

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikan koulutusohjelma

Sulautettujen järjestelmien suuntautumisvaihtoehto

Tutkintotyö

Alexi Pehkoranta

PUTKIVAHVISTIN

Tampere 2010

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa täysputkivahvistin kitaralle. Putkitekniikan lisäksi on tarkoitus käyttää puolijohteiden mahdollistamaa tekniikkaa parantamaan vahvistimen ominaisuuksia sekä kehittää parannuksia, joita ei ole tarjolla tällä hetkellä myynnissä olevissa vahvistimissa. Työssä perehdytään hieman putkivahvistinten historiaan sekä vahvistinsuunnittelun perusteisiin. Lisäksi käydään tarkasti läpi tämän työn vaiheet suunnittelusta toteutukseen.

Työn tarkoitus on antaa selkeä kuva siitä, millainen projekti on suunnitella nykyaikainen putkivahvistin, ja auttaa ymmärtämään, millaisia etuja puolijohteita käyttämällä voidaan saavuttaa. Modernin ja vanhan tekniikan sekoittaminen tekee tästä työstä erityisen mielenkiintoisen.

Putkivahvistimet sekä niiden kehitys ovat olleet laskusuhdanteessa 80- ja 90 -luvulla, mutta viime vuosina ne ovat jälleen osoittaneet ylivoimaisuutensa puolijohteisiin verrattuna.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to design and engineer an all-tube guitar amplifier. In addition to applying tube technique, the purpose is to use modern semiconductors to reach higher musical quality and to adapt old and new techniques to create qualities that commercial amplifiers do not have. This paper also takes a look at the history of tube amplifiers and the basics of amplifier designing. The main point of interest, however, is in designing and engineering a prototype.

This paper sets out to give a clear image of the process of designing and engineering a tube amplifier and to provide some perspective as to what kind of benefits can be achieved by using semiconductors. Combining old and modern techniques is what makes this project interesting. Tube amplifiers have been out of fashion in the 80's and 90's, but lately tubes have been gaining popularity again.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun sulautettujen järjestelmien linjan opinnäytetyönä.

Aiheen valinta oli aluksi hieman hankalaa, kunnes mieleeni tulivat kitaravahvistimet. Musiikki on ollut tärkeä harrastus minulle koko ikäni, joten aiheen valinta osoittautui lopulta erittäin mielenkiintoiseksi. Aiheen mielenkiintoisuus oli työtä tehdessäni tärkeää, sillä kouluissa ei ole opetettu putkitekniikkaa enää vuosiin. Tämän takia jouduin lähtemään liikkeelle aivan alusta. Onneksi Internetistä löytyy paljon alan sivustoja sekä foorumeja, joilla alan harrastajat jakavat mietteitään.

Haluan kiittää kaikkia opettajiani Tampereen ammattikorkeakoulussa, sillä heidän opetus- ja ohjaustyönsä tuloksena pystyin tämän työn tekemään. Kiitän erityisesti Kai Poutasta työn ohjaamisesta. Esitän myös erityiskiitoksen Ari Rantalalle avusta sekä opastuksesta. Suurimmat kiitokset kuitenkin perheelleni heidän monin tavoin tarjoamastaan tuesta koko opiskelujeni ajan.

Tampereella joulukuussa 2010

Aleksi Pehkoranta

TIIVISTELMÄ	ii
ABSTRACT	iv
ALKUSANAT	iv
LYHENNELUETTELO	6
1 JOHDANTO	7
2 SUUNNITTELUN PERUSTEET	8
3 SUUNNITTELU	9
3.1 Etuaste	9
3.2 Taajuuskorjain	10
3.3 Pääteaste	11
3.4 Virtalähde	14
3.5 Kotelo	16
3.6 Piirilevyt	17
4 TOTEUTUS	19
4.2 Komponenttien kiinnitys	21
4.3 Testaus	22
4.4 Kotelon viimeistely	23
5 YHTEENVETO	24
LÄHTEET	25

LYHENNELUETTELO

BAB	Bias auto balancer, bias-virran virtapeili
DC	Direct current, tasavirta
MM	Millimetri, mittayksikkö
NM	Nanometri, mittayksikkö
NOS	New – old stock, käyttämätön, ennen 80-lukua valmistettu
VAC	Volts alternative current, jännite vaihtovirtaa
VVR	Voltage variable regulator, jännitelähteen skaalain

1 JOHDANTO

Lähes kaikki tämän päivän muusikot, etenkin kitaristit, käyttävät putkivahvistimia. Kyseessä on tekniikka, joka on keksitty yli sata vuotta sitten ja säilynyt siitä saakka pääpiirteiltään samana. Puolijohteiden kehittymisen myötä putkivahvistimien asema kuluttajaelektronikassa on romahtanut, mutta keskusteltaessa aiheesta muusikoiden kanssa käy ilmi, että niiden asema on yhä vankka, vaikka ne eivät insinöörin näkökulmasta enää vaikutakaan järkeviltä.

Studios ovat käyttäneet putkivahvistimia niiden alkuajoista lähtien. Alussa tosin lähinnä sen vuoksi, että se oli ainoa olemassa oleva tekniikka. 80- ja 90-luvuilla transistorivahvistimet valtasivat markkinoita niiden pienemmän koon ja tehon kulutuksen sekä halvemman hinnan takia. Transistorivahvistinten tuottama särö on kuitenkin ihmiskorvaan kylmän ja ohuen kuuloista. Tämän takia studios ja suuri osa nuorista muusikoista ovat viime vuosina vaihtaneet putkitekniikkaan. Seuraavassa esitetään lähempi katsaus tähän johtaneisiin syihin sekä putkitekniikan historiaan, minkä jälkeen tutustutaan tämän työn suunnitteluun sekä toteutukseen.

2 SUUNNITTELUN PERUSTEET

Putkivahvistimia on käytetty alusta saakka sähköisten instrumenttien vahvistuksessa. Ne ovat vertaansa vailla vielä tänäkin päivänä. Transistorit eivät useimpien ihmisten mielestä ole yhtä hyviä soitinten vahvistukseen.

Lähdettäessä suunnittelemaan mitä tahansa vahvistinta ensimmäinen huomioon otettava asia on, vahvistimen käyttötarkoitus. Kitaran vahvistin suunnitellaan toimimaan kitaran tuottaman taajuusalueen sisällä.

Vahvistimen käyttötarkoitus tulee myös ottaa huomioon, sillä kotikäytössä monelle riittää kahden watin pieni combo-vahvistin, jossa on vahvistinosa sekä kaiutin samassa kotelossa. Rock-bändin jäsen saattaa kuitenkin tarvita esimerkiksi 200 wattia vahvistinta kohden sekä useita kaiutinelementtejä. Tällöin ainoa järkevä ratkaisu on niin sanottu nuppi - kaappi-yhdistelmä, jossa on erillinen vahvistinnuppi, joka liitetään kaiutinkaappiin, jossa puolestaan on yleisesti kaksi tai neljä kaiutinelementtiä.

Toinen seikka, joka vahvistinta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, on musiikkityyli. Esimerkiksi country-muusikko haluaa vahvistimensa toistavan kitaran soundin mahdollisimman puhtaana, jolloin kaikki särö on ei-toivottua. Rock-muusikko sen sijaan haluaa vahvistimen, jolla voi soittaa sekä puhtaasti että haluttaessa särön kanssa.

Vahvistinsuunnittelussa on aina tehtävä kompromisseja, koskevat ne sitten hintalaatusuhdetta tai äänimaailmaa.

3 SUUNNITTELU

Laitteen suunnittelu aloitettiin jo alkuvuodesta 2010. Idea tähän aiheeseen tuli luokkakaveriltani Henri Lukinmaalta, joka itse teki opinnäytetyönään DA -muuntimen hifi-käyttöön. Aluksi päätettiin, että vahvistimen tulisi olla suhteellisen pienitehoinen – kuitenkin niin, että se tehoiltaan riittäisi bändisoittoon ja pieneen keikkailuun. Kun teholuokka oli päätetty, oli aika miettiä alustavasti rakennetta. Etuaste päätettiin suunnitella Mesa Engineeringin Dual Rectifier -vahvistimen pohjalta. Näin siksi, koska sillä saa aikaan erittäin monipuolista ja hyvänkuuloista säröä, joka oli tämän projektin päämääränä. Koska etuastesärö kärsii dynamiikan puutteesta, haluttiin laitteen kykenevän tuottamaan myös päätesäröä. Jotta päätesäröä saataisiin aikaan myös pienillä äänenvoimakkuuksilla, laitteen virtalähteen tulisi olla skaalautuva. Aluksi ideana oli, että laite tuottaisi täydellä teholla noin 50 watin äänenpaineen. Tämä olisi ollut mahdollista, mutta koska valittiin päätteen katodibiasointi ns. fixed-bias-kytkennän sijaan, olisivat kustannukset sekä laitteen koko kasvaneet liikaa. Lopulta tultiin lopputulokseen, että noin 30 wattia on riittävä teholuokka. Seuraavassa kerrotaan tarkemmin suunnittelun eri vaiheista.

3.1 Etuaste

Pohjaksi valittuun Dual Rectifier -etuasteeseen valittiin putkiksi neuvostoliittolaiset ”military-specs” 6n2p -kaksoistriodit. Putkia etuasteessa on kolme kappaletta. Dual Rectifierin tapaan myös tämä vahvistin on kaksikanavainen. Kanavat tosin eroavat alkuperäisistä huomattavasti ja kytkentä on muutenkin muuttunut omanlaisekseen, joten voidaan hyvillä mielin sanoa kytkennän olevan omaa käsialaa. /2.

Ensimmäinen eli Blue-kanava sisältää neljä vahvistuskierrosta. Red-kanava sen sijaan sisältää viisi vahvistuskierrosta. Aluksi signaalin tullessa

sisään sitä vain vahvistetaan ilman sen erityisempiä ominaisuuksia. Ensimmäisestä putkesta on käytössä vain toinen triodi. Kun ensimmäinen vahvistuskierros on tehty, saavutaan Gain-säädölle. Tässä vaiheessa kanavat alkavat erota toisistaan.

Red-kanava on tarkoitettu kasvattamaan runsas ja tasainen särösaundi. Gainia säätämällä signaalia on mahdollista säröyttää jo toiselta putkelta lähtien. Koska matalat taajuudet eivät säröydy yhtä kauniisti kuin korkeat, on Red-kanavan taajuusvaste hieman suppeampi kuin Bluen. Red-kanavalla on myös tarkempi vaste soittajan tuottamaan signaaliin. Saundia voisi kuvailla tarkaksi ja erottelevaksi. Tämä on toteutettu käyttämällä pienempiä kondensaattoreita läpi koko etuasteen.

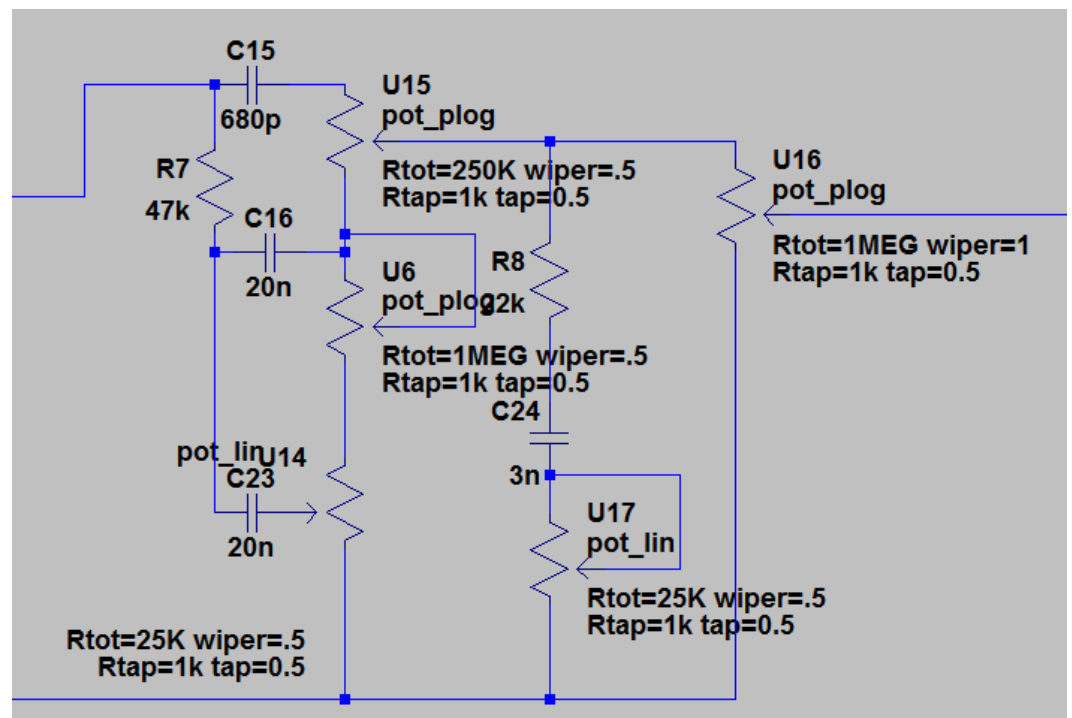
Blue-kanava hyppää Gain-säätimen jälkeen kokonaan yhden triodin yli. Tämän lisäksi käyttämällä suurempia kondensaattoreita tällä kanavalla on laajempi taajuuskaista. Tämä kanava on hieman löysempi tuntumaltaan verrattuna Rediin. Haluttaessa myös tämän kanavan voi säröyttää jo etuasteella, mutta parhaimmillaan se on vain hieman rosoisena blues/rock-kanavana.

Kytkenäkaaviot liitteessä 1.

3.2 Taajuuskorjain

Mesan taajuuskorjain on riittävän monipuolinen ja tarkoitukseen sopiva, joten siihen ei tehty muutoksia. Molemmille kanaville on omat täysin vastaavat säädöt. Kyseisiä säätöjä on treble, middle, bass sekä äänenväriin säätö. Parempi termi tälle säädölle olisi ehkä ”läsnäolo”, sillä se vaikuttaa ikään kuin äänen lähteen edessä olisi verho tai jokin muu este. Näiden säätöjen lisäksi molemmille kanaville on oma volume-säätö. Monen muusikon mielestä VVR:ää käyttävistä useampikanavaisista laitteista ei saada aikaan lainkaan puhdasta saundia. En tiedä, tehtiinkö tässä siis joku

valtava keksinnön lisäämällä tähän väliin volume-potentiometri. Potentiometri, jolla säädetään päätteelle menevän signaalin amplitudia, jolloin toista kanavaa voi pitää kovalla ja toista pienemmällä. Tällöin VVR:n asetuksista riippumatta toinen kovemmallalla oleva kanava säröyttää päätettä ja toinen kanava ei, jolloin saadaan myös puhdasta ääntä. Näin ollen laitteessa on kolme eri volume-säätöä, jotka kaikki käyttäytyvät hieman eritavoin tehden vahvistimesta erittäin monipuolisen ja laaja-alaisen: heavystä jazziin.



Kuvio 1: Taajuuskorjaimen kytkentäkaavio.

3.3 Pääteaste

Pääteasteessa on eniten uusia ratkaisuja, joita ei ole tällä hetkellä kaupallisissa vahvistimissa. VVR:n saa joiltain pieniltä pajoilta jälkiasennuksena master volumen tilalle, mutta tämä ei ole hyvä ratkaisu. VVR:ää käsitellään tarkemmin virtalähteen yhteydessä. Toinen uusi juttu on BAB eli biasvirtapeili. Ominaisuus on lähes jokaisessa high end hifi -vahvistimessa, mutta sen sijaan sitä ei ole kitaroissa. /1

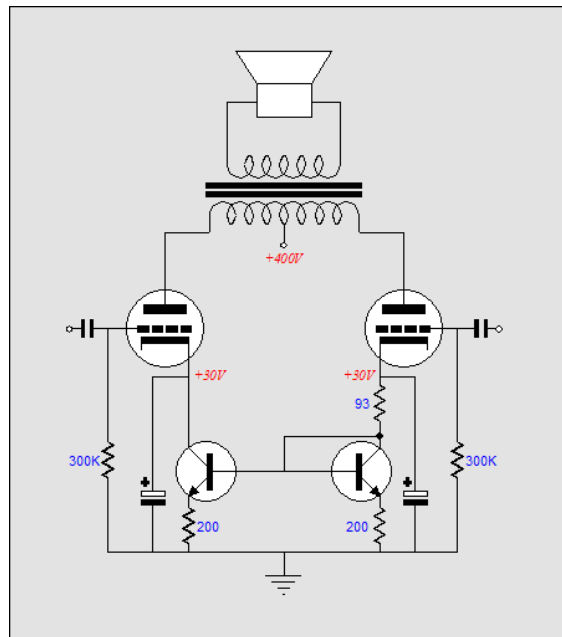
Putkiksi päätteeseen valittiin Neuvostoliitossa valmistetut ”military specs” 6p3s -putket. Nämä putket ovat käytännössä kopioita länsimaisista 6l6 – putkista, mutta vain huomattavasti halvempia. NOS 6l6 -putket maksavat nykyään paljon. 6p3s -putket löysin ebay:n kautta hyvin edullisesti. Kyseiset putket ovat myös NOS -putkia, mutta ne on pelastettu puretusta sotilastukikohdasta. NOS:t ovat ylivertaisia nykyään valmistettaviin putkiin niin laadun kuin kestävyytensä puolesta.

Pääteaste toimii A-luokassa. Tästä on tiettyjä etuja verrattuna AB-luokkaan ~~näiden~~. A-luokassa särö on pelkkiä parillisia harmonisia monikertoja signaalista, jonka ihmiskorva aistii miellyttävänä. AB-luokassa mukaan tulee ylimenosärökomponentti. Eriluokkaiset vahvistimet kuulostavat erilaiselta ja niiden paremmuus on mielipideasia. Suurin heikkous A-luokkaisella vahvistimella on vaatimaton hyötysuhde, joka on vain noin 25 prosenttia. Tämä tekee A-luokasta pääosin pienitehoisten laitteiden luokan.

Pääteasteeseen voidaan lukea myös Schmidt-kytkentää käyttävä vaiheen puolittaja. Tässä on käytössä 6n2p-kaksoistriodi, joten tehtävä onnistuu yhdellä putkella.

Vaiheenkääntäjältä signaali menee suotokondensaattorin läpi pääteputkien hilalle. Pääteputket ovat katodibiasoidussa kaksinkertaisessa push-pull-konfiguraatiossa. Tämä tarkoittaa sitä, että pääteputkipareilla voi olla eri biasvirranarvo säädettyinä. Toistaiseksi molemmat parit on säädetty 41 milliampeeriin, joka on 90 prosenttia tietolehtisen kertomasta maksimiarvosta. 90 prosenttia on kohtalaisen korkea verrattuna yleisesti käytössä olevaan 70 prosentin arvoon. Kuumempi biasointi kuitenkin antaa lämpimämmän äänensävyä. Tämä luultavasti lyhentää putkien käyttöikä.

Katodibiasoinnin yhteydessä on virtapeili molemmilla putkipareilla. Tämä on toteutettu kahdella 2N3004-transistorilla. Koska transistorit eivät ole signaalitiellä, laite on edelleen täysputkivahvistin. Tästä kytkennästä saatava etu on se, että kun transistorit peilaavat jatkuvasti parin molemmalle putkelle saman virran, ylimääräisten häiriöäänien määrää saadaan kutistettua. /1



Kuvio 2: Virtapeilin toimintaperiaatekuva. /1

Koska neljä kappaletta 6p3s-putkia näkyy noin 3400 ohmin impedanssina kaiuttimelle, tarvitaan päätemuuntaja. Muuntajaksi valittiin paremmin uruistaan tunnetun kanadalaisen Hammondin valmistaman päätemuuntaja. Osa valmistajista alimitoitaa muuntajat reilusti, esimerkiksi valitsemalla 100-wattisen vahvistimen päätemuuntajaksi 50 watin muuntajan. Tämä luo tietyn äänimailman, koska se kutistaa taajuuskaistaa tuottaen enemmän middle-voittoisen äänen. Tässä vahvistimessa haluttiin signaali ulos koko kaistalla, joten käytettiin muuntajaa, joka on mitoitettu 50 watile.

Pääteasteen sekä vaihenjakajan kytkentäkaavio on liitteessä 1.

3.4 Virtalähde

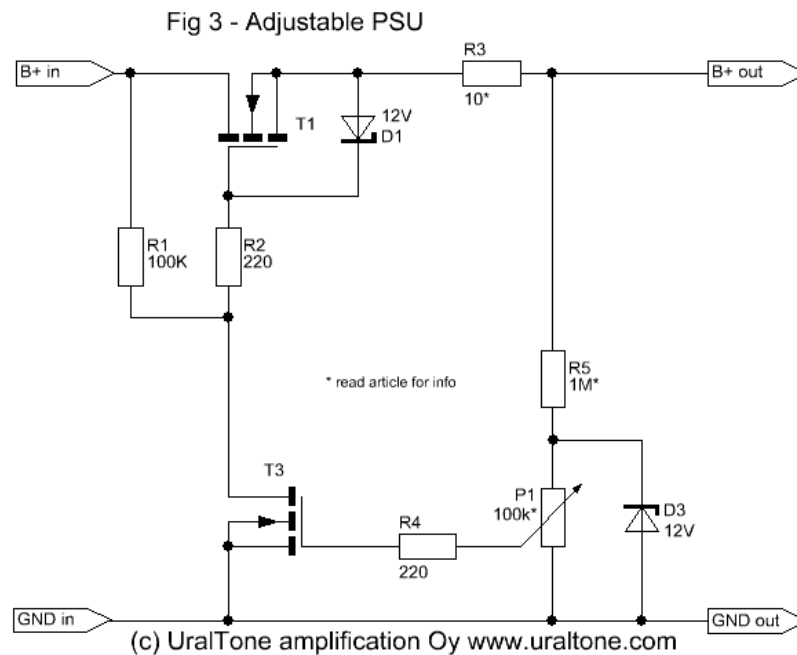
Virtalähteen suunnittelu oli varsinaisen kytkennän ongelmallisimman osuus. Ongelma aiheutui siitä, että sisäänmenossa oli 345 VAC virtualisoimassa muuntajan toision jännitettä. Kun tämä tasasuunnattiin, laitteen ulostulossa esiintyi mystisiä häiriöitä. Laite alkoi esimerkiksi simulaatioissa resonoimaan ja aiheutti ulostuloon useamman kilovoltin jännitteen. Tämä ominaisuus poistui käyttämällä DC-lähdettä. Myöhemmin selvisi, että LTSpicessa on bugi, joka aiheuttaa vääriä tuloksia, mikäli verkon ja laitteen välissä ei käytetä muuntajaa. Koska simulaatioissa käytettiin DC-lähdettä, ei tasasuuntaaja ole mukana kytkentäkaaviossa. Todellisuudessa se on muuntajan toision ja ensimmäisen kondensaattorin välissä.

Varsinainen virtalähde sisältää kolme eri osastoa. Ensimmäisenä näistä on tasasuuntaus ja suodatus. Koska laitteen haluttiin olevan täysi putkilaite, tasasuuntauksen hoitaa 5U4GB -kokoalton tasasuuntausputki. Putken jälkeen tulevat suodatuskondensaattorit. Jotta ripple-jännite saataisiin pieneksi, tässä käytettiin 220 mikrofaradin kondensaattoria. Koska jännite on tasasuuntauksen jälkeen 490 volttia, jouduttiin laittamaan kaksi 450 V -kondensaattoria sarjaan. Näiden rinnalla ovat 330k:n vastukset varmuudeksi – mikäli toinen kondensaattori hajoaa, toinen saattaa säilyä ehjänä. Näiden rinnalla on vielä yhden mikrofaradin sekä 47 nanofaradin kondensaattorit, jotta kaikki halutut taajuudet saataisiin suodatettua.

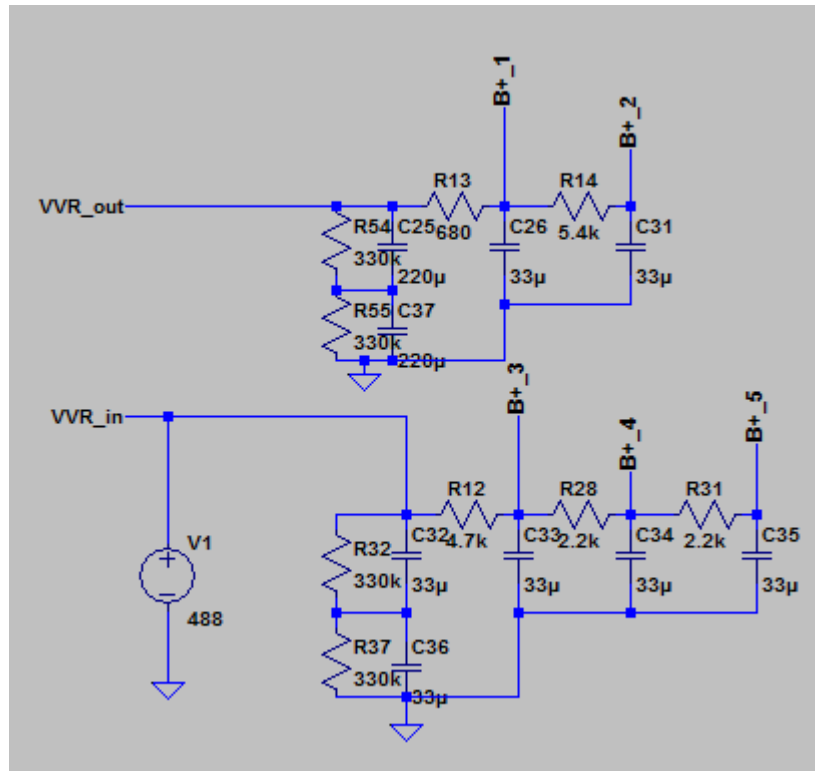
Tästä pisteestä virtalähde jakautuu kahteen lohkoksi: etuasteen lähteeseen sekä pääasteen lähteeseen. Etuasteelle signaali menee 4.7k:n vastuksen läpi, jolloin jännite laskee alle 450 volttiin. Seuraavaksi on vuorossa jännitteen alentamista, jolloin saadaan kaikki kolme eri jännitettä etuasteputkille.

Päätelähteessä on 20 watin vastus, koska hieman liian korkeajännitteisen muuntajan takia jännitettä pitää pääteputkille alentaa yli 100 volttia.

Tämän jälkeen tulee VVR, joka skaalaa päätejännitettä. Täten vahvistimen teho voidaan skaalata noin 2–35 watin välillä. Tästä on se suuri etu, että päätesäröä voidaan tuottaa kerrostaloasuntoon sopivalla äänenvoimakkuudella. Samalla kun VVR skaalaa jännitettä, se myös reguloi sen poistaen näin ripple-komponentin. Varsinainen tästä saatava hyöty on kyseenalainen. VVR:n jälkeen tulevat samat kondensaattori - vastus-kytkennät, jotka ovat myös etuasteessa. Päätteelle tarjoillaan kahta eri jännitettä: maksimissaan noin 370 voltia anodille ja noin 300 voltia 2. hilalle. /3.



Kuvio 3: VVR:n kytkentäkaavio.

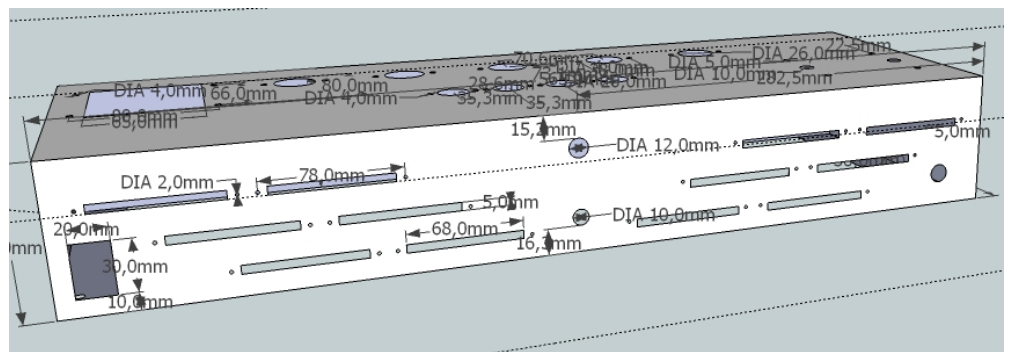


Kuvio 4: Virtalähteen kytkentäkaavio.

3.5 Kotelo

Kotelon suunnittelu oli pitkien simulointien ja vastoin käymien jälkeen erittäin mukavaa vaihtelua. Siihen käytettiin Google Sketch Up -ohjelmaa. Kotelon valmistuksesta huolehti jyvaskyläläinen Vuorimies OY. Kun kotelo lähdettiin suunnittelemaan, tarkoituksena oli asentaa se jo ennestään löytyvään tolex-verhoiltuun nuppiin mutta lopulta päätettiin rakentaa nuppi itse. Koska lähes kaikki kaupalliset kitaravahvistimet näyttävät lähestulkoon samalta, päätettiin suunnitella ulkoasu siten, että se erottuu massasta. Laitetta katsoessa pistää ensimmäisenä silmään, että siinä on käytetty liukupotentioetreja tavanomaisten väännettävien sijaan. Näillä potentiometreillä varustettuja vahvistimia ei ole, joten ulkoasu eroaa selvästi aiemmista. Liukupotentioimetrit ovat myös miellyttävämmän näköisiä. Ainoa seikka, joka jää nähtäväksi, on kyseisten potentiometriä kestävyyden vahvistinkäytössä. Hintataso on suurin piirtein sama kuin perinteisissä, mutta pitkäaikaisen raskaan käytön aiheuttama kuluminen

hieman epäilyttää. Toinen ulkoinen piirre, jolla laite erottuu muista, on nupin verhoilu. Perinteisesti tässä on käytetty tolexia tai nahkaa alumiinisomistein. Tässä laitteessa päädyttiin kuitenkin käyttämään eräänlaista huopaa. Huopa tuo lämpöä ja pehmeyttä designiin. Kaiken lisäksi huopa oli myös huomattavasti nahkaa edullisempaa, joten se sopi opiskelijabudjettiin paremmin. Kaksi millimetriä paksusta alumiinista valmistettu kotelo viimeisteltiin maalaamalla se tummanharmaaksi. Potentiometrien nupit saatetaan jossain vaiheessa korvata mustilla nykyisen valkoisen sijaan. Jossain vaiheessa on vielä tarkoitus tehdä nuppiin eturitilä. Muutamia ideoita tästä on jo olemassa, mutta lopullisen version tehdään luultavasti vasta joululomalla. Myös merkinnät potentiometreihin ja muihin osiin lisätään lomalla. Tarkoituksena olisi, että viimeistely olisi hillitty mutta tyylikäs.



Kuvio 5: Alustava Google Schetch Up -mallinnos.

3.6 Piirilevyt

Piirilevyjen suunnittelu oli luultavasti yksi tämän projektin turhauttavimmista vaiheista. Koska varsinaisen kytkentä suunniteltiin LTSpice IV -ohjelmalla, ongelmaksi muodostui kytkennän ulosvieminen piirilevysuunnitteluohjelmalle. Tässä kokeiltiin useita eri ohjelmia ja jopa layoutin piirtämistä käsin kalvolle. Mikään näistä ei kuitenkaan tuottanut riittävän hyvää jälkeä. Lopulta päädyttiin suunnittelemaan levyt CadSoft Eagle -ohjelmalla, jota oli jo aiemmin kokeiltu, mutta se oli jäänyt sikseen

epämiellyttävän käyttöliittymän takia. Ohjelman käytyä tutuksi levyjen suunnittelu sujui kuitenkin suhteellisen rivakasti.

Aluksi tarkoituksena oli tehdä vain yksi piirilevy, johon kaikki komponentit tulisivat. Tämä osoittautui kuitenkin mahdottomaksi, sillä koululla olevat piirilevykoot olivat ainoastaan 23 senttiä kertaa 16 senttiä eli ns. tuplaeurokortteja. Asiaa pohdittua tehtiin kuitenkin kaksi korttia, joista toiselle tuli virtalähde ja toiselle etu- ja pääteasteet.

Suurten jännitekesto-vaatimusten takia virtalähteen suotokondensaattorit sekä tehovastukset vaativat niin paljon tilaa, että vain parikymmentä komponenttia täyttää levyn kokonaan. Oman osansa kortista haukkaa verkkomuuntaja, joka johtomäärän pienentämisen nimissä on kiinnitetty suoraan piirilevyille. Vaikka virtalähteen layoutista on monta eri versiota, lopullisessakin versiossa on puutteita. Ensimmäinen virhe lopullisella levyllä on, että muuntaja ei aivan sovi levyyn kiinni. Tämä oli kuitenkin yksinkertaisempaa korjata poralla, kuin että olisi ruvettu piirtämään, syövyttämään sekä kolvaamaan uudestaan. Toinen virhe oli, että hehkulangat oli kytketty väärin. Hehkulankojen kytkeminen väärin tapahtui luultavasti ajatuskatkoksen seurauksena. Jalat, jotka ovat virheellisesti kytketty ovat 3.15 voltin jalkoja, jotka antavat tarvittavan virran putkien hehkuille. Tämän liitoksen tavoitteen oli tuottaa maahan nähden 6,3 voltin jännite, joka on putkien hehkujännite. Putkien tietolehtisessä kuitenkin erityisesti lukee, ettei niitä voi kytkeä näin. Muuntajassa kytkentä tehdään suoraan 3.15 voltin liittimistä hehkuihin. Tämä luo halutun 6.3 voltin jänniteen putken hehkulangan päihin. 3.15 voltin jalat on myös hyvä vetää 100 ohmin vastuksella maahan, sillä kelluvat hekut aiheuttavat salaperäisiä häiriöitä.

Toinen piirilevy, joka sisältää etu- ja pääteasteen komponentit, onnistui hieman paremmin. Seuraavaan vahvistimeen tehdään toisin se, että myös potentiometreille tehdään oma piirilevy. Siihen aiotaan myös liittää EQ:n

tarvittavat kondensaattorit. Koska näin säästetään huomattavasti aikaa ja saadaan levyt yleiskuvaltaan selkeämmäksi. Tällä hetkellä toinen piirilevy on hyvin sotkuinen ja vaikeaselkoinen valtavan hyppylankamäärän takia. Kun ottaa huomioon EQ:n 36 hyppylankaa, putkille menevät langat sekä sisään- ja ulostulon langat, määrä on noin 60 kappaletta.

Myös tästä levystä tehtiin useampi versio sitä mukaa kun virheitä ja parannettavaa paljastui. Pääosin ongelmat olivat liian pienessä viivanleveydessä, minkä lisäksi jotkin komponentit oli epähuomioissa kytketty väärin. Suurin ja harmillisin virhe tässä levyssä oli, että siihen ei tehty EQ:n säätöjen osuutta kopioimalla, jolloin molemmat kanavat olisivat identtisiä. Laitetta kasatessa toisen kanavan EQ paljastui virheelliseksi. Tämä oli ikävää, sillä nyt jouduttiin tekemään kanaville yhteinen EQ sen sijaan että olisin tehnyt molemmille omat. Uuden levyn tekeminen ei enää ollut mahdollista, sillä TASO:n tiloista on poistettu piirilevysyövytyslaitteisto

Piirilevyjen layout-kuvat ovat liitteessä 3 ja liitteessä 4.

4 TOTEUTUS

Toteutusvaiheen aloittaminen venyi pitkälle marraskuun puolelle. Tähän suurimpana syynä oli budjetti, joka ei oikein antanut myöten komponenttihankinnoille. Mikäli olisi päästy aloittamaan tämä vaihe edes kuukautta aikaisemmin, olisi säästyty suurelta määrältä stressiä ja ahdistusta. Toteutusta aloittaessa epäiltiin, että aikaa olisi yllinkyllin. Tämä ei kuitenkaan pitänyt paikkaansa, sillä ongelmia, joihin ei ennalta osattu varautua, ilmaantui tasaisin väliajoin. Pelkästään piirilevyjen tekemiseen kului aikaa saman verran kuin kuviteltiin koko kokoamisen vievän yhteensä. Piirilevyjen tekeminen muistutti pelottavan paljon yrityserohdys-tekniikkaa. Jatkossa onneksi osataan sekä varata riittävästi aikaa

virheiden korjaamiseen että välttää suurimpia sudenkuoppia, joita toteutuksessa esiintyi. Seuraavassa hieman tarkemmin toteutuksen eri vaiheista sekä suurimmista ongelmien aiheuttajista.

4.1 Piirilevyt

Piirilevyjen valmistaminen osoittautui hieman hankalaksi. Tämä tietenkin on ihan normaalia, sillä levyjä tehtiin ensimmäistä kertaa. Kun levyt oli piirretty ja laitteita opittu käyttämään, päästiin lopulta itse asiaan. Ensimmäisissä levyissä ongelmaksi muodostui liian pieni viivan leveys. Teollisesti tuotetuissa levyissä mennään tällä hetkellä noin 40 nm:n leveydessä, mutta tämä pitää paikkansa siis vain teollisissa levyissä. Koulun syövytyslaitteistolla ei onnistuttu saamaan riittävän hyvää jälkeä edes 0.5 mm leveydellä. Onneksi levyissä oli runsaasti ylimääräistä tilaa vedoille, joten levyjen viivanleveyttä muokattiin hieman alueesta sekä virroista riippuen 10 mm:n ja 2 mm:n välille. Virroille leveyksissä on runsaasti ylimitoitusta. Esimerkiksi muuntajan hehkuilta lähtevät viivat ovat 10 mm paksuja. Kyseisissä vedoissa kulkee noin 5 ampeeria. Tälle virralle riittäisi jo 2 mm:n veto, mutta ajattelin pelata varman päälle. Myös syövytyksen vuoksi on parempi tehdä liian paksuja vetoja kuin juuri sopivia.

Kun sopiva viivan leveys oli löytynyt, levyt onnistuivat huomattavasti paremmin. Valmiita levyjä tutkiessa löytyi kuitenkin pieniä virheitä, jotka olisivat rampauttaneet laitetta ikävästi. Esimerkiksi katodin virtapeilissä oli virheellinen kytkentä, jonka seurauksena sen toiminta olisi ollut tähän tarkoitukseen sopimaton. Nämä ongelmat olivat kuitenkin helppoja korjata, joten ajallisesti suurta vahinkoa ei tapahtunut.

Alunperin tarkoitus oli tehdä virtalähde niin sanotulla point-to-point-tekniikalla. Lopulta tein myös virtalähteen piirilevyille. Tämä oli hyvä ratkaisu, sillä näin piirilevy saatiin kiinnitettyä suoraan muuntajaan, mikä puolestaan vähensi hyppylankojen määrää. Koska laitteen kotelo ei ole kovin ahdas, komponenttien asettelun kanssa ei tarvinnut taistella paljon.

Kun piirilevyt lopulta saatiin valmiiksi, alkoi komponenttien kolvaaminen. Tästä kerrotaan tarkemmin seuraavassa.

4.2 Komponenttien kiinnitys

Kolvaaminen oli hauskaa puuhaa. Suurin osa piirilevyn komponenttimitoista oli oikein, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Nämä pienet heitot eivät olleet suuremmin haitaksi, joten niistä selvittiin pienellä komponenttien jalkojen taivuttelulla.

Suurin osa kolvauksista tehtiin koululla TASO:n tilassa. Ikävä kyllä kolvi ei ollut kovin hyvä, sillä sen kärki oli mennyt hieman rikki eikä kuumentunut välillä kunnolla. Sen takia korjauksia tehtiin kotona.

Vasta tässä vaiheessa ymmärrettiin kuinka paljon hyppylankoja lopulta tuli. Niistä aiheutuvia häiriöitä olisi kuitenkin voitu välttää, jos olisi tehty myös EQ:n piirilevyille. Myös lankojen aiheuttama tilantarve on hieman liian suuri toivottuun nähden. Etenkin putkien hehkuille menevät paksut langat ovat ikäviä käsitellä, sillä käytössä oli paksuja, hankalasti taivuteltavia lankoja suurien virtojen takia.

Harmillisin asia, joka tässä vaiheessa ilmeni oli, että toinen EQ oli tehty jo piirilevyille väärin, eikä tätä aiemmin huomattu. Tämän korjaaminen olisi tehnyt kahden viikon työn turhaksi ja valmistuminen olisi viivästynyt.

Tästä syystä päätettiin yhdistää molempien kanavien EQ:t. Koska vahvistin tulee omaan käyttöön pääosin kotona, päätin tehdä näin. Keikkatilanteeseen täytyy sitten keksiä jonkinlainen ratkaisu, jolla ongelman voi kiertää. Esimerkiksi ulkoinen EQ-pedaali, jonka voi kytkeä päälle tai pois tarpeen mukaan.

4.3 Testaus

Kun laite saatiin valmiiksi alkoi testaaminen. Testaaminen tehtiin vielä viimeistelemättömällä laitteella. Esimerkiksi piirilevyjä ei oltu vielä aseteltu lopullisiin sijainteihin.

Kun laitteeseen kytkettiin virrat päälle, kaikki vaikutti toimivan hyvin. Aivan alussa kaikki potentiometrit olivat nolla-asennossa jotta mahdolliset häiriöäänet eivät kuuluisi liian lujaa kaiuttimesta. Kun potentiometrejä käännettiin hieman kovemmalle, alkoi kuulua ääntä. Tämä pieni suhina joka on ylimääräisenä, johtunee hyppylangoista aiheutuvista induktansseista.

Kun laitteeseen liitettiin kitara, havaittiin laitteen toimivan hyvin. Koska käytössäni olevat kaiutin elementit eivät ole parhaat mahdolliset, käytin äänen vertailukohtana Marshallin combo-vahvistinta liitettynä samaan kaiuttimeen.

Tässä työssä esitelty vahvistin oli verrattaessa huomattavasti paremman kuuloinen kuin Marshall-vahvistin. Ääni oli kauttaaltaan tukevamman ja lämpimämmän kuuloinen. Koska vertailuvahvistimessa on vain yksi etuasteputki ja se on muuten toteutettu transistoreilla, oli tämä toivottua. Myös kanavien väliset sävyerot tulivat esiin kohtalaisen hyvin. Ennen testaamista toivottiin erojen olevan suuremmat mutta kanavat kuitenkin

erottuvat toisistaan selvästi. Ylimääräisten äänten odotetaan hieman vaimenevan kunhan piirilevyt kiinnitetään koteloon ja johdot niputetaan.

4.4 Kotelon viimeistely

Kun kaikki muu on saatu valmiiksi, alkaa alumiinikotelon viimeistely. Tämä piti tehdä jo ennen kuin aloitin sisusten kasaamisen, mutta suunnitelmiin tuli muutos. Maalauksen ja lakkauksen voi kuitenkin hoitaa myös lopuksi. Tosin silloin joutaan olemaan varovainen, jotta spray-pinnoitteita ei pääse elektroniikan päälle.

Kotelon väriksi valittiin valkoinen. Kun kotelo on maalattu, on aika liimata tarrat. Tarrat ovat sekä koristeita että sisältävät tietoa siitä, mitä mikin kytkin ja nappi tekee. Koristeet sekä tarrat suunnitellaan Adobe Photoshopilla, jolloin niistä saa samannäköisiä kuin oikeassa laitteessa. Suunnitelmat tulostetaan arkille, joka on vesiliukoista tarramateriaalia. Kun kaikki tarrat on liimattu, kotelon päälle suihkutetaan vielä lakkakerros, joka auttaa tarroja ja maalipintaa pysymään ehjänä kovassakin käytössä.

5 YHTEENVETO

Vanha sanonta ”tekemällä oppii” pitää paikkansa. Tämän projektin aikana on opittu valtavasti kaikesta mahdollisesta, mitä laitteen suunnitteluun ja toteutukseen liittyy. Vaikka virheet ja ongelmat ovat ikäviä niiden sattuessa, ne ovat kuitenkin olleet kaikkein opettavaisimpia. Näiden reilun neljän vuoden aikana koulussa opetettu teoria ”ruumiillistui” tässä projektissa. Vaikka uuden keksiminen on insinöörille tärkeä taito, on kuitenkin ehkä tärkeimpi taito kyky soveltaa asioita ongelmatilanteissa.

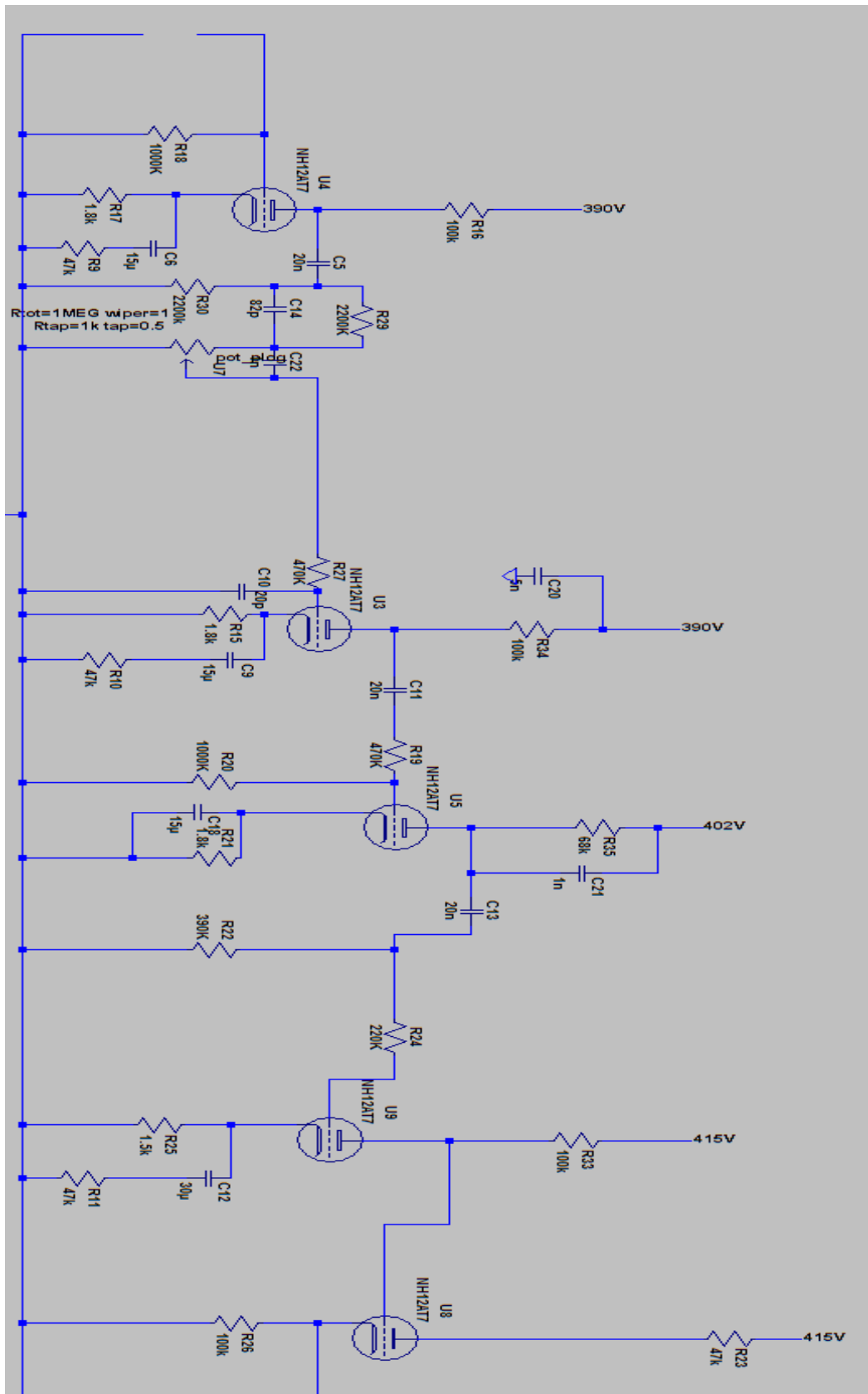
Lopputulokseen olen kohtalaisen tyytyväinen. Moni asia muuttui matkan varrella, mutta tämä on kuitenkin vasta prototyyppi. Jatkosuunnitelmista laitteen varalle olen miettinyt sen verran, että aion ensi vuoden puolella perustaa yrityksen ja kokeilla josko laite menisi kaupaksi. Tätä ennen teen kuitenkin uuden prototyypin, jossa on parannettu tässä työssä ongelmallisiksi osoittautuneita seikkoja. Näistä esimerkkinä ovat piirilevyt. Aion lisätä laitteeseen myös uusia ominaisuuksia. Näitä ovat aktiivinen bufferoitu efektilooppi sekä jalkakytkin kanavien vaihtamiseen. Loopin aion toteuttaa transistoreilla, sillä vaikka monet valmistajat luottavat näissäkin putkiin, pidän itse transistoria tässä parempana vaihtoehtona. Myös laitteen ulkonäön suhteen on tulossa muutoksia.

LÄHTEET

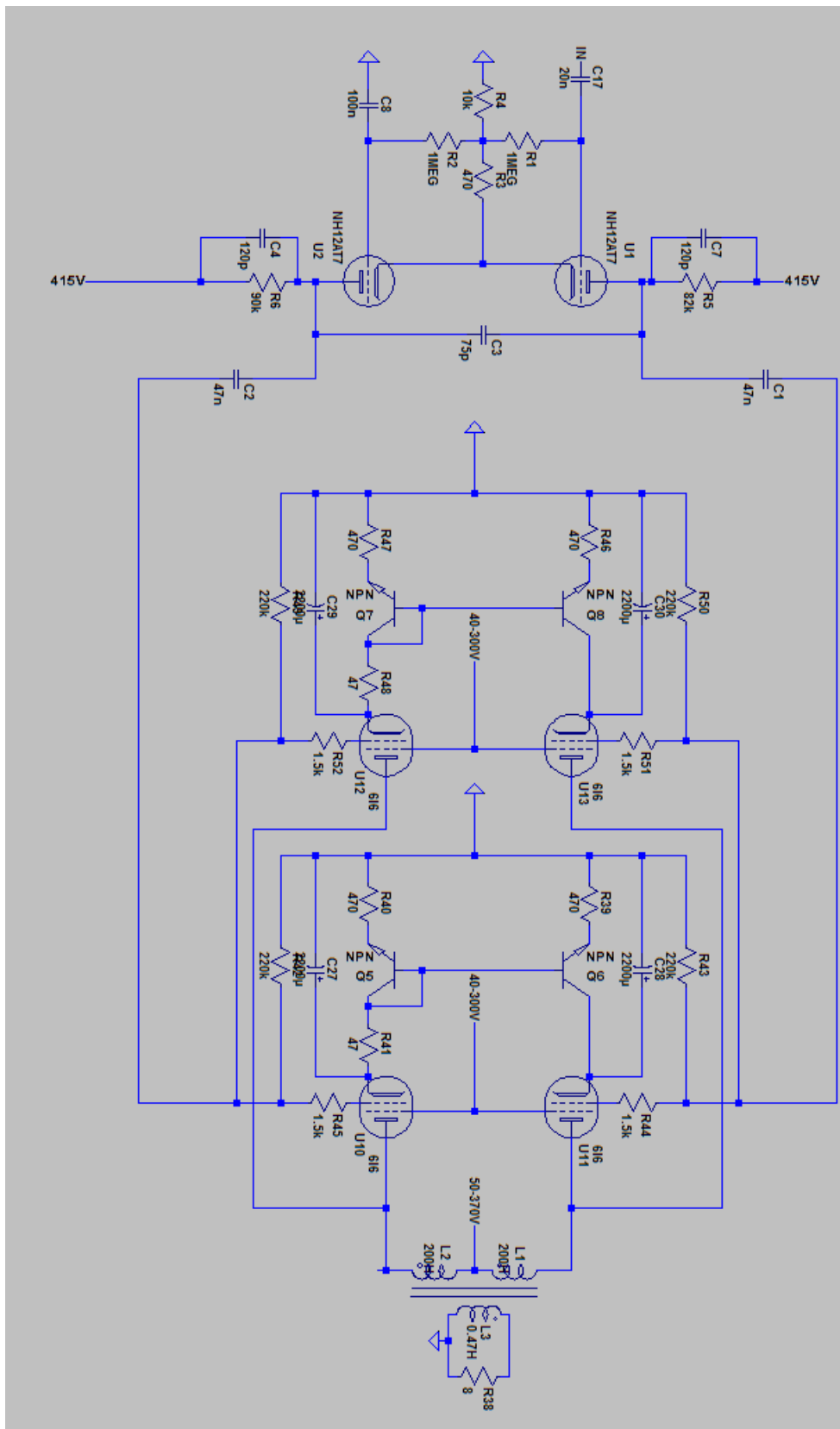
Sähköiset lähteet

1. Tubecad [www-sivu] [viitattu 12.12.2010] Saatavissa:
<http://www.tubecad.com/2005/May/blog0046.htm>
2. Free info society [www-sivu] [viitattu 12.12.2010] Saatavissa:
<http://www.freeinfosociety.com/electronics/schemview.php?id=507>
3. Uraltone [www-sivu][viitattu 14.12.2010] Saatavissa:
<http://www.uraltone.com/blog/?p=654>

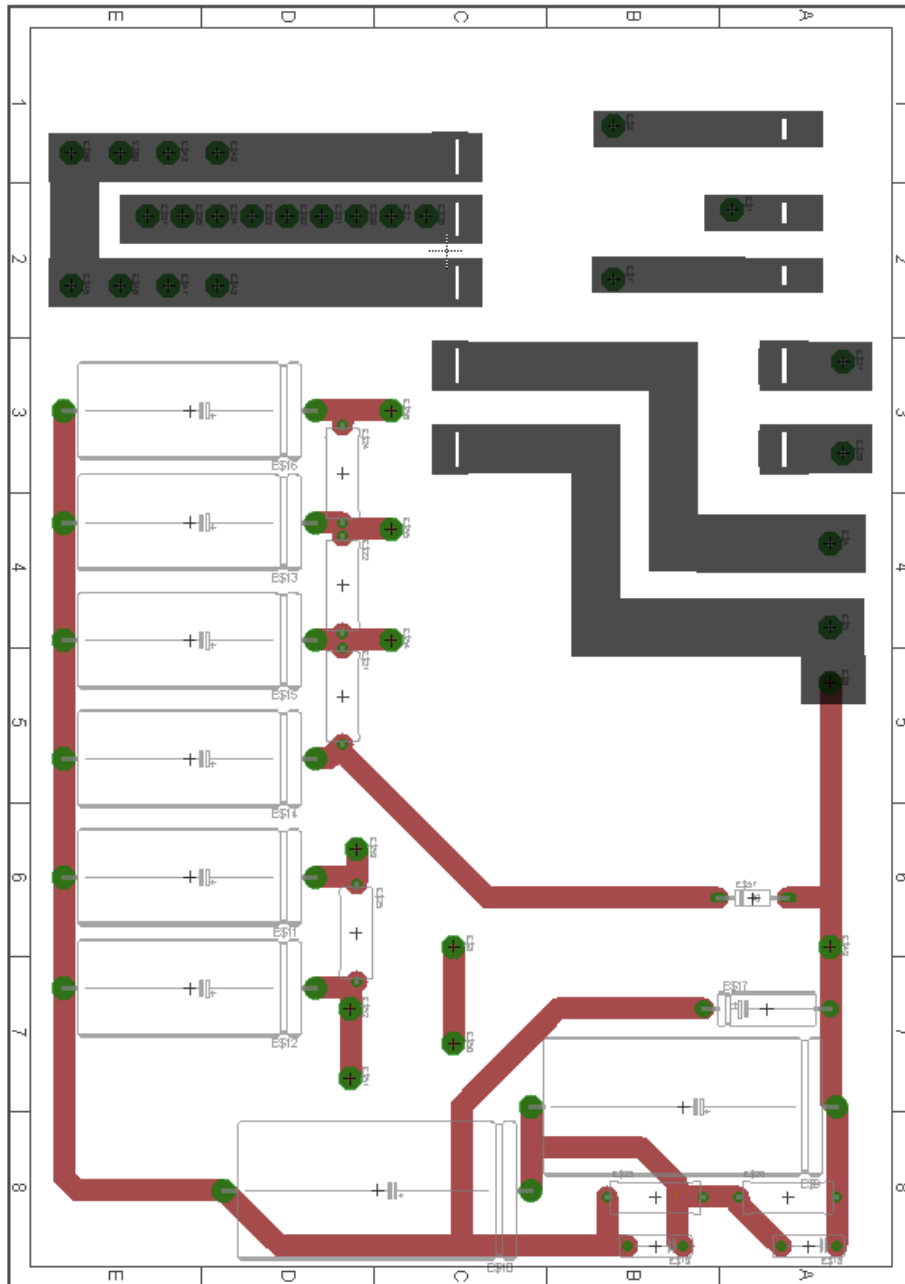
Liite 1: Etuasteen kytkentäkaavio.



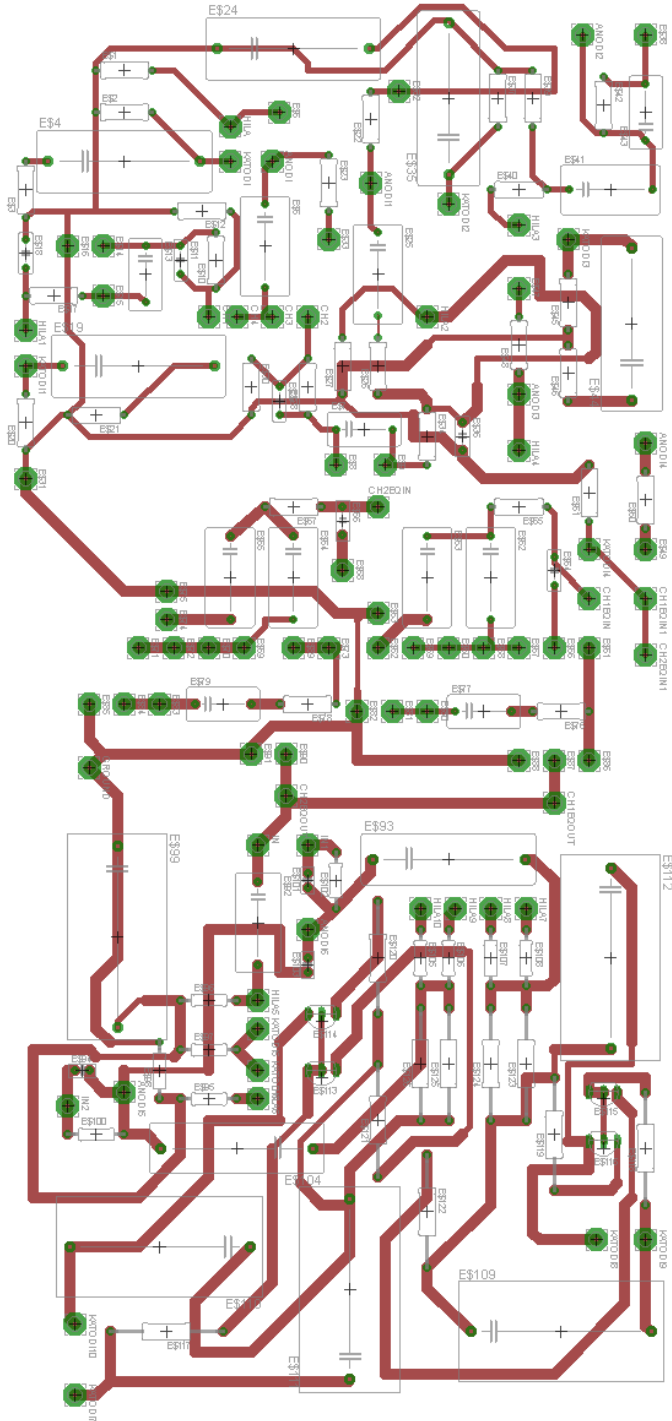
Liite 2: Pääteasteen kytkentäkaavio.



Liite 3: Virtalähteen layout – kuva.



Liite 4: Etuasteen sekä päteasteen layout – kuva.



Liite 5: Taajuusvasteen simulaatio Blue-kanavasta. Kaikki potentiometrit asennossa viisi.

