



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Infotehnoloogia teaduskond
Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut

Sander Sinijärv

**Elektritarri eelvõimendi
heli kasuliku moonutamise
signaali piiramise teel**

Bakalaureuseõppe lõputöö

IEE40LT

Juhendaja: Toomas Parve

Tallinn 2014

Olen lõputöö kirjutanud iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud. Käesolevat tööd ei ole varem esitatud kaitsmisele kusagil mujal.

Autor: Sander Sinijärv

Kuupäev: 02.06.2014

Allkiri:

Annotatsioon

Antud lõputöö eesmärgiks on uurida Azabache nimelist elektrikitarki eelvõimendit. Selle eelvõimendi põhikomponentideks on neli JFET väljatransistoridel põhinevat võimendusastet ja diodipiirajad igas võimendusastmes, millel on samuti oluline roll.

Esiolgu on uuritud diodipiiraja tööpõhimõtet ning seejärel eelvõimendi skeemi tööpõhimõtet. Järgnevalt on näidatud ära vajalikud arvutused, et transistoride tööpunkt ära määrata.

Ära on ka näidatud skeemi simulatsioonitulemused, millest tulevad välja eelvõimendile omased sagedustunnusjooned ning realiseerimine trükkplaadi näol, mis on tööstuslikult toodetud. Lisaks on tehtud tervele eelvõimendile korpus, mis hoiab trükkplaati ja kõike, mis temaga ühendatud on.

Abstract

The aim of this work is to examine a preamplifier for the electric guitar known as Azabache. This preamplifier is made up of four amplification stages based on JFETs. Diode clippers in each amplification stages also play a significant role in the shaping of the final sound.

First is examined the working principles of the diode clippers, which is followed, how the electrical scheme works. After that is shown, how to calculate the necessary drain voltage for the JFET.

There are also simulations done based on the electrical scheme, which gives an impression on how the frequency response looks like and also the realisation of the electrical scheme on a PCB, which is manufactured industrially. Also is shown the casing, which holds the PCB and everything connected to it.

Sisukord

Annotatsioon	2
Abstract	3
Sisukord	4
Jooniste loetelu	5
Sissejuhatus	6
1. Diodpiiraja	7
2. Eelvõimendi skemaatiline ülevaade	9
2.1 Eelvõimendi plokk skeem	9
2.2 Sisendahel	9
2.3 I võimendusaste	10
2.4 II ja III võimendusaste	12
2.5 Väljundahel	13
2.6 Toiteahel	16
3. Vajalikud arvutused skeemi jaoks	17
4. Trükkplaadi disain	19
5. Skeemi simuleerimine	23
6. Eelvõimendi korpus	30
Kokkuvõte	32
Viiteloetelu	33
Lisa 1 – Azabache Preamplifier.....	34
Lisa 2 – MMBF5458 Datasheet.....	35
Lisa 3 – J201 Datasheet.....	37
Lisa 4 – 3PDT-lüliti.....	39

Jooniste loetelu

Joonis 1.1 Diodipiiraja skeem [3]	7
Joonis 1.2 Passiivse diodipiiraja karakteristik	7
Joonis 2.1 Eelvõimendi plokk skeem	9
Joonis 2.2 Eelvõimendi sisendahel	9
Joonis 2.3 Eelvõimendi esimene võimendusaste	10
Joonis 2.4 JFETi väljundkarakteristik [6]	10
Joonis 2.5 Eelvõimendi teine ja kolmas võimendusaste	12
Joonis 2.6 Eelvõimendi väljundahel	13
Joonis 2.7 Madalpääsfiltri sageduskarakteristik [8]	14
Joonis 2.8 Madalpääsfiltri väljundsignaal madalal sagedusel	14
Joonis 2.9 Madalpääsfiltri väljundsignaal keskmisel sagedusel	14
Joonis 2.10 Madalpääsfiltri väljundsignaal kõrgel sagedusel	14
Joonis 2.11 Kõrgpääsfiltri sageduskarakteristik [9]	15
Joonis 2.12 Kõrgpääsfiltri väljundsignaal madalal sagedusel	15
Joonis 2.13 Kõrgpääsfiltri väljundsignaal keskmisel sagedusel	15
Joonis 2.14 Kõrgpääsfiltri väljundsignaal kõrgel sagedusel	15
Joonis 2.15 Eelvõimendi toiteahel	16
Joonis 4.1 Trükkplaadi elektriskeem	20
Joonis 4.2 Trükkplaadi kõik kihid	21
Joonis 4.3 Trükkplaadi ülemine vasekiht	21
Joonis 4.4 Trükkplaadi alumine vasekiht	22
Joonis 4.5 Trükkplaadi siiditrükk	22
Joonis 5.1 Transistori ja toitepinge vaheline suhe	23
Joonis 5.2 Skeemi väljundtunnusjooned, kui gain-potentsiomeeter on nullasendis	24
Joonis 5.3 Skeemi väljundtunnusjooned, kui gain-potentsiomeeter on keskmises asendis	24
Joonis 5.4 Skeemi väljundtunnusjooned, kui gain-potentsiomeeter on täielikult peale keeratud	25
Joonis 5.5 Signaali transient analüüs, kui gain-potentsiomeeter on nullasendis	26
Joonis 5.6 Signaali transient analüüs, kui gain-potentsiomeeter on keskmises asendis	27
Joonis 5.7 Signaali transient analüüs, kui gain-potentsiomeeter on täielikult peale keeratud	27
Joonis 5.8 Väljundtunnusjoon; Bright = 0; Scoop = 0	28
Joonis 5.9 Väljundtunnusjoon; Bright = 1; Scoop = 0	28
Joonis 5.10 Väljundtunnusjoon; Bright = 0; Scoop = 1	29
Joonis 5.11 Väljundtunnusjoon; Bright = 1; Scoop = 1	29
Joonis 6.1 Korpuse kaane pealtvaade	30
Joonis 6.2 Korpuse tagakülg	30
Joonis 6.3 Korpuse pilt ilma pealmise kaane ja tagaküljeta	31
Joonis 6.4 3PDT-lüliti ühendamis skeem	31

Sissejuhatus

Käesoleva lõputöö baaslahenduseks on valitud elektrikitarril eelvõimendi, mida tuntakse nime all Azabache. Oma olemuselt ei vasta see eelvõimendi otseselt ühelegi olemasolevale kitarrivõimendile või –efektiplokile, küll aga on kasutatud erinevaid osasid teistest võimendi disainidest.[1]

Eelvõimendi eesmärgiks on elektrikitarrist tulenevat signaali täiendada harmooniliste moonutustega – nähtus, mis on laialt levinud kitarrimuusika maailmas ja mida lihtsamalt tuntakse ka nime all ülevõimendamise. Oma kõlavärvi poolest sarnaneb Azabache justkui klassikaliste Fenderi võimenditega.[2]

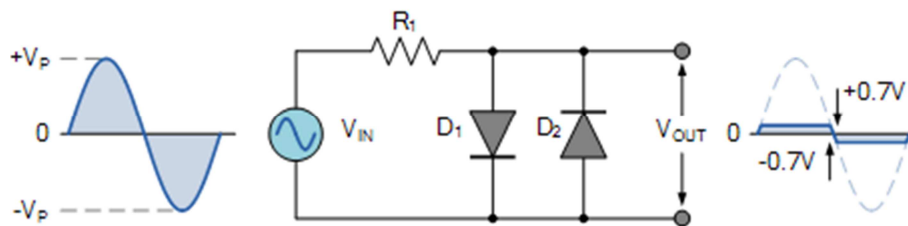
Elektrikitarril võimendite valmistamist võib pidada omaette elektroonika valdkonnaks, kus tavapärase eelvõimendite teooria väga ei kehti. Tuntud elektroonika põhimõtted eeldavad, et skeemid oleksid disainitud vältimaks ülevõimendust ja moonutusi, kuid kitarrivõimendid töötavad valdavalt just üleküllastusrežiimis, ning need on ühtlasi valminud eksperimenteerimise käigus, sest mittelineaarse võimenduse kohta pole publitseeritud palju teaduslikku materjali.[5:lk 7]

1. Diodpiiraja

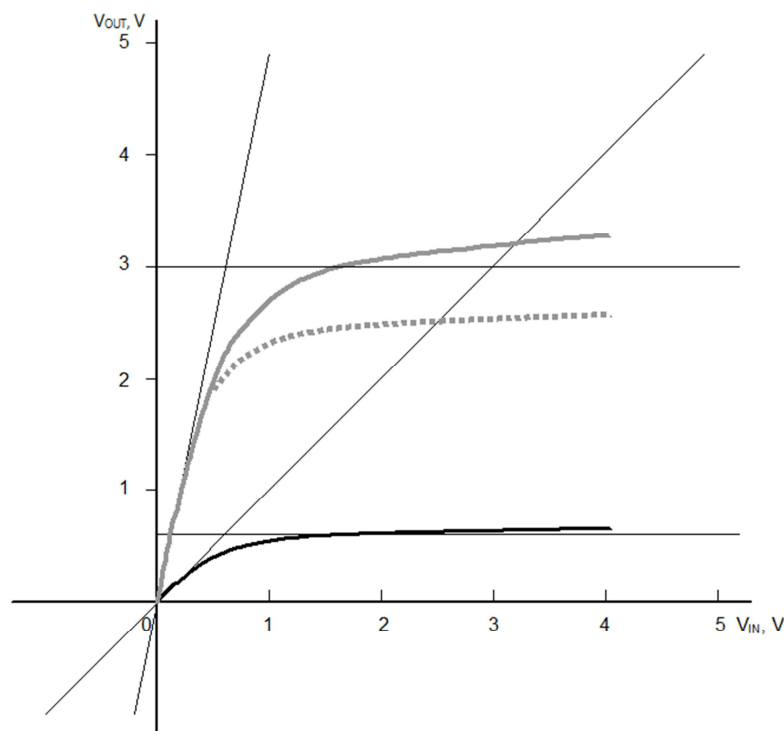
Valitud skeemis (Lisa 1) on kasutatud mitmes kohas diodpiirajaid. Nende eesmärk on moonutada kitarrist tulevat signaali muusikaliselt kasulikul teel.

Kui ühendada kaks diodi teineteisega vastupidiselt paralleelselt, piiratakse nii positiivne kui ka negatiivne poolperiood, kus D_1 piirab sisendi positiivse poolperioodi ja D_2 piirab negatiivse poolperioodi.[3]

Ideaalsete diodide puhul oleks väljundsignaal 0V. Kuid diodidel oleva päripingelangu toimub piiramine +0.7V ja -0.7V juures.



Joonis 1.1 Diodpiiraja skeem [3]



Joonis 1.2 Passiivse diodpiiraja karakteristik

Joonisel 2 on näha diodpiiraja väljundpinge sõltuvust sisendpingest juhul, kui võimendus on 1 ja teisel juhul, kui võimendus on 5. Punktirjoon tähistab võimendust võimendusastme väljundil.

Signaali tippude äralõikamine toob kaasa suure muutuse helipildis. Muusikalisel mõttes oleks puhas siinussignaali kõrva jaoks igava kõlaga. Kui seda signaali aga piirata hakata, tekib selle tulemusena palju harmoonilisi moonutusi, mis teeb kõlapildi huvitavamaks – seda aga tingimusel, kui signaali ei piirata üleliia palju.

Helikõlalise vahe teeb tuntuks see, kui järsult signaali piiratud on. Teravad signaali nurgad tekitavad kärisevamat heli, mis on näiteks omapärane rock-stiilile, kui samal ajal ümarad ja sujuvad signaalid tekitavad kõrva jaoks pehmemat/soojemat kõla. [4]

Signaali piiramine ei pea toimuma sümmeetriliselt positiivse ja negatiivse poole peal. Kui signaali piiratakse erinevatel kaugustel signaali nullkohast, nimetatakse seda asümmeetriliseks piiramiseks. Asümmeetrilist piiramist saab teha nii, kui panna paralleelselt kaks erinevat päripingelanguga diodi, näiteks 1N4148 ja 1N34A või kollane LED ja 1N4148 – kombinatsioon on mitmeid. Ka inimene, kes pole muusikaga lähemalt kokku puutunud, suudab teha nendel kahel erineval meetodil vahet.

Juhul, kui signaali enne moonutamist võimendada ning seejärel piirata samast kohast, kust võimendamata signaali, saame äärmiselt moonutatud kõla. See tekitab omakorda veel rohkem harmoonilisi moonutusi, kui mõõdukalt piiramine. Sõnaliselt kirjeldades tekitaks see äärmiselt kärisevat heli. [4]

Kogu helitambri moonutamine võib väga huvitav olla, katsetades erinevaid vahendeid moonutamiseks, kuid sellel võib suur tagasilöökk olla, kui tõmmata kahte erineva sagedusega nooti korraga. Olenevalt intervallist (kahe noodi vahelisest kaugusest) võib see tekitada väga ebameeldiva kooskõla, mida nimetatakse intermodulatsiooni moonutuseks. [4]

Kui kahte erinevat nooti intermoduleerida, tuleb lisaks nendele kahele noodile juurde veel kaks teise sagedusega nooti – nende esialgsete nootide summa ja vahe. Näiteks kui võtta põhinootideks A-440 Hz ja A-880 Hz, saame neid intermoduleerides nende vahena 440 Hz ja 1320 Hz, mis on A-440 Hz kolm korda rohkem – selline tulemus kõlaks kõrva jaoks isegi meeldivalt. [4]

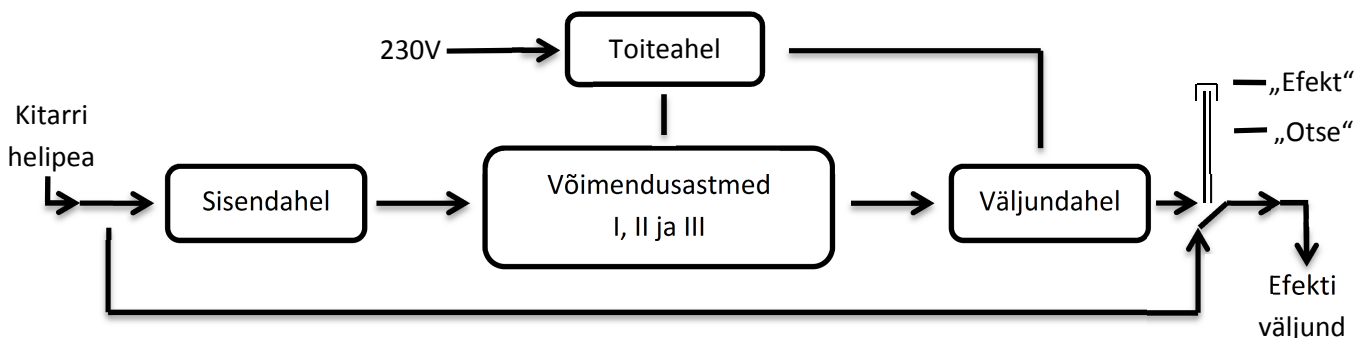
Halvema näitena võib tuua, kui intermoduleerida sagedused 440 Hz ja temast oktaav ja kolmandiku võrra kõrgemal olev sagedus 1467 Hz, siis lisaks samadele põhitoonidele saame veel lisaks 1026 Hz ja 1907 Hz. Tekkinud sagedused ei ole kuidagi seotud algse noodiga ning see kõlab justkui „häälest ära“ ehk väga ebamusikaalselt. [4]

Seega kasutades antud skeemis diodipiirajaid, on nende eesmärgiks eelkõige tekitada harmoonilisi moonutusi ja minimeerida intermodulatsiooni moonutuste osakaal.

2. Eelvõimendi skemaatiline ülevaade

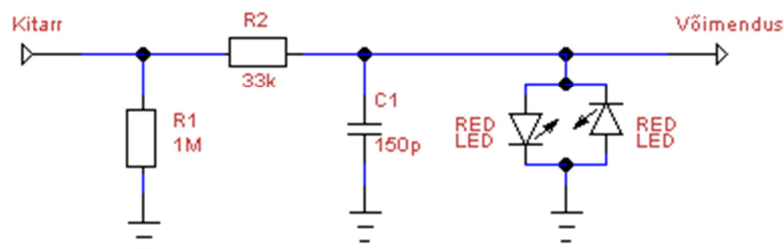
2.1 Eelvõimendi plokk skeem

Allpool asetsev plokk skeem näitab ülevaatlikult ära valitud skeemi üksikosa nende detailidesse laskumata. Selline väljendusviis annab parema ja tunduvalt lihtsustatud ülevaate skeemist kui tervikust.



Joonis 2.1 Eelvõimendi plokk skeem

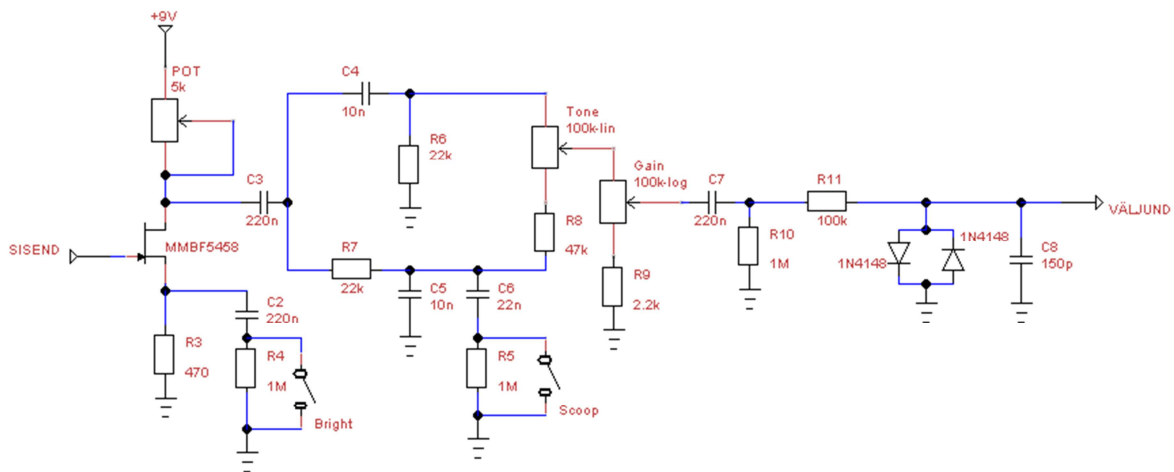
2.2 Sisendahel



Joonis 2.2 Eelvõimendi sisendahel

Antud eelvõimendi sisendahel koosneb madalpääsfiltrist, diodipiirajast ning takistist R1, mille eesmärk on kaitsta kõlareid juhul, kui töötavale skeemile lisada või eemaldada sisend [5:lk10]. Madalpääsfilter koosneb kondensaatorist C1 ja takistist R2 ning ta laseb läbi sagedused, mis jäävad alla 32kHz. See tagab, et inimese kõrva jaoks kuuldav sagedusala (20Hz – 20kHz) sisendahelast läbi läheks. Ühtlasi välistab see raadiosageduste sattumist skeemi, mis omakorda vähendab müra. Diodipiiraja koosneb kahest paralleelselt punasest LEDist, mille päripingelang on ligikaudu 2V. Kuna kitarrisignaali jääb suurusjärku 200mV, siis seal signaal piiramisse veel ei lähe. Pigem on selle piiraja eesmärk kaitsta skeemi, kui sisendkaabel valesti ühendada.

2.3 I võimendusaste

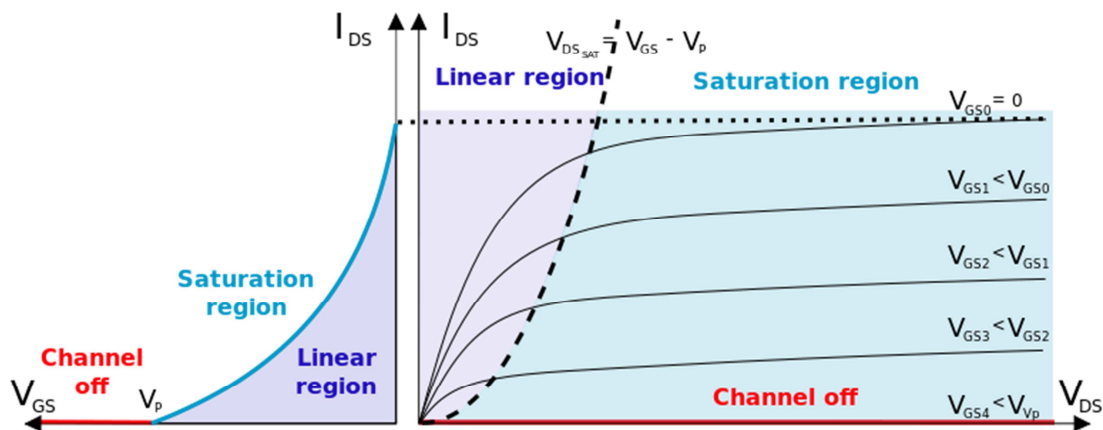


Joonis 2.3 Eelvõimendi esimene võimendusaste

Kuna esimene võimendusaste erineb järgnevalt kahest märgatavalt, on see kirjeldamise lihtsustamise huvides eraldi välja toodud.

Antud skeemis toimub võimendamine JFET väljatransistoridega. Põhjuseks on JFETi volt-ampere karakteristiku sarnanemine triodi omaga enne küllastusse minemist, mis püüab emuleerida triodile sarnast helikõla. [7]

JFETi kasulik omadus on veel see, et ta pais omab kõrget sisend-impedantsi, mis on kasulik instrumentide puhul nagu kitarr, sest ta säilitab kõrged sagedused. [7]



Joonis 2.4 JFETi väljundkarakteristik [6]

Selleks, et väljatransistor töötaks triodi režiimis, on talle vaja valida täpse suurusega lähtetakisti ning neelupotentsiomeetriga saab reguleerida võimendus-astme tööpunkti, mis antud skeemis on J201 puhul soovitatav valida 5V.[1]

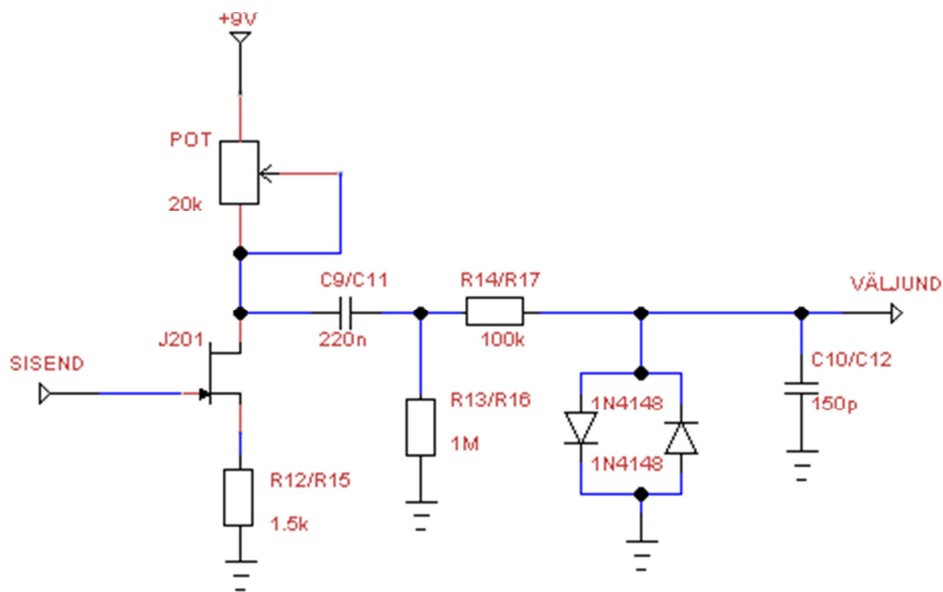
Selles võimendusastmes toimub ka põhiline tämbri kujundamine. Skeemis puudub üldine tämbripinu ehk teisisõnu ei saa eraldi seadistada madalaid, keskmisi ja kõrgeid sagedusi. Tooni seadistava lineaarse potentsiomeetriga saab muuta kõrgete ja madalate sageduste vahekorda, tõstes ühte teisest rohkem esile ja vastupidi.

Skeemi on pandud kaks lüliti, millega saab lihtsalt veel omakorda tämbrit kujundada. Transistori lätteahelas oleva *Bright* lülitiga saab lisada väljundisse kõrgemaid sageduskomponente. Kui neeluahelas olev *Scoop* lüliti on lahtises asendis, väljendub see sageduskarakteristikus vähendatud keskmiste sagedustega 750Hz sagedusala ümber.

Tämbrireguleerimispotentsiomeetritele järgneva *GAIN*-potentsiomeetriga on võimalik seadistada reaajas pingevõimendust, kuid selle jaoks on oluline, et esimesse võimendusastmesse ei satuks sisse kõrvalisi signaalne, sest hea helikvaliteedi säilitamiseks on oluline puhas pingevõimendus [5:lk11].

Sõltuvalt *GAIN*-potentsiomeetri asendist, võib järgnev diodipiiraja hakata signaali piirama. Kui võimendus on maha keeratud, siis piiramist esialgu ei toimu. Võimenduse järk-järgulisel pealekeeramisel hakkab signaal üha rohkem piiramisse minema, tuues endaga kaasa harmoonilisi moonutusi.

2.4 II ja III võimendusaste



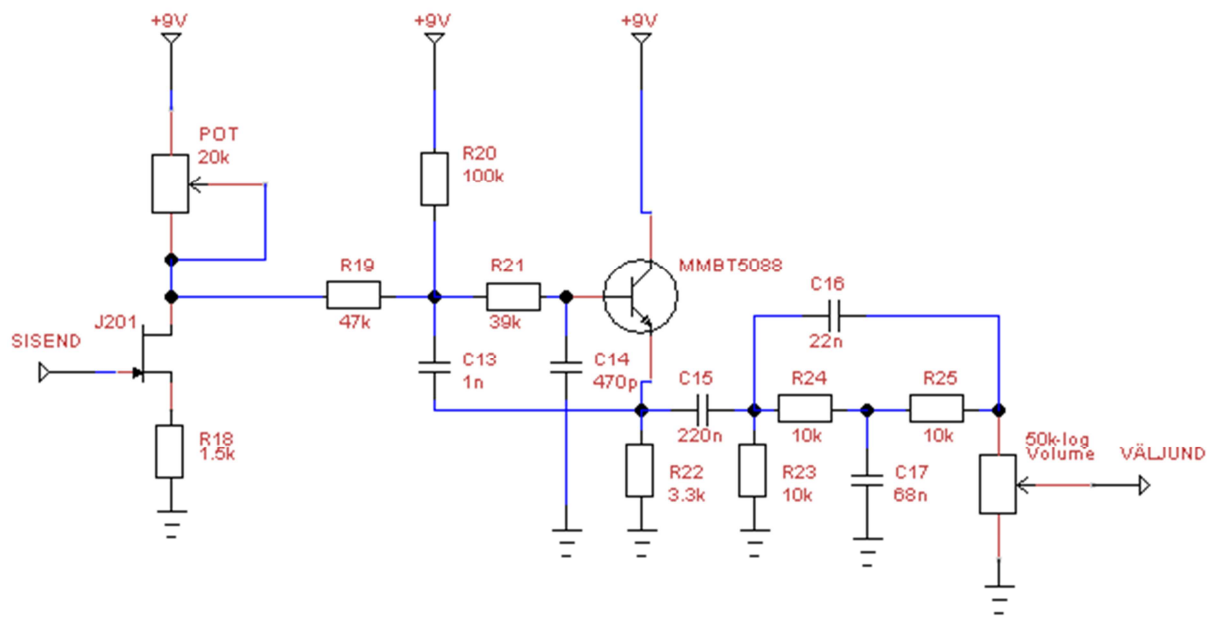
Joonis 2.5 Eelvõimendi teine ja kolmas võimendusaste

Kuna teine ja kolmas võimendusaste on skeemilise lahenduse ja komponentide nominaalide poolest identsed, siis ülal oleva pildi lihtsuse mõttes on ahel välja toodud ühekordselt; tegelikkuses asetsevad need aga järjestikku.

Nendes astmetes toimub põhiliselt signaali piiramine, mis kujundab suures osas väljundisse saabuva signaali kuju. Signaali piiratuse tase sõltub esimeses võimendusastmes olevast *GAIN*-potentsiomeetrist.

Kuna nendes võimendusastmetes midagi reaalselt muuta ei saa, on võimalik siiski isevalmistajal omale sobilikule heliomadustele eelvõimendi teha varieerides erinevate diodidega.

2.5 Väljundahel

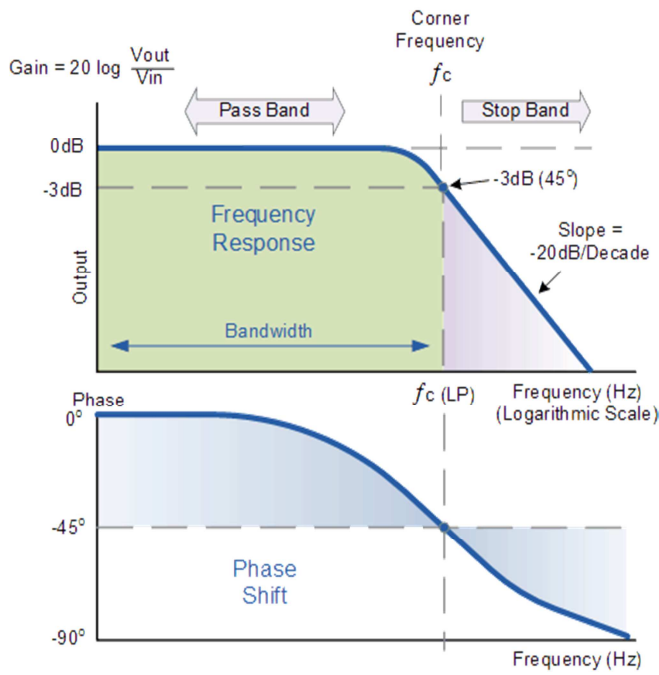


Joonis 2.6 Eelvõimendi väljundahel

Väljundahela skeemilt on näha, et see koosneb paljudest filtritest, mis kujundavad lõpliku kõlapildi skeemile. Et paremini mõista, kuidas RC-filtrid töötavad, toon välja, millised on nende sagedustunnusjooned ja kuidas sõltub nende signaalikuju sagedusest.

Simuleerimisel on kasutatud sisendis nelinurksignaali amplituudiga 10V ja filtritel on murdesageduseks valitud ligikaudu 8kHz. Madala, keskmise ja kõrge sageduse all on kasutatud vastavalt 100Hz, 8kHz ja 100kHz.

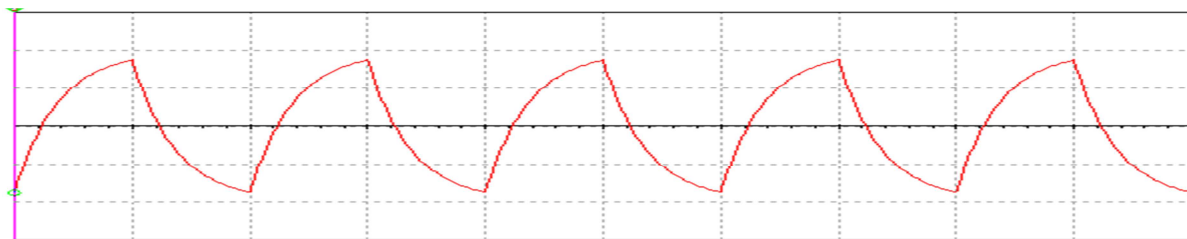
Madalpääsfilter



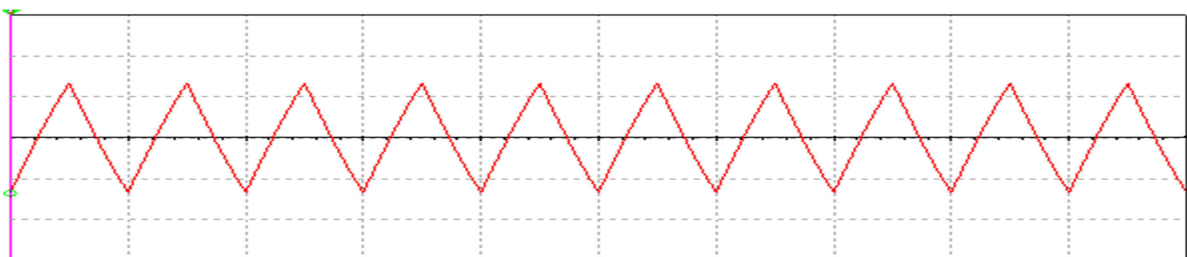
Joonis 2.7 Madalpääsfiltri sagedusarakteristik [8]



Joonis 2.8 Madalpääsfiltri väljundsignaal madalal sagedusel



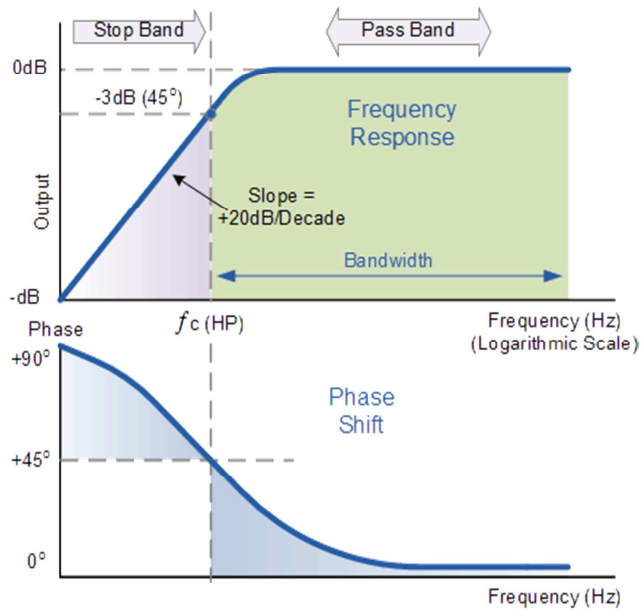
Joonis 2.9 Madalpääsfiltri väljundsignaal keskmisel sagedusel



Joonis 2.10 Madalpääsfiltri väljundsignaal kõrgel sagedusel

Kõrgpääsfilter

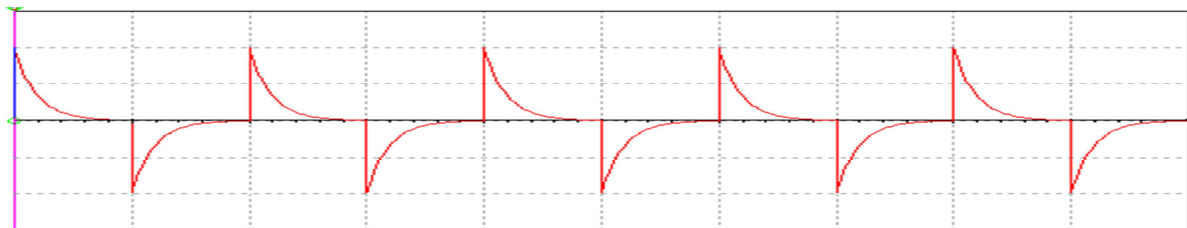
$$\text{Gain (dB)} = 20 \log \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}}$$



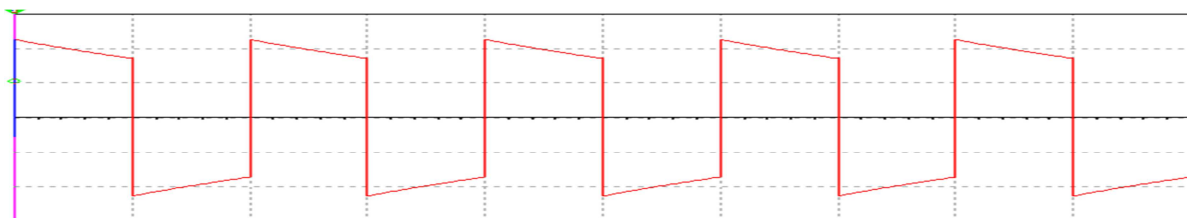
Joonis 2.11 Kõrgpääsfiltri sageduskarakteristik [9]



Joonis 2.12 Kõrgpääsfiltri väljundsignaal madalal sagedusel

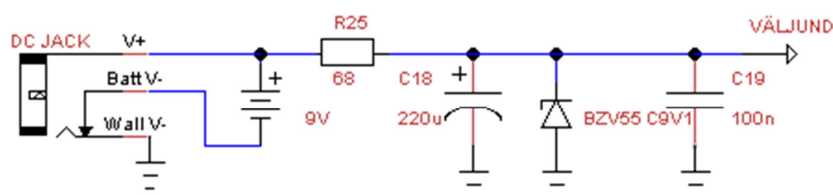


Joonis 2.13 Kõrgpääsfiltri väljundsignaal keskmisel sagedusel



Joonis 2.14 Kõrgpääsfiltri väljundsignaal kõrgel sagedusel

2.6 Toiteahel



Joonis 2.15 Eelvõimendi toiteahel

Antud skeem saab toidet 9V patarei või siis adaptri pealt. Peale vaadates on näha madalpääsfiltrit, mis tagab, et mööda signaaliahet ei liiguks madalsageduslikke võnkumisi toiteallikasse. Filtri lõikesagedus on ligikaudu 10,6Hz. Ühtlasi, kui kondensaator on end täis laadinud, toimib ta ise allikana ning toiteallikas saab senikaua puhata.[5:lk 11]

Toiteahelasse on lisatud stabilitron, mis kaitseb skeemi vastupingestamise eest. See poleks vajalik, kui skeemi saaks toita ainult patarei abil, kuid tuleb kasuks, kui on ka adaptriga toitmise võimalus. Põhjuseks on see, et adaptreid tehakse erinevat moodi, sõltuvalt tootjast; oluline on see, et toiteadaptri väljundpistikute keel ja sisu oleksid vastavalt pluss ja miinus. Kuna osad tootjad valmistavad seda vastupidiselt, peab jälgima, et kasutataks õiget adaptrit. Vastasel juhul võib skeem rikkuda. [5:lk 11]

Lisaks vastupingestamise eest kaitsmisele, aitab stabilitron veel skeemi ülepingsestamise eest kaitsta. Kasuks võib see tulla, kui skeemi kogemata hakata toidma 12V adaptriga. Kui liigselt skeemi ülpingsestada, võib aga üks hetk takisti R25 läbi minna või siis stabilitron ise.

Skeemis on välditud patarei tühjenemist juhul, kui toitepistikusse on sisestatud adapter. Sellisel juhul lükatakse patarei miinuskeel kontaktist lahti ja jäetakse niiöelda „õhku hõljuma“. Võimalik oleks veel patareid kokku hoida, kui kasutada kitarrisisendi pistikuna stereopesa nii, et vool liiguks ainult siis, kui pistik oleks ühendatud pesaga. Antud skeemis seda aga rakendatud pole, kuna see oleks ainus ühenduskoht, kuskohast maavool liiguks läbi toite miinuskeelile – see võib põhjustada müra, mis liiguks omakorda edasi sisendahelasse, potentsiaalselt rikkudes eelvõimendi kõla.

3. Vajalikud arvutused skeemi jaoks

Skeemi korralikuks tööks on vaja teha mõningad vajalikud arvutused, et hiljem vältida probleeme.

Peatükis 2.2 sisendahelas olev kõrgpääsfiltri lõikesagedus on arvatud valemiga 3.1 ning tulemuseks on 32153Hz.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (\text{valem 3.1})$$

Sarnaselt arvutatakse ka toiteahelas olevate filтрите lõikesagedused ning saadavad tulemused on 10,6Hz ja 23405Hz.

Järgnevad arvutused on tehtud MMBF5458 (Lisa 2) transistori puhul ning andmelehel on võetud antud vahemikust järgnevad arvud:

$$V_p = -1,5V$$

$$I_{dss} = 4mA$$

$$V_{cc} = 9V$$

V_p tähistab siin minimaalset pinget, mille korral transistor veel voolu juhib ja I_{dss} on neeluvool, kui paisu ja lätte vahel on 0V.

Järgnevalt on vaja arvutada lätetakisti, et transistori väljundkarakteristik oleks võimalikult sarnane trioodile. Selleks kasutatakse järgmist valemit:[10]

$$R_s = 0,83 \cdot \frac{|V_p|}{I_{dss}} \quad (\text{valem 3.2})$$

Valemist arvatud tulemus on 312Ω.

JFETi tööpunkti seadistamiseks valitakse neelutakisti järgmiselt:

- Tööpunkt on seadistatud vastavalt pool toidepingest
- Tööpunkt seadistatakse kõrva järgi, et määrata parim kõla[10]

Optimaalset tööpunkti, mis sõltub toitepingest ja transistori sulgepingest saab leida kasutades järgmist valemit:

$$V_d = 0,6 \cdot V_{cc} + 0,7 \cdot |V_p| \quad (\text{valem 3.3})$$

Valemi 3.3 tulemuseks saame 6,45V. [10]

Neelutakisti saame välja arvutada kasutades valemit

$$R_d = 0,9 \cdot \frac{(V_{cc} - 2 \cdot |V_p|)}{I_{dss}} \quad (\text{valem 3.4})$$

Valemi 3.4 tulemuseks saame 1350Ω [10]

Transistori voolutarvet saab arvutada valemiga

$$I_d = I_{dss} \cdot \frac{(0,44 \cdot V_{cc} - 0,78 \cdot |V_p|)}{(V_{cc} - 2 \cdot |V_p|)} \quad (\text{Valem 3.5})$$

Ning tulemuseks saame $1,86\text{mA}$. [10]

Lättepinge leidmiseks saab kasutada valemit

$$V_s = |V_p| \cdot \frac{(0,37 \cdot V_{cc} - 0,65 \cdot |V_p|)}{(V_{cc} - 2 \cdot |V_p|)} \quad (\text{valem 3.6})$$

Saadud tulemuseks saame $588,75\text{mV}$. [10]

Võimendusastme pingevõimendust saame arvutada valemiga

$$A_v = 0,5 \cdot \frac{R_d}{R_s} \quad (\text{valem 3.7})$$

Tulemuseks saame $2,16$ ehk $6,68\text{dB}$ [10]

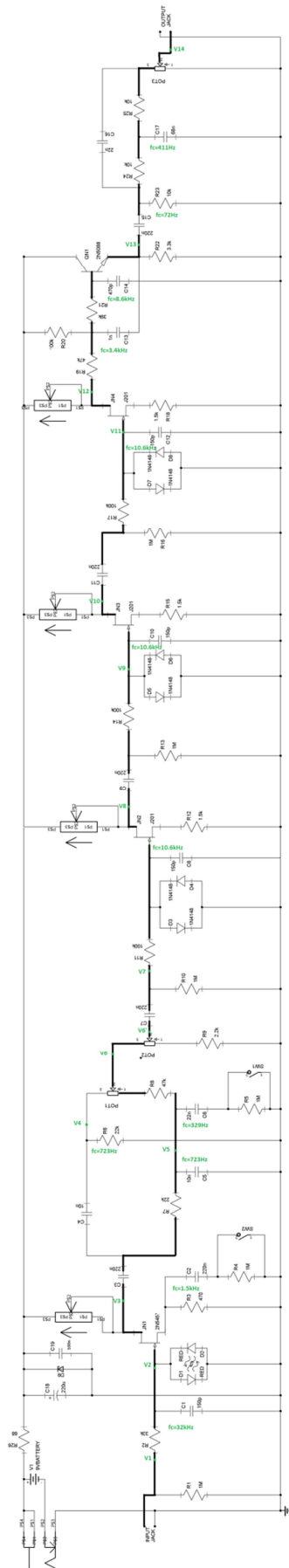
Mõned tähelepanekud, mida antud valemeid kasutades silmas peab pidama:

- R_d peab olema suurem kui $2R_s$, vastasel juhul oleks võimendus väiksem ühikvõimendusest.
- V_{cc} peab olema suurem kui $4|V_p|$, vastasel juhul oleks võimendus samuti väiksem ühikvõimendusest.
- Võimendus sõltub ainult V_{cc} 'st ja V_p 'st ja on sõltumatu I_{dss} 'st.
- Võimendus suureneb, kui V_{cc} suureneb või $|V_p|$ väheneb. [10]

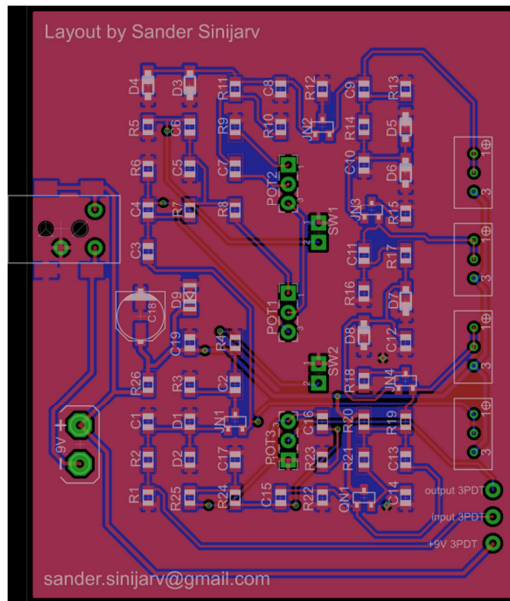
4. Trükkplaadi disain

Skeemi trükkplaadi koostamiseks on kasutatud vabavaralist programmi CadSoft Eagle 6.5. Plaadi suurus on valitud lähtuvalt ümbritseva korpuse suuruselt – plaadi pikkus 65mm ei ole antud juhul nii oluline, kuid laius 79mm on valitud täpselt, sest siis mahub plaat täpselt korpuse sisekülgedel asuvate sisselõigatud viilude sisse. See tähendab ka seda, et plaati pole vaja kruvidega korpuse külge panna. Sellest tulenevalt on plaadi mõlemast äärest jäetud 2mm vabaks.

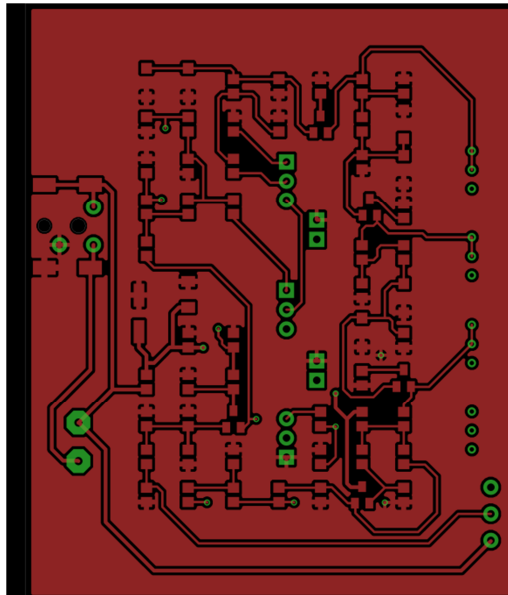
Trükkplaat on tehtud kahepoolne ning selle valmistegemisel pole silmas peetud isetegemist, vaid tootmist spetsiaalsete vahenditega. Antud lõputöö raames on tehtav töö lastud valmis toota iMall ITEAD Studio poolt. Trükkplaadile peale käivad komponendid on valitud eelkõige silmas pidades pindmontaaži, välja arvatud potentsiomeetrid, mis joodetakse aukmontaažiga. Valikuvabadus on jäetud kasutajal toiteadaptri pistiku valimisel – võib kasutada nii plaadi peale käivat komponenti või siis ühendada pistik plaadiga juhtmete abil. Ülejäänud skeemi koosseisu kuuluvad komponendid nagu 6,3mm pistikud, 3PDT-lüliti, *bright* ja *scoop* lülitid, GAIN, TONE ja VOLUME potentsiomeetrid ning patareipesa on mõeldud juhtmete kaudu ühendamiseks.



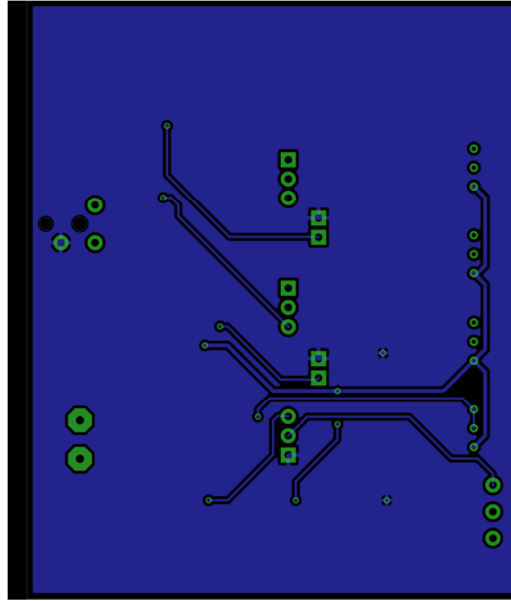
Joonis 4.1 Trükkplaadi elektriskeem



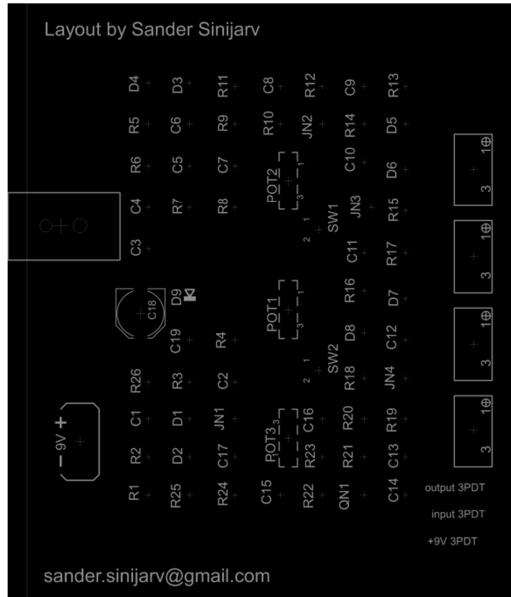
Joonis 4.2 Trükkplaadi kõik kihid



Joonis 4.3 Trükkplaadi ülemine vasekiht



Joonis 4.4 Trükkplaadi alumine vasekiht

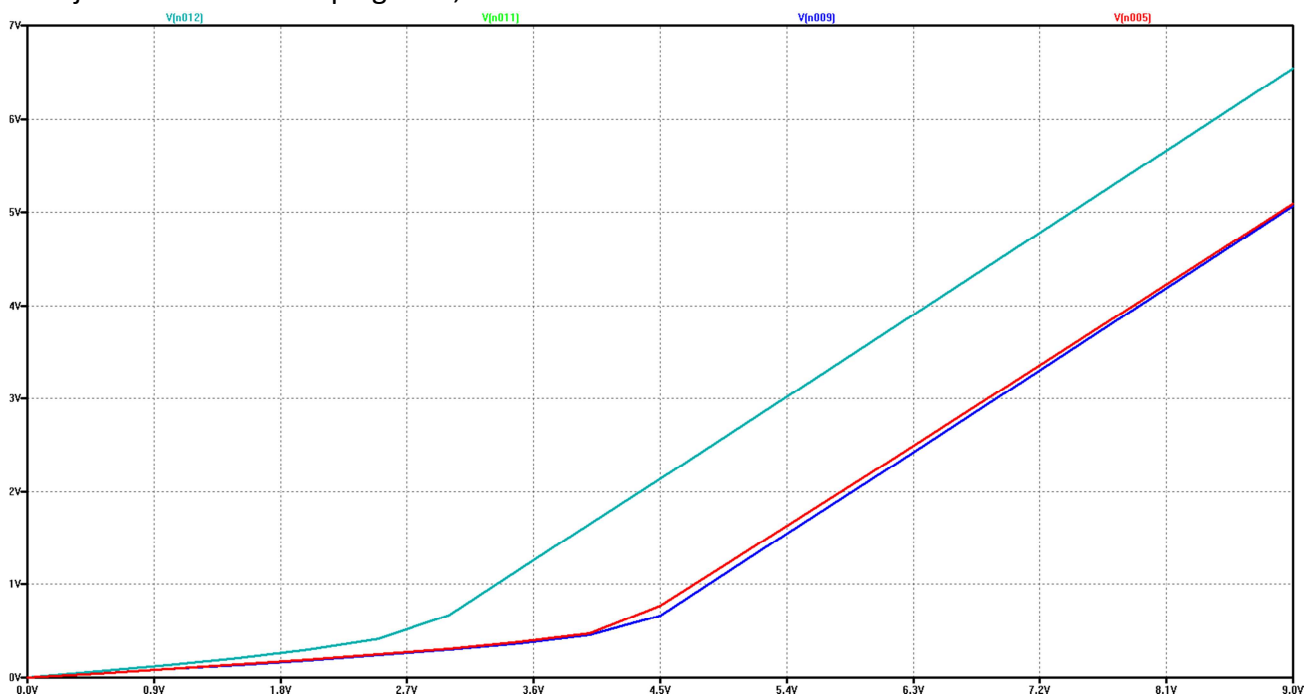


Joonis 4.5 Trükkplaadi siiditrükk

5. Skeemi simuleerimine

Skeemi simuleerimine on tehtud vabavaralise programmiga Ltspice IV. On vaadeldud erinevaid võimendusastmeid ja nende iseärasusi graafilisel kujul.

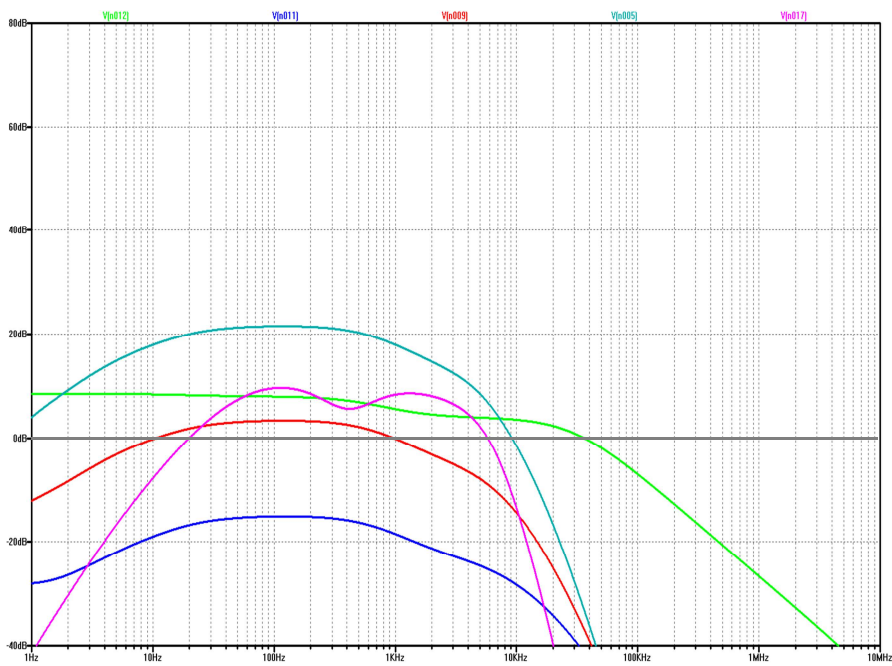
Alustuseks on toodud välja võimendusastmete transistoride tööpunktid. Eelpool mainitud on soovitatav valida J201 transistori (Lisa 3) neelupingeks 5V, kuid kasutaja võib reguleerida seda oma maitse järgi, sõltuvalt sellest, milline helikõla rohkem meeldib. Skeemi simuleerimisel on seatud neelutakisti väärtused sedasi, et kõikide väljatransistoride tööpunkt jääks enam-vähem samale pingele, välja arvatud esimese võimendusastme puhul (helesinine joon), kus on kasutatud MMBF5458 transistori ning, kus arvutustest selgus, et vajalik on valida neelupingeks 6,45V.



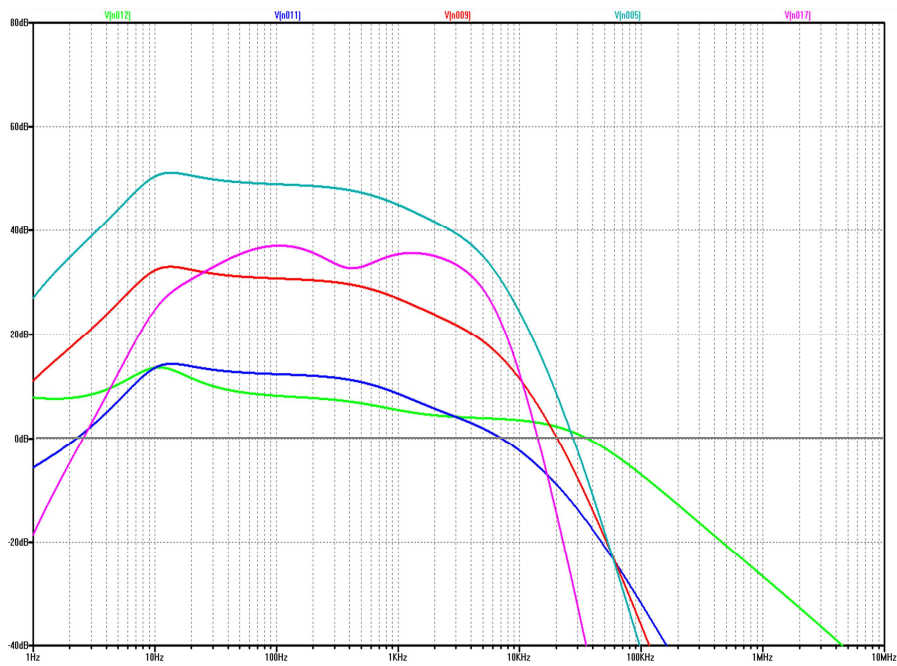
Joonis 5.1 Transistori ja toitepinge vaheline suhe

Simuleerimisel on uuritud nii võimendusastmete sagedustunnusjooni kui ka signaali käitumist 10ms ajavahemiku jooksul. Kuna *GAIN*-potentsiomeeter on tähtsa rolliga signaalikuju tekitamisel, on tehtud simuleerimised kolmel erineval korral: kui potentsiomeeter on täielikult maha keeratud, keskmises asendis ning täielikult peale keeratud. Tasub veel ära märkida, et esialgu on mõlemad *Bright* ja *Scoop* lülitid välja lülitatud.

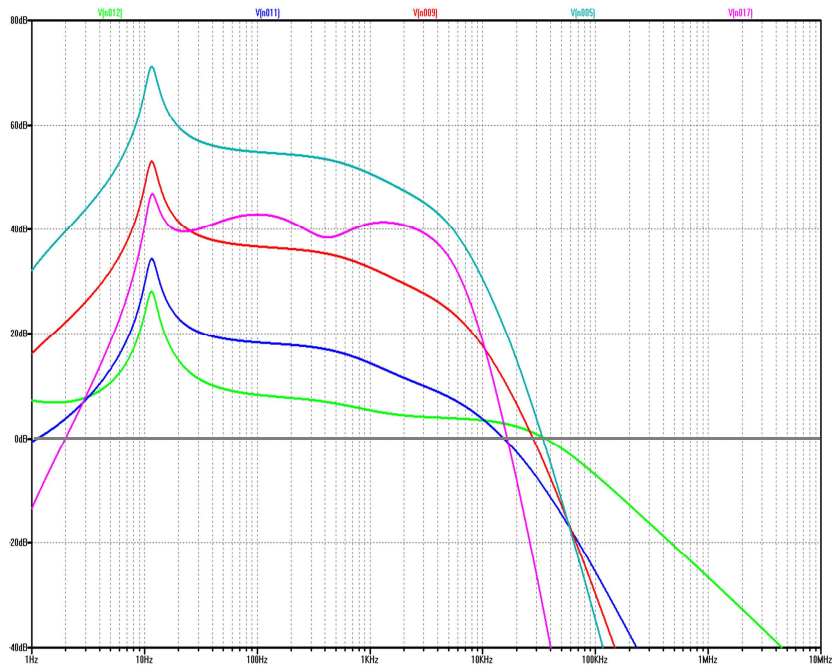
Järgnevatel graafikutel on toodud välja võimendusastme sagedustunnusjooned, kus vastavalt värvidele roheline, sinine, punane ja helesinine tähistavad esimest, teist, kolmandat ja neljandat (väljundahelas olevat) võimendusastet. Skeemi väljundit tähistab lilla sagedustunnusjoon.



Joonis 5.2 Skeemi väljundtunnusjooned, kui gain-potentsiomeeter on nullasendis



Joonis 5.3 Skeemi väljundtunnusjooned, kui gain-potentsiomeeter on keskmises asendis



Joonis 5.4 Skeemi väljundtunnusjooned, kui gain-potentsiomeeter on täielikult peale keeratud

Joonisel 5.2 on näha, et väljundsignaal on sisendist ligikaudu 12dB ehk 4 korda suurem. Kuna *GAIN*-potentsiomeeter on täielikult maha keeratud, siis teine võimendusaste on hoopis ligikaudu 12dB väiksem. Selle võimendusastme sagedustunnusjoone kasvu on näha järgnevatel joonistel, kui *GAIN*-potentsiomeetrit on juba peale keeratud.

Jooniseid 5.2 – 5.4 võrreldes on visuaalselt hea näha, kuidas *GAIN*-potentsiomeetri asend mõjutab signaali võimendust.

Joonisel 5.4 väljundtunnusjoont vaadates võib näha, et signaal on sisendiga võrreldes suurenenud umbes 45db, mis on ligikaudu 180 korda. Kõigi kolme potentsiomeetri asendi korral on näha lohku 400Hz juures. Selle tõenäoline tekkepõhjus tuleb väljundahelas olevatest silufiltritest.

Järgnevalt on skeemile tehtud transient analüüs, mis näitab signaali käitumist erinevates skeemi punktides 10ms jooksul. Nagu ka sagedustunnusjoonte puhul, on ka siin alustatud simuleerimist juhul, kui *GAIN*-potentsiomeeter on täielikult maha keeratud.

Järgnevatel joonistel tähendavad graafikute värvikombinatsioonist järgmisi pingeid:

Lilla – sisend

Heleroheline – toide

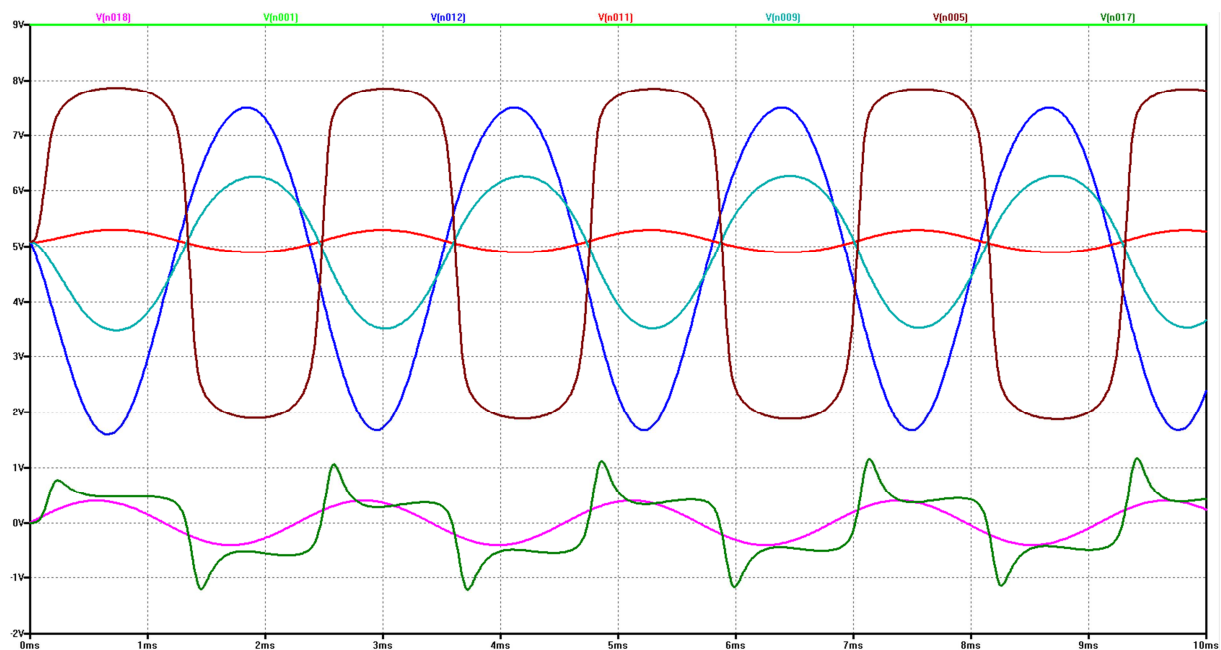
Tumesinine – 1. võimendusaste

Punane – 2. võimendusaste

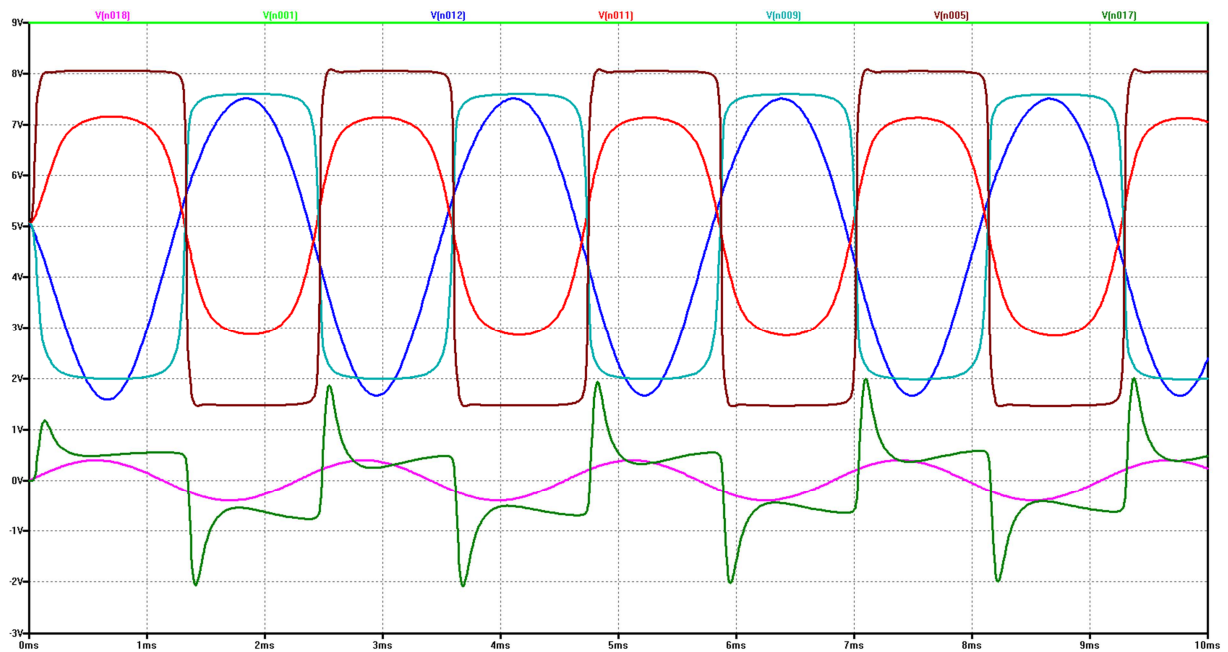
Helesinine – 3. Võimendusaste

Tumepunane – 4. võimendusaste

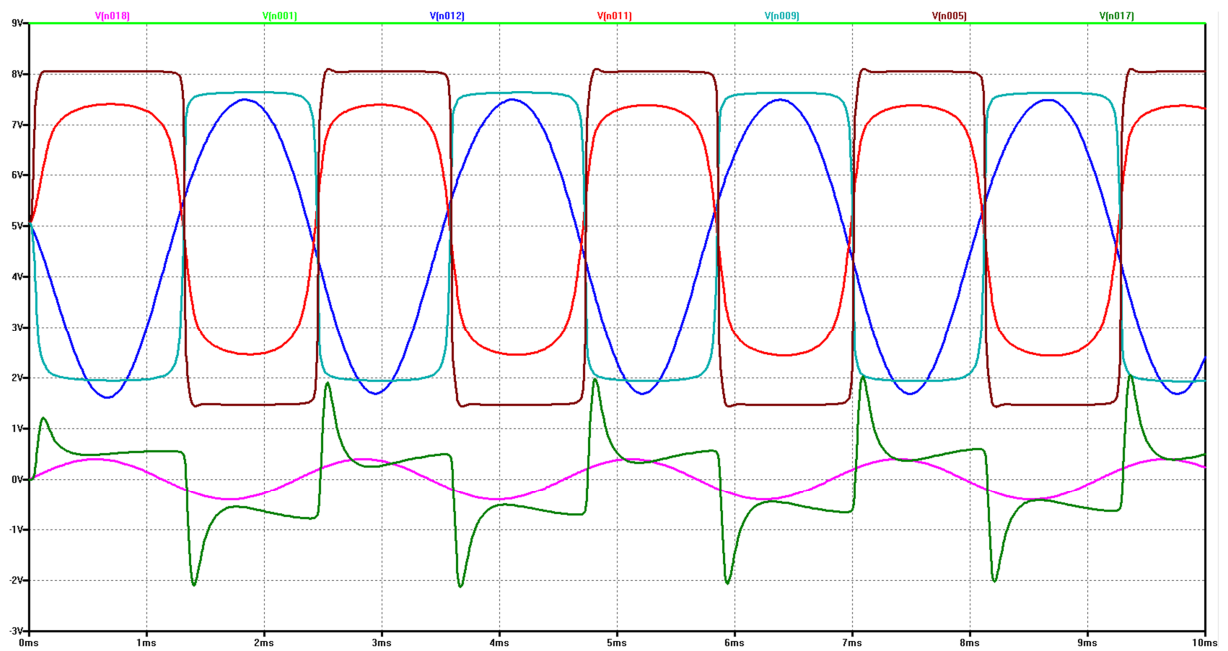
Tumeroheline - väljund



Joonis 5.5 Signaali transient analüüs, kui gain-potentsiomeeter on nullasendis



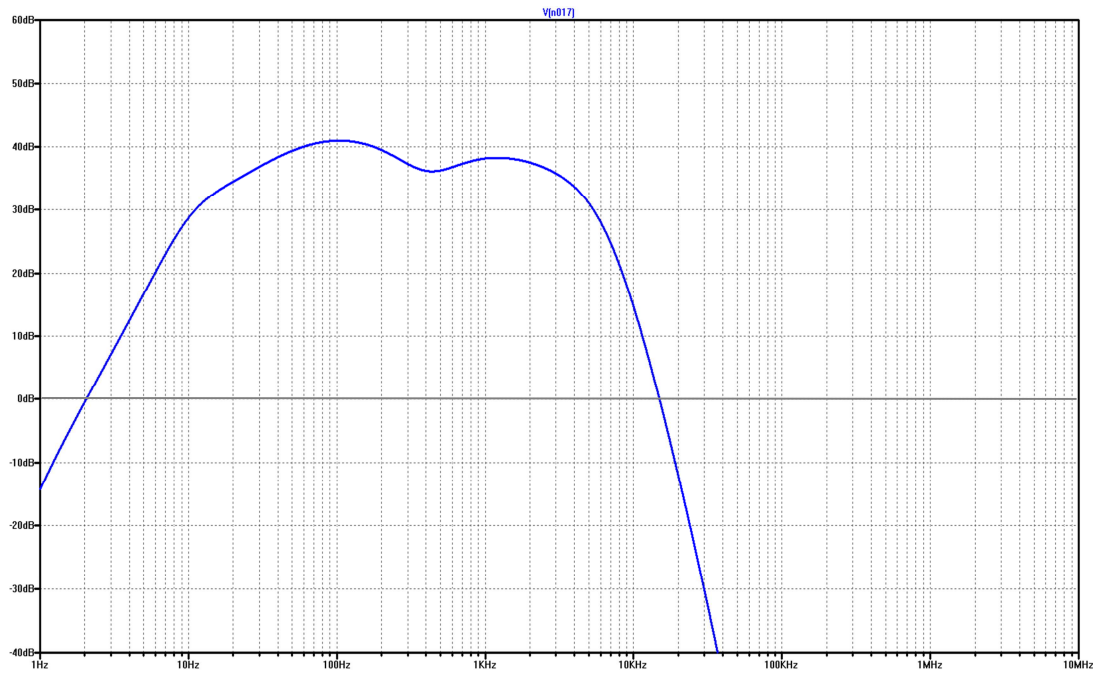
Joonis 5.6 Signaali transient analüüs, kui gain-potentsiomeeter on keskmises asendis



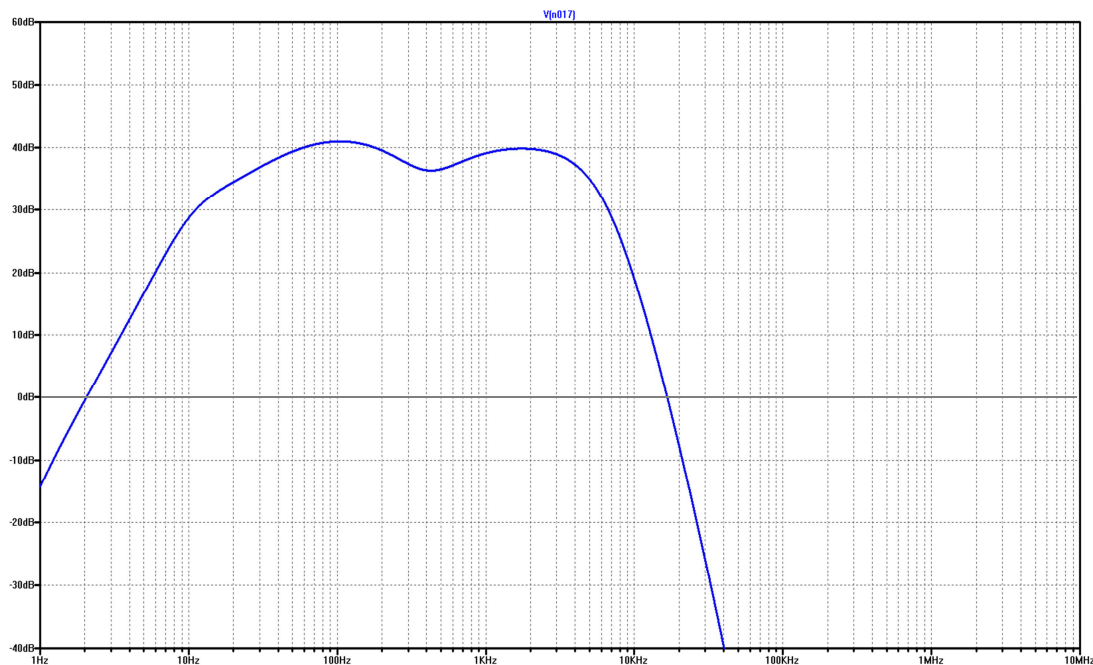
Joonis 5.7 Signaali transient analüüs, kui gain-potentsiomeeter on täielikult peale keeratud

Transient analüüsist on näha, kuidas signaal läheb ühe enam piiramisse vastavalt igale võimendusastmele. Tähtis on ka GAIN-potentsiomeetri asend, kuna sellest sõltub, kui palju signaali piiratakse.

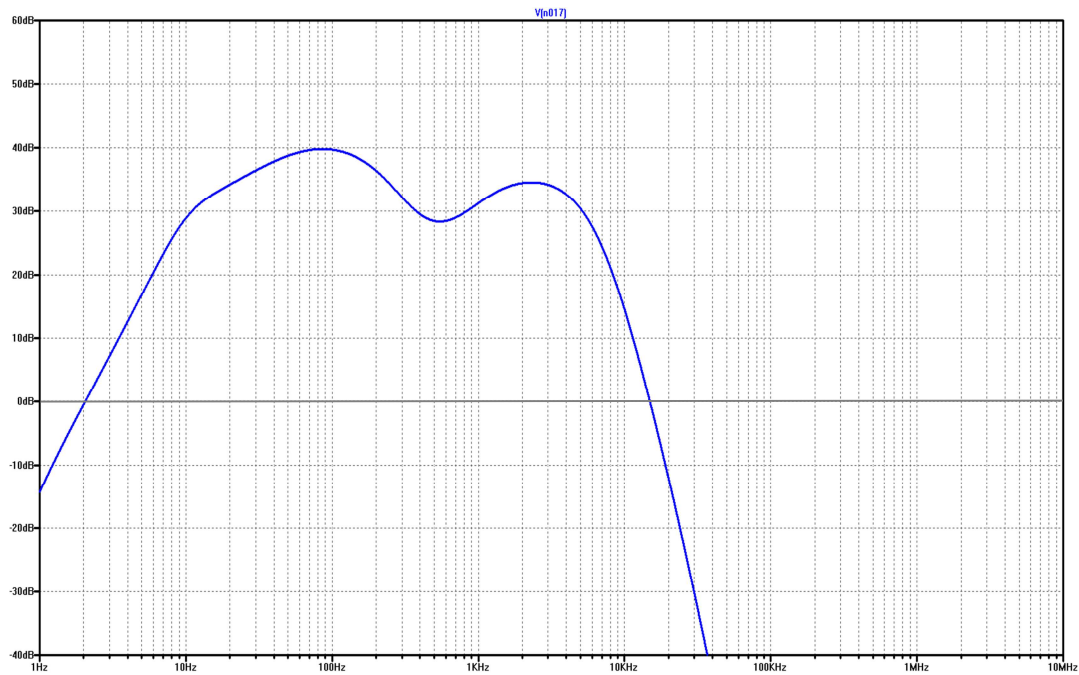
Kuna skeemis on ka kaks lülitit – *Bright* ja *Scoop*, mis vastavalt muudavad kõrgeid (5kHz ümber) ja keskmisi sagedusi (500Hz ümber), on tehtud ka selle jaoks eraldi simulatsioonid. Lihtsuse mõttes on sagedustunnusjoon tehtud ainult skeemi väljundi jaoks.



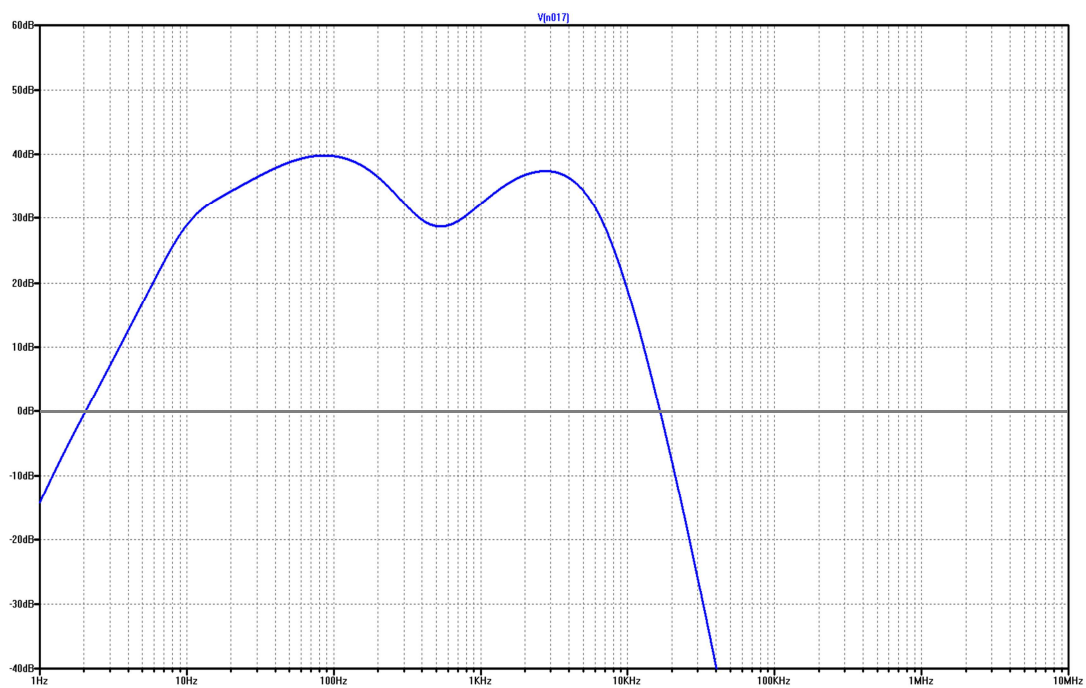
Joonis 5.8 Väljundtunnusjoon; Bright = 0; Scoop = 0



Joonis 5.9 Väljundtunnusjoon; Bright = 1; Scoop = 0



Joonis 5.10 Väljundtunnusjoon; Bright = 0; Scoop = 1



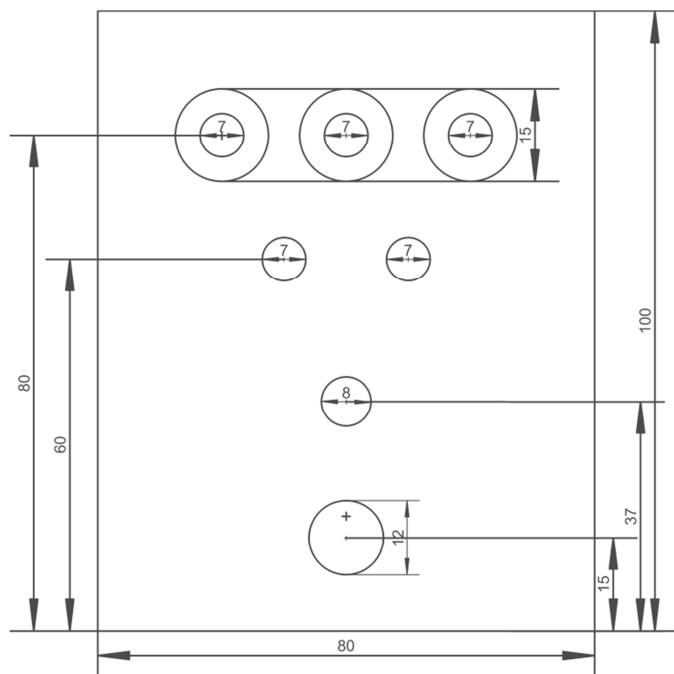
Joonis 5.11 Väljundtunnusjoon; Bright = 1; Scoop = 1

Nagu simulatsioonidest näha võib, siis *Bright*-lülitit tõstab karakteristiku tagumist poolt üles samal ajal, kui *Scoop*-lülitit vähendab keskmisi sagedusi (tekitades tunnusoone keskele sügavamad lohku).

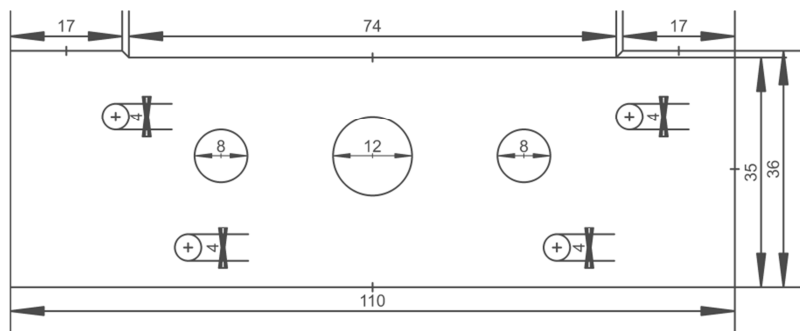
6. Eelvõimendi korpus

Antud eelvõimendi leiab kasutust olukordades, kus selle peale vajutatakse jalaga ning üleüldiselt keskkonnas, kus see võib saada lööke teistelt objektidelt. Et eelvõimendi oleks tükorras ka pärast tugevamat lööki, on tähtis, et sellel oleks vastupidav korpus.

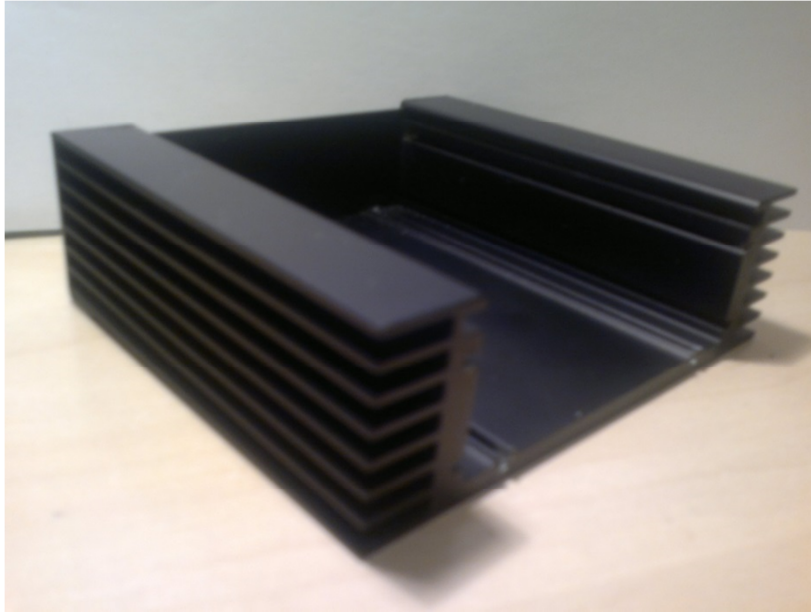
Kuna lülitid, potentsiomeetrid ja LED on trükkplaadiga juhtmetega ühendatud, annab see korpusel nende komponentide paigutamisel valikuvabadust. Kasutataval korpusel on otstarbekas asetada sisend- ja väljundpesa ning toitepesa otsa peale, mitte külgedele, sest külgedel asuvad radiaatorid. Radiaatorid pole mõeldud soojuse ärajuhtumiseks, kuna skeem ei vaja seda – ainus eesmärk on esteetiliselt ilusama välimuse andmine korpusele.



Joonis 6.1 Korpuse kaane pealtvaade



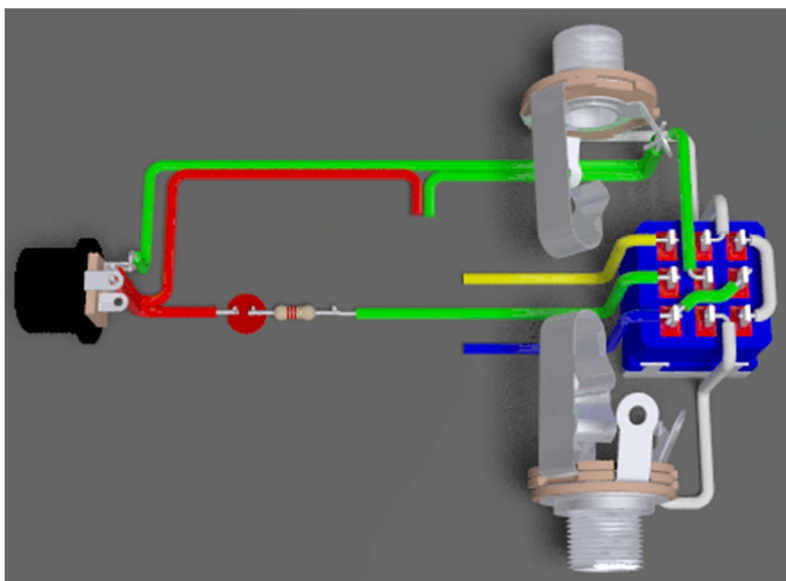
Joonis 6.2 Korpuse tagakülg



Joonis 6.3 Korpuse pilt ilma pealmise kaane ja tagaküljeta

Kogu eelvõimendi koosseisu kuulub veel 3PDT-lüliti (Lisa 4), millega on võimalik skeemi sisse ja välja lülitada. Teisisõnu saab lüliti vahetada kahe asendi vahel, kus esimesel juhul läheb elektrikitarri signaal skeemi ja väljub väljundpistikust töödeldud kujul. Teises asendis on sisend- ja väljundpistik omavahel otse ühendatud ehk signaalitöötlust ei toimu.

Praktikas omab see lüliti suurt tähtsust – näiteks kontsertolukorras järgneb loole, kus läks antud efekti vaja, teine lugu, kus on ülevõimendatud heli asemel vaja saada tagasi puhas heli. Ilma vastava lülitita oleks see võimatu ja selle asemel peab hakkama kaableid juba omavahel uuesti ühendama, mis oleks äärmiselt tülikas.



Joonis 6.4 3PDT-lüliti ühendamisskeem

Joonisel 6.4 on alumine pesa sisend ja ülemine väljund, vasakul on toitepesa. Sisend- ja väljundpesad on ühendatud lüliti keskmisele reale. Sinine joon tähistab skeemi sisendit ja kollane joon skeemi väljundit. Kuna joonisel on 3PDT-lüliti keeratud 90 kraadi vasakule, tasub märkida, et ridasid tuleb vaadata pikkupidi.

Kokkuvõte

Töö ülesandeks oli uurida antud eelvõimendi olemust ja selle skeemiosade mõju signaalile. Töö ülesannete teostamine toimus kahe programmiga: EAGLE 6.5 skeemi disainimiseks ja LTSpice IV skeemi simuleerimiseks.

Kuna eelvõimendi valmistamisel on trükkplaadi disainimine väga aeganõudev ja nõuab ka teatud kogemust, siis annaks seda kindlasti ka efektiivsemalt realiseerida. Üks moodus, kuidas eelvõimendit tulevikus töökindlamaks ja kompaktsemaks teha, oleks disainida see nii, et juhtmeid kasutada võimalikult vähe – võimalikult palju komponente otse trükkplaadile asetada.

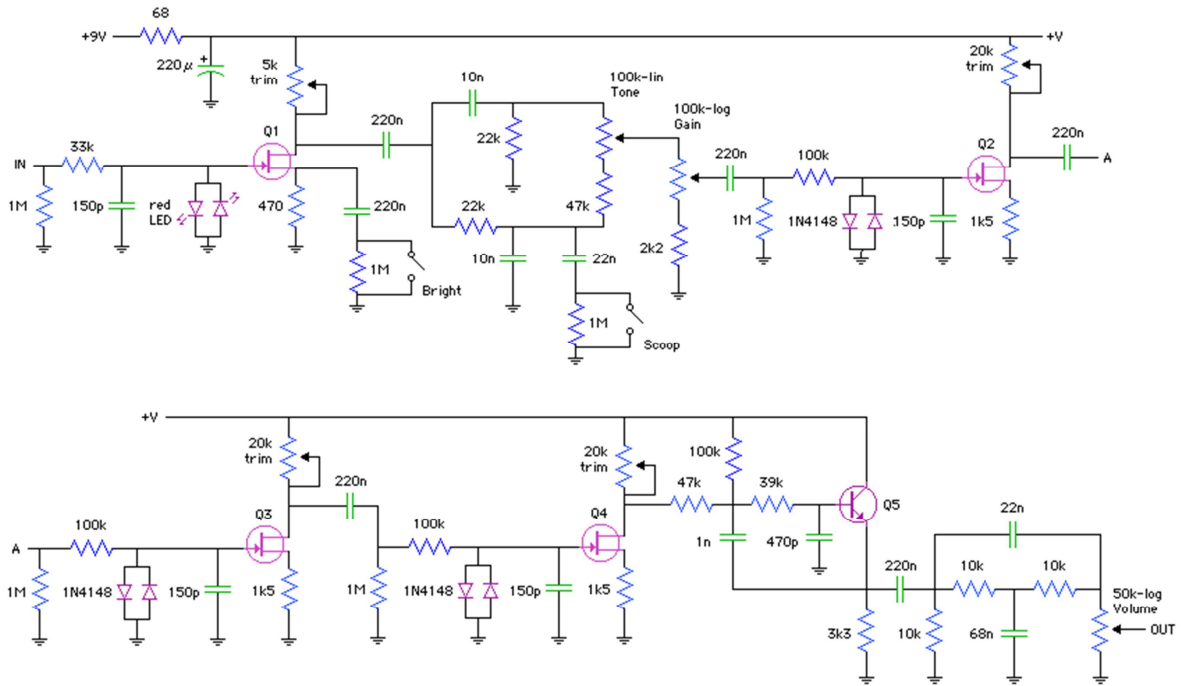
Antud eelvõimendi põhiosadeks on võimendusastmed, filterlülid, diodipiirajad ning ahelad, mida saab potentsiomeetrite abil muuta. Skeemis kasutatavatest komponentidest sõltub suurel määral, milline heli eelvõimendi väljundisse jõuab. Tulemuse hindamist võib pidada subjektiivseks, sest igal inimesel on unikaalne kuulmistaju ja sellest sõltuvalt võib ühele inimesele eelvõimendist tulev heli meeldida ja teisele mitte. Küll aga saab põhjaliku analüüsi tulemusel leida variant, mis on üldsusele vastuvõetav.

Viiteloetelu

1. Azabache preamplifier:
<http://www.runoffgroove.com/azabache.html>
2. Fender amplifiers:
<http://www.fender.com/en-EE/amps/>
3. Diode Clipping Circuit:
<http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode-clipping-circuits.html>
4. R.G. Keen: A Musical Distortion Primer:
<http://geofex.com/efffaq/distn101.htm>
5. Polukainen, Juho: Elektrikitarrin eelvoimendi, 2012
6. Output characteristic: n-channel JFET:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:JFET_n-channel_en.
7. Building JFET Preamplifiers for musical instrument use:
<http://www.instructables.com/id/Building-JFET-Preamplifiers-for-musical-instrument/?ALLSTEPS>
8. Storr, Wayne: Passive Low Pass Filter:
http://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_2.html
9. Storr, Wayne: Passive High Pass Filter:
http://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_3.html
10. A closer look at the Fetzer Valve:
<http://www.runoffgroove.com/fetzervalue.html>

Lisa 1

Azabache Preamplifier[1]



Q1 : 2N5457 adjust trim for 6V at drain
 Q2-Q4 : J201 adjust trims for 5V at drains
 Q5 : 2N5088

Azabache
 v1.0
 29 July 2012
 ©2012 runoffgroove.com

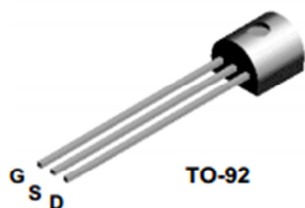
Lisa 2

2N5457 / 5458 / 5459 / MMBF5457 / 5458 / 5459

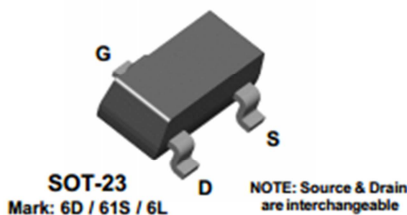


2N5457
2N5458
2N5459

MMBF5457
MMBF5458
MMBF5459



TO-92



SOT-23
 Mark: 6D / 61S / 6L

NOTE: Source & Drain are interchangeable

N-Channel General Purpose Amplifier

This device is a low level audio amplifier and switching transistors, and can be used for analog switching applications. Sourced from Process 55.

Absolute Maximum Ratings* TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{DG}	Drain-Gate Voltage	25	V
V_{GS}	Gate-Source Voltage	- 25	V
I_{GF}	Forward Gate Current	10	mA
T_J, T_{stg}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

Thermal Characteristics TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max		Units
		2N5457-5459	*MMBF5457-5459	
P_D	Total Device Dissipation	625	350	mW
	Derate above 25°C	5.0	2.8	mW/°C
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	125		°C/W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	357	556	°C/W

* Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06."

N-Channel General Purpose Amplifier

(continued)

Electrical Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
OFF CHARACTERISTICS						
$V_{(BR)GSS}$	Gate-Source Breakdown Voltage	$I_G = 10 \mu A, V_{DS} = 0$	- 25			V
I_{GSS}	Gate Reverse Current	$V_{GS} = -15 V, V_{DS} = 0$			- 1.0	nA
		$V_{GS} = -15 V, V_{DS} = 0, T_A = 100^\circ C$			- 200	nA
$V_{GS(off)}$	Gate-Source Cutoff Voltage	$V_{DS} = 15 V, I_D = 10 nA$	5457 5458 5459	- 0.5 - 1.0 - 2.0	- 6.0 - 7.0 - 8.0	V
V_{GS}	Gate-Source Voltage	$V_{DS} = 15 V, I_D = 100 \mu A$	5457	- 2.5		V
		$V_{DS} = 15 V, I_D = 200 \mu A$	5458	- 3.5		V
		$V_{DS} = 15 V, I_D = 400 \mu A$	5459	- 4.5		V

ON CHARACTERISTICS

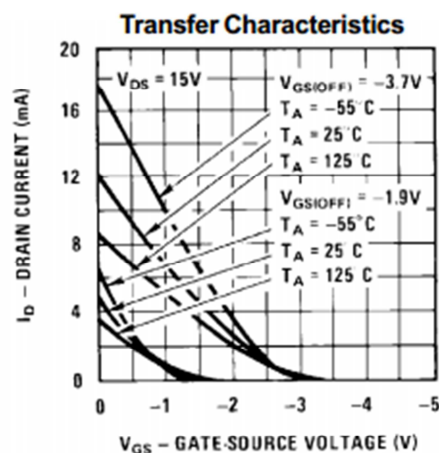
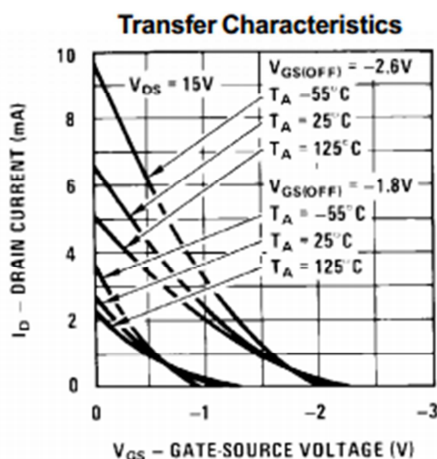
I_{DSS}	Zero-Gate Voltage Drain Current*	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0$	5457 5458 5459	1.0 2.0 4.0	3.0 6.0 9.0	5.0 9.0 16	mA mA mA
-----------	----------------------------------	-----------------------------	----------------------	-------------------	-------------------	------------------	----------------

SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

g_{fs}	Forward Transfer Conductance*	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 kHz$	5457 5458 5459	1000 1500 2000		5000 5500 6000	$\mu mhos$ $\mu mhos$ $\mu mhos$
g_{os}	Output Conductance*	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 kHz$			10	50	$\mu mhos$
C_{iss}	Input Capacitance	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 MHz$			4.5	7.0	pF
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 MHz$			1.5	3.0	pF
NF	Noise Figure	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 kHz, R_G = 1.0 megohm, BW = 1.0 Hz$				3.0	dB

*Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 ms$, Duty Cycle $\leq 2\%$

Typical Characteristics



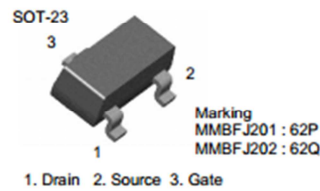
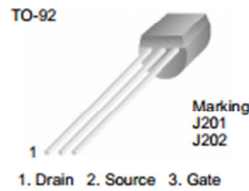
2N5457 / 5458 / 5459 / MMBF5457 / 5458 / 5459



January 2008

J201 - J202 / MMBFJ201 - MMBFJ203 N-Channel General Purpose Amplifier

- This device is designed primarily for low level audio and general purpose applications with high impedance signal sources.
- Sourced from Process 52.



Absolute Maximum Ratings* $T_J=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{DG}	Drain-Gate Voltage	40	V
V_{GS}	Gate-Source Voltage	-40	V
I_{GF}	Forward Gate Current	50	mA
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

NOTES:

1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150°C .

2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

Thermal Characteristics* $T_J=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value		Units
		J201 - J202	MMBFJ201 - MMBFJ203	
P_D	Total Device Dissipation	625	350	W
	Derate above 25°C	5.0	2.8	mW/ $^\circ\text{C}$
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	125		$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	357	556	$^\circ\text{C}/\text{W}$

* Device mounted on FR-4 PCB $1.6" \times 1.6" \times 0.06"$

Electrical Characteristics * $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Max	Units	
Off Characteristics						
$V_{(BR)GSS}$	Gate-Source Breakdown Voltage	$I_G = -1\mu\text{A}, V_{DS} = 0$	-40		V	
I_{GSS}	Gate Reverse Current	$V_{GS} = -20\text{V}, V_{DS} = 0$		-100	μA	
$V_{GS(off)}$	Gate-Source Cutoff Voltage	$V_{DS} = 20\text{V}, I_D = 10\text{nA}$	201	-0.3	-1.5	V
			202	-0.8	-4	
			203	-2	-10	
On Characteristics						
I_{DSS}	Zero-Gate Voltage Drain Current *	$V_{DS} = 20\text{V}, I_{GS} = 0$	201	0.2	1.0	mA
			202	0.9	4.5	
			203	4	20	
Small Signal Characteristics						
Y_{FS}	Forward Transfer Admittance	$V_{DS} = 20\text{V}, f = 1.0\text{kHz}$	201	500		μmhos
			202	1000		
			203	1500		

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

Lisa 4

3PDT-lüliti

