisci na štampanoj pločici dolazi se do faze koja se naziva *layout*. Ovdje se komponente raspoređuju na pločicu i sprovode se električne veze među komponentama. Izrada *layouta* se odvija u više iteracija, a iteracije se ponavljaju sve do trenutka kada se postigne zadovoljavajući raspored komponenata i veza među njima. Uopšteno, cilj je koristiti jedan ili dva sloja zbog jednostavnosti izrade i ovo umanjuje cijenu konačnog proizvoda jer štampane pločice sa 4 i više slojeva su za čitav stepen veličine skuplje od dvoslojnih. Tokom crtanja električnih veza, poželjno je da veze budu što kraće, da nemaju oštih uglova i da se dvije različite veze ne dodiruju u nekom dijelu. Treba poštovati određena pravila o minimalnim rastojanjima među dva elementa layouta. Širina električnih veza zavisi od jačine električne struje koju treba da izdrže, a za neke naprednije štampane pločice širina zavisi i od nekih drugih faktora. Za sve potrebe električnih pedala, širina veze od 0.3 mm do 0.6 mm je dovoljna. Na slici 5.16 sa lijeve strane je prikazan konačni layout, a sa desne strane layout bez *ground plane* elementa. *Ground plane* je element koji čini čvor mase i on popunjava određenu površinu pločice, u ovom slučaju čitavu pločicu. U layout fazi se dodaje tekst koji će biti ispisano na pločicama. Ovaj tekst treba da označi ulogu konektora, tip realizovanog efekta, projektanta štampane pločice i druge stvar koje autor smatra da su od značaja. Tekst se postavlja na sloj koji se naziva *silk screen* i on je jasno vidljiv na 3D modelu štampane pločice prikazanom na slici 5.17.



Slika 5.16: Layout štampane pločice

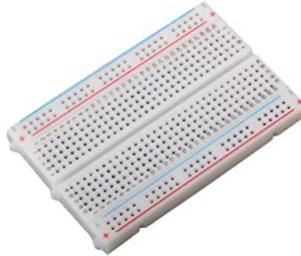
Sljedeća i posljednja stavka, je izrada 3D modela štampane pločice. 3D model je korisno za imati ali nije neophodan. Može pomoći u projektovanju kućišta za elektroniku jer kada je poznat oblik pločice koja će biti u kutiji, mnogo je lakše projektovati kutju koja će odgovarati elektronici. Za sve komponente koje se koriste postoji već napravljen 3D model i potrebno je povezati odgovarajući model sa odabranom komponentom. KiCAD softver na veoma jednostavan način omogućava izradu 3D modela. Kada je 3D model urađen, poželjno je pregledati rezultat rada u potrazi za nepravilnostima na ploči u obliku preklapanja nekih komponenti, pogrešnih otisaka, tekst koji nije postavljen na odgovarajuće mjesti i druge greške.



**Slika 5.17:** 3D model projektovane štampane pločice sa komponentama

## 5.4 Izrada prototipa

Prototip je funkcionalan model koji predstavlja ideju onoga što bi krajnji proizvod trebao da zadovolji. Izrada prototipa je stavka koja se radi u ranom stadijumu razvoja projekta. Na prototipu je moguće vršiti različita testiranja i utvrditi da li je ideju moguće sprovesti do kraja. U svijetu elektronike, prototipovi se mogu izrađivati u više faza. Prva faza je izrada pojedinih elektronskih podsistema na eksperimentalnoj pločici (eng. *breadboard*) prikazan na slici 5.18. Na prototipu je moguće izvršiti mjerena i potvrditi (ili pobiti) rezultate dobijene simulacijom. Alat koji se koristi za mjerena je najčešće multimetar, osciloskop i logički analizator.



**Slika 5.18:** Eksperimentalna pločica je prvi korak u izradi prototipa

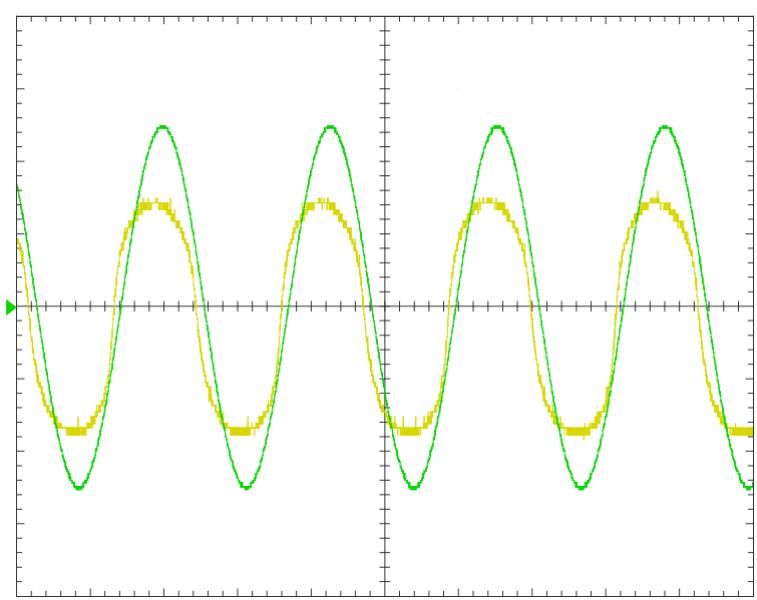
Kada se utvrdi da svi podsistemi elektronskog kola rade kako je očekivano,

vrijeme je za prelazak na neko malo trajnije rješenje. Za te svrhe se koristi *proto-board*. Protoboard je štampana pločica na kojoj su ostavljene rupice tako da je moguće polemiti bilo koju komponentu na njega. Električni kontakti se ostvaruju žičicama koje se leme na nožice komponenata. Kada se napravi prototip na protoboardu, izgled konacnog uređaja već počinje da se nazire. Prototip distorzije urađen na *protoboardu* je prikazan na slici 5.19.

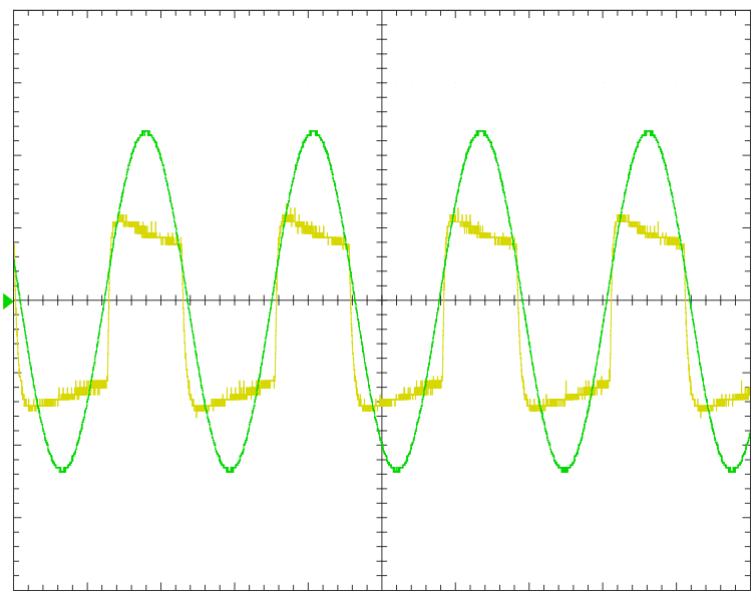


**Slika 5.19:** Prototip na *protoboardu*

Spajanjem sondi osciloskopa na ulaz i izlaz pedale, te dovođenjem sinusnog signala na ulaz, može se vidjeti distorzija na pravom signalu, a to je prikazano na slikama 5.20, 5.21. Ove dvije slike daju izlazni signal za različite položaje dva potenciometra. Slika 5.20 prikazuje distorziju kada pojačanje nakon praga ima neku vrijednost, a slika 5.21 je distorzija kada pojačanje praga ima vrijednost 0.



**Slika 5.20:** Signal dobijen mjeranjem prototipa. Zeleni signal je ulaz, žuti signal je izlaz.



Slika 5.21: Signal dobijen mjeranjem prototipa. Zeleni signal je ulaz, žuti signal je izlaz.

Konačno, uređaj spakovan u kutiju i spreman za korištenje je dat slikom 5.22.



Slika 5.22: Prototip spakovan u kutiju.

## 5.5 Lista elemenata za izradu (*eng.* Bill of materials)

U tabeli ispod se nalazi lista elektronskih komponenata koje su korištene u izradi efekta pedale.

Redni broj	Oznaka	Pakovanje	Količina	Vrijednost
1	R1	R_Axial_L6.3mm_D2.5mm_P7.62mm	2	4k7
2	C1	C_Disc_D7.5mm_W2.5mm_P5.00mm	1	100n
3	C2,C6	C_Disc_D7.5mm_W2.5mm_P5.00mm	2	1n
4	C3	C_Disc_D7.5mm_W2.5mm_P5.00mm	1	C
5	C4	C_Disc_D7.5mm_W2.5mm_P5.00mm	1	47n
6	C5	C_Disc_D7.5mm_W2.5mm_P5.00mm	1	1u
7	D1,D2	D_A-405_P7.62mm	2	1N4148
8	J1	TerminalBlock - 2_P5.00mm	1	Napajanje
9	J2	TerminalBlock - 2_P5.00mm	1	Ulaz
10	J3	TerminalBlock - 2_P5.00mm	1	Izlaz
11	R2,R3	R_Axial_L6.3mm_D2.5mm_P7.62mm	2	R
12	R4,R7	R_Axial_L6.3mm_D2.5mm_P7.62mm	2	10k
13	R5,R6	R_Axial_L6.3mm_D2.5mm_P7.62mm	2	1M
14	RV1	Potentiometer_Vishay_T73XW	1	200k
15	U1	DIP-8_W7.62mm_LongPads	1	LM741
17	DC-021	5.5mm X 2.1mm DC Konektor	1	-
18	6.35mm AK	6.35mm ženski konektor	2	-
19	LED Blue	LED Blue	1	-

# Poglavlje 6

---

## Zaključak

Cilj ovog dokumenta je da se čitalac upozna sa osnovnim elementima koji se tiču analognе elektronike. Za primjer nad kojim se prikazuje osnovni koncepti uzeta je gitarska efekt pedala jer je polazna zamisao bila da je to uređaj koji je relativno jednostavan (sa strane elektroika) za izradu i daje rezultate koje svi čitaoci, koji se upuste u izradu, mogu čuti / vidjeti.

Počevši od osnovnih koncepata, terojske postavke pa do projektovanja šeme, štampane pločice i konačne izrade korisnik se upoznaje sa osnovnim elementima elektronike i alatima koji se upotrebljavaju za razvoj jednog elektronskog uređaja.

Dobar dio teksta opisuje osnovne koncepte za izradu pedale kao što je kućište, tipovi konektora, prekidači i slično, koji se ne tiču direktno elektronike, ali da bi se uređaj mogao uspješno koristiti neophodno je imati znanje i iz tih oblasti.

Tekst je strukturisan tako da je jednostavno nadograditi ga ubacivanjem novog poglavlja koje bi opisivalo neki drugi efekat. Dodavanjem više efekata, ovaj tekst može da peraste u knjigu.