

Rīgas 64. vidusskola

# **Ģitāras signāla apstrāde un efektu modelēšana, izmantojot Arduino MEGA mikrokontrolieri**

Zinātniskās pētniecības darbs fizikā un inženierzinātnēs

**Darba autors:** Kristaps Bukšs

12.DIT klases skolnieks

**Darba vadītājs:** Edgars Zīverts

Robotikas skolotājs

Rīga 2023

## **Anotācija**

Zinātniski pētniecisko darbu "Ģitāras signāla apstrāde un efektu modelēšana, izmantojot Arduino MEGA mikrokontrolieri" izstrādāja Rīgas 64. vidusskolas 12. DIT klases skolnieks Kristaps Bukšs. Darba vadītājs Rīgas 64. vidusskolas robotikas skolotājs Edgars Zīverts.

Darba mērķis – izveidot ģitāras pedāli, kurš reāllaikā nodrošinās signāla ievadi, apstrādi un izvadi, izmantojot Arduino MEGA mikrokontrolieri. Pētījums tiek veikts, izveidojot ģitāras pedāļa prototipu, izmantojot Arduino mikrokontrolieri, balstoties uz iepriekš gūtajam zināšanām, kuras tika iegūtas literatūras analīzē. Pēc prototipa izveidošanas tiek veikts mērījums, izmantojot skopometru.

Atslēgas vārdi: ģitāras signāls, signāla apstrāde, digitālā signāla modulācija, efektu modelēšana, Arduino mikrokontrolieris.

## **Abstract**

The scientific research work "Guitar signal processing and effects modelling using Arduino MEGA microcontroller" was developed by Kristaps Bukšs, a student of the 12th DIT class of Riga 64th Secondary School. The supervisor of the work is Edgars Zīverts, robotics teacher at Riga 64th Secondary School.

The aim of the work - to create a guitar pedal that will provide real-time signal input, processing and output using an Arduino MEGA microcontroller. The research is carried out by creating a prototype guitar pedal using an Arduino microcontroller based on prior knowledge gained through literature analysis. After the prototype is built, a measurement is performed using a scopemeter.

Keywords: guitar signal, signal processing, digital signal modulation, effects modelling, Arduino microcontroller.

# Saturs

Ievads.....	4
1. Teorijas daļa.....	5
1.1 Ģitāras pedāļa jēdziens.....	5
1.2 Ģitāras pedāļu efektu veidi.....	5
1.3 Digitālās un analogās shēmas ģitāru pedāļos .....	6
1.4 Augstfrekvences un zemfrekvences frekvenču filtrs .....	7
1.5 Operacionālais pastiprinātājs.....	10
1.6 Digitālā signālu apstrāde .....	11
2. Ģitāras pedāļa shēmas izveide.....	13
2.1 Ģitāras pedāļa grafiskās shēmas izveide .....	13
2.2 Drukātās shēmas izveide .....	17
Secinājumi.....	19
Izmantotā literatūra.....	20
Pielikumi .....	23

## Ievads

**Pētnieciskā darba tēma** – Ģitāras signāla apstrāde un efektu modelēšana, izmantojot Arduino MEGA mikrokontrolieri.

**Tēmas izvēle** – Šī tēma tika izvēlēta, lai veiktu izpēti, kā, izmantojot digitālo signālu apstrādi, var pārveidot analoģo ģitāras signālu. Šīs tēmas aktualitāte ir Arduino mikrokontroliera izmantojums, jo šis mikrokontrolieris tiek plaši izmantots elektronikā un šī temata kontekstā, izmantojot Arduino mikrokontrolleri, var izveidot dažādus, pielāgojamus signāla apstrādes efektus, izmantojot C++ programmēšanas valodu. Projekta izveidē tiks pielietota gan analoģa (rezistoru un kondensatoru frekvenču filtri), gan digitāla signāla apstrāde.

**Pētījumā mērķis** – Izveidot ģitāras pedāli, kurš reāllaikā nodrošinās signāla ievadi, apstrādi un izvadi, izmantojot Arduino mikrokontrolieri. Papildus tiks izmantots algoritms, kurš modulēs ievadīto ģitāras signālu izkropļojuma (distortion) efektā.

### Veicamie uzdevumi:

- Analizēt literatūru par ģitāras pedāļa efektiem un digitālo/analoģo signālu apstrādi.
- No izanalizētās literatūras, izveidot ģitāras pedāļa grafisko un drukāto plates shēmu.
- No grafiskās shēmas izveidot prototipu un izmantot atvērtā pirmkoda kodu C++ programmēšanas valodā, kurš veiks izkropļojuma (distortion) efektu.
- Izveidotajam prototipam uz maketēšanas plates, izveidot iespiedshēmas plati "EasyEDA" projektēšanas programmatūra.
- Vizuāli attēlot izveidotā izkropļojuma (distortion) efekta darbību.
- Secināt par Arduino mikrokontroliera priekšrocībām, trūkumiem un uzlabojumiem.

### Pētījuma jautājums(-umi) :

- Vai Arduino mikrokontrolieris spēj nodrošināt pietiekamu signāla apstrādes veiktspēju un kvalitāti ģitāras efektu modelēšanai?
- Kādas ir iespējas un ierobežojumi, izmantojot Arduino mikrokontrolieri ģitāras signāla apstrādei un efektu modelēšanai?

### Pētījumā izmantotās metodes :

1. Literatūras apskats.
2. Prototipēšana - izveidojot ģitāras pedāļa prototipu uz maketēšanas plates.
3. Salīdzināšana – izveidojot skopometra rādījumus, tiks salīdzināta iegūtā informācija par ģitāras pedāļa darbību.

**Darba struktūra** – Darbs sastāv no ievada, 2 nodaļām, 8 apakšnodaļām, secinājumiem, izmantoto informācijas avotu saraksta un pielikuma. Darbā ir 22 attēli.

# 1. Teorijas daļa

## 1.1 Ģitāras pedāļa jēdziens

Ģitāras efektu pedālis ir audio efektu ierīce, kas apstrādā elektriskās ģitāras signālu vai jebkura cita instrumenta signālu. Šos pedāļus iedala analogajos un digitālajos, atkarībā no shēmas, kāda ir iebūvēta metāla, plastmasas vai cita materiāla korpusā. Ģitāras pedāli ir iespējams vadīt ar kājām vai rokām, šis parametrs padara šo ierīci daudzfunkcionālu. Šie pedāļi tiek novietoti uz grīdas vai uz "Pedalboard". Ģitāras pedāļus izmanto, lai mainītu "sauso" ģitāras signālu pēc katra lietotāja patikas un tos var izmantot, piemēram, lai pareizi noskaņotu ģitāru. Lielākajai daļai no ģitāras pedāļiem ir viena signāla ieeja un viena signāla izeja un izslēgšanas vai ieslēgšanas vadība. [1.]

## 1.2 Ģitāras pedāļu efektu veidi

Ģitāras pedāļu efektus var iedalīt sešās grupās:

**Signāla filtrējošie efekti** - kuri maina izejas signāla frekvenču diapazonu (pazeminot vai palielina izvēlētos frekvenču diapazonus). Piemēri no šīs grupas būtu : ekvalaizera tipa pedālis, "*wah*" pedālis (izmantojot pedālī iebūvētu potenciometru, kuru vada ar kāju, tiek mainīts izvadītais signāla frekvences diapazons), "*talk box*" pedālis (izmantojot plastmasas cauruli, kuru tiek ievietota mutē un sekundāri mainot mutes formu tiek mainīta izejas frekvence), "*auto wah*" pedālis (strādā kā "*wah*" pedālis, bet izvadītais signāla frekvences diapazons tiek mainīts atkarībā no ģitāras signāla dinamikas). [2.]

**Signālu pastiprinošie efekti** (signāla izkropļojošie efekti) ir efekti, kuri, izmantojot "*soft-clipping*", "*hard-clipping*", "*square wave clipping*" shēmas, kompresē ģitāras signāla viļņa pīķa formu, rezultātā izkropļojot ievadīto ģitāras signālu. Piemēri no šīs grupas būtu: "*Boost*" pedālis (pastiprina signāla skaļumu to nesakropļojot), "*Overdrive*" pedālis (izmanto "*soft-clipping*" shēmu), "*Distortion*" pedālis (izmanto "*hard-clipping*" shēmu), "*Fuzz*" pedālis (izmanto "*square wave clipping*" shēmu). [3.]

**Frekvences augstuma mainošie efekti** - maina ieejas signāla augstumu un attiecīgi, nolasot signāla harmonisko saturu, to maina par veselām oktāvām vai sīkākos intervālos. Frekvences augstuma mainošos pedāļus iedala divās kategorijās monofonisks (vienlaicīgi maina vienu noti) vai polifonisks (ietekmē vairākas notis). Piemēri no šīs grupas būtu: "*Octave*" pedālis (monofonisks pedālis, kurš maina ieejas signālu par oktāvas intervālu), "*Harmonizer*" pedālis (monofonisks vai polifonisks pedālis, kurš maina ieejas signālu vairākos intervālos), "*Pitch Shifter*" pedālis (polifonisks pedālis, kurš maina ģitāras skaņojumu, neizmantojot ģitāras stīgu spriegotājus). [2.] [4.]

**Modulācijas efekti** - tiek iegūti, mainot viļņa amplitūdu, frekvenci, fāzi, impulsu secību un impulsu garumu. Šīs grupas pedāļu efekti tiek iegūti jaucot neizmainīto ģitāras signālu ar signāla kopiju, kura tiek mainīta. Piemēri no šīs grupas būtu: "*Phaser*" pedālis (izmanto signāla fāzes nobīdi, kur zemfrekvences svārstību oscilators maina frekvenci, kuru pēc fāzes dzēš, sajaucot to ar neizmainīto signālu), "*Flanger*" pedālis (izmanto signāla fāzes nobīdi, kur zemfrekvences svārstību oscilators maina frekvenci, kuru pēc fāzes dzēš, sajaucot to ar

neizmainīto signālu, pievienojot laika aizturi), “*Chorus*” pedālis (izmanto signāla fāzes nobīdi, kur zemfrekvences svārstību oscilators maina aiztures laiku 18-24 milisekunžu diapazonā, šis aizturētais signāls tiek jaukts ar neizmainīto ģitāras signālu), “*Tremolo un Vibrato*” pedālis (izmantojot zemfrekvences svārstību oscilatoru tiek mainīta signāla amplitūda, tiek iegūts tremolo efekts, mainot signāla frekvences augstumu, iegūst vibrato efektu). [5.][6.][7.] [8.][9.]

**Signāla skaļuma un dinamikas mainošie efekti** tiek izmantoti, lai mainītu ģitāras signāla skaļumu un tā dinamiku. Piemēri no šīs grupas būtu: “*Compressor*” efektu pedālis (samazina ieejas signāla dinamisko diapazonu, padarot signālu ar mazāku amplitūdu skaļāku un signālu ar lielāku amplitūdu klusāku), “*Sustain*” efektu pedālis (izpilda to pašu ko “*Compressor*” efektu pedālis, bet šis efekts pagarina nospēlētās nots garumu), “*Noise gate*” efektu pedālis (samazina nevēlamo troksni, kas ir radies no ieejas signāla) un “*Volume*” efektu pedālis (ar kāju kontrolējas efektu pedālis ar kura palīdzību var kontrolēt signāla skaļumu reāllaika) [2.] [10.]

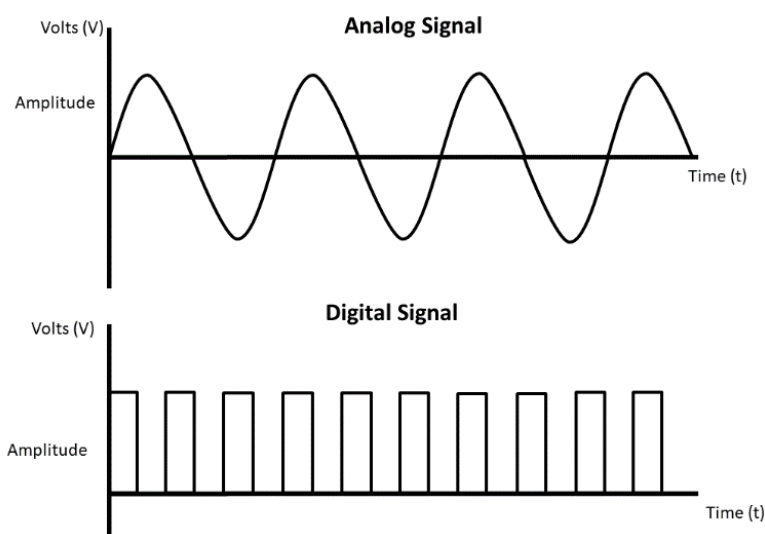
**Uz laiku balstītie efekti** ir efekti, kuri aiztur sākotnējo ģitāras signālu, pievieno reverberācijas un atbalss efektus un ļauj ierakstīt vairākus ģitāras signāla ierakstus. Piemēri no šīs grupas būtu: “*Reverb*” efektu pedālis (imitē reverberācijas efektu, veidojot pēcskaņu. “*Reverb*” efekts tiek iedalīts atkarībā no reverberācijas laika ilguma), “*Delay*” efektu pedālis (rada uz laiku balstītu aiztures efektu, atskaņo ierakstīto neizmainīto signālu un atskaņo to vienu vai vairākas reizes pēc noteikta laika intervāla. Šos efektu pedāļus iedala lentes, analogo, digitālo un signāla modelēšanas kategorijās, “*Looper*” efektu pedālis (atļauj veikt vairāku signālu ierakstīšanu un slāņošanu).[11.][12.][13.][14.]

### 1.3 Digitālās un analogās shēmas ģitāru pedāļos

Lai salīdzinātu šo shēmu pielietojumu ģitāru pedāļos, vispirms, ir jāsalīdzina digitālais signāls pret analogo signālu.

Digitālais signāls ir signāls, kurš sadala datus vērtībās, kuras balstās uz bināro kodu, kurš sastāv no vieninieku un nulļu virknes. Nulle simbolizē to brīdi, kad netiek pievadīts strāvas spriegums un viens simbolizē to brīdi, kad tiek pavadīts strāvas spriegums. Digitālais signāls ir spējīgs gandrīz identiski kopēt noteikta veida informāciju, piemēram, datorā glabātos datus, pikseļu krāsas, nepasliktinot to kvalitāti. Pārveidots analogs signāls uz digitālo signālu ir ar kvalitātes zudumiem, jo digitālais signāls ir aptuvena sākotnējā analogā signāla versija. Digitālo signālu ir iespējams apstrādāt, izmantojot Ciparsignālu procesorus, kas atļauj šo signālu apstrādāt lielās kvantitātēs.[15.][16.][17.]

Analogais signāls ir spriegums, strāva vai fizikāls lielums, kas nepārtraukti un bezgalīgi mainās. Tie var būt periodiski vai neperiodiski. Šī signāla piemēri būtu radioviļņi, televīzijas viļņi vai skaņas viļņi. Analogam signālam kvalitātes zudums rodas elektrisko trokšņu saskarsmē.



*(1. attēls: analogā signāla (augšā) un digitālā signāla (lejā) salīdzinošas diagrammas.[20.]*

Salīdzinot šos signālus var izsecināt to, ka digitālā signāla priekšrocības ir mazāks trokšņu, izkropļojumu un traucējumu daudzums, digitālā signālu apstrāde pieļauj elastīgu signālu apstrādi, digitālo signālu var šifrēt, padarot to drošāku. Šī signāla trūkumi ir lielāks joslas platums, salīdzinot ar analogo signālu. Lai pārraidītu vienādu daudzumu datu, tiek pielietots lielāks aparātūras resursu izmantojums.[18.][19.]

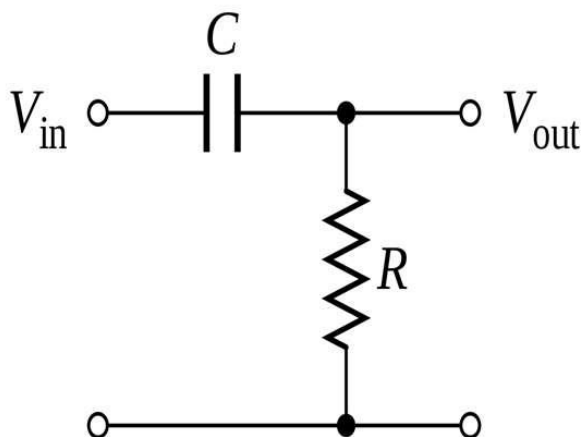
Digitālās shēmas izmanto loģiskos vārtus, integrālās shēmas un mikrokontrolierus, bet analogajās shēmās tiek izmantoti rezistori, kondensatori, induktori, diodes, tranzistori, operacionālie pastiprinātāji un šo komponentu paveidi. Digitālās shēmas ir sinhronas, tas nozīmē, ka tiek izmantots atsaucis pulkstenis, lai nodrošinātu shēmas darbību paredzamā veidā. Analogās shēmas ir asinhronas, tas nozīmē, ka signāla apstrāde notiek no brīža, kad tiek ievadīts signāls.[15.]

Analogo shēmu izmantojums ir sastopams katrā no efektu veidiem, jo analogo tehnoloģiju lietojums aizsāka ģitāras pedāļu izveidi. Digitālo shēmu izmantojums ģitāru pedāļos ir sastopams pedāļos, kuros ir apvienoti vairāki efekti vienā ierīcē un pedāļos, kuri ir no modulācijas efektu grupas, bet digitālo shēmu pielietojums ļauj emulēt katru ģitāras pedāļu efektu. Tieši šī iemesla dēļ, ZPD autors izlēma veidot apstrādes efektus uz Arduino mikrokontroliera bāzes.

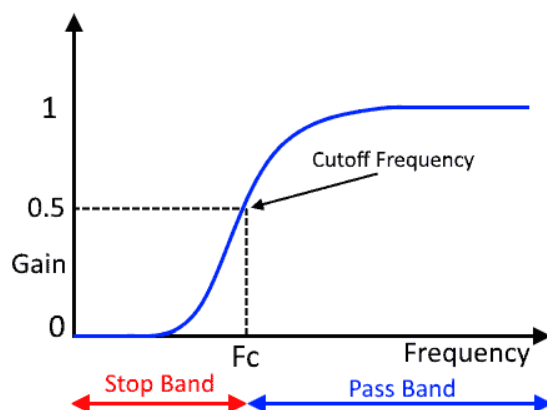
## 1.4 Augstfrekvences un zemfrekvences frekvenču filtrs

Augstfrekvences filtrs ir frekvences filtrs, kas caurlaiž to signālu, kura frekvence ir augstāka par robežfrekvenci, šādi vājinot zemāku frekvenču signālus, kuri ir zem robežfrekvences punkta. Robežfrekvence ir atkarīga no rezistora pretestības vērtības un kondensatora kapacitatīvās vērtības. Robežfrekvences darbības sākuma punkts ir 70,7%, jeb -3 dB no ievadītā signāla vērtības. Augstfrekvences filtrs sastāv no kondensatora un rezistora

(pasīvie elektronikas komponenti), kuri tiek novietoti virknes slēgumā. Kondensators tiek pieslēgts ieejas signālam un rezistors izejas signālam.[21.][22.][23.]



(2. attēls: augstfrekvences filtra attēlojums shēmā[24.])



(3. attēls: augstfrekvences filtra robežfrekvences ( $F_c$ ) darbības princips[25.])

Robežfrekvenci aprēķina, izmantojot šo formulu, tā ir atkarīga no rezistora un kondensatora vērtībām, palielinot rezistora un kondensatora, tiek samazināta robežfrekvences vērtība.[21]

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

Robežfrekvenci, kur divi vai vairāki augstfrekvences filtri shēmā ir pēc kārtas, var aprēķināt, izmantojot šo formulu. Rezistora un kondensatora vērtības ietekmē robežfrekvences vērtību tāpat, kā iepriekš norādītajā formulā.[21]

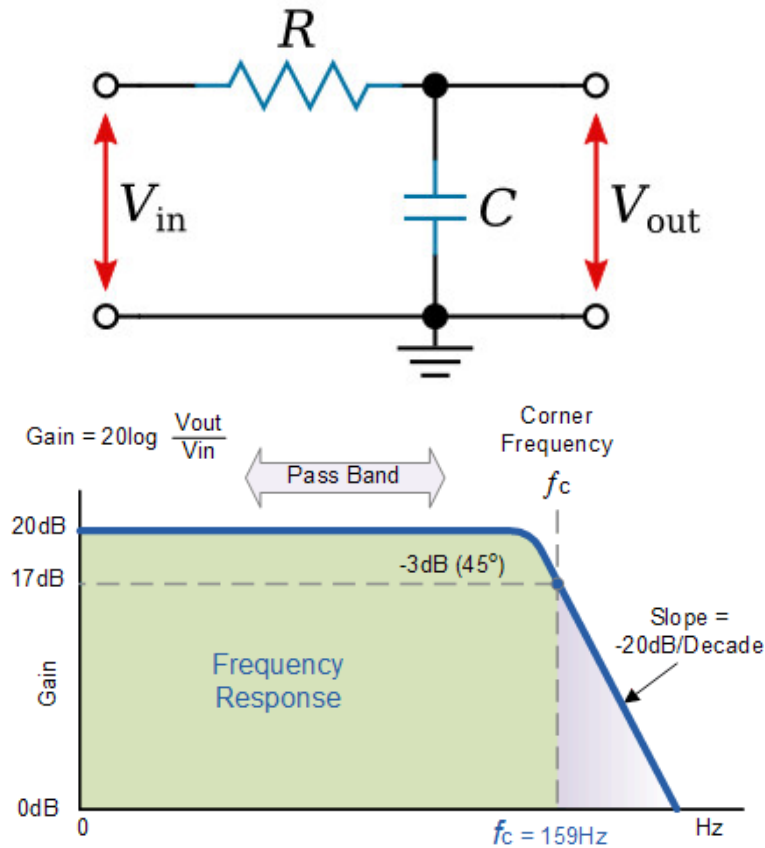
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1C_1R_2C_2}}$$

Zemfrekvences filtrs ir frekvences filtrs, kas caurlaiž signālus ar zemu frekvenci un necaurlaiž signālus ar augstu frekvenci, kuri pārsniedz vēlamo robežfrekvenci. Robežfrekvence ir atkarīga no rezistora pretestības vērtības un kondensatora kapacitatīvās vērtības. Robežfrekvences darbības sākuma punkts ir 70,7%, jeb – 3 dB no ievadītā signāla vērtības.



Zemfrekvences filtrs sastāv no kondensatora un rezistora (pasīvie elektronikas komponenti), kuri tiek novietoti virknes slēgumā. Rezistors tiek pieslēgts ieejas signālam un kondensators izejas signālam.[26.][27.][28.]

(4. attēls: zemfrekvences filtra attēlojums shēmā[29.])



(5. attēls: zemfrekvences filtra robežfrekvences ( $F_c$ ) darbības princips[30.])

Robežfrekvenci aprēķina, izmantojot šo formulu, un tā ir atkarīga no rezistora un kondensatora vērtībām, palielinot rezistora un kondensatora, tiek samazināta robežfrekvences vērtība.[21.]

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

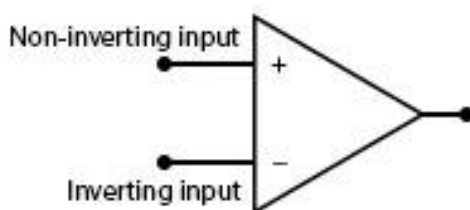
Robežfrekvenci, kur divi vai vairāki zemfrekvences filtri shēmā ir pēc kārtas, var aprēķināt, izmantojot šo formulu. Rezistora un kondensatora vērtības ietekmē robežfrekvences vērtību tāpat, kā iepriekš norādītajā formulā.[21.]

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}}$$

## 1.5 Operacionālais pastiprinātājs

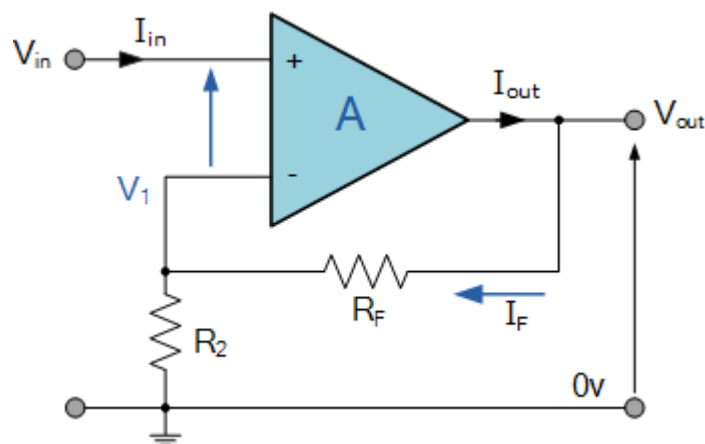
Operacionālais pastiprinātājs ir integrētā shēma, kas pastiprina vājus līdzstrāvas signālus ar lielu pastiprinājuma koeficientu. Šim pastiprinātājam ir divi ieejas kontakti (tiešais un inversais) un viens izejas kontakts. Operacionālo pastiprinātāju neizmanto atsevišķi, bet to savieno ar citām shēmām, kā, piemēram, iepriekš aprakstītajiem frekvenču filtriem. Šī pastiprinātāja pamatfunkcija ir pastiprināt un izvadīt sprieguma starpību starp diviem ieejas kontaktiem. Šos pastiprinātājus izmantoja dažādu matemātisko funkciju veikšanā (vairāku spriegumu saskaitīšanā, integrēšanai). Šī ZPD ietvaros tiks izmantots neinvertējošais pastiprinātājs, jo invertējošais pastiprinātājs veic izejas signāla fāzes nobīdi par 180 grādiem, salīdzinot ar ieejas signālu.[31.][32.]

Neinvertējošais pastiprinātājs ir operacionālā pastiprinātāja shēma ar izejas spriegumu, kas ir fāzē ar ieejas spriegumu. Operacionāla pastiprinātāja tiešo ieeju apzīmē ar plusa (+) zīmi un inverso ar mīnuss (-) zīmi. Šīs ieejas var apzīmēt kā pozitīvais un negatīvais termināls.[33]



*(6. attēls: Operacionāla pastiprinātāja plus (+) un mīnuss (-) termināļu apzīmējums[33])*

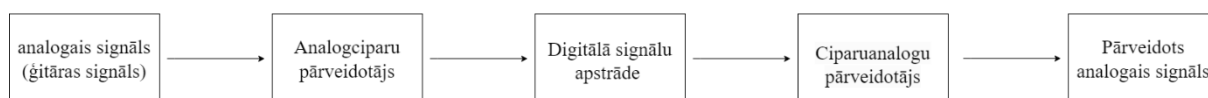
Neinvertējoša pastiprinātāja shēmas konfigurācijā (skatīt 7. attēlu) izejas sprieguma signāls tiek padots uz operatīvā pastiprinātāja invertora termināli (-) kā atgriezenisko saiti caur rezistoru, kur vēl viens rezistors novadīts uz zemi. Šajā gadījumā, sprieguma dalītājs ar divu veidu rezistoriem nodrošinās nelielu daļu izejas signāla uz operatīvā pastiprinātāja invertora pieslēgumu. Šie divi rezistori nodrošinās nepieciešamo atgriezenisko saiti ar operatīvo pastiprinātāju. Perfektā stāvoklī operacionālā pastiprinātāja ieejas kontakts nodrošinās maksimālo ieejas impedanci, bet izejas kontakts nodrošinās zemu izejas impedanci.[34.]



(7. attēls: Neinvertējoša pastiprinātāja shēmas konfigurācijā [35.])

## 1.6 Digitālā signālu apstrāde

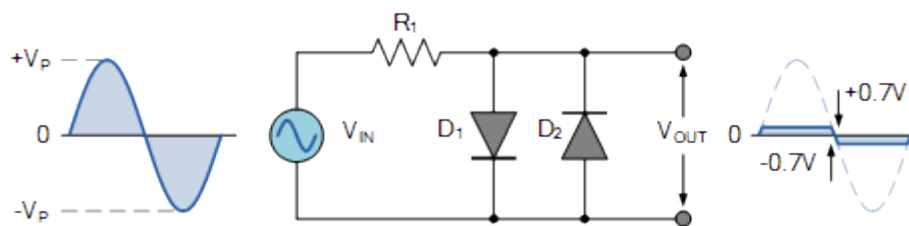
Digitālā signāla apstrāde nodrošina dažādu veidu analoģu signālu (audio, video, temperatūras spiediena) matemātisko apstrādi, pārveidojot analoģu signālu skaitliski izmantojamos datus. Šī signāla apstrāde notiek ļoti ātri un patērējot pēc iespējas mazāku enerģiju. Lai šī apstrāde tiktu veikta, analoģais signāls ir jāpārveido digitālā signālā, izmantojot analogciparu pārveidotāju, kurā analoģais signāls tiek pārvērsts ciparu formātā, kas sastāv no cipariem 1 un 0 (skatīt 1. attēlu). Šo iegūto digitālo signālu matemātiski apstrādā un, izmantojot ciparanaloģu pārveidotāju, pārvērš jaunā analoģa signālā. Šādi var veikt dažādu analoģu signālu kontroli, piemēram, audio signāla skaļuma kontroli, ekvalizāciju un video kompresiju. Digitālā signāla apstrāde ļauj signālu efektīvi pārraidīt no vienas lokācijas uz citu. Analoģu signālu ir iespēja apstrādāt arī analoģi, bet digitāla signāla apstrāde sniedz liela ātruma un precizitātes priekšrocības. Tā kā šī tehnoloģija ir programmējama, to var plaši izmantot dažādās nozarēs (kosmosa, medicīnas, tirdzniecības, sakaru, militārajā, industriālajā, zinātnes).[36.][37.][38.]



(8. attēls: Digitālās signālu apstrādes algoritms)

Šī projekta ietvaros tiks izmantots “Arduino Mega 2560” mikrokontrolieris. Izmantojot šī mikrokontroliera analoģu ieeju, kura doto signālu iegūst 10 bitu rezolūcijā, pārveidots analoģais signāls digitālā signālā, lai to varētu, izmantojot digitālās signālu apstrādes algoritmu, pārveidot kādā no ģitāras efektu veidiem. ZPD autora izvēlētais ģitāras efekta veids būs audio distorsija (“*distortion*”). Efekta pamatdarbības princips balstās uz analoģu signāla pusckla apgriešanas shēmu (skatīt 7. attēlu), šo shēmu aizstās “Arduino Mega 2560” mikrokontroliera ievadītais digitālās signālu apstrādes algoritms. Pēc šī digitālā signāla apstrādes distorsijas algoritma, signāls tiks pārveidots atpakaļ analoģā signālā. Šī analoģa izšķirtspēja būs 16 biti, jo pārveidotais signāls tiks izvadīts, izmantojot divas 8 bitu impulsu platuma modulācijas izejas. Tieši šī iemesla dēļ, ZPD autors izvēlējās izmantot “Arduino Mega 2560” mikrokontrolieri, jo

šī mikrokontroliera signāla izšķirtspēja un skaitļošanas jauda nodrošina visas vajadzības šī projekta izstrādei. Lai nodrošinātu ievadītā un izvadītā signāla skaļuma pastiprināšanu, tiks izmantots operacionālais pastiprinātājs un rezistoru, kondensatoru frekvences filtri, lai nodrošinātu nevēlamo frekvenču un trokšņu filtrēšanu.[39.][40.]

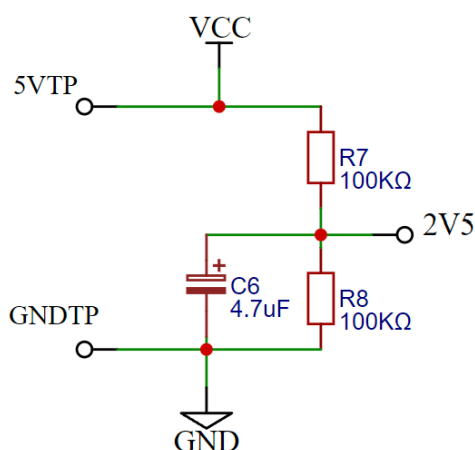


(9. attēls: Signāla puscikla apgriešanas shēma [41.])

## 2. Ģitāras pedāļa shēmas izveide

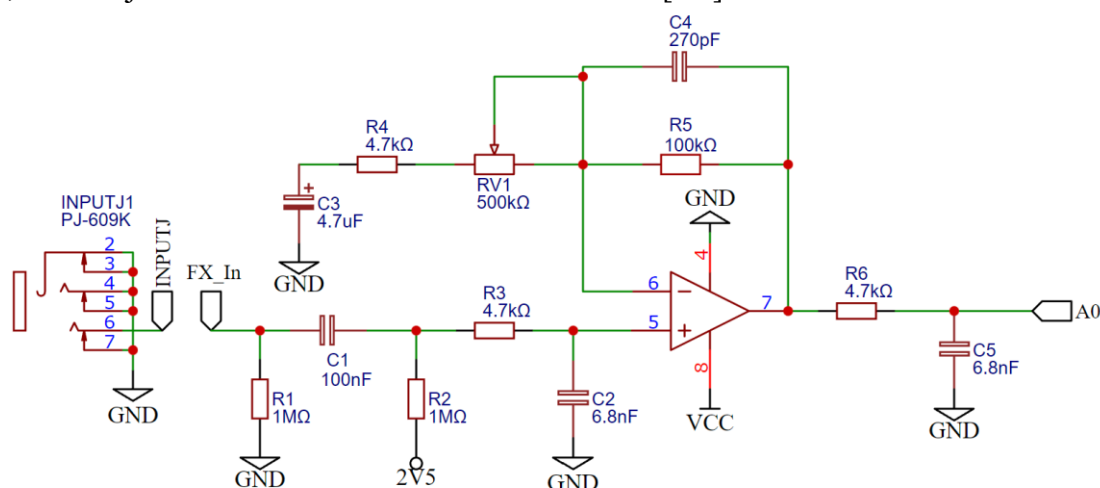
### 2.1 Ģitāras pedāļa grafiskās shēmas izveide

Lai izveidotu ģitāras pedāļa drukāto shēmu, tās vispirms tika uzzīmētas shēmas programmā “EasyEDA”. Šo shēmu izveide balstīta uz “pedalSHIELD MEGA Arduino Guitar Pedal” un “MXR MicroAmp” ģitāras pedāļiem. Šī projekta ietvaros izmantots - “JRC 4556D” operacionālais pastiprinātājs. Kopumā shēmu var iedalīt piecās apakšgrupās: pedāļa strāvas piegāde, signāla ieejas posms, signāla izejas posms, lietotāja saskarsme (“User Interface”) un savienojums ar “Arduino Mega 2560” mikrokontroliera ieejas portiem.[42.][43.]



(10. attēls: Pedāļa strāvas piegāde)

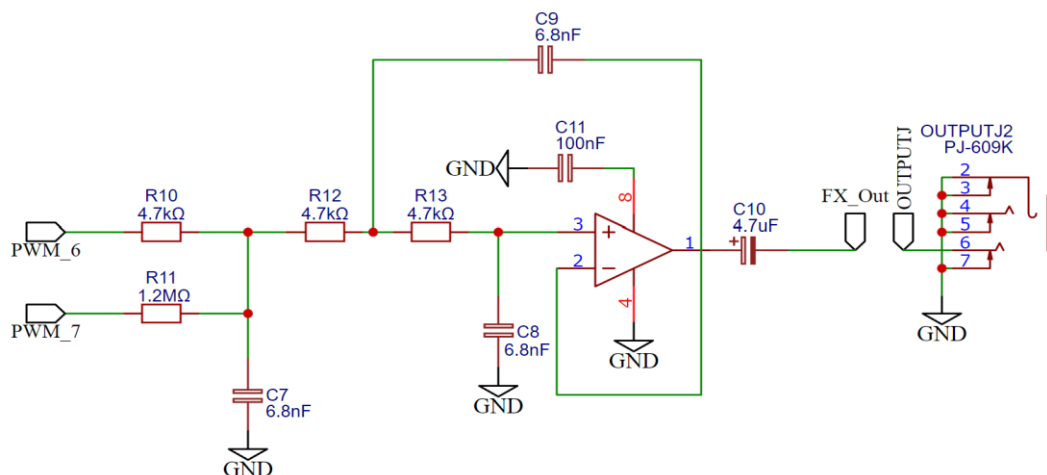
Šī shēma (skatīt 10. attēlu) izmantota kā pedāļa strāvas piegāde, jeb pedāļa barošanas avots. Strāva tiek ņemta no “Arduino Mega 2560” plates, kur 5V spriegums tiek sadalīts uz pusi, izmantojot vienādas vērtības R7 un R8 rezistorus.[44.]



(11. attēls: Ģitāras signāla ieejas posms)

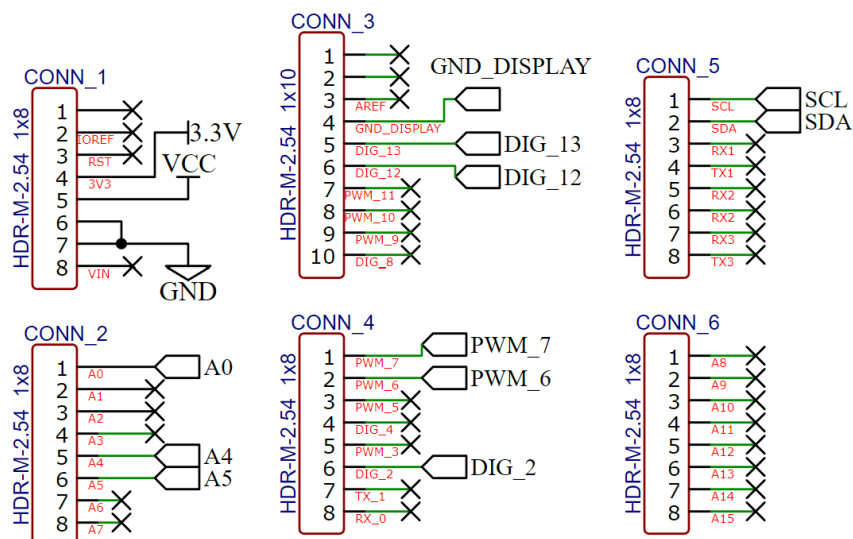
Šajā shēmā (skatīt 11. attēlu) pastiprināts ievadītais signāls, izmantojot operacionālā pastiprinātāja neinvertējošo ieeju, un filtrēts signāls, izmantojot zemfrekvenču un augstfrekvenču filtrus. Lai veiktu detalizētu shēmas analīzi, ir nepieciešama katras komponentes lietojuma skaidrojums: INPUTJ1, jeb “input jack” – ieejas ligzda, tiek izmantota,

lai tiktu veikta signāla ievade shēmā, R1 izmantots kā uz leju velkošais rezistors, kura pretestība ir  $1\text{ M}\Omega$ , lai novērstu trokšņu rašanos un to, ka signāla spriegums ir  $0\text{ V}$ , kad netiek pieslēgta neviena ierīce ieejas ligzdai. R2 un C1, R4 un C3 tiek izmantoti kā augstfrekvences filtri, R3 un C2, R5 un C4, R6 un C5 tiek izmantoti kā zemfrekvences filtri, kuri nogriež frekvences pēc  $5\text{ KHz}$ , RV1 tiek izmantots, kā trimmera potenciometrs, kurš regulē signāla pastiprinājumu, R2 nodrošina, ka vienmēr operacionālajam pastiprinātājam tiks pievadīta  $2,5\text{ V}$  liels spriegums, C4 novērš trokšņus un signāla oscilāciju.[44.][45.]



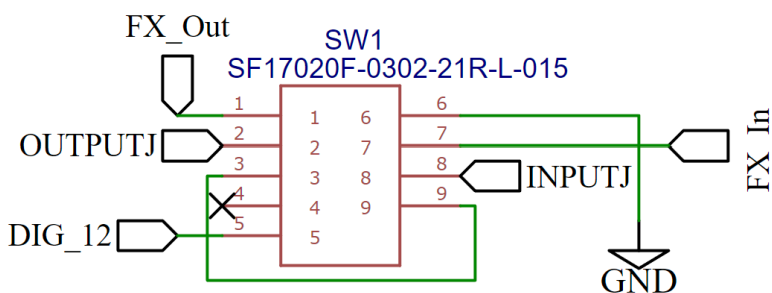
(12. attēls: Ģitāras signāla izejas posms)

Šī shēma (skatīt 12. attēlu) izvada “Arduino Mega 2560” apstrādāto signālu, kurš tiek izvadīts no kontroliera divos paralēlos 8 bitu impulsa modulācijas signālos, R10, R11 un C7 tiek izmantoti, lai šos signālus apvienotu 16 bitu signālā. R11 vērtība tiek izvēlēta 256 reizes lielāka par R10 vērtību, lai izveidotos viens analogs signāls no diviem digitāliem signāliem. OUTPUTJ2, jeb “output jack” – izejas ligzda, tiek izmantota, lai izvadītu ievadīto signālu. C10 novērš signāla līdzstrāvas nobīdi. Pārējās komponentes (R12, R13, C8, C11, C9) tiek izmantotas, kā zemfrekvences filtrs, balstoties uz “3rd order Sallen-Key” zemfrekvences shēmu.[44.][46.][47.]

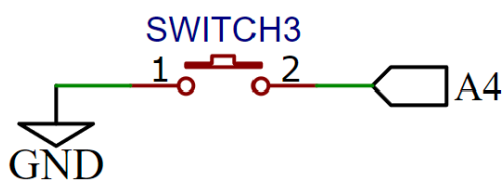


(13. attēls: savienojums ar “Arduino Mega 2560” mikrokontroliera ieejas portiem)

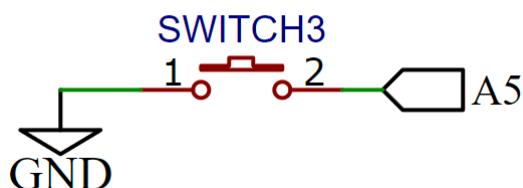
Šajā shēmā (skatīt 13. attēlu), izmantojot “Net Port” simbolu, tiek parādīts, kā tiek savienotas shēmas un mikrokontroliera ieejas porti, nezīmējot vadus programmā “Easy EDA”.



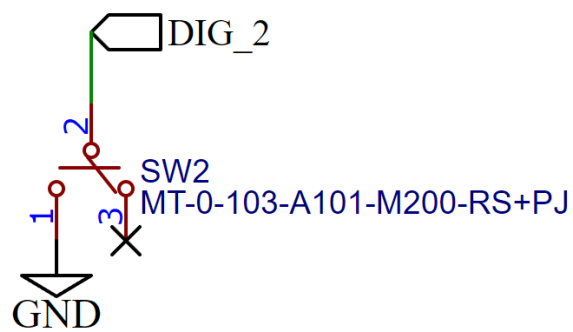
(14. attēls: Pedāļa izslēgšanas/ieslēgšanas kājas slēdža shēma)



(15. attēls: Parametru mainīšanas spiežamā slēdža shēma)

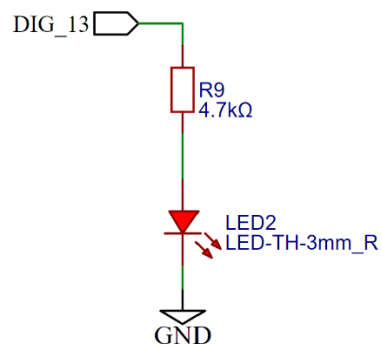


(16. attēls: Parametru mainīšana spiežamā slēdža shēma)

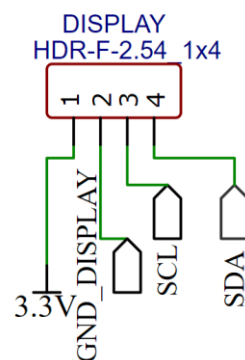


(17. attēls: Parametru mainīšanas slēdža shēma )

15., 16. un 17. attēlā attēlotas shēmas programmējamiem slēdžiem, kuri tiks izmantoti, lai nodrošinātu lietotāja saskarsmi. Izmantojot šos slēdžus, varēs mainīt izvēlētajā efekta parametrus.



(18. attēls: Programmējama LED shēma)

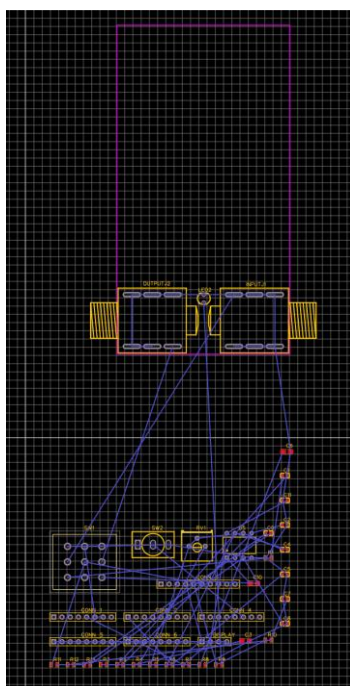


(19. attēls: 1,3 collu I2C OLED shēma)

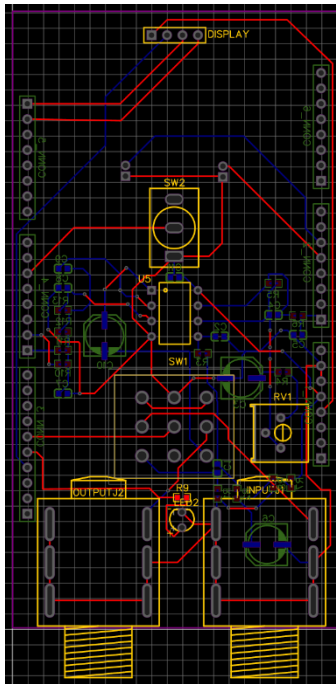


## 2.2 Drukātās shēmas izveide

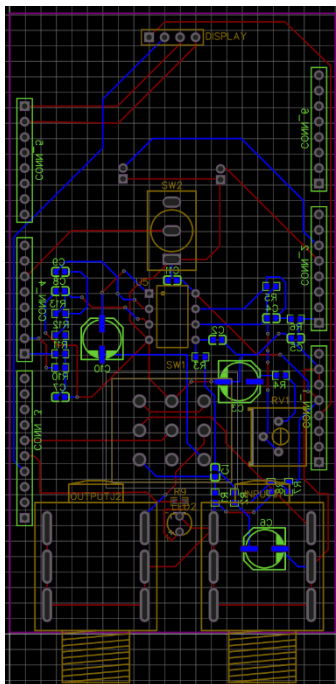
Pēc grafiskās shēmas izveides tika izveidota drukātās plates shēma programmā “EasyEDA”, kuras izmēri ir 101.52×53.3 mm, virsmas montāžas rezistoru un kondensatoru izmērs ir “0603”. Ieejas ligzdas tika novietotas vertikāli, lai ietaupītu vietu uz drukātās plates. Drukātās plates augšējā pusē tiek novietotas komponentes: kājsslēdzis, parametru mainīšanas spiežamais slēdzis, OLED displejs, LED diode, potenciometrs, operacionālais pastiprinātājs. Drukātās plates apakšējā pusē tiek novietotas komponentes: rezistori, kondensatori, kontakti ar mikrokontroliera portiem. Lai iegūtu ieejas portu attālumus vienam no otra tika izmantots “Arduino Mega 2560” rasējums.



(20. attēls: Neizvietoto komponentu izvietojums drukātajā shēmā)



(21. attēls: Izvietoto komponentu izvietojums drukātās shēmas augšējajā daļā)



(22. attēls: Izvietoto komponentu izvietojums drukātās shēmas apakšējā daļā)

## Secinājumi

1. Pētījuma mērķis un visi izvirzītie darba uzdevumi tika veiksmīgi sasniegti.
2. Apkopojot informāciju par ģitāras pedāļa efektiem un digitālo/analogo signālu apstrādi, darba autors ieguva pietiekamu informācijas daudzumu, lai veiktu praktisko darba daļu.
3. “Arduino mega 2560” mikrokontroliera izmantošanas priekšrocības ģitāras pedāļa izveidei ir spēja pielāgot šo pedāļa darbību dažādām lietotāju vajadzībām, jaudīga veikspēja, kura nodrošina ātrāku signāla analīzi, brīva pieeja atvērtā pirmkoda kopienām.
4. “Arduino mega 2560” mikrokontroliera izmantošanas trūkumi ģitāras pedāļa izveidei ir barošanas avota radītie trokšņi un signāla apstrāde kvalitātes atkarība no lietotāja programmēšanas prasmēm.
5. “Arduino mega 2560” mikrokontroliera izmantošanas uzlabojumi ģitāras pedāļa izveidei ir uzlabot atvērtā pirmkoda darbību, un alumīnija korpusa vietā izmantot 3D printera izveidotu korpusu, lai samazinātu pedāļa korpusa izveides laiku.
6. “Arduino mega 2560” mikrokontrolieris spēj nodrošināt pietiekamu signāla apstrādes veikspēju un kvalitāti ģitāras signāla modulēšanai, pamatojoties no skopometra mērījumiem.
7. Ar “Arduino mega 2560” mikrokontroli ir iespējams izveidot signāla mainīšanas efektus pēc katra lietotāja vajadzībām un izveidot savu ģitāras pedāļa dizainu.
8. Šī mikrokontroliera ierobežojumi ir limitētā skaitļošanas jauda un limitētais signāla joslas platums.

## Izmantotā literatūra

1. Fox, A. (2020) *What is a guitar effects pedal and how do pedals work?. My New Microphone*. Pieejams: <https://mynewmicrophone.com/what-is-a-guitar-effects-pedal-and-how-do-pedals-work/> (Skatīts: 11.09.2023.)
2. Schiebel, C.D. (2023) *The 23 types of guitar pedals explained. Guitar Lobby*. Pieejams: <https://www.guitarlobby.com/types-of-guitar-pedals/> (Skatīts: 11.09.2023.)
3. Fox, A. (2020) *Guitar pedals: Boost vs. Overdrive vs. distortion vs. Fuzz. My New Microphone*. Pieejams: <https://mynewmicrophone.com/guitar-pedals-boost-vs-overdrive-vs-distortion-vs-fuzz/> (Skatīts: 11.09.2023.)
4. Fox, A. (2020) *What are pitch-shifting guitar pedals & how do they work? My New Microphone*. Pieejams: <https://mynewmicrophone.com/what-are-pitch-shifting-guitar-pedals-how-do-they-work/> (Skatīts: 11.09.2023.)
5. Britannica (2023) *Modulation, Encyclopædia Britannica*. Pieejams: <https://www.britannica.com/technology/modulation-communications> (Skatīts: 11.09.2023.)
6. Fox, A. (2020) *What are phaser pedals (guitar/Bass FX) & how do they work? My New Microphone*. Pieejams: <https://mynewmicrophone.com/what-are-phaser-pedals-guitar-bass-fx-how-do-they-work/> (Skatīts: 12.09.2023.)
7. Fox, A. (2020) *What are flanger pedals (guitar/Bass FX) & how do they work? My New Microphone*. Pieejams: <https://mynewmicrophone.com/what-are-flanger-pedals-guitar-bass-fx-how-do-they-work/> (Skatīts: 12.09.2023.)
8. Fox, A. (2020) *What are chorus pedals (guitar/Bass FX) & how do they work? My New Microphone*. Pieejams: <https://mynewmicrophone.com/what-are-chorus-pedals-guitar-bass-fx-how-do-they-work/> (Skatīts: 13.09.2023.)
9. Fox, A. (2020) *What are tremolo guitar effects pedals & how do they work? My New Microphone*. Pieejams: <https://mynewmicrophone.com/what-are-tremolo-guitar-effects-pedals-how-do-they-work/> (Skatīts: 13.09.2023.)
10. Arthur (2020) *What are compressor pedals (guitar/bass) & how do they work? My New Microphone*. Pieejams: <https://mynewmicrophone.com/what-are-compressor-pedals-guitar-bass-how-do-they-work/> (Skatīts: 14.09.2023.)
11. Fox, A. (2020) *What Are Delay Pedals (Guitar Effects) & How Do They Work? My New Microphone*. Pieejams: <https://mynewmicrophone.com/what-are-delay-pedals-guitar-effects-how-do-they-work/> (Skatīts: 16.09.2023.)
12. Fox, A. (2020) *What Are Reverb Pedals (Guitar Effects) & How Do They Work? My New Microphone*. Pieejams: <https://mynewmicrophone.com/what-are-reverb-pedals-guitar-effects-how-do-they-work/> (Skatīts: 16.09.2023.)
13. *Reverberācija, Tēzaurs*. Pieejams: <https://tezaurs.lv/reverber%C4%81cija> (Skatīts: 16.09.2023.)
14. Fox, A. (2020) *What Are Looper Pedals (Guitar/Bass FX) & How Do They Work? My New Microphone*. Pieejams: <https://mynewmicrophone.com/what-are-looper-pedals-guitar-bass-fx-how-do-they-work/> (Skatīts: 17.09.2023.)
15. *Analog vs. Digital Signals: Uses, Advantages and Disadvantages. monolithicpower*. Pieejams: <https://www.monolithicpower.com/en/analog-vs-digital-signal> (Skatīts: 18.09.2023.)

16. Prasad, R. D. (2023). *What are Analog and Digital Signals? - Definition, Difference, Examples*. Tutoroot. Pieejams: <https://www.tutoroot.com/blog/what-are-analog-and-digital-signals-definition-difference-examples/> (Skatīts: 18.09.2023).
17. Hawk, R. (2023). *What Is a Digital Signal?. All The Science*. Pieejams: <https://www.allthescience.org/what-is-a-digital-signal.htm> (Skatīts: 20.09.2023).
18. *What is an Analog signal? Keysight Technologies*. Pieejams: <https://saving.em.keysight.com/en/knowledge/glossary/oscilloscopes/what-is-an-analog-signal-meaning-definition>. (Skatīts: 20.09.2023).
19. Chavis, J. C. (2023). *What is an Analog Signal?, Easy Tech Junkie*. Pieejams: <https://www.easytechjunkie.com/what-is-an-analog-signal.htm> (Skatīts: 20.09.2023).
20. *Digital Communication. Overview Quick Learn*. Pieejams: <https://quick-learn.in/digital-communication-overview/> (Skatīts: 20.09.2023).
21. *High pass filter - passive RC filter tutorial. Basic Electronics Tutorials*. Pieejams: [https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter\\_3.html](https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_3.html) (Skatīts: 25.09.2023).
22. Agarwal, T. (2019). *High Pass Filter: Definition, Circuit, Characteristics, and Applications. ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students*. Pieejams: <https://www.elprocus.com/what-is-a-high-pass-filter-circuit-diagram-characteristics-and-applications/> (Skatīts: 25.09.2023).
23. *High-pass Filters. Filters. Electronics Textbook. All About Circuits*. Pieejams: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-8/high-pass-filters/> (Skatīts: 25.09.2023).
24. Chaudhary, B. (2022). *High Pass Filter : Working and Its Applications. Semiconductor for You*. Pieejams: <https://www.semiconductorforu.com/high-pass-filter-working-and-its-applications/> (Skatīts: 25.09.2023).
25. *Types of Active High Pass Filter. ELECTRICAL TECHNOLOGY*. Pieejams: <https://www.electricaltechnology.org/2019/08/active-high-pass-filter.html> (Skatīts: 26.09.2023).
26. *High pass filter - passive RC filter tutorial. Basic Electronics Tutorials*. Pieejams: [https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter\\_3.html](https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_3.html) (Skatīts: 26.09.2023).
27. *Low-pass filters: Filters: Electronics textbook. All About Circuits*. Pieejams: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-8/low-pass-filters/> (Skatīts: 26.09.2023).
28. *Low Pass Filter : LPF using Op-Amp, Calculator & Applications. ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students*. Pieejams: <https://www.elprocus.com/what-is-low-pass-filter-lpf-using-op-amp-applications/> (Skatīts: 28.09.2023).
29. *RC passive low-pass filter. RC Passive Low-Pass Filter - Filters - Basics Electronics. ECStudio*. Pieejams: <https://ecstudiosystems.com/discover/textbooks/basic-electronics/filters/passive-low-pass-filter/> (Skatīts: 29.09.2023).
30. *Active low pass filter - op-amp low pass filter. Basic Electronics Tutorials*. Pieejams: [https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter\\_5.html](https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_5.html) (Skatīts: 29.09.2023).
31. Zītaris, U. (2007). *Elektronikas pamati*. Pieejams: <http://omega.rtu.lv/etp/files/Elektronika%20book9.pdf> (skatīts: 29.09.2023)
32. *What is an Operational Amplifier? ABLIC*. Pieejams: <https://www.ablic.com/en/semicon/products/analog/opamp/intro/> (Skatīts: 2.10.2023).

33. *Definition of Non-Inverting Op Amp. Analog Devices.* Pieejams:  
<https://www.analog.com/en/design-center/glossary/non-inverting-op-amp.html>  
 (Skatīts: 2.10.2023).
34. *Non-Inverting Op-Amp : Circuit, Working, Exsamples & Its Applications. ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students.* Pieejams:  
<https://www.elprocus.com/non-inverting-op-amp/> (Skatīts: 4.10.2023).
35. *Non-inverting Operational Amplifier. Basic Electronics Tutorials.* Pieejams:  
[https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp\\_3.html](https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_3.html) (Skatīts: 4.10.2023).
36. Triggs, R. (2021). *Digital signal processing (DSP) explained - SoundGuys.* SoundGuys. Pieejams: <https://www.soundguys.com/what-is-dsp-28013/> (Skatīts: 7.10.2023).
37. *A Beginner's Guide to Digital Signal Processing (DSP). Analog Devices.* Pieejams:  
<https://www.analog.com/en/design-center/landing-pages/001/beginners-guide-to-dsp.html> (Skatīts: 7.10.2023).
38. *Digital-to-Analog Conversion., dspguide.* Pieejams:  
<https://www.dspguide.com/ch3/3.html> (Skatīts: 7.10.2023).
39. Ray. (2016). *Configure Arduino UNO PWM outputs to play audio. Electrosmash.* Pieejams: <https://www.electrosmash.com/forum/pedalshield-uno/111-configure-arduino-uno-pwm-outputs-to-play-audio?lang=en> (Skatīts: 15.10.2023).
40. *analogRead() – Arduino Reference. Arduino.* Pieejams:  
<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogread/> (Skatīts: 18.10.2023).
41. *Diode Clipping Circuits. electronics-tutorials.* Pieejams: <https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode-clipping-circuits.html> (Skatīts: 17.10.2023).
42. *pedalSHIELD MEGA Arduino Guitar Pedal. Electrosmash.* Pieejams:  
<https://www.electrosmash.com/pedalshield-mega> (Skatīts: 19.10.2023).
43. *MXR MicroAmp Analysis. Electrosmash.* Pieejamas:  
<https://www.electrosmash.com/mxr-microamp> (Skatīts: 21.10.2023).
44. *pedalSHIELD MEGA Circuit Analysis. Electrosmash.* Pieejams:  
<https://www.electrosmash.com/forum/pedalshield-mega/318-pedalshield-mega-circuit-analysis> (Skatīts: 21.10.2023).
45. Braza, J. (2021). *Pull-up and Pull-down Resistors. Circuit Basics.* Pieejams:  
<https://www.circuitbasics.com/pull-up-and-pull-down-resistors/> (Skatīts: 25.10.2023).
46. *Texas Instruments.(2002) Analysis of the Sallen-Key Architecture.* Pieejams:  
<https://www.ti.com/lit/an/sloa024b/sloa024b.pdf> (Skatīts: 23.10.2023).
47. Ray. (2016). *Configure Arduino UNO PWM outputs to play audio. Electrosmash.* Pieejams: <https://www.electrosmash.com/forum/pedalshield-uno/111-configure-arduino-uno-pwm-outputs-to-play-audio?lang=en> (Skatīts: 26.10.2023).

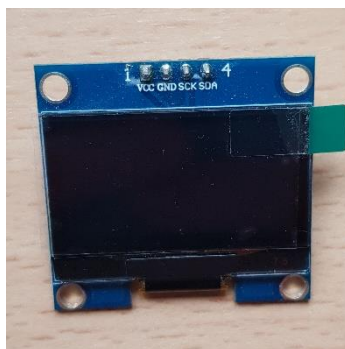


## Pielikumi

### 1. Pielikums. Ģitāras pedāļa maketa komponentes un izveides process.



(23. attēls: "Arduino Mega 2560 Rev3" mikrokontrolieris)



(24. attēls: OLED displejs)



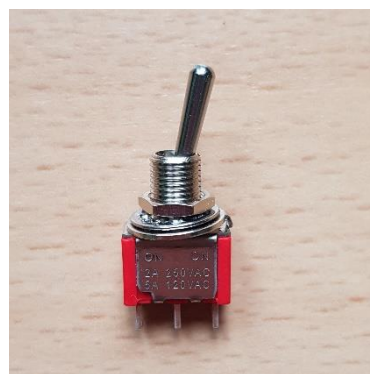
(25. attēls: 3pdt kājas slēdzis)



(26. attēls: spiežamā parametru mainīšanas slēdzis)



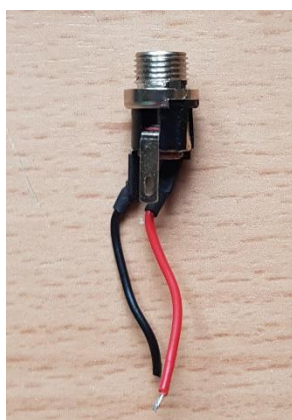
(27. attēls: 500 k $\Omega$  potenciometrs)



(28. attēls: parametru mainīšanas slēdzis)



(29. attēls: 6.25 mm mono audio ligzdas)



(30. attēls: 12 V barošanas ligzda)



(31. attēls: 6.25 mm mono spraudnis)



(32. attēls: 6.25 mm mono spraudnis)



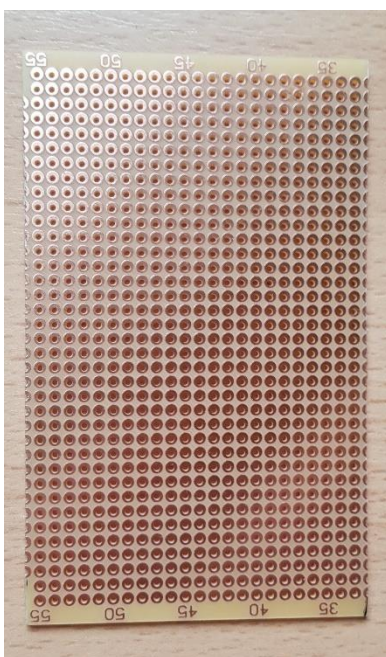
(33. attēls: 2.54 mm kontaktu josta)



(34. attēls: alumīnija pedāļa korpuss)



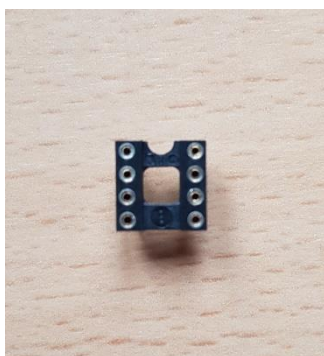
(35. attēls: operacionālais pastiprinātājs "JRC 4556D")



(36. attēls: maketēšanas plate)



(37. attēls: 4,7kΩ rezistori)



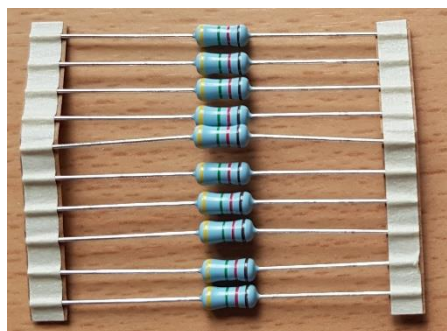
(38. attēls: "DIP8" mikroshēma sligzda)



(39. attēls: 100 kΩ rezistori)

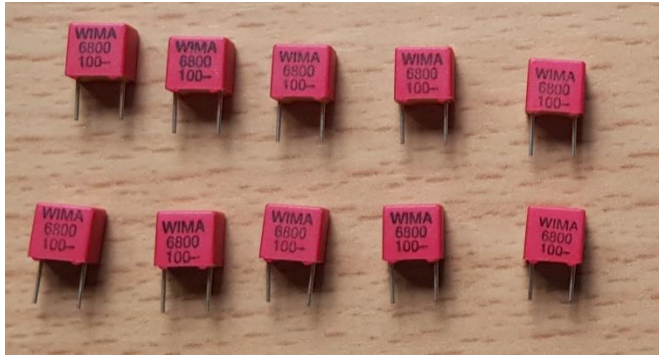


(40. attēls: 1 MΩ rezistori)

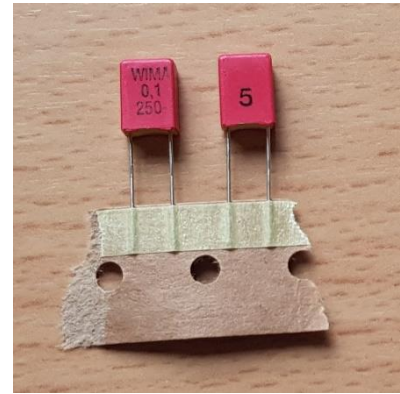


(41. attēls: 2 MΩ rezistori)

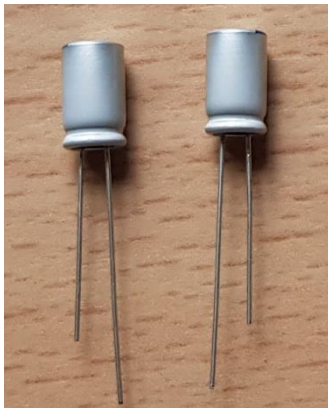




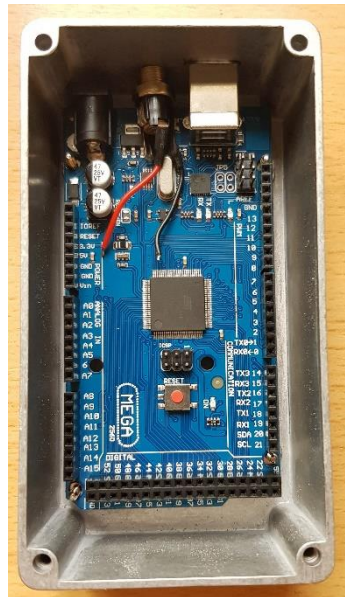
(42. attēls: 6,8 nF kondensatori)



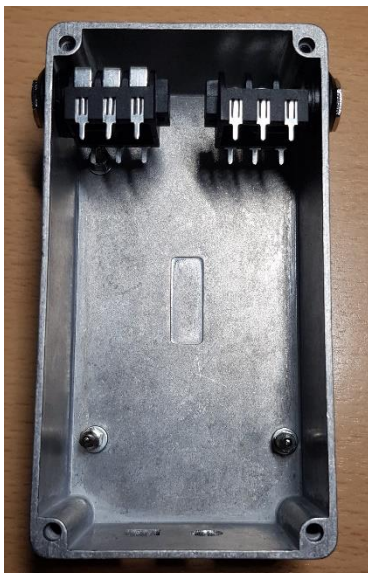
(43. attēls: 100 nF kondensatori)



(44. attēls: 4,7  $\mu$ F kondensatori)



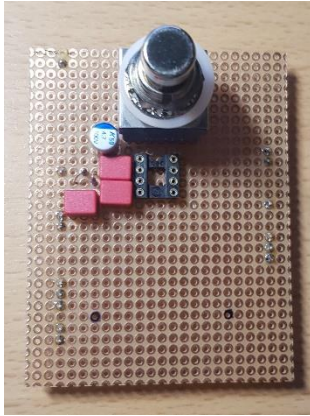
(45. attēls: "Arduino Mega (46. attēls: maketēšanas plates 2560 Rev3" mikrokontroliera novietojums korpusā)  
novietojums korpusā)



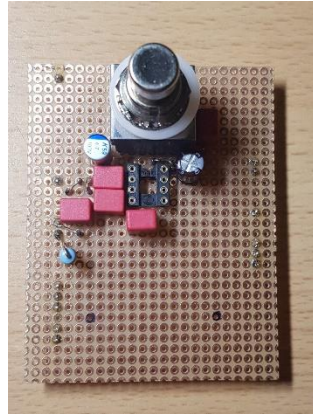
(47. attēls: 6.25 mm mono audio ligzdu novietojums korpusā)



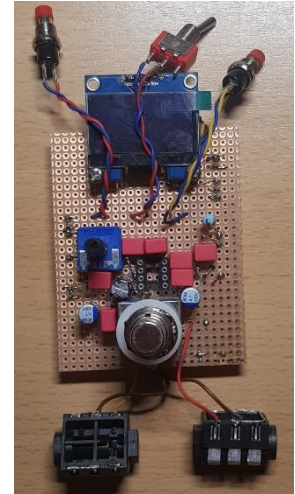
(48. attēls: 12 V ligzdas un USB-B ligzdas urbumi)



(49. attēls: maketēšanas plates izstrādes sākuma stadija)



(50. attēls: maketēšanas plates izstrādes sākuma stadija)



(51. attēls: maketēšanas plates izstrādes beigu stadija)



(52. attēls: ģitāras pedāļa polikarbonāta vāciņa izstrādes sākuma stadija)



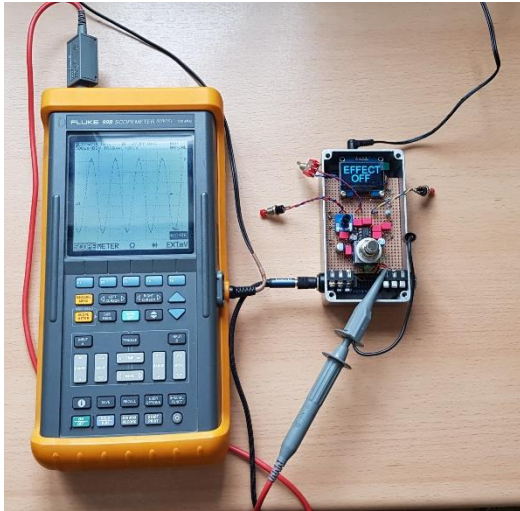
(53. attēls: ģitāras pedāļa izstrādes beigu stadija)

## 2. Pielikums.

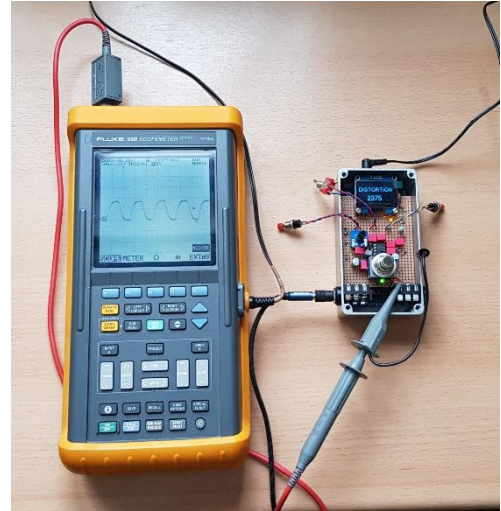
Distorsijas efekta atvērtā pirmkoda, drukātās un grafiskās plates shēmas failu, pedāļa izveides attēlu, skopometra rādījumu attēlu GitHub repozitorijs. Pieejams: [https://github.com/Kvisby/ZPD\\_Kristaps\\_Bukss](https://github.com/Kvisby/ZPD_Kristaps_Bukss).



### 3. Pielikums. Signāla apstrādes noteikšana, izmantojot skopometru.



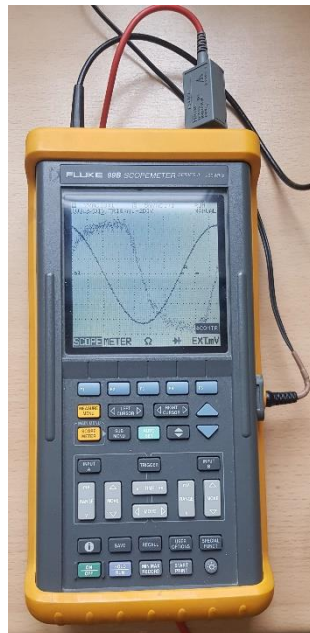
(54. attēls. Skopometra rādījumi kopā ar izslēgtu ģitāras pedāli. Ievadīts tiek 1 kHz sinusoīda signāls.)



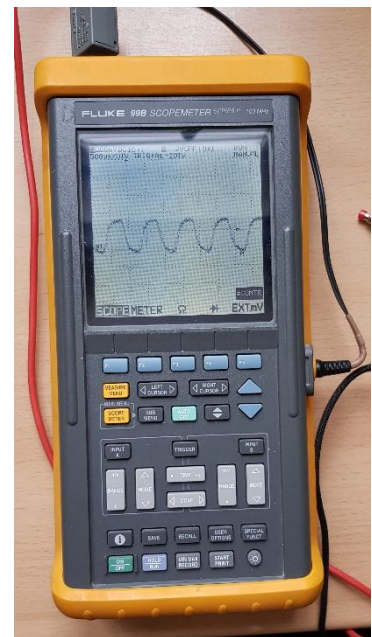
(55. attēls. Skopometra rādījumi kopā ar ieslēgtu ģitāras pedāli. Ievadīts tiek 1 kHz sinusoīda signāls.)



(56. attēls. Skopometra rādījumi, ieslēdzot ģitāras pedāli. Ievadīts tiek 1 kHz sinusoīda signāls.)



(58. attēls. Skopometra rādījumi, apvienojot signālu pirms un pēc distorsijas efekta ieslēgšanas. Ievadīts tiek 1 kHz sinusoīda signāls.)



(57. attēls. Skopometra rādījumi, ieslēdzot ģitāras pedāli. Ievadīts tiek 1 kHz sinusoīda signāls.)