

STEREOVAHVISTIN PROSESSORIOHJAUKSELLA

Mikko Sairo

Päättötyö

Jyväskylän ammattiopisto, Tekniikka ja Liikenne

Sähköalan perustutkinto, elektroniikka-asentaja

Joulukuu 2009

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	4
2 SUUNNITTELU	5
2.1 Vahvistin	6
2.2 Prosessoriohjaus	7
2.2.1 Ohjelma.....	7
2.2.2 Kauko-ohjaus	8
2.2.3 Volume	9
2.2.4 Sisääntulo.....	10
2.2.5 LCD-näyttö	11
3 KOKOONPANO JA TOIMINNAN TOTEAMINEN	12
3.1 Vahvistin	13
3.2 Prosessoriohjaus	14
3.2.1 Ohjelma.....	14
3.2.2 Kauko-ohjaus	15
3.2.3 Volume	16
3.2.4 Sisääntulo.....	17
4 MITTAUSTULOKSET.....	19
5 POHDINTA	20
6 TIIVISTELMÄ	21
7 TIIVISTELMÄ IN ENGLISH.....	22

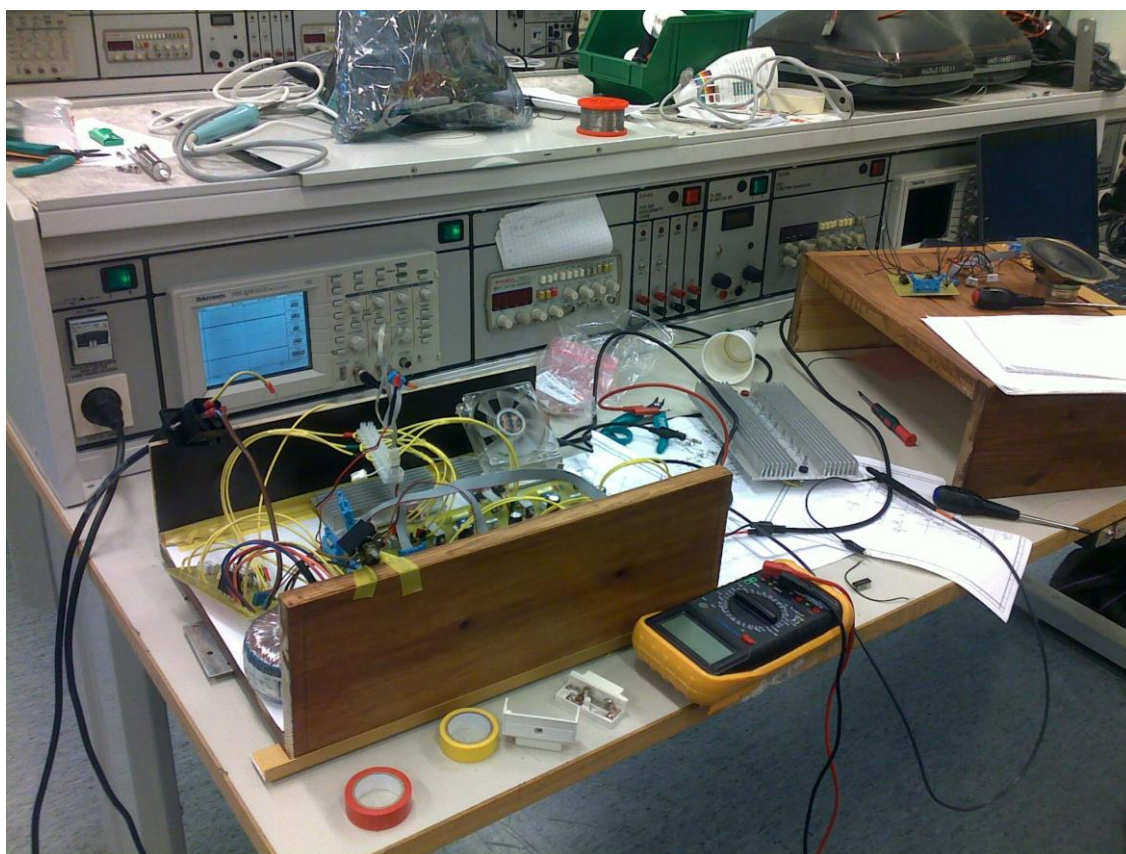
8 LÄHTEET JA KIITOKSET	23
9 LIITTEET	24
Liite 1: Vahvistimen ja virtalähteen kytkentäkaavio	24

1 JOHDANTO

Minulla meni myöhään päättää, mitä tekisin opinnäytetyöksi. En juuri keksinyt laitetta, jota tarvitsisin, mutta en halunnut tehdä mitään kovin yksinkertaista. Päädyin kuitenkin vahvistimeen, joka perusidealtaan on melko yksinkertainen. Vahvistin on toteutettu MOSFETeillä, ja se on mitoitettu 25 wattiin per kanava, ja kanavia on kaksi, siis stereovahvistin.

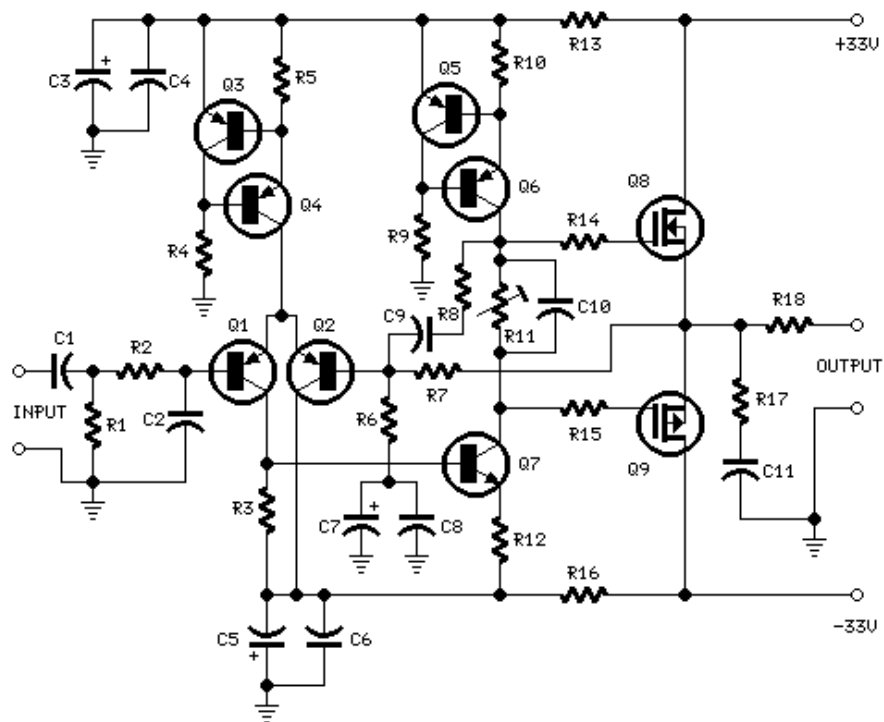
Jotta työstä tulisi hieman monipuolisempi, päätin sisällyttää työhön prosessorin, toiselta vuodelta tutun PIC16F8477A:n. Sen avulla vahvistimeen sai mm. LCD-näytön, painikkeilla toteutetun äänenvoimakkuuden säädön, neljä sisääntuloa, joita vaihdetaan painikkeilla, sekä kauko-ohjauksen. Kun vielä tähän lisää vahvistimen tarvitseman virtalähteen, työ sisältää jotain lähes kaikilta osa-alueilta, joita viimeisenä kahtena vuotena on käsitelty, ja hieman ekstra.

Työtä ei ole tehty mihinkään erityiseen tarkoitukseen. Kun tein alustavaa suunnitelmaa, mitä sisällyttäisin työhön, aioin vain tehdä mahdollisimman laajan opinnäytetyön. Myöhemmin tajusin, että jos vahvistinosuus vain on tarpeeksi laadukas, valmis paketti sisältäisi samat ominaisuudet kuin kaupasta ostettu. Niissä toteutus on luultavasti laadukkaampi ja monimutkaisempi, mutta tämä työ onnistuessaan on osoitus, ettei monimutkaisuus ole tarpeen laadun takaamiseksi.

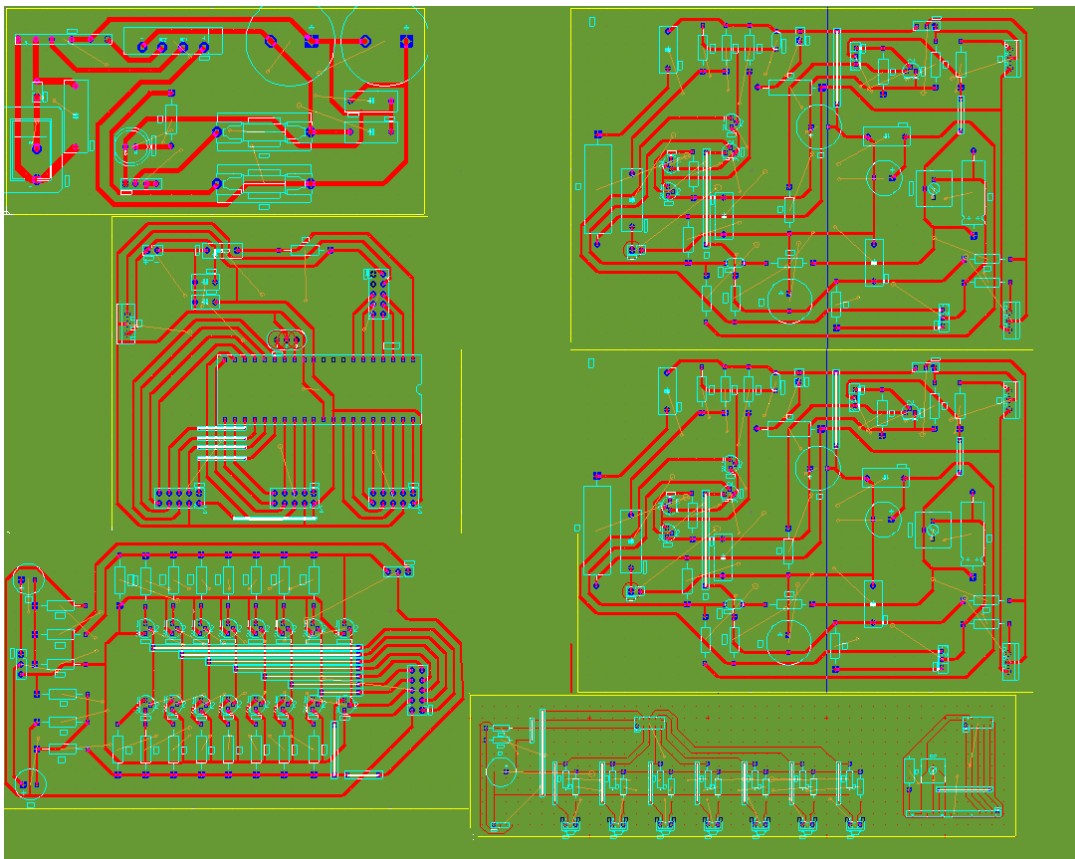


KUVA 1. Työpiste.

2 SUUNNITTELU



KUVA 2. Vahvistimen kytkentäkaavio.



KUVA 3. Kuvakaappausten kokoelma Ultiboard-ohjelmasta. Kuvassa osien piirilevyt.

2.1 Vahvistin

Vahvistimen suunnittelun aloitin etsimällä internetistä sopivan vahvistinkytken, hakukriteereinä FETeillä toteutettu sekä riittävän yksinkertainen, eli siis ei kovin tehokas. Muutaman haun jälkeen löytyi juuri sopiva, 25W MOSFET-vahvistin, joka ei tarvitse esiasetusta. 25W on ollut alkuperäinen mitoitus, eli noin paljon siitä joka tapauksessa lähtee, mutta erästä ensimmäistä, jatkuvassa käytössä ollutta kyseisen laista vahvistinta oli mitattu uudestaan, ja parhaimmillaan vahvistimesta oli saanut 45W tehoa 8 ohmiin, ja 78W 4 ohmiin, per kanava. Vahvistin löytyi redcircuits.com –sivustolta, jossa se on alunperin julkaistu vuonna 1999, ja em. vahvistin oli rakennettu 1992, joten vahvistimen voi olettaa olevan hyvälaatuinen.

Vahvistimelle tarvitsee myös virtalähteen, ja vahvistimen piirikaavion ohessa oli piirikaavio sopivalle virtalähteelle. Virtalähteestä saa ulos ± 33 VDC piirikaavion mukaan.

Kun piirikaavio oli selvillä, alkoi piirilevyn suunnittelu. Piirilevyjä lähdin suunnittelemaan Multisim –ohjelmalla, jossa ensin luodaan kytkentä itse Multisimillä, jonka jälkeen kytkentä siirretään Ultiboardiin, jolla fyysisen piirilevyn tekeminen alkaa. Ennen kuin kytkentää kuitenkaan siirtää pitää huomioida komponenttien ”footprintit”, eli miten komponentin jalat sijoittuvat fyysisesti. sillä Multisim ei tiedä, minkä kokoinen komponentti minulla on. Tässä välissä vierähti noin viikko ilman, että tämä osio edistyi, sillä komponenttien saamisessa kesti.

Kun sain komponentit vihdoin käsiini, alkoi työkin edistyä. Ainakin noin nimellisesti. Piirilevyn suunnittelu ei ole mitenkään erityisen nopeaa puuhaa, ja vaikka vahvistin on yksinkertaisemmasta päästä, riittää siinäkin kiemuroita. Työtä helpotti paljonkin Ultiboardin auto-router, joka teki alustavat kuparivedot, ja käyttäjän, eli minun, tehtäväksi jäi siistiä ne. Paljon siinä silti oli työtä, sillä komponentteja ohjelma ei osannut sijoittaa itse, ja niiden tuli olla hyvin aseteltu ennen kuin auto-router sai työnsä tehtyä vähintäänkin lähes valmiiksi. Kaikkia vetoja sekään ei koskaan saanut, ja silloin täytyi turvautua hyppylankaan. Loppujen lopuksi ja kaverin avustuksella piirilevy tuli kuitenkin valmiiksi virtuaalitodellisuuteen.

Jäljellä enää siis piirilevyn jysintä, jossa tietokoneohjattu poranterä (vrt. Dremel) jysii kuparilevylle tarvittavien vetojen ääriviivat. Tämäkään ei aivan ongelmitta sujunut, ongelmat alkoivat heti, kun tiedostoja yritettiin siirtää jysimen hallintaan käytettävälle tietokoneelle. Kun Ultiboardista tallensi jysimen ohjelmiston käyttämään tiedostomuotoon, vakioasetuksilla se ei luonut kaikkia tarvittavia tiedostoja, jolloin piirilevyn kaikki tiedot eivät näkyneet, kuten reikien kohdat. Ultiboardin tiedot, kun kaikki oli onnistuneesti luotu, eivät siltikään sisältäneet kaikkia jysimen tarvitsemia tietoja, mutta ne onneksi sai tehtyä jysimen omalla ohjelmalla. Tämän jälkeen ainoa ongelma oli jysimen

terien laatu, sillä ne kuluvat nopeasti, ja kaikki kupari ei poistunut urista, joten niitä täytyi sahata ja vuolla rakennusvaiheessa pois.

Ennen kuin jyrasin vahvistinpiirilevyä, suunnittelin samalla ohjelmistolla laitteen muut piirilevyt valmiiksi, jotta jyrittäessä voisin laittaa useampia levyjä kerralla tulemaan. Muiden laitteen osien suunnittelusta seuraavissa luvuissa.

2.2 Prosessoriohjaus

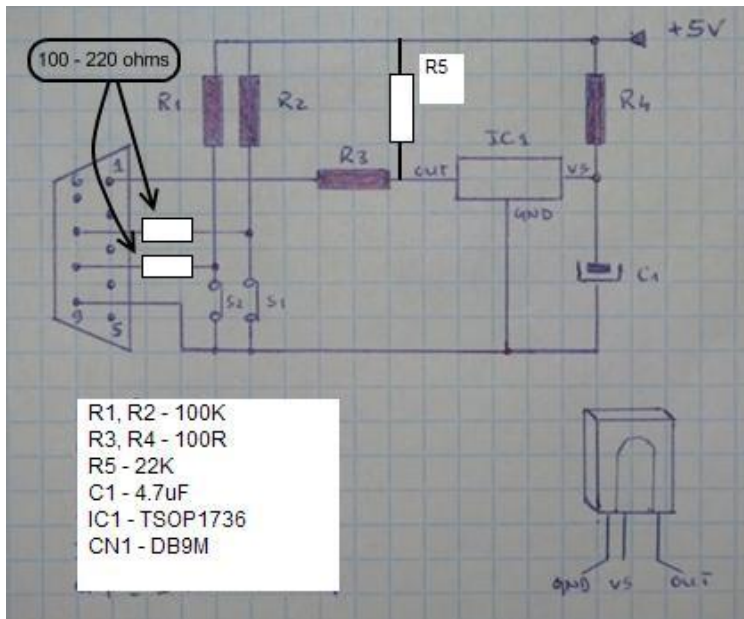
Jotta sain vahvistimesta hiukan monipuolisemman, otin työhön mukaan mikroprosessorin. Prosessorilla oli tarkoitus toteuttaa portaistettu äänenvoimakkuuden säätö, sekä sisääntulon valinta. Lisäksi vahvistimeen tulee LCD-paneeli, josta näkee nykyisen äänenvoimakkuuden tason sekä kanavan, josta ääntä syötetään. Aikomukseni on myös saada kauko-ohjaus toteutettua prosessorilla.

2.2.1 Ohjelma

Jotta prosessori osaa tehdä yhtikäs mitään, tarvitsee se ohjelman. Ohjelmaa lähdin rakentamaan itselleni tutulla tavalla, eli Flowcodella. Toisena vuonna meille pidettiin kurssi kyseisestä ohjelmointitavasta, ja omaksuin sen hyvin. Silloin lähinnä vilkuteltiin valoja ja näytettiin tekstiä LCD-paneelilla, mutta periaate on tässä sama. Ohjelmaa simuloitaessa käytän valoja, jotka edustavat eri sisääntuloja ja äänenvoimakkuuden tasoja. Todellisuudessa valojen sijaan ohjataan transistoreja ja FETejä, mutta prosessori ei ota kantaa, mihin siitä lähtevä virta menee.

Ohjelmaa en erityisemmin suunnitellut. Otin lähtökohdakseni LCD-paneelin ohjauksen, ja kun se oli valmis, rakensin sen koodinpätkän ympärille/sisään äänenvoimakkuuden ja sisääntuloportit. Sen verran paperilla suunnittelin, että tiesin, mihin prosessorin porttiin työn osat tulevat.

2.2.2 Kauko-ohjaus



KUVA 4. Infrapunavastaanottimen kytkentäkaavio.

Kauko-ohjauksen ohjelman toteutusta lähdin pohtimaan selvittämällä aluksi, miten kaukosäädin keskustelee vastaanottimen kanssa. Selvitettyäni, millaisia protokollia on olemassa, jouduin vielä selvittämään, mitä protokollaa oma kaukosäätimeni, jota aion käyttää vahvistimen kanssa, käyttää. Matrix Multimedian, yrityksen, joka kehitti flowcoden, keskustelupalstalta löysin eräänlaisen kauko-ohjauksen ohjelman, josta lähdin aluksi muokkaamaan itselleni sopivaa. Lopulta kuitenkin päädyin kirjoittamaan ohjelman uudestaan, koska alkuperäinen ohjelma käytti lähes täysin erilaista tapaa keskustella kaukosäätimen kanssa, kuin mitä oma kaukosäätimeni ymmärtää.

Kaukosäätimen vastaanottimen piirikaavion löysin myös samaiselta keskustelupalstalta, ja sellaiseksi se myös jäi, joten laitteen tätä ominaisuutta ei voi sanoa minun suunnittelemaksi.

Vastaanottimen tein samalle piirilevylle kuin vahvistimen kytkin-paneelin, joskaan laitteet eivät ole yhteydessä toisiinsa. Näin kotelon rakentaminen helpottuu, kun kaikki käyttäjälle näkyvät osat ovat samalla piirilevyllä.

2.2.3 Volume

Koska en halunnut käyttää potentiometriä säätämään äänenvoimakkuutta, vaan halusin tehdä sen prosessorin avustuksella, päätin plagioida potentiometrin eli säätövastuksen toimintaa. Tavallisesti potentiometriä käytettäessä äänenvoimakkuuden säätöön, se kytketään siten, että kahdesta ulommaisesta jalasta, joiden välillä on täysi resistanssi, toinen kytketään varsinaiseen sisääntuloon ja toinen maalinjaan, ja kolmas, säätävä jalka kytketään vahvistimelle menevään linjaan, jolloin potentiometri muodostaa jännitteen jaon. Säätyneenä toiseen ääripäähän sisääntulon ja maan välillä ei ole vastusta lainkaan, eli vahvistimelle ei mene lainkaan signaalia, ja toisessa ääripäässä sisääntulon ja vahvistimen välillä ei ole vastusta, jolloin signaali siirtyy koko voimallaan vahvistimelle.

Tällaista toimintaperiaatetta lähdin soveltamaan omaan kytkentääni. Koska vahvistin speksien mukaan antaa 25 wattia ulos 200mV peak-to-peak signaalilla, ja vahvistamaton audiosignaali on 2 voltia peak-to-peak, täytyy sitä vaimentaa huomattavasti, ettei vahvistin kärsi. Laitoin siis signaalin tielle heti aluksi vastuksen, joka toimii jännitteenjaon toisena vastuksena. Tämän jälkeen tulee sarja eri kokoisia vastuksia, joita kytketään maalinjaan ja pois FETeillä, joita taas ohjataan prosessorin ulostuloista saatavalla 5 voltin signaalilla.

Koska yksinkertainen ratkaisu harvoin toimii, ei tämäkään näin helpolla toteutunut. Tämä kytkentä säilyi mukana, mutta siihen täytyi lisätä erinäisiä ominaisuuksia. Ensimmäinen ongelma tuli audiosignaalin luonteesta. Audiosignaali on vaihtojännitettä, eli se vaihtelee tiheään tahtiin positiivisen ja negatiivisen jännitteen välillä, ja FETit, joiden läpi niin sanotusti ylimääräinen, ei-vahvistimelle menevä signaali kulkee, eivät toimi negatiivisilla jännitteillä. Tämän sai korjattua lisäämällä audiosignaaliin ennen FETeille menoa +5V tasajännitesignaalin, joka kohottaa audio-signaalin kokonaan positiiviselle jännitealueelle. Tämä ratkaisu loi taas yhden lisäongelman, sillä audio-laitteet eivät pidä tasajännitteestä. Ongelmasta päästiin eroon, kun vaimennetusta signaalista suodatettiin tasajännite kondensaattoreilla. Kondensaattori on tasajännitteelle yhtäläinen poikki olevan johdon kanssa, joten aikaisemmin lisätty viiden voltin linja menee maalinjaan ja audiosignaali jatkaa vahvistimelle. Jottei tasajännite riko myöskään audiosignaalia syöttävää laitetta, laitoin myös alkuun kondensaattorin. Näin kytkentään ei pääse sisälle eikä sieltä pääse ulos tasajännitettä.

Toisenlaisen pulman aiheutti vastuksien valinta. Koska käytettävissä oli vain kahdeksan ohjauslinjaa per laite, jouduin käyttämään vain seitsemää vastusta. Yksi ohjauslinja meni linjaan, johon ei tule vastusta, jolloin sen linjan ollessa kytkettynä koko audiosignaali menee maihin, eli vahvistin menee 'mute'lle. Noilla seitsemällä vastuksella toteutin kuusitoistaportaisen säädön kytkemällä vastuksia eri tavoilla rinnan, ulostulotehon muuttuessa aluksi 3 desibelin verran per taso, ja toisessa päässä 1 desibelin askelin.

KytKentää rakensin ja simuloisin aikaisemmin mainitsemaani Multisimillä, jolloin sähköteknisistä virheistä johtuvat epäonnistumiset eivät maksa kenellekään mitään, kun komponentteja ei hajoa. KytKennän tullessa valmiiksi siitä oli myös helppo tehdä piirilevy, tai ainakin helpompi, kuin jos olisin alkanut käsin tekemään levyä.

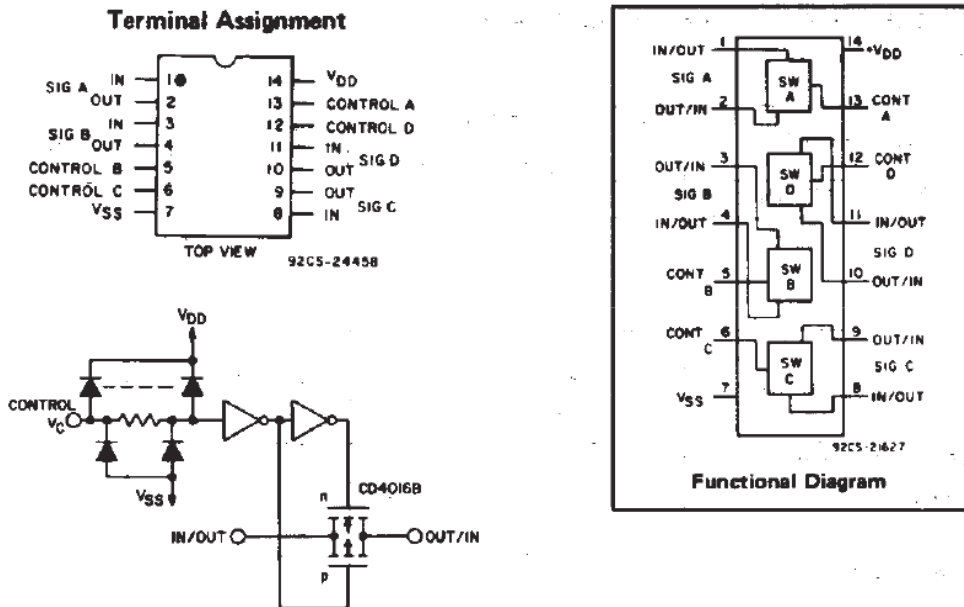
2.2.4 Sisääntulo

Sisääntuloa lähdin suunnittelemaan ajatuksella sähkövirralla ohjattavasta kytkimestä. Aluksi suunnittelin laittavani transistoreja tai FETejä kuten äänenvoimakkuuden säädössä, mutta opettajalta sain vinkin 4016-piireistä. Ne ovat multiplekseripiirejä, joissa periaatteessa on neljä kytkintä, joita ohjataan +5V jännitteellä.

Tähän olisi myös voinut tuoda mikseriominaisuuksia, mutta yksinkertaisen mikserin laatu ei ole kovin hyvä, ja parempilaatuinen taas veisi liikaa aikaa toteuttaa, joten ne jäivät pois.

Tämä on luultavasti koko laitteen yksinkertaisin kytkentä. Sisääntulojen maat ovat suoraan kytketty toisiinsa, ja viety eteenpäin vahvistimelle. Sisääntulojen toinen johdin on kytketty 4016-piirin kytkimien toiseen puoleen, ja toiset puolet on yhdistetty toisiinsa ja viety eteenpäin vahvistimelle. Kanavia ei ole suojattu mitenkään mahdollisen ohjelmavirheen varalta, jonka seurauksena kaksi tai useampi kanava on yhtä aikaa aktiivisena, joten tässä on teoriassa mahdollista tulla isompikin vahinko käytön aikana.

Laitetta suunnitellessa vastaan ei tullut ongelmia, mikäli piirilevyn tekemisen unohtamista samaan aikaan kuin muiden ei lasketa virheeksi. Tämä luultavasti sen takia, että en panostanut tähän osioon juurikaan, vaan pidin sen yksinkertaisena ja helppona toteuttaa.



KUVA 5. CD4016BE-piirin jalkajärjestys ja sisäiset kytkennät.

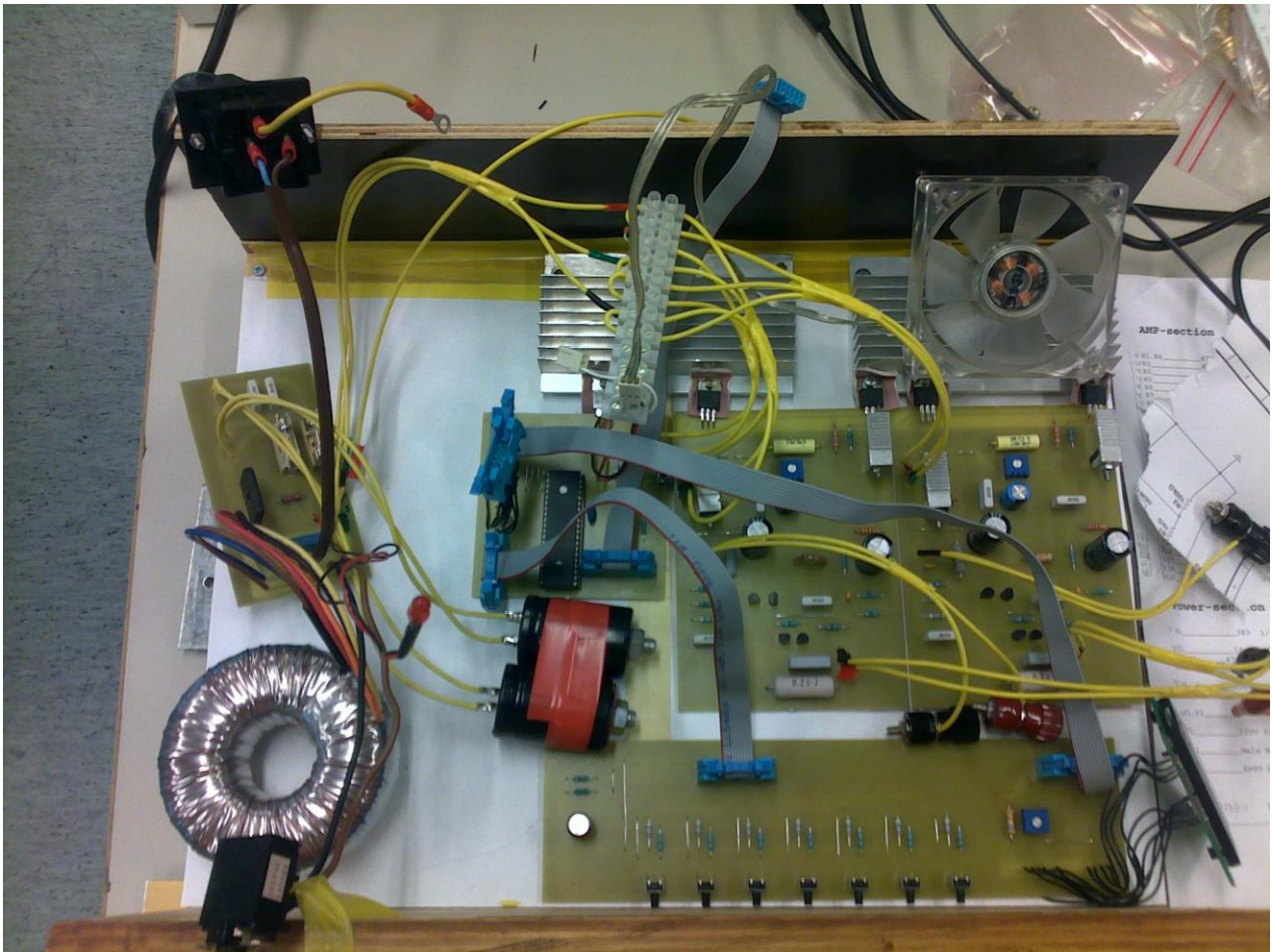
2.2.5 LCD-näyttö

LCD-näytön fyysisen osion suunnittelu oli vaikeampaa kuin odotin. Koska toisena vuonna opetellessamme ohjelmoimaan flowcodella, käytimme valmiita alustoja, joi-sa oli D9-liittimet osien välillä, joten jalkajärjestyksestä tai ajoituksesta ei tarvinnut huolehtia. Koska työhön kuitenkin tulee erillinen LCD-näyttö, piti aluksi löytää ajoituksiltaan samanlainen näyttö kuin se, jota alustoissa käytettiin, jotta flowcoden omaa LCD-paneelimakroa voisi käyttää. Löydettyäni sopivan sainkin sen toimimaan selvitettyäni paneelin jalkajärjestyksen, sillä oman paneelini valmistaja ja aikaisemmin käytetyn paneelin valmistaja käyttivät hiukan eri merkintöjä.

LCD-paneeli kytketään lähes suoraan prosessorin jalkoihin, joten piirilevyn suunnittelu sille oli helppoa. Tein myös tämän piirilevyn infrapunavastaanottimen lisäksi kytkinpaneelin piirilevylle, jotta se olisi helpompi asentaa koteloon.

Helpolta tuntuvasta työstä huolimatta onnistuin tekemään virheen suunnittelussa, jonka huomasin vasta kokeiluvaiheessa. Olin kytkenyt muutaman jalan väärin, ja tämän seurauksena jouduin lisäämään muutaman johdonpätjän piirilevylle ja katkomaan kuparia, jotta asian sai korjatuksi. Kun tämä oli vihdoin kunnossa, huomasin, ettei näytölle tulevat tekstit näkyneet oikein, ja jouduimme toteamaan paneelin vialliseksi. Sitä, menikö näyttö virheellisen kytkennän seurauksena rikki vai oliko paneeli alunperinkin viallinen, en osaa sanoa. Koululla kuitenkin oli yhteensopivia näyttöjä varastossa, tosin ilman taustavaloa, joten laitoin sellaisen kiinni ja kaikki toimi tämän osalta.

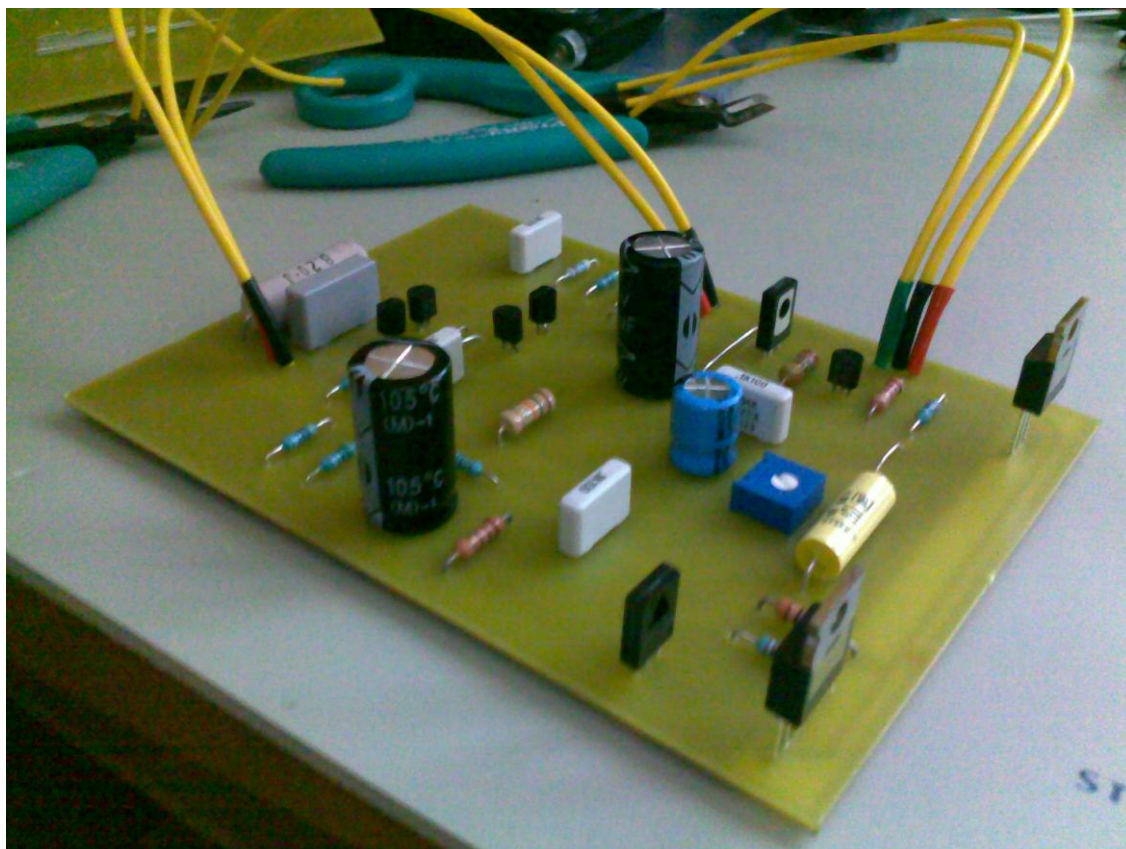
3 KOKOONPANO JA TOIMINNAN TOTEAMINEN



KUVA 6. Työ testausvaiheessa. Suurin osa laitteen osista kiinni.

Koska komponenttien juottaminen kiinni levyihin tapahtui välikohtauksitta, ja koska sitä osittain käsittelinkin edellisessä luvussa, siirryn suoraan osien kokeiluun ja mitä ongelmia niiden kanssa tuli, sekä miten ne ratkesivat.

3.1 Vahvistin



KUVA 7. Toisen vahvistinkanavan piirilevy valmiina.

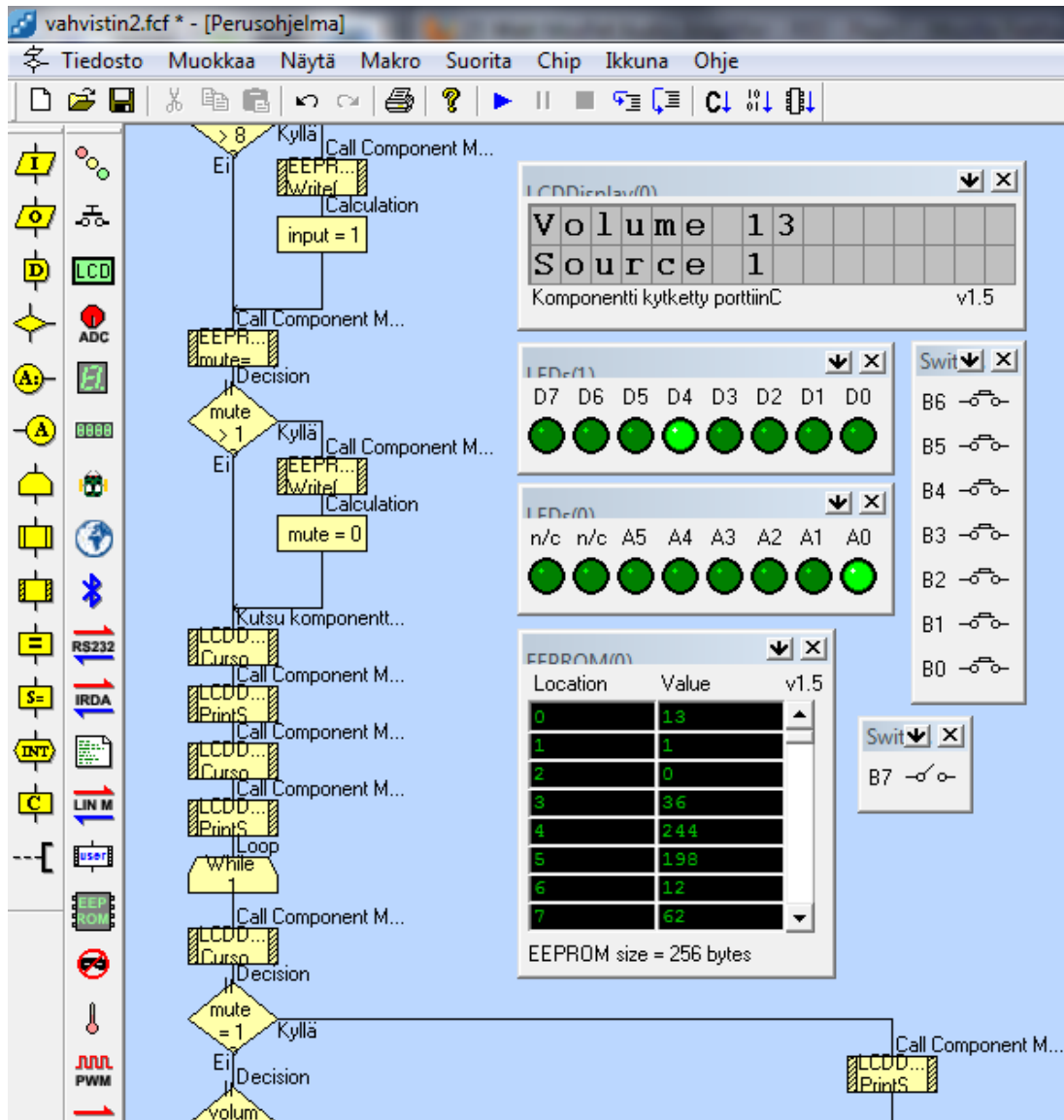
Tämä oli aluksi kytkennän epävarmin osa. Ystäväni oli aikaisemmin tehnyt samanlaisen kytkennän, joka ei toiminut ja jolle ei löytynyt silloin selitystä, miksi. Näissä tunnelmissa aloin kytkeä toista vahvistinkanavaa kiinni (toinen ei ollut vielä valmis). Käytin vahvistimen mukana tullutta virtalähdettä kokeiluun, sillä se oli jo aikaisemmin todettu toimivaksi, eikä työpisteen jännitelähteistä saanut vaadittuja +34 V ja -34 V jänniteitä. Saadessani kytkennät tehtyä keräsin itseni ja painoin virtakytkintä. Mitään ei tapahtunut. Kytkintä liikauttamalla hiukan jokin virtalähteessä iski kipinää, ja laite lähti käyntiin. Hiukan myöhemmin selvisi, että virtalähteen kytkin on huonosti juotettu kiinni, josta kipinäkin johtui.

Korjattuani huonon juotoksen pääsin säätämään vahvistimen lepovirran kohdalleen ja katsomaan, miten signaali kulkee kytkennän läpi. Säädin lepovirran 30 mA:iin positiivisesta käyttöjännitelinjasta mitattuna. Signaali tuli puhtaasti läpi, mittaustulokset ovat kirjattuna luvussa 4.

Mitatessani vahvistimen huipputehoja huomasin, että nyt jo suurista jäähdytysrivoista huolimatta ne kuumenevat huomattavan paljon, ja kun vahvistinta on pidetty noin 5 minuuttia maksimiteholla, riipoihin ei kärsi enää koskea. Laittamalla tuulettimen puhaltamaan suoraan jäähdytysriivien sen lämpötila laskee sopiviin lukemiin. Tuuletin tulee kotelon kylkeen puhaltamaan siilien läpi ilmaa, jotta

lämpötilat pysyvät kurissa, mutta olettaisin, ettei vahvistinta tulla koskaan käyttämään niin suurilla tehoilla.

3.2 Prosessoriohjaus

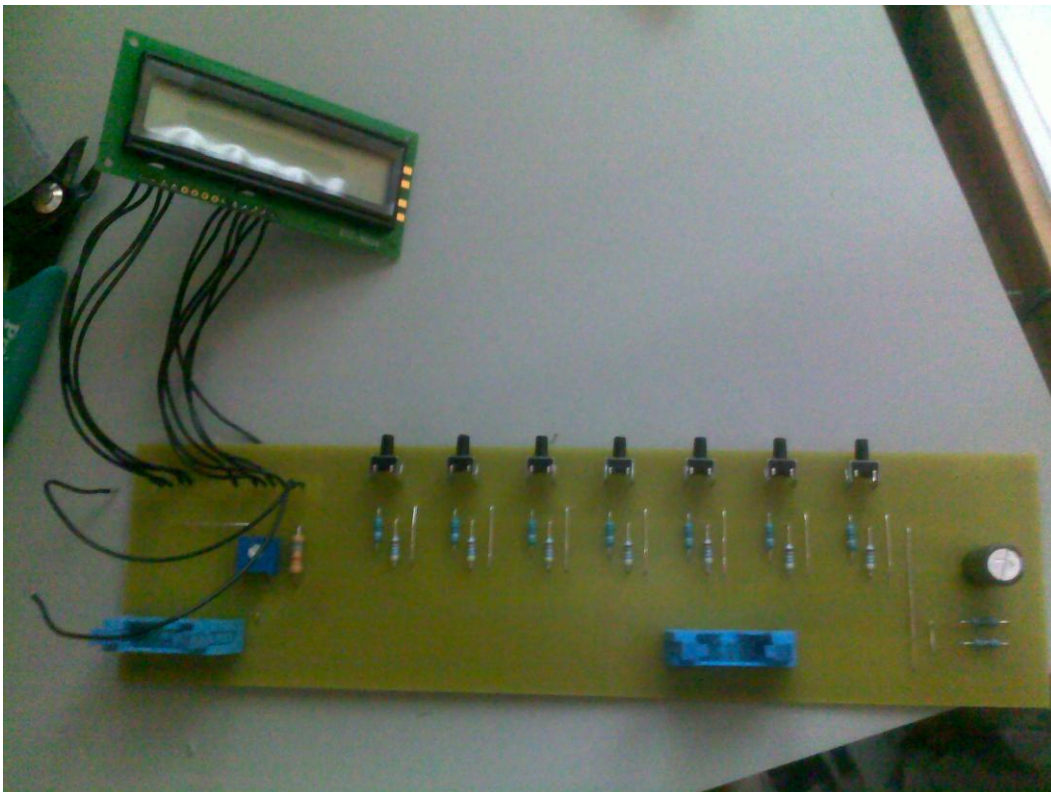


KUVA 8. Kuvakaappaus Flowcode-ohjelmasta.

3.2.1 Ohjelma

Ohjelma toimii suoraan loistavasti, kun sitä ajoi picmicron ohjelmointialustalla ja sen moduuleilla. Käytettäessä laitteen sisälle tulevalla alustalla osa kytkennöistä kuitenkin on toteutettu eri tavalla, ja niitä piti ohjelmasta muuttaa. Itse koodia ei tarvinnut muokata.

Ongelmia aiheutti myös flowcoden eri ohjelmaversiot. Vaikka uudempi V4 tunnistaa vanhemmalla V3:lla tehdyt ohjelmat, se ei osaa näköjään käsitellä niitä oikein, ja tuloksena on ettei se toimi oikeasti. Tämän kanssa taistelin muutaman tunnin, ennen kuin tajusin kokeilla vanhalla ohjelmalla. Ikävän tästä ongelmasta tekee se, ettei uudemmalla ohjelmalla tallennetut koodit, vaikka ne olisi alunperin luotu vanhalla, eivät enää toimi siinä vanhassa, ja flowcode-ohjelma pitää aina tallentaa ennen prosessorille siirtämistä, joten vanha versio ylikirjoittuu. Onneksi koodi oli tallessa useammassa paikassa, joten kokonaan ei tarvinnut koodia lähteä kirjoittamaan, ainoastaan kytkentöjen muutokset.



KUVA 9. Kytkinpaneeli. Vasemmalta oikealle: LCD-Näyttö, kytkimet, IR-vastaanottimen kytkentä ilman vastaanotinmoduulia.

3.2.2 Kauko-ohjaus

Tämä oli opinnäytetyön kokeellisin osa-alue, ja luultavasti oli hieman korkeatasoisempaa elektronikkaa kuin mitä ammattikoulussa opetetaan. Teoria on kuitenkin helppo: kaukosäätimestä tulee tietyllä taajuudella pulssijono, ja se tulisi lukea tietyllä taajuudella ja saadusta binäärilukujonosta erottaa, mikä osa on käskyä ja mikä osa erottaa eri laitteiden kaukosäätimien toiminnot, jottei yhdellä kaukosäätimellä tule vahingossa ohjattua useampaa laitetta.

Vaikka teoria onkin helppo, sen toteuttaminen ei ole. Pulssit tulevat 36...44 kilohertsin taajuudella, joten pulssien välissä on 22,3...22,8 mikrosekuntia. Flowcodella toteutettu kauko-ohjaus ei tuon ajan takia toimi, koska flowcode ei osaa erottaa 1 millisekuntia lyhyempää aikaa. Ajanpuutteen ja osan toimimattomuuden takia jätin kauko-ohjauksen toteuttamatta, tosin laitteeseen jäi kauko-ohjauksen komponentit, joten sen voi myöhemmin lisätä, jos löydän siihen joskus toimivan ohjelman tai saan itse ohjelmoitua sen.

2.2.3 Volume

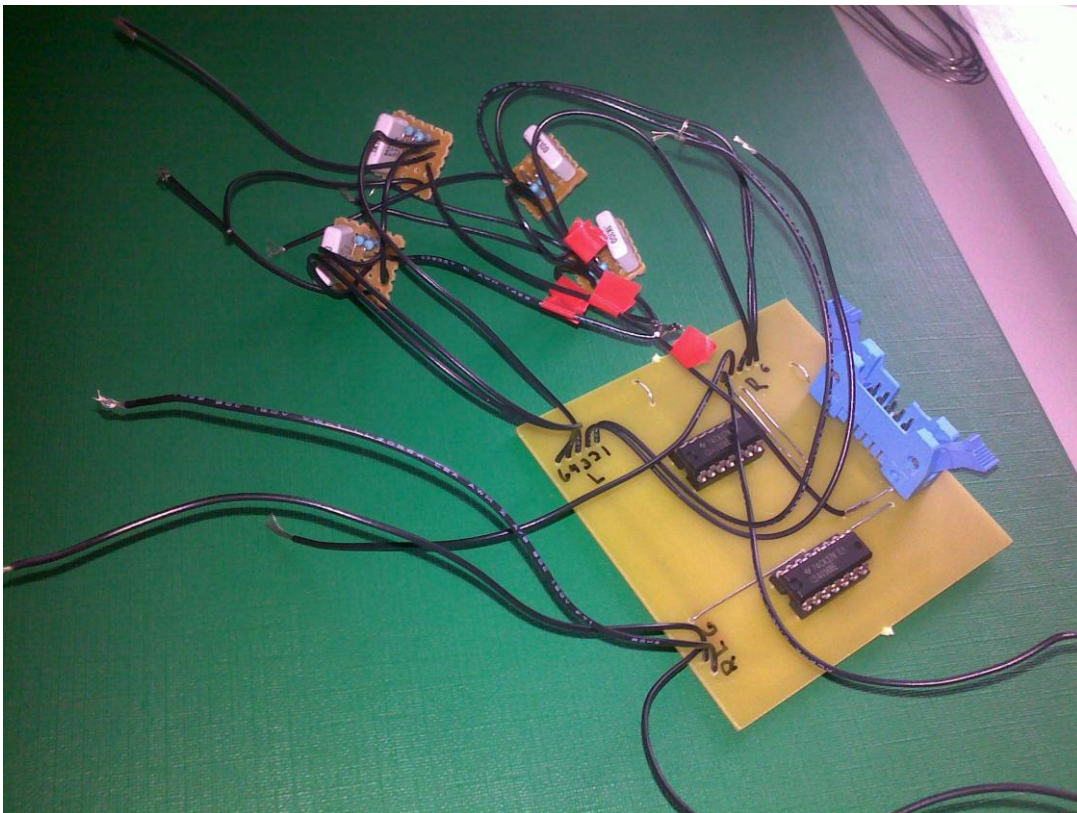


KUVA 10. Äänenvoimakkuuden säädin.

Volumekin toimi, ainakin siinä määrin, että se säätyi kuten mitoitettu noin puolissa askelissa. Toisen puoli taas säätyi miten sattui, tai sitten ei säätynyt, minulle tällä hetkellä tuntemattomasta syystä. Mahdollisia syitä on rikkiäinen fet, jolloin joku johtaa miten sattuu, tai sitten fetit aiheuttavat sen verran häiriöitä toisiinsa, etteivät ne toimi sataprosenttisesti. Niin tai näin, en uskalla laittaa

kytkentää sellaisenaan vahvistimen eteen, joten jätän sen sivuun. Mittauksiin sen puuttuminen ei vaikuta, ja kun otan laitteen käyttöön, laittanen sen tilalle potentiometrin, jolloin äänenlaatukin pysynee parempana. Mitatessani äänenvoimakkuuden säädintä huomasin, että toimivissakin tasoissa ääneen tuli selvä kohina mukaan.

2.2.4 Sisääntulo



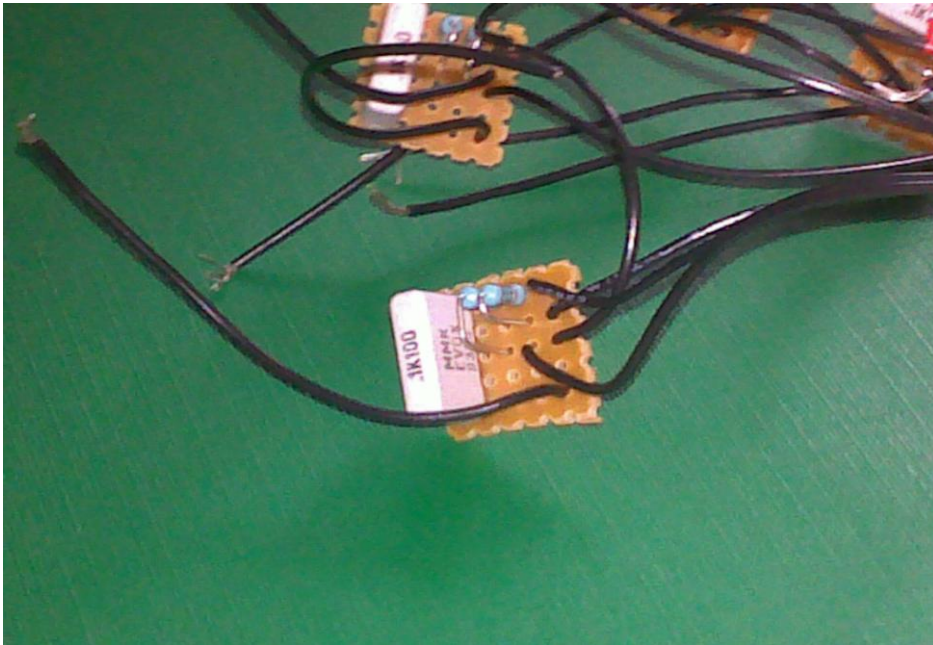
KUVA 11. Sisääntulon valitsin.

Sisääntulossakin oli ongelmansa. Lähes jo hylkäsin tämänkin osan, mutta opettajan ohjeistuksella sain sen kuitenkin toimimaan hyvin, jos ei sentään täydellisesti.

Alkuperäisenä vikana oli, ettei kytkinpiiri sulkeutunut, vaan jätti portit osittain auki. Kaiuttimella kokeiltaessa ”suljetut” portit kuuluivat edelleen, hiukan eri taajuisella äänellä kuin silloin, kun ääntä syöttävä kanava oli aktiivisena. Vika korjaantui, kun tein jännitteenjakokytkennän sisääntuloihin ennen piiriä, jolloin koko signaali oli po-sitiivisella puolella. Sulkeutumattomuus siis johtui siitä, että piiri alkoi johtamaan, kun sen läpi meni negatiivista jännitettä, jota puolet audiosignaalista on. Tämänkin jälkeen vielä ei-aktiivisista kanavista tuli ääntä ja/tai säröä läpi, mutta huomattavasti matalemmalla jännitteellä. Tämä johtui väärin kytketyistä maa-linjoista. Olin luullut, että

audiosignaalin maajohdin tulee jättää ”leijuvaksi”, eli erilliseksi virtalähteen maasta, mutta opettaja valisti minua tässäkin. Maalinjojen tulee olla samalla tasolla, mikäli ne häiritsevät mitenkään toisiaan, ja näinhän asianlaita oli. Laitoin piirilevylle siis hyppylangan yhdistämään maat, ja kytkinpiiri toimii loistavasti.

Edellä mainittu jännitteenjakokytkentä sisältää suodatuskondensaattorin, kaksi vastusta sekä käyttöjännite- ja signaalilinjan. Signaalin tielle tulee aluksi kondensaattori, jolla varmistetaan, ettei käyttöjännite mene syöttävään laitteeseen (kondensaattori ei päästä tasajännitettä läpi). Kondensaattorin jälkeen tulee kaksi vastusta, joista toinen on kytketty maalinjaan ja toinen käyttöjännitteeseen, ja signaalilinja tulee niiden väliin. Vastukset muodostavat jännitteen jaon, ja jos ne ovat samankokoisia, signaalilinjaan tulee signaalin lisäksi puolikkaan käyttöjännitteen verran lisää jännitettä. Koska tavallinen, vahvistamaton audiosignaali on 2 voltia peak-to-peak, viidestä voltista puolet on riittävästi nostamaan se varmasti kokonaan positiiviseksi. Kytkeäkseen kuuluisi vielä toinen kondensaattori piirin jälkeen, jolla palautettaisiin signaali takaisin vaihtojännitteeksi, mutta koska vahvistimessa itsessään on jo jakosuodin, toisesta kondensaattorista olisi enemmän haittaa kuin hyötyä.



KUVA 12. Jännitteenjakokytkentä.

4 MITTAUSTULOKSET

TAULUKKO 1. Mittaustulokset.

Virtalähde		
Positiivinen käyttöjännite	+37...+38 V	
Negatiivinen käyttöjännite	-38...+37 V	
Vahvistin	8 ohm	4 ohm
Maksimiteho	45W	64W
Vin maksimiteholle (huippu)	370 mV	310 mV
Vout maksimiteholla (huippu)	27 V	22,5 V
Jännitevahvistus	37,26 dB	37,22 dB
THD @ 1 kHz, 1 Vp	1 %	

Virtalähteen jännitteet mittasin sekä ilman kuormaa, että vahvistimen kaikki osat virtalähteessä kiinni. Vahvistimen tehon mittasin liittämällä 8 ja 4 ohmin keinokuorman vahvistimen ulostuloon, ja mittaamalla oskilloskoopilla vastuksen rinnalta, milloin signaali alkaa leikata. Signaalin syöttämisestä vastasi työpisteen funktiogeneraattori, jolla syötin 1 kilohertsin siniaaltoja vahvistimeen. Oskilloskoopin toista kanavaa käytin vahvistimeen menevän signaalin mittaamiseen.

Oskilloskoopista saadulla jännitteen huipusta huippuun –arvosta otin ensin huippuarvon eli puolitin sen, ja sitten muutin sen teholliseksi arvoksi jakamalla huippuarvon kahden neliöjuurella. Tätä arvoa sitten käytin tehon laskemisessa, $P=U^2/R$. Vahvistimen jännitevahvistuksen laskin sisään- ja ulostulevista jännitteen huippuarvoista.

Harmonisen särön eli THD:n määrän mittasin siihen kehitetyllä mittarilla. Mittarissa on sisäänrakennettu funktiogeneraattori, joka antaa ulos 1 kilohertsin siniaaltoja. Tämä ajetaan vahvistimelle, ja ulostulo menee takaisin mittarille, jolloin se laskee, kuinka paljon signaali on muuttunut matkalla. Mittarista myös säädettiin takaisin tulevan jännitteen arvoksi 2 Vpp.

5 POHDINTA

Lähtiessäni suunnittelemaan opinnäytetyötä, halusin tehdä monipuolisen opinnäytetyön, mutta jolla olisi käyttöäkin. Päädyin lopulta vahvistimeen, jonka monipuolisuutta lisäsin prosessorilla ohjattavilla lisälaitteilla, kuten sisääntulon valinta ja digitaalinen äänenvoimakkuuden säätö. Työ on luultavasti liiankin laaja yhdelle henkilölle tehtäväksi, mutta tämäntasoinen työ on se minimivaatimus, jota vaadin itseltäni. Työ sisältää suurimman osan kahden vuoden aikana opituista asioista, kuten ohjelmoinnin ja laajan elektroniikan osaamisen. Yritin myös tehdä työhön hiukan sellaista, jota ei tasonsa puolesta vaadita vielä, mutta ne osat työstä taisivat mennä minultakin yli hilseen.

Kokonaisuutena olen tyytyväinen työhöni. Vahvistin on laadukas, ja työssä oleva prosessori mahdollistaa useita erilaisia toimintoja, joita voi helposti lisätä myöhemmin, kuten se puuttuva kauko-ohjaus. Äänenvoimakkuudensäädön epäonnistuminen harmittaa hiukan, mutta potentiometri on huomattavasti käytännöllisempi menetelmä säätää äänenvoimakkuutta. Periaatteen tuolle kytkennälle sain juuri potentiometristä, mutta näyttää siltä, ettei se toimi. Mahdollisesti laadukkaammilla komponenteilla ja laadukkaammalla työn jäljellä se onnistuisi, mutta oma viritelmäni ei. Positiivista tässäkin takaiskussa toki on: sain juuri kaksi painiketta, rivin verran näyttötilaa ja yhden portin vapaaseen käyttöön, joten voin ohjelmoida jonkin lisätoiminnon käyttämään niitä. Eräänlainen spektrianalysaattori esimerkiksi.

Opin työn aikana kaikenlaista. Ensimmäinen oppimani asia lienee Multisim ja Ulti-board –ohjelmien käyttäminen ja niistä piirilevyjyrsimen ymmärtämäksi tiedostoksi muokkaaminen. Kauko-ohjausta suunnitellessani jouduin tutustumaan erilaisiin protokolleihin, joilla infoa siirretään. Sisääntulon valitsimessa käytin 4016-piiriä, joka on analoginen kytkinpiiri. En ollut ennen koskaan käyttänyt kyseisenlaista piiriä, mutta minulle jäi mielikuva, että niitä voi hyödyntää monipuolisesti, muutenkin kuin vain sähköisesti ohjattavina kytkiminä. Oikean maadoituksen tärkeyden opin myös, kanta-pään kautta, niin sanoakseni. Kaiken kaikkiaan opin paljon uutta työn aikana, mutta samalla myös kertosin vanhaa ja opettelin uusia menetelmiä vanhan hyödyntämiseksi. Vahvistimen tehoa tai kohinan määrää äänessä en ole ennen mitannut tai edes tiennyt, miten se tapahtuu, joten siinäkin opin uutta. Nykyään ymmärrän luultavasti hiukan enemmän kuin ennen, mitä eri audioelektroniikan termit tarkoittavat.

Huomasin testausvaiheessa muutaman ongelmatilanteen laitteen käytössä. Mikäli prosessorilevyn reset-nappulaa pitää pitkään pohjassa, sisääntulon valitsin saattaa alkaa käyttäytyä arvaamattomalla tavalla, kuten avaamalla useamman kanavan kerrallaan. Osaa ei ole suunniteltu miksauskäyttöön, joten syöttäviä laitteita ei ole suojattu riittävästi, mikäli audiosignaali lähtee takaisinpäin.

6 TIIVISTELMÄ

Opinnätetykseni tein stereovahvistimen, jossa mikroprosessorilla ohjataan lisäominaisuuksia, joita kaupallisissakin vahvistimissa on. Alunperin suunnittelin työhön kuuluvaksi kytkinpaneelin, jolla laitetta ohjataan, LCD-näytön, joka näyttää sisääntulokanavan ja äänenvoimakkuuden, sisääntulon valitsimen, digitaalisen äänenvoimakkuuden säädön sekä kauko-ohjauksen.

Vahvistimen kytkentäkaavion, sekä sen virtalähteen kaavion löysin internetistä, redcircuits.com osoitteesta, jossa kytkentä on ollut esillä vuodesta 1999 lähtien. Ensimmäiset mallit on rakennettu jo vuonna 1992. Vahvistin on nimellisesti 25 watin MOSFET-vahvistin, eli päätetransistorit ovat MOSFETejä. Sivustolla kuitenkin mainitaan, että 25 W huomattavan aliampuva arvo, ja myöhemmät mittaukset ovat osoittaneet, että ulostulo teho on jopa yli 45 wattia.

Virtalähde vahvistimelle on toteutettu rengasmuuntajalla ja tasasuuntauksella. Muuntajan toisiopuolella on kaksi 25 voltin ulostuloa, ja vahvistin kestää 2,4 ampeeria virtaa molemmissa linjoissa. Virtalähde antaa ulos ± 33 voltia jännitettä piirikaavion mukaan, mutta mittaukset osoittavat, että virtalähden on hieman ylimitoitettu, sillä se antaa mittausten mukaan ± 38 voltia ilman kuormaa, ja ± 37 voltia, kun vahvistin ja prosessoriohjaus on kytketty kiinni ja vahvistin käytössä.

Prossessorin vaatima +5 voltia saadaan regulaattorilla. Regulaattori kestää speksien mukaan +35 V sisääntulossa, joten laitoin 12 V zener-diodin ennen regulaattoria, jolloin sille tulee vain noin +25 V jännitettä. Regulaattorissa on kiinni myös tuuletin, jolla jäähdytetään päätteiden jäähdytysripoja. Lisäosille jännitteensyöttö tapahtuu lattakaapelin avulla, jossa kulkee myös prosessorin ohjaussignaali.

Kokonaisuutena työ toteutui hyvin. Ainoastaan kauko-ohjaus ja äänenvoimakkuuden säätö jäivät toteutumatta. Kauko-ohjaus kariutui flowcode-ohjelmointikoodiin, joka ei osaa käyttää riittävän pieniä viiveitä, ja äänenvoimakkuuden säätö oletettavasti usean pienen vian summaan. Vahvistin, kytkinpaneeli, LCD-näyttö ja virtalähde toimivat loistavasti, ja sisääntulon valinta toimii myös, pienten muokkausten jälkeen. Vahvistin toimii jopa odotettua paremmin, sillä mittauksia tehdessäni huomasin, että ulostuleva signaali oli huomattavasti säröttömämpää kuin se, jota funktiogeneraattorilta syötin vahvistimeen. Kun vielä ottaa huomioon ulostulotehon (45 W 8 ohmiin, 64 W 4 ohmiin) ja THD-arvon (1 % @ 1 kHz $1V_{peak}$), epäilen, että ostettu vahvistin ei olisi ollut parempi vaihtoehto. Luulen, että sillä hinnalla, joka tähän vahvistimeen käytettiin, ei saisi yhtä hyvälaatuisia vahvistinta kaupasta, ellei osta käytettyä.

7 TIIVISTELMÄ IN ENGLISH

For diploma work I made a stereo amplifier with microprocessor-controlled additions, found also in commercial amplifiers. Originally I planned to include a control panel consisting of buttons and a LCD-display that displays current volume and input source, an input source selector, a digital volume and remote control.

I found the amplifier's and its power supply's schematics from the internet, in redcircuits.com, where it has been visible since 1999. First models of the amplifier have been built in 1992. Namely, the amplifier is a 25 W MOSFET amplifier, meaning the main transistors are MOSFETs. The page mentions, however, that 25 W is considerably lower than what the amplifier really can give. Later testing has shown that the amplifier can give over 45 watts in output.

Amplifier's PSU has been made with toroidal transformer and rectifier. Transformer's secondary side has two 25 V lines that can each give 2.4 amperes of current. PSU has ± 33 volts in output according to schematics, but my measuring shows that it can give quite a bit more. The PSU I made can give ± 38 volts without load and ± 37 volts with amplifier and MCU connected and in use. +5 volts required by MCU is obtained through the use of regulator. Regulator can, according to its datasheet, take +35 V tops and since the PSU gives a bit more, I used a 12 V zener diode in front of the regulator so that there's about +25 V of voltage taken to the regulator. There's also a fan connected to the regulator, which helps in dissipating the heat of the main MOSFETs. Voltage is served to the MCU-controlled parts through cables that are used to send the control signals from MCU to the other parts.

All in all, the apparatus came out working fine. Only remote control and digital volume were left out. Remote control was left out because of limits set by flowcode programming language that can't handle delays less than 1 millisecond. Digital volume was left out because it didn't work, most likely because of multiple small problems. The amplifier, control panel and PSU work great and input selector worked well too after few small modifications. Amplifier even managed to exceed my expectations. While I was making the measurements I noticed that the output signal was a lot cleaner than the signal I drove into the amplifier from function generator. When you also take in to account amplifier's measured output power (45 W into 8 ohms, 64 W into 4 ohms) and its THD value (1 % at 1 kHz $1V_{\text{peak}}$) I doubt that a bought amplifier would be any better option. I actually believe that with the amount of money used into this amplifier you couldn't get an amplifier this good anywhere, unless if you buy a second-hand amplifier.

8 LÄHTEET JA KIITOKSET

<http://www.redcircuits.com/page2.htm>

Vahvistimen ja virtalähteen kytkentäkaavio.

<http://www.datasheetcatalog.com>

Komponenttien datalehdet.

<http://matrixmultimedia.com/mmforums>

Kauko-ohjauksen kytkentäkaavio, esimerkkiohjelma.

<http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/ir.htm>

Tietoa infrapunaohjauksesta ja erilaisista protokollista.

Kiitokset

Ari *****lle, hyödyllisistä vinkeistä ja opastuksesta.

Keijo *****lle, Flowcode-opastuksesta ja vinkeistä kauko-ohjaukseen.

Jukka *****lle, Tomi *****lle ja Harjun elektroniikkahuolto NY:lle, hyvistä neuvoista.

Jyväskylän ammattiopistolle, loistavasta elektroniikan ja sähkötekniikan koulutuksesta sekä työn tekemiseen vaadittujen osien ja mittalaitteiden, sekä suunnitteluun käytettyjen ohjelmien tarjoamisesta.

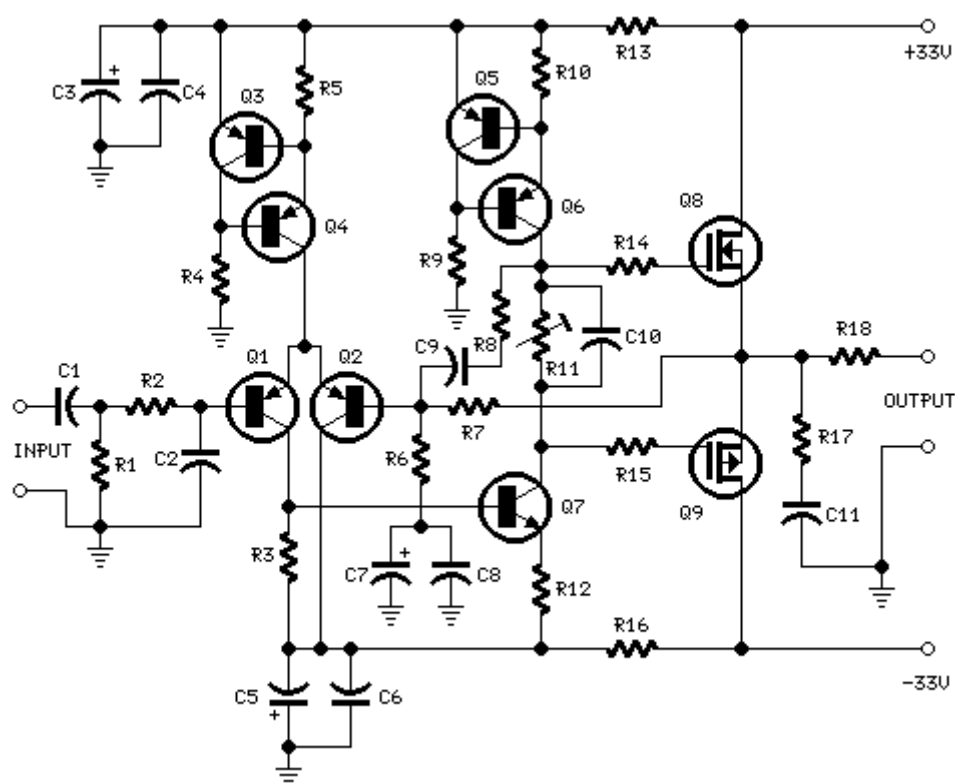
Matti *****lle, loistavan kotelon tekemisestä.

Sekä kaikille niille, jotka minua työprosessin aikana auttoivat ja tukivat.

9 LIITTEET

Liite 1: Vahvistimen ja virtalähteen kytkentäkaavio

Circuit diagram:

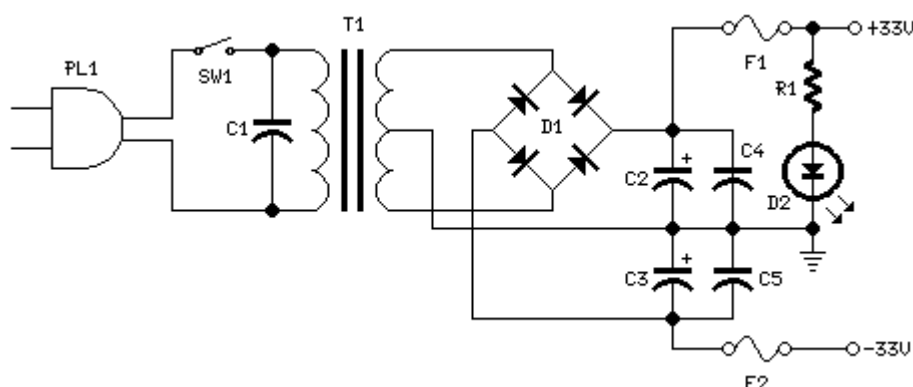


Parts:

R1, R4	47K	1/4W Resistors
R2	4K7	1/4W Resistor
R3	1K5	1/4W Resistor
R5	390R	1/4W Resistor
R6	470R	1/4W Resistor
R7	33K	1/4W Resistor
R8	150K	1/4W Resistor
R9	15K	1/4W Resistor
R10	27R	1/4W Resistor
R11	500R	1/2W Trimmer Cermet
R12, R13, R16	10R	1/4W Resistors
R14, R15	220R	1/4W Resistors
R17	8R2	2W Resistor
R18	R22	4W Resistor (wirewound)
C1	470nF	63V Polyester Capacitor
C2	330pF	63V Polystyrene Capacitor
C3, C5	470μF	63V Electrolytic Capacitors

C4, C6, C8, C11	100nF	63V Polyester Capacitors
C7	100µF	25V Electrolytic Capacitor
C9	10pF	63V Polystyrene Capacitor
C10	1µF	63V Polyester Capacitor
Q1-Q5	BC560C	45V 100mA Low noise High gain PNP Transistors
Q6	BD140	80V 1.5A PNP Transistor
Q7	BD139	80V 1.5A NPN Transistor
Q8	IRF530	100V 14A N-Channel Hexfet Transistor
Q9	IRF9530	100V 12A P-Channel Hexfet Transistor

Power supply circuit diagram:



Parts:

R1	3K3	1/2W Resistor
C1	10nF	1000V Polyester Capacitor
C2, C3	4700µF	50V Electrolytic Capacitors
C4, C5	100nF	63V Polyester Capacitors
D1	200V 8A	Diode bridge
D2	5mm.	Red LED
F1, F2	3.15A	Fuses with sockets
T1	220V Primary, 25 + 25V Secondary	120VA Mains transformer
PL1		Male Mains plug
SW1		SPST Mains switch

Notes:

- Can be directly connected to CD players, tuners and tape recorders. Simply add a 10K Log potentiometer (dual gang for stereo) and a switch to cope with the various sources you need.
- Q6 & Q7 must have a small U-shaped heatsink.
- Q8 & Q9 must be mounted on heatsink.
- Adjust R11 to set quiescent current at 100mA (best measured with an Avo-meter connected in series to Q8 Drain) with no input signal.

- A correct grounding is very important to eliminate hum and ground loops. Connect to the same point the ground sides of R1, R4, R9, C3 to C8. Connect C11 to output ground. Then connect separately the input and output grounds to power supply ground.
 - An earlier prototype of this amplifier was recently inspected and tested again after 15 years of use. Results, comments and pictures are shown here.
-

Technical data:

Output power:

well in excess of 25 Watt RMS @ 8 Ohm (1KHz sine wave)

Sensitivity:

200mV input for 25W output

Frequency response:

30Hz to 20KHz -1dB

Total harmonic distortion @ 1KHz:

0.1W 0.014% 1W 0.006% 10W 0.006% 20W 0.007% 25W 0.01%

Total harmonic distortion @10KHz:

0.1W 0.024% 1W 0.016% 10W 0.02% 20W 0.045% 25W 0.07%

Unconditionally stable on capacitive loads.