

---

# **Hifi-laatua halvemmalla**

DIY -kaiuttimet ja -päätevahvistin



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Kone- ja tuotantotekniikka

Riihimäki, kevät 2017

Kimmo Jernström



Riihimäki  
Kone- ja tuotantotekniikka

---

<b>Tekijä</b>	Kimmo Jernström	<b>Vuosi</b> 2017
<b>Työn nimi</b>	Hifi-laatua halvemmalla	

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli rakentaa kaiuttimet ja päätevahvistin kodin äänentoistoa parantamaan. Aikaisempaa kokemusta sähkölaitteiden rakentamisesta ei ollut, joten tarkoitus oli selvittää, kuinka vaikeaa tällaisten laitteiden valmistaminen on ensikertalaiselle. Tarkoituksena oli lisäksi selvittää itse valmistettujen laitteiden hinta-laatusuhde, eli saako itse valmistamalla parempaa laatua halvemmalla.

Työn alussa käytiin läpi kaiuttimiin ja vahvistimiin liittyvää teoriaa. Tämän jälkeen valittiin kaiutinrakennussarja, tilattiin osat Suomesta ja rakennettiin kaiuttimet. Seuraavaksi valittiin komponentit päätevahvistimeen, muuntajat tilattiin Suomesta ja muut osat pääosin Kiinasta. Tämän jälkeen suunniteltiin päätevahvistimen sähkökaavio sekä osien sijoittelu kotelossa. Lopuksi päätevahvistin kasattiin, sekä suoritettiin mittaukset. Mittauksissa mitattiin päätevahvistimen keskimääräinen teho sekä kokonaisharmoninen särö.

Opinnäytetyössä päästiin siihen tulokseen, että kaiuttimien rakentaminen on suhteellisen helppoa, valmiin rakennussarjan mukaisesti, vaikkei kokemusta olisikaan. Kaiuttimien rakentaminen on myös kannattavaa, ainakin siinä tapauksessa, jos valitsee hinta-laatu suhteeltaan sopivan sarjan, tai haluaa mitoiltaan tai ominaisuuksiltaan sellaiset kaiuttimet, joita ei ole saatavilla alan liikkeistä. Vahvistimen osalta rakentamisen vaikeus riippuu rakennettavasta laitteesta, joten tätä projektia ei voi suositella ihan kenelle tahansa, sillä verkkovirran kanssa toimiessa on omat vaaransa ja täytyy tietää mitä tekee. Oikeilla komponenttivalinnoilla saadaan vahvistimen rakentamisesta kannattavaa.

**Avainsanat** kaiuttimet, vahvistimet, äänentoistolaitteet, sähkötekniikka

**Sivut** 52 s. + liitteet 12 s.

Riihimäki

Mechanical engineering and production technology

---

**Author**

Kimmo Jernström

**Year** 2017

**Subject of Bachelor's thesis**

Hi-fi quality at lower prices

---

## ABSTRACT

The purpose of this thesis was to build speakers and a power amplifier to make home audio sound better. There was no previous experience in the construction of electrical equipment, so the purpose was to find out how difficult it would be to build such a device for a first timer. The aim was also to find out the quality to price ratio for a self-built equipment if it would be possible to get better quality equipment for a lower price.

At the beginning of this thesis I did go through theory for the amplifiers and speakers. After this the speaker kit was selected and parts were ordered from Finland and speakers was built. Next, the components were selected for power amplifier, transformers were ordered from Finland and other parts mainly from China. After this power amplifier wiring diagram and the component locations in amplifier housing was designed. Finally, the power amplifier was assembled, and the measurements were carried out. For measurements, the average power of the power amplifier and the total harmonic distortion was measured.

The thesis reached in conclusion that the construction of the speakers is relatively easy, according to a finished building series, even if there wouldn't be enough experience. Construction of the speakers is also profitable, at least in that case, if you choose the series which is price-quality ratio suitable, or want to have dimensions or qualities of the speakers, which are not provided commercially-available. About the difficulty of the construction of the amplifier depends on the construction of a device, so this project cannot be recommended just to anyone, because operating with the mains power supply has its own dangers and you will need to know what you are doing. With the right choice of components, the construction of the amplifier can be profitable.

**Keywords** Speakers, amplifiers, sound equipment, electrical engineering

**Pages** 52 p. + appendices 12 p.

# SISÄLLYS

1	LYHENTEET JA KÄSITTEET .....	1
2	JOHDANTO.....	3
3	TEORIA .....	3
3.1	Kaiutin.....	3
3.2	Esimerkkejä kaiutintyypeistä .....	4
3.2.1	Monitiekaiutin .....	4
3.2.2	Aktiivikaiutin.....	4
3.2.3	Koaksiaalikaiutin.....	5
3.2.4	PA-kaiutin.....	5
3.3	Kaiutinelementit .....	5
3.3.1	Diskanttielementti.....	5
3.3.2	Basso- ja keskiäänielementit .....	5
3.3.3	Yksipistesäteilijä.....	6
3.4	Kaiutinkotelot.....	6
3.4.1	Suljettu kotelo.....	6
3.4.2	Refleksikotelo.....	6
3.5	Stereovahvistin .....	7
3.5.1	Vahvistimen tehtävä .....	7
3.5.2	Esivahvistin .....	7
3.5.3	Päätevahvistin.....	7
3.5.4	Integroitu vahvistin.....	7
3.6	Vahvistimien luokittelu, yleisimmät luokat .....	8
3.6.1	A-luokka .....	8
3.6.2	B-luokka .....	8
3.6.3	AB-luokka .....	8
3.6.4	D-luokka .....	9
3.7	Rakennettavan AB-luokan päätevahvistimen komponentit .....	9
3.7.1	Virtalähde .....	9
3.7.2	Muuntaja.....	10
3.7.3	Vahvistinmoduuli .....	10
3.7.4	Jäähdytys .....	10
3.7.5	Kaiutinsuoja.....	10
3.8	Tasasuuntaus .....	11
4	KAIUTTIMIT .....	11
4.1	Rakennussarjan valinta.....	11
4.1.1	Kaiutinrakennussarjat .....	12
4.1.2	Audiovideo.fi-verkkolehti .....	13
4.1.3	Yksisilmäiset veljekset-kaiutinrakennussarja.....	14
4.2	Koteloiden suunnittelu .....	16
4.2.1	Alumiinikotelot.....	16
4.2.2	Väliaikaiset kotelot.....	17
4.3	Kaiuttimien valmistaminen .....	19
4.3.1	Jakosuotimet .....	19
4.3.2	Kotelot .....	21
4.3.3	Kokoonpano .....	23

5	PÄÄTEVAHVISTIN .....	26
5.1	Vahvistinluokan ja -mallin valinta .....	26
5.2	Komponenttien ja kotelon valinta ja tilaus .....	27
5.2.1	Muuntajat .....	28
5.2.2	Päätmoduulit .....	29
5.2.3	Virtalähteet .....	29
5.2.4	Kotelo .....	30
5.2.5	Johdot, liittimet, ruuvit yms. ....	31
5.2.6	Kaiuttimen suoja-leet .....	31
5.3	Suunnittelu .....	33
5.3.1	Komponenttien sijoittelu kotelossa .....	33
5.3.2	Sähkökytkennät .....	34
5.4	Kokoaminen .....	36
6	MITTAUKSET .....	41
6.1	Kaiuttimet .....	41
6.2	Vahvistimen mittaus .....	41
6.2.1	XTZ Class A100 D3 mittaukset .....	42
6.2.2	Päätvahvistimen mittaukset .....	44
7	TYÖN TULOKSET JA ARVIOINTI .....	45
7.1	Kaiuttimet .....	45
7.2	Päätvahvistin .....	47
8	POHDINTA .....	48
	LÄHTEET .....	50

Liite 1	Jakosuodattimen sähkökaavio
Liite 2	Kaiutinkotelo, levyjen mitoitus ja tilaus
Liite 3	Vahvistinkomponenttien sijoittelusuunnitelma
Liite 4	Päätvahvistimen sähkökaavio
Liite 5	Vahvistinmoduulin kytkentäkaavio
Liite 6	Kaiutinsuoja, sähkökaavio
Liite 7	Kaiutinsuoja, osalista
Liite 8	XTZ -vahvistimen mittapöytäkirja
Liite 9	DIY -päätvahvistimen mittapöytäkirja
Liite 10	DIY -päätvahvistin, THD – teho -käyrä
Liite 11	Oskilloskooppikuvia päätvahvistimen mittauksista
Liite 12	Oskilloskooppikuvia päätvahvistimen mittauksista

## 1 LYHENTEET JA KÄSITTEET

Abiko-liitin	Puristettava sähköliitin, myös juotettavia malleja löytyy
Akustointi	Akustoinnin tarkoituksena on vähentää kuuntelutilasta johtuvia kaikuja sekä heijastuksia lisäämällä huoneen pintoihin vaimentavaa materiaalia
DIY	<i>Do It Yourself</i> , tee se itse
Dynaaminen kaiutin	Kaiutin, joka muuttaa vaihtovirran ääneksi, mutta ei ääntä vaihtovirraksi
ebay	Maailmanlaajuinen internetissä toimiva osto- ja myyntisivusto
Hifi (Hi-Fi)	<i>High Fidelity</i> , puhdas äänentoisto
Hz	Hertsi, taajuuden yksikkö
Ihmisen kuulema taajuusalue	Nuori ihminen kuulee ääntä taajuusalueella 20 Hz – 20 000 Hz, ihmisen vanhetessa äänialue pienenee
Kaiutinterminaali	Yleensä kaiuttimen takaosassa sijaitseva liitin-terminaali, jossa on liittimet molemmille kaiutinjohdoille
Keinokuorma	Vahvistimen mittauksessa tarvittava keinotekoinen vastus, joka korvaa kaiuttimien kuorman, eli vastuksen
Kutistesukka	Sähköeriste, joka kutistuu lämmitettäessä
Logaritminen potentiometri	Vahvistimissa käytettävä äänenvoimakkuuden säädin, jossa teho nousee logaritmisesti, eli ensin hitaasti ja lopussa nopeammin
MDF	<i>Medium-Density Fibreboard</i> , puolikova kuitulevy, jota käytetään esimerkiksi kaiutinkoteiloissa
Mono (vahvistin)	Yksi kanava vahvistimessa
PA-(järjestelmä)	<i>Public Address</i> , tarkoittaa laitteistoja joita käytetään julkisissa paikoissa: ravintolat, konsertit ja yleisötapahtumat

Putkivahvistin	Vahvistavana komponenttina on transistorin sijaan putkia
RCA-liitin ja -kaapeli	Audiolaitteissa käytettävä signaaliliitin ja -kaapeli
Särö (ääni)	Mitattava audiotekniikan suure, ääni säröytyy
Stereo (vahvistin)	Kaksi kanavaa samassa vahvistimessa
Subwoofer	Bassokaiutin, toistaa vain matalia ääniä
Teho	Energian määrä aikayksikössä
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i> , kokonaisharmoninen särö
Transistori	Toimii vahvistimessa vahvistavana komponenttina
Turkkilevy	Levy, johon on tehty liukastumista estäviä kuviota, usein valmistettu alumiinista
Volume	Äänenvoimakkuuden säädin
Wago-rasialiitin	Liitin joka on suunniteltu käytettäväksi asuntojen liitinrasioissa, johtojen yhdistämiseen
Watti	Tehon yksikkö

## 2 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheeksi valittiin kaiuttimien sekä päätevahvistimen rakentaminen itse-menetelmällä (DIY). Tavoitteena oli parantaa kodin äänentoistojärjestelmää. Aihe on kiinnostanut pitkään ja keväällä 2016 projekti alkoi kaiuttimien rakentamisella. Tämän jälkeen syksyllä 2016 suunniteltiin ja rakennettiin päätevahvistin. Päätevahvistimesta haluttiin hyvälaatuinen ja riittävän tehokas mille tahansa kaiuttimille. Projektin tarkoituksena on selvittää, onnistuuko edellä mainittujen laitteiden rakentaminen asiaan aikaisemmin perehtymättömältä henkilöltä. Lisäksi tarkoituksena on selvittää, onko laitteita kannattavaa valmistaa itse, onko se työlästä ja minäkalaiseen lopputulokseen päädytään.

Opinnäytetyössä on lähdetty ensin avaamaan yleistä teoriaa, liittyen kaiuttimiin sekä vahvistimiin. Tämän jälkeen syvennytään kaiuttimien ja päätevahvistimen osalta rakennussarjojen valintaan, koteloiden suunnitteluun ja laitteiden valmistamiseen.

Lopuksi päätevahvistimelle suoritettiin mittauksia, joilla haluttiin selvittää päätevahvistimen teho, sekä laatu. Tarkoituksena on verrata tuloksia vastaavaan kaupalliseen tuotteeseen, jotta saadaan näkemys siitä, onko mahdollista rakentaa yhtä hyvä tai parempi laite. Mittaukset suoritettiin loka-kuussa 2016 erään opinnäytetyössä apuna olleen henkilön kotona, joten ammattilaisen toimesta niitä ei ole tehty. Mittauksissa vertailukohteena käytettiin kaupallista tuotetta, josta mitatut arvot vastasivat valmistajan ilmoittamia arvoja.

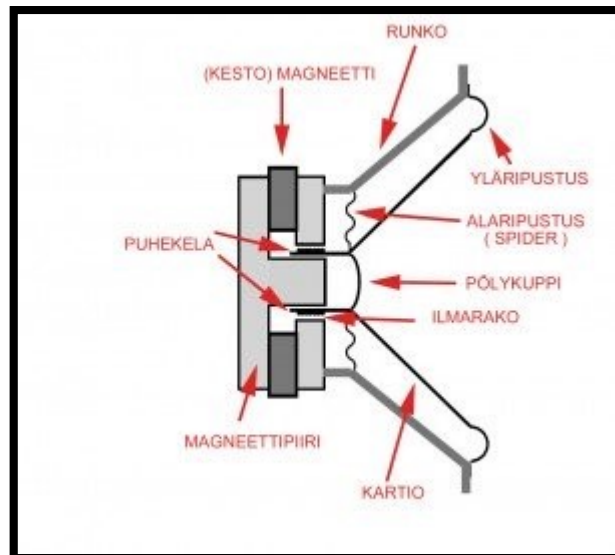
Opinnäytetyön lopussa esitetään projektin tulokset ja arvioidaan tuloksia. Päästiinkö tavoitteeseen? Onko laitteiden rakentaminen mahdollista ja kannattavaa?

## 3 TEORIA

### 3.1 Kaiutin

Kaiuttimen tehtävä on muuttaa vahvistimelta tuleva vaihtosähkö ilman värähtelyksi, eli ääneksi. Perinteisessä dynaamisessa kaiuttimessa on kestopagneetti ja puhekela, johon sähkö johdetaan. Puhekelassa on kiinni kartion, tason tai kalotin muotoinen pinta, joka liikuttaa ilmaa ja synnyttää ääntä. Dynaamisesti toimivia kaiuttimia ovat kartio-, nauha- ja magnetostaatti kaiutin. Sähköstaattinen kaiutin toimii täysin eri periaatteella, toiminta perustuu sähkövarauksen ja sähkökentän yhdessä aiheuttamaan kalvon värähtelyyn. Tässä työssä keskitymme käsittelemään dynaamisia kaiuttimia (kuva yksi). (Tuomela 1994, 195-199.)





Kuva 1 Kaiutinelementti kartiolla (Fanaticaudio n.d.).

## 3.2 Esimerkkejä kaiutintyypeistä

### 3.2.1 Monitiekaiutin

On hyvin vaikeaa rakentaa yksi kaiutinelementti, joka pystyisi toistamaan koko ihmisen kuuloalueen (20 Hz – 20 kHz). Tästä syystä joudutaan kaiuttimeen suunnittelemaan usein kaksi, tai useampia elementtejä jakamaan äänialuetta. (Tuomela 1994, 203.)

Mikäli kaiutinelementtejä on kaksi, tai useampia, tarvitaan kaiuttimeen jakosuodin. Jakosuodin ohjaa jokaiselle elementille suunnitellun taajuuskais-tan, jota elementti toistaa. Nimitykset kaiuttimille kaksitie-, kolmitie-...kaiutin, tulevat kaistojen lukumäärän mukaan. Mitä enemmän kaistoja kaiuttimessa on, sitä mutkikkaammaksi jakosuotimen suunnittelu ja itse ja-kosuodin tulevat. Kaiutinelementtien määrä nostaa kaiuttimen hintaa, mutta eivät välttämättä äänenlaatua. Jakosuotimella voidaan myös muokata kaiutinelementtien ominaisuuksia ja sovitusta toisiinsa. (Tuomela 1994, 204-205.)

### 3.2.2 Aktiivikaiutin

Passiivikaiuttimessa signaalin vahvistus tapahtuu erillisessä vahvistimessa, eli erillislaitteessa, suurin osa kaiuttimista on passiivisia (Tuomela 1994, 205).

Aktiivikaiuttimessa vahvistimet ovat integroituna kaiuttimeen ja jokaiselle taajuuskaistalle on tavallisesti oma vahvistimensa. Jakosuoto toteutetaan ennen signaalinvahvistamista, tästä on se hyöty, ettei tehohäviöitä synny ja-kosuotimessa. (Tuomela 1994, 205.)

### 3.2.3 Koaksiaalikaiutin

Koaksiaalikaiuttimessa diskanttielementti on sijoitettu isomman elementin keskelle, koaksiaalikaiuttimia käytetään hifi- PA- ja autokaiuttimissa.

Autokaiuttimissa käytetään yleisesti koaksiaalikaiuttimia, koska ne ovat helpompia asentaa autoon, kuin käytettäessä erilliselementtejä. Asennusreikiä tarvitaan vain yksi, useamman reiän sijaan. (Hifitalo n.d.)

### 3.2.4 PA-kaiutin

PA on lyhenne sanoista Public Address, joka suoraan suomennettuna tarkoittaa julkista osoitetta. Public Address system (PA-system) on suomeksi kuulutusjärjestelmä, joka jo vähän paremmin kuvaa sitä mitä PA tarkoittaa, eli julkista äänentoistojärjestelmää. (Aikio 2004.)

Muusikot, yhtyeet ja ravintolat ovat PA-laitteistojen ja -kaiuttimien käyttäjäkuntaa. PA-kaiuttimilta vaaditaan suurempia äänenpaineita, kuin hifi-kaiuttimilta ja kaiutinelementtien koko ja tehonkesto ovat yleensä suurempia, kuin kotikäytössä. PA-kaiutinelementit ovat yleensä herkempiä, kuin hifikaiuttimet, tämä tarkoittaa sitä, että samalla teholla saadaan enemmän desibelejä, kuin vähemmän herkillä kaiutinelementeillä. PA-kaiuttimien äänenlaatu on yleensä huonompi, kuin hifikaiuttimien. (Aikio 2004.)

## 3.3 Kaiutinelementit

### 3.3.1 Diskanttielementti

Diskanttielementti toistaa kaiuttimessa yleensä korkeat äänet. Diskantti on pienikokoinen elementti, sen kalvon halkaisija on yleensä n. 2 – 4 cm. Diskantin muotoja voivat olla kartio, tai kalotti (puolipallo). (Tuomela 1994, 204.)

Suurin osa myynnissä olevista diskanttielementeistä on kalotin, eli puolipallon muotoisia. Myynnissä on lisäksi nauhadiskanteja, sekä kompressiodrivereita. Kompressiodriverit asennetaan joko erillisen suuntaintorven kanssa, tai koaksiaalielementin sisään, niitä ei voi käyttää sellaisenaan. (Hifitalo n.d.)

### 3.3.2 Basso- ja keskiäänielementit

Bassoelementit toistavat kaiuttimen matalat äänet, kartiot ovat kooltaan yleensä 15 – 30 cm. Pelkkä elementin koko ei kerro bassontoistosta mitään, myös elementin liikevara vaikuttaa lopputulokseen. Keskiäänielementit ovat kooltaan pienempiä, kuin bassoelementit, kartion koko on yleensä 8 – 15 cm ja kalotin 4 – 8 cm. (Tuomela 1994, 203-204.)

Kaksitiekaiuttimessa yksi elementti toistaa matalat- ja keskiäänit, tällöin sitä kutsutaan basso- / keskiäänielementiksi (AVinfo n.d.).

Markkinoilla on myytävänä erillisiä subwoofer -kaiuttimia, joissa kotikäyttöön tarkoitetuissa malleissa, on yleensä vahvistin, eli ne ovat aktiivikaiuttimia. Tyypillinen kaiutinkokoonpano sisältää nykyään pienehköt kaksitiejalustakaiuttimet ja erillisen aktiivisubwooferin, joka hoitaa alataajuudet, eli bassot.

### 3.3.3 Yksipistesäteilijä

Markkinoilla on tarjolla kaiutinelementtejä jotka toistavat koko äänialueen, näitä kutsutaan laajakaistaelementeiksi. Laajakaistakaiutin toistaa kaiken äänen yhdestä pisteestä, joten sitä voidaan kutsua yksipistesäteilijäksi. (Saurama 2016.)

Kaksitie koaksiaalikaiutin toistaa kaiken äänen samasta pisteestä, joten sitä voidaan kutsua myös yksipistesäteilijäksi (Hifihuone n.d.).

## 3.4 Kaiutinkotelot

### 3.4.1 Suljettu kotelo

Matalien taajuuksien toiston parantamiseksi kaiuttimeen rakennetaan yleensä kotelo. Kotelo voi olla suljettu- tai refleksikotelo. Koteloon laiteetaan yleensä vaimennusainetta vähentämään kotelon resonansseja. (Tuomela 1994, 199-200.)

Suljetusta kotelosta rakennetaan ilmatiivis ja tästä syystä kotelossa oleva ilma toimii elementille ikään kuin jousena, mitä suurempi kotelo, sitä löysempi jousi on. Suuremassa kotelossa on periaatteessa matalammalle ulottuva bassontoisto, mutta asiaan vaikuttavat monet muutkin tekijät. (Tuomela 1994, 199-200.)

### 3.4.2 Refleksikotelo

Bassorefleksikotelossa on reiät, joissa on refleksiputket. Refleksiputkien määrällä ja koolla kotelo viritetään jollekin tietylle viritystaajuudelle, tämä vahvistaa bassontoistoa verrattuna suljettuun koteloon. (Tuomela 1994, 200-201.)

Suljettu kotelo on helpompi suunnitella, kuin toimiva refleksikotelo. Passiivielementtiä voidaan käyttää refleksiputkien tilalla, passiivielementti on kuin kaiutinelementti, josta puuttuu puhekela ja magneetti. Passiivielementin käytöllä voidaan välttää mahdolliset refleksiputkista kuuluvat ylimääräiset äänet. (Tuomela 1994, 200-201.)

### 3.5 Stereovahvistin

#### 3.5.1 Vahvistimen tehtävä

Vahvistin on yleensä erillinen laite hifilaitteistossa, joka vahvistaa siihen syötetyn signaalin voimakkuutta. Ohjelmalähteistä saatavat heikkotehoiset signaalit vahvistetaan kaiuttimille sopiviksi ja voimakkaammiksi. Vahvistimen tehtävänä on lisäksi toimia ohjelmalähteen valitsimena, ja siinä voi olla myös sävynsäätöjä ja äänenvoimakkuudensäätö. (Tuomela 1994, 95-97.)

Mikäli vahvistimessa on useita kaiutinlähtöjä, on siinä oltava valintakytkin, josta valitaan käytettävä kaiutinlähtö, lisäksi vahvistimessa voi olla myös kuulokelähtö. Vahvistin voidaan jakaa kahteen erilliseen laitteeseen, esi- ja päätevahvistimeen. (Tuomela 1994, 95-97.)

#### 3.5.2 Esivahvistin

Esivahvistimen yhtenä tehtävänä on toimia kanavan valitsijana eri äänilähteille, lisäksi esivahvistimessa on yleensä äänenvoimakkuuden säädin sekä äänensäätimet (AVinfo n.d.).

Toinen tehtävä esivahvistimella on vahvistaa äänilähteiltä tulevaa signaalitasoa sopivaksi päätevahvistimelle, koska kaikissa äänilähteissä signaalitaso ei ole riittävä (AVinfo n.d.).

#### 3.5.3 Päätevahvistin

Päätevahvistimen tehtävänä on vahvistaa esivahvistimelta tuleva signaali sopivaksi kaiuttimille halutulla teholla. Päätevahvistimessa on minimissään virtakytkin, sisään tulevan signaalin liittimet ja kaiutinlähtö liittimet. (AVinfo n.d.)

Mikäli päätevahvistin on rakennettu yhteen koteloon, voidaan siihen asettaa äänenvoimakkuudensäädin.

#### 3.5.4 Integroitu vahvistin

Integroidussa vahvistimessa on yhdistetty esi- ja päätevahvistin, lisäksi siinä yleensä ovat muut edellä mainitut vahvistimen toiminnot (Tuomela 1994, 95,105).

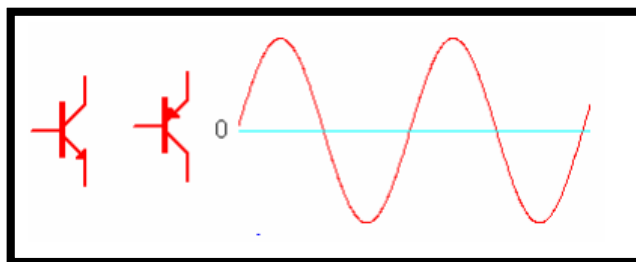
Mikäli integroidussa vahvistimessa on lisäksi radio eli viritin, kyseessä on viritinvahvistin (Tuomela 1994, 95,105).

### 3.6 Vahvistimien luokittelu, yleisimmät luokat

#### 3.6.1 A-luokka

Päätetransistori on auki/ johtavana koko ajan (kuva kaksi), rakenne on yksinkertainen, joten se voidaan toteuttaa myös yhdellä transistorilla. Särö on pieni ja hyötysuhde erittäin huono. (Honkanen, n.d.)

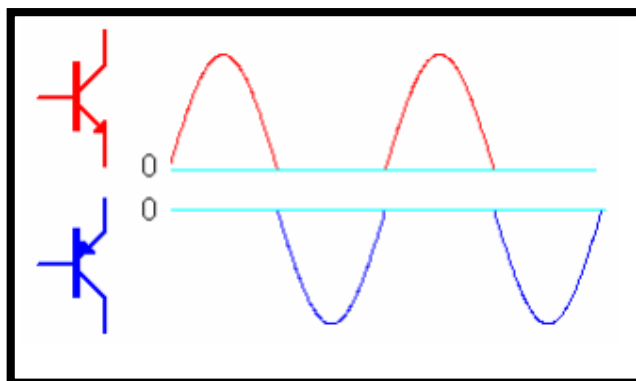
A-luokan vahvistin on huono hyötysuhteeltaan, sen maksimihyötysuhde on 0,25. Vahvistin kuumenee paljon hukkaenergiasta johtuen, joten eniten tehoa kuluu silloin kun signaalia ei ole ollenkaan. A-luokan vahvistimen hyviä puolia ovat yksinkertainen piiri ja pieni särö. (Aalto University Wiki n.d.)



Kuva 2 A-luokassa päätetransistori on johtavana koko ajan (Honkanen, n.d.).

#### 3.6.2 B-luokka

Päätetransistori on johtavana puolet jaksosta (kuva kolme), joten transistoreja on oltava vähintään kaksi. Sellaisia ovat N- ja P-tyyppiset transistorit, jotka yhdessä hoitavat koko jakson, N positiivisen- ja P negatiivisen jakson. B-luokan hyvänä puolenä on kohtalainen hyötysuhde n. 0,5 ja huonona puolenä pienillä signaalien arvoilla ylimenosärö. (Aalto University Wiki n.d.; Honkanen, n.d.)

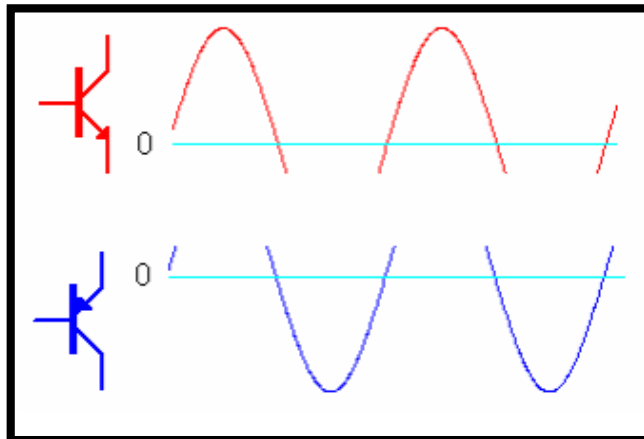


Kuva 3 Yksi päätetransistori johtaa vain puolet jaksosta (Honkanen, n.d.).

#### 3.6.3 AB-luokka

On myös olemassa A- ja B-luokan yhdistelmä, jossa päätetransistorit johtavat vähän yli puolet jaksosta, eli ovat osan aikaa samanaikaisesti päällä

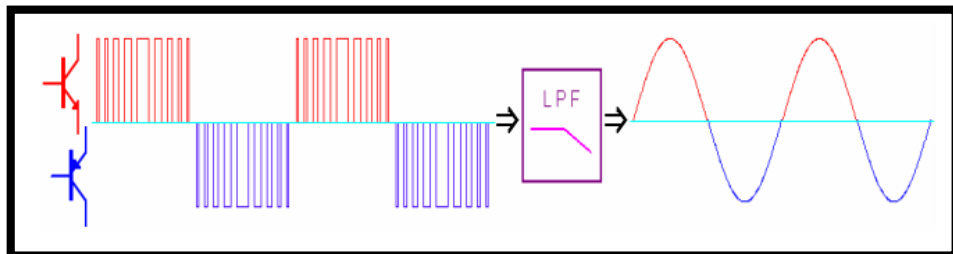
(kuva neljä), tällä tavoin ylimenosäröä on saatu vähennettyä. AB-luokka on yleisin vahvistimissa käytetty luokka. (Honkanen, n.d.)



Kuva 4 Transistorit johtavat osan aikaa samanaikaisesti (Honkanen, n.d.).

### 3.6.4 D-luokka

D-luokan vahvistimessa analoginen signaali muutetaan ensin pulssinleveysmodulaattorilla (PWM), tai sigma-deltamuuntimella pulssijonoksi. Transistorit toimivat vahvistimessa kytkiminä samalla vahvistuen pulssijonon. Lopuksi pulssijono muutetaan takaisin analogiseksi alipäästösuodattimella (LPF) (kuva viisi). D-luokan hyvänä puolena on korkea hyötysuhde (yli 0,9) ja se ei lämpene läheskään niin paljon kuin AB-luokan vahvistin. (Aalto University Wiki n.d.)



Kuva 5 D-luokan pääteasteen toimintakaavio (Honkanen, n.d.).

## 3.7 Rakennettavan AB-luokan päätevahvistimen komponentit

### 3.7.1 Virtalähde

Virtalähteeseen kuuluvat muuntaja, tasasuuntaaja ja jännitteensuodatuskondensaattorit (Blonberg ja Lepoluoto 2005, 44). Rakennettavaan päätevahvistimeen tulee valmiiksi kasattu moduuli, jossa on tasasuuntaus ja kondensaattorit. Asioiden selkeyttämiseksi tässä opinnäytetyössä kutsutaan tätä kokonaisuutta virtalähteeksi ja muuntajaa erikseen muuntajaksi.

Virtalähteen tasasuuntaajassa vaihtojännite tasasuunnataan tasajännitteeksi ja tämän jälkeen tasataan jännitteen vaihtelut kondensaattoreilla. Virtalähteen ja muuntajan laatu vaikuttavat oleellisesti vahvistimen äänenlaatuun. (Blonberg ja Lepoluoto 2005, 44.)

### 3.7.2 Muuntaja

Muuntajan tehtävänä on muuntaa verkkojännite sopivaksi vahvistimelle sekä fyysisesti erottaa verkkojännite vahvistimen omasta jännitepiiristä. Muuntajalta tulee ulos vaihtojännitettä joka pitää vielä muuttaa tasajännitteeksi. (Blonberg ja Lepoluoto 2005, 44.)

Muuntajaksi voidaan asentaa yksi suurikokoinen muuntaja, tai kaksi vähän pienempää. Tässä projektissa päädyttiin kahteen erilliseen muuntajaan.

### 3.7.3 Vahvistinmoduuli

Vahvistinmoduulin tehtävänä on vahvistaa esivahvistimelta tuleva signaali haluttuun tehoon. Vahvistinmoduuli tarvitsee toimiakseen tasajännitettä, mikäli halutaan vahvistimesta maksimiteho, pitää tasajännitteen olla + - 65 V (ebay n.d.).

Päätmoduulin myyntisivulla luvataan tehoksi + - 55 V tasajännitteellä 300 W/ 4  $\Omega$ , joka on sama laskennallisesti kuin 150 W/ 8  $\Omega$  (ebay n.d.). Tämä teho pyritään projektissa saavuttamaan.

### 3.7.4 Jäähdytys

AB-luokan vahvistimen hyötysuhde on reilusti alle 100 %, hukkaan menevä energia muuttuu lämmöksi ja vahvistin tarvitsee toimiakseen riittävän lämmönpoiston, tässä tapauksessa esimerkiksi jäähdytysrivat (Blonberg ja Lepoluoto 2005, 44).

Sähköllä toimiva tuuletin on toinen vaihtoehto jäähdytyksen toteuttamiseksi (Blonberg ja Lepoluoto 2005, 44). Jäähdytysrivat ovat vahvistinkotelossa valmiina molemmilla reunoilla, päätmoduulit kiinnitetään niihin ja lämpö pääsee johtumaan pois vahvistimesta.

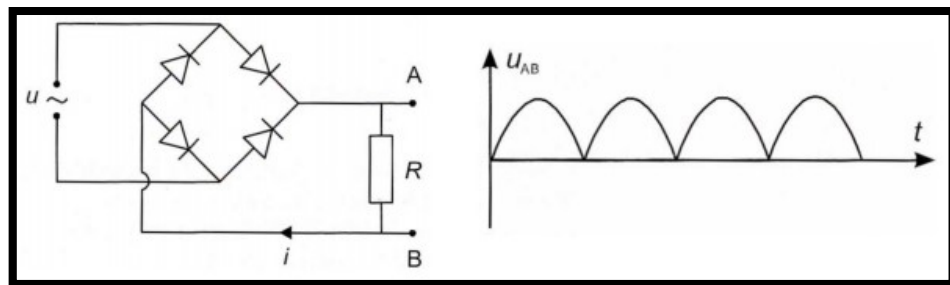
### 3.7.5 Kaiutinsuoja

Kaiutinsuojamoduulin tehtävänä on suojata kaiutinta tasasähköltä. Tasasähköä voi syntyä päätetransistorin hajotessa (Blonberg ja Lepoluoto 2005, 46). Toinen tehtävä kaiutinsuojilla on aiheuttaa n. 3 s viive kaiutinlähtöjen avautumisessa. Kytkettäessä virta vahvistimeen, viive estää ylimääräisten virtapiikistä johtuvien äänien kuuluminen kaiuttimesta (Analogmetric 2009).

Kaiutinsuojamoduuli tarvitsee toimiakseen, joko 15 – 24 V tasajännitettä, tai 35 – 48 V vaihtojännitettä (Analogmetric 2009). Muuntajalta saadaan sopivaa n. 40 V vaihtojännitettä kaiutinsuojamoduuleille.

### 3.8 Tasasuuntaus

Tasasuuntauksessa vaihtojännite muutetaan (myös virta), tasajännitteeksi puolijohdediodeita apuna käyttäen (Nieminen n.d.). Tasasuuntauskytkentöjä on erilaisia, puolialto- ja kokoaaltotasasuuntaimia. Lisäksi voi olla yksi- tai kaksipuoleisia tasasuuntaimia. Vahvistimissa tarvitaan kaksipuoleinen jännite, eli +, 0 ja – sekä kokoaaltotasasuuntaus (kuva kuusi), jännitehäviö kytkennässä on 0,6 V. (Huhtama n.d.)



Kuva 6 Kokoaalto tasasuuntaus neljän diodin avulla (Nieminen n.d.).

Jännitteen tasasuuntauksen jälkeen voidaan laskea jännitteen tehollisarvon laskentakaavalla yksi:

$$U_{RMS} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

$U_{RMS}$  = Jännitteen tehollisarvo  
 $U_0$  = Muuntajalta tuleva jännite

Lopputuloksesta pitää vielä vähentää diodeista johtuva jännitehäviö, mikä on tässä tapauksessa 0,6 V, kaavaksi kaksi saadaan:

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{2}} - 0,6 \text{ V} \quad (2)$$

$U$  = tasasuunnattu jännite

## 4 KAIUTTIMIT

### 4.1 Rakennussarjan valinta

Tavoitteena kaiutinrakennussarjan valinnassa, oli löytää sellaiset kaiuttimet, jotka toistavat koko musiikin kuuntelussa tarvittavan äänialueen, myös bassot ja erillistä subwooferia ei järjestelmään haluttu mukaan. Lisäksi haluttiin löytää hinta-laatusuhteeltaan hyvät kaiuttimet, joiden äänen laatu on



huomattavasti parempi, kuin aiempien 27 vuotta vanhojen B&W 220i kaiuttimien. Tarkoituksena ei ollut sisustaa olohuonetta uudestaan, joten kaiuttimet sijoitettiin samalle tasolle, jossa entiset kaiuttimet olivat olleet. Sopiva korkeus uusille kaiuttimille tason korkeudesta johtuen on noin 60 – 75 senttimetriä. Suurin osa kaupassa myytävistä kaiuttimista ovat lattiamalleja (korkeampia) tai jalustamalleja (matalampia), joten tämä asia vaikutti kaiutin projektin aloittamiseen.

Toimintansa lopettaneen Hifi-lehden kaiutinrakennussarjat olivat harrastajien keskuudessa kovassa suosiossa -80 ja -90 -luvulla. Pääsin kuuntelemaan useita Hifi-lehden kaiutin malleja ja harkitsin itsekin sellaisen rakentamista, suunnitelma ei kuitenkaan silloin toteutunut.

Kaiutinrakennussarjoja Suomessa myyvät ainakin: Hifitalo (Audioparts Finland Oy), Uraltone (Uraltone amplification Oy), Ljudia (Ljudia Finland Oy Ab), Radioduo (Radioduo Oy) ja Harrin Kaiutin. (Hifitalo n.d.; Uraltone n.d.; Ljudia n.d.; Radioduo n.d.; Harrin Kaiutin n.d..)

### 4.1.1 Kaiutinrakennussarjat

Seas on norjalainen kaiutinelementtejä valmistava yritys ja sillä on toistaikymmentä omaa kaiutinrakennussarjaa (Seas n.d.). Seasin sarjoja Suomessa myy Hifitalo (Hifitalo n.d.). Seasin lisäksi muita ulkomaisia internetsivuja, joita tutkittiin valintaa tehdessä, olivat: Diy Loudspeakers, Intertechnik, Falcon Acoustics sekä lukuisia muita myynti- ja harrastussivustoja.

Kaiutinrakennussarjan valinta oli pitkä prosessi ja aikaa lopulliseen valintaan kului varmasti muutamia kuukausia. Ensimmäinen rakennussarja jota harkitsin, oli Seas A26 sarja, joka perustuu Dynaco A25 kaiuttimeen vuodelta 1969 (Hifitalo n.d.). Dynaco A25 oli Seasin omaa tuotantoa ja sitä on aikoinaan valmistettu miljoonia kappaleita ja se oli erittäin suosittu siihen aikaan. Seas A26 kaiutin on kaksitiekaiutin suurehkolla 10 tuuman basso-/keskiäänielementillä 28 litran kotelossa. Kaiuttimen sähköisten osien hinta, joka ei sisällä koteloita, Hifitalossa on n. 365 €/ kaiutin. (Hifitalo n.d.)

Tämän jälkeen käytiin läpi Seasin eri malleja ja näistä kiinnostavimmalta vaikutti Seas Trym kaksitiekaiutin, jossa on erittäin laadukkaat elementit Seas Excel sarjasta. Kaiutinkotelon koko on 34 litraa ja hinta kaiuttimen sähköisille osille on n. 617 €/ kaiutin. (Hifitalo n.d.) Seasin sarjoja vertaillessa tultiin siihen johtopäätökseen, mitä enemmän kaiuttimessa on elementtejä, sitä kalliimmaksi kaiuttimet tulevat. Seasilla on useita malleja, joissa on kaksi kappaletta basso-/keskiääni elementtejä diskantin lisäksi, jos elementit ovat korkealaatuisia, hinta nousee huomattavasti. Tässä vaiheessa keskityttiin tarkastelemaan malleja, joissa elementtejä on kaksi kappaletta/kaiutin.

Seasin sarjoja on myynnissä ulkomaisissa liikkeissä alkuperäisinä versioina sekä muokattuina versioina (kotelomittoja muutettu). Esimerkiksi Seas Trym rakennussarjaa löytyy lattiamallina saksalaisen Intertechnik -yrityk-

sen verkkosivuilta hintaan n. 512 €/ kaiutin (Intertechnik n.d.). Rakennussarjojen hintoja ei kuitenkaan voi suoraan verrata keskenään, koska mukana tulevien komponenttien laatu ja määrä vaihtelevat eri sarjoissa.

Harrin Kaiutin on pieni suomalainen yritys, joka myy ja valmistaa itse suunnittelemaansa kaiuttimia, sekä myy näihin itse suunnittelemiinsa malleihin perustuvia rakennussarjoja (Harrin Kaiutin n.d.). Kaiuttimista voi lukea paljon positiivista palautetta eri hififoorumeilta ja niitä pääsee halutessaan kuuntelemaan ennen ostopäätöstä, näin ei ole kaikkien kaiutinrakennussarjojen kohdalla. Malliston kiinnostavin malli oli G18-W R36, joka on kolmitiekaiutin, jossa keskiääni-/ diskanttielementti on yksipistesäteilijä ja lisäksi kaiuttimessa on erillinen bassoelementti (Harrin Kaiutin n.d.). Malliin on suunniteltu useampia kotelokokoja ja tämä 36 litrainen jalustakaiutin olisi ollut malleista sopivimman kokoinen. G18-W rakennussarjan hinta on 409 €/ kaiutin ilman koteloita. (Harrin Kaiutin n.d.)

### 4.1.2 Audiovideo.fi-verkkolehti

Eräs hifiharrastaja kehotti tutustumaan Audiovideo.fi-verkkolehden kaiutinrakennusohjeisiin. Audiovideo-lehdessä on julkaistu lukuisia ohjeita Diy-harrastajille. Valikoimasta löytyy esimerkiksi vahvistimia, putkivahvistimia, Riaan korjain ja useita erilaisia kaiutinrakennusohjeita, monesta eri hintaluokasta. (Audiovideo.fi 2016.) Audiovideo-lehden päätoimittaja Samu Saurama on suunnitellut harrastajien käyttöön toistakymmentä kaiutinrakennussarjaa, joista osa on hifi/ PA kaiuttimia, eli PA-elementeistä tehtyjä kaiuttimia hifi äänellä (Audiovideo.fi 2016). Ajatus tällaisesta suurella bassoelementillä varustetusta kaiuttimesta vaikutti kiinnostavalta, koska erillistä subwooferia ei kokoonpanoon haluttu mukaan.

Kaikki Audiovideon suuremmat kaiutinrakennussarjat pääsivät tarkempaan tarkasteluun ja näistä mielenkiintoisimmaksi vaihtoehdoksi valikoitui Nitrosäiliö, joka on hifi/ PA-kaiutin 15 tuumaisella basso-/ keskiäänielementillä (Audiovideo.fi 2016). Toinen mielenkiintoinen kaiutin vaihtoehto oli Suuri pyöreä, joka on 15 tuumainen koaksiaalikaiutin (Audiovideo.fi 2016). Nitrosäiliö-rakennussarjan hinta on n. 605 €/ kaiutin ja Suuri pyöreä-rakennussarja maksaa vähän enemmän, n. 634 €/ kaiutin (Hifitalo n.d.). Kokonaishinnaksi edellä mainituille kaiuttimille koteloinen tulee n. 2000 € tai enemmän, jos itsellä ei ole riittävää osaamista/ paikkaa koteloiden rakentamiseksi. Koska aiempaa kokemusta kaiuttimien rakentamisesta ei ollut, eikä budjettikaan ollut riittävä, täytyi seuraavaksi siirtyä etsimään edullisempia vaihtoehtoja.

Edullisempia vaihtoehtoja Audiovideo-lehdessä on useita ja kaikki vaihtoehdot läpikäytiin tarkkaan, lukemalla kaikki keskustelut Hifiharrastajat.org-verkkosivuilta sekä Audiovideo-lehden kaiutinrakennusohjeen omista kommenttiosioista. Lopuksi vaihtoehtoisia sarjoja valikoitui kolme: Dynamiitti, joka on 12 tuumainen hifi/ PA-kaiutin, Parempi satasen satsi, joka on 10 tuumainen hifi/ PA kaiutin ja Yksisilmäiset veljekset, josta on olemassa 8, 10 ja 12 tuumaiset versiot. (Audiovideo.fi 2016.) Yksisilmäiset veljekset on koaksiaali kaksitiekaiutin, muut vaihtoehdot ovat kaksitiekaiuttimia (Audiovideo.fi 2016). Hifitalo myy Dynamiitti-kaiutinrakennussarjaa n.

342 €/ kaiutin ja Uraltone Parempi satasen satsi sarjaa n. 208 €/ kaiutin sekä Yksisilmäiset veljekset (12”) sarjaa hintaan n. 200 €/ kaiutin (Hifitalo n.d.; Uraltone n.d.).

Kaiuttimia tai hifilaitteita valittaessa, niitä yleensä koe kuunnellaan, mieluiten lopullisessa kohteessaan. Rakennussarjojen kohdalla koekuuntelu on vaikeampaa ja joissain tapauksissa jopa mahdotonta. Valmiita kaiuttimia olisi saattanut päästä kuuntelemaan jonkun harrastajan kotiin, mutta valinta päätettiin tällä kertaa tehdä sokkona. Lopulta valittiin kaiutinrakennussarjaksi Yksisilmäiset veljekset rakennussarjasta 12 tuumainen vaihtoehto, jonka osat tilattiin Uraltone.com-verkkokaupasta ja hintaa paketille tuli n. 400 € (Uraltone n.d.). Paketti sisälsi kaiutinelementit, jakosuodin osat (premium) piirilevyineen, kaiutinterminaalin, sisäiset johdot ja refleksiputket. Sivustolla voi valita mitä kaiutinkomponentteja haluaa sarjaansa ostaa, joten hinta vaihtelee paketin sisällön mukaisesti. (Uraltone n.d.)

### 4.1.3 Yksisilmäiset veljekset-kaiutinrakennussarja

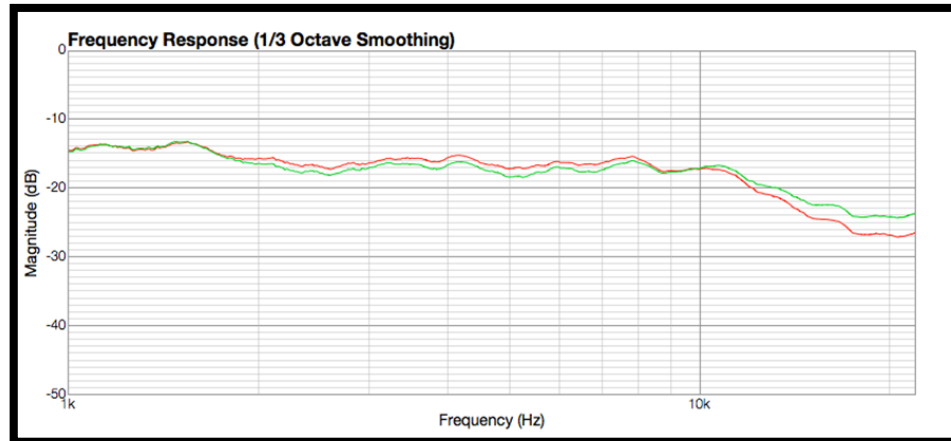
Yksisilmäiset veljekset-rakennussarja sisältää 8, 10 tai 12 tuumaiset versiot ja lisäksi kahdeksantuumaisesta versiosta on suunniteltu myös ympärisäteilevä malli, jossa elementti on suunnattu ylöspäin. Sarja perustuu amerikkalaisiin Eminence Beta koaksiaalielementteihin ja Eminence APT-50 diskanttiin, joiden hinta/ laatusuhde on hyvä. (Saurama 2016.) Kaiutinelementit maksavat yhteen kaiuttimeen n. 130 € (Uraltone n.d.). Koaksiaalikaiuttimessa kaikki ääni tulee yhdestä pisteestä ja siksi se kiinnostaa osaa alan harrastajista perinteisiä kaiuttimia enemmän. (Saurama 2016.)

Kuvasta seitsemän näkee selkeästi koaksiaalikaiuttimen rakenteen, jossa diskanttielementti ruuvataan basso-/ keskiäänielementin takana magnetissa olevaan reikään, jossa on kierteet. Diskantti sijoittuu basso-/ keskiäänielementin keskelle, pölykupin alle isomman elementin toimiessa suuntaimena diskantille.



Kuva 7 Eminence Beta (10”) josta on pölykuppi irrotettuna (Saurama 2016).

Kaiuttimen suunnittelija teki jakosuotimeen päivityksen ja päivitetty suodin ehdittiin onneksi saamaan mukaan tähän kaiutinprojektiin. Pienellä jakosuodinmuutoksella saatiin aikaan huomattava parannus äänen laatuun, joka on nähtävissä myös mittaustuloksissa kuvassa kahdeksan (Saurama 2016).

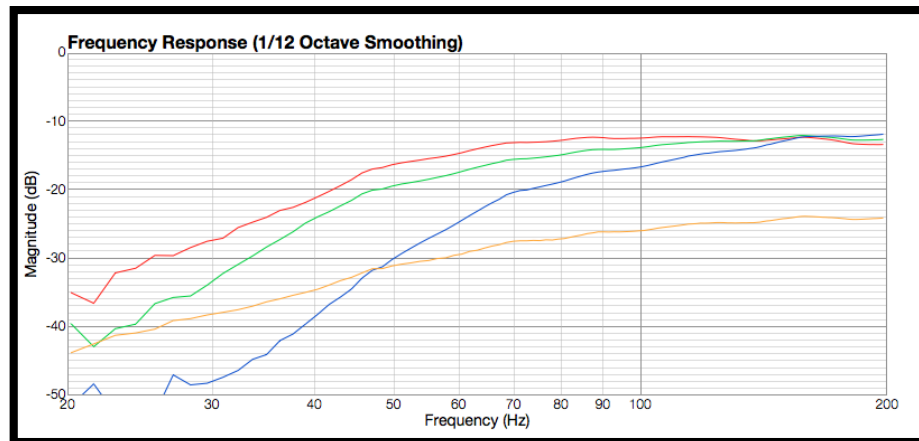


Kuva 8 Yksisilmäiset veljekset 12", muutos diskanttivasteeseen, uusi ja vanha jakosuodin (uusi vihreällä) (Saurama 2016).

Sopivan kokoinen kotelo 12 tuumaiselle mallille on n. 100 litrainen refleksikotelo tai suljettu kotelo, jossa tilavuutta tulisi olla vähintään 50 litraa. 100 litraisien refleksikotelon viritystaajuus on n. 35 hertsiä kahdella refleksiputkella varustettuna, joiden halkaisija on 100 mm ja pituus 160 mm. Kaksi refleksiputkea tuovat bassoihin tasonsäädön, putkia voidaan pitää auki, tai tukkia niitä tarpeen mukaan. (Saurama 2016.)

Kaiuttimille päätettiin tehdä ohjeessa olevat 100 litraiset refleksikotelot, ihan siitä syystä, ettei koskaan tiedä minkä tyyppisessä tilassa kaiuttimia tulevaisuudessa tullaan käyttämään ja basson säädettävyys voi tulla tarpeeseen.

Kuvassa yhdeksän: Yksisilmäiset veljekset- kaiutinsarjan bassovasteet ulkona mitattuna, punaisella 12", vihreällä 10", sinisellä 8" ja keltaisella vertailu kaiutin 6,5" AW-7 (Saurama 2016).



Kuva 9 Yksisilmäiset veljekset bassovasteet ulkona, Punaisella Beta-12CX (Saurama 2016).

## 4.2 Koteloiden suunnittelu

### 4.2.1 Alumiinikotelot

Aluksi kaiutinkoteloiden materiaaliksi ajateltiin alumiinia, mutta suunnitelmasta luovuttiin alumiinin kalliin hinnan vuoksi. 100 litraisiin koteloihin valittua materiaalia menee n. 3,5 - 4 m<sup>2</sup>, jos materiaalin paksuus on esimerkiksi kahdeksan mm, muodostuu pelkästään levyille hintaa kuljetuksineen ja veroineen n. 500 € (Tuulissuon Rautavarasto Oy, tarjous 23.2.2016). Jos hintaan lisätään reikien teettäminen, mahdolliset taivutukset, hitsaukset ja pintakäsittely, pelkät kotelot tulisivat maksamaan yli 1000 €.

Suunnitelma alumiinikoteloista saatiin vietyä melko pitkälle ja koteloista suunniteltiin Inventor 3D-ohjelmaa käyttäen useita erilaisia versioita, joista viimeisin versio kuvassa kymmenen. Taso, jolle kaiuttimet sijoitetaan, ei ole riittävä syvyydeltään alkuperäisille (kokonaissyvyys 500 mm) kotelomitoille, joten koteloa on levennetty ja syvyyttä vähennetty 340 millimetriin. Korkeutta on hieman nostettu, jotta kaiutinelementin keskipiste saataisiin kuuntelijan korvien korkeudelle.

Alkuperäisen ohjeen mukaiset kotelomitat ovat: leveys 370 mm, korkeus 600 mm, syvyys 500 mm ja tilavuus 100 litraa (Saurama 2016). Muokatun alumiinikotelon mitat ovat: Leveys 500 mm (etulevy 370 mm), korkeus 715 mm, syvyys 340 mm ja tilavuutena sama 100 litraa, kuin alkuperäisessä ohjeessa.



Kuva 10 Alumiinikotelo puisella etulevyllä

#### 4.2.2 Väliaikaiset kotelot

Koska projekti tullaan toteuttamaan pienehköllä budjetilla, koteloista päätettiin tehdä väliaikaiset mahdollisimman edullisesti. Lopulliset kotelot tullaan todennäköisesti teettämään puusepällä liimapuulevystä myöhemmin, lopullinen kotelon malli tulee todennäköisesti olemaan saman kaltainen, kuin alumiiniversiossa.

Kotelomittoihin ei tehty muita muutoksia, kuin nostamalla kotelon korkeutta 600 millimetristä 715 millimetriin, vastaavasti syvyyttä hieman pienennettiin 500 millimetristä 486 millimetriin. Muutoksista huolimatta kotelon sisätilavuus pysyy alkuperäisessä n. sadassa litrassa.

Kaikissa kotelosuunnitelmissa pidettiin etulevyn leveys ja elementin etäisyys yläreunasta samana, kuin ohjeessa, ettei suuria muutoksia äänenlaatuun tulisi etulevyn muutoksista johtuen.

Materiaali vaihtoehtoiksi valikoituivat lähinnä hintansa takia MDF-levy sekä vanerit. MDF-levyä pystyy tilaamaan esimerkiksi Hifitalosta valmiiksi sahattuina paloina, sahaus on ilmaista, levyjen hinnan ylittäessä 50 € (Hifitalo n.d.). MDF on materiaalina vähän tuntemattomampi ja kotelo saattaa jäädä soimaan, joten päätettiin tehdä kotelot vanerista.

Koivuvaneri on sellaisenaan paremman näköistä, kuin havuvaneri ja koska hintaero näiden välillä ei ollut suuri, päädyttiin valitsemaan koivuvaneri. ”Koivuvanerin pohjatyöt ennen pintakäsittelyä ovat havuvaneriin tai lastulevyyn nähden olemattomat, hintaeron säästät hetkessä” (Murtoraja Oy n.d.). Väliaikaisten koteloiden mahdollisesti jäädessä käyttöön, ovat pohjatyöt ja maalaus helpompia toteuttaa koivuvaneriin, kuin havuvaneriin.

Materiaalin paksuus rakennusohjeen prototyypeissä oli 12 mm ja materiaalina oli käytetty havuvaneria. Kotelot tulevat olemaan kohtalaisen suuret, joten koteloa pitää tukea sisäpuolelta niin hyvin kuin mahdollista, kotelon soimisen estämiseksi. Ohjeessa elementin upotus oli toteutettu toisella 12 mm levyllä, joka oli liimattu etulevyn päälle. (Saurama 2016.)

Eminence on muuttanut elementin kiinnityslaipan paksuutta ja näille elementeille sopii n. 9 mm upotus. Materiaalin paksuudeksi valittiin 18 mm ja etulevyksi elementin upotukseen sopiva 9 mm, näin etulevyn paksuudeksi muodostuu yhteensä 27 mm. Kotelon keskivaiheelle suunniteltiin tuki, joka tukee kotelon etu-, taka- ja sivuseinät toisiinsa, lisäksi koteloon laitetaan puurimoja (25 mm \* 25 mm) sisäpuolelle sopiviin paikkoihin tukemaan koteloa kaikkiin suuntiin. Koivuvaneri tilattiin valmiiksi sahattuna Murtoraja Oy:stä Lahdesta ja hintaa paloille kertyi yhteensä 100 €.

Vaikka kyseessä on väliaikaiset kotelot, kotelon osat mallinnettiin Inventorilla, lähinnä mittojen tarkastamiseksi. Inventor-ohjelman kokoonpanovaiheessa on helppo tarkastaa mahdolliset laskuvirheet ja sisämitat, tilavuuden laskemisen helpottamiseksi (kuva 11). Sisätilavuus lasketaan kaavalla kolme (mitat ovat kotelon sisämittoja):

$$\text{leveys (dm)} * \text{korkeus (dm)} * \text{syvyys (dm)} \quad (3)$$

näin laskettuna yksiköiksi saadaan kuutiodesimetrejä (dm<sup>3</sup>). Yksi kuutiodesimetri (dm<sup>3</sup>) vastaa samaa kuin yksi litra (l).



Kuva 11 Koivuvaneri-kotelo

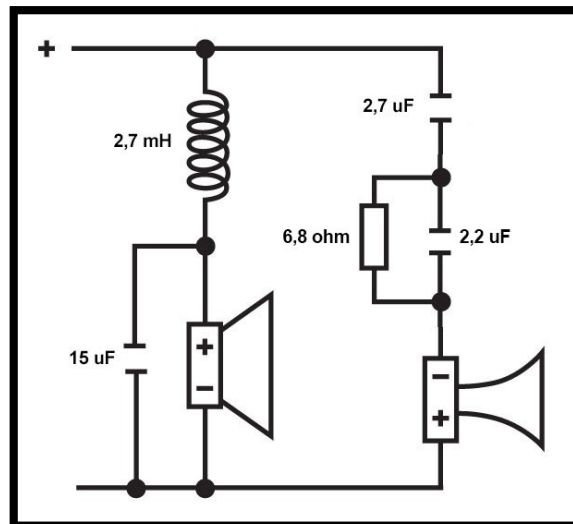
Refleksiputkia tuli koteloon ohjeen mukaisesti kaksi kappaletta, halkaisijaltaan 100 mm ja pituudeltaan 160 mm (Saurama 2016). Ohjeen prototyypissä putket on sijoitettu kaiuttimen etuosaan, elementin alapuolelle, mutta ohjeesta poiketen ne päätettiin laittaa kotelon takaosaan alas, ulkonäkösyistä. Jakosuodatin juotettiin itse valmiille piirilevyille, joka kiinnitettiin kaiutinterminaaliin ja tämä kokonaisuus kiinnitettiin koteloon. Jakosuodin/

kaiutinterminaali vaatii pystysuunnassa kotelosta oman tilansa, joten refleksi-putket täytyy sijoittaa siten, että jakosuodin mahtuu kotelon takaosaan. Kotelon pohjan ja kotelon keskituen välissä ei ole liikaa tilaa näille kaikille, mutta ne mahtuvat sinne.

### 4.3 Kaiuttimien valmistaminen

#### 4.3.1 Jakosuotimet

Kaiuttimien rakentaminen aloitettiin jakosuotimista. DIY-kaiuttimien jakosuotimet voidaan koota puulevyllä liimaamalla komponentit kiinni levyyn ja juottamalla komponentit toisiinsa kuvan mukaisesti. Uraltone myy sopivaa piirilevyä ja siihen sopivaa kaiutinterminaalia ja näitä päätettiin käyttää hyväksi jakosuotimen kokoamisessa (Uraltone n.d.). Uraltonella on tarjolla normaali- ja Premium- osasarjat, joiden hintaero on n. 10 € ja näistä valitaan parempi, eli Premium (Uraltone n.d.).



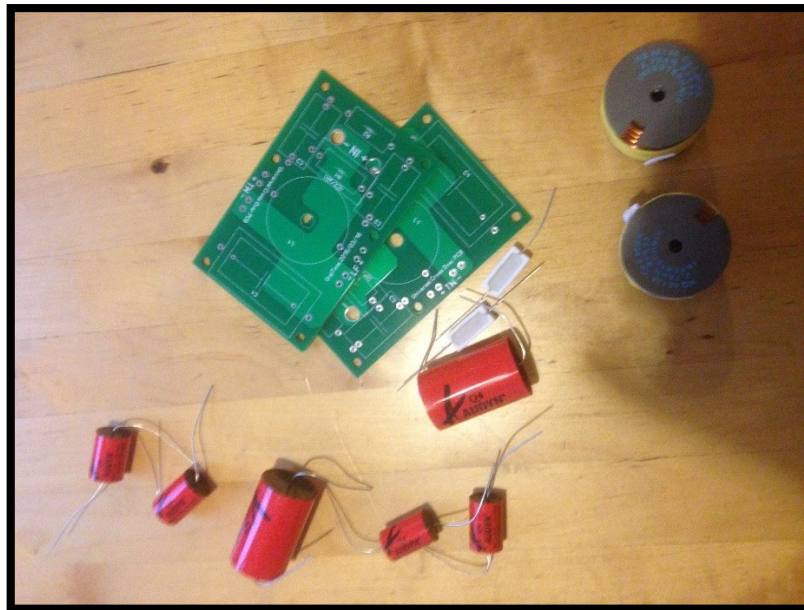
Kuva 12 Uusittu jakosuodin Beta-12CX ja APT:50 (Saurama 2016).

Kuvassa (12) on uusitun jakosuodattimen kytkentäkaavio. Jakosuodin on melko yksinkertainen, siinä on ainoastaan viisi osaa. Huomioitavaa on diskantin vaihe, joka on käännetty, eli diskantin plusnapa kytketään jakosuotimen miinusnapaan.

Audiovideo.fi-lehdessä olevat ohjeet ovat hyviä ja selkeitä ja näillä jakosuotimen kokoaminen puulevyllä olisi todennäköisesti ollut huomattavasti helpompaa, kuin piirilevyllä. Uraltonesta tulivat osat ja piirilevy, mutta ei varsinaista ohjetta, mihin kohtaan piirilevyä mikäkin komponentti kuuluu. Uraltonen sivuilla on kuva valmiista jakosuotimesta, mutta siitä huolimatta ei voinut olla varma onko kyseessä täysin saman kaiuttimen suodin. Hifi-harrastajat.org-sivuilta löytyi joitakin kuvia valmiista jakosuotimesta ja näiden kuvien sekä piirilevyn perusteella tarkastettiin ja suunniteltiin paikat komponenteille.



Uraltonesta olisi kannattanut tilata, piirilevyille juotettavat Abico-liittimet kaiutinelementtien johdoille, koska reiät piirilevyssä olivat liian pienet 2,5 mm<sup>2</sup> johdolle, vaikka johto oli jaettu kahteen piirilevyn reikään. Kaiutinterminaalien juottaminen kiinni piirilevyyn, vaatii tehokkaan kolvin. Terminaalissa olevat abiko urokset juotetaan kuvassa (13) näkyvien piirilevyjen isoimpiin reikiin, joten tehoa tulisi olla riittävästi kunnan juotoksen aikaan saamiseksi. Valmiit juotokset näkyvät kuvassa (14), kohdassa jossa piirilevyissä lukee: + IN -.



Kuva 13 Jakosuodattimen osat ennen kokoamista

Jakosuotimen diskantin ”kätisyyttä” ei ole otettu huomioon piirilevyssä, todennäköisesti sama piirilevy on käytössä useassa muussakin kaiutinrakennussarjassa. Seuraavaksi suotimen diskantin johdot juotettiin piirilevyyn valmiiksi ”väärinpäin”, joten kaiuttimen kasausvaiheessa ei tarvitse enää välittää asiasta ollenkaan. Johtojen (+) ja (-) tulevat kaiutin elementteihin normaalisti.

Jakosuotimet testattiin ja ne toimivat kumpikin. Kuvassa (14) on valmiit jakosuotimet.



Kuva 14 Valmiit jakosuotimet

## 4.3.2 Kotelot

Levyt tilattiin valmiiksi leikattuina oikean kokoisiksi paloiksi, jonka jälkeen levyihin piti vielä tehdä kaikki tarvittavat reiät. Reiät tehtiin pistosahalla käsivaraisesti, koska kyseessä olivat väliaikaiset kotelot (kuva 15). Elementin upotusreiän tekemistä varten olisi pitänyt tehdä jonkinlainen ohjuri, lopputulos olisi siten ollut vähän siistimpi ja näillä koteloilla saattaisi olla tulevaisuudessa käyttöä muuhun kuin lämmitystarkoitukseen.

Koteloiden kokoamista varten hankittiin puuliimaa ja sopivia puuruuveja, lisäksi kaiutinelementtien ja kaiutinterminaalin/ jakosuotimen kiinnittämiseen tarvittiin iskumuttereita ja sopivat ruuvit niihin.

Ruuveille porattiin alkureiät levyn halkeamisen estämiseksi ja tämän jälkeen liimattiin/ ruuvattiin kotelot kasaan. Takalevyä lukuun ottamatta kaikki muut liitokset liimattiin, joten takalevy on kiinni pelkästään ruuveilla ja välissä on tiiviste, irrotettavalla takalevyllä helpotetaan kaiuttimen kasaamista ja purkamista jatkossa. Elementin upotuslevy kiinnitettiin etulevyyn ainoastaan liimaamalla, siten saatiin kaiuttimen etuosa pidettynä ehjänä, eli etuosaan ei tule näkyviin ruuvinreikiä ja -kantoja.



Kuva 15 Osia ennen kotelon kasausta

Koteloiden sisälle tulevat tukirimat mitoitettiin yksi kerrallaan sopiviksi, siten kotelo saatiin tarpeeksi tukevaksi kaikkiin suuntiin ja kotelosta saatiin tällä tavoin riittävän jäykkä (kuva 16).



Kuva 16 Kotelo on riittävän jäykkä

Kun kotelot olivat lähes valmiit, lopuksi niihin liimattiin kaiutinelementtiä varten upotuslevy etulevyn päälle (kuva 17). Tämän jälkeen kotelot olivat valmiit ja seuraavana työvaiheena oli kaiuttimien kasaus.



Kuva 17 Kaiutinelementin upotuslevyn liimaus

### 4.3.3 Kokoonpano

Kaiuttimien etu- sekä takalevyihin laitettiin valmiiksi iskumutterit kaiutinelementin ja kaiutinterминаalin kiinnitystä varten, tämän lisäksi refleksiputket sovitettiin niille kuuluviin reikiin.

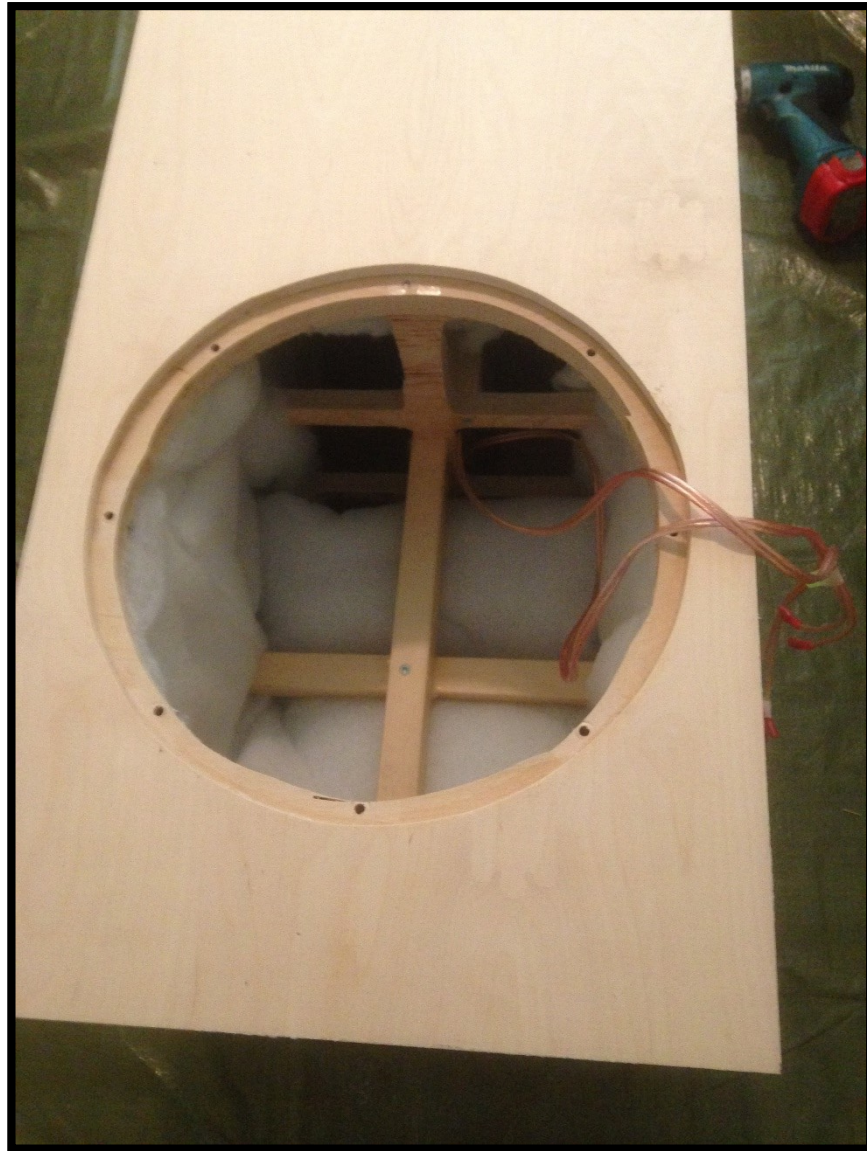
Kaiutinkotelon vaimennusaineeksi valittiin vanulevy. Vanulevyä saatiin kahdesta vanhasta peitosta ja sitä ostettiin suunnilleen saman verran lisää Etolasta. Vaimennusaineena käytettävän vanun määrälle ei löytynyt mitään tarkkaa ohjetta refleksiviritteiselle kotelolle, joten sitä laitettiin n. 2/3 osaa koteloiden tilavuudesta, näin kaiutinelementin takaosa ja refleksiputkien suuaukot jäävät reilusti vapaaksi ja ilma pääsee kulkemaan refleksikanaviin vapaasti (kuva 18).



Kuva 18 Kaiutinkotelon vaimennus

Tämän jälkeen takalevyyn kiinnitettiin kaiutinterminaali/ jakosuodin -paketti, jonka jälkeen takalevyt ruuvattiin kiinni koteloihin. Tiivisteenä takalevyjen kiinnityksessä käytettiin tavallista ikkunatiivistettä, joka näkyy kuvassa (18).

Takalevyjen kiinnityksen yhteydessä kaiutinelementeille menevät johdot ujutettiin valmiiksi etulevyn reiästä ulos, minkä jälkeen johdot oli helppo yhdistää elementteihin ja kiinnittää kaiutinelementit koteloihin. Johtoihin oli valmiiksi teipattu tiedot siitä, kumpi johtopari menee diskantille ja kumpi basso-/keskiäänielementille (kuva 19).



Kuva 19 Kaiutinkotelo ennen elementin kiinnitystä

Johdot kiinnitettiin kaiutinelementteihin Abiko -liittimillä, mikä helpottaa tulevaisuudessa kaiuttimien purkamista mahdollisen koteloiden vaihdon, tai pintakäsittelyn takia. Diskantit kiinnitettiin basso-/ keskiäänielementtiin ja johdot yhdistettiin, tämän jälkeen elementit kiinnitettiin koteloihin ja kaiuttimet olivat valmiit (kuva 20).



Kuva 20 Valmis kaiutin

## 5 PÄÄTEVAHVISTIN

### 5.1 Vahvistinluokan ja -mallin valinta

Muutama vuosi sitten, eräs kaverini kertoi tehneensä itselleen AB-luokan päätevahvistimen ja lupasi tarvittaessa kasata minullekin sellaisen. Silloin sellaisen kasaaminen tuntui lähes mahdottomalta, edes valmiita komponentteja toisiinsa liittämällä, kaverini sanoin: ”eihän se ole kuin reikien poraamista ja johtojen yhdistelyä”. Tämä vaihtoehto jäi kuitenkin kaivelemaan ja päätin lähteä vahvistinta suunnittelemaan/ rakentamaan, osana tätä lopputyötä.

Erilaisia rakennussarjoja ja -ohjeita löytyy Suomesta ja muualta maailmasta runsaasti ja aluksi tutustuttiin Audiovideo -verkkolehden ohjeisiin. Audiovideo -verkkolehdestä löytyy ohjeita A-luokan putkivahvistimen valmista-

miseen, sekä ohjeita D-luokan vahvistimen valmistamiseen, joissa on käytetty Hypex -merkkisiä, valmiita vahvistin moduuleita (Audiovideo.fi 2017).

Putkivahvistimen rakentaminen ei ole helppoa ja valmiita koottuja moduuleita näihin ohjeisiin ei ole saatavilla, joten tästä ajatuksesta luovuttiin. Kaikki komponentit olisi pitänyt itse juottaa piirilevyille ja tähän ei mahdollisesti olisi osaaminen riittänyt. Mahdollisten vikojen etsiminen tuntui myös mahdottomalta ajatukselta, koska riittävää sähkötekniikan osaamista ja mittaustaitoa ei ole.

D-luokan Hypex -päätevahvistin vaikutti erittäin mielenkiintoiselta vaihtoehdolta ja oli vakavassa harkinnassa, lopulta kuitenkin päädyttiin valitsemaan AB-luokan vahvistin, vaikka Hypex merkkisiä päätteitä on paljon keuhuttu useilla Hifi -foorumeilla.

Internetistä löytyi mielenkiintoinen suomalainen AB-luokan ohje vahvistimen valmistamiseen, nimeltään Superi. Superi on Mikko Esalan suunnittelema 2 x 220W RMS tehoinen hyvälaatuinen päätevahvistin, jonka valmistamista varten on osia saatavilla huolimatta siitä, että ohje ei ole enää tuore. (Esala 1999.) Kyseisen ohjeen mukaan, pitäisi kaikki komponentit juottaa itse piirilevyihin, joten tähän ei ryhdytty, vaikka ohje vaikutti kiinnostavalta.

Kaverini päätevahvistin on toteutettu kiinalaisilla ebay:sta tilatuilla LJM-Audio vahvistinmoduuleilla, joihin myyjä lupaa kohtalaisen hyvät teho- ja säröarvot. Päätettiin rakentaa samanlainen päätevahvistin, vaikka jonkinlainen epäily ebayn Kiina-hifiä kohtaan on olemassa. Päätevahvistin mitattiin ja mielenkiintoista oli nähdä, pitivätkö luvatut arvot paikkansa.

## 5.2 Komponenttien ja koteloiden valinta ja tilaus

Komponenttien valinnassa kaverini auttoi minua etsimällä minulle sopivia osia, lisäksi hän neuvoi kaikissa sähköteknisissä ongelmissa, joita tuli vastaan matkan varrella. Hän kertoi vahvistimen perusrakenteesta ja vahvistimeen tarvittavista peruskomponenteista. AB-luokan vahvistimen rakentamiseen tarvitaan seuraavia komponentteja: virtalähde ja vahvistinmoduuli, näiden lisäksi tarvitaan kotelo, erilaisia liittimiä, johtoja yms.

Koska käytettävä vahvistinmoduuli on mono (kaksi kpl.), vaihtoehtoisia rakenteita on kaksi, eli vahvistimessa voi olla yksi iso muuntaja ja yksi virtalähde, tai kaksi vähän pienempää muuntajaa ja kaksi virtalähdettä. Kahden muuntajan systeemissä rakenteesta tulee ns. tuplamonorakenne, jossa kummallekin kanavalle tulee toisistaan riippumattomat osat: muuntaja, virtalähde ja vahvistinmoduuli. Mikäli molemmille kanaville tulisi omat virtajohtonsa ja päätevahvistimeen ei tulisi äänenvoimakkuuden säätöä, olisi mahdollista rakentaa kumpikin kanava eri koteloihin ja näin usein toimitaan, jotta häiriöt saadaan vähennettyä minimiin.

Hintaeroa yhden tai kahden muuntajan systeemeille tuli n. 30 €, joten päätettiin rakentaa vahvistin, jossa on kummallekin kanavalle oma muuntaja



sekä virtalähteensä (Elgood Oy n.d.; ebay n.d.). Lopulta päätettiin hankkia yksi iso kotelo, johon haluttiin lisäksi äänenvoimakkuuden säätö.

### 5.2.1 Muuntajat

Muuntajat (kuva 21) tilattiin suomalaisesta Partco -verkkokaupasta. Muuntajat ovat rengassydänmuuntajia, joissa on tehoa 260 VA ja ne antavat ulos 2 x 38 V jännitteen kuormitettuna, kyseisiä muuntajia valmistaa suomalainen Muuntosähkö Oy. Hintaa muuntajille tuli postikuluineen n. 105 €. (Elgood Oy n.d.)

Muuntajista lähtevä 2 x 38 Voltin vaihtojännite ei laskennallisesti aivan riitä päätemoduulien maksimitehoon, johon tarvitaan + - 65 Voltin tasajännite. 2 x 38 V vaihtojännite tasasuunnattuna voidaan laskea kaavalla kaksi:

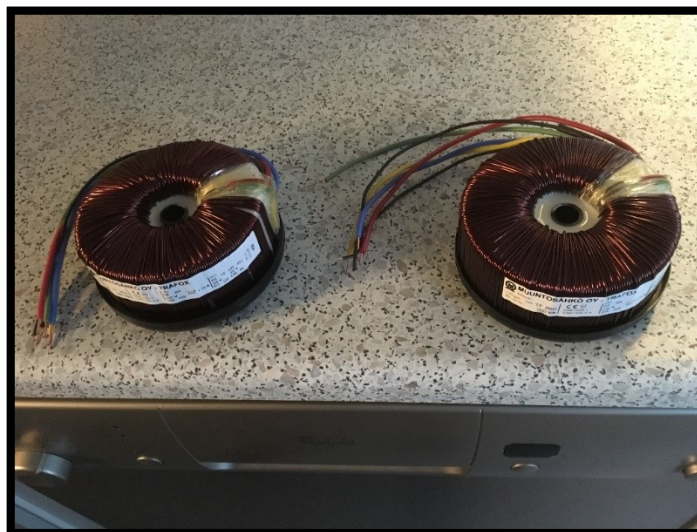
$$U = \frac{38V+38V}{\sqrt{2}} - 0,6V \approx \pm 53,14V$$

Muuntajan toisiopiirit kytketään sarjaan, tästä syystä ne ovat laskettuna yhteen laskussa.

Maksimiteho päätemoduuleilta 2 x 200W/ 8  $\Omega$  olisi vaatinut muuntajat, jotka olisivat antaneet ulos n. 2 x 47 V vaihtojännitettä:

$$U = \frac{47V+47V}{\sqrt{2}} - 0,6V \approx \pm 65,87V$$

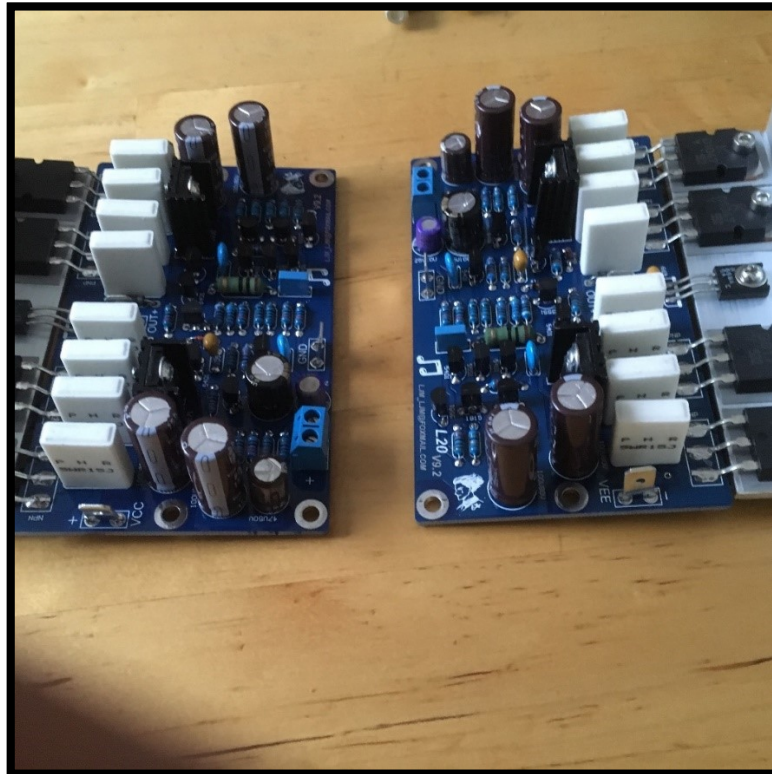
Muuntajat (2 x 45 V) olisivat olleet saatavilla Alankomaista ja niiden hinta olisi noussut yhteensä n. 100 euroa (Toroidal Transformer.com n.d.). Päätemoduuleista saatava teho 300W/ 4 $\Omega$ , vastaa laskennallisesti samaa kuin 150 W/ 8  $\Omega$  ja tämä luvataan +- 55 V jännitteellä, voidaan siis olettaa tulevan päätevahvistimen tehoksi n. 2 x 140 – 2 x 150 W/ 8  $\Omega$ . (ebay n.d.)



Kuva 21 Rengassydänmuuntajat

### 5.2.2 Päätemuodulit

Päätemuodulit (kuva 22) tilattiin ebaysta valmiiksi kasattuina, moduulit ovat samat, kuin kaverin mallivahvistimessa olevat, mutta uudempana versiona. Mallivahvistimessa käytettiin LJM-Audio L20 V7 päätemuoduleita, kun tähän projektiin tilatut ovat L20 V9.2. Hinta kuljetettuna ja kasattuna oli n. 51 € yhteensä. (ebay n.d.)



Kuva 22 LJM-Audio L20 V9.2 päätemuodulit

LJM-Audio:sta oli vaikeaa löytää oikeastaan mitään tietoja, ilmeisesti kyseessä on kiinalainen hifiharrastaja, joka vahvistimet suunnittelee. Diyaudio.com -sivustolta löytyy profiili: ljm\_ljm joka esittelee kyseisellä keskustelusivustolla uusia tuotteitaan ja vastailee kysymyksiin. Päätemuoduleissa on osoite: [www.ljmaudio.net](http://www.ljmaudio.net), joka ei ainakaan tällä hetkellä ole toiminnassa. Osoitteesta: [www.ljmaudio.cn/forum.php](http://www.ljmaudio.cn/forum.php), löytyy jonkinlainen keskustelusivusto, jossa esitellään tuotteita ja vastaillaan kysymyksiin. Kyseinen sivusto on kiinankielinen, joten sisällön ymmärtäminen on vaikeaselkoista, koska kiinankieli ei ole hallinnassa ja selaimien eri kääntäjistä ei ole apua ja ne ovat mitä ovat.

### 5.2.3 Virtalähteet

Virtalähteet (kuva 23) tilattiin myös ebaysta valmiiksi kasattuina. Virtalähteet sisältävät kumpikin erikseen 4 x MUR860G tasasuuntaajia, sekä 4 x Elna 10 000 $\mu$ F/ 80 V kondensattoreita ja hintaa virtalähteille kertyi postitteen yhteensä n. 85 euroa. (ebay n.d.)

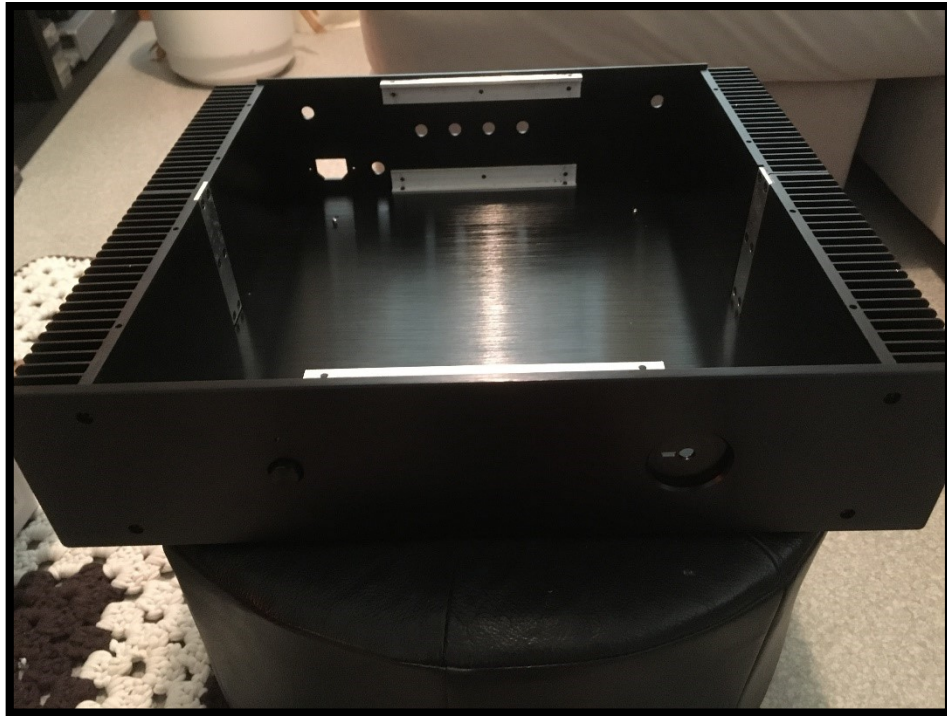


Kuva 23 Virtalähde (ebay n.d.).

#### 5.2.4 Kotelo

Sopivan vahvistinkotelon löytäminen kohtuulliseen hintaan osoittautui vaikeaksi, koska vahvistin haluttiin rakentaa koteloon, joka on täysilevyinen (n. 450 mm leveä), väriltään musta ja jossa on paikka äänenvoimakkuuden säädölle. Alumiinin värisiä ja/ tai kapeampia koteloida on saatavilla runsaasti ja edullisesti. Etsittiin sellaista koteloa, jossa vahvistimen jäähdytysrivat olisivat jo valmiina kyljissä.

Sopiva kotelo löytyi (kuva 24) ja se tilattiin ebaysta, kokonaishinnaksi vahvistinkotelolle kertyi kuljetuksen ja verojen kanssa yhteensä 200 euroa. Kotelo tuli suunniteltua kalliimmaksi, kun ohjehinta kotelolle ilman kuljetuksia, veroja ja tulleja oli 69 puntaa, eli n. 81 euroa.



Kuva 24 Vahvistinkotelo

#### 5.2.5 Johdot, liittimet, ruuvit yms.

Ruuvit, mutterit, aluslevyt, kulmaraudat ja alumiininen turkkilevy hankittiin Motonetistä ja hinnaksi ostoksille kertyi noin 50 euroa. Turkkilevyä tarvittiin vahvistinkoteloon valmistettavia väliseiniä varten.

Uraltone Oy:stä tilattiin Alps 10 kiloOhmin logaritminen potentiometri äänenvoimakkuuden säätämistä varten. Lisäksi Uraltonesta hankittiin kaiutinterminaalit, runkoliittimet, kojeliitin, virtajohto, kutistesukkaa yms. ja hinnaksi näille hankinnoille kertyi yhteensä 87 euroa.

Partcon verkkokaupasta tilattiin johtoja, liittimiä, juotostinaa yms. ja hintaa ostoksille kertyi yhteensä 27 euroa. Vahvistimen ollessa koekäytössä huomattiin, että kaiuttimista kuului ikävä poksahdusääni, kun virta kytkettiin päälle. Käynnistyksestä aiheutuvan äänen poistamiseksi hankittiin Partcon verkkokaupasta kytkentävirrän vaimennin muuntajalle ja hintaa kertyi postikuluneen n. 53 euroa. Hankinta osoittautui turhaksi, koska se ei vaikuttanut/auttanut kyseiseen ongelmaan mitenkään, eikä ole siihen edes tarkoitettu.

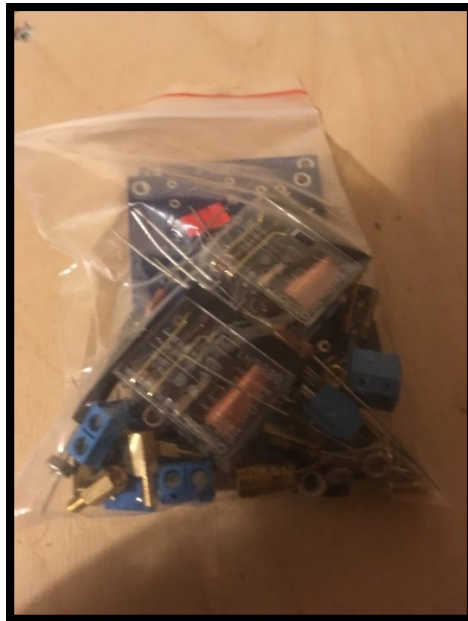
#### 5.2.6 Kaiuttimen suojarahat

Koska kaiuttimista kuuluvaan poksahdusääneen ei kytkentävirränvaimennin vaikuttanut mitenkään, lähdettiin tutkimaan jotain muuta keinoa äänen poistamiseksi. Myynnissä on erilaisia kaiutinsuojareleitä, jotka tekevät käynnistyksen yhteydessä pienen viiveen kaiutinlähtöjen avaamiseen, lisäksi ne sulkevat kaiutinlähdöt, mikäli havaitsevat muita virheitä jännitteessä, esimerkiksi tasavirtaa (Radioduo Oy n.d.).

Ongelmana oli löytää monovahvistimelle sopivat releet (valmiissa vahvistimessa päätemoduulit ovat kaukana toisistaan) ja toisaalta niihin pitäisi saada sopiva käyttöjännite. Vahvistimessa on saatavilla, ilman kuormaa, muuntajilta tuleva n. 40,5 V (mitattu) vaihtojännite, sekä tasasuunnattu n. 60 V (mitattu) tasajännite.

Lähes kaikki myynnissä olevat kaiutinsuojareleet toimivat pienemmillä jännitteillä, tai ne ovat stereomoduuleita. Koteloon ei haluttu enempää muuntajia ja pitkän etsimisen jälkeen löytyi Kiinasta sopiva kaiutinsuojarele, joka toimii 35 – 48 V vaihtojännitteellä (Analogmetric 2009). Kaiutinsuojareleet olisi mieluummin tilattu ebaysta, mutta sieltä löytynyttä versiota ei saanut valmiiksi kasattuna, joten tuote tilattiin suoraan yrityksen omien kotisivujen kautta (Analogmetric n.d.; ebay n.d.).

Kasaus ja testaus maksoivat yhteensä 8 dollaria ja kuljetus oli vähän kalliimpi, kuin se olisi ollut ebayn kautta tilattuna. Yrityksen sivut osoitteessa: [www.analogmetric.com](http://www.analogmetric.com), lakkasivat toimimasta pian tilauksen jälkeen ja epäilyä herätti, saako sieltä ollenkaan tilattua tavaraa. Kaiutinsuojareleet saapuivat, mutta kasaus ja testaus oli päässyt unohtumaan (kuva 25), eli osat oli juotettava itse. Paketista puuttuivat lisäksi sähköpiirustukset ja -kaaviot, ne löytyivät onneksi internetistä, kun etsimiseen käytti hieman aikaa. Kaiutinsuojareleille kertyi hintaa yhteensä 42 euroa. (Analogmetric n.d.)

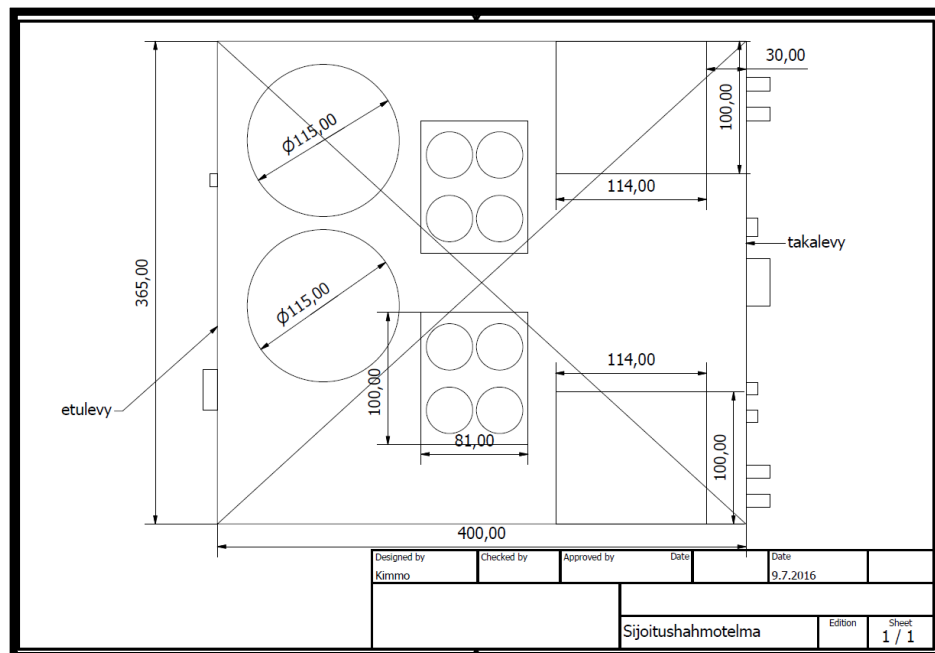


Kuva 25 Kaiutinsuojareleet, ”kasattuna ja testattuna”

### 5.3 Suunnittelu

#### 5.3.1 Komponenttien sijoittelu kotelossa

Aluksi päätettiin, millä tavoin eri komponentit sijoitetaan vahvistin koteloon ja miten johdot saadaan vedettyä, niin että mahdollisia häiriöitä ei johdotuksista johtuen synny. Inventor 3D -ohjelmalla piirrettiin muutamia mallinnuksia, joista viimeisin versio kuvassa (26).

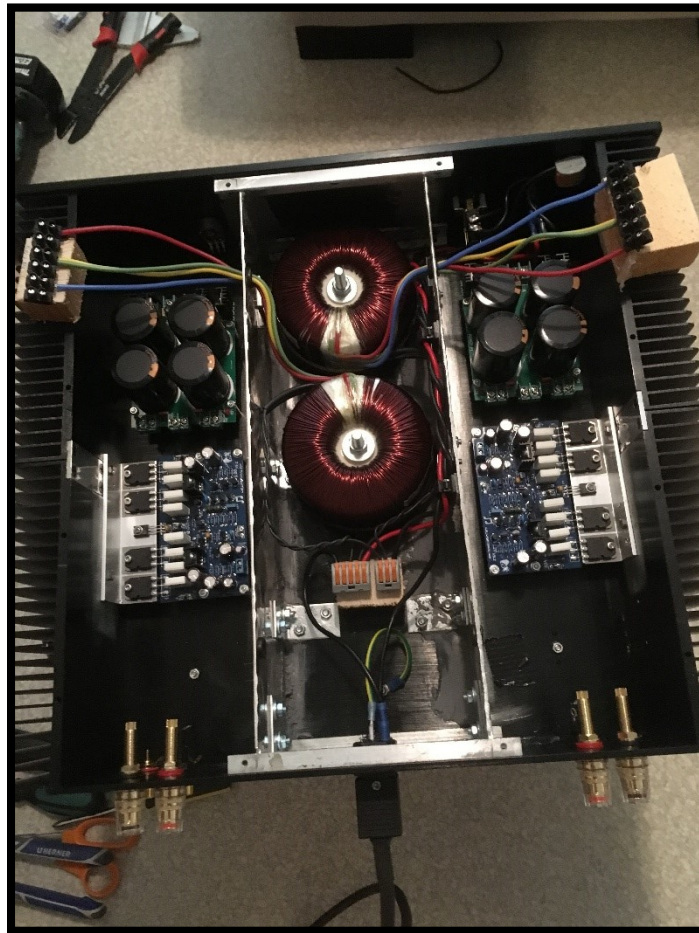


Kuva 26 Yksi vaihtoehdoista komponenttien sijoittamiselle

Kun kaikki tilatut komponentit olivat saapuneet ja kotelo oli kasattu, selvisi, että toinen muuntaja ei sovi kuvassa (26) olevalle paikalle. Kotelon mukana tullut virtakytkin vei tilaa kotelon sisältä luultua enemmän. Toisena huonona puolena suunnitelmassa huomattiin vahvistinmoduulin jäähdytys. Jäähdytyselmenttinä toimivat kotelon kyljet ja tästä syystä on hyvä, jos vahvistinmoduuli on sijoitettuna mahdollisimman keskelle koteloa jäähdytyksen maksimoiseksi.

Koteloon päätettiin rakentaa väliseinät alumiinilevystä ja siitä tehtiin siten kolme osainen. Keskimmäiseen osaan sijoitettiin muuntajat sekä verkkovirtajohto ja sivuille virtalähteet sekä päätmoduulit. Myöhemmin kotelon reunoille lisättiin kaiutinsuojamoduulit. Kuvassa (27) ovat muuntajat, virtalähteet ja vahvistinmoduulit kiinnitettyinä koteloon, muuntajien mittaus on käynnissä.

Takalevyssä olleet valmiit reiät liittimiä varten jouduttiin tekemään uudestaan, koska esimerkiksi verkkovirtajohto siirtyi reunalta keskelle. Verkkovirtaliitin vaihdettiin kooltaan suurempaan ja uudessa liittimessä on sulake, joten erillistä sulakepesää ei tarvitse asentaa.



Kuva 27 Komponenttien sijoittelu ja muuntajien ensimmäiset mittaukset

### 5.3.2 Sähkökytkennät

Verkkovirtaliittimestä vedettiin kelta-vihreä suojamaadoitusjohto kotelon runkoon, välittömästi sisääntulon viereen. Tämä estää sen, ettei kotelo voi muuttua jännitteelliseksi vikatilanteessa. Mikäli vikatilanne syntyy, laukeaa vikavirtasuojaja tai sulake. (Rantala 2016.)

Verkkovirtaliittiminä käytettiin nykyaikaisia Wago rasialiittimiä, joita on saatavilla eri kokoisia, esimerkiksi kuvassa (27) näkyvät kolme- ja viisipaisiset liittimet muuntajien alapuolella. Verkkovirta kierrätettiin etulevyssä olevan virtakatkaisijan kautta ja katkaisijan viereen asennettiin valo (230V), jolle täytyi asentaa johdot. Suurin osa verkkovirtajohdoista sijoitettiin kotelon keskiosaan ja sillä tavoin vältettiin turhia häiriöitä.

Kummassakin muuntajassa on kaksi toisiopiiriä 2 x 38 V, joten virtalähteelle lähteviä johtoja on neljä kappaletta sekä kaksi kappaletta ensiöpiirin johtoja 230 V, jotka kytkettiin verkkovirtaan. Muuntajat kytkettiin sarjaan kuvassa (28) olevan keskimmäisen kytkennän mukaisesti. Siten voidaan saada uloimpien sinisen ja punaisen johtimen väliltä mitattua (kuormitettuna) 76 V vaihtojännitettä ja kumman tahansa reunassa olevan ja keskijohdinten (vihreä + keltainen) väliltä (kuormitettuna) 38 V vaihtojännitettä (Huhtama n.d.).

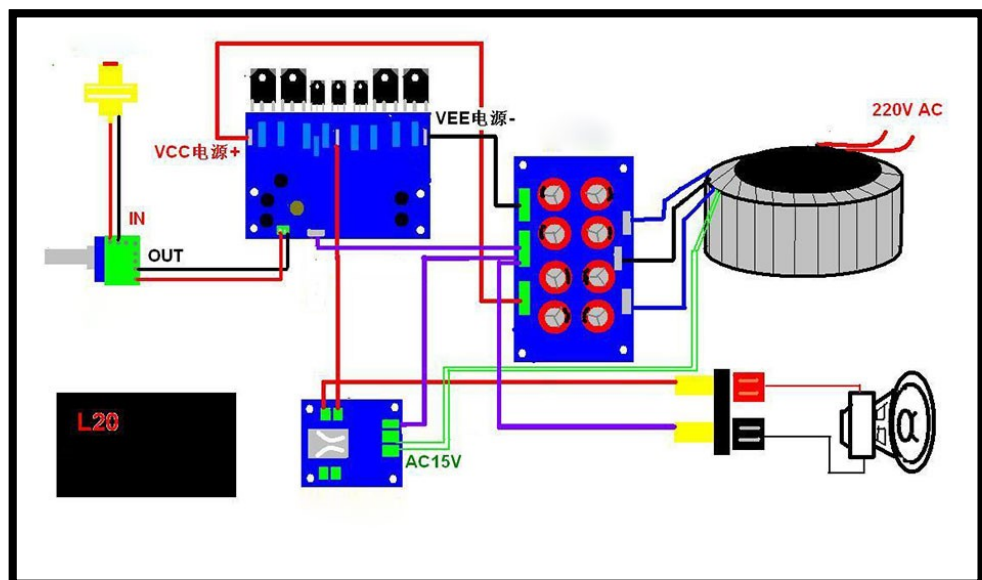


Kuva 28 Trafox rengassydänmuuntajan kytkentätavat (Trafox Oy 2016).

Muuntajissa olevat kaksi mustaa johdinta kytkettiin verkkovirtaan. Toisessa johdoista on ensin sulake ja tämän jälkeen virtakytkin. Loput neljä johtoa kytkettiin suoraan virtalähteeseen ja muuntajat sijoitettiin siten, ettei muuntajien johtoja tarvinnut jatkaa.

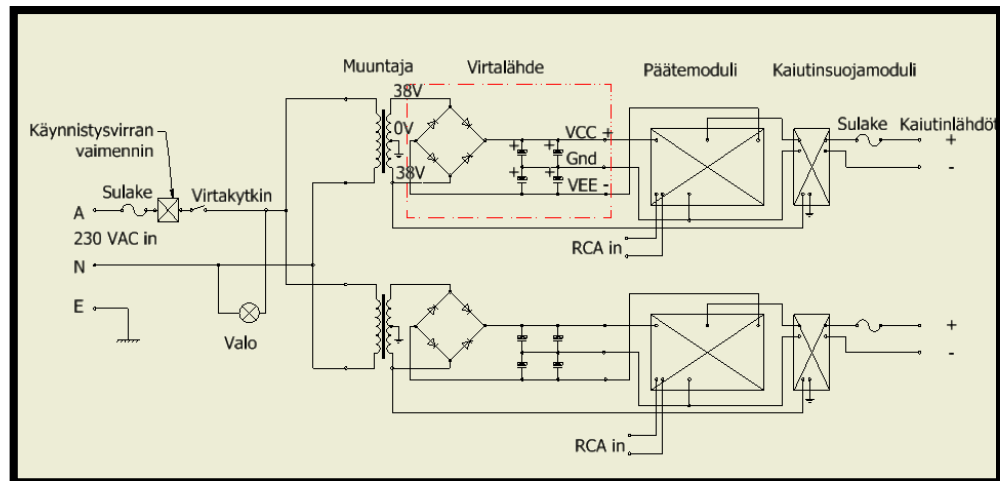
Virtalähteissä on kolme tuloliitintä, joihin muuntajilta tulevat johdot kytkettiin siten, että reunimmaisiin liittimiin kytkettiin sininen ja punainen johto ja keskimmäiseen nollaliittimeen vihreä ja keltainen johto.

Päämoduulin mukana tuli kytkentäkaavio (kuva 29), jonka mukaisesti piirrettiin päätevahvistimen lopullinen kytkentäkaavio (kuva 30). Kuvasta puuttuu sisään tulevan signaalin RCA -johdotus. RCA-johdot menevät sisääntuloliittimiltä stereo volume-potentiometrille, josta johdot menevät päätemoduuleille, kuten kuvasta (29) nähdään.



Kuva 29 Päämoduulin kytkentäkaavio





Kuva 30 Päätevahvistimen kytkentäkaavio

Päätemoduulit liitettiin virtalähteisiin kuvan (29) mukaisesti. Ensimmäisessä vaiheessa kaiutinsuojamoduuleja ei vielä ollut, joten päätemoduulilta lähtevät johdot kytkettiin suoraan kaiutinlähtöihin, (+) johto kierrätettiin sulakkeen kautta.

Sulakkeita päätettiin laittaa verkkosulakkeen lisäksi myös kaiutinlähtöihin. Sulakepesät valittiin sillä perusteella, että sulakkeet pystytään vaihtamaan laitteen ulkopuolelta koteloavaamatta. Verkkosulake on hidas 4 A ja kaiutinliitännöissä on hidas 5 A sulake. Muut liittimet ja kytkimet on mitoitettu vähintään 10 A virrankestolle.

Sähköjohtoina käytettiin poikkipinta-alaltaan  $2,5 \text{ mm}^2$  kokoista monisäikeistä johtoa ja signaalijohtona käytettiin hyvälaatuista koaksiaalikaapelia. Äänenvoimakkuuden säätämistä varten valittiin Alps  $10 \text{ k } \Omega$  logaritminen stereopotentiometri. Apuna sulakkeiden mitoituksessa ja potentiometrin asennuksessa käytettiin Mikko Esalan suunnitteleman Superi Stereovahvistimen ohjetta (Esala 1999).

Kaiutinlähtöihin ja signaalin sisään-tuloon (RCA) valittiin järeät, suojatut ja juotettavat liittimet. Liittimien valinnassa kannattaa kiinnittää huomiota sekä johdon kiinnitystapaan (jos ei halua juottaa), että kotelon paksuuteen. Yhdet RCA-liittimet olivat kierteeltään liian lyhyet ja näin ollen ne eivät sopineet liian paksuun koteloon.

#### 5.4 Kokoaminen

Vahvistimen kokoaminen aloitettiin kotelosta, joka saapui Kiinasta osina (kuva 31). Kun kotelo oli saatu kasattua ja eri komponenttien sijoituspaikat päätetty, tehtiin takalevyyn tarvittavat uudet reiät ja ylimääräiset peitettiin. Kotelon väliseinät leikattiin alumiini-turkkilevystä sopivan kokoisiksi ja kiinnitettiin koteloon kulmarautojen avulla, jotka kiinnitettiin pulteilla ja muttereilla.



Kuva 31 Vahvistinkotelo osina

Tämän jälkeen koteloon kiinnitettiin jokainen komponentti yksi kerrallaan ja reikiä porattiin kymmenittäin. Kaikkien piirilevyllä varustettujen komponenttien kiinnityskohtiin laitettiin 20 mm pitkät korokejalat, ettei piirilevy tule liian lähelle sähköä johtavaa alumiinikoteloä. Väliseiniin tuleviin läpivientireikiin laitettiin läpivientikumit estämään johtojen rikkoutuminen. Muuntajien alle asennettiin routamattoa pehmusteeksi estämään muuntajan mekaanisia ääniä.

Takalevyyn kiinnitettiin kaikki liittimet: verkkovirta, kaiutinlähdöt, RCA:t ja sulakkeet. Tämän jälkeen asennettiin kaikki johdot, suurin osa johtoliitoksista oli ruuviliittimillä ja osa Abiko-liittimillä, ainoastaan kaiutinlähdöt, RCA-liittimet sekä päävirtakytkin juotettiin.

Volume-potentiometrissä (stereo) on kuusi pientä juotoskorvaketta, joihin juotettiin kahdeksan johtoa. Juottamisessa olisi ollut avuksi apupiirilevy, mutta valmistusvaiheessa sellaisen olemassaolosta ei vielä ollut tietoa, joten johdot juotettiin suoraan potentiometriin kiinni.

Kun verkkovirta oli kytketty ja muuntajat kiinnitetty siihen, tehtiin ensimmäinen testimittaus (kuva 27). Sama toistettiin virtalähteiden asennuksen jälkeen, näin varmistettiin osien toimivuus ja samalla oikeanlaiset kytkennät. Tämän jälkeen oli tarpeen katsoa tarkasti mihin sormensa työntää, koska isojen kondensaattorien tyhjentäminen kestää jonkin aikaa ja vahvistimessa on silloin suuret jännitteet, vaikka verkkojohto olisi irrotettu laitteesta.

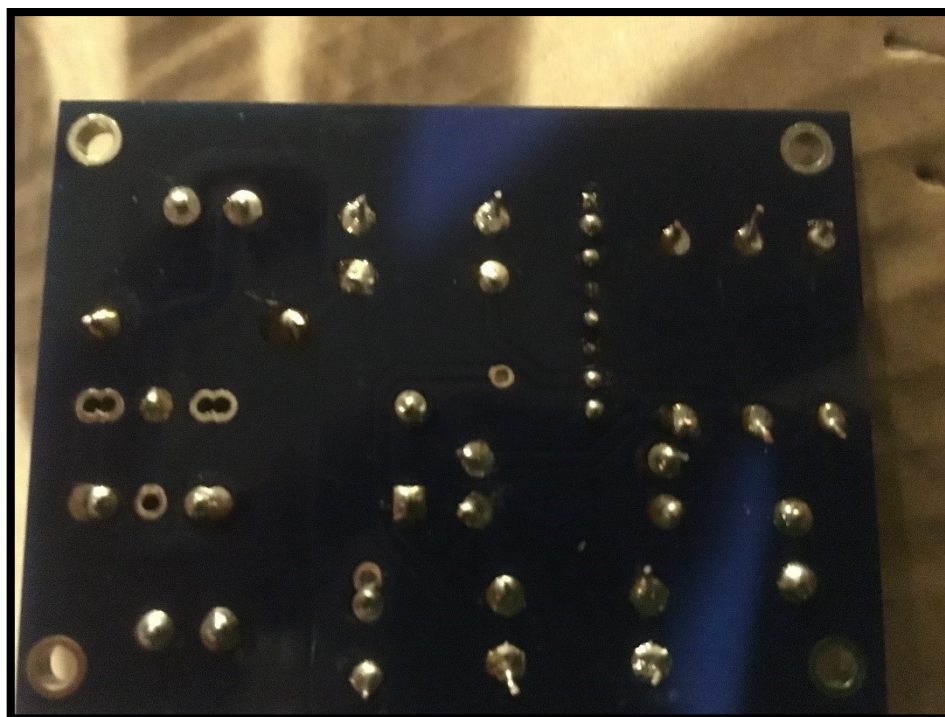
Kun kaikki komponentit oli kiinnitetty koteloon ja johdot vedetty, laite oli valmis ensimmäistä kuuntelukertaa varten (kuva 32).



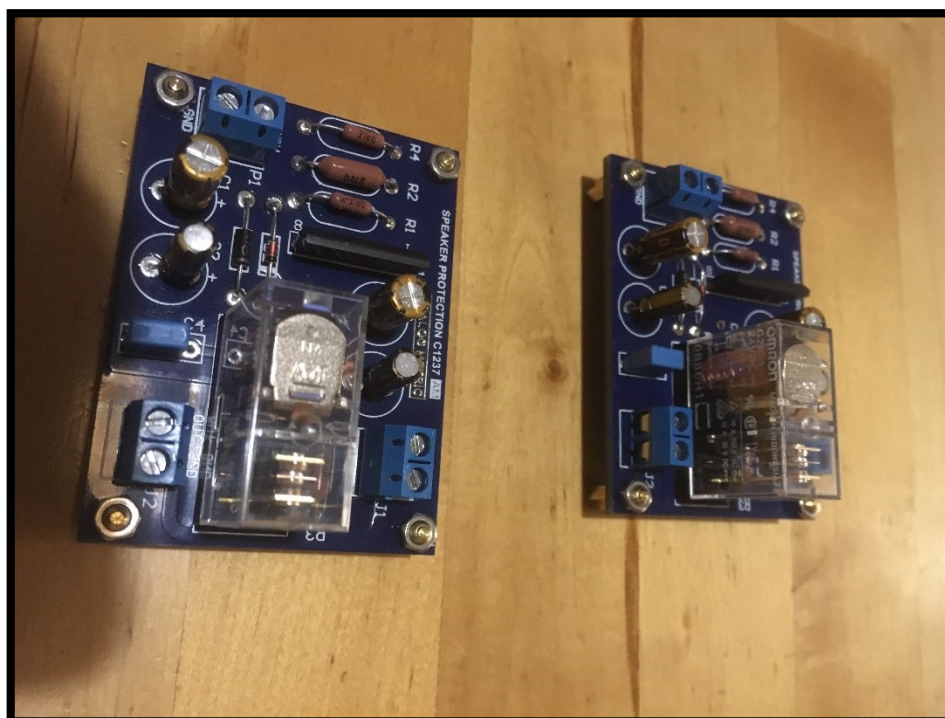
Kuva 32 Päätevahvistimen ensimmäinen testikuuntelu

Vahvistin toimi muuten hyvin, mutta kytkettäessä virta päälle, kuului kaiuttimista ylimääräinen ääni, joka johtui käynnistysvirtapiikistä. Tässä vaiheessa tilattiin kytkentävirrannvaimennin, joka maksoi noin 50 euroa eikä kuitenkaan poistanut äänen kuulumista. Ylimääräisen kustannuksen välttämiseksi olisi kannattanut kysyä liikkeestä neuvoa. Laite tilattiin, asennettiin ja havaittiin, ettei mitään muutosta ongelmaan saatu.

Tämän jälkeen tilattiin kaiutinsuojamoduulit, koska ne tulivat osina, ne täytyi ensin juottaa kasaan ja toivoa, että ne toimisivat. Kaiutinsuojamoduuli on kooltaan hyvin pieni komponentti ja siinä on n. 15 mm pitkä kapea siru (laitteen aivot), jossa on kahdeksan juotettavaa sakaraa. Näiden juottaminen vaatii täysin terävän kolvinpään ja suurennuslasista olisi ollut apua. Suurennuslasia ei ollut käytettävissä, mutta kolvinpää saatiin teroitettua sopivaksi. Kuvassa (33) näkyvät pienet juotokset, isompien juotoksien kanssa ei ollut ongelmia ja kuvassa (34) ovat valmiit kaiutinsuojamoduulit.

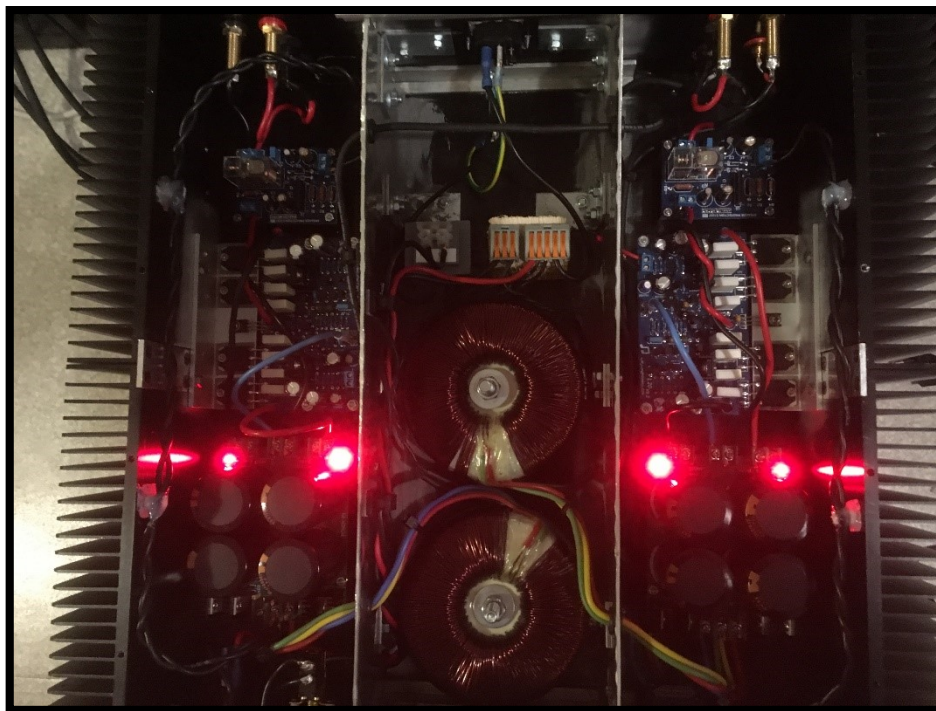


Kuva 33 Kaiutinsuojamoduulissa olevia juotoksia



Kuva 34 Valmiit kaiutinsuojat

Viimeisenä vaiheena vahvistimen kasaamisessa oli kaiutinsuojien asentaminen koteloon. Tila alkoi käydä ahtaaksi, mutta siitä huolimatta osat saatiin mahtumaan ja tämän jälkeen pätevahvistin oli valmis (kuvat 35 ja 36).



Kuva 35 Valmis vahvistin ilman kantta



Kuva 36 Valmis vahvistin

## 6 MITTAUKSET

### 6.1 Kaiuttimet

Kaiuttimet päätettiin jättää mittaamatta. Syitä päätökseen on kaksi, toinen on budjetti, asiallinen mittamikrofoni maksaa n. 100 euroa ja tällä hetkellä siihen ei haluta panostaa. Hifiharrastajilla toki on laitteistoja ja varmasti niitä olisi saanut lainaksi, mutta tässä tullaan siihen toiseen syyhyn, eli ei ole vertailukohtaa. Alkuperäiset kaiutinmittaukset on tehty ulkona ja vertailukäyrät ovat sieltä (Saurama 2016). Tämä kuunteluhuone/ olohuone on normaali kerrostaloasunnossa, betoniseinät, eikä akustointia käytännössä lainkaan. Kaiuttimet painavat sen verran, että juuri ja juuri jaksaa nostaa, eli ei niitä mielellään lähde muuallekaan kantamaan.

### 6.2 Vahvistimen mittaus

Päätevahvistin päätettiin mitata, kaverilta löytyivät siihen kaikki muut välineet, paitsi keinokuorma. Keinokuormaksi tilattiin ebaysta 8 Ω tehovastus, jonka tehonkesto on 300 W.

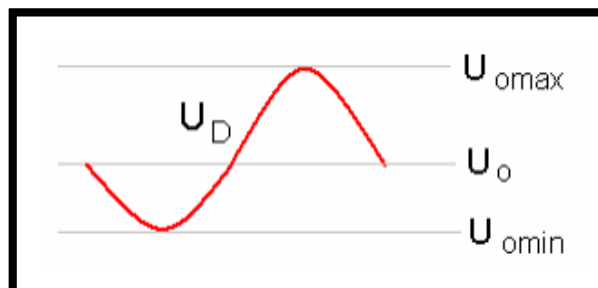
Mittauksien tavoitteena oli saada suuntaa antavia tuloksia, joita voisi sitten verrata kaupallisiin tuotteisiin. Mittauksiin otettiin vertailuvahvistimeksi XTZ Class A100 D3, joka on järeä erittäin hyvä ääninen integroitu vahvistin, josta saa erotettua pääte- ja esivahvistimen erilleen.

Mittauslaitteistona oli: Rigol DS 1052 E oskilloskooppi, Mastech HY 3005 virtalähde ja FY 1002 signaaligeneraattori, lisäksi oli kaksi yleismittaria ja keinokuormana 8 Ω/ 300 W vastus.

Vahvistimista mitattiin keskimääräinen teho 8 Ω kuormaan, sekä vahvistimen epälineaarisuudesta johtuva harmoninen särö THD. Särö laskettiin oskilloskooppikuvasta ns. kolmenpisteen menetelmällä (kuva 37) (Honkanen n.d.). Harmoninen särö lasketaan kaavalla neljä:

$$THD \approx \left| \frac{U_{0max} - 2U_0 + U_{0min}}{2(U_{0max} - U_{0min})} \right| \quad (4)$$

Missä:  $U_0$  = Lähdön lepojännite  
 $U_{0max}$  = Lähdön maksimijännite  
 $U_{0min}$  = Lähdön minimijännite



Kuva 37 Harmoninen särö oskilloskooppikuvasta (Honkanen n.d.).

Keskimääräinen teho laskettiin kaavalla viisi:

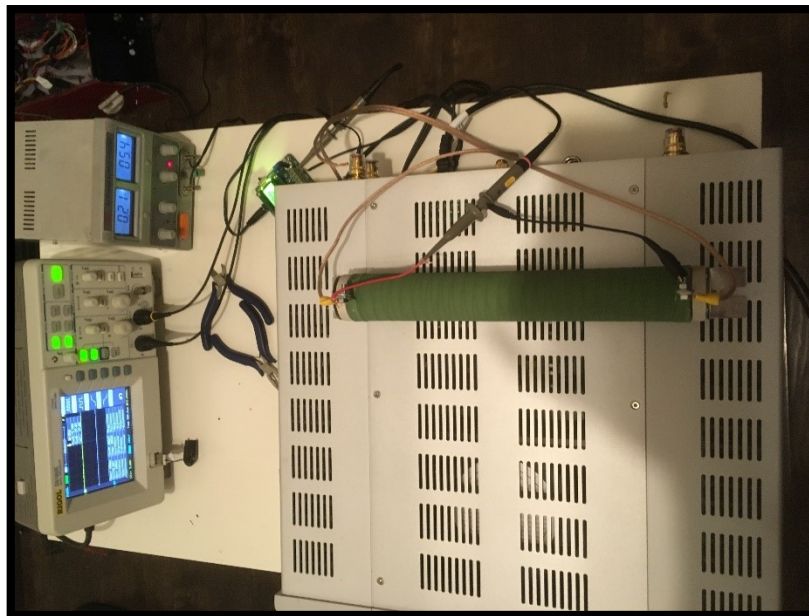
$$P_{avg} = \frac{U_{RMS}^2}{R} \quad (5)$$

Missä:  $P_{avg}$  = Keskimääräinen teho  
 $U_{RMS}$  = Vaihtojännitteen tehollisarvo  
 $R$  = Vastus, eli kuorma

Mittauksissa ei otettu huomioon mittauslaitteiston aiheuttamaa säröä. Kei-  
 nokuorman vastus tarkastettiin ja se oli luvatut 8 Ohmia.

### 6.2.1 XTZ Class A100 D3 mittaukset

XTZ otettiin mukaan mittauksiin (kuva 38) siksi, että saaduilla mittaustu-  
 loksilla voitiin arvioida mittaustuloksien ja käytettyjen kaavojen toimi-  
 vuutta. Tehdas lupaa XTZ -vahvistimelle AB-luokan tehoa  $2 \times 110 \text{ W } 8 \Omega$   
 RMS ja säröä  $< 0.03 \%$  (20 Hz – 20 kHz, 10 W) (XTZ GROUP AB 2016).



Kuva 38 XTZ mittaus alkamassa

Ensin mitattiin Lähdön lepojännite ( $U_0$ ), tulokseksi saatiin molemmista ka-  
 navista 0,035 V.

Tämän jälkeen mitattiin ja laskettiin keskimääräinen teho ( $P_{avg}$ ) kaavalla  
 viisi. vahvistimeen syötettiin 1000 Hz taajuutta 1 V jännitteellä ja kaiutin-  
 lähtöihin kiinnitetyllä oskilloskoopilla tarkasteltiin aallon muotoa, sekä teh-  
 tiin tarvittavat mittaukset. Äänenvoimakkuudensäädöllä nostettiin tehoa si-  
 nikäyrän rikkoontumiseen saakka, tämän jälkeen tehoa tiputettiin siihen pis-  
 teeseen, jossa sinikäyrä vielä oli virheetön, tästä pisteestä otettiin arvot kes-  
 kimääräisen tehon laskemiseen. Käytössä ollut oskilloskooppi on nykyai-

kainen laite, joka laskee tarvittavat arvot suoraan, esimerkiksi vaihtojännitteen tehollisarvon ( $U_{RMS}$ ), lisäksi laitteeseen voi laittaa muistitikun, johon voi tallentaa haluttuja käyriä ja arvoja.

$$\begin{aligned} \text{Mitatut arvot } 1000 \text{ Hz/ } 1 \text{ V:} & & U_0 &= 0,035 \text{ V} \\ & & U_{0\max} &= 46 \text{ V} \\ & & U_{0\min} &= -42 \text{ V} \\ & & U_{RMS} &= 30,7 \text{ V} \end{aligned}$$

Keskimääräiseksi tehoksi saadaan kaavalla viisi:

$$P_{avg} = \frac{(30,7 \text{ V})^2}{8 \Omega} = 117,811 \text{ W} \approx \mathbf{117,8 \text{ W} / 8 \Omega}$$

Seuraavaksi särömittausta varten piti laskea 10 W vastaava Vaihtojännitteen tehollisarvo ( $U_{RMS}$ ) kaavaa viisi hiukan muokkaamalla:

$$U_{RMS} = \sqrt{P_{avg} * R} \tag{6}$$

$$U_{RMS} = \sqrt{10 \text{ W} * 8 \Omega} = \mathbf{8,944 \text{ V}}$$

$$\begin{aligned} \text{Mitatut arvot } 1000 \text{ Hz/ } 1 \text{ V/ } 10 \text{ W:} & & U_0 &= 0,035 \text{ V} \\ & & U_{0\max} &= 13,2 \text{ V} \\ & & U_{0\min} &= -12,8 \text{ V} \\ & & U_{RMS} &= 8,94 \text{ V} \end{aligned}$$

Mittaustuloksista laskettiin harmoninen särö (THD) kaavalla neljä:

$$THD \approx \left| \frac{13,2 \text{ V} - 2 * 0,035 \text{ V} + (-12,8 \text{ V})}{2(13,2 \text{ V} - (-12,8 \text{ V}))} \right| = \mathbf{0,00635 \%}$$

XTZ ilmoittaa säröarvon taajuusalueella 20 Hz – 20 KHz ja koska ei haluttu lähteä tekemään näin laajoja mittauksia, laskettiin särö myös keskimääräisellä teholla:

$$THD \approx \left| \frac{46 \text{ V} - 2 * 0,035 \text{ V} + (-42 \text{ V})}{2(46 \text{ V} - (-42 \text{ V}))} \right| = \mathbf{0,0223 \% / 117,8 \text{ W/ } 8 \Omega / 1000 \text{ Hz}}$$

XTZ -vahvistimen mittaukset tehtiin laskukaavojen toimivuuden tarkastamista varten. Tehon mittauksessa hieman ylitettiin tehtaan ilmoittama arvo 110 W/ 8 Ω RMS. Koska ei ole tarkkaa tietoa tehtaan mittaustavasta emmekä ymmärrä käsitettä RMS-teho, voidaan tulosta pitää riittävän hyvänä (Lewallen 2009).

Harmoninen särö ilmoitettiin 10 W teholla koko kuuloalueelle (20 Hz – 20 kHz), mittaukset tehtiin vain 1 kHz taajuudella, mutta silti päästiin hyvin lähelle tehtaan ilmoittamaa arvoa suuremmilla tehoilla (mitattu 0,022 %, ilmoitettu < 0.03%).



6.2.2 Päätevahvistimen mittaukset

Lähdön lepojännite oli DIY-päätevahvistimessa täysin sama (0.035 V), kuin XTZ -vahvistimessa, lepojännite mitattiin kummastakin kanavasta, eikä eroja ollut.

Päätevahvistin mitattiin samalla tavalla, kuin XTZ. Ensin mitattiin tarvittavat arvot (kuva 39) ja sen jälkeen laskettiin keskimääräinen teho ( $P_{avg}$ ) kaavalla viisi:

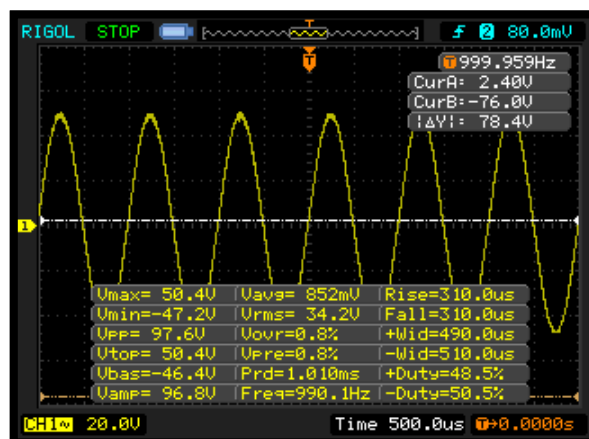
$$P_{avg} = \frac{(34,2 V)^2}{8 \Omega} = 146,205 W \approx 146,2 W / 8 \Omega$$

Tämän jälkeen laskettiin vaihtojännitteen tehollisarvot ( $U_{RMS}$ ): 0,25 W, 1 W, 10 W, 50 W 100 W ja 140 W tehoille kaavalla kuusi, säröarvo laskettiin myös keskimääräisestä tehosta. Pääasiallisesti mittaukset tehtiin 1000 Hz taajuudella, mutta kokeilumielessä tehtiin lisäksi kaksi mittausta, toinen 20 Hz (0,25 W) ja toinen 20 kHz (140 W). Mittaustulokset kirjattiin ylös ja ovat liitteessä (9). Harmoniset säröt eri tehoilla kirjattiin Exceliin Taulukko (1) ja saaduista arvoista piirrettiin särö (THD)/ teho-käyrä kuva (40).

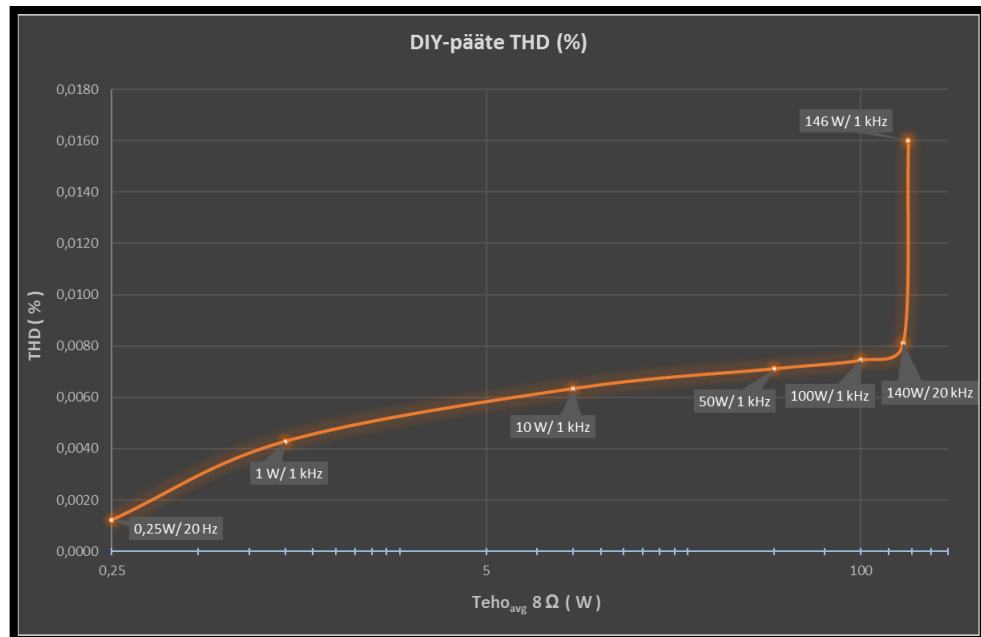
Taulukko 1 Päätevahvistin särömittaustulokset

Teho (W)	THD (%)	Taajuus (HZ)
0,25	0,0012	20
1	0,0043	1000
10	0,0063	1000
50	0,0071	1000
100	0,0075	1000
140	0,0081	20000
146	0,0160	1000

Mittaukset tehtiin lähes kaikki vasemmasta kanavasta, oikeasta otettiin satunnaisia tarkastusmittauksia ja todettiin päätmoduulit lähes identtiseksi keskenään, havaittavia eroja ei löytynyt.



Kuva 39 DIY-päätevahvistin, tehon<sub>avg</sub> mittausta 1000 Hz taajuudella



Kuva 40 Särö (THD) suhteessa tehoon

Mittaustuloksista on nähtävillä DIY-päättevahvistimen olevan tehokkaampi, kuin XTZ ja tämä oli odotettavissakin. Jos tarkastellaan harmonista säröä 10 W tehon kohdalla: DIY 0,006346 %, XTZ 0,006346, ei voi kuin ihmetellä täysin samaa tulosta. Suuremmasta tehosta johtuen DIY-päättevahvistin (< 0,008 %) antaa kuitenkin XTZ -vahvistimen tehoreservin loppupäässä ääntä huomattavasti pienemmillä säröarvoilla kuin XTZ (0,022 %). Kaikesta huolimatta kyseessä on hyvin saman tasoiset laitteet, toisessa vain on enemmän tehoa.

## 7 TYÖN TULOKSET JA ARVIOINTI

Opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään, onko mahdollista rakentaa hifi laatua olevat kaiuttimet ja päättevahvistin ilman aiempaa kokemusta sähkölaitteiden rakentamisesta. Toisena tavoitteena oli selvittää, onko laitteiden rakentaminen taloudellisesti kannattavaa, eli säästääkö siinä rahallisesti.

### 7.1 Kaiuttimet

Kaiuttimet olivat melko helppo rakentaa valmiiksi suunnitellun ohjeen mukaisesti. Jakosuodattimet olivat yksinkertaiset ja niiden kasaamiseen riitti se, että hallitsee juottamisen ja ymmärtää yksinkertaisen sähkökaavion. Kaiutinkoteloista tehtiin väliaikaiset ja niiden kasaaminen oli yksinkertaista ja kohtalaisen helppoa. Väliaikaisistakin koteloista saa tarvittaessa ihan siistit vaikkapa pinnoittamalla, tai maalamalla, mikäli halutaan pitää kaiuttimien hinta pienenä.

Kaiuttimien osalta tavoitteena oli saada äänellisesti paremmat kaiuttimet, kuin vanhat B&W 220i, lisäksi haluttiin riittävä ulottuvuus bassontoistolle, ettei erillistä subwooferia tarvita. Tavoitteet toteutuivat, ero vanhoihin

kaiuttimiin on selvästi kuultavissa, korkeat- ja keskiäänet soivat huomattavasti selkeämmin, kuin vanhoissa kaiuttimissa ja basson toisto on napakampaa ja ulottuu musiikinkuuntelussa riittävän alas ja tarvittaessa voimalla. Kaiutinrakennussarjan valinta onnistui erittäin hyvin, tämän kaiuttimen hinta-laatu suhde on kyllä huippuluokkaa. Koska kyseessä on suuri PA-elementillä toteutettu kaiutin, on se hyvin erilainen soinniltaan kuin tyypilliset pienet jalustakaiuttimet, joita kaupoissa nykyään paljon on myynnissä.

Projektin kokonaishintaa on seurattu alusta saakka kirjaamalla kaikki hankinnat Excel taulukkoon. Kaiuttimille tuli hintaa yhteensä n. 589 euroa, lisäksi työkaluihin kului n. 120 euroa. Samoja työkaluja käytettiin myös vahvistimen teossa ja käytetään jatkossa muihin töihin, joten kokonaan ei niiden hintaa voi kaiuttimien hintaan lisätä. Kaiuttimet ovat täysin pintakäsittelemättä, joten pintakäsittelyyn kuluu vielä jatkossa rahaa, jos kotelot jäävät käyttöön.

Kaiuttimien hintaan vaikuttavat kotelon materiaalivalinnat ja oma osaaminen, eli löytyykö taitoa rakentaa kotelot itse, vai teettäkö ne esimerkiksi puusepällä. Vaikka osaamista löytyy, pitää myös olla paikka koteloiden valmistamiselle. Pintakäsittely ja viimeistelyn laatu ovat myös hintaan vaikuttavia seikkoja.

Kaiuttimia on vaikeaa verrata kaupallisiin tuotteisiin, koska vastaavia kaiuttimia ei juurikaan ole saatavilla. Suuria koaksiaalielementillä varustettuja kaiuttimia valmistaa pitkään alalla toiminut Tannoy. Tannoyltä löytyy kotiteatterikäyttöön tarkoitettut Tannoy Definition Install DC12i kaiuttimet, jotka maksavat Sonus Importilla n. 2300 euroa/ pari. Koska kaiuttimet ovat suunniteltu kotiteatteriin ja käytettäväksi subwooferin kanssa, niin voiko näitä kaiuttimia edes keskenään vertailla. Tannoy'n 12 tuumaiset hifikaiuttimet ovat niin kalliita (Tannoy Prestige Yorkminster SE, 14 000 €/ pari), ettei vertailu niihin ole millään tavalla järkevää.

WLM Diva käyttää kaiuttimessaan samoja koaksiaalielementtejä, kuin tässä projektissa käytetyt, tosin sarjan 10 tuumaista versiota. WLM Diva maksaa n. 5500 euroa/ pari.

Hifiäharrastavat Facebook-ryhmässä tehtiin kysely, jossa kysyttiin Yksisilmäisiä veljeksiä (12") kuulleilta/ omistaneilta: Millä hinnalla saa vastaavaa äänenlaatua kaupasta. Kyselyyn tuli 15 vastausta ja hajonta oli suuri, pienin vastaus oli 500 euroa ja suurin 3500 euroa, kyselyn keskiarvoksi tuli 1500 euroa.

Kysymykseen, onko kannattavaa rakentaa itse kaiuttimia, vastaus on kyllä, mikäli valitaan oikea kaiutinrakennussarja ja pidetään komponenttien ja kotelon hinnat järkevinä. Jakosuotimeen voi tuhlaa rahaa lähes loputtomasti, mikäli siihen halutaan maailman parhaat komponentit, Samoin koteloon voi sijoittaa rahaa lähes kuinka paljon tahansa.

## 7.2 Päätevahvistin

Päätevahvistimeen on saatavilla kaikki tarvittavat osat valmiiksi kasattuina komponentteina, joten periaatteessa laitteen kasaaminen on vain reikien porailua ja johtojen liittämistä. Vahvistimen kasaamista ei voi kuitenkaan suositella kaikille, laitteessa on verkkovirta joka pahimmillaan voi tappaa ihmisen. Vahvistimen eri osat pitää myös kytkeä toisiinsa oikein, sekä suunnitella suojamaadoitus ja sulakkeet tarvittaviin paikkoihin.

Päätevahvistimen suunnitteluun ja kasaamiseen oli onneksi saatavilla apua aina tarvittaessa ja internetistä löytyi paljon ohjeita ja kuvia toteutetuista projekteista. Vahvistimen kasaaminen sujui hyvin ja sähköiskuiltakin vältyttiin, myöskään yhtään komponenttia ei saatu hajalle väärin kytkentöjen takia. Myös kaiutinsuojamoduulit saatiin onnistuneesti juotettua kasaan ja päätevahvistin valmiiksi.

Tämän tyyppisen projektin voi toteuttaa, jos on perustiedot sähkötekniikasta ja jonkin verran sähköasennus kokemusta. Tämän tyyppinen projekti vaatii kuitenkin paljon eri asioiden selvittelyä ja varmasti helpommalla pääsee valmiilla rakennussarjoilla tai -ohjeilla. Esimerkiksi Hypexiltä löytyy valmiit toisiinsa sopivat komponentit, joihin löytyvät myös sopivat johtosarjat ja kytkentäohjeet heidän sivuiltaan, Hypex vahvistimet toimivat D-luokassa.

Päätevahvistimen budjetti ylittyi n. 200 eurolla, tämä johtuu osittain siitä, ettei huomioitu kotelon kokonaishintaa veroineen riittävän tarkkaan. Kaiuttimista kuuluvaan käynnistysäänänen poistamiseen kului myös ”ylimääräinen” sata euroa. Päätevahvistimelle tuli hintaa n. 707 euroa.

Vastaavan päätevahvistimen voisi rakentaa huomattavasti edullisemmin halutessaan, tämän projektin kalleus johtuu osittain siitä, että tämä oli tekijälleen ensimmäinen vahvistin projekti. Kotelon voisi suunnitella ja tehdä itse esimerkiksi alumiinilevystä tai puusta. Toinen vaihtoehto olisi käyttää jotain käytettyä koteloa ja muokata siitä sopiva vahvistimelle, rikkiäisiä laitteita, joista sopivan kotelon saa, löytyy kaikkialta. Todennäköisesti yksi iso muuntaja ja yksi riittävä virtalähde tuottaisi saman lopputuloksen äänellisesti, kuin tämän projektin rakenne (XTZ -vahvistimessa on vain yksi muuntaja). Vastaavan laitteen saa rakennettua varmasti 400 - 500 eurolla.

Laskennallisesti päätevahvistimen tehon piti olla 140 W ja 150 W välissä/kanava. Tavoite toteutui, monet vahvistinvalmistajat ilmoittavat maksimitehon säröarvolla 1,0. Tässä projektissa mitattiin teho sinikäyrän ollessa vielä silmämääräisesti vääristymätön ja särö saadulla teholla oli n. 0,016 %, mikäli teho olisi mitattu suuremmalla säröprosentilla, olisi todennäköisesti päästy lähelle 150 Wattia.

Päätevahvistimen vertailuarvot:

Teho <sub>avg</sub>	n. 146 W/ THD 0,016 %
THD 1 W/ 1000 Hz	< 0,005 %
THD 10 W/ 1000 Hz	< 0,007 %
THD 50 W/ 1000 Hz	< 0,008 %

THD 100 W/ 1000 Hz	< 0,008 %
THD 146 W/ 1000 Hz	< 0,017 %
Ottoteho (max)	520 W
Paino	n. 17 kg

Päätevahvistinta voidaan verrata saatujen arvojen perusteella 2 x 150 W/ 8  $\Omega$  päätevahvistimiin ja niiden hintaan. Äänellisiä eroja ei tietenkään tällaisella vertailulla voida tehdä, jokin putkivahvistin voi soida huomattavasti paremmin, kuin tämä vahvistin, vaikka säröarvo saattaa olla 1.0 ja tehoa 2 x 5 W.

Marantz MM 7025 on päätevahvistin joka antaa tehoa 2 x 140 W/ 8  $\Omega$  ja säröarvo on 0,03 % (20 Hz – 20 kHz) maksaa Hifistudiolla 949 euroa. Särö on ilmoitettu koko äänialueella, joten ei ole suoraan vertailukelpoinen, suurin piirtein saman tasoisesta laitteesta on kuitenkin kyse pelkkien mittausarvojen perusteella. NAD C275BEE on 2 x 150 W/ 8  $\Omega$  päätevahvistin, jonka säröarvoksi ilmoitetaan koko äänialueelle < 0,008 %, hintaa laitteella on Hifistudiossa 1449 euroa. Avance Acoustic X-A 160 on 2 x 160 W päätevahvistin, jonka säröarvoksi ilmoitetaan < 0,07 %, hintaa laitteella Ljudilla on n. 1091 euroa.

Vahvistimien vertailu pelkkien arvojen perusteella on vaikeaa, pitäisi järjestää laajat kuuntelukokeet ja silloinkin makuasiat vaikuttavat lopputulokseen. Päätevahvistinta verrattiin käytössä olleeseen XTZ vahvistimeen, mutta isompia äänellisiä eroja ei löydetty, mahdotonta sanoa, että jompikumpi olisi parempi. XTZ on hinta-laatu suhteeltaan huippuluokkaa oleva vahvistin, jota on äänellisesti keuhuttu eri hififoorumeilla vastaavan jopa 3000 euron vahvistimia. Käytössä ollut XTZ integroitu vahvistin maksoi uutena n. 900 euroa ja vastaava päätevahvistin n. 700 euroa, laitteiden myynti on lopetettu, joten näitä ei uutena enää ole saatavilla.

Mikäli päätevahvistimen hinta olisi pysynyt budjetissaan, olisi mahdotonta saada uutena kaupasta saman tasoista päätevahvistinta samalla rahalla, eli rahallisesti on kannattavaa rakentaa itse päätevahvistin. Jälleenmyyntiarvo on Diy tuotteilla huono, joten jos haluaa vaihdella laitteita, niin kannattaa ostaa ne kaupasta, myöskään takuuta ei saa, kuin komponenteille, jos niillekään. Vahvistinrakennussarjoja on monenlaisia ja -tasoisia, vaikkapa huippulaatuisen putkivahvistimen rakentamisessa voi säästää suurenkin summan rahaa, jos taitoa on riittävästi laitteen valmistamiseen.

## 8 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli valmistaa kaiuttimet ja päätevahvistin ja näin parantaa aiempaa äänentoistojärjestelmää kotona. Suurin osa kauppoissa myytävistä kaiuttimista on joko lattia- tai jalustakaiutinmalleja ja haluttiin sopivan korkuiset kaiuttimet edellisten tilalle. Haluttiin myös rakentaa tehokas päätevahvistin, jossa teho riittää minkälaisille kaiutinkuormille tahansa.

Aiempaa kokemusta elektroniikkalaitteiden rakentamisesta ei ollut ja haluttiin selvittää, kuinka vaikeaa kaiuttimien ja vahvistimen rakentaminen on.

Valittu kaiutinrakennusohje oli erittäin hyvä ja selkeä ja sen kasaamisessa ei isompia ongelmia syntynyt. Päätevahvistin on jo sähkötekniisesti vaativampi laite ja paljon aikaa käytettiin tiedon etsimiseen, koska haluttiin kytkeä laitteen komponentit toisiinsa varmasti oikein ja ymmärtää kytkennät. Vahvistimen kokoamisessa onnistuttiin kuitenkin hyvin ja lopputulokseen voidaan olla tyytyväinen.

Vahvistimen mittaukset sujuivat hyvin ja päätmoduuleiden myyntisivuilla luvut arvot pitivät paikkansa. Vahvistimesta olisi voinut ottaa kattavammat särömittaukset, eli mitata ne koko äänialueelta jonka ihminen kuulee (20 Hz – 20 kHz), tähän ei valitettavasti mittauspäivänä aika riittänyt. Päätevahvistimen mittaukset olisi voinut myös teettää ammattilaisella, näin olisi saatu varmasti vertailukelpoisia tuloksia, tätä ei kuitenkaan nähty tarpeelliseksi.

Opinnäytetyön edetessä on tutustuttu suureen määrään erilaisia hifi rakennussarjoja ja luettu niihin liittyviä keskusteluja hifi foorumeilta. Vahvistimen suunnittelu vaiheessa tutkittiin lukuisia erilaisia päätmoduuleita ja muita vahvistin komponentteja sekä näiden kytkentöjä. Rakennettu päätevahvistin koostuu erilliskomponenteista, joten sen muuttaminen esimerkiksi Hypex-D-luokan vahvistimeksi on helppoa, vain päätmoduulit tarvitsisi vaihtaa.

Kaiutinkotelot todennäköisesti päällystetään Dc-fix muovilla. Ennen muovittamista ruuvinreiät ja muut epätasaisuudet pitää kuitenkin pakkeloita ja hioa piiloon. Suunnitelmissa on rakentaa esivahvistin, jos projekti toteutetaan, molempiin vahvistimiin voisi teettää samanlaiset etupaneelit puusta.

Kaiken kaikkiaan tämä projekti sujui hyvin, kaiuttimet ylittivät kaikki odotukset äänenlaadultaan ja vahvistimeenkin voi olla erittäin tyytyväinen.

## LÄHTEET

Aalto University Wiki. n.d. Tehovahvistinluokat. Viitattu 15.1.2017. Saatavissa: [https://wiki.aalto.fi/download/attachments/62723073/R1\\_K12.pdf?...](https://wiki.aalto.fi/download/attachments/62723073/R1_K12.pdf?...)

Aalto University Wiki. n.d. Vahvistimet. Viitattu 16.1.2017. Saatavissa: [https://wiki.aalto.fi/download/attachments/62723073/kt12\\_r10plus.pdf?version=1&modification-Date=1336381625000](https://wiki.aalto.fi/download/attachments/62723073/kt12_r10plus.pdf?version=1&modification-Date=1336381625000)

Aikio, R. 2004. PA-teoria. Viitattu 18.1.2017. Saatavissa: <http://koti.uta-net.fi/~mikaa/rami/tietoboxi/pa.html>

Analogmetric. n.d. Etusivu. Viitattu 3.1.2017. Saatavissa: <http://www.analogmetric.com/>

Analogmetric. 2009. Speaker Protection C1237 User Manual. Viitattu 3.1.2017. Saatavissa: <http://analogmetric.com/download/Speaker%20Protection%20C1237%20User%20Manual.pdf>

Audiovideo.fi. 2016. Etusivu. Viitattu 17.11. 2016. Saatavissa: <http://audiovideo.fi/>

Audiovideo.fi. 2017. Oppaat. Viitattu 3.1.2017. Saatavissa: <http://audiovideo.fi/oppaat>

AVinfo. n.d. Etuvahvistin. Viitattu 15.1.2017. Saatavissa: <http://www.avinfo.fi/index.php/2011-07-26-05-20-47/2011-07-28-11-05-03/etuvahvistin>

AVinfo. n.d. Kaiuttimet. Viitattu 18.1.2017. Saatavissa: <http://www.avinfo.fi/index.php/2011-07-26-05-20-47/2011-07-28-10-51-58/kaiuttimet>

ebay. n.d. 2x C1237 (UPC1237) Audio Speaker DC Level Detect Delay Protection Mono DIY Kit. Viitattu 3.1.2017. Saatavissa: <http://www.ebay.com/itm/2x-C1237-UPC1237-Audio-Speaker-DC-Level-Detect-Delay-Protection-Mono-DIY-Kit-/322042661195?hash=item4afb3d094b:g:8oYAAMXQQZR2tpr>

ebay. n.d. LJM-Audio Hi-end L20 200W 8R V9.2 Audio Stereo Power Amplifier Board Assembled. Viitattu 3.1.2017. Saatavissa: <http://www.ebay.com/itm/252323146656>

ebay. n.d. MUR860G \*4 + ELNA 10000UF/80V \*4 Power Supply Regulator PSU For Power Amplifier. Viitattu 3.1.2017. Saatavissa: <http://www.ebay.com/itm/MUR860G-4-ELNA-10000UF-80V-4-Power-Supply-Regulator-PSU-For-Power-Amplifier-/182128212652?hash=item2a67affaac%3Ag%3A%3Atk4AAOSw3ydVopgB>

- Elgood Oy. n.d. Partco. Viitattu 3.1.2017. Saatavissa:  
[http://www.partco.biz/verkkokauppa/product\\_info.php?cPath=2062\\_1106\\_1324&products\\_id=14386](http://www.partco.biz/verkkokauppa/product_info.php?cPath=2062_1106_1324&products_id=14386)
- Blonberg, E. & Lepoluoto, A. 2005. Audiokirja. Viitattu 16.1.2017. Saatavissa: [http://ari.lepoluo.to/audiokirja/Audiokirja\\_luku\\_4.pdf](http://ari.lepoluo.to/audiokirja/Audiokirja_luku_4.pdf)
- Esala, M. 1999. Stereovahvistin 2 x 220W RMS. Viitattu 13.1.2017. Saatavissa: <http://www.kolumbus.fi/~mirian77/superi.pdf>
- Fanaticaudio.com. n.d. Subbarin toimintaperiaate. Viitattu 17.1.2017. Saatavissa: <http://autosubbari.seravo.fi/miten-bassoani-syntyymiten-subbaritoimii/toimintaper/>
- Harrin Kaiutin. n.d. Etusivu. Viitattu 17. 11 2016. Saatavissa:  
<http://www.harrinkaiutin.fi/>
- Hifihuone. n.d. Gradient Five. Viitattu 18.1.2017. Saatavissa:  
<https://www.hifihuone.fi/tuotteet/kaiuttimet/gradient-five/>
- Hifitalo. n.d. Etusivu. Viitattu 17. 11 2016. Saatavissa: <https://www.hifitalo.fi/>
- Hifitalo. n.d. Kaiutinelementit. Viitattu 18.1.2017. Saatavissa:  
<https://www.hifitalo.fi/kaiutinelementit>
- Hifitalo. n.d. Koaksiaalikaiuttimet. Viitattu 18.1.2017. Saatavissa:  
<https://www.hifitalo.fi/koaksiaalikaiuttimet>
- Honkanen, H. n.d. Pääteasteluokitukset. Viitattu 15.1.2017. Saatavissa:  
[http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/VAHV\\_P%C3%84%C3%84TEASTELOUKITUKSET.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/VAHV_P%C3%84%C3%84TEASTELOUKITUKSET.pdf)
- Honkanen, H. n.d. Särö. Viitattu 8.1.2016. Saatavissa: <http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/S%C3%84R%C3%96.pdf>
- Huhtama, K. n.d. Harraste elektroniikka. Viitattu 8.1.2017. Saatavissa:  
<http://huhtama.kapsi.fi/ele/index.php?si=ml11.sis>
- Intertechnik. n.d. Loudspeaker kits. Viitattu 17. 11 2016. Saatavissa:  
[https://www.intertechnik.com/Shop/Loudspeaker-kits/Loudspeaker-kits-with-Seas-Excel/\\_BSTRYM\\_1768,en,2426,52597?sys\\_cookie\\_legal=1](https://www.intertechnik.com/Shop/Loudspeaker-kits/Loudspeaker-kits-with-Seas-Excel/_BSTRYM_1768,en,2426,52597?sys_cookie_legal=1)
- Lewallen, R. 2009. "RMS Power". Viitattu 11.1.2017. Saatavissa:  
[http://www.eznec.com/Amateur/RMS\\_Power.pdf](http://www.eznec.com/Amateur/RMS_Power.pdf)
- Ljudia. n.d. Etusivu. Viitattu 17. 11 2016. Saatavissa: <https://www.ljudia.fi/>
- Murtoraja Oy. n.d. Murtoraja Oy. Viitattu 23. 11 2016. Saatavissa:  
<http://www.murtoraja.com/mitae-mihinkin>



Nieminen, A. n.d. Tasasuuntaus ja puolijohteet. Viitattu 16.1.2017. Saatavissa: <http://www.kotiposti.net/ajnieminen/tapu.pdf>

Radioduo Oy. n.d. Etusivu. Viitattu 17. 11 2016. Saatavissa: <https://www.radioduo.fi/>

Radioduo Oy. n.d. Kaiutinsuojapiiri stereo. Viitattu 8. 1 2017. Saatavissa: <https://www.radioduo.fi/tuote/kaiutinsuojapiiri-stereo/K4700/>

Rantala, P. 2016. Sähköasennusten perusteet. Viitattu 8.1. 2016. Saatavissa: [http://www.oamk.fi/~pekka/kevat\\_2016\\_aineisto/Rak-san\\_sahko/Sahkoasennusten\\_perusteet\\_k2016.pdf](http://www.oamk.fi/~pekka/kevat_2016_aineisto/Rak-san_sahko/Sahkoasennusten_perusteet_k2016.pdf)

Saurama, S. 2016. Kaiutinrakennusohje Sydän. Viitattu 18.1.2017. Saatavissa: <http://audiovideo.fi/opas/kaiutinrakennusohje-sydän-seas-fa22rcz-ja-x1-08-exotic-f8-laajakaistat>

Saurama, S. 2016. Kaiutinrakennusohje Yksisilmäiset Veljekset. Viitattu 18.11.2016. Saatavissa: <http://audiovideo.fi/opas/kaiutinrakennusohje-yksisilmäiset-veljekset-hifi-pa-kaiuttimet-eminence-beta-8cx-beta-10cx-ja>

Seas. n.d. Etusivu. Viitattu 17. 11 2016. Saatavissa: <http://www.seas.no/>

Toroidal Transformer.com. n.d. 2x 45V toroidal transformer 300VA. Viitattu 3.1.2016. Saatavissa: <https://www.toroidal-transformer.com/shop/toroidal-transformers/300va/101/2x-45v-toroidal-transformer-300va.html?>

Trafox Oy. 2016. Vakiotuoteluettelo 2016. Viitattu 8.1.2016. Saatavissa: <http://www.trafox.fi/wp-content/uploads/2015/05/Vakiotuoteluettelo2016.pdf>

Tuomela, P. 1994. Hifin perusteet. Helsinki: Helsinki Media Erikoislehdet.

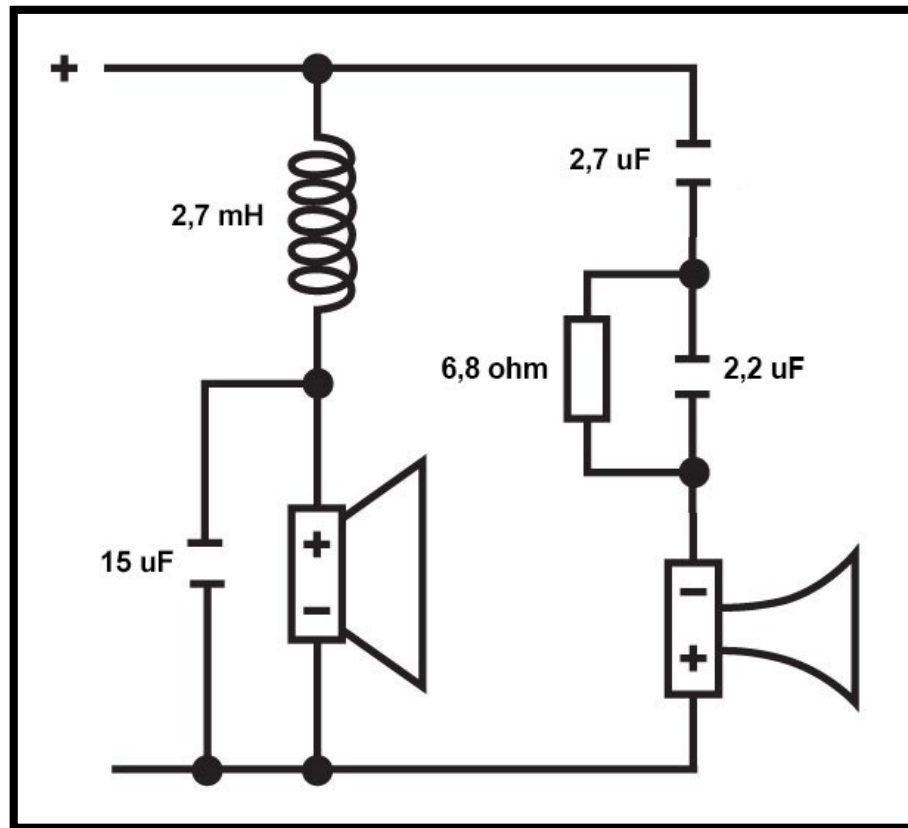
Tuulissuon Rautavarasto Oy. 23.2.2016. Tarjous. Vastaanottaja Kimmo Jernström. [sähköpostiviesti]. Viitattu 18.1.2017.

Uraltone Oy. n.d. Etusivu. Viitattu 17.11.2016. Saatavissa: <http://www.uraltone.com/>

Uraltone Oy. n.d. Eminence Beta CX koaksiaalirakennussarja. Viitattu 12.12.2016. Saatavissa: <http://www.uraltone.com/rakennussarjat/kaiutinrakennussarjat/koaksiaali-kaiutinrakennussarja.html>

XTZ GROUP AB. n.d. Product/ class A100 D3. Viitattu 11.1.2017. Saatavissa: <http://www.xtz.se/product/class-a100-d3>

Jakosuodattimen sähkökaavio



(Saurama 2016)

Kaiutinkotelo, levyjen mitoitus ja tilaus

www.berner-pultti.com

**BERNER PULTTI**

EXPERTS WITH PASSION

MURTORAJA OY LAHTI

LEVYT:

- 9 x 715 x 370 • 2 0,5291 m<sup>2</sup>
- 18 x 715 x 370 • 4 1,0582 m<sup>2</sup>
- 18 x 715 x 441 • 4 1,26126 m<sup>2</sup>
- 18 x 334 x 441 • 6 x4 = 0,587176 m<sup>2</sup>

≈ 3,45 m<sup>2</sup>

KOIVUVAHERI, HINNA SHT: 100,4e

715

370

477

SISÄMITÄI: 679 x 334 x 441

≈ 100l

MA 12.00 →

---

ALU-KOTIELO

715 x 500 x 340

6mm ≈ 100l

ELEMENTI 30C/282 φ

245 SYLHÄÄLTÄ

UPOTUS 8-9mm

LITIN 75 x 55

REFLEKSI 138 φ

7 x 1000 e

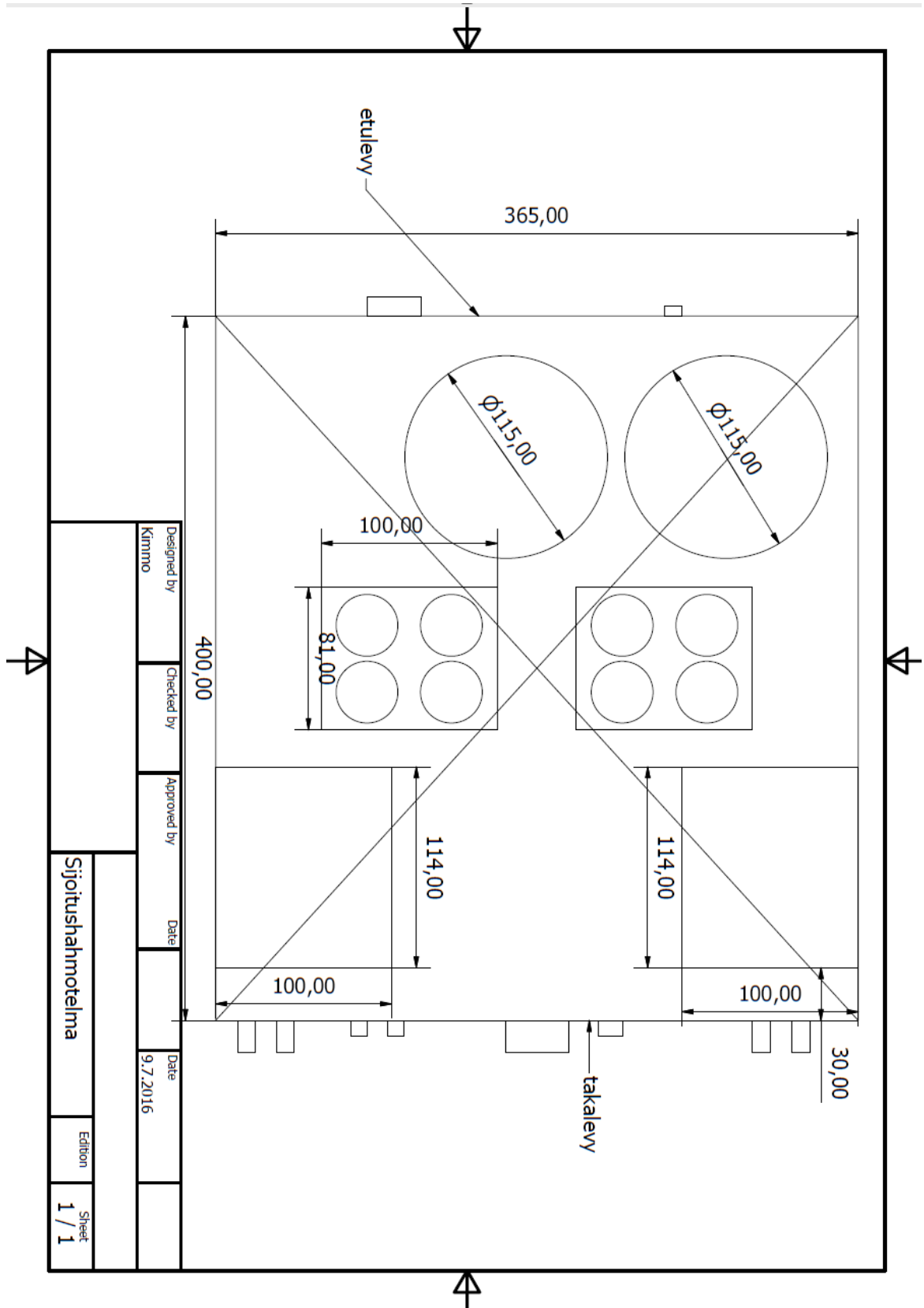
3 x 3500 e

2 x 500 φ

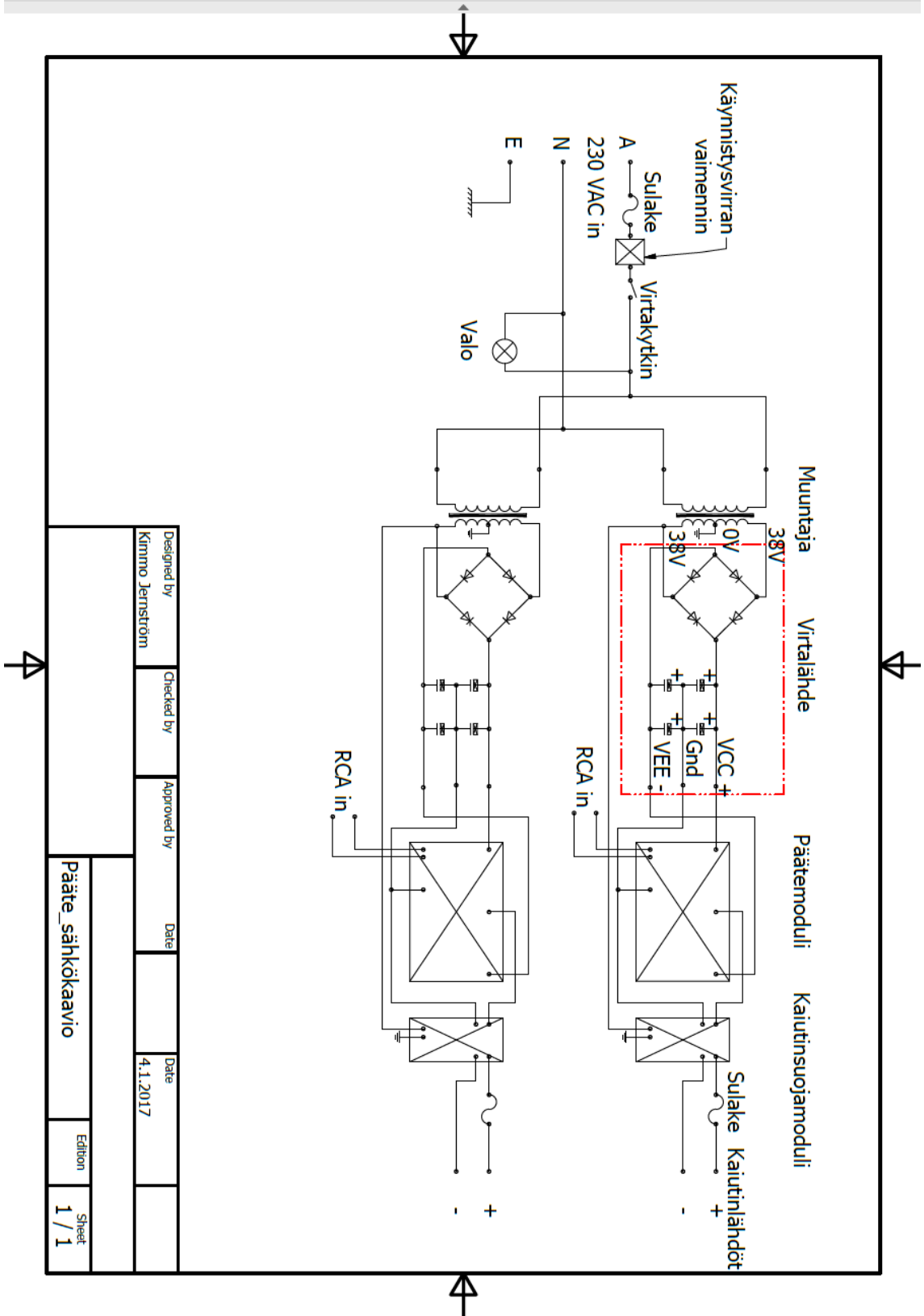
2 x 500 e

2 x 1500 e

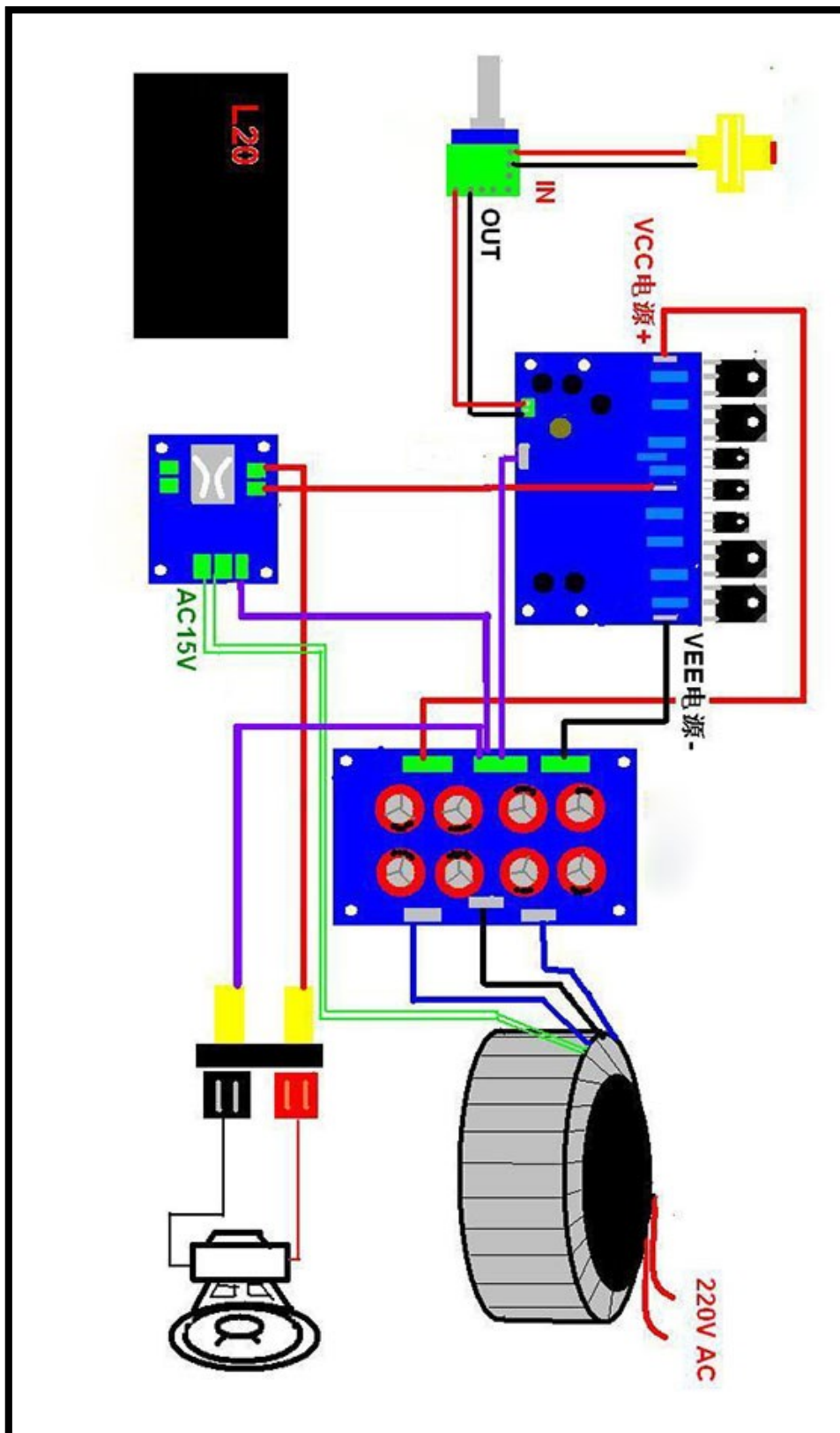
Vahvistinkomponenttien sijoittelusuunnitelma



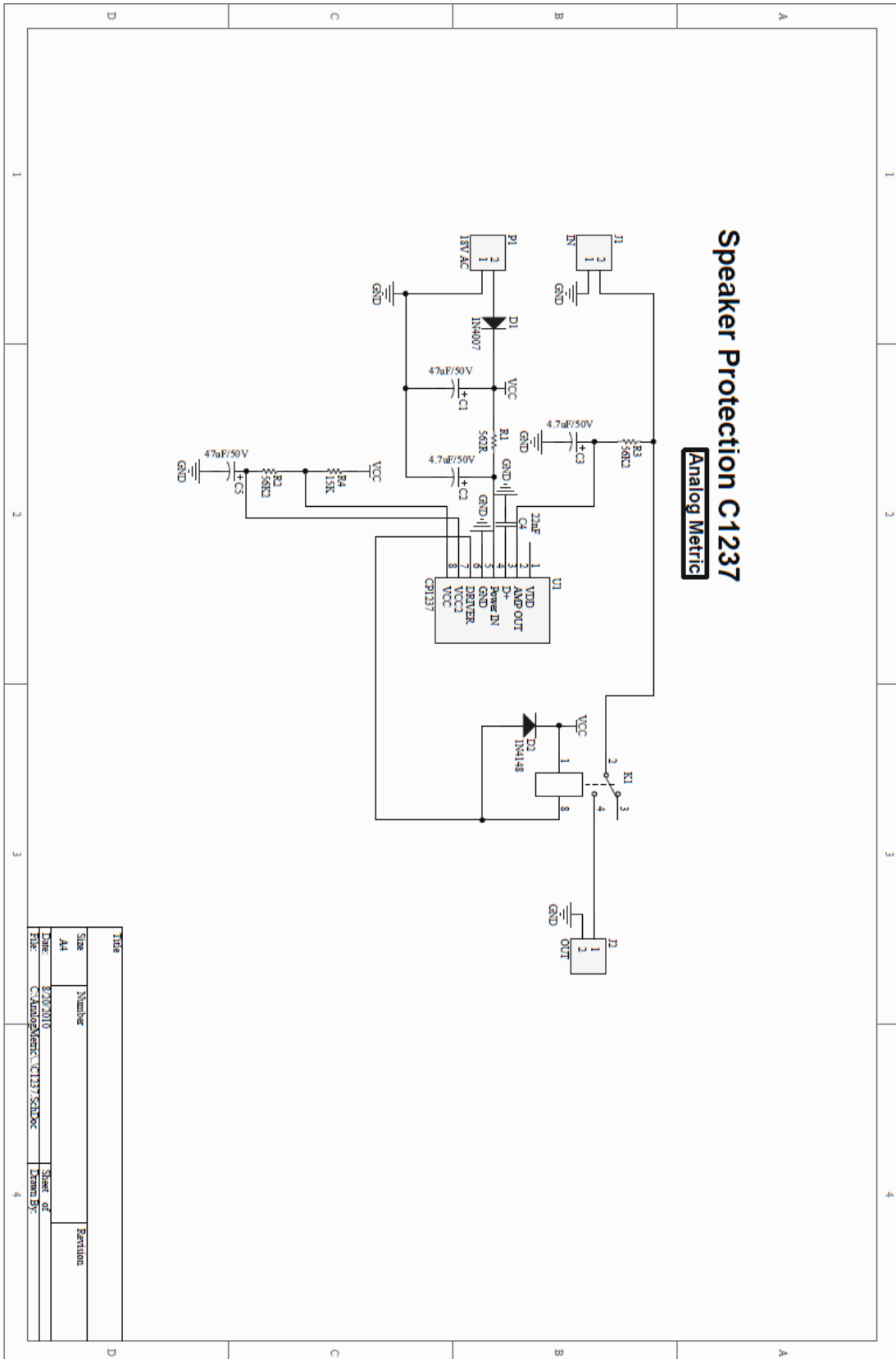
Päätevahvistimen sähkökaavio



Vahvistinmoduulin kytkentäkaavio



Kaiutinsuoja, sähkökaavio



Kaiutinsuoja, osalista

<b>Analog Metric</b>			
<b>C1237 Speaker Protection (Stereo)</b>			
<b>Components</b>	<b>Values</b>	<b>Quantity</b>	<b>Remarks</b>
C1, C5	47uF/50V	4	Electrolytic Capacitor
C2, C3	4.7uF/50V	4	Electrolytic Capacitor
C4	22nF/50V	2	MKS Film Capacitor
D1	1N4007	2	
D2	1N4148	2	
R1	470R 1/8W	2	
R2, R3	56K 1/4W	4	
R4	15K 1/4W	2	
K1, K2	24V Relay	2	OMRON G2R-1-24V
U1	CP1237 /UPC1237	2	
2 PIN Blue Connector	KF301-2P	6	
3mm Copper Rod and Nut		8	
PCB		2	





DIY -pääte vahvistimen mittapöytäkirja

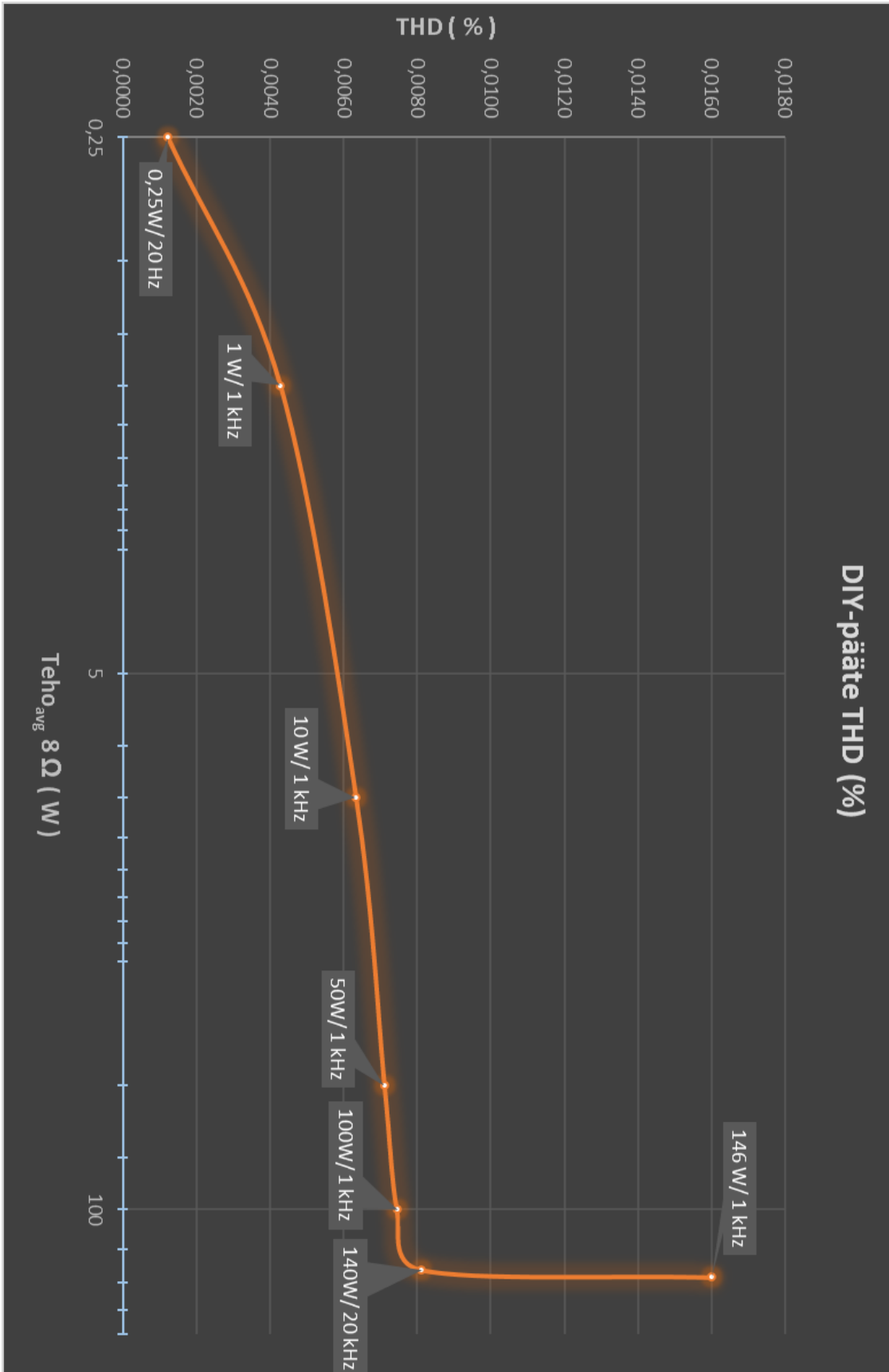
DIY - PÄÄTE MITTAKSET:

THD				
$V_0$	0,035V	$U_{0MAX}$	50,4V	
		$U_{0MIN}$	-47,2V	
$V_{RMS}$	34,2V			
$P_{THD RMS}$	146,205W	$\Rightarrow$ THD:	0,00035	
1W =	$\sqrt{2} \cdot \sqrt{8} = 2,82843$	V <sub>RMS</sub>		
10W =	$\sqrt{10} \cdot \sqrt{8} = 8,944$	V <sub>RMS</sub>		
50W =	$\sqrt{50} \cdot \sqrt{8} = 20$	V <sub>RMS</sub>		
100W =	$\sqrt{100} \cdot \sqrt{8} = 28,2843$	V <sub>RMS</sub>		
140W =	$\sqrt{140} \cdot \sqrt{8} = 33,466$	V <sub>RMS</sub>		
$\approx$ 1W	2,85V <sub>RMS</sub>	1000Hz		
$U_{0MAX}$	4,06V		THD	
$U_{0MIN}$	-4,08V			
$U_0$	0,035V	$\Rightarrow$	0,004287%	
$\approx$ 10W	8,98V <sub>RMS</sub>	1000Hz		
$U_{0MAX}$	13,2V		THD	
$U_{0MIN}$	-12,8V			
$U_0$	0,035V	$\Rightarrow$	0,006346%	
$\approx$ 50W	20V <sub>RMS</sub>	1000Hz		
$U_{0MAX}$	29,6V		THD	
$U_{0MIN}$	-28,7V			
$U_0$	0,035V	$\Rightarrow$	0,007116%	
$\approx$ 0,25W	1,4V <sub>RMS</sub>	20Hz		
$U_{0MAX}$	2,08V		THD	
$U_{0MIN}$	-2,0V			
$U_0$	0,035V	$\Rightarrow$	0,001225%	
140W				
$\approx$ 3W	33,5V <sub>RMS</sub>	20000Hz		
$U_{0MAX}$	46,0V		THD	
$U_{0MIN}$	-46,4V			
$U_0$	0,035V	$\Rightarrow$	0,008104%	
$\approx$ 100W	28,3V <sub>RMS</sub>	1000Hz		
$U_{0MAX}$	41,9V		THD	
$U_{0MIN}$	-40,6V			
$U_0$	0,035V	$\Rightarrow$	0,007455%	

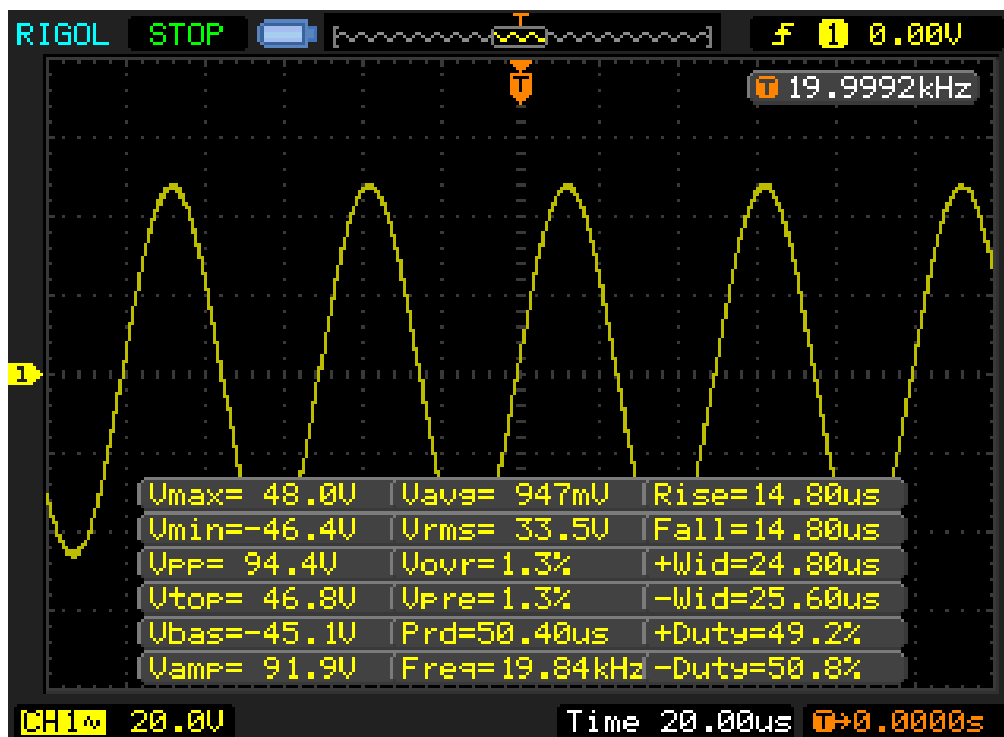
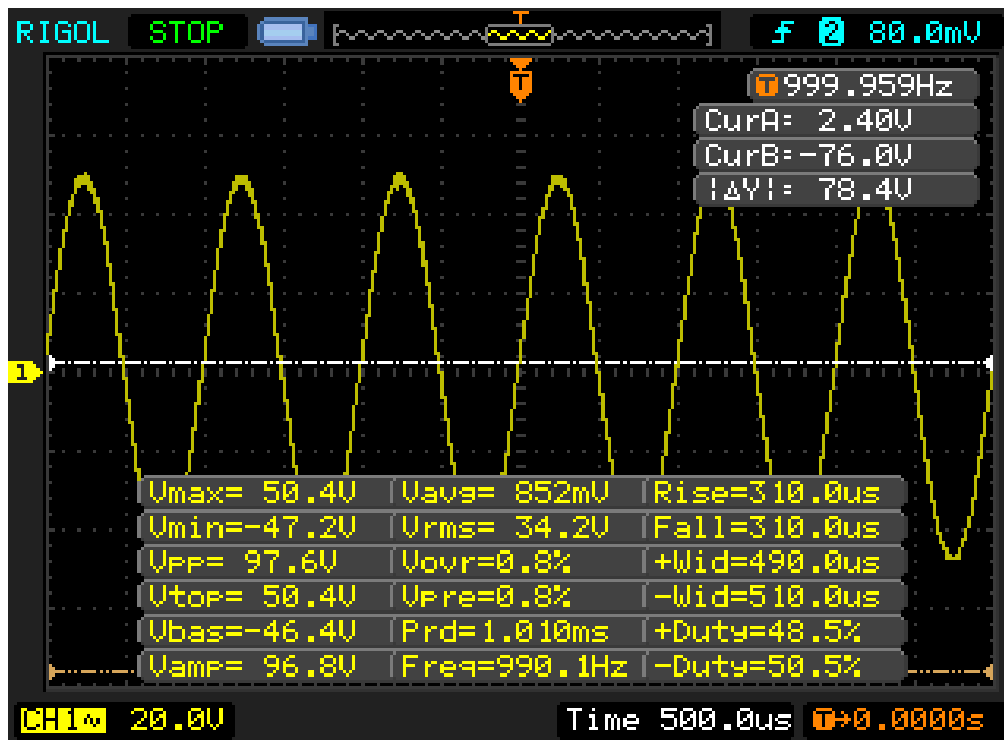
$\frac{P_{THD RMS}}{R} = \frac{34,2V^2}{8\Omega} = 146,205W$

$P_{RMS} \approx \frac{2 \times 146W}{8\Omega}$

DIY -päätevahvistin, THD – teho -käyrä



Oskilloskooppikuvia päätevahvistimen mittauksista



Oskilloskooppikuvia päätevahvistimen mittauksista

