



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# KITARAEFEKTILAITTEEN TOTEUTUS JA ANALYSOINTI

Kalle Hakala

Opinnäytetyö  
Maaliskuu 2017  
Tietotekniikka  
Sulautetut järjestelmät ja elektroniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikka  
Sulautetut järjestelmät ja elektroniikka

HAKALA, KALLE  
Kitaraefektilaitteen toteutus ja analysointi

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 1 sivua  
Huhtikuu 2017

---

Opinnäytetyössä rakennettiin kytkentäkaavion pohjalta kitaraefekti, jonka toimintaa mitattiin laboratoriossa. Samaa kytkentää simuloitiin tietokoneohjelmilla, ja lopuksi mitattuja ja simuloituja tuloksia vertailtiin. Työn lähtökohtana käytettiin Electro-Harmonix Big Muff Pi -kitaraefektiä. Efektilaite rakennettiin omaan käyttöön ja idea opinnäytetyön aiheelle nousi omasta harrastuneisuudesta kitaransoittoon ja elektroniikkalaitteiden rakentamiseen. Lisäksi tavoitteena oli opetella suunnittelemaan monimutkaisempia yksikerroksisia piirilevyjä, joilla tulevaisuudessa voisi toteuttaa muitakin vastaavia projekteja.

Opinnäytetyön pohjaksi valittu kytkentäkaavio valikoitui sen tunnettuuden, monipuolisuuden sekä valmiiden laitteiden harvinaisuuden vuoksi. Alkuperäisiä laitteita ei nykyään juurikaan ole saatavilla, ja laitteiden hinnat ovat nousseet eksponentiaalisesti viime vuosikymmeninä.

Käytetty kytkentä on vuonna 1969 julkaistu ensimmäinen versio Big Muff Pi:stä. Kytkentäkaavion pohjalta suunniteltiin piirilevy Cadsoft EAGLE-piirilevysuunnitteluohjelmalla. Piirilevy toteutettiin Tampereen ammattikorkeakoulun Tietotekniikan koulutusohjelman Colinbus-piirilevyjyrsimellä. Kytkentää simuloitiin Linear Technologiesin LTspice-piirianalysointiohjelmistolla ja mitattiin Tampereen ammattikorkeakoulun Tietotekniikan koulutusohjelman laboratoriossa.

Työlle asetettiin tavoitteeksi toimivan efekttilaitteen rakentaminen kytkentäkaavion pohjalta itse suunnitellulle ja toteutetulle piirilevyllä. Tämä tavoite onnistuttiin saavuttamaan suunnittelussa aikataulussa erinomaisesti. Lopullinen toimiva laite ylitti sille asetetut odotukset huomattavasti.

## ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences  
Information Technology  
Embedded systems and electronics

HAKALA, KALLE

Implementation and analysis of guitar effects pedal

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 1 page  
April 2017

---

The purpose of this thesis was to build a working guitar effects pedal from schematic. The effect that was built was then measured and simulated and the results were compared. The schematic used was Electro-Harmonix Big Muff Pi guitar distortion pedal. The idea of the thesis work came from my two hobbies: playing the guitar and building electronics. One of the goals of this thesis work was also to learn to design more complex single sided circuit boards which could be used in the future to create other similar projects.

The schematic used in the thesis work was chosen because of its recognizability, versatility and the rarity of the original units. The original first version units are nowadays extremely rare and the prices have risen exponentially in the last decades.

The circuit that was used in the thesis is from 1969 Electro-Harmonix Big Muff Pi. A single-sided circuit board layout was created with Cadsoft EAGLE from the schematic and a circuit board was created with CNC circuit board mill at Tampere University of Applied Sciences. The functionality of the circuit board was measured at the laboratory in Information Technology study program of Tampere University of Applied sciences. LTspice, a circuit analysis program by company called Linear Technologies, was used to simulate the circuit.

The goal chosen for this thesis work was to build a working guitar effect from schematics. The process included the design and creation of a circuit board for the effect. The goal was achieved in planned schedule and the final effects unit surpassed the original exceptions.

## Sisällys

1	JOHDANTO.....	6
2	EFEKTILAITTEEN RAKENNE.....	7
2.1	Ensimmäinen vahvistusaste .....	8
2.2	Toinen ja kolmas vahvistusaste .....	10
2.3	Äänenvärinsäädin.....	12
2.4	Neljäs transistoriaste .....	15
2.5	Ohituskytkentä .....	17
3	PIIRILEVY JA KYTKENNÄN TOTEUTUS .....	19
3.1	Muutokset alkuperäiseen kytkentään ja komponenttiarvoihin .....	20
3.2	Kytkenässä käytetyt komponentit .....	22
4	MITTAUKSET JA VERTAILU .....	23
4.1	Aaltomuodot .....	23
4.2	Taajuusvasteet.....	26
5	YHTEENVETO .....	30
	LÄHDELUETTELO.....	32
	LIITTEET Liite 1. Kytkenäkaavio.....	33

**LYHENTEET JA TERMIT**

BMP	Big Muff Pi, Electro-Harmonixin vuonna 1969 julkaisema kitaraefekti
dB	Desibeli, logaritminen dimensioton yksikkö joka vertailee tehosuhteita
EAGLE	Cadsoft Computer GmbH –nimisen yrityksen valmistama ohjelmisto, jolla voidaan suunnitella kytkentäkaavioita ja niiden pohjalta piirilevyjä
EHX	Electro-Harmonix yrityksestä käytettävä lyhenne
FFT	Fast Fourier Transformation, algoritmi jolla saadaan signaalin voimakkuus esitettyä taajuuden funktiona
Fuzz	Kutsumanimi erittäin säröytynyttä signaalia tuottavalle kitarasäröefektille
LED	Light-emitting diode, puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirta
LTspice	Puolijohdevalmistaja Linear Technologyn ilmainen piirianalysointiohjelmisto. Työssä käytettiin versiota 4.23d.
Sovtek	”Soviet Technology”, Mike Matthews’in 1980-luvun loppupuolella lanseeraama komponenttibrändi
Vishay	Vishay Intertechnology, yhdysvaltalainen puolijohdekomponenttien valmistaja

## 1 JOHDANTO

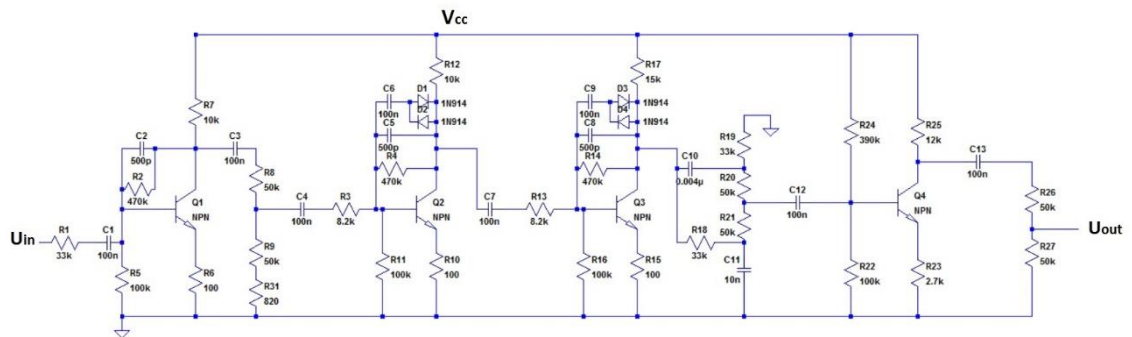
Tämän työn pohjana käytettiin Electro-Harmonix -nimisen yrityksen vuonna 1969 New Yorkissa suunnittelemaa Big Muff Pi -kitarapedaalia. Electro-Harmonixin perustaja ja toimitusjohtaja Mike Matthews tilasi Bell Labsissa suunnittelijana toimivalta Bob Myerilta suunnitelman kitaraefektistä, jossa olisi erittäin paljon säröä ja kompressiota. Vuosien saatossa kyseinen efektipedaali on saavuttanut kulttiaseman ja siitä on tehty lukuisia erilaisia versioita sekä Electro-Harmonixin että muiden valmistajien toimesta.

Vuonna 1981 Electro-Harmonix joutui ongelmiin ammattiliiton kanssa. Tuotanto ja työnteko seisahtuivat kahdeksi kuukaudeksi ja lopulta Electro-Harmonix haettiin konkurssiin alkuvuodesta 1982. Mike Matthews keräsi rahaa muutaman kuukauden ajan ja sai lopulta yrityksen takaisin toimintaan. Kilpailu halvempia japanilaisia laitteita vastaan aiheutti kuitenkin koko ajan kasvavaa painetta. Lopulta tarvittavien puolijohdekomponenttien saaminen Japanista Yhdysvaltoihin muuttui lähes mahdottomaksi ja Electro-Harmonix haettiin uudelleen konkurssiin 1984.

Vuonna 1979 Mike Matthews oli vierailut Neuvostoliitossa ja toisen konkurssin myötä hän päätti hyödyntää kyseisellä matkalla saamiaan bisneskontakteja. 1980-luvun puolivälissä Matthews perusti yrityksen nimeltä New Sensor Corp, joka osti puolijohdekomponentteja ja tyhjiöputkia Neuvostoliitosta ja myi niitä ympäri maailmaa. Vuonna 1989 hän lopetti puolijohdekomponenttien myymisen ja lanseerasi erittäin onnistuneesti tyhjiöputkibrändin Sovtek ("soviet technology"). Samaan aikaan aiemmin valmistettujen Big Muff Pi -pedaalien suosio oli noussut ja käytetyistä laitteista maksettiin huomattavia summia. Vuonna 1990 Matthews päätti ryhtyä valmistamaan pedaalia Neuvostoliitossa nimellä Sovtek Red Army Overdrive. Vuonna 1991 nimi muutettiin takaisin tutumpaan muotoon Sovtek Big Muff Pi. Pedaalia valmistettiin Venäjällä vuoteen 2009 saakka. Vuodesta 2000 lähtien pedaalia valmistettiin myös Yhdysvalloissa Electro-Harmonixin nimellä. (Rae, 2017.)

## 2 EFEKTILAITTEEN RAKENNE

Kuvan 1 mukaisesti Big Muff Pi koostuu neljästä transistoriasteesta, joista ensimmäinen toimii A-luokan vahvistimena, toinen ja kolmas ovat identtiset säröytymisasteet ja neljäs toimii A-luokan vahvistimena, jolla kompensoidaan passiivisen äänenvärisäätimen aiheuttamaa signaalihäviötä. Ulkoisesti pedaalissa on sisäänmenon ja ulostulon lisäksi ohi-tuskytkin ja kolme potentiometriä (volume, tone ja sustain). Sustain säättää ensimmäisen ja toisen vahvistusasteen välistä jännitteenjakoa, tone eli äänenvärinsäädin muuttaa passiivisen suotimen keskitaajuutta sekä korostuvia taajuuksalueita ja volume toimii lähdössä olevana jännitteenjakajana, jolla saadaan määrättyä ulostulon signaalitaso.

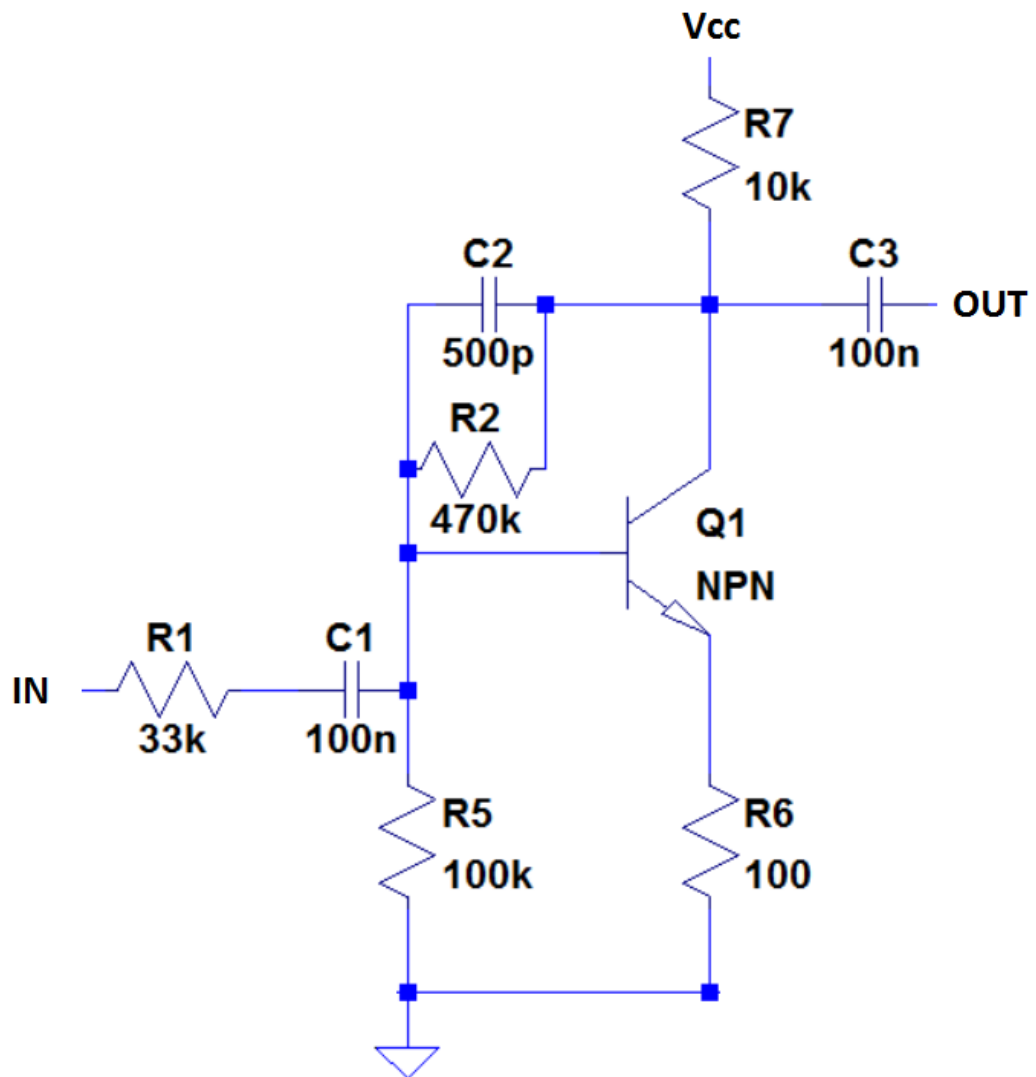


KUVA 1: Big Muff Pi v.1 kytkentäkaavio piirrettynä LTspice-simulaatio-ohjelmalla (Rae, 2017).  
KytKentäkaavio myös liitteenä 1.

Vuosien saatossa Big Muff Pi:sta on Electro-Harmonixin toimesta tuotettu ainakin seitsemän erilaista versiota, jotka kaikki noudattavat yllä olevaa kytkentää. Suurimmat erot ovat olleet transistoreissa, tiettyjen komponenttien arvoissa sekä potentiometreissä. Electro-Harmonixin lisäksi Sovtek on tuottanut ainakin neljää erilaisilla komponenttiarvoilla olevaa Big Muff -mallia. Käytetyt komponenttiarvot ovat riippuneet lähinnä helpoiten saatavilla olevista komponenteista.

Opinnäytetyössä kytkentää simuloitiin Linear Technologiesin LTspice -ohjelmiston versiolla 4.23d sekä Duncan Amplificationin Tone Stack Calculatorilla.

## 2.1 Ensimmäinen vahvistusaste



KUVA 2: Ensimmäinen transistoriaste

Ensimmäinen vahvistusaste koostuu biasoidusta A-luokan vahvistinkytkennästä, jonka tarkoituksena on asettaa efektiivinen sisääntuloimpedanssi ja vahvistaa kitarasta tulevan signaalin tasoa. Kyseessä on bipolaaritransistoriin perustuva vahvistusaste negatiivisella takaisinkytkennällä.

Sisääntulon impedanssin määrää vastuksen  $R1$  resistanssi ja transistoriasteen sisääntuloimpedanssin sarjakytkentä:



$$Z_{in} = R1 + Z_{amp} \quad (1)$$

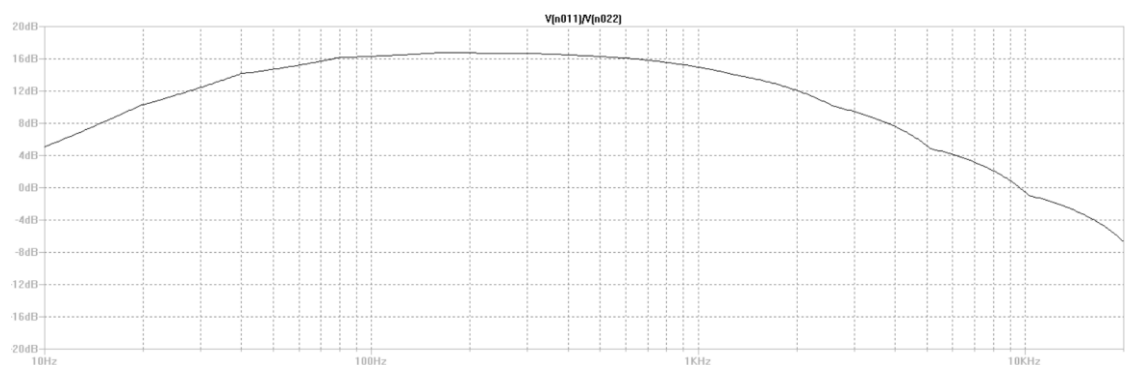
Transistoriasteen sisääntuloimpedanssi voidaan määrittää laskemalla maahan tai käyttöjännitteeseen kytkeytyvien vastusten rinnakkaisresistanssi. Johtuen ensimmäisen vahvistusasteen emitterivastuksen pienestä arvosta (100 Ω) ja negatiivisesta takaisinkytkennästä (C2) on transistoriasteen sisääntuloimpedanssi erittäin matala. Tämän vuoksi voidaan yleistää

$$Z_{in} = R1 = 33kOhm \quad (2)$$

Kondensaattori C1 toimii sisääntulon kytkentäkondensaattorina. Se asettaa alarajataajuuden kytkennän sisääntulolle sekä estää esimerkiksi sarjaan kytketyn viallisen laitteen aiheuttaman signaalin DC-komponentin pääsyn kytkentään. Kondensaattori C2 aiheuttaa Miller-kapasitanssin, jonka tarkoitus on estää vahvistinasteen oskillaatio. Lisäksi C2 asettaa vahvistusasteen ylärajataajuuden.

Simuloimalla ensimmäistä vahvistusastetta LTspice-ohjelmistolla saadaan kuvan 3 mukainen kuvaaja. Kuvaajasta voidaan lukea ensimmäisen vahvistusasteen -3 dB:n alarajataajuuden olevan 35 Hz ja ylärajataajuuden 1500 Hz. 22-nauhaisen sähkökitaran perustaajuudet sijoittuvat välille 85 Hz – 1,7 kHz. BMP:n alarajataajuus ei siis vaikuta kitarsignaaliin, mutta ylätaajuudet vaimenevat huomattavasti.

Yksi kytkennän oivalluksista onkin se, että alipäästösuotimen läpi ajjetun kitarasignaalin säröyttäminen kuulostaa ihmiskorvaan erittäin miellyttävältä. (ElectroSmash, 2017.)

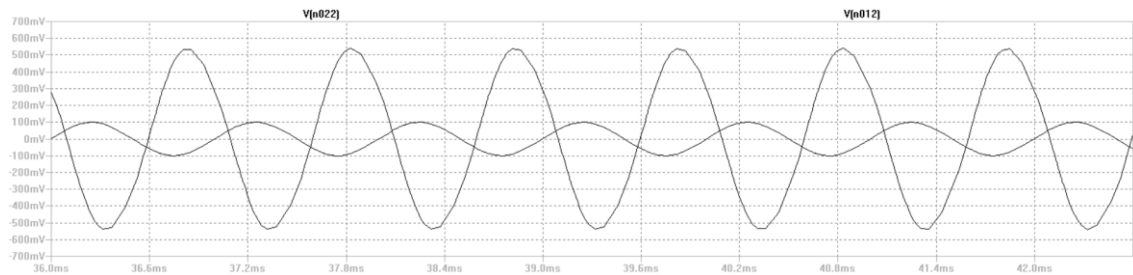


KUVA 3: Ensimmäisen vahvistusasteen taajuusvaste

Kuvaajasta voidaan todeta myös vahvistinasteen vahvistuskerroin. Vahvistus on korkeimmillaan noin 200 Hz kohdalla, jossa vahvistus on 17 dB, eli vahvistuskerroin on

$$A_p = 20 * \log_{10} 17 \text{ dB} = 7,07 \quad (3)$$

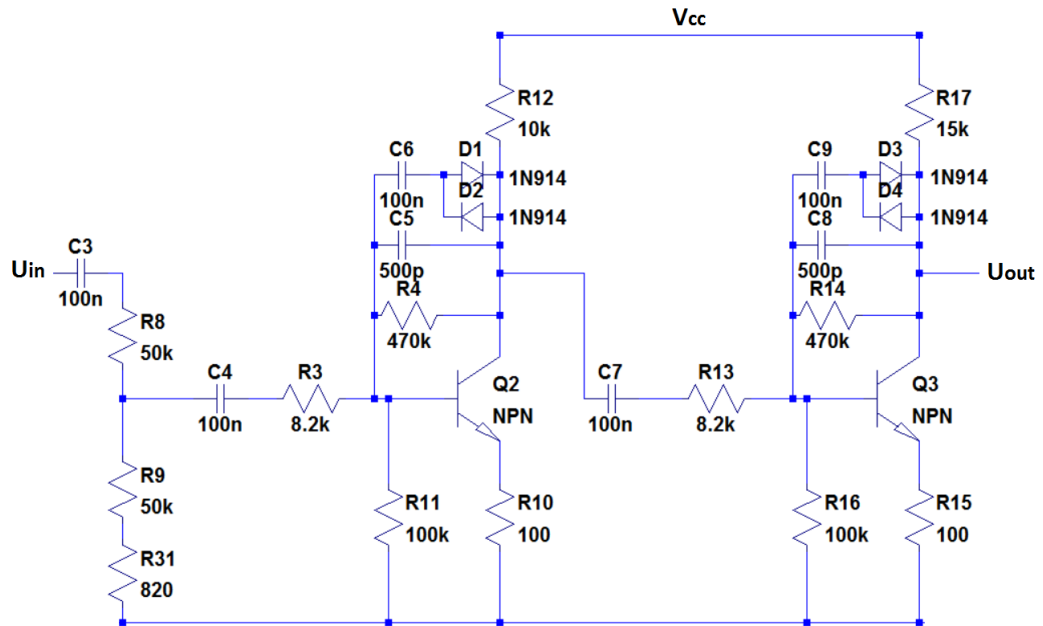
Ensimmäinen vahvistusaste vahvistaa siis parhaimmillaan sähkökitaran signaalin jännitteen noin 7-kertaiseksi. Lisäksi ensimmäinen vahvistusaste kääntää signaalin vaihetta 180 astetta (KUVA 4).



KUVA 4: Simulaatio ensimmäisen transistoriasteen lähdöstä. Kuvassa myös syötetty 100 mV ja 1 kHz signaali.

## 2.2 Toinen ja kolmas vahvistusaste

Toinen ja kolmas vahvistusaste muodostavat yhdessä säröytymisasteen (KUVA 5). Säröytymisaste muodostuu passiivisesta jännitteenjakajasta (sustain-potentiometri) ja kahdesta yhteisemitteriasteesta. Transistoriasteet noudattavat samaa topologiaa kuin ensimmäinen transistoriaste, mutta niihin on lisätty kaksi vastakkaista diodia negatiiviseen takaisinkytkentään.

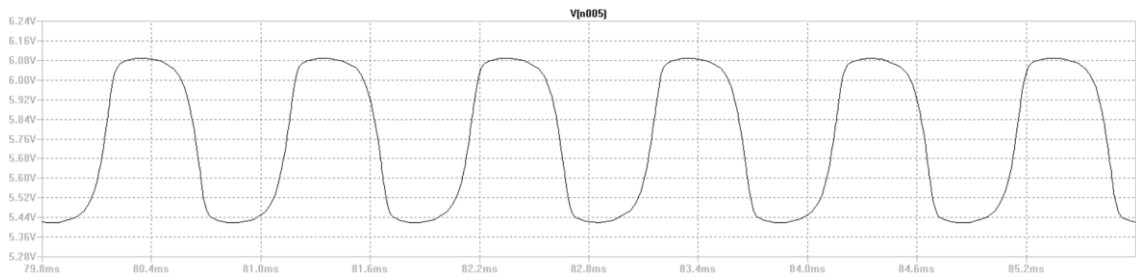


KUVA 5: Säröytymisaste. Vastukset R8 ja R9 muodostavat sustain –potentiometrin.

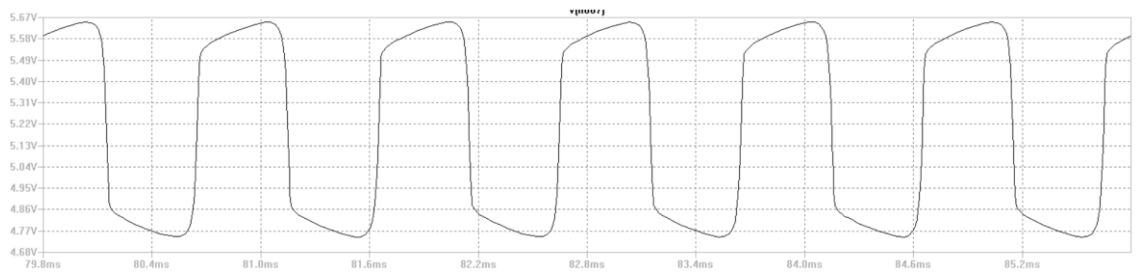
Sustain-potiometriin kanssa sarjaan on lisätty vastus  $R31$ , jotta potiometriin kääntäminen minimiasentoon ei kytke signaalia maahan.

Säröytymisen molemmissa transistoreissa aiheuttaa takaisinkytkentädioidit. Takaisinkytkennässä olevat diodit  $D1$ ,  $D2$ ,  $D3$  ja  $D4$  ovat tyypiltään 1N914, joiden kynnyksjännite on maksimissaan 1V (Vishay B 2017, 1). Koska diodit ovat asetettu vastakkain säröytyy signaali symmetrisesti molemmilta puolijaksoilta.

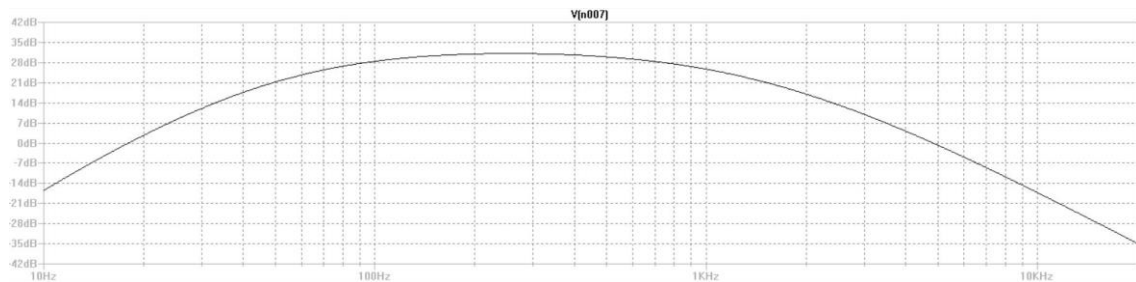
Kuvan 6 mukaisesti signaali on toisen transistoriasteen (Q2) kollektorilla jo säröytynyt huomattavasti. Tästä signaali leikkaantuu vielä kolmannella transistoriasteella (Q3) niin että signaali on lähes kantiaaltomaista (KUVA 7). Signaalin vaihe myös kääntyy 180 astetta molemmilla transistoriasteilla. Säröytymisaste ei juuri vaikuta laitteen taajuusvasteeseen (KUVA 8).



KUVA 6: Toisen transistoriasteen ulostulon simulaatio



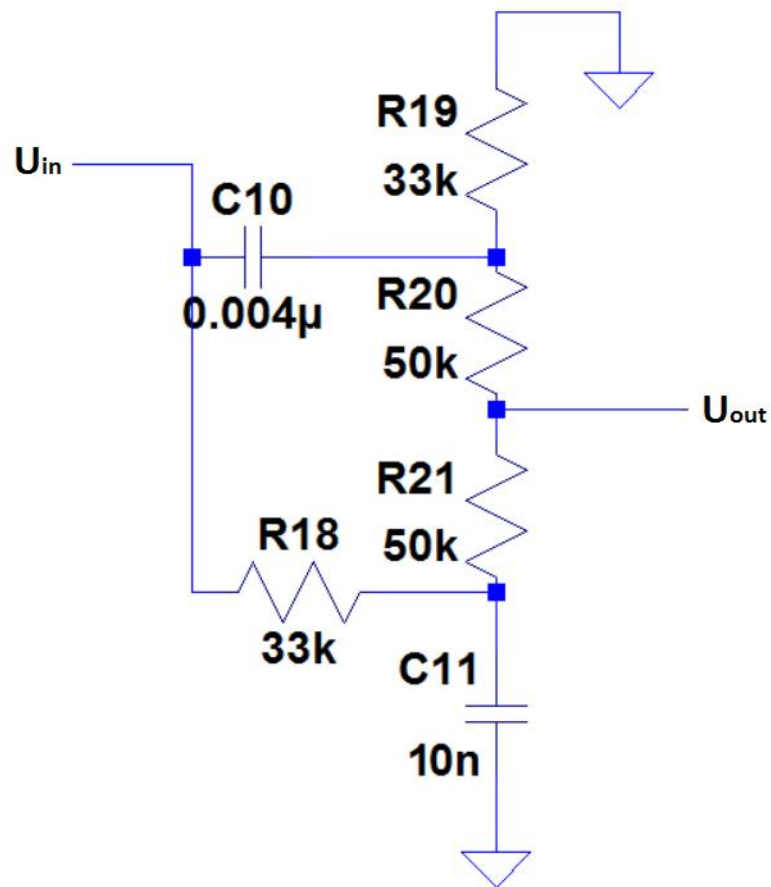
KUVA 7: Kolmannen transistoriasteen ulostulon simulaatio



KUVA 8: Laitteen taajuusvaste kolmannen transistoriasteen ulostulosta simuloituna

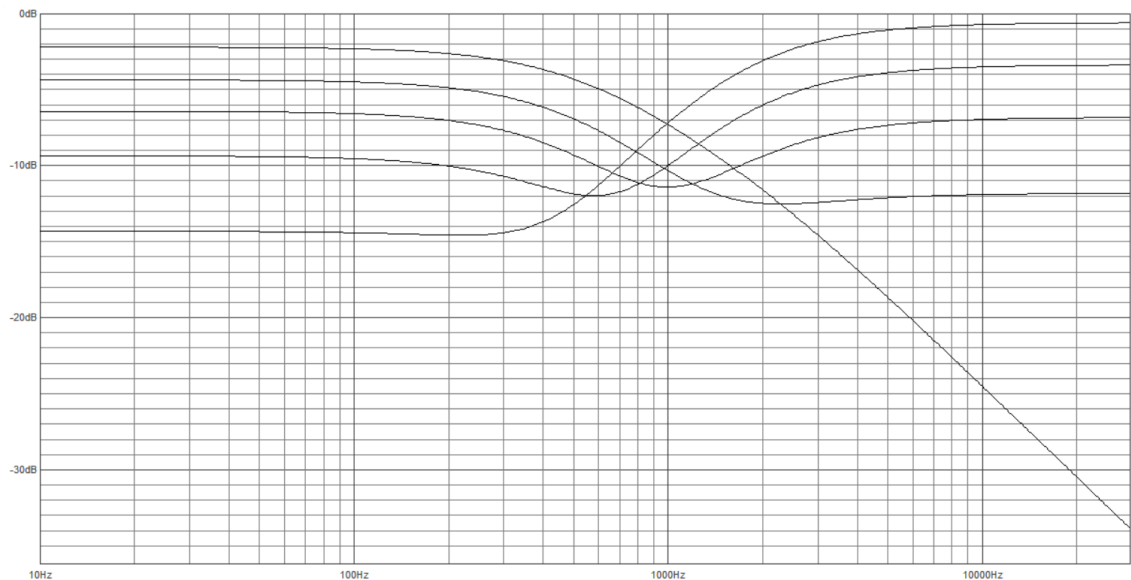
## 2.3 Äänenvärinsäädin

Säröytymisasteen jälkeen kytkennässä on passiivinen äänenvärinsäädin. Säädin koostuu potentiometristä ( $R20$  ja  $R21$ ), kahdesta kondensaattorista ( $C10$  ja  $C11$ ) sekä kahdesta vastuksesta ( $R19$  ja  $R18$ ). Koska kyseessä on passiivinen kytkentä se leikkaa signaalitasoa huomattavasti. Tämän takia kytkentään on lisätty neljäs transistoriaste, jonka tarkoituksena on kompensoida passiivisen äänenvärinsäätimen tuomaa häviötä sekä asettaa kytkennän lähtöimpedanssi.



KUVA 9: Äänenvärinsäätimen kytkentä. Vastukset R20 ja R21 muodostavat tone -potentiometrin.

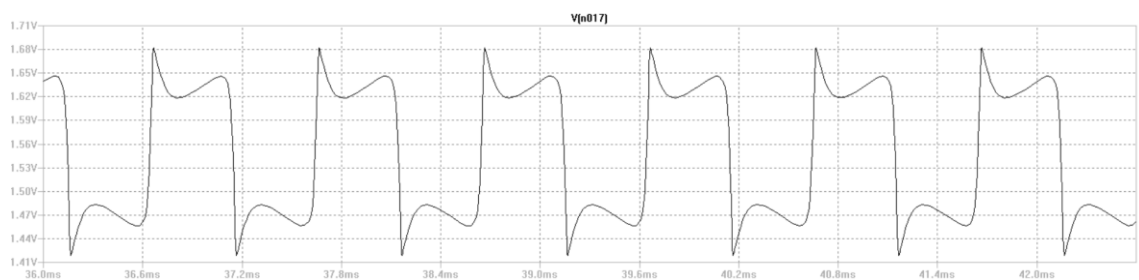
Äänenvärinsäätimen taajuusvastetta simuloitiin Duncan Amplificationin julkaisemalla Duncan's Tone Stack Calculator -ohjelmistolla. Ohjelmisto on ilmainen harrastelijoille sekä ei-tuottoa tavoitteleville toimijoille. LTspiceen verrattuna Duncan's Tone Stack Calculator mahdollistaa esimerkiksi yksinkertaisemman tavan muuttaa kytkennän potentiometriä arvoja simulointitilanteessa. Ohjelmistosta käytettiin versiota 1.3.



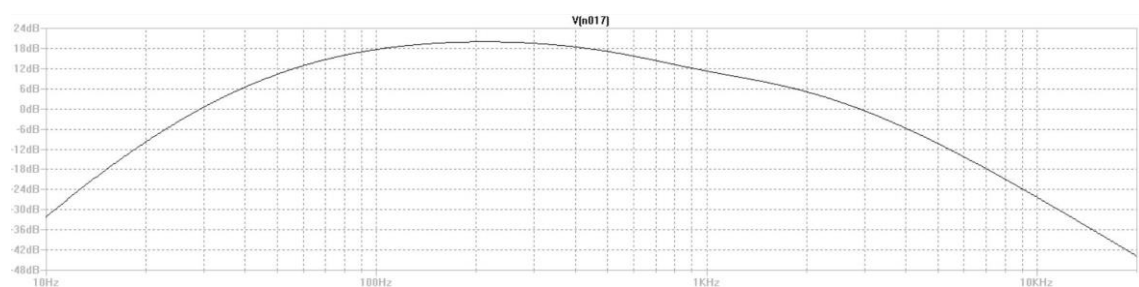
KUVA 10: Äänenvärinsäätimen taajuusvaste

Kuvassa 10 on simuloitu kuva äänenvärinsäätimen taajuusvasteesta. Minimiasennossa äänenvärinsäädin leikkaa korkeita taajuuksia, keskiasennossa koko taajuuskaistaa ja maksimiasennossa matalia taajuuksia. Lisäksi kaikissa asennoissa äänenvärinsäädin leikkaa huomattavasti 1 kHz taajuusalueita. Tämä 1 kHz kohdalla oleva ”kuoppa” taajuusvasteessa onkin olennainen osa BMP:n luonnetta.

Kolmannesta transistoriasteesta (Q3) ulostuleva signaali suodatetaan äänenvärinsäätimellä, joka muokkaa aaltomuotoa huomattavasti. Kuvan 11 mukaisesti aaltomuoto muuttuu vielä säröytyneemmäksi ja sen signaalitaso laskee huomattavasti.



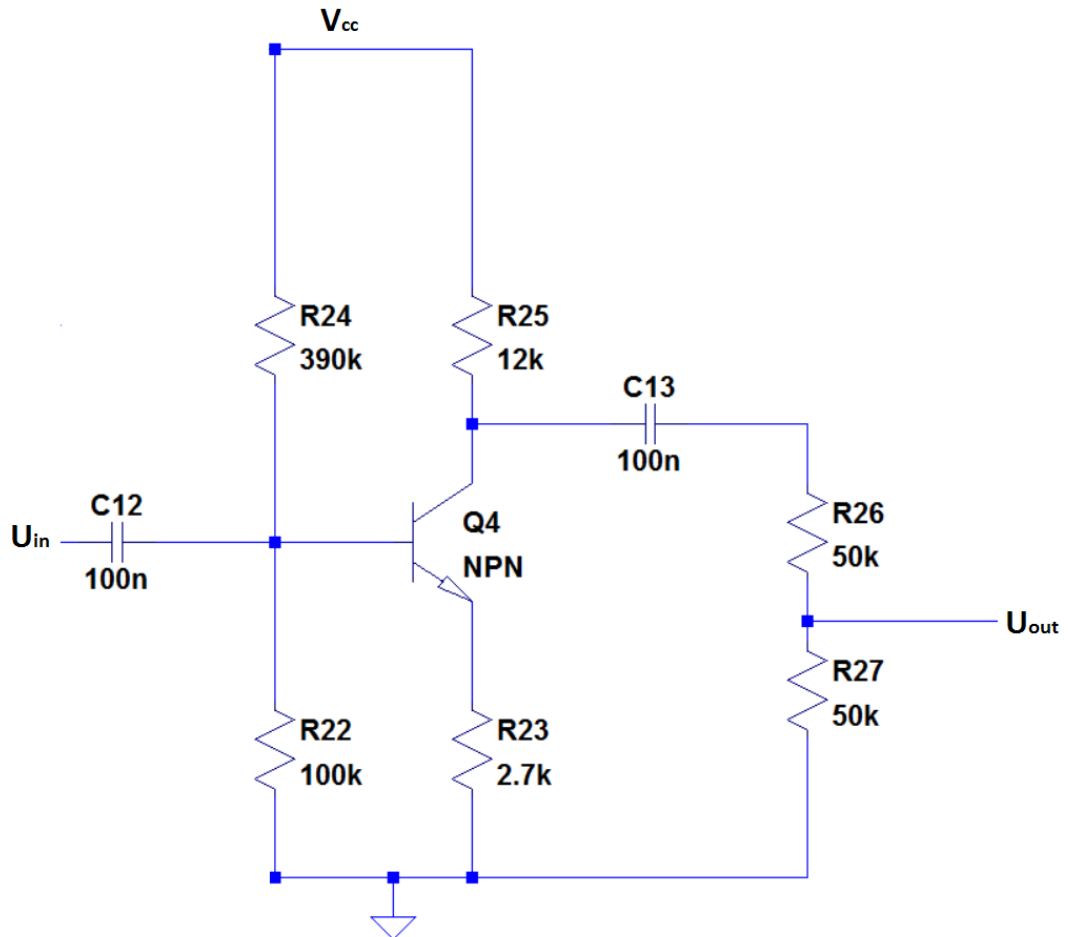
KUVA 11: Äänenvärinsäätimen ulostulo



KUVA 12: Äänenvärinsäätimen ulostulosta simuloitu signaalin taajuusvaste

## 2.4 Neljäs transistoriaste

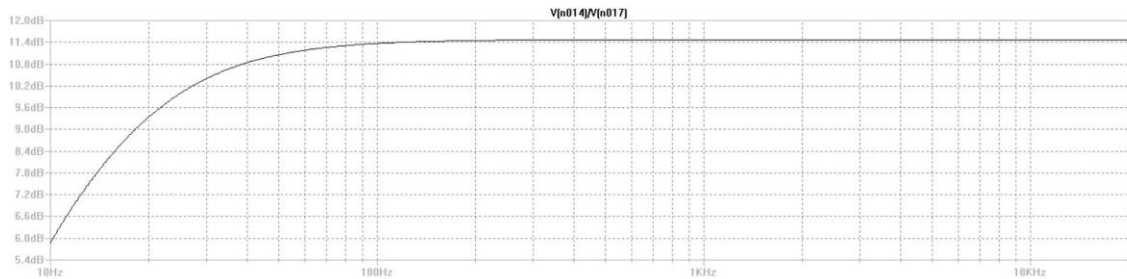
Neljännän transistoriasteen tarkoituksena on kompensoida passiivisen äänenvärinsäätimen aiheuttamaa häviötä signaalissa ja toisaalta asettaa kytkennän lähtöimpedanssi.



KUVA 13: Neljäs transistoriaste. Vastukset R26 ja R27 muodostavat volume -potentiometrin.

Neljäs transistoriaste koostuu biasoidusta A-luokan transistorivahvistimesta sekä sen kanssa sarjaan kytketystä volume-potentiometrillä. Transistoriasteen sisääntulossa ja

ulostulossa olevat kytkentäkondensaattorit ( $C12$  ja  $C13$ ) leikkaavat erittäin matalia taajuuksia signaalista, mutta muuten neljäs transistoriaste on kuvan 14 mukaisesti taajuusvasteeltaan tasainen.



Kuva 14: Neljännen transistoriasteen taajuusvaste

Neljäs transistoriaste vahvistaa signaalia 11,5 dB eli vahvistuskerroin on

$$A_p = 20 * \log_{10} 11,5 \text{ dB} = 3,7 \quad (4)$$

Lisäksi neljäs transistoriaste kääntää jälleen signaalin vaiheen 180 astetta, jolloin laitteen sisääntuloon ja ulostuloon syötetyt signaalit ovat samassa vaiheessa. Neljäs transistoriaste asettaa myös koko laitteen ulostuloimpedanssin. Neljännen transistoriasteen ulostuloimpedanssin asettaa kollektorivastus ( $R25$ ), mutta koko laitteen ulostuloimpedanssin vaikuttaa lisäksi volume-potentiometrin asento. Volume-potentiometrin ollessa maksimiasennossa on lähtöimpedanssi

$$Z_{out} = \frac{12 \text{ k}\Omega * 100 \text{ k}\Omega}{12 \text{ k}\Omega + 100 \text{ k}\Omega} = 10,7 \text{ k}\Omega \quad (5)$$

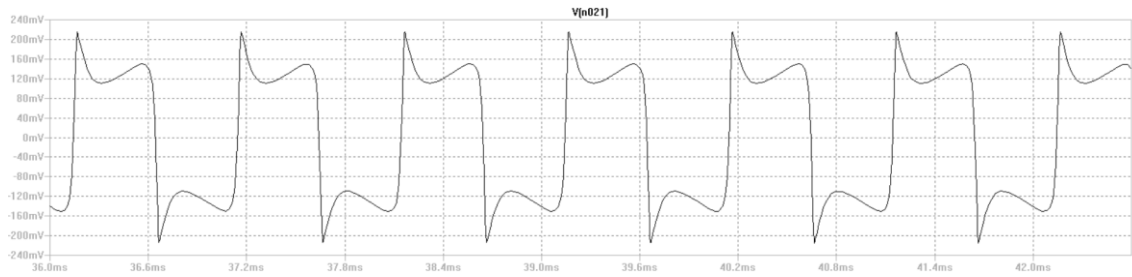
Volume-potentiometrin keskiasennossa ulostuloimpedanssi on

$$Z_{out} = \frac{(12 \text{ k}\Omega + 50 \text{ k}\Omega) * 50 \text{ k}\Omega}{(12 \text{ k}\Omega + 50 \text{ k}\Omega) + 50 \text{ k}\Omega} = 27,7 \text{ k}\Omega \quad (6)$$

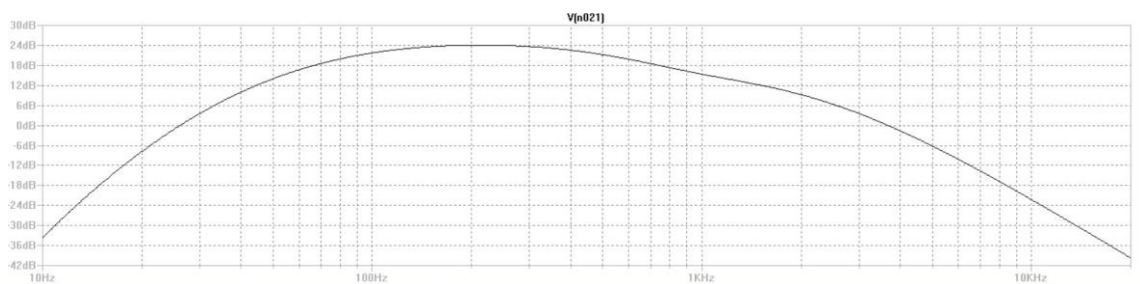
Volumepotentiometrissä signaali kytkeytyy ohituskytkennän kautta efektilaitteen lähtöön. Kuvan 15 mukaisesti efektiivistä ulostuleva signaali on aaltomuodoltaan erittäin säilyttynyt. Taajuusvasteessa sekä korkeat (yli 2 kHz) että matalat (alle 100 Hz) signaalit



ovat voimakkaasti leikkaantuneita (KUVA 16). Lisäksi 1 kHz taajuudella on äänenvärisäätimen aiheuttama vaimennus.



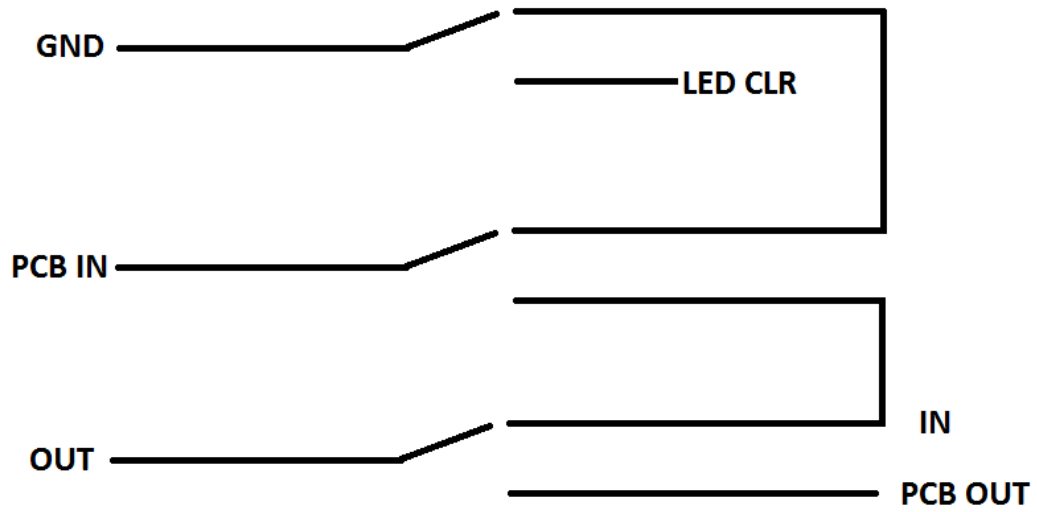
KUVA 15: Volume-potentiometriltä ulostuleva signaali



KUVA 16: Koko pedaalin taajuusvaste simuloituna volume-potentiometrin lähdöstä

## 2.5 Ohituskytkentä

Laitessa on 3PDT (triple-pole double-throw) -tyyppinen jalkakytkin, jota käytetään efektilaitteen ohittamiseen. Toisessa asennossa efektilaite on pois päältä, eli signaali ohittaa efektiin kokonaan ja toisessa asennossa efektilaite on kytkettynä signaalitielle ja laitteen tilasta kertova LED-valo palaa. Kuvan 17 mukaisesti kytkimen ollessa ohitustilassa on piirilevyn sisäänmeno lisäksi kytkettynä maahan.

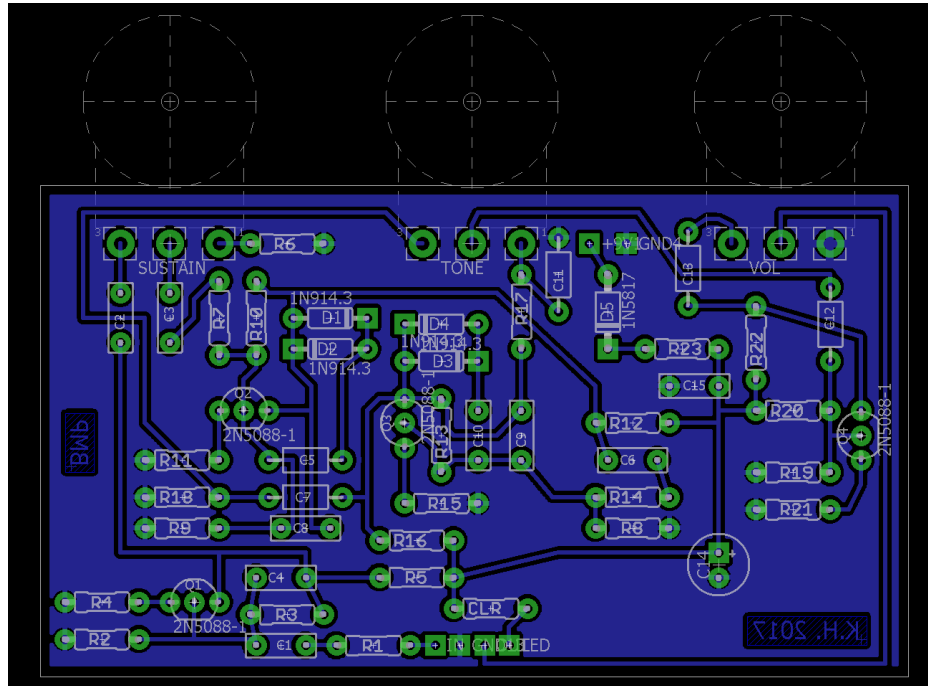


KUVA 17: Ohituskytkennän toimintaperiaate

Kuvassa 17 IN ja OUT kuvaavat efektilaitteen fyysisiä sisäänmeno- ja ulostuloliittimiä ja PCB IN ja PCB OUT efektilaitteen piirilevyn sisäänmenoa ja ulostuloa. LED CLR kytkeytyy LED-merkkivalon virranrajoitusvastukseen ja GND maahan.

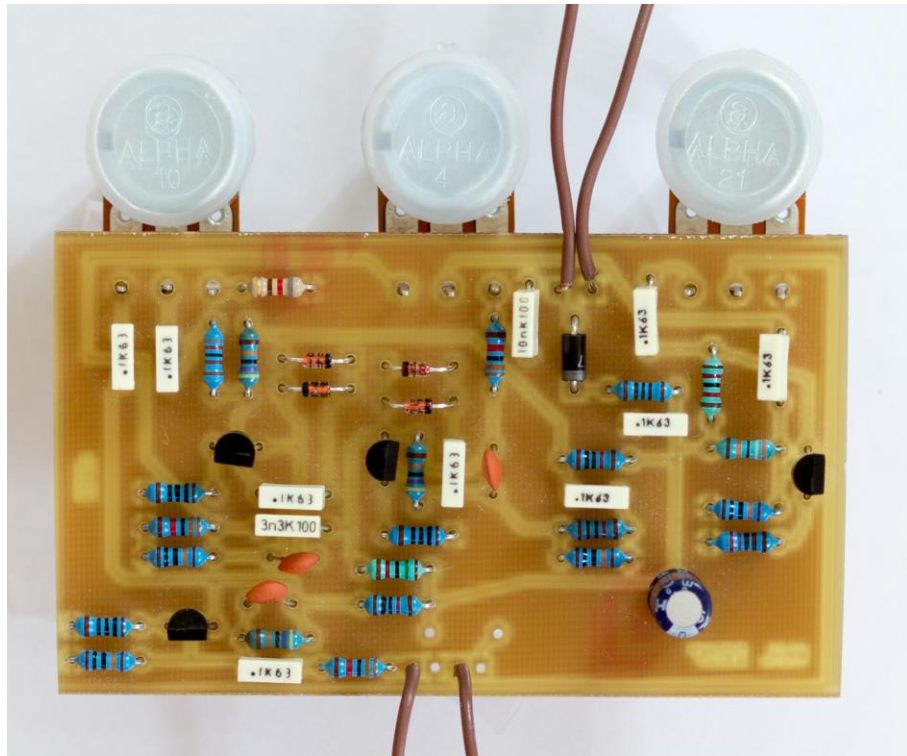
### 3 PIIRILEVY JA KYTKENNÄN TOTEUTUS

Piirilevysuunnitelma efektilaitteeseen toteutettiin Cadsoft EAGLE-ohjelmalla (KUVA 18). EAGLE:sta käytettiin Lite-versiota, joka on harrastuskäytössä ilmainen. Lite-versiolla saa suunniteltua alle 80 x 100mm kokoisia piirilevyjä. Aluksi EAGLE:lla piirrettiin kytkentäkaavio, jonka pohjalta komponentit ladottiin piirilevysuunnitelmaksi.



KUVA 18: EAGLE Lite -ohjelmalla suunniteltu piirilevy

Varsinainen piirilevy (KUVA 19) jyrssiin Tampereen ammattikorkeakoulun Tietotekniikan koulutusohjelman Colinbus-piirilevyjyrsimellä. Koska piirilevyllä oli valitussa kotelossa paljon tilaa ja kytkennän komponenttien määrä oli pieni, voitiin piirilevy toteuttaa yksipuoleisena.



Kuva 19: Valmis piirilevy komponentteineen

### 3.1 Muutokset alkuperäiseen kytkentään ja komponenttiarvoihin

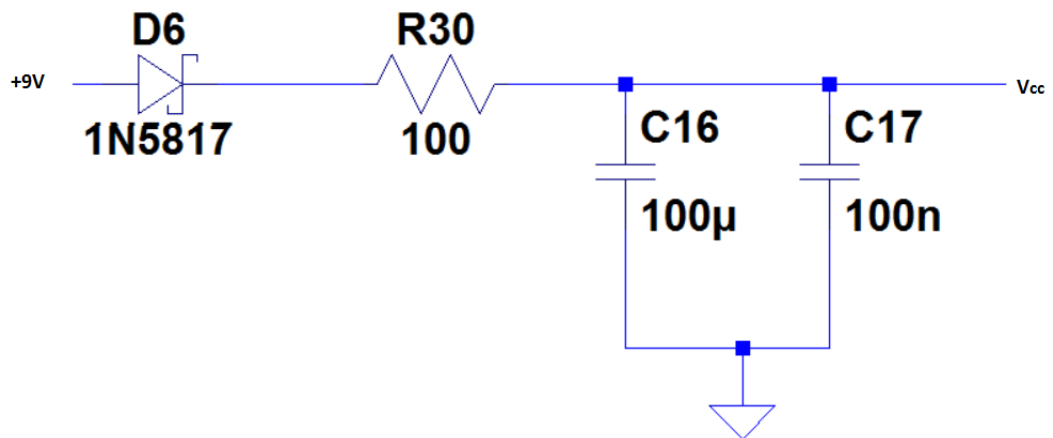
Alkuperäiseen kytkentään verrattuna tehtiin efektiin joitakin muutoksia. Alkuperäisessä kytkentäkaaviossa transistoreiksi mainittiin NPN-transistorit FS36999, jotka olivat uudelleenleimattuja 2N5133-transistoreja. Nykyään saatavilla olevat 2N5133-transistorit eroavat suuresti 1960-luvulla valmistetuista yksilöistä virtavahvistuskertoimeltaan, joten kytkennässä käytettiin näiden sijaan 2N5088-transistoreja (Fairchild Semiconductor 2017, 1). Säröytymisasteen diodeina alkuperäisessä laitteessa oli 1N914-diodit. Näiden tilalla kytkennässä käytettiin 1N4148-diodeita, jotka ovat audiotaajuuksilla ominaisuuksiltaan yhtenevät (Vishay C 2017, 1). Kondensaattorin *C10* (4 nF) tilalla käytettiin rinnankytkettyjä 3,3 nF ja 1 nF kondensaattoreita, sillä 4 nF kondensaattoreita ei nykyään valmisteta. Näin saatiin kaavan 5 mukaisesti 4,3 nF kondensaattori.

$$C_{tot} = 3,3 \text{ nF} + 1 \text{ nF} = 4,3 \text{ nF} \quad (7)$$

Alkuperäisessä efektilaitteessa kaikki potentiometrit olivat lineaarisella vastusradalla, mutta rakennetussa kytkennässä volume-potentiometrinä käytettiin logaritmisella vastusradalla olevaa potentiometriä. Logaritminen tasomuutos kuulostaa luonnollisemmalta ihmiskorvaan. Lisäksi laitteeseen lisättiin 1N5817-schottkydiodi sarjaan piirilevyn kanssa

estämään laitteen rikkoutumista, mikäli virtalähde kytketään väärin päin. Diodi aiheuttaa maksimissaan 0,45 voltin jännitehäviön (Vishay A 2017, 1). Nykyaikaisissa virtalähteissä kuormittamaton lähtöjännite saattaa olla jopa 9,4 voltia, joten jännitehäviö ei aiheuta ongelmia kytkennässä. Piirilevyllä lisättiin myös virranrajoitinvastus laitteen toiminnasta kertovalle LED-merkkivalolle.

Alkuperäistä efektilaitetta voitiin käyttää ainoastaan 9 voltin paristolla. Nykyisin patte-  
reiden käyttö efektilaitteissa on lähes kokonaan lopetettu ja tavallisesti käytetään hakku-  
rivirtalähteitä. Hakkurivirtalähteet saattavat aiheuttaa ihmisen kuultavissa olevilla taa-  
juuksilla häiriöitä tasajännitteeseen, joten efektilaitteeseen lisättiin kuvan 20 mukainen  
alipäästösuodatin.



KUVA 20: Jännitesyöttö

Jännitesyötön vastus  $R30$  ja kondensaattorit  $C16$  ja  $C17$  muodostavat alipäästösuotimen. Alipäästösuotimen tarkoitus on suodattaa jännitesyötöstä AC-komponentit pois. Alipäästösuotimen -3 dB:n taajuus on

$$f_c = \frac{1}{2 * \pi * R * C} = \frac{1}{2 * \pi * 100 \Omega * (100 \mu F + 100 nF)} = 15,9 \text{ Hz} \quad (8)$$

### 3.2 Kytkennässä käytetyt komponentit

Alkuperäisessä Electro-Harmonix Big Muff Pi -efektilaitteessa käytettiin vähintään 5 % toleranssilla olevia hiilimassavastuksia ja 20 % toleranssilla olevia keraamisia kondensaattoreita. Tämä saattoi aiheuttaa huomattavia yksilöeroja laitteiden välillä. Tässä työssä rakennetussa efektilaitteessa käytettiin Vishayn valmistamia 1 % toleranssilla olevia metallikalvovastuksia (pl. R6, joka vaikuttaa ainoastaan sustain -potentiometrin minimiarvoon ja ensimmäisen transistoriasteen kuormitukseen) ja MKT Standard -merkkisiä 10 % toleranssilla olevia polyesterikondensaattoreita. Lisäksi virransyötössä olevassa alipäästösuotimessa käytettiin Aisha -merkkistä 10 % toleranssilla olevaa elektrolyyttikondesaattoria. Potentiometreinä käytettiin Alphan valmistamia 20 % toleranssilla olevia potentiometrejä. Komponentteja valitessa yritettiin päästä vähintään samaan toleranssiin kuin alkuperäisessä laitteessa. Jokaisen komponenttityypin kohdalla löydettiin modernimpi vaihtoehto, joissa oli pienempi toleranssi kuin alkuperäisissä.

## 4 MITTAUKSET JA VERTAILU

Mittaukset suoritettiin Tampereen ammattikorkeakoulun tietotekniikan laboratoriossa. Käyttöjännite piirilevyllä päätettiin mitoittaa niin, että *R29*, *C14*, *C15*, *R7*, *R12* jne. yhteispisteessä tasajännite olisi yhtä suuri kuin samassa pisteessä simuloidussa kytkennässä. Tällöin esimerkiksi diodin *D5* kynnyksijännitteen toleranssi ei vaikuttaisi käyttöjännitteen arvoon. LTspicella simuloiduissa kytkennässä tämän pisteen tasajännitekomponentti on 8,75 V. Tämän pisteen tasajännitettä mitattiin Fluke 95 III -yleismittarilla ja käyttöjännite säädettiin Hewlett & Packard E3611A -laboratoriovirtalähteellä arvoon 8,8 V.

TAULUKKO 1. Simuloidut transistorien tasajännitekomponentit

Transistori	Kollektori (V)	Kanta (V)	Emitteri (V)
Q1	5,75	0,77	0,03
Q2	5,75	0,77	0,03
Q3	5,20	0,75	0,02
Q4	5,20	1,55	0,81

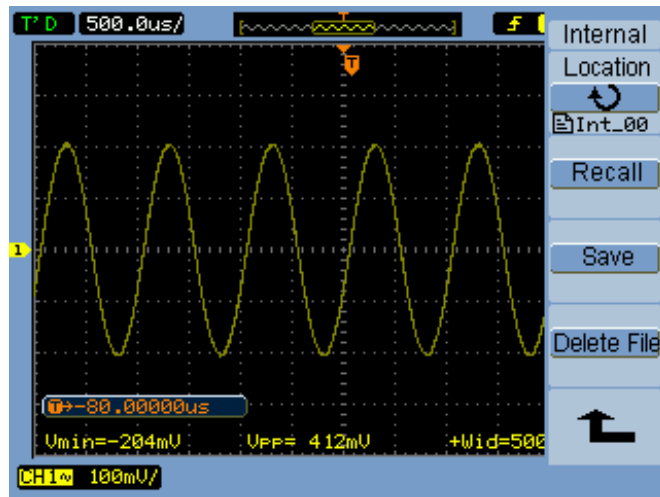
TAULUKKO 2. Mitatut transistorien tasajännitekomponentit

Transistori	Kollektori (V)	Kanta (V)	Emitteri (V)
Q1	6,53	0,570	0,021
Q2	6,50	0,573	0,021
Q3	6,01	0,557	0,014
Q4	6,42	1,078	0,527

Taulukoihin 1 ja 2 kirjattuja transistorien tasajännitekomponentteja vertailemalla huomattiin mitattujen kollektorijännitteiden olevan kaikilla asteilla hieman korkeammat ja kantajännitteiden matalammat kuin laitteesta mitatuissa jännitteissä. Kollektorijännitteen ja kantajännitteen eroja voi selittää esimerkiksi transistorien yksilölliset erot virtavahvistuskertoimessa sekä simulointiohjelman transistorimallien toiminnan eroavaisuus todellisten komponenttien toiminnasta. Lisäksi transistoreiden jännitekomponentteihin vaikuttaa jokaisen asteen vastusten toleranssi.

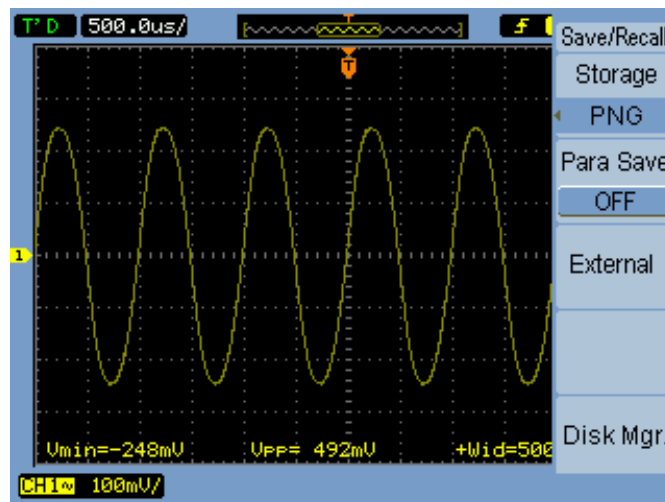
### 4.1 Aaltomuodot

Mittaustilanteessa piirilevyllä syötettiin Agilent Technologies 33120A -signaaligeneraattorilla 1 kHz signaalia, jonka huippujännite oli 100 mV. Signaalin aaltomuotoja mitattiin Agilent Technologies DSO1012A -oskilloskoopilla. Ensimmäisen transistoriasteen lähdöstä mitattiin kuvan 21 mukainen signaali.



KUVA 21: Ensimmäisen transistoriasteen ulostulo

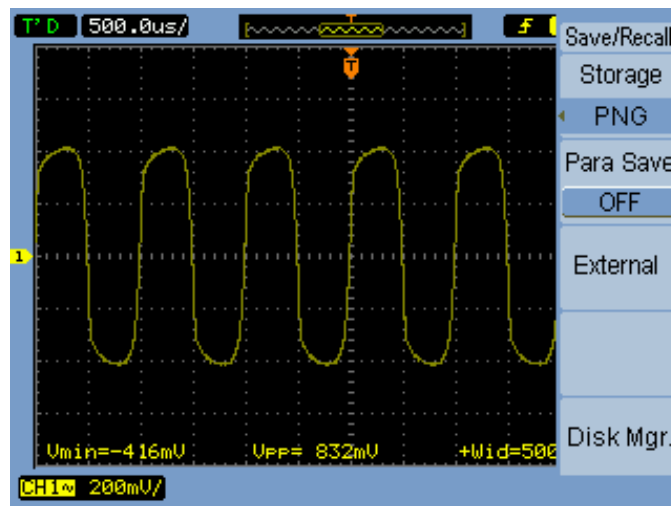
Mitattaessa toisen transistoriasteen lähtösignaalin muotoa huomattiin sen riippuvan erittäin paljon sustain-potentiometrin asennosta. Mittaustilanteessa pyrittiin sustain-potentiometri asettamaan keskiasentoon, jolloin vastusrata olisi jakautunut kahteen  $50\text{ k}\Omega$  vastukseen samalla tavalla kuin simulaatioissa. Tällöin signaali oli toisen transistorin kollektorilla selkeästi simuloitua vähemmän säröytynyttä. Kasvattamalla sustain-potentiometrin arvoa huomattiin signaalin muuttuvan jo toisella transistoriasteella erittäin säröytyneeksi.



KUVA 22: Toisen transistoriasteen ulostulo ja kolmannen transistoriasteen sisäänmeno

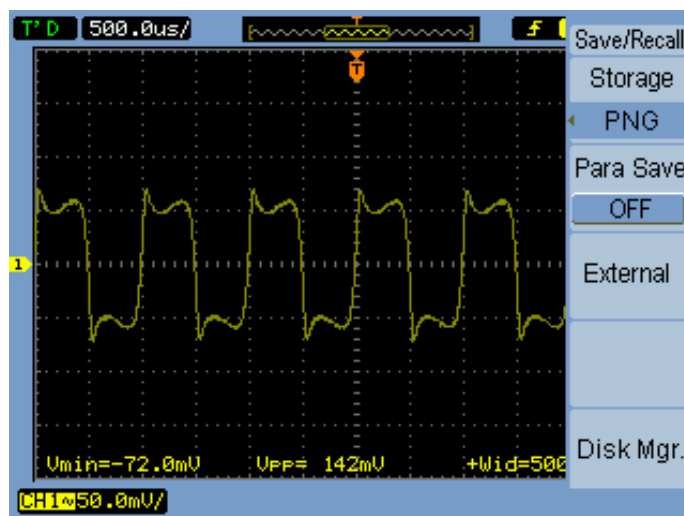
Kolmas transistoriaste muutti signaalia selkeästi kantiaaltomaisemmaksi. Samalla signaalitaso nousi lähes kaksinkertaiseksi toisen transistoriasteen ulostuloon verrattuna (KUVA 23).





KUVA 23: Kolmannen transistoriasteen ulostulo

Kolmannen transistoriasteen jälkeen signaali kytkeytyy äänenvärinsäätimeen. Äänenvärinsäätimen potentiometri pyrittiin asettamaan keskiasentoon samalla tavalla kuin sustain-potentiometrikin. Kuten simuloitaessa havaittiin vaikuttaa äänenvärinsäädin signaalin aaltomuotoon erittäin paljon (KUVA 24).



Kuva 24: Äänenvärinsäätimen ulostulosta mitattu aaltomuoto

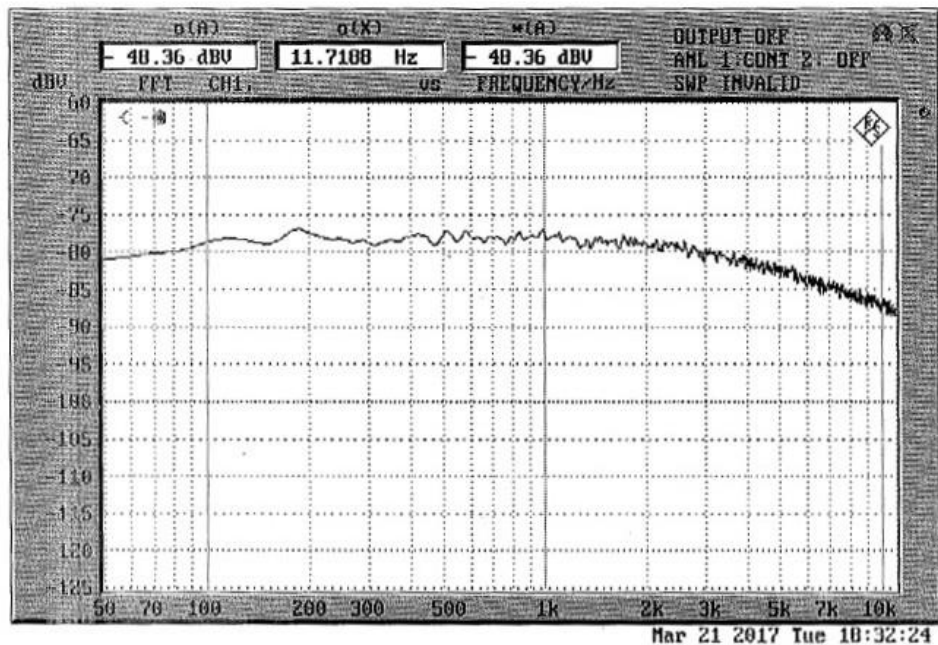
Passiivisen äänenvärinsäätimen takia signaalitaso tippuu huomattavasti. Kolmannen transistoriasteen lähtösignaalin huippujännite on 416 mV, mutta äänenvärinsäätimeltä lähtevän signaalin huippujännite on vain 71 mV. Neljännen transistoriasteen on tarkoitus kompensoida tätä häviötä. Lähtösignaalin huippujännite neljänneltä transistoriasteelta on 254 mV (KUVA 25).



KUVA 25: Neljännen transistoriasteen lähtöjännite

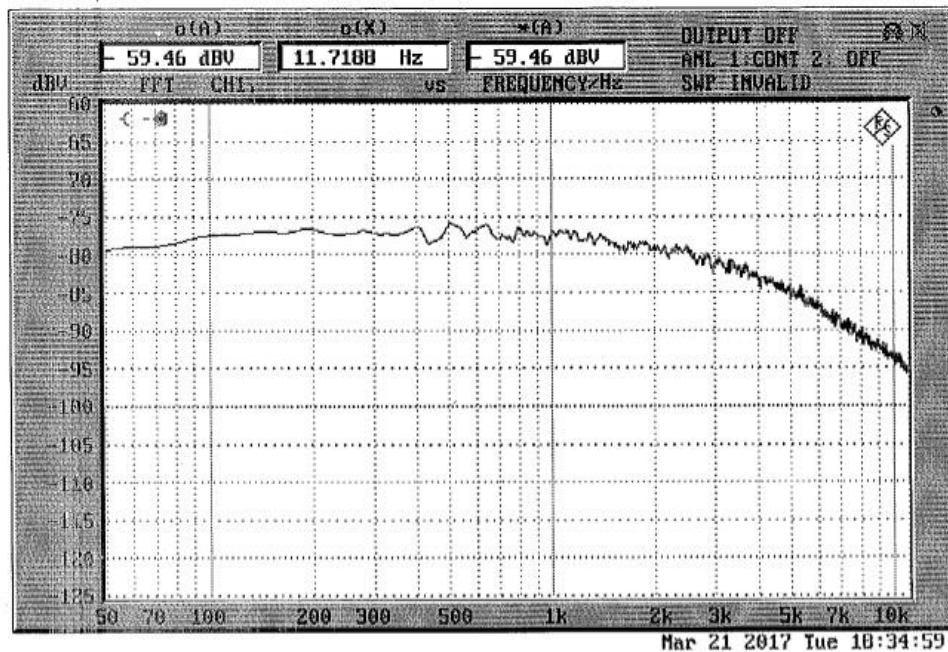
## 4.2 Taajuusvasteet

Transistoriasteiden taajuusvasteet mitattiin syöttämällä laitteeseen kohinaa Agilent Technologies 33120A -signaaligeneraattorilla. Transistoriasteiden ulostuloista mitattiin FFT Rohde & Schwarz UPL -audioanalysaattorilla. Kuvan 26 mukaisesti ensimmäisen transistoriasteen taajuusvaste oli erittäin tasainen. Signaali vaimenee alle 80 Hz ja yli 3 kHz taajuuksilla.



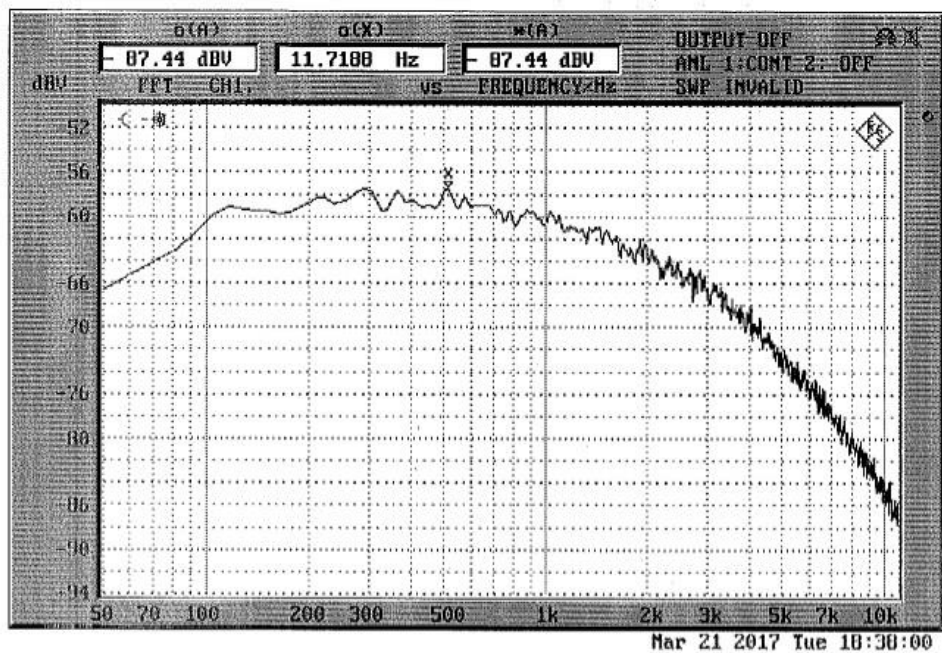
KUVA 26: Ensimmäisen transistoriasteen taajuusvaste

Toisen transistoriasteen lähdöstä mitattu signaalin spektri on myös varsin tasainen. Toisessa transistoriasteessa signaalin korkeat taajuudet vaimenevat hieman lisää kytkentä-kondesaattoreista johtuen (KUVA 27).



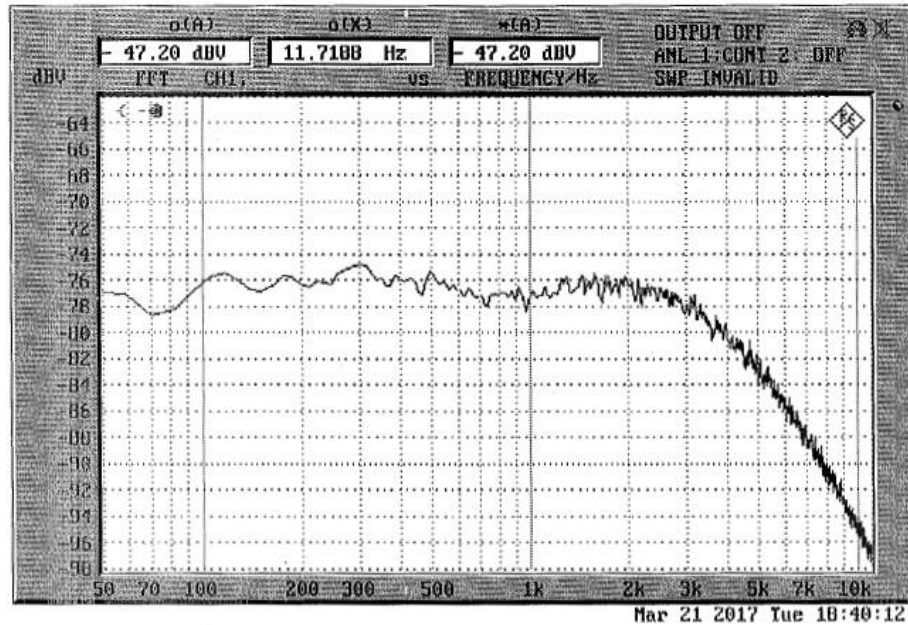
KUVA 27: Signaalin spektri toisen transistoriasteen lähdöstä mitattuna

Kolmannen transistoriasteen jälkeen signaalista on edelleen vaimentunut korkeat ja matalat taajuudet. Signaalitaso on myös noussut huomattavasti, kuten aaltomuodon kuvaajistakin pystyttiin päättelemään.



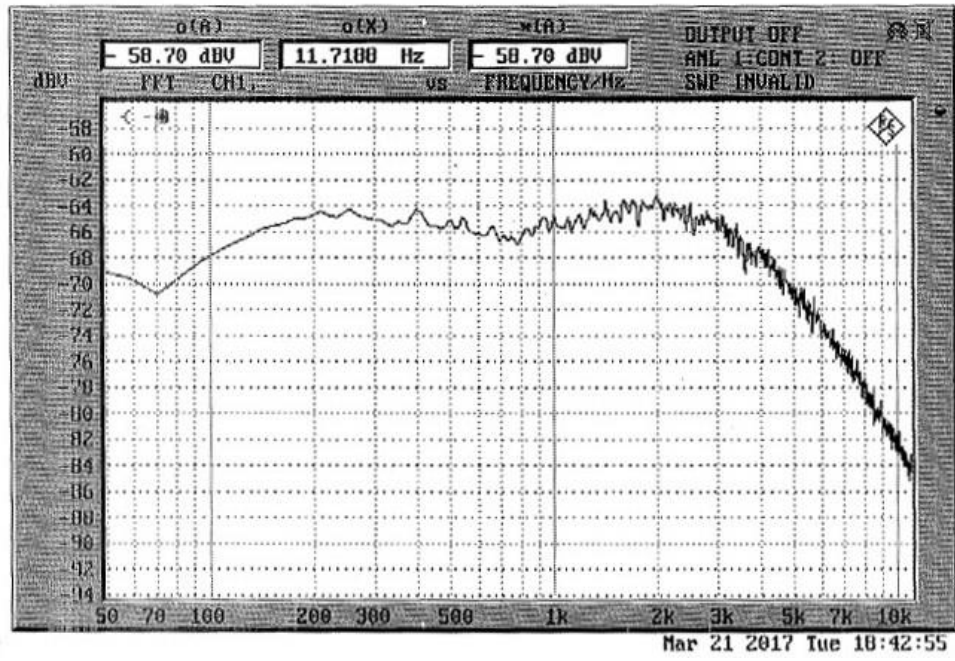
KUVA 28: Signaalin spektri kolmannen transistoriasteen lähdöstä mitattuna

Äänenvärinsäätimen jälkeen mitatusta spektrikuvasta (KUVA 29) huomataan selkeästi passiivisen suodattimen vaikutus signaaliin. Koko signaalitaso on huomattavasti matalampi kuin kuvassa 28. Lisäksi noin 1 kHz kohdalle on muodostunut äänenvärinsäätimen aiheuttama vaimentuma.



KUVA 29: Signaalin spektri äänenvärinsäätimen ulostulosta mitattuna

Koko laitteen spektri mitattiin neljännen transistoriasteen ulostulosta kuvan 30 mukaisesti. Spektrikuvasta voidaan nähdä signaalitason nousseen ja matalien taajuuksien jonkin verran leikkaantuneen. Lisäksi BMP:n olennainen 1 kHz ympärillä oleva vaimentuma on selkeästi havaittavissa. Efektin mitattu taajuusvaste on erittäin samantapainen kuvassa 16 esitetyn simuloidun spektrin kanssa.



KUVA 30: Signaalin spektri neljännen transistoriasteen ulostulosta mitattuna

## 5 YHTEENVETO

Alkuperäisenä ideana työssä oli käydä kytkentäkaavion jokainen komponentti läpi ja laskea komponenttien arvon vaikutus toimintaan. Tästä luovuttiin, sillä työ olisi paisunut työmäärältään ja pituudeltaan liian suureksi. Sen sijaan laitteen toimintaa esiteltiin kahdella eri tavalla: simuloimalla kytkentää tietokoneella ja mittaamalla varsinaista laitetta laboratorioissa. Tulokset olivat erittäin yhteneviä ja niistä voitiin päätellä laitteen toimivan alkuperäisen kytkentäkaavion mukaisesti.

Yhtenä työn tavoitteista oli opetella käyttämään huomattavasti monipuolisemmin erilaisia simulointi- ja piirilevysuunnitteluohjelmia sekä tutustua CNC-jyrsimellä toteutettavien yksikerroksisten piirilevyjen suunnitteluun. Nämä tavoitteet saavutettiin erinomaisesti ja opinnäytetyön alkuperäinen päämäärä, eli toimivan efektilaitteen rakentaminen, onnistui odotettua paremmin. Lopullisen muotonsa efekti sai, kun se koteloitiin Hammondin 1590BB -malliseen valualumiinikoteloon (KUVA 31).



KUVA 31: Valmis efektilaite koteloituna

Usein on varsin hankala pelkästään simuloimalla tai mittaamalla todeta minkään efektiivisen laitteen toimivan halutulla tavalla ja kuulostavan halutunlaiselta, sillä siihen miltä efektiivinen laite kuulostaa käytössä vaikuttaa erittäin moni muukin asia. Esimerkiksi kitaran mikrofonit ja niiden etäisyys kielistä vaikuttavat sisääntulevaan signaaliin ja pedaalien lähtöön kytkeytyvä vahvistin ja sen perässä oleva kaiutin muokkaavat lopullista korviin tulevaa ääntä huomattavasti. Tämän takia laitetta kokeiltiin myös ns. oikeissa olosuhteissa laboratorion ulkopuolella. Tamperelaisella bändikämpällä suoritetun subjektiivisen testauksen perusteella laite kuulostaa erittäin samankaltaiselta kuin levyillä tai videoilla kuullut alkuperäislaitteet.

## LÄHDELUETTELO

- ElectroSmash 2017. The Big Muff Pi Analysis. Luettu 30.1.2017. <http://www.electrosmash.com/big-muff-pi-analysis>
- Fairchild Semiconductor 2017. 2N5088 Datasheet. Luettu 14.2.2017.  
<https://www.fairchildsemi.com/datasheets/2N/2N5088.pdf>
- Rae, Kit 2017. The Big Muff Pi Home Page. Luettu 30.1.2017.  
[http://www.kitrae.net/music/music\\_big\\_muff.html](http://www.kitrae.net/music/music_big_muff.html)
- Rae, Kit. 2017. The Big Muff Pi Page: Version 1 Big Muff - V1 67#1. Luettu 2.1.2017.  
[http://www.bigmuffpage.com/images/schematics/Kits\\_V1\\_Big\\_Muff\\_67\\_No\\_1\\_schematic.jpg](http://www.bigmuffpage.com/images/schematics/Kits_V1_Big_Muff_67_No_1_schematic.jpg)
- Vishay A 2017. 1N5817 Datasheet. Luettu 21.1.2017.  
<http://www.vishay.com/docs/88525/1n5817.pdf>
- Vishay B 2017. 1N914 Datasheet. Luettu 30.1.2017.  
<http://www.vishay.com/docs/85622/1n914.pdf>
- Vishay C 2017. 1N4148 Datasheet. Luettu 14.2.2017.  
<http://www.vishay.com/docs/81857/1n4148.pdf>



## LIITTEET

## Liite 1. Kyt Kentäkaavio

