

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grau en Enginyeria de Sistemes de Telecomunicació, So i Imatge



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

***“Disseny i implementació d'un
amplificador d'àudio tipus D amb
múltiples eixides.”***

TREBALL FINAL DE GRAU

Autor:
Guillermo Macià Andreu

Tutora:
María José Canet Subiela

GANDIA, juliol de 2021

RESUM

El treball ha tingut com a objectiu desenvolupar un amplificador d'àudio classe D amb 4 eixides com a mínim, format per components que feren que el prototip tinguera un preu assequible i una qualitat de so acceptable per a usuari. En primer lloc hem estudiat les diferents classes d'amplificadors. Després férem una recerca dels diferents circuits integrats d'amplificadors classe D existents al mercat; després de seleccionar el circuit integrat el caracteritzàrem mitjançant simulacions del model. A continuació dissenyarem un circuit per a aconseguir el nombre màxim d'eixides amplificades, sense perdre qualitat i/o augmentar excessivament el preu del prototip. Per a acabar la PCB del circuit ha sigut implementada.

Paraules clau: amplificador classe D, guany, fidelitat, eficiència, circuit integrat.

ABSTRACT

The project had as a target develop a class D audio amplifier with 4 outputs at least. It has been formed by cheap components to make the prototype as cheap as possible and have a good quality for users. First, different classes of amplifiers were studied. Then, a revision about integrated class-D amplifiers available in the market was made. After selecting the integrated circuit to be used, the amplifier was characterized by simulation and a circuit was proposed to achieve as many outputs as possible, without reducing the quality nor increasing excessively the prototype price. Finally, the PCB for this circuit was implemented.

Key words: class D amplifier, gain, fidelity, efficiency, integrated circuit.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	5
1.1 Presentació i objectius	5
1.3 Metodologia i etapes	5
1.4 Problemes.....	5
1.5 Estructura de la memòria	6
2. MEMÒRIA	7
Capítol 1. Introducció teòrica	7
1.1 Què és un amplificador d'àudio?	7
1.2 Característiques dels amplificadors d'àudio.	8
1.3 Classes d'amplificadors	9
Capítol 2. Amplificadors classe D	11
2.1 Modulació PWM.....	11
2.2 Funcionament de l'amplificador classe D	13
2.3 Característiques dels amplificadors classe D	17
Capítol 3. Components	18
3.1 Recerca de components	18
3.2 Descripció dels components	19
3.3 Selecció dels components.....	19
Capítol 4. Disseny i simulació	20
4.1 Estudi del datasheet.....	20
4.2 Disseny	29
4.3 Simulació	33
Capítol 5. Implementació	42
5.1 Esquemàtic Eagle	42
5.2 Condicions de la PCB	42
5.3 Implementació PCB	43
Capítol 6. Pressupost	48
Capítol 7. Conclusions.....	49
7.1 Objectius.....	49
7.2 Treballs futurs	49

7.3 Conclusió final.....	50
3. REFERÈNCIES	50
4. IMATGES I TAULES.....	51
5.ANEX	54
Annex 1: Informació addicional de la part teòrica	54
Annex 2: Fulles característiques de l'integrat	55
Annex 3: Esquemàtic	57
Annex 4: Simulacions	58
Annex 5: Esquemàtic Eagle:	60
Annex 6: Fulles característiques de la placa d'avaluació.....	61
Annex 7: Plànols PCB.....	63
Annex 8: Pressupost.....	68

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Presentació i objectius

El treball final de grau "Disseny i implementació d'un amplificador d'àudio tipus D amb múltiples eixides", es tracta d'un estudi general sobre els amplificadors d'àudio classe D, centrant específicament la investigació en com aconseguir múltiples eixides amplificades de forma barata i qualitativa.

Per tant, el principal objectiu és desenvolupar un amplificador d'àudio amb múltiples eixides. Dins d'aquest objectiu existeixen diferents punts que també es volen assolir. Punts com ara, el preu del prototip, que ha de ser barat, dins de la comparativa del sector dels amplificadors d'àudio. Ha de ser d'una qualitat estàndard, per a un ús domèstic. I per últim ha de ser transportable, és a dir, un equip amb dimensions reduïdes.

1.3 Metodologia i etapes

Per a desenvolupar el treball s'han seguit les següents etapes:

1. Estudi elemental dels amplificadors d'àudio.
2. Estudi general dels amplificadors d'àudio classe D.
3. Estudi previ del mercat d'amplificadors i dels components que calen integrar al circuit.
4. Selecció dels components seguint una estratègia d'elecció on es tindran en compte els objectius.
5. Estudi del 'datasheet' del component seleccionat.
6. Disseny de l'esquemàtic en Capture.
7. Caracterització de l'amplificador basada en simulacions en Pspice.
8. Implementació en PCB mitjançant Eagle.

1.4 Problemes

Durant el desenvolupament del treball hem trobat una sèrie de problemes i complicacions que han afectat variant en major o menor grau la investigació. El primer problema que es va plantejar va ser trobar circuits integrats d'amplificadors classe D amb model de simulació. Existeix una varietat molt gran d'integrats, però només un percentatge molt petit d'aquests

tenen model de simulació. El següent problema al qual ens vam haver d'enfrontar va ser el software de simulació PSpice for TI, un programa amb el qual vam tenir molts errors i no vam aconseguir bons resultats a les simulacions. Per últim el problema que més ha afectat al treball ha sigut el 'thermal PAD' dels integrats, ja que per a poder implementar físicament el prototip cal una tecnologia a la qual la universitat no té accés; i per tant havíem d'encomanar a la Xina la PCB. El problema de fer una comanda a l'estranger era la gran dilatació en el temps que açò suposava, podent arribar les plaques, inclús fora del termini d'entrega del treball. Per aquest motiu es va decidir no implementar físicament el prototip.

1.5 Estructura de la memòria

L'estructura de la memòria serà la següent:

Capítol 1. Introducció teòrica: en aquest capítol s'introdueix el treball, es descriu la part teòrica dels amplificadors i es fa una breu introducció a les diferents classes d'amplificadors existents.

Capítol 2. Amplificadors classe D: aquest apartat descriu de forma detallada el funcionament dels amplificadors tipus D.

Capítol 3. Components: el tercer capítol és un estudi i selecció dels diferents components disponibles per a desenvolupar el projecte.

Capítol 4. Disseny i simulació: el quart apartat consisteix en la recopilació de dissenys i simulacions fetes fins a aconseguir el resultat desitjat.

Capítol 5 Implementació: aquest capítol descriu el procés de treball amb el qual es desenvolupa la PCB.

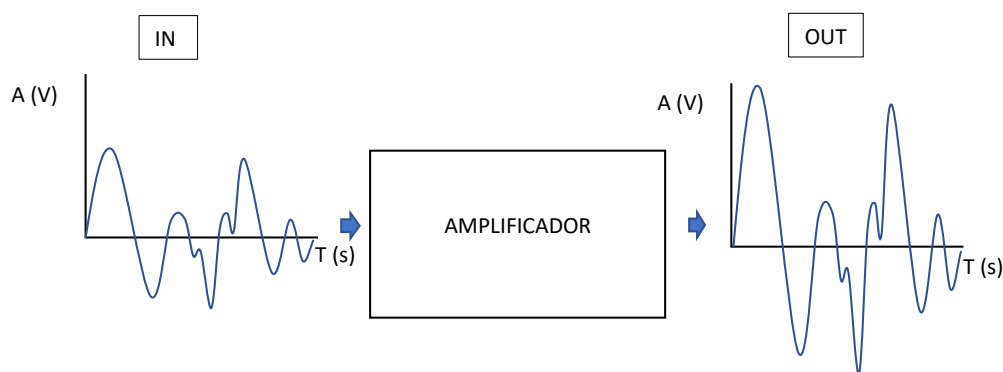
Capítol 6. Conclusions: aquest apartat és on s'exposen els resultats, es proposen possibles millores per a l'equip i es justifiquen els objectius.

2. MEMÒRIA

Capítol 1. Introducció teòrica

1.1 Què és un amplificador d'àudio?

Un amplificador d'àudio és un equip electrònic que està dissenyat per amplificar l'amplitud del senyal que rep a l'entrada, mantenint la forma característica del senyal. A continuació mostrem una imatge on es pot observar clarament la funció d'un amplificador:



Imatge 1 Esquema d'amplificació

Com es pot observar a la imatge 1, tenim un senyal amb una forma i amplitud característica a l'entrada de l'amplificador. Després de passar per l'amplificació, en out tenim un senyal amb la mateixa forma, però una amplitud major. Quan el senyal obtingut en out, manté la forma del senyal original i únicament varia l'amplitud, estem davant d'una amplificació amb fidelitat. En aquest cas el senyal ha sigut amplificat amb una fidelitat ideal.

Normalment l'àudio s'enregistra amb micròfons que poden interpretar les variacions de pressió acústica i transformar-les en variacions de voltatge d'un senyal electromagnètic. La característica d'aquest senyal és que és molt petit. Quan parlem de senyal de micròfon parlem d'un rang dins dels microvolts. Per una altra banda el nivell de línia també es tracta d'un valor baix (0,7 V). Si connectàrem directament nivell de línia o de micròfon a un altaveu el senyal no tindria la potència suficient per a estimular la membrana de l'altaveu i no escoltaríem res. Per tant els amplificadors en el món de l'àudio són indispensables, ja que sense amplificació no es podria reproduir àudio en altaveus. (1)

Una vegada explicades de forma general les funcions i motivacions de l'amplificació passarem a descriure les principals característiques que es tenen en compte quan es descriu un amplificador d'àudio.

1.2 Característiques dels amplificadors d'àudio.

Cal destacar que no existeix un estàndard definitiu on trobar totes les característiques dels amplificadors, tot i així definirem les més importants i a tenir en compte.

Potència: entendrem potència com a l'energia elèctrica que ha d'entregar un amplificador per a produir un determinat nivell de pressió acústica mitjançant un altaveu. El nivell acústic que pot produir un altaveu depèn directament de com siga aquest, ja siga pels materials de fabricació, el disseny o el deteriorament entre altres. D'aquesta manera 2 altaveus diferents poden produir nivells diferents de pressió acústica amb una mateixa potència d'amplificació. Així i tot existeixen estàndards per relacionar la potència d'entrada en Wats i els nivells de pressió acústica en dB. A més d'aquesta relació, existeix un tercer factor que condiciona encara més aquesta característica, el comportament no lineal de l'oïda humana, per a les freqüències dins del nostre rang auditiu (20 Hz – 20K Hz). Açò significa que una mateixa potència entregada a diferents freqüències, provocaran una sensació de sonoritat diferent a una mateixa persona. Pel que 20 W a 100 Hz no s'escoltaran igual que 20 W a 3K Hz. Malgrat totes aquestes condicions, es poden trobar taules amb comparacions sota condicions ideals i/o controlades amb les que no és difícil fer-se una idea del que equival acústicament una entrega de potència determinada. (1) Es pot consultar la *Taula A.1. 1 Comparació SPL (dB) / Potència d'amplificació (w) (1)* per comparar les diferents potències entregades amb les diferents sensacions sonores obtingudes per a un altaveu estàndard que genera 90dB/W a 1 m de distància.

Eficiència: aquesta característica està molt relacionada amb la potència, ja que consisteix bàsicament a conèixer quanta energia subministrada s'aprofita realment. És a dir, de la potència consumida per l'amplificador, quanta es transforma en pressió sonora. Si l'eficiència és baixa, la major part de l'energia queda en calor, quedant desaprovechada. Per una altra banda, si l'amplificador té una bona eficiència, la major part d'aquesta energia es transforma en ones acústiques. L'eficiència no té unitats i se sol representar en %.

Guany: El guany és una mesura adimensional igual que l'eficiència i en aquest cas serveix per a conèixer quant ha augmentat el senyal amplificat comparat amb el senyal d'entrada. Se sol representar en dB, ja que dins d'una escala logarítmica s'ajusta més fàcilment a la percepció humana del so.

Resposta en freqüència: són les condicions d'amplificació d'un equip segons la freqüència. Normalment es representa en una gràfica on queden les freqüències en l'eix horitzontal i el guany a l'eix vertical. La millor resposta en freqüència és la plana, malgrat ser ideal, com més s'aproxime un amplificador a aquesta, estarem davant d'un equip amb major qualitat. Ja que si la resposta en freqüència té bandes molt desigualades entre elles, pot provocar distorsions (clips) o que queden amagades freqüències, traduïnt-se en una baixa fidelitat.

Amplada de banda: es tracta de totes les freqüències que pot amplificar l'equip. Normalment es conta fins a la freqüència on el senyal queda 3 dB més baixos respecte al guany més alt.

PSRR: es tracta d'un factor que descriu la quantitat de soroll, provinent d'una font d'alimentació, que pot rebutjar l'amplificador. (1)

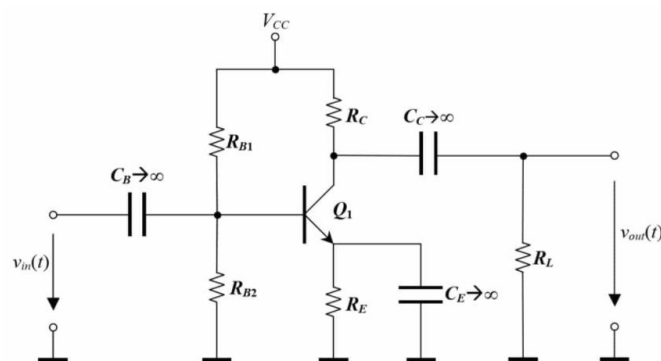
1.3 Classes d'amplificadors

En primer lloc cal fer un incís per a parlar dels dos grans grups dins del món dels amplificadors, on podem trobar els amplificadors a vàlvules i els amplificadors per transistors. El primer grup forma part del passat, ja que les vàlvules són components fràgils, cars i d'un gran volum i per això actualment la majoria dels amplificadors funcionen amb transistors que són més barats, resistents i petits. És aquesta gran secció la que estudiarem més a fons. (2)

Principalment existeixen 3 famílies diferents d'amplificadors per transistors. Existeix la classe A, la classe B i la classe D. Hi ha excepcions i models híbrids, però nosaltres ens centrarem en aquestes 3 grans subgrups. Començarem descrivint la família dels lineals (classe A i classe B) i acabarem fent una breu introducció als digitals (classe D).

Classe A: Es tracta de la classe més simple d'amplificació. El funcionament està basat a emprar un transistor BJT i aconseguir que el voltatge entre el col·lector i l'emissor siga igual a la meitat del voltatge proporcionat per la font d'alimentació, així aconseguim que el transistor quede polaritzat. Quan un transistor està sota aquestes condicions es diu que està en equilibri, que està en el punt Q. Un cop el transistor està en Q, simplement haurem de passar el senyal d'àudio per la base del transistor. D'aquesta manera les alteracions produïdes pel so sobre la contínua, al nucli de la base del transistor, provocaran les mateixes alteracions entre connector emissor, però amplifcades a VCC, on connectarem el nostre altaveu. (3)

En la imatge següent podem observar una configuració típica d'aquesta classe d'amplificadors:



Imatge 2 Esquema amplificador classe A (3)

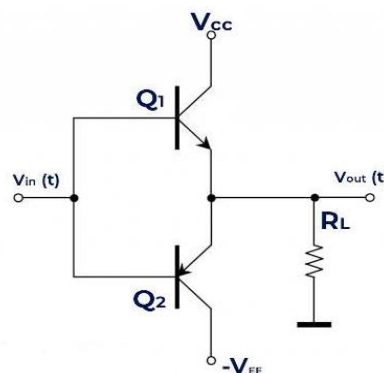
Els amplificadors classe A tenen un avantatge molt característic, l'alta fidelitat. És a dir els senyals d'entrada i eixida son molt semblants, l'eixida no pateix distorsions. Per aquest motiu parlem dels amplificadors d'alta qualitat, fins i tot per a ús professional.

Per una altra banda els classe A també tenen una sèrie de desavantatges, el principal és l'escalfament de l'equip, el transistor ha de suportar grans intensitats pel que és normal que arribi a temperatures molt elevades. Aquest escalfament sumat del fet que el transistor sempre està en conducció provoca que l'eficiència d'aquests equips siga inferior al 30%. A més, necessita dissipadors grans, pel que fa que els equips siguen grans i pesats.

Finalment, a l'estar sotmesos a un escalfament constant, aquests amplificadors necessiten components resistents i de bona qualitat i per això solen ser equips cars. (4) (3)

Classe B: la classe B consisteix a dividir el treball d'amplificació del tipus A en dos transistors. Funcionen com a complementaris, de manera que la part positiva del senyal d'àudio l'amplificarà un dels dos transistors i la part negativa l'amplificarà l'altre.

A continuació mostrem una imatge on es pot veure la configuració típica de l'amplificador classe B:



Imatge 3 Esquema amplificador classe B (3)

Els amplificadors classe B són més eficients que els classe A, però així i tot generen molta calor igualment. Per una altra banda, no tenen tanta fidelitat com els classe A, ja que fins no superar la tensió de tall, els transistors no condueixen i per tant el senyal amplificat perd fidelitat en les zones de transició de voltatge positiu a negatiu o negatiu a positiu. Per aquest motiu els classe B són rebutjats per a àudio professional. (5) (3)

Per últim sobre aquesta classe, cal destacar la millora immediata, sorgint així la classe AB. Aquesta classe consisteix a treballar sobre la mateixa topologia, però mantenint els dos transistors en conducció perquè amb la mínima excitació amplifiquen. D'aquesta manera les zones de transició on es perdia el senyal desapareixen. Aquesta modificació empitjora l'eficiència, ja que han d'estar constantment en consum els dos transistors, però millora la

fidelitat fins a nivells semblants del tipus A i com a contrapart, el consum constant no és tan elevat com els classe A, millorant així l'eficiència. (6)

Classe D: Els amplificadors d'aquesta classe són els més eficients que podem trobar, també són els més barats i en comparació amb les altres classes no generen tant de calor, a més són petits i fàcils de transportar. L'inconvenient és la fidelitat, que no arriba a ser la dels classe AB o dels classe A, així i tot tenen millor fidelitat que els classe B. Un altre problema que poden donar aquests amplificadors és el soroll, però aquest i altres detalls els desenvoluparem amb més profunditat en el següent capítol.

Com a conclusió del capítol, dir que un cop coneguts els objectius del treball i les diferents classes d'amplificadors, la classe d'amplificador que més s'ajusta als nostres objectius és la classe D, ja que és la classe més barata, són petits i eficients. Per una altra banda, no tindrà la mateixa qualitat que un classe A, però tindrà una qualitat acceptable per a ús domèstic.

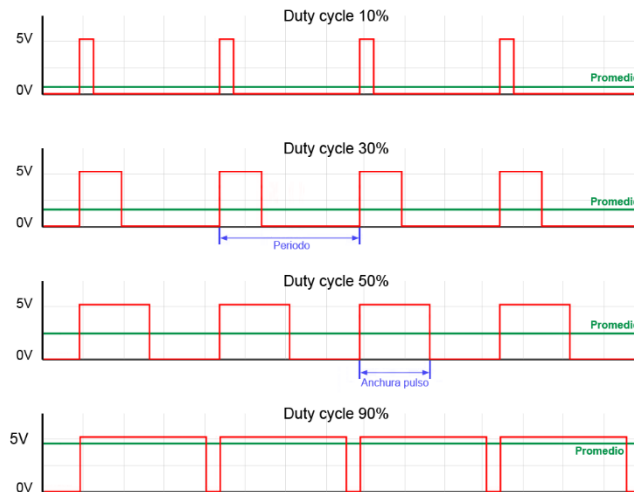
Capítol 2. Amplificadors classe D

2.1 Modulació PWM

Per poder comprendre el funcionament d'un amplificador classe D, en primer lloc cal entendre la modulació per amplada de pols (PWM). Aquesta modulació és la base per a la tecnologia dels amplificadors classe D.

La modulació PWM consisteix a variar el cicle de treball d'una ona quadrada sense modificar la seua freqüència. És a dir, variariem l'amplada de pols d'un senyal quadrat, però mantindrem intacte el seu període, de manera que després de transcórrer el temps T del període inicial, el senyal tornarà a començar al mateix punt d'origen que al període anterior. (7)

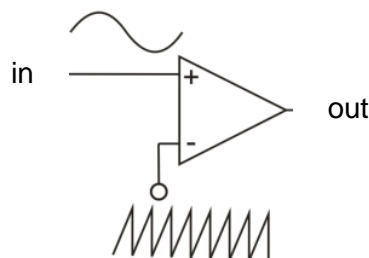
A continuació mostrem una imatge on es pot observar aquesta variació de pols sense modificar la freqüència. Com es pot observar s'incrementa el cicle de treball del senyal, però en els instants múltiples de T (T , $2T$, $3T$, $4T$, nT), el senyal està en 5V:



Imatge 4 Modulacions PWM (www.luisllamas.es)

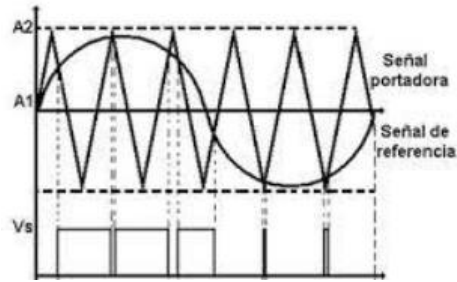
Un cop entenem en què consisteix la modulació PWM, passarem a explicar com es modula un senyal d'àudio analògic en PWM.

En primer lloc descriurem el sistema per a obtenir un senyal modulad en PWM. Es tracta d'un comparador entre el nostre senyal d'àudio analògic i un senyal triangular o de dent de serra, amb una freqüència de portadora determinada. A continuació mostrem un esquema del modulador: (8)



Imatge 5 Modulador PWM (es.wikipedia.org)

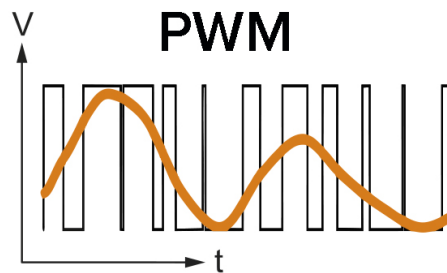
Un cop fem passar els dos senyals pel comparador obtindrem el senyal modulad en PWM. El procés serà el següent, quan tinguem senyal d'àudio per damunt del senyal triangular, a l'eixida del comparador obtindrem un pols positiu amb una durada igual al temps que el senyal d'àudio es mantinga per damunt del senyal triangular. Per al cas en què el senyal d'àudio estiga per sota del senyal triangular, a l'eixida obtindrem un pols negatiu que durarà tot el temps que el senyal d'àudio es mantinga per davall del triangular. A la següent imatge mostrem un exemple de la comparació i el resultat obtingut:



Imatge 6 Comparació triangular/àudio (www.programmersought.com)

A l'estar davant d'una codificació binària, hem d'assumir que existirà error de quantificació, ja que no anem a tenir una conversió ideal i per tant existiran un mínim de pèrdues. Aquestes pèrdues es podran reduir dins del possible, augmentant la freqüència de portadora del senyal triangular, però s'ha de tenir en compte que augmentar excessivament aquesta freqüència provocarà encari el sistema. Normalment els moduladors per a àudio treballen a 100K Hz, una freqüència que no encareix l'equip i que proporciona un senyal modulat amb errors imperceptibles per l'oïda humana.

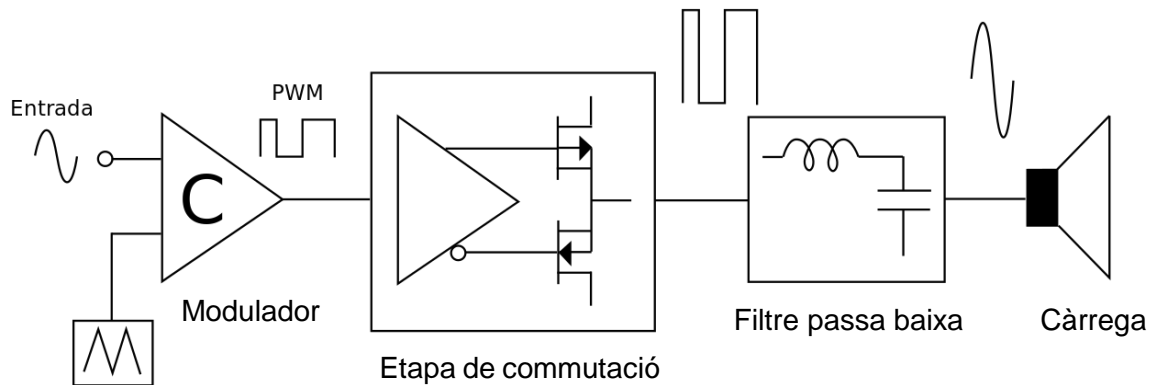
A continuació mostrem una imatge-resum de la modulació PWM per a àudio analògic: (7)



Imatge 7 Modulació PWM (www.thomsonlinear.com)

2.2 Funcionament de l'amplificador classe D

L'amplificador classe D podem dividir-lo en tres parts diferents. El modulador, l'etapa de commutació i el filtre passa baixa. A continuació mostrem un esquema on es pot observar cadascun d'aquests blocs:

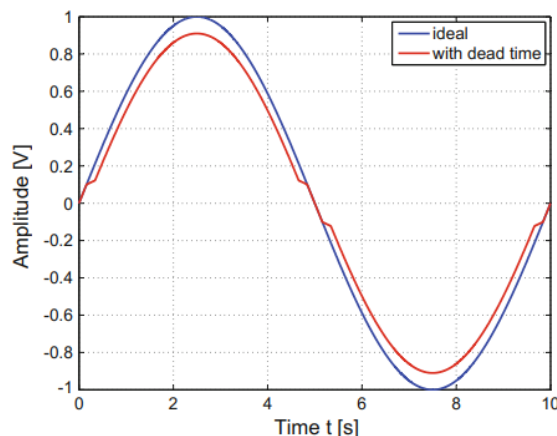


Imatge 8 Blocs amplificador classe D (es.wikipedia.org)

Modulador: Correspon al bloc que s'encarrega d'obtenir a l'eixida el senyal d'àudio modulat en PWM. El funcionament d'aquest bloc ha sigut descrit amb més profunditat en el punt anterior, 2.1 Modulació PWM.

Etapa de commutació: aquest bloc és on s'amplifica pròpiament el senyal. Mitjançant dos transistors tipus MOSFET; cal destacar que han de ser complementaris, un ha de ser de tipus N i l'altre de tipus P. Una vegada tenim el senyal modulat en PWM a l'entrada, que tindrà un valor d'amplitud determinat pel modulador, el passarem per l'amplificació que incrementarà l'amplitud dels polsos fins a valors molt propers a la tensió d'alimentació. Obtenint així un senyal altern, quadrat, modulat en PWM i amplificat.

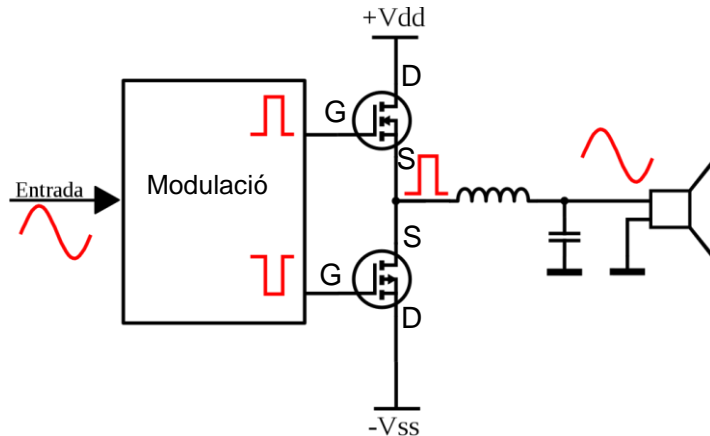
Els dos MOSFET treballaran en tall, o conducció, però amb l'imperatiu de què mai estaran els dos en conducció alhora, ja que així es produiria un curt circuit. Al treballar en commutació, existiran intervals de temps en els que els dos transistors estaran al tall. Aquest temps convé que siga el més curt possible per evitar distorsió i aconseguir la millor fidelitat, però sempre anem a trobar un interval on els dos transistors estaran en tall. (8), (9). Seguidament mostrem un exemple on es pot veure com afectarà al senyal resultant aquest interval de temps on els transistors es troben al tall: (9)



Imatge 9 Comparativa real/desitjada

Com es pot observar l'ona resultant (roja) quedarà afectada per petits esglaonaments prop del pas per 0 V. Com ja hem dit, aquest efecte convé que siga mínim perquè la distorsió després d'amplificar no puga ser perceptible.

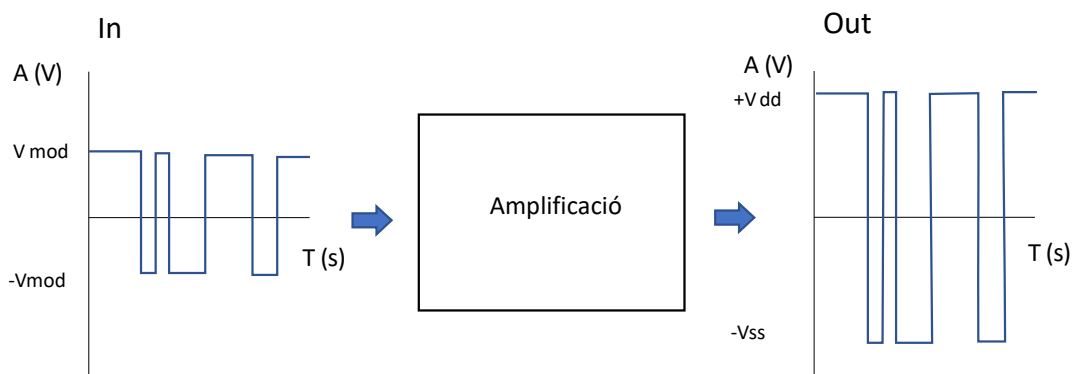
A continuació mostrem una imatge amb un esquema de l'etapa de commutació típica per a amplificadors classe D:



Imatge 10 Etapa de commutació

Com es pot observar en la imatge el senyal modulad en PWM arribarà a l'etapa de commutació, on depenent de si estem davant d'un pols alt o un pols baix, activarà el transistor corresponent. Si estem davant d'un pols alt, tindrem alta tensió entre G i S, i per això el transistor tindrà mínima resistència entre D i S, per tant tindrem +Vdd a l'entrada del filtre. En el segon cas, davant d'un pols negatiu tindrem tensió negativa entre G i D, amb el que el transistor tindrà mínima resistència entre S i D, obtenint així -Vss a l'entrada del filtre.

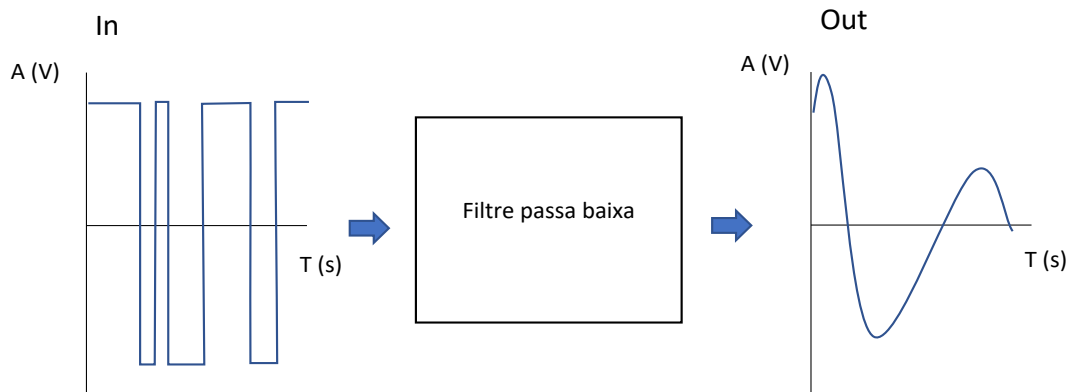
Un exemple del senyal obtingut després de l'amplificació podria ser el següent:



Imatge 11 Amplificació en etapa de commutació

Filtre passa baixa: el filtre passa baixa és la part encarregada de desmodular el senyal PWM en àudio analògic. El principi de desmodulació és mot senzill, bàsicament consisteix a filtrar les components d'altres freqüències i deixar el rang de freqüències audibles per l'ésser humà de 20 Hz fins 20K Hz. Així doncs afegint un filtre bàsic LC, que atenua a partir dels 20K Hz, eliminarem les components freqüencials de l'ona triangular i obtindrem un senyal molt

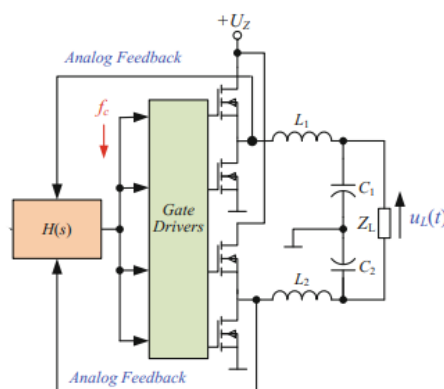
semblant a l'original però amplificat. A continuació mostrem una imatge per resumir aquest fenomen:



Imatge 12 Filtre LC

Una vegada el senyal ha sigut filtrat es pot enviar a l'altaveu per ser reproduït.

Realimentació negativa: aquesta última part, no és indispensable, un amplificador classe D pot funcionar sense problema, sense aquest quart mòdul. El seu funcionament serveix per a donar-li robustesa al senyal, per evitar sorolls i millorar les prestacions de l'amplificador. La realimentació es pot dur a terme de dues formes, comparar amb el senyal previ al filtre LC o comparar amb el senyal posterior al filtre LC. Per al primer cas es comparen els dos senyals en PWM i en el segon simplement es comparen el senyal d'àudio amplificat amb el senyal d'àudio sense amplificar. (9) Un detall a tenir en compte quan s'afegeix realimentació negativa a aquests circuits, és el mode d'oscil·lació de l'amplificador. Si la realimentació no està perfectament ajustada, l'amplificador entrarà en mode d'oscil·lació emetent soroll sense rebre cap senyal a l'entrada. A continuació mostrem un esquemàtic d'un amplificador classe D, més complex, on sí que s'empra la realimentació negativa: (9)



Imatge 13 Realimentació negativa (3)

En aquest cas la realimentació negativa es fa amb el senyal modulad, per tant es farà la comparació entre el senyal a l'eixida del modulador i el senyal a l'eixida de l'amplificació, previ al filtre LC.

2.3 Característiques dels amplificadors classe D

Per a finalitzar aquest capítol i a manera de conclusió, farem una anàlisi dels amplificadors classe D des d'un punt de vista marcat pels objectius del treball.

Els amplificadors classe D no generen tant de calor com els classe A, B o AB, per tant l'eficiència és molt superior a la resta de classes, parlem de l'existència d'amplificadors classe D amb 90% d'eficiència enfront del 30% dels classe A o 60% dels classe AB. Que l'amplificador siga més eficient provoca que els materials no estiguen exposats a condicions tèrmiques tan extremes. Sumat a açò i en concordança amb l'alta eficiència, els amplificadors no necessiten dissipadors grans, ja que no es calfen. L'efecte d'açò és reduir el volum i el preu de l'equip. Per tant podem dir que escollir un amplificador classe D és la millor opció si volem un equip petit o transportable.

Davant de treballar amb PWM per a l'amplificació tenim l'avantatge de què els transistors estan en OFF durant períodes de temps amplis, açò provoca que el consum siga més reduït en aquesta classe d'amplificadors. Aquesta característica no ens ajuda a assolir cap objectiu, però no deixa de ser un avantatge el consum reduït d'energia.

La fidelitat dels amplificadors classe D no és tan bona com la dels classe A, o els AB, però és acceptable. Ja hem comentat que el senyal d'entrada va a sofrir alteracions inevitables i que malgrat emprar els millors materials i augmentar al màxim la freqüència de portadora, continuaran existint una sèrie de pèrdues que per a l'àudio professional són insalvables, però per a àudio d'usuari són acceptables. Així que podem afirmar que aquest objectiu podrà quedar assolit també, elegint classe D.

El preu de l'amplificador, és barat gràcies a totes les característiques anteriors. Estem davant d'amplificadors que no requereixen materials excessivament qualitius, ja que no es vol arribar a l'excel·lència auditiva. També les condicions tèrmiques a les quals se sotmet l'equip, són més assequibles i per tant els materials no cal que siguen robustos, abaratint el preu. Davant de totes les classes d'amplificadors, aquesta classe és la més barata. Per tant l'objectiu econòmic quedarà també assolit.

Per últim, fer o no escalable a més d'una eixida l'amplificador, és una característica neutra, ja que depén més del disseny que de la classe.

Capítol 3. Components

3.1 Recerca de components

En aquest tercer capítol, desenvoluparem el treball necessari per a trobar els components que millor s'adapten a les condicions i objectius del projecte. El primer pas serà decidir si volem desenvolupar un circuit des de 0 o emprar circuits integrats ja existents. Donats els objectius que es volen aconseguir, decidim treballar amb circuits integrats, ja que pensem que per a tenir diverses eixides amplificades serà més fàcil treballar amb aquests components.

Seguidament emparem els webs de les tendes d'electrònica amb les que la universitat treballa, per fer la nostra recerca. Les webs visitades durant aquest procés foren les següents:

- RS (es.rs-online.com)
- Farnell (es.farnell.com)
- Mouser (Distribuidor de Componentes Electrónicos - Mouser Electronics España)

Els criteris per a descartar o seleccionar en una primera recerca es basaven principalment en si el circuit integrat tenia un model de simulació per a algun software o no. A continuació mostrem una taula amb els integrats que van superar aquesta primera selecció:

Taula 1 Primera selecció

Nom	PSPICE	Link
TPA2005D1DGN	SÍ	https://es.farnell.com/texas-instruments/tpa2005d1dgn/amp-audio-pwr-1-45w-d-8msop/dp/3116925?st=calse%20d%20amplificador
TDA7498ETR	SÍ	https://es.farnell.com/stmicroelectronics/tda7498etr/amp-potencia-audio-d-0-a-70-c/dp/3129738?st=calse%20d%20amplificador
TPA3125D2N	Similar: TPA3111D1	https://es.farnell.com/texas-instruments/tpa3125d2n/ic-amp-audio-pwr-10w-d-ster-20dip/dp/3004579?st=calse%20d%20amplificador
TPA3130D2DAP	SÍ	https://es.farnell.com/texas-instruments/tpa3130d2dap/amp-class-d-26vin-2x15w-32htssop/dp/3004580?st=calse%20d%20amplificador
TPA3126D2DAD	SÍ (.rar)	https://es.farnell.com/texas-instruments/tpa3126dad/amplificador-potencia-audio-d/dp/2885452?st=calse%20d%20amplificador
TPA3111D1PWP	sí	https://es.farnell.com/texas-instruments/tpa3111d1pwp/amplifier-audio-class-d-10w-htssop28/dp/3004574?st=calse%20d%20amplificador

3.2 Descripció dels components

Un cop tenim feta una primera selecció passarem a estudiar mínimament els datasheets dels integrats per veure quin s'ajusta millor als nostres objectius.

La informació en la qual ens fixarem va ser la següent:

Supply voltage: El voltatge d'alimentació que l'integrat precisa per a amplificar.

High-level input voltatge: El màxim valor de voltatge que l'amplificador pot rebre a l'entrada.

Output power: La potència d'amplificació que pot aportar l'integrat.

Canals: El nombre d'eixides que se li poden connectar al circuit.

Preu: el preu per unitat de cada amplificador.

A continuació mostrem una taula amb les característiques anteriors per a cada component:

Taula 2 Característiques dels integrats seleccionats

Nom	Supply voltage (V)	High-level input voltage (V)	Output power (W)	Canals	Preu (€)
TPA2005D1DGN	2,5/5,5	2	1,18	1	1,47
TDA7498ETR	14/39	4	220	1	7,31
TPA3125D2N	10/26	2	10	1	3,77
TPA3130D2DAP	4,5/26	2	15	2	2,54
TPA3126D2DAD	4,5/26	2	50	2	2,54
TPA3111D1PWP	8/26	2	10	1	1,99

3.3 Selecció dels components

Aquest tercer apartat serà on decidirem quin dels integrats de la taula 3 serà amb el que treballarem a partir d'aquest punt. Analitzant la taula anterior, podem fer els dos primers descarts, TDA7498ETR i TPA2005D1DGN. El TPA2005D1DGN el deixarem fora perquè la potència que pot proporcionar és molt petita (1,18 W). Aquest amplificador està pensat per a amplificar el senyal d'auriculars. El TDA7498ETR quedarà fora per l'excessiva potència que pot subministrar (220W). A més és l'amplificador més car, sent 2 o inclús 3 voltes més car que la resta, tenint en compte que caldran com a mínim 4 perquè només disposa d'una eixida el preu comença a quedar fora del nostre objectiu. Per tant ens quedarem amb els darrers 4 integrats.

Per a seleccionar entre els 4 restats en primer lloc eliminarem per conveniència aquells que només tenen 1 canal d'eixida. D'aquesta manera podem abaratir els costos de l'amplificador. Eliminem per tant el TPA3125D2N, i el TPA3111D1PWP.

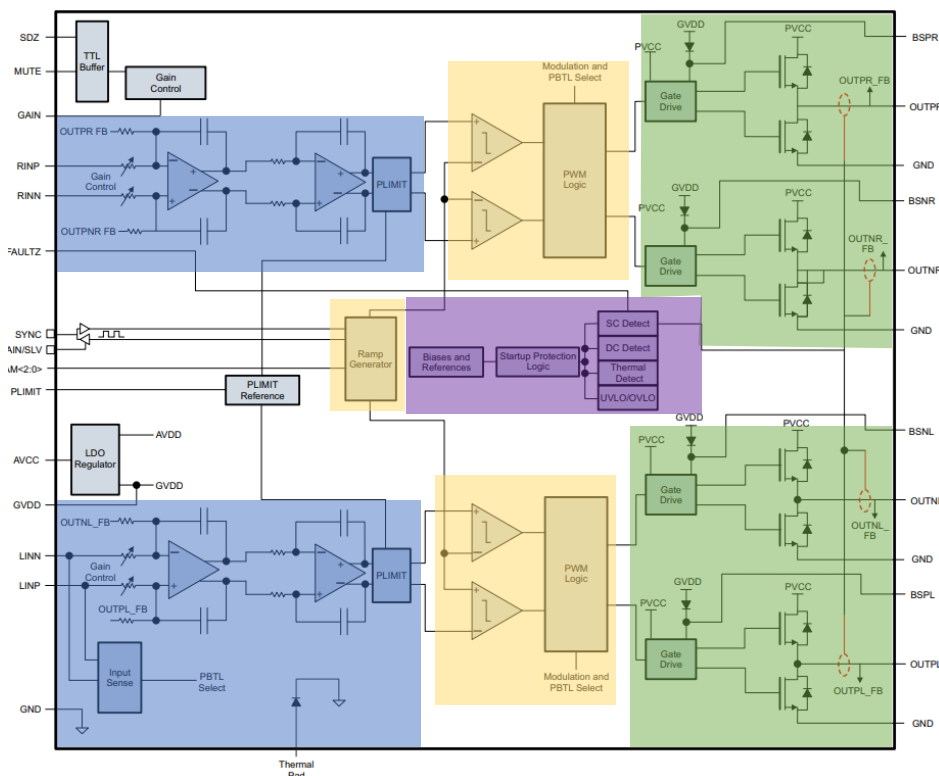
Entre els dos que queden seleccionarem el de menor potència (TPA3130D2DAP), ja que fent un petit estudi de cadascun, l'amplificador amb major potència (TPA3126D2DAD) és més complex d'implementar.

Capítol 4. Disseny i simulació

4.1 Estudi del datasheet

Com ja hem comentat en el capítol anterior a partir d'ara sempre que parlem del circuit integrat estarem referint-nos al TPA3130D2DAP.

El primer pas per a desenvolupar el disseny és fer un primer estudi del datasheet. A continuació mostrarem el diagrama de blocs del nostre circuit integrat i relacionarem cada mòdul amb els ja explicats en el capítol 2:



Imatge 14 Diagrama de blocs TPA3130D2DAP (10)

Com es pot observar a la imatge anterior tenim dues línies duplicades amb els mateixos blocs, es tracta dels dos canals, R (línia de dalt) i canal L (línia de baix). També tenim un bloc central que no està duplicat, que seguidament explicarem.

Seguint la progressió que tindria el senyal començarem pel mòdul de preamplificació, en blau. Aquest mòdul serveix per a donar-li uns valors mínims al senyal d'entrada per a poder treballar amb la màxima eficiència possible al següent bloc, el modulador PWM. Al bloc groc trobem el modulador PWM, que ja hem estudiat anteriorment. A continuació, en verd, tenim el bloc de commutació o mòdul d'amplificació, que també ha sigut explicat al capítol 2. Seguidament d'aquest mòdul aniria el filtre LC que estudiarem més a fons en la fase de disseny. Per últim explicarem el bloc morat, al centre, comú per als dos canals. Aquest és el bloc de protecció de l'integrat i el seu treball consisteix a detectar i avisar dels possibles errors o problemes que es puguin donar, com ara curts circuits, corrent continu o temperatures elevades.

Un cop hem entés el funcionament general de l'integrat passarem a exposar les recomanacions i directrius que ens dona el fabricant a l'hora de treballar amb el TPA3130D2DAP. Però abans aclarirem una sèrie de detalls, en primer lloc cal dir que existeixen dues configuracions diferents, configuració stereo, per a eixides L i R; i configuració mono, amb una única eixida habilitada. També hem de tenir en compte que existeixen dos rols de funcionament diferents, master i slave. Master serà per a l'integrat encarregat de generar el senyal de sincronisme i slave per a aquells circuits que el rebran. Nosaltres exposarem per a cada configuració i mode de funcionament, com recomana el fabricant que es connecte:

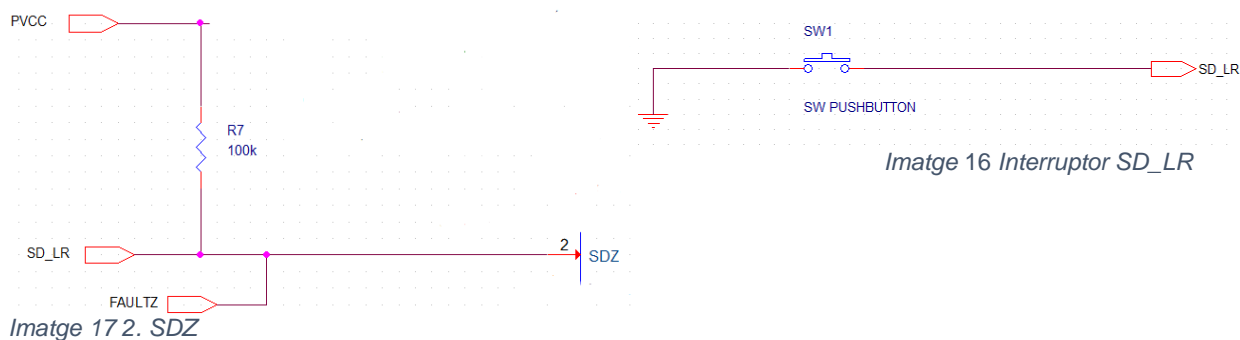
1.MODSEL: Segons les especificacions tenim dues opcions, nivell baix o nivell alt. Nivell baix (BD modulation) es tracta d'una modulació que ens permet operar sense filtre de reconstrucció LC. Per una altra banda un dels avantatges més característic dels amplificadors tipus D, l'eficiència, pot augmentar-se activant aquest pin a nivell alt (1SPW modulation). L'inconvenient és que caldrà afegir un filtre per a l'eixida del senyal i a més existirà una penalització en la distorsió harmònica. Per tant es decideix elegir el mode a nivell baix tot i que afegirem un filtre LC a l'eixida mantenint l'estructura estàndard dels amplificadors classe D. Caldrà connectar a terra el pin 1:



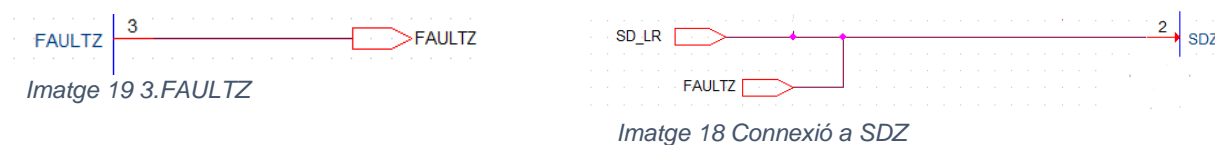
Imatge 15 1.MODSEL

2.SDZ: El pin 2 funciona com a controlador de l'estat de l'amplificador. Funcionant de forma que si es troba a nivell baix, l'amplificador passa a mode d'estalvi d'energia deixant inactives (MUTE) les eixides. El nivell alt provoca que l'amplificador estiga en estat de treball, fent el

consum d'energia normal. Ha de mantenir-se a nivell alt durant el temps que es vullga amplificar. El pin no pot estar a l'aire, en aquest cas és imprevisible el resultat. El fabricant recomana activar el mode estalvi abans de desconnectar l'amplificador de l'alimentació. Per tant caldrà connectar aquest pin a una entrada amb un valor variable (Alt: 2 V Baix: 0,8 V). La millor solució amb la qual podem fer aquest tipus d'entrada és connectar a PVCC mitjançant una resistència amb alta impedància per a tenir el valor alt i afegir un interruptor que tanque una connexió a terra per als nivells baixos. A més d'aquestes dues connexions existirà una tercera que explicarem en el següent punt, **3.FAULTZ**. Per tant el pin 2 quedarà de la següent manera:



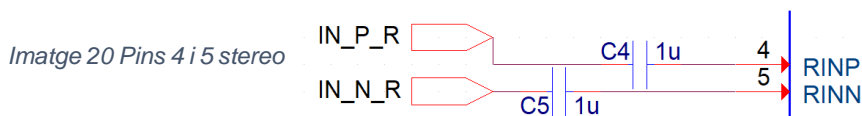
3.FAULTZ: El pin d'eixida FAULTZ forma part del sistema de seguretat de l'amplificador. Aquest pin intervé en la detecció i protecció davant del corrent continu (CC), protecció davant de curts circuits i protecció tèrmica. El fabricant ens recomana connectar l'eixida FAULTZ a l'entrada SDZ per a tenir un control i protecció automàtica davant el CC, els curts circuits i l'escalfament del dispositiu. FAULTZ enviarà un senyal baix (0,8 V) en el moment en què el dispositiu detecte alguna de les anteriors problemàtiques provocant així que l'amplificador entre en estat d'estalvi com hem descrit en l'apartat anterior 2.SDZ. Per tant al nostre cas i com recomana el fabricant connectarem el pin 3 al pin 2:



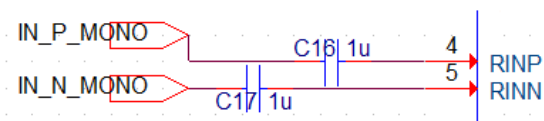
4.RINP: Correspon a l'entrada de l'àudio analògic. Per al cas stereo, connectarem a aquest pin el positiu del canal dret. Per al cas mono, connectarem al pin, el positiu del canal mono. El fabricant recomana afegir un condensador de 1n F a l'entrada del pin.

5.RINN: Correspon a l'entrada de l'àudio analògic. Per al cas stereo, connectarem a aquest pin el negatiu del canal dret. Per al cas mono, connectarem al pin, el negatiu del canal mono. El fabricant recomana afegir un condensador de 1n F a l'entrada del pin.

Stereo:

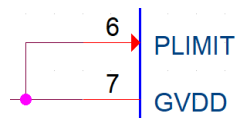


Mono:



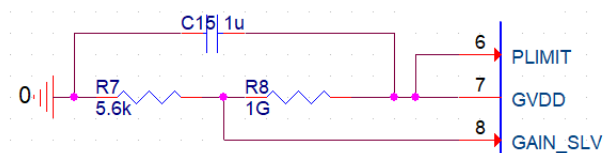
Imatge 21 Pins 4 i 5 mono

6.PLIMIT: Aquest pin serveix per a ajustar el límit de potència. Per al nostre cas no volem limitació, per tant, connectarem directament a GVDD com descriu el fabricant.



Imatge 22 6.PLIMIT

7.GVDD: Es tracta d'una font per a alimentar PLIMIT i GAIN/SLV. El fabricant recomana afegir un condensador ceràmic X5R d'1 uF a GND.



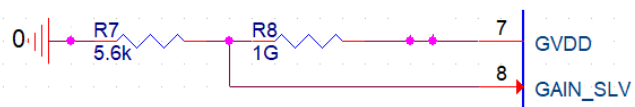
Imatge 23 7.GVDD

8.GAIN/SLV : El pin 8 funciona com a controlador de guany i assignació de master o slave. La funció master o slave és per a la correcta sincronització dels amplificadors en el cas que es vullga amplificar el mateix senyal per a múltiples eixides, emprant per tant més d'un integrat. Depenent del divisor de tensió que tinguen a l'entrada assignarà una configuració. En la *Taula A.2. 1 Configuració guany* es mostren les diferents configuracions possibles.

Per al nostre cas hem fet dues configuracions diferents, configuració per al dispositiu que farà de master i configuració per als que seran slave. Per una altra banda tots els integrats tindran un GAIN de 20 dB.

Les configuracions han sigut les següents:

Master:



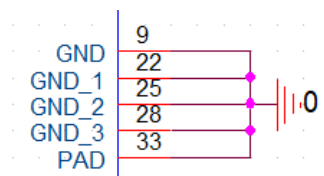
Imatge 24 8.GAIN_SLV master

Slave:



Imatge 25 8.GAIN_SLV slave

9.GND: Com el seu propi nom ens indica. Aquest pin va connectat directament a terra.

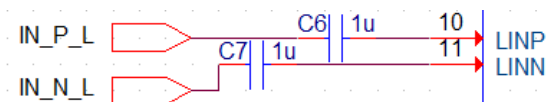


Imatge 26 9.GND

10.LINP: Correspon a l'entrada de l'àudio analògic. Per al cas stereo, connectarem a aquest pin el positiu del canal esquerre. El fabricant recomana afegir un condensador de 1n F a l'entrada del pin. Per al cas mono, connectarem el pin a terra.

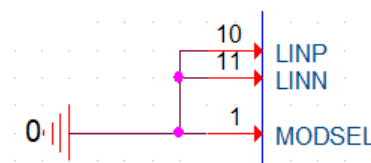
11.LINN: Correspon a l'entrada de l'àudio analògic. Per al cas stereo, connectarem a aquest pin el negatiu del canal esquerre. El fabricant recomana afegir un condensador de 1u F a l'entrada del pin. Per al cas mono, connectarem el pin a terra.

Stereo:



Imatge 27 Pins 10 i 11 stereo

Mono:



Imatge 28 Pins 10 i 11 mono

12.MUTE: Aquest pin silencia o habilita les eixides de l'amplificador. Nivell alt (2 V), silencia. Nivell baix (0,8 V) habilita. Per al nostre disseny interessa que estiga sempre habilitat, per tant anirà a terra.

13.AM2: Sistema de rebuig de les possibles interferències amb la ràdio AM.

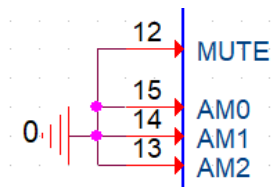
14.AM1: Sistema de rebuig de les possibles interferències amb la ràdio AM.

15.AM0: Sistema de rebuig de les possibles interferències amb la ràdio AM.

El fabricant ens facilita la taula per escollir la freqüència de treball de l'amplificador, per d'aquesta manera evitar interferències amb la ràdio AM, es pot consultar a *Taula A.2. 2 Configuració de rebuig AM*

Es seleccionen tots els pins AM a 0 per a trobar-nos en la freqüència dels 400K Hz i així estar el més lluny possible de la ràdio AM a Europa, que comença a partir dels 522K Hz.

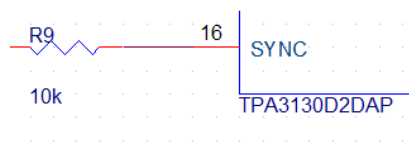
La connexió quedarà per tant de la següent forma:



Imatge 29 Pins 13, 14 i 15

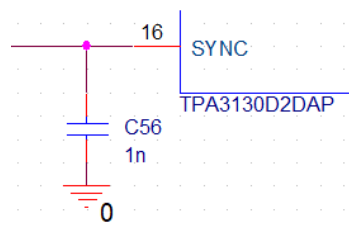
16.SYNC: Es tracta d'un pin d'entrada o d'eixida per a un senyal de sincronització. S'emprarà per a sincronitzar tots els possibles integrats. La sincronització té lloc mitjançant 2 rols, master i slave, l'amplificador master serà l'encarregat de generar el senyal de rellotge, mentre que els slave rebran aquest senyal. El fabricant recomana afegir un condensador de 1n F al final de la línia slave i afegir una resistència de 10k ohm abans de connectar la resta de components al master. Per al nostre cas tindrem 1 master i 4 slave.

Master:



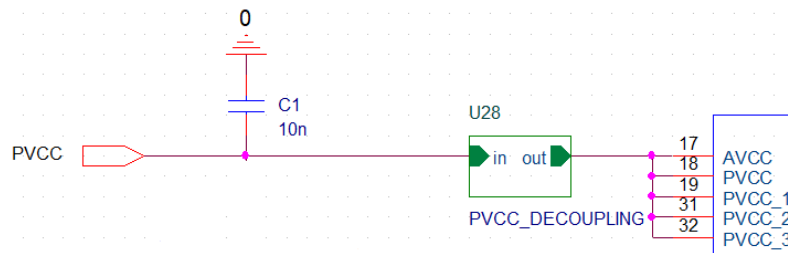
Imatge 30 16.SYNC master

Slave:



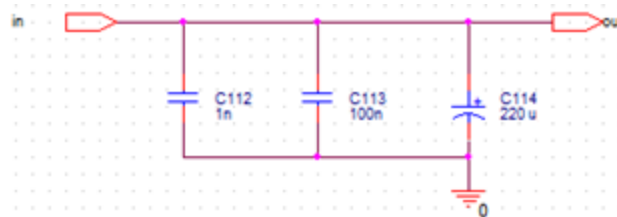
Imatge 31 16.SYNC slave

17.PVCC: Pin d'entrada de l'alimentació. Cal afegir un sistema de desacoblament format per 3 condensadors; el fabricant recomana un superior a 100u F, que ha d'estar col·locat prop de l'amplificador. Després suggereix afegir un condensador ceràmic d'alta qualitat entre 220p F i 1n F. I per últim recomana afegir un condensador entre 100n F i 1u F. Per al nostre cas hem elegit els següents valors 1n F, 100n F, 220u F (ceràmic).



Imatge 32 Pins 17, 18 i 19

Decoupling: Hem de tenir en compte que aquest mòdul ha d'estar el més a prop possible de l'integrat, per tant caldran 2 mòduls idèntics en diferents posicions, ja que les entrades 31 i 32 no estan juntes al model físic real. (11)



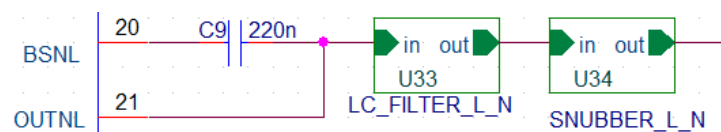
Imatge 33 Decoupling

18.PVCC: pin comú a 17.PVCC.

19.PVCC: pin comú a 17.PVCC.

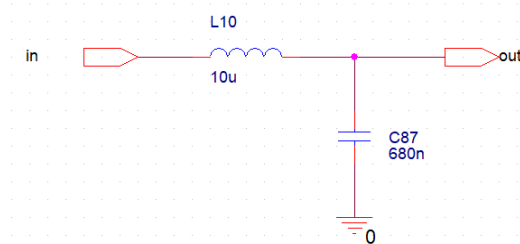
20.BSNL: Pin de bootstrap per al canal esquerre negatiu d'eixida. El fabricant recomana connectar-lo a un condensador 220n F X5R. Per al cas mono és igual.

21.OUTL: Eixida esquerra negativa. Cal afegir un filtre d'eixida LC i un SNUBBER. El fabricant recomana els models per a cadascun dels mòduls filtre LC i SNUBBER. Per al cas mono és igual.



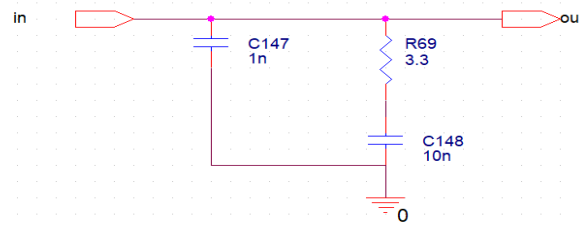
Imatge 34 Pins 20 i 21

Filtre LC:



Imatge 35 Filtre LC

Snubber:



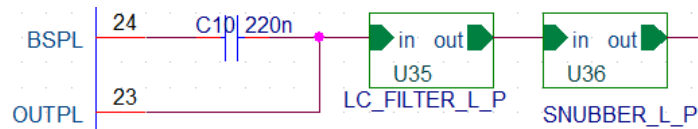
Imatge 36 Snubber

22.GND: pin comú a **9.GND**.

23.OUTPL: Eixida esquerra positiva. Cal afegir un filtre d'eixida LC i un SNUBBER. El fabricant recomana models per a cada cas. Per al cas mono va connectat al nuc previ al filtre LC on es connecta també amb els pins 20 i 21.

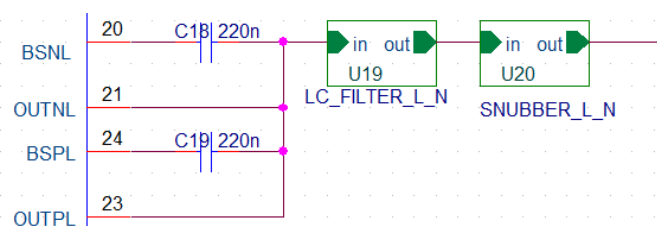
24.BSPL: Pin de bootstrap per al canal esquerre positiu d'eixida. El fabricant recomana connectar-lo a un condensador 220n F X5R. Per al cas mono va connectat al nuc previ al filtre LC on es connecta també amb els pins 20 i 21.

Stereo:



Imatge 37 Pins 23 i 24 stereo

Mono:



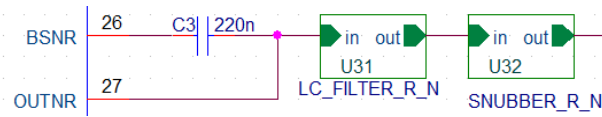
Imatge 38 Pins 23 i 24 mono

25.GND: pin comú a **9.GND**.

26.BSNR: Pin de bootstrap per al canal dret negatiu d'eixida. El fabricant recomana connectar-lo a un condensador 220n F X5R. Per al cas mono va connectat al nuc previ al filtre LC on es connecta també amb els pins 29 i 30.

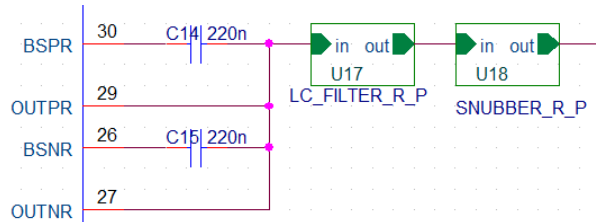
27.OUTNR: Eixida dreta negativa. Cal afegir un filtre d'eixida LC i un SNUBBER. El fabricant recomana models per a cada cas. Per al cas mono va connectat al nuc previ al filtre LC on es connecta també amb els pins 29 i 30.

Stereo:



Imatge 39 Pins 26 i 27 stereo

Mono:

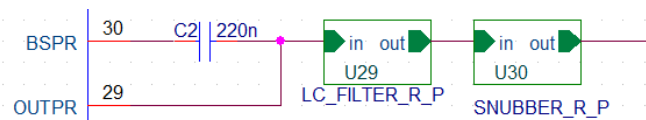


Imatge 40 Pins 26 i 27 mono

28.GND: pin comú a **9.GND**.

29.OUTPR: Eixida dreta positiva. Cal afegir un filtre d'eixida LC i un SNUBBER. El fabricant recomana models per a cada cas. Per al cas mono és igual.

30.BSPR: Pin de bootstrap per al canal dret positiu d'eixida. El fabricant recomana connectar-lo a un condensador 220n F X5R. Per al cas mono és igual.

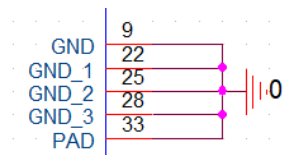


Imatge 41 Pins 29 i 30

31.PVCC: pin comú a 17.PVCC.

32.PVCC: pin comú a 17.PVCC.

33.PAD: El fabricant ens recomana connectar-lo a terra, però també el podem deixar a l'aire. Es tracta del pin que connectarà el sistema de refrigeració amb l'amplificador.

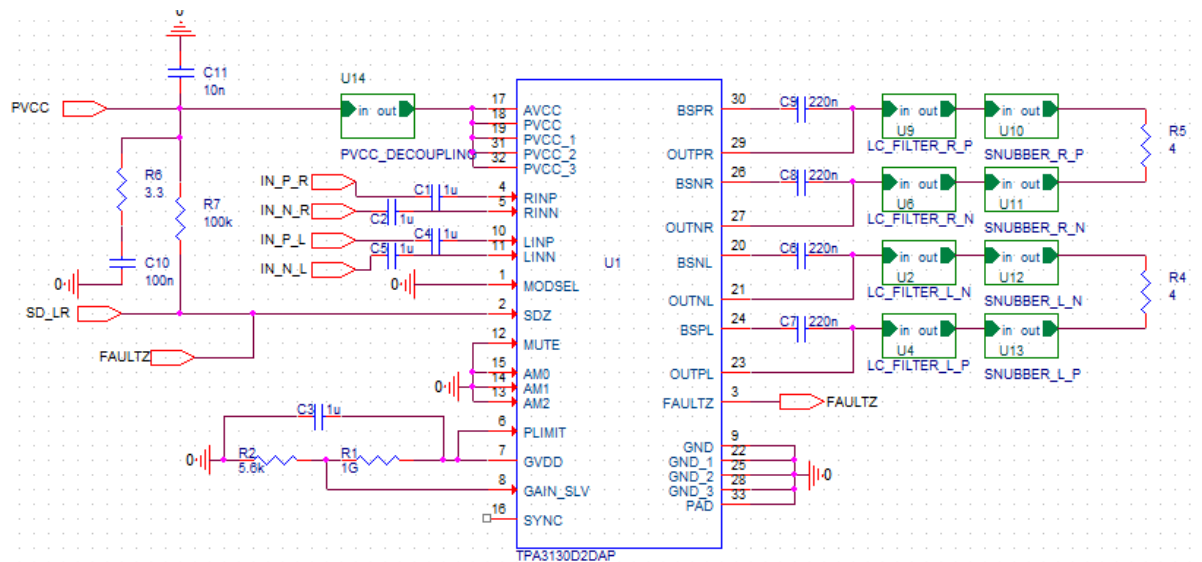


Imatge 42 33.PAD

4.2 Disseny

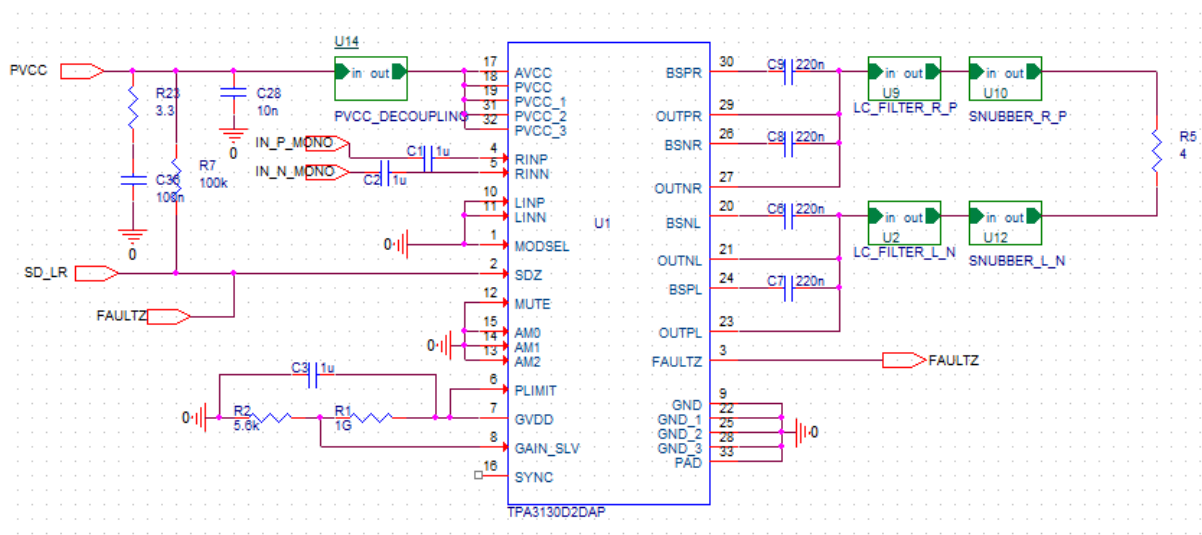
Un cop coneixem més a fons l'integrat i les connexions que cal tenir en compte, passarem a desenvolupar un disseny per al nostre amplificador amb múltiples eixides. El primer pas que donarem serà desenvolupar un primer esquemàtic amb el programa Capture per als dos casos stereo i mono.

Stereo:



Imatge 43 Disseny stereo

Mono:

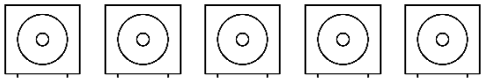
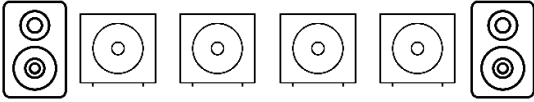
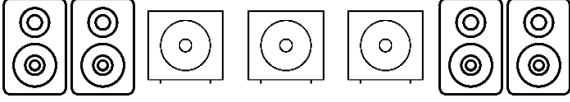
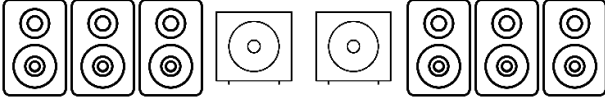


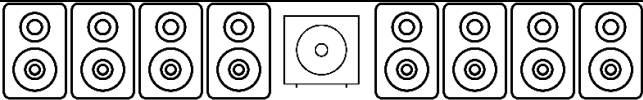
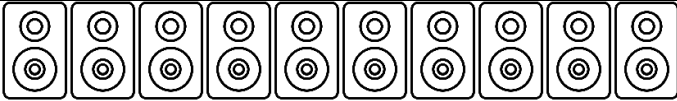
Imatge 44 Disseny mono

Aquests dos models seran la base a partir de la que treballarem, tot i que és un model incomplet, ja que seran modificades algunes connexions o altres com ara SYNC no s'han fet encara. Ara bé, com a idea general de les connexions que cal fer és un bon punt de partida.

A continuació hem de tenir en compte que per a poder tenir més de dues eixides haurem d'emprar més d'un integrat. Tenint açò en compte haurem de fer ús del pin 16.SYNC, per a determinar master i slave als diferents components que formaran part de la cadena de sincronització. Un detall a tenir en compte que ve determinat pel fabricant, és el nombre màxim d'integrats connectats en la cadena SYNC. El fabricant detalla al datasheet un nombre màxim de 8 components per un senyal de sincronisme. Coneixent aquest detall decidim desenvolupar una configuració amb 5 integrats. A continuació mostrem una taula amb totes les configuracions possibles que es poden desenvolupar amb 5 integrats:

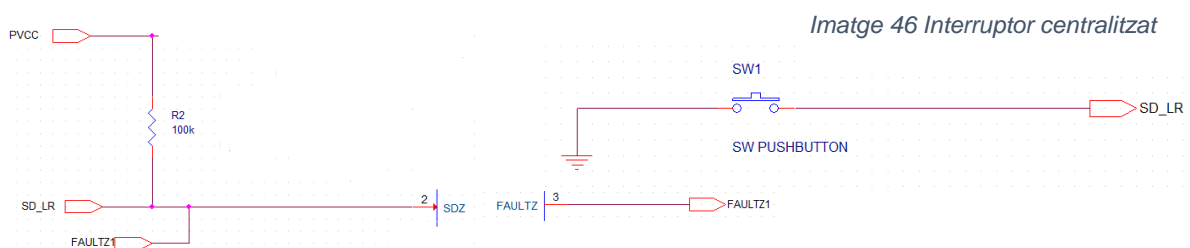
Taula 3 Comparació diferents configuracions

<p>Configuració 5 mono</p> 	<p>Es tracta d'una configuració típica per a subgreus en concerts o discoteques, requereix una amplificació més gran que la que nosaltres podem aportar amb aquest disseny.</p>
<p>Configuració 4 mono 1 stereo</p> 	<p>Esta configuració és molt semblant a l'anterior i s'empraria en un àmbit paregut amb l'única diferència de què afegiríem els canals stereo als costats per donar sensació d'embolcallament. Com l'anterior el nostre disseny no està pensat per assolir aquestes necessitats.</p>
<p>Configuració 3 mono 2 stereo</p> 	<p>Aquesta configuració podria trobar-se en cotxes, tenint uns greus molt marcats. Aquesta configuració la podríem desenvolupar, però no ens interessa tenir tant de greu.</p>
<p>Configuració 2 mono 3 stereo</p> 	<p>Aquesta configuració podríem trobar-la tant en un cotxe, com en un local o fins i tot en una casa, cal destacar que és un paquet molt complet i per a una casa aniria inclús gran a vegades. Nosaltres</p>

	elegirem aquesta configuració per ser la més versàtil.
Configuració 1 mono 4 stereo	Aquesta configuració és el 'home cinema' típic, però també podríem trobar-la en cotxes. A nosaltres ens agrada més l'opció anterior, ja que possiblement aquesta es quede curta de greus segons en quina situació.
	
Configuració 5 stereo	Aquesta última configuració podríem trobar-la a un 'line array' d'un concert, però el nostre amplificador per a aquestes condicions es quedaria curt de qualitat i potència.
	

Una vegada tenim seleccionada la configuració passem a desenvolupar l'esquemàtic dels 5 integrats junts. Hem de tenir en compte una sèrie de detalls que a continuació exposarem de cara a la integració correcta dels 5 components:

El pin 2.SDZ dels 5 components haurà de tenir una entrada comuna, ja que si es vol deixar en 'stand by' l'equip, no és útil haver de pulsar 5 botons diferents, amb pulsar un hauria de ser suficient. Per tant hem de pensar que l'entrada SD_LR ha de ser centralitzada. Per una altra banda tots els integrats estaran connectats de forma individual amb la seua pròpia eixida FAULTZ de manera que si es produeix algun error en un integrat, la resta de components pugui continuar amplificant mentre que el que ha fallat fa 'reset'. Per últim tots tindran l'estructura comuna de connexió a PVCC mitjançant una resistència d'alta impedància. Un exemple de com quedarà el disseny general per aquests pins és el següent:

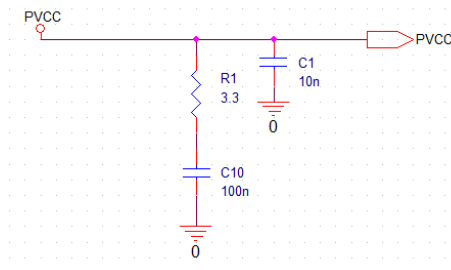


Imatge 46 Interruptor centralitzat

Imatge 45 Disseny general dels pins 2 i 3

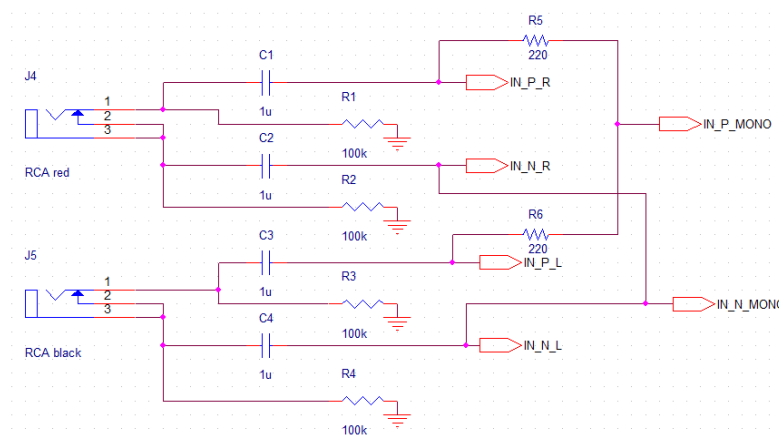
El pin 16.SYNC haurem de connectar-lo amb la configuració master per a l'integrat que hem configurat com a master i amb la configuració slave per a la resta, recordem que aquesta configuració es fa mitjançant un codi de resistències al pin 8.GAIN/SLAVE. Per tant tindrem un integrat amb les connexions com a master i 4 com a slave.

La font PVCC necessitarà dos mòduls diferents, el mòdul decoupling que ja ha sigut exposat en 17.PVCC. I un segon mòdul de connexió que el fabricant integra en el circuit per a dissenys amb un sol integrat, però que nosaltres simplifiquem creant un mòdul comú per a tots els integrats com ara el decoupling. Aquest mòdul estarà format per una resistència de petita impedància i un condensador de 100n F, en paral·lel amb un condensador de 10n F. La funció d'aquest mòdul serà limitar el rissat, fer que aquesta secció siga curt circuit en corrent altern i protegir els integrats de pics de corrent. (11)



Imatge 47 Mòdul de bypass

Per últim haurem de dissenyar les entrades d'àudio, el fabricant recomana un model específic per stereo RCA que nosaltres emprarem, afegint l'opció de mono RCA (12). A continuació mostrem l'entrada RCA dissenyada:

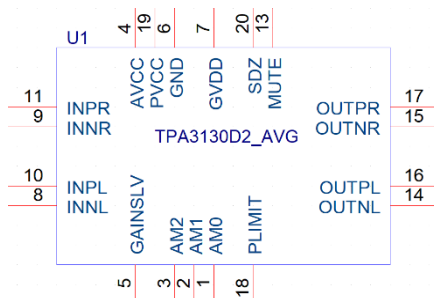


Imatge 48 Connexió RCA

Tenint en compte els detalls ja comentats passarem a dissenyar l'esquemàtic complet del nostre amplificador. Es pot consultar l'esquemàtic complet a *Imatge A.3. 1 Disseny del circuit complet*.

4.3 Simulació

El fabricant ens proporciona un model específic per fer les simulacions, es tracta d'un model simplificat amb una reducció prou important dels pins que intervenen. En un primer moment vam tractar de treballar amb el programa PSpice for TI, però vam tenir tants errors i simulacions incorrectes que canviarem a treballar amb el software Pspice. A continuació mostrem una imatge del model de simulació proporcionat pel fabricant:

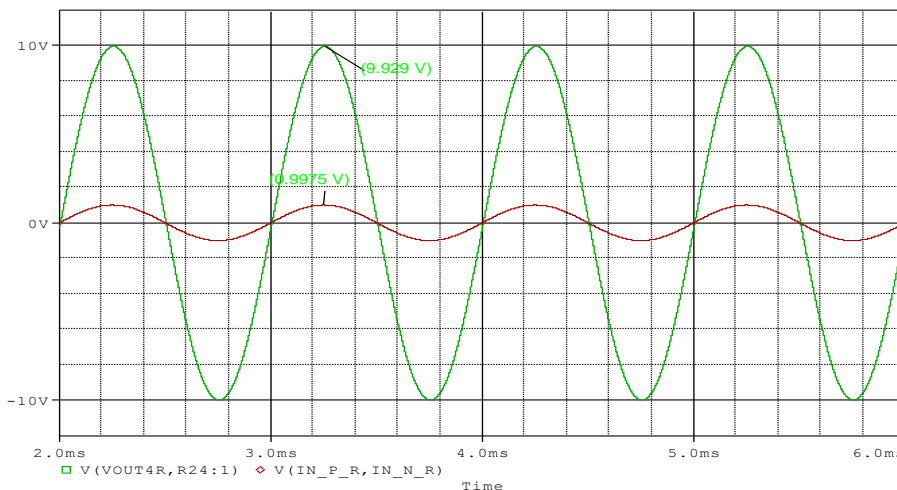


Imatge 49 Model simulació

L'esquemàtic de simulació generat per a mono i per a stereo es poden consultar a *Imatge A.4. 1 Esquemàtic simulació stereo*, *Imatge A.4. 2 Esquemàtic simulació mono*, respectivament.

A continuació exposarem els resultats de les diferents simulacions realitzades seguint el procediment que ens detalla (13) :

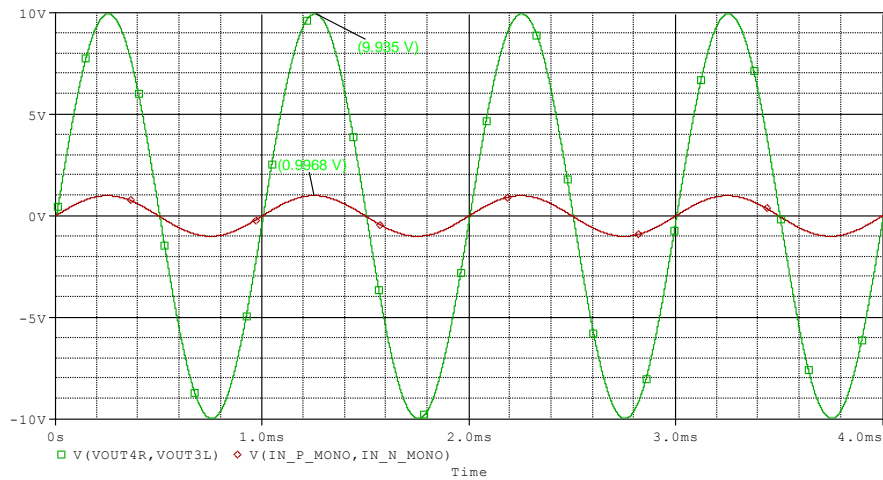
Amplificació stereo 1k Hz:



Imatge 50 Amplificació stereo 1k Hz

Tenim en roig el senyal d'entrada i en verd el senyal amplificat resultant.

Amplificació mono 1k Hz:



Imatge 51 Amplificació mono 1k Hz

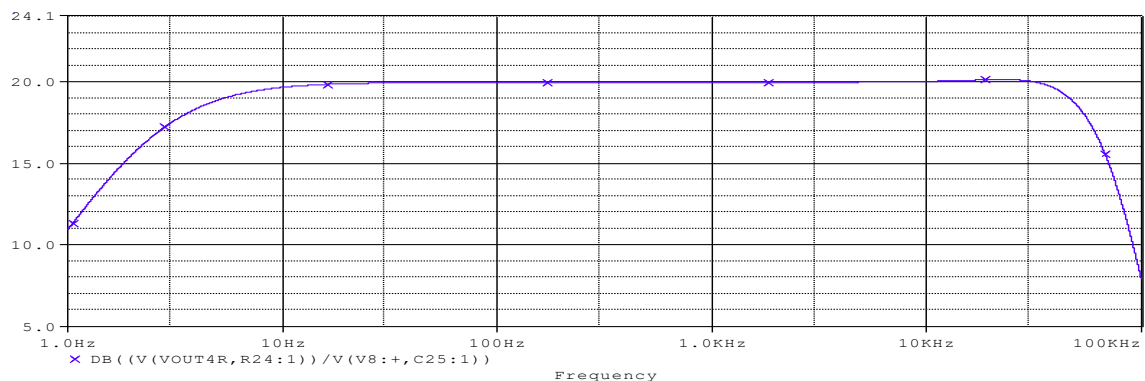
Tenim en roig el senyal d'entrada i en verd el senyal amplificat resultant.

Comprovació del guany: Comprovarem si es compleix la condició de guany que ens dona el fabricant per a aquestes configuracions, recordem que a la *Taula A.2. 1 Configuració guany* estan les diferents configuracions disponibles on nosaltres escollirem un GAIN de 20 dB. Donat que les dues simulacions han donat el mateix resultat, podem simplificar els càlculs assumint que els resultats per al mode slave, master, mono stereo seran iguals. Per tant aplicant la següent expressió farem els càlculs necessaris per a conèixer el guany obtingut:

$$Guany (dB) = 20 \log \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) ; Guany = 20 \log \left(\frac{10}{1} \right) = 20 dB$$

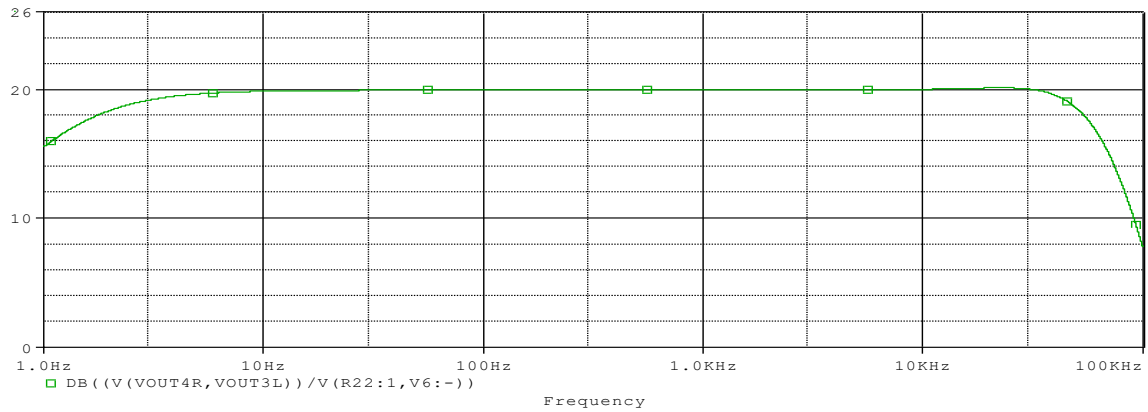
Com es pot observar es compleixen les característiques de guany proporcionades pel fabricant.

Resposta en freqüència stereo:



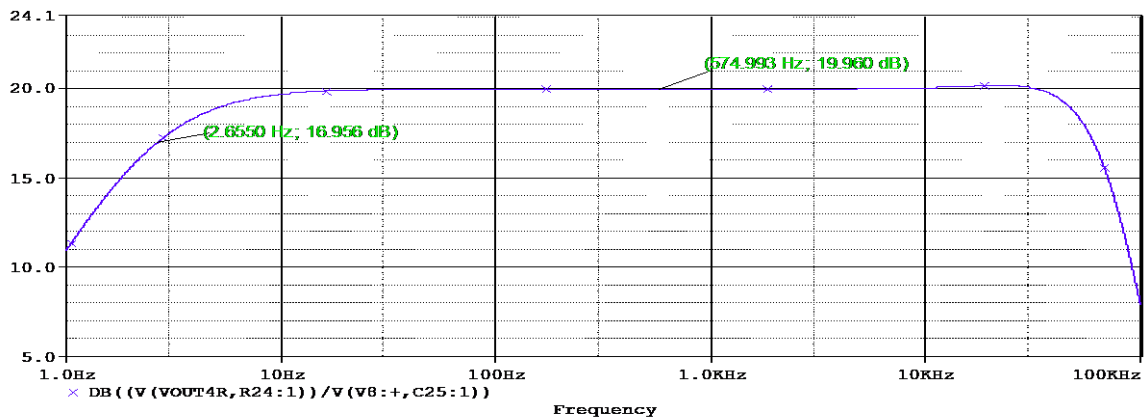
Imatge 52 Resposta en freqüència stereo

Resposta en freqüència mono:

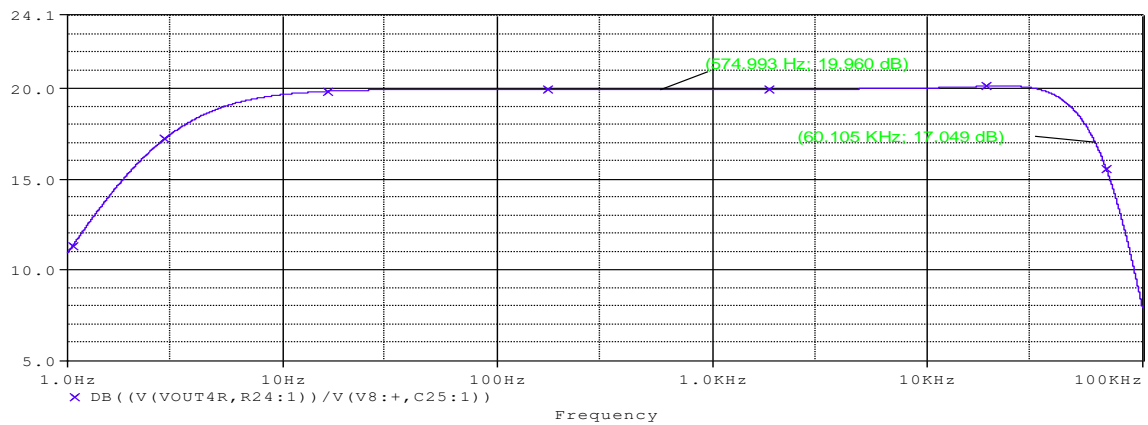


Imatge 53 Resposta en freqüència mono

Amplada de banda stereo:



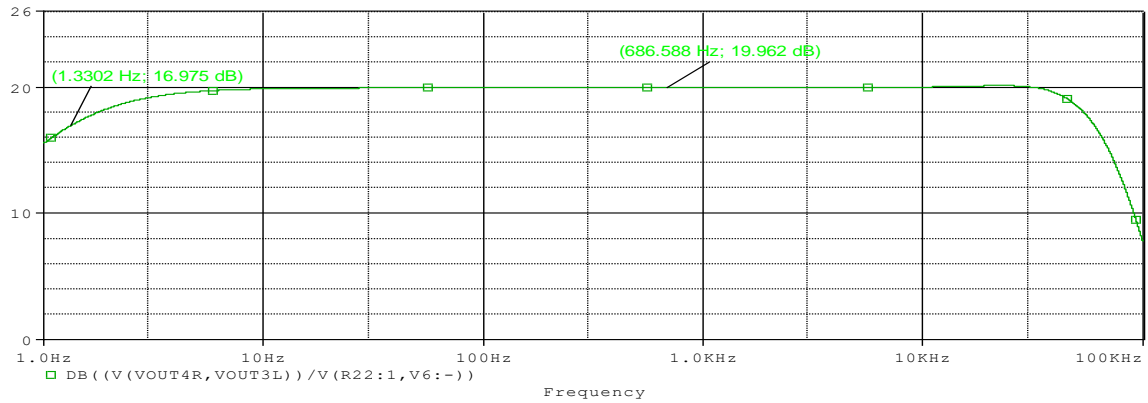
Imatge 54 Tall inferior setereo



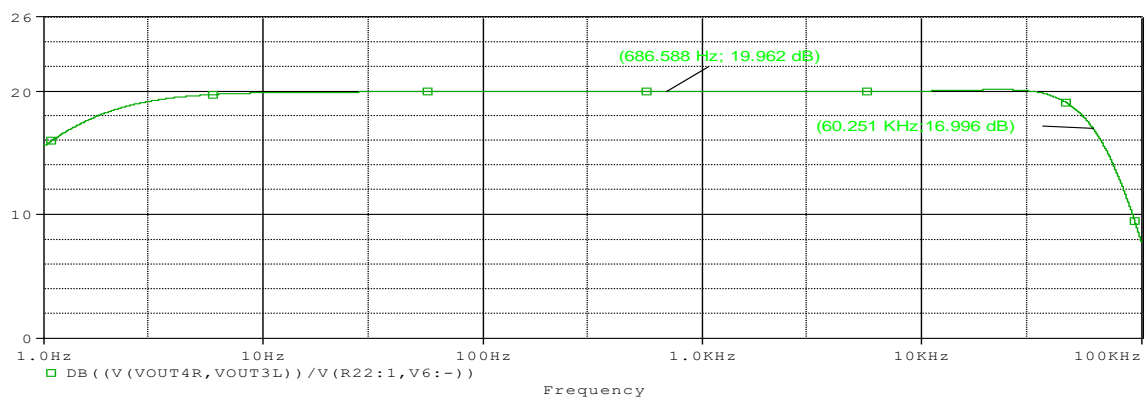
Imatge 55 Tall superior stereo

Com es pot observar l'amplada de banda per al cas stereo és de 2 Hz – 60,105K Hz.

Amplada de banda mono:



Imatge 56 Tall inferior mono



Imatge 57 Tall superior mono

En aquest cas l'amplada de banda és de 1 Hz – 60,251K Hz.

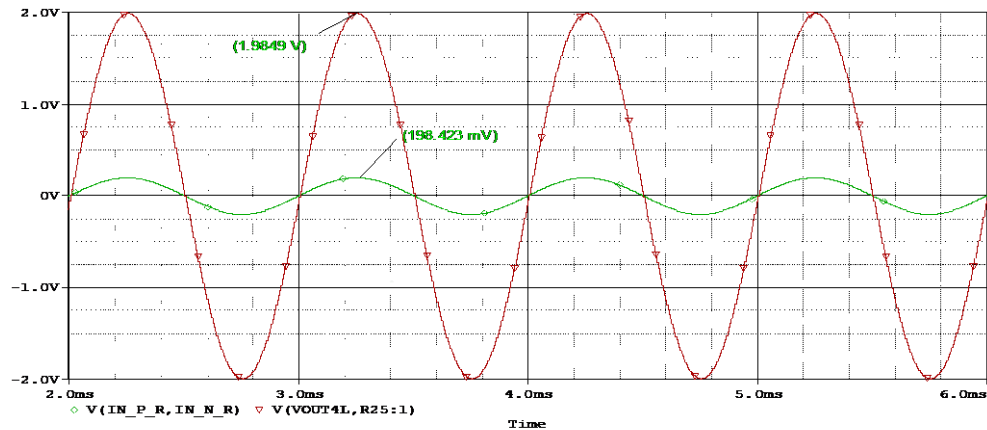
Sensibilitat stereo:

Entendrem per sensibilitat la quantitat de voltatge rms que caldrà per a generar 1 W de potència a l'eixida amb la càrrega d'altaveu que considerem típica, nosaltres hem escollit 4

Ω. Per tant afegirem un senyal sinusoidal de 1000 Hz de freqüència amb 10m V d'amplitud a l'entrada i anirem augmentant l'amplitud fins a aconseguir a l'eixida 1 W: (13)

$$P = 1 W; P = \frac{V^2}{R}; 1 = \frac{V^2}{4}; 4 = V^2; V_{nominal} = 2 V$$

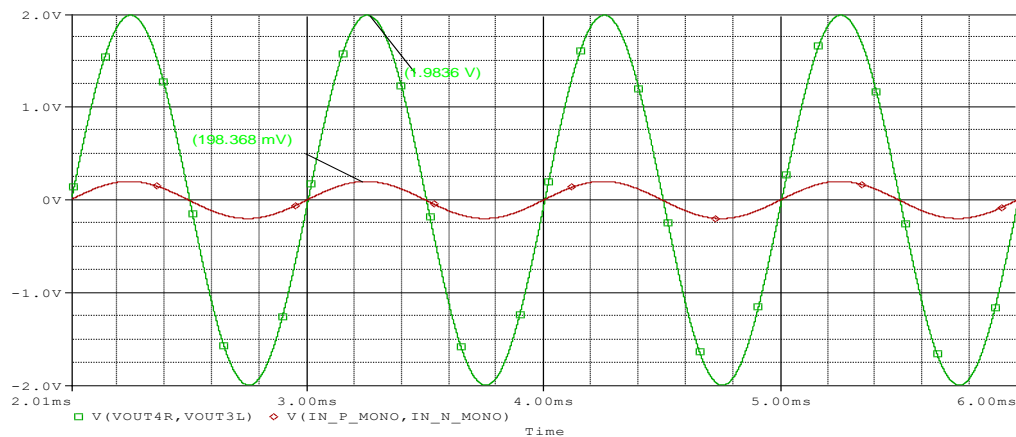
Quan tinguem un voltatge màxim a l'eixida de 2 V coneixerem la sensibilitat de l'amplificador.



Imatge 58 Sensibilitat stereo

En verd tenim el senyal d'entrada, en roig el canal dret. La sensibilitat per als dos canals és de 141m Vrms .

Sensibilitat mono:



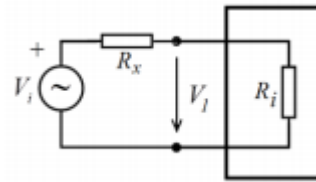
Imatge 59 Sensibilitat mono

En verd tenim el senyal d'eixida i en roig el canal d'entrada. La sensibilitat per a aquest canal és de 141m Vrms igual que el cas stereo.

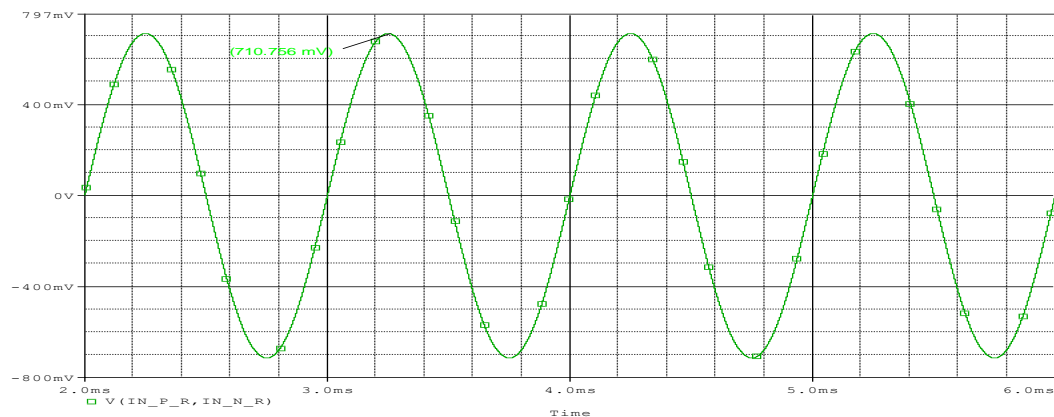
Impedància d'entrada stereo: tenint en compte l'expressió del divisor de tensió, afegirem una resistència amb valor proper a la impedància que creiem que tindrà R_i , nosaltres elegim una de 50k Ω, ja que el fabricant assenjala un valor proper al datasheet. La connectarem en

sèrie amb la nostra entrada, mesurarem voltatges i aïllem el valor de la resistència d'entrada: (13)

$V_1 = \frac{R_i}{R_x + R_i} \cdot V_i$; aïllant R_i tenim $R_i = \frac{V_1}{V_i - V_1} \cdot R_x$; al següent esquema mostrem on mesurarem cada paràmetre:



Imatge 60 Esquema impedància d'entrada



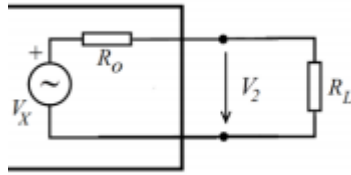
Imatge 61 Mesura voltatge V1 stereo

Per tant al nostre cas quedarà $R_i = \frac{0.710}{1-0.710} \cdot 50k = 122k \Omega$

Impedància d'entrada mono: Els resultats obtinguts per al canal mono són idèntics als obtinguts amb el canal stereo, per tant al nostre cas quedarà $R_i = \frac{0.711}{1-0.711} \cdot 50k = 122k \Omega$.

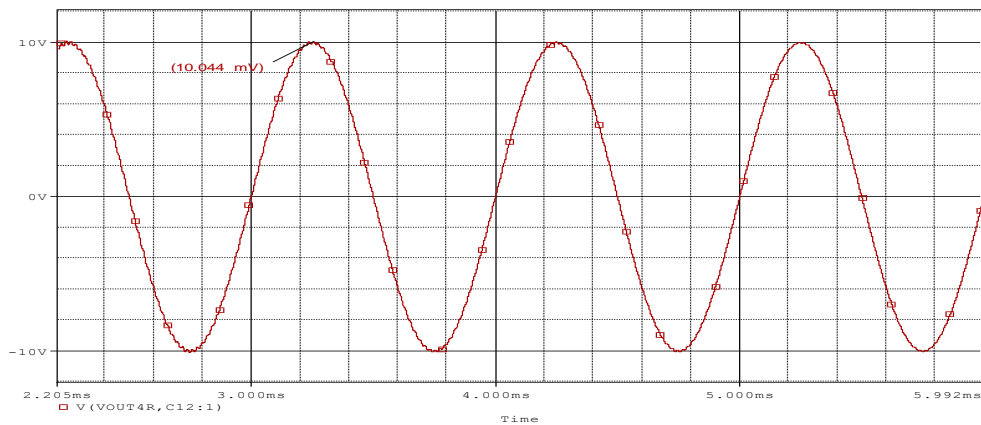
El fabricant ens donava un valor d'impedància d'entrada de $60k \Omega$, però no ens detallava entre quins punts mesurava. El nostre valor és de $122k \Omega$ i per això podem deduir que el fabricant mesura entre l'entrada positiva fins a terra i de l'entrada negativa fins a terra, mentre que nosaltres mesurem entre les dues entrades, per aquest motiu obtenim el doble.

Impedància d'eixida stereo: Calcularem el valor de la impedància d'eixida tenint en compte que $R_o = \frac{V_x - V_2}{V_2} \cdot R_L$, a continuació mostrem on mesurarem cada paràmetre: (13)

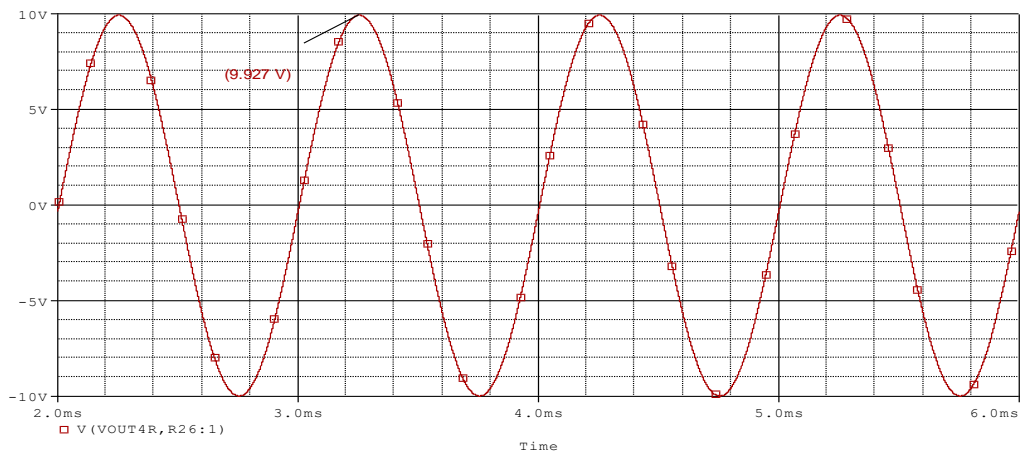


Imatge 62 Esquema impedància d'eixida

Hem de tenir en compte que per conèixer V_x hem de desconnectar R_L i mesurar el voltatge amb el circuit obert, a continuació mostrem els resultats de la mesura:



Imatge 63 Mesura V_x stereo

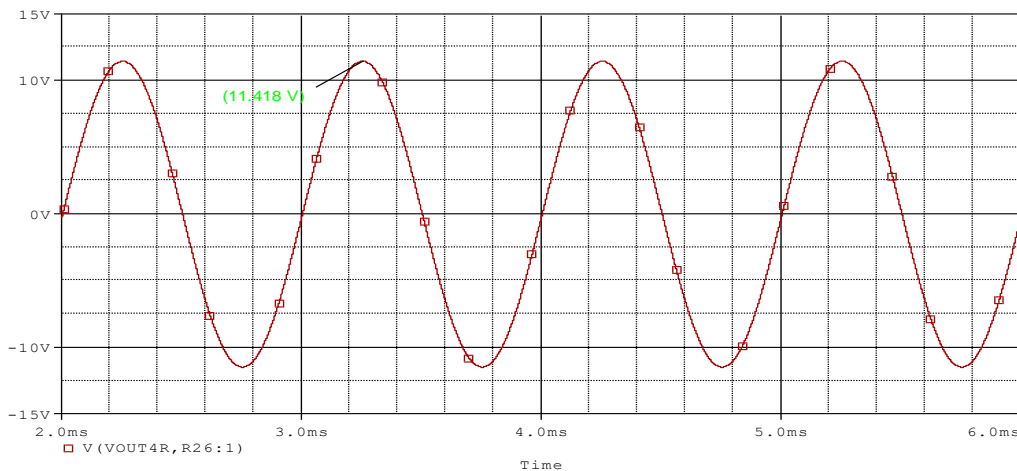


Imatge 64 Mesura V_2 stereo

Aplicant els càlculs tenim, $R_o = \frac{V_x - V_2}{V_2} \cdot R_L = \frac{10,044 - 9,927}{9,927} \cdot 4 = 0,075 \Omega = 47m \Omega$

Impedància d'eixida mono: Els resultats obtinguts per al canal mono són idèntics als obtinguts al canal stereo. Aplicant els càlculs tenim, $R_o = \frac{V_x - V_2}{V_2} \cdot R_L = \frac{10,044 - 9,927}{9,927} \cdot 4 = 0,075 \Omega = 47m \Omega$

Màxima excursió d'eixida stereo: entenem com a màxima excursió d'eixida el valor màxim de voltatge que podem obtenir a l'eixida sense que es deforme (clipeje) el senyal. Per al nostre cas, tot i que el fabricant ens detallava al 'datasheet' que podríem subministrar fins a 2 V a l'entrada amb una V_{in} d'1,2 V ja clipejava, però amb 1,15 no. El valor de màxima excursió d'eixida és d'11,42 V. Mostrem la mesura a continuació: (13)

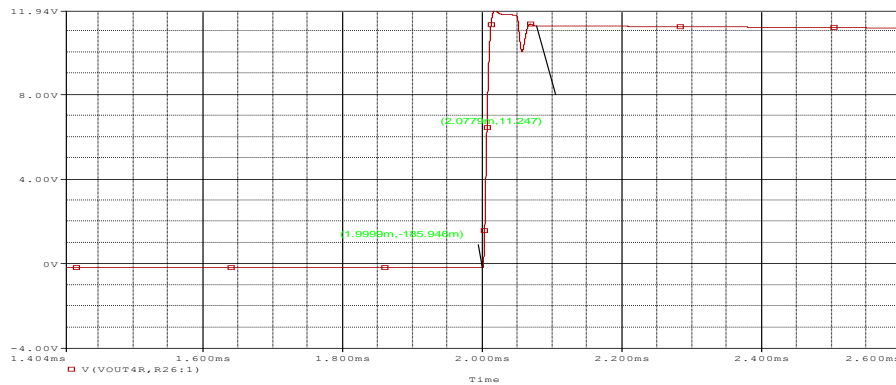


Imatge 65 Màxima excursió d'eixida stereo

L'amperatge màxim del circuit és d'1,3 A, al nuc PVCC. Tots els valors màxims d'amperatge obtinguts amb el circuit sotmés a aquestes condicions, es pot consultar a *Imatge A.4. 3 Màxim amperatge*.

Màxima excursió mono: Els valors obtinguts són idèntics als obtinguts en el cas stereo, amb una alimentació V_{in} d'1,2 V ja clipejava però amb 1,15 V no. El valor de màxima excursió d'eixida és d'11,42 V. El corrent màxim es correspon amb la stereo 1,3 A al pin PVCC.

Slew-Rate: es tracta de la velocitat de resposta de l'amplificador, és a dir el temps que tarda l'amplificador a enviar a l'eixida el senyal a màxim guany des de l'instant en què li arriba el senyal en in. Ve definida per la següent expressió, $\left(\frac{S}{R}\right) = \frac{\Delta V}{\Delta t}$; on ΔV és la diferència de voltatge i Δt el temps que tarda a arribar al voltatge màxim. Per mesurar-la canviarem el generador de funcions sinusoidals per un generador de polsos quadrats amb la mateixa freqüència i amplitud que la d'excursió. A continuació mostrem la nostra mesura: (13)

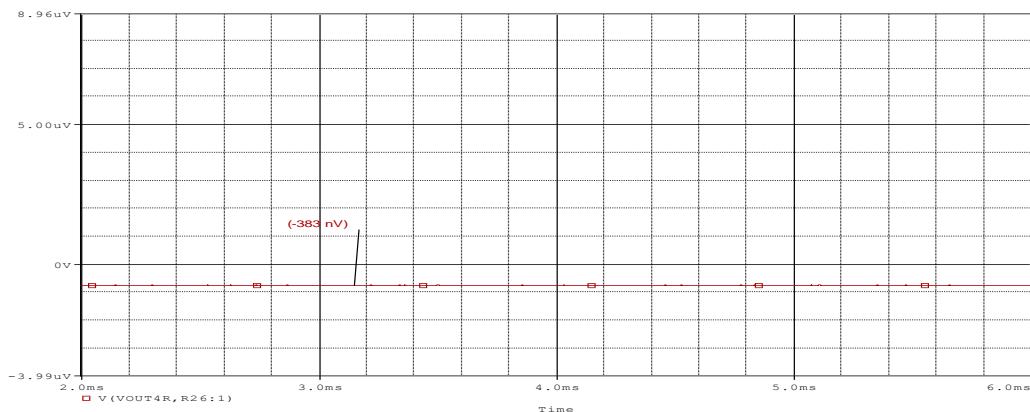


Imatge 66 Mesura Slew-Rate

$$\text{Per tant } \left(\frac{S}{R}\right) = \frac{11,247+0,186}{2,0779\text{m} - 1,9999\text{m}} = 146,6 \frac{V}{\text{ms}}.$$

Per al cas mono s'obtenen els mateixos valors.

Rang dinàmic: és la relació entre el voltatge de màxima excursió i el voltatge de soroll de fons. Ve definida per la següent expressió, $DR = \frac{V_{max}}{V_{soroll}}$. A continuació mostrem una mesura del nivell de soroll de fons:



Imatge 67 Mesura soroll de fons

$$\text{Per tant aplicant l'expressió tenim } RD = \frac{11,42}{383n} = 21.81 M.$$

Per al cas mono s'obtenen els mateixos valors.

Relació senyal a soroll: és la relació entre el nivell de tensió a l'eixida amb una potència nominal (1 W a 1K Hz) i el voltatge de soroll de fons. Ve definida per la següent expressió, $\left(\frac{S}{N}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{V_{nom}}{V_{soroll}}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{2}{383n}\right) = 309 \text{ dB}.$

Per al cas mono s'obtenen els mateixos valors.

Cal destacar que el nivell de soroll en la simulació és molt petit, pràcticament és nul, per aquest motiu hem obtingut valors tan elevats de rang dinàmic i relació senyal a soroll. Amb el prototip físic tindríem un soroll de fons més alt, i per tant els valors obtinguts per a rang dinàmic i relació senyal a soroll serien més petits.

Capítol 5. Implementació

5.1 Esquemàtic Eagle

En aquest capítol passarem a desenvolupar la PCB seguint les recomanacions del fabricant, emprant el programa Eagle. Es pot consultar l'esquemàtic del nostre circuit desenvolupat mitjançant aquest programa en *Imatge A.5. 1 Esquemàtic Eagle*.

5.2 Condicions de la PCB

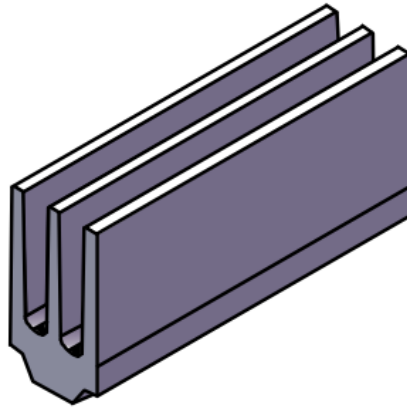
A continuació exposarem les recomanacions i condicions del fabricant, així com els estàndards de fabricació a l'hora de treballar amb la PCB.

Condensadors de decoupling: com ja hem comentat en *Decoupling*, els mòduls encarregats d'evitar sorolls a altes freqüències han d'estar situats el més a prop possible del circuit integrat.

Línies d'eixida: el fabricant ens recomana que les eixides del filtre LC i el snubber siguin les més primes i ajustades possibles, ja que la mida d'aquestes és l'eficiència que tindrà com a antena el nostre circuit.

Filtres LC: els filtres LC han d'estar el més a prop possible dels connectors d'eixida.

Dissipador: el fabricant ens recomana un model concret de dissipador, però actualment ja no està en venda, no obstant en dona les mesures mínimes que seran suficients per a dissipar la calor generada per un integrat sotmés a potència constant i per això treballant amb àudio es pot elegir inclús un model més petit, que dissipi menys calor. Les mesures són 50 mm llargària x 14 mm amplària x 25 mm altura, amb tres aletes de dissipació. A continuació mostrem una imatge:



Imatge 68 Dissipador (10)

A banda de les recomanacions del fabricant també hem de tenir en compte els estàndards de construcció de les PCBs, on haurem de tenir en compte l'amplària de les pistes, la separació entre pistes i la separació entre component i pista.

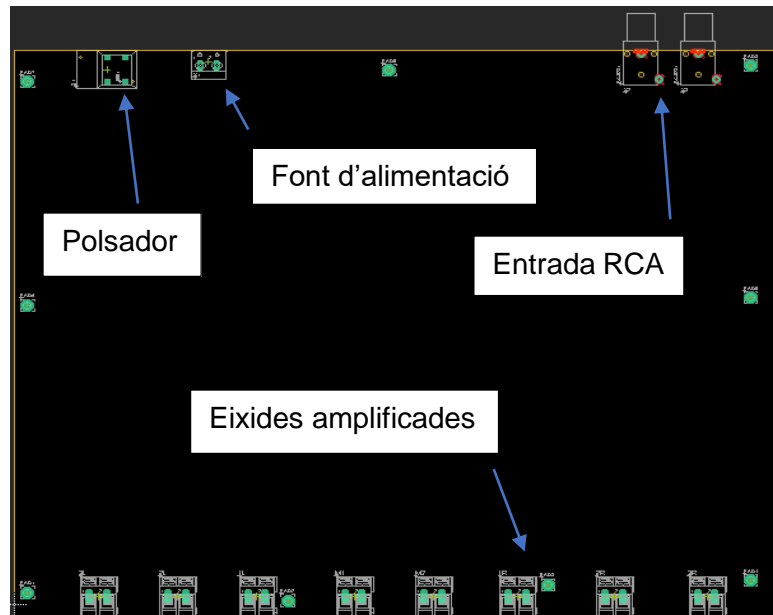
Amplària de pistes: tenint en compte les recomanacions de (14), elegirem un ample de pista d'1 mm, ja que 3 A és un màxim que no anem a superar en cap cas. Durant la fase de simulacions el valor més alt de corrent obtingut ha sigut 1,3 A en la línia PVCC, com es pot observar a *Màxima excursió d'eixida stereo*. A la *Taula A.1. 2 Ample de pista* es poden consultar les diferents amplàries depenent de l'amperatge al qual sotmetrem el circuit.

Separació entre pistes: de igual forma que al subapartat anterior tenint en compte (14), nosaltres treballarem per sota dels 0,5 mm, ja que no superarem la diferència de potencial de 50 V en cap cas. A la següent *Taula A.1. 3 Ample separació entre pistes* es pot consultar el valor de separació entre pistes depenent del voltatge.

Tenint en compte aquestes directrius podrem passar a implementar la PCB.

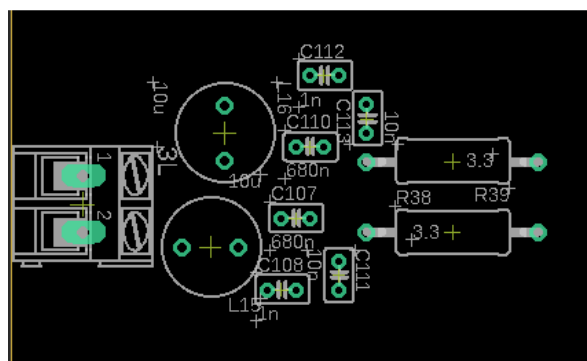
5.3 Implementació PCB

Per a començar elegirem on situarem els components que l'usuari haurà de manipular. Hem pensat col·locar en la cara davantera les entrades i per la cara posterior les eixides. Per tant els connectors RCA, l'entrada d'alimentació i el polsador per a apagar l'amplificador quedaran en aquesta cara davantera, mentre que les eixides de cada línia amplificada quedaran a la darrera. També afegirem els forats destinats a caragolar la placa, un total de 9 forats de 4 mm. A continuació mostrem una imatge amb la disposició elegida:

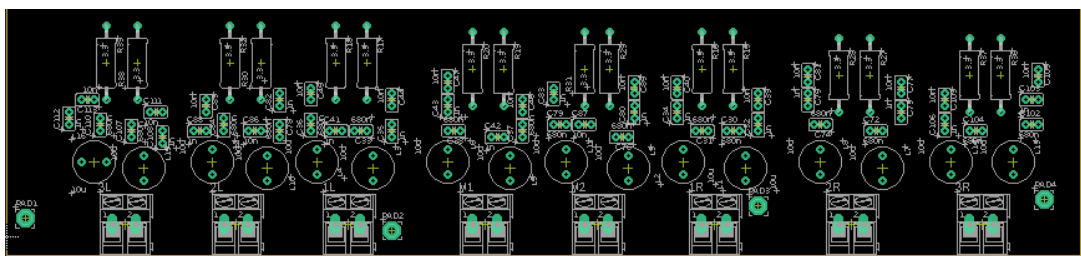


Imatge 69 Distribució usuari

Un cop tenim aquestes primeres peces col·locades podem passar a afegir una sèrie de components que per les condicions i recomanacions del fabricant han de tenir un lloc característic a la PCB. Per tant la secció de filtre LC de cada eixida es pot afegir, tenint en compte que ha de quedar el més a prop possible del seu port corresponent d'eixida. A continuació mostrem la imatge detallada d'una connexió d'eixida i la imatge general del conjunt:

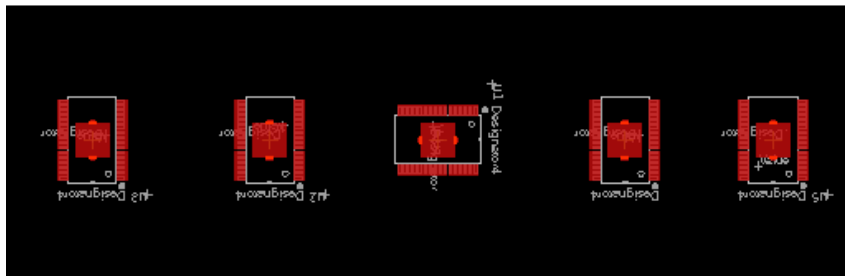


Imatge 70 Col·locació Eixida PCB



Imatge 71 Col·locació Eixides PCB

A continuació passarem a situar els cinc circuits integrats:

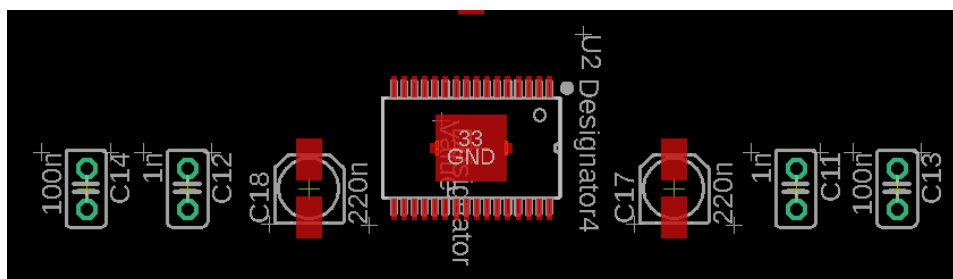


Imatge 72 Col·locació circuits integrats



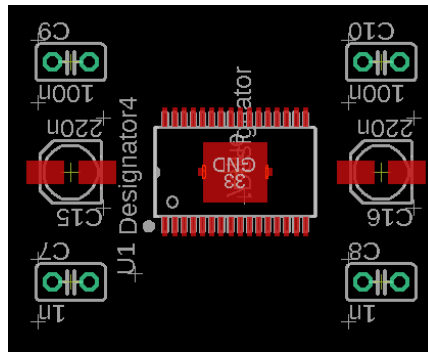
Imatge 73 Col·locació general circuits integrats

Un cop tenim els integrats col·locats, seguint les condicions del fabricant afegirem els mòduls de decoupling el més prop possible de cada circuit integrat. A continuació mostrem una imatge d'un component individual slave, d'un master i com quedarien de forma general els cinc:

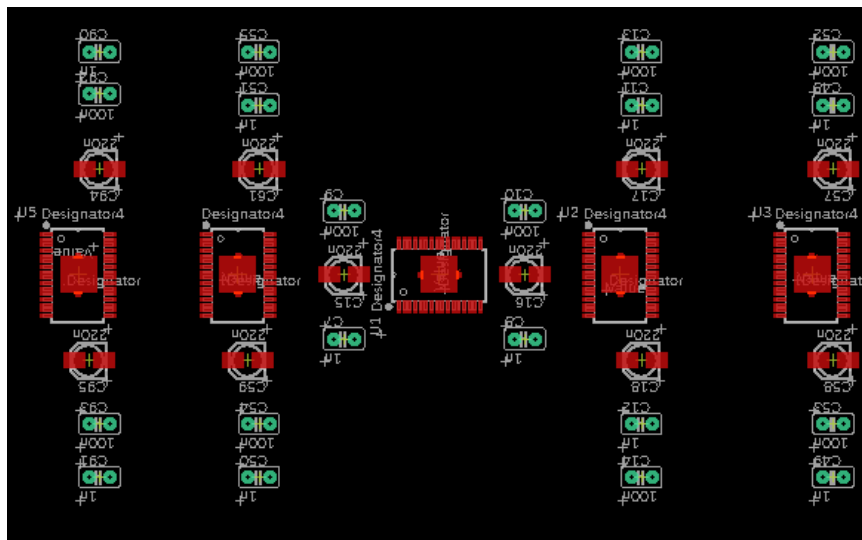


Imatge 74 Col·locació decoupling slave

Disseny i implementació d'un amplificador d'àudio tipus D amb múltiples eixides

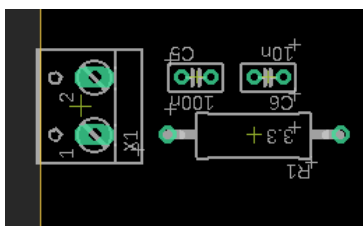


Imatge 75 Col·locació decoupling master

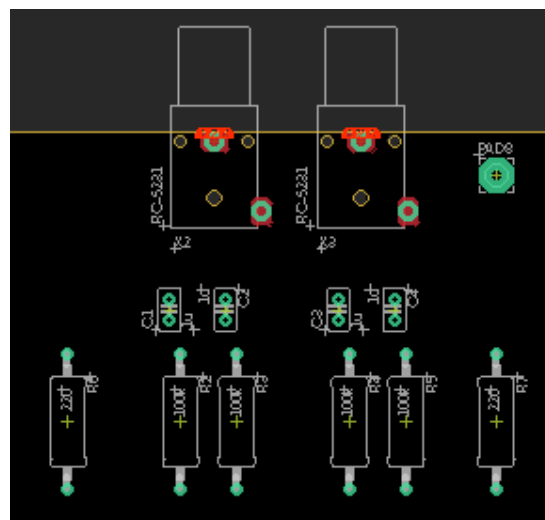


Imatge 76 Col·locació decoupling general

A continuació afegirem el mòdul de bypass i el mòdul de connexió RCA:

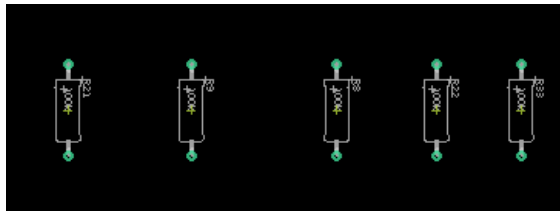


Imatge 78 Col·locació bypass



Imatge 77 Col·locació RCA

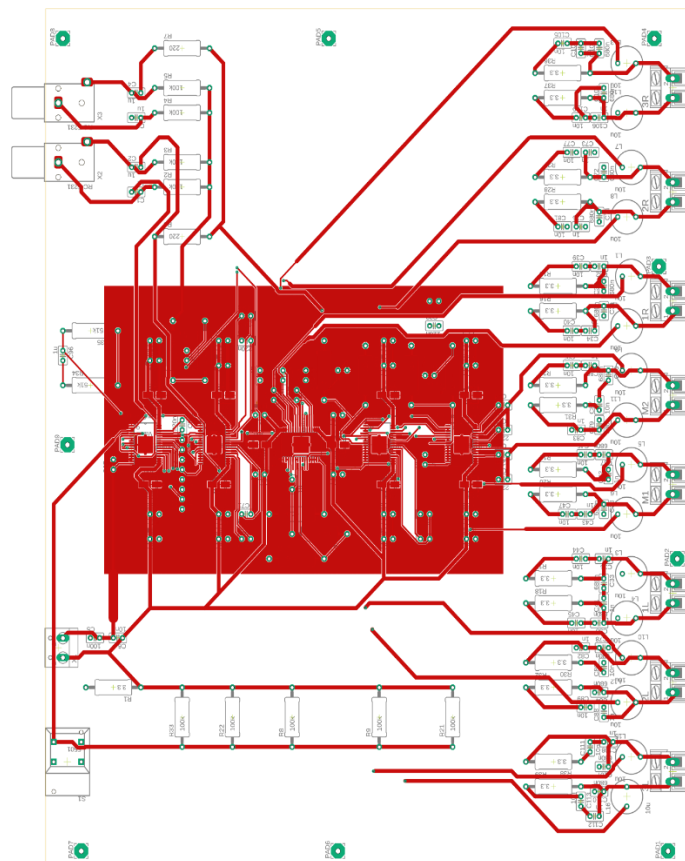
A continuació afegirem les resistències de SD_LR:



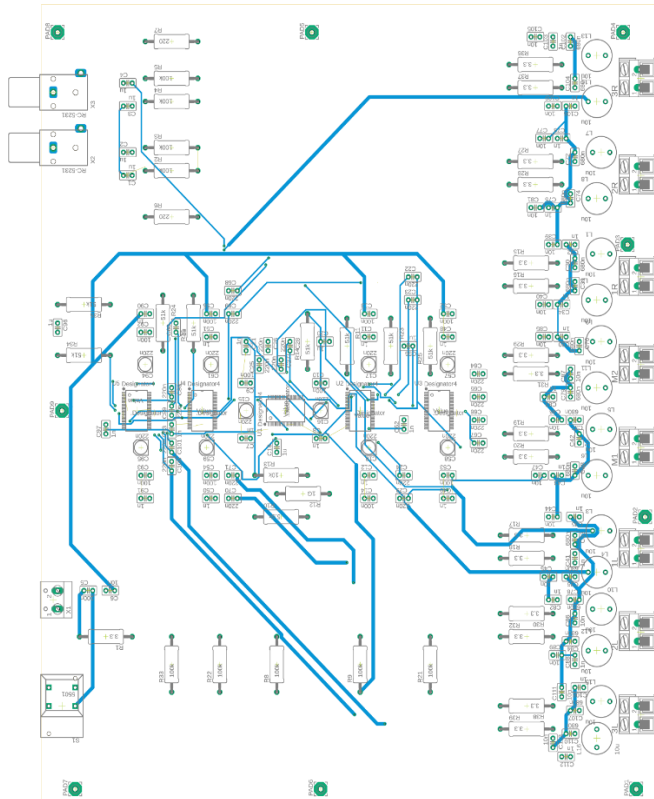
Imatge 79 Col·locació SD_LR

Per últim ajustarem les connexions del pin SYNC i afegirem el mòdul MASTER/SLAVE es pot consultar el resultat general, abans de passar a llançar l'automatisme per fer les connexions a *Imatge A.7. 1 PCB sense cablejar*.

Com ja hem comentat, el pas següent és llançar l'automatisme detallant-li les condicions ja especificades, però en un primer pas es realitzaran les connexions manuals de les pistes més sensibles amb la intenció de què l'automatisme no genere un entramat caòtic. Principalment les pistes realitzades de forma manual són PVCC i GND. Cal destacar que donada la grandària dels integrats, les pistes que no hauran de suportar càrregues altes d'amperatge seran de 0,5 mm d'amplària fins que la disposició ens permeti retornar a 1 mm d'amplària, seguint l'exemple del fabricant. (15) Les mesures de la PCB seran de 220 mm x 190 mm. Tots els plànols i captures detallades es poden consultar en *Annex 7: Plànols PCB*. A continuació mostrem el resultat obtingut:



Imatge 80 Top PCB



Imatge 81 Bottom PCB

Capítol 6. Pressupost

El cost dels materials de l'amplificador és de 81,01€, com es detalla a la *Taula A.8. 1 Pressupost*. Cal destacar que en aquest pressupost no estaria afegit el cost de fabricació de la PCB, el preu de la font d'alimentació, el preu dels dissipadors, ni cost de la carcassa de l'equip, per la qual cosa es considera afegir 20€ més al pressupost. Per tant el preu de fabricació d'un prototip seria de 100€. Cal afegir que aquest preu seria de cara a un únic model, si es volguera produir tota una sèrie, es podria reduir el preu entre un 40% i un 50% del preu del primer pressupost, ja que el preu dels components electrònics és més baix en relació inversament proporcional amb la quantitat de la comanda. Per tant per a una tirada de 10 amplificadors parlariem d'un preu per amplificador de 60€.

Per últim afegir que aquests preus serien purament de cost, si es volguera comercialitzar, hauríem de tenir en compte les hores de treball de soldadura i disseny de l'amplificador.

Capítol 7. Conclusions

7.1 Objectius

A continuació analitzarem si s'han complit o no els objectius que es van plantejar a l'inici del treball i si s'han complit en quin grau han quedat assolits.

Començarem per l'objectiu de tenir múltiples eixides amplificades, entenent com a múltiples un número superior a 4, podem dir que ha sigut assolit. Hem sigut capaços de desenvolupar un prototip de 8 eixides.

L'objectiu on es plantejava l'impacte econòmic del prototip, podem dir que no queda descartat, però no hem aconseguit desenvolupar un amplificador molt barat, quan parlem de molt barat entenem preus entre els 20€ i els 50€. Nosaltres hem aconseguit desenvolupar un amplificador de 100€, amb la possibilitat d'abaratir costos fent tirades de producció, on podríem parlar d'un preu de 60€ més o menys. Per tant estem un parell de punts per davall d'assolir l'objectiu econòmic amb excel·lència.

La qualitat de l'equip respecte al qual depén el disseny i implementació s'ha tingut en compte per fer cada pas i com es pot observar a les simulacions l'equip treballaria correctament, ara bé, gran part de la qualitat del so dependrà de com s'execute la soldadura dels components, per tant aquest objectiu queda en interrogant fins que no s'executen les soldadures.

L'objectiu on es plantejaven les característiques de forma i pes de l'equip ha sigut assolit eficientment, ja que estem parlant d'un equip més xicotet que un foli de paper.

7.2 Treballs futurs

El treball futur més immediat és implementar físicament l'amplificador, comprovar el seu correcte funcionament i fer totes les mesures que s'han simulat en aquest treball a la secció **4.3 Simulació**.

Com ja hem comentat, altres treballs futurs podríem ser fer el disseny i implementació de la font d'alimentació en la mateixa PCB on tenim l'amplificador de 8 eixides; també podríem fer el disseny de la carcassa de l'equip. Una petita millora també afegible, la inclusió d'un díode LED que s'active quan l'amplificador estiga en marxa. Aquestes podrien ser millores aplicables de forma directa sense necessitat de modificar el treball fet.

Millores a gran escala, que durien un treball més gran podrien ser, la inclusió de tres equalitzadors a l'entrada que s'encarregarien de filtrar el senyal per a subgreus, mitjos i aguts, obtenint així eixides específiques sense la necessitat d'emprar filtres externs previs al con,

Guillermo Macià Andreu

que encareixen els altaveus. Una altra millora podria ser afegir diferents connexions d'àudio, com jack o minijack. I un projecte molt interessant podria ser afegir bateries solars a l'equip i estudiar la viabilitat de tenir amplificadors d'àudio sense endolls.

7.3 Conclusió final

Com a conclusió final analitzarem de forma general el treball realitzat. Als dos primers capítols hem estudiat el funcionament dels amplificadors d'àudio, estudiant de forma general els classe A i B; i centrant-nos específicament en els de classe D. A continuació, als capítols 3, 4 i 5 hem passat a desenvolupar l'amplificador intentant assolir els objectius el millor que hem pogut. El resultat obtingut no ha estat deficient, malgrat el problema amb el 'thermal PAD' i les condicions tecnològiques d'haver d'enviar les plaques a la Xina per a la seua fabricació dilatant molt en el temps l'arribada de les PCBs, hem sigut capaços de desenvolupar un treball sobre amplificadors classe D, hem entés el funcionament d'aquests i hem sigut capaços de treballar amb un model determinat per a aconseguir desenvolupar els nostres objectius. Queda pendent la fabricació de la PCB i la posada en funcionament de l'equip.

Per a acabar, agrair el treball i el temps que ha dedicat Maria José Canet Subiela com a tutora, sense les seues indicacions i recomanacions no hauria estat possible arribar fins a aquest punt. Gràcies.

3. REFERÈNCIES

1. **Vicente Llario, Maria José Canet Subiela.** *Notas de Clase: Introducción a los Amplificadores de Potencia de Audio.* (2010).
2. **Henández, Miguel Pereira.** *Amplificadores de Audio.* (2005) .
3. **Slone, G. Randy.** *High-Power Audio Amplifier Construction Manual.* (1999) .
4. **FP, Electrónica.** *Amplificador de potencia: CLASE A.* [YouTube] (2018). https://www.youtube.com/watch?v=1_7FNawxMEA&list=PLuzS0jdNRVvocxP2rQjT0EL0mqcoB1JLV&index=17.
5. **FP, Electrónica.** *Amplificador de potencia: CLASE B .* [YouTube] (2018) . <https://www.youtube.com/watch?v=JSxEwDmtEQc&list=PLuzS0jdNRVvocxP2rQjT0EL0mqcoB1JLV&index=19>.

6. **FP, Electrónica.** *Amplificador de potencia: CLASE AB* . [YouTube] (2018) .
<https://www.youtube.com/watch?v=l6pILMgjdZA&list=PLuzS0jdNRVvocxP2rQjT0EL0mqcoB1JLV&index=21> .
7. **Vega, Constantino Pérez.** *MODULACION DE AMPLITUD MEDIANTE MODULACION POR DURACION DE PULSOS (PWM o PDM)*. (2008) .
8. **ACADENAS.** *Amplificador clase D. Como funciona (Clase 59)*. [YouTube] (2020) .
<https://www.youtube.com/watch?v=g9DEaqDQInI>.
9. **Sozański, Krzysztof.** *Digital Signal Processing in Power Electronics Control Circuits*. (2017) .
10. **Instruments, Texas.** *TPA3130D2DAP*. Maig / 2012.
11. **Llario, Vicente.** *Condensadores de paso y de desacoplo*. 2015.
12. **instructables.com.** *Simple Way to Convert Stereo to Mono*. [En línia]
<https://www.instructables.com/Simple-Way-to-Convert-Stereo-to-Mono/>.
13. **Vicente Llario, Maria José Canet Subiela.** *Pràctica 1, DSADS*. 2012.
14. **Díaz, Manuel J.Bellido.** *Normas Básicas y Recomendaciones en el Diseño de PCBs*. 2015.
15. **Instruments, Texas.** *TPA3130D2EVM Evaluation Module*. Desembre / 2013.
16. **Torres, Miguel Angel Larrea.** *Prontuario de OrCAD Capture*. [YouTube] (2011) .
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLE40D86841BAE61C4> .

4. IMATGES I TAULES

Imatge 1 Esquema d'amplificació.....	7
Imatge 2 Esquema amplificador classe A (3)	9
Imatge 3 Esquema amplificador classe B (3)	10
Imatge 4 Modulacions PWM (www.luisllamas.es)	12
Imatge 5 Modulador PWM (es.wikipedia.org)	12
Imatge 6 Comparació triangular/àudio (www.programmersought.com)	13
Imatge 7 Modulació PWM (www.thomsonlinear.com)	13
Imatge 8 Blocs amplificador classe D (es.wikipedia.org)	14
Imatge 9 Comparativa real/desitjada.....	14
Imatge 10 Etapa de commutació.....	15
Imatge 11 Amplificació en etapa de commutació	15

Imatge 12 Filtre LC	16
Imatge 13 Realimentació negativa (3).....	16
Imatge 14 Diagrama de blocs TPA3130D2DAP (10).....	20
Imatge 15 1.MODSEL.....	21
Imatge 16 Interruptor SD_LR	22
Imatge 17 2. SDZ.....	22
Imatge 18 Connexió a SDZ.....	22
Imatge 19 3.FAULTZ	22
Imatge 20 Pins 4 i 5 stereo	22
Imatge 21 Pins 4 i 5 mono	23
Imatge 22 6.PLIMIT	23
Imatge 23 7.GVDD.....	23
Imatge 24 8.GAIN_SLV master.....	23
Imatge 25 8.GAIN_SLV slave	24
Imatge 26 9.GND	24
Imatge 27 Pins 10 i 11 stereo.....	24
Imatge 28 Pins 10 i 11 mono.....	24
Imatge 30 Pins 13, 14 i 15	25
Imatge 31 16.SYNC master	25
Imatge 32 16.SYNC slave.....	25
Imatge 33 Pins 17, 18 i 19	26
Imatge 34 Decoupling	26
Imatge 35 Pins 20 i 21	26
Imatge 36 Filtre LC	26
Imatge 37 Snubber	27
Imatge 38 Pins 23 i 24 stereo.....	27
Imatge 39 Pins 23 i 24 mono.....	27
Imatge 40 Pins 26 i 27 stereo.....	28
Imatge 41 Pins 26 i 27 mono.....	28
Imatge 42 Pins 29 i 30	28
Imatge 43 33.PAD.....	28
Imatge 44 Disseny stereo	29
Imatge 45 Disseny mono	29
Imatge 45 Interruptor centralitzat	31
Imatge 46 Disseny general dels pins 2 i 3.....	31
Imatge 48 Mòdul de bypass	32
Imatge 49 Connexió RCA	32

Imatge 51 Model simulació	33
Imatge 54 Amplificació stereo 1k Hz	33
Imatge 55 Amplificació mono 1k Hz	34
Imatge 56 Resposta enfreqüència stereo.....	34
Imatge 57 Resposta en freqüència mono.....	35
Imatge 58 Tall inferior setereo.....	35
Imatge 59 Tall superior stereo.....	35
Imatge 60 Tall inferior mono.....	36
Imatge 61 Tall superior mono.....	36
Imatge 62 Sensibilitat stereo	37
Imatge 63 Sensibilitat mono	37
Imatge 64 Esquema impedància d'entrada	38
Imatge 65 Mesura voltatge V1 stereo.....	38
Imatge 66 Esquema impedància d'eixida	39
Imatge 67 Mesura Vx stereo	39
Imatge 68 Mesura V2 stereo	39
Imatge 69 Màxima excursió d'eixida stereo.....	40
Imatge 71 Mesura Slew-Rate.....	41
Imatge 72 Mesura soroll de fons	41
Imatge 74 Disipador (10).....	43
Imatge 75 Distribució usuari.....	44
Imatge 76 Col·locació Eixida PCB	44
Imatge 77 Col·locació Eixides PCB.....	44
Imatge 78 Col·locació circuits integrats.....	45
Imatge 79 Col·locació general circuits integrats	45
Imatge 80 Col·locació decoupling slave	45
Imatge 81 Col·locació decoupling master.....	46
Imatge 82 Col·locació decoupling general.....	46
Imatge 84 Col·locació RCA	46
Imatge 83 Col·locació bypass	46
Imatge 85 Col·locació SD_LR	47
Imatge 89 Top PCB	47
Imatge 90 Bottom PCB	48
Taula 1 Primera selecció.....	18
Taula 2 Característiques dels integrats seleccionats.....	19
Taula 3 Comparació diferents configuracions	30

5.ANNEX

Annex 1: Informació addicional de la part teòrica

SPL (Sound pressure level) (dB)	SPL equivalent a	Potència al altaveu necessària	Potència del amplificador
50	Música de fons a 1 m	100u W a 1 m	1,5m W
60	Parla normal a 1 m	1m W a 1 m	15m W
80	Sala de concerts a 1 m	1 W a 3 m	15 W
110	Banda de Rock a 1 m	2K W a 4,5 m	30K W

Taula A.1. 1 Comparació SPL (dB) / Potència d'amplificació (w) (1)

Ample de pista (mm)	Amperatge màxim (A)
4	10
2	5
1,5	4
1	3
0,5	2
02	0,5

Taula A.1. 2 Ample de pista (14)

Ample de separació (mm)	Diferència de potencial (V)
0,5	DDP<50
0,7	50<DDP<00
1	100<DDP<170
1,2	180<DDP<250
3	250<DDP<500

Taula A.1. 3 Ample separació entre pistes (14)

Annex 2: Fulles característiques de l'integrat

MASTER / SLAVE MODE	GAIN	R1 (to GND) ⁽¹⁾	R2 (to GVDD) ⁽¹⁾	INPUT IMPEDANCE
Master	20 dB	5.6 kΩ	OPEN	60 kΩ
Master	26 dB	20 kΩ	100 kΩ	30 kΩ
Master	32 dB	39 kΩ	100 kΩ	15 kΩ
Master	36 dB	47 kΩ	75 kΩ	9 kΩ
Slave	20 dB	51 kΩ	51 kΩ	60 kΩ
Slave	26 dB	75 kΩ	47 kΩ	30 kΩ
Slave	32 dB	100 kΩ	39 kΩ	15 kΩ
Slave	36 dB	100 kΩ	16 kΩ	9 kΩ

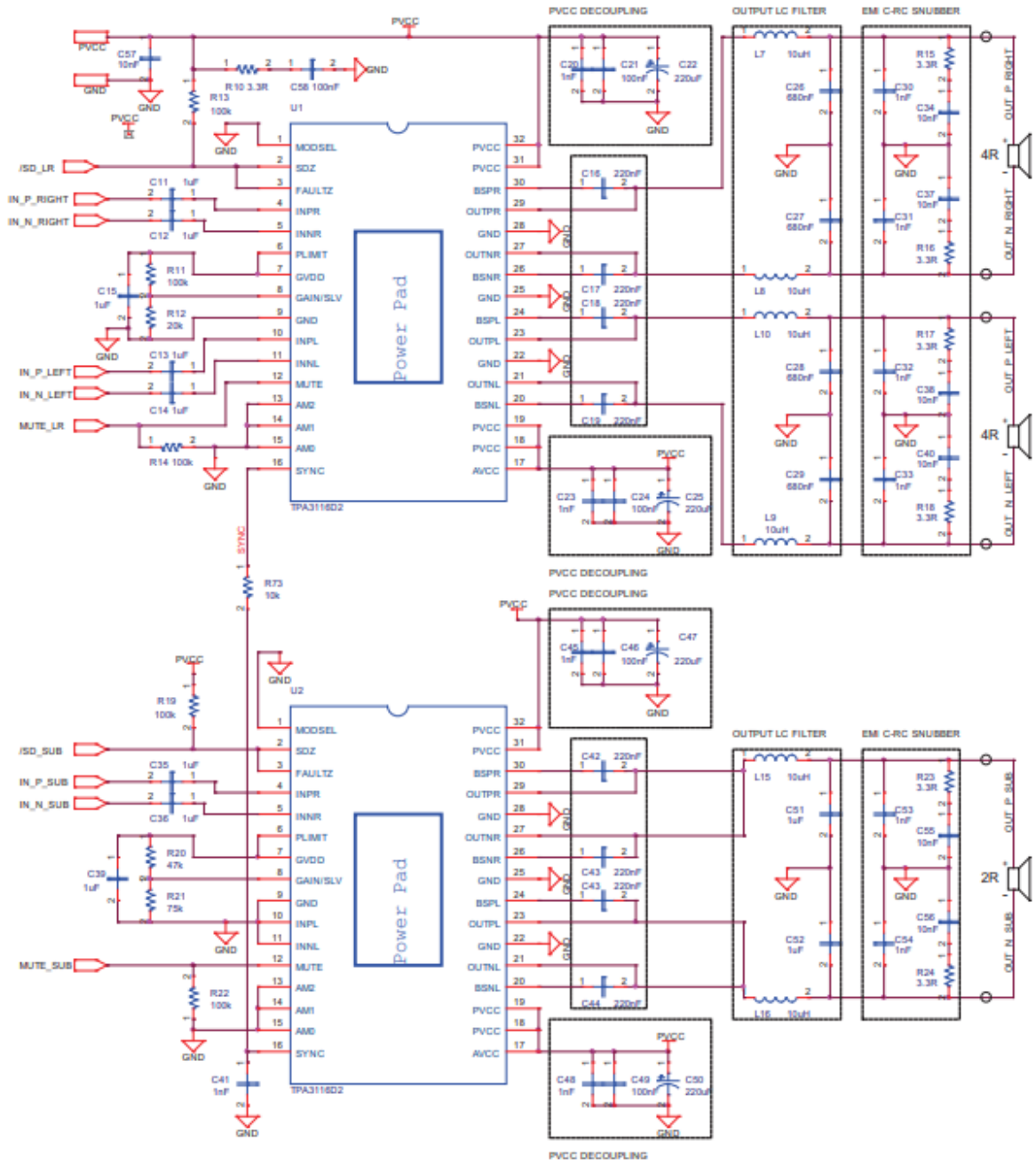
(1) Resistor tolerance should be 5% or better.

Taula A.2. 1 Configuració guany (10)

US	EUROPEAN				
AM FREQUENCY (kHz)	AM FREQUENCY (kHz)	SWITCHING FREQUENCY (kHz)	AM2	AM1	AM0
	522-540				
540-917	540-914	500	0	0	1
917-1125	914-1122	600 (or 400)	0 0	1 0	0 0
1125-1375	1122-1373	500	0	0	1
1375-1547	1373-1548	600 (or 400)	0 0	1 0	0 0
1547-1700	1548-1701	600 (or 500)	0 0	1 0	0 1

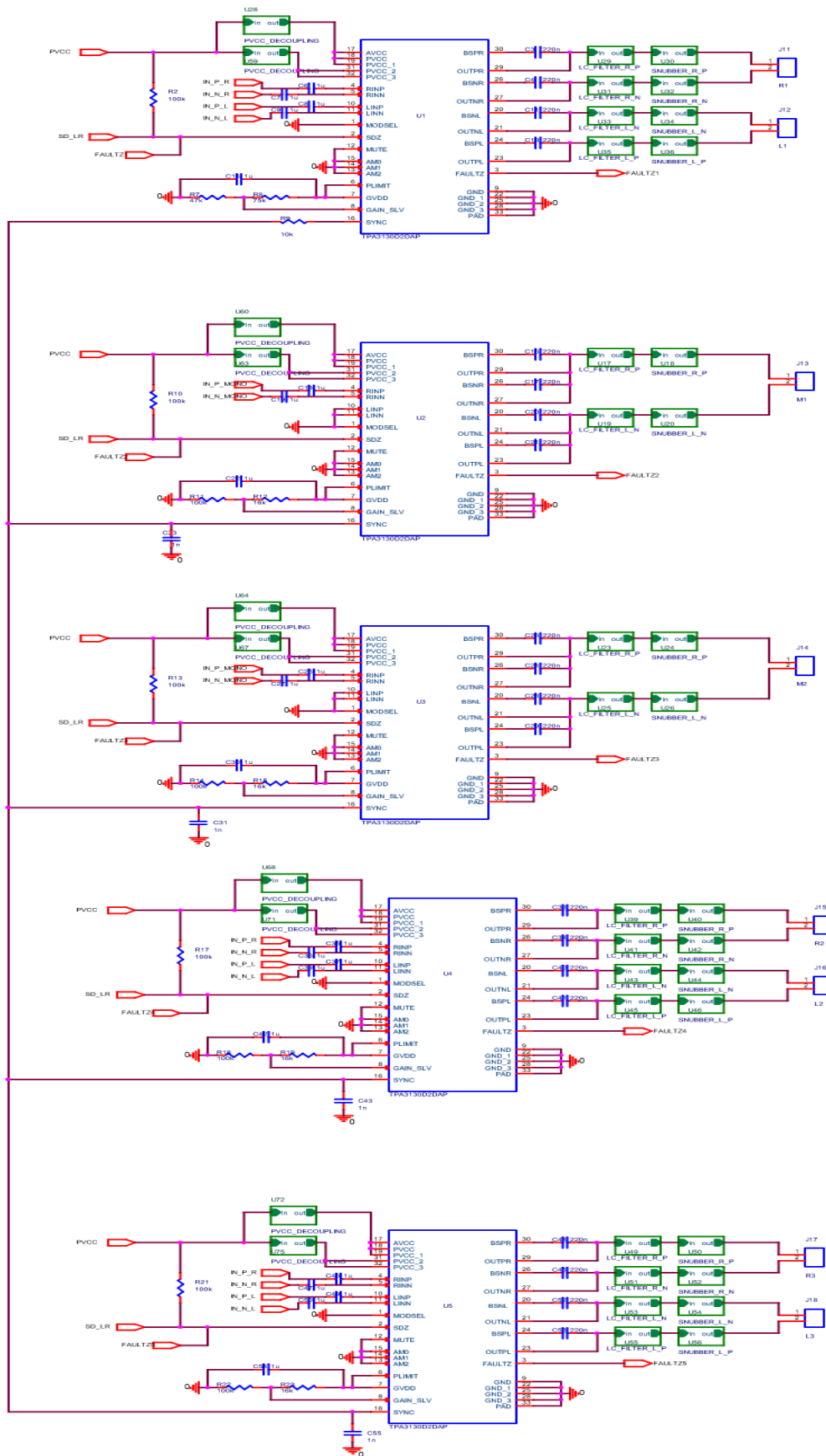
Taula A.2. 2 Configuració de rebuig AM (10)

Disseny i implementació d'un amplificador d'àudio tipus D amb múltiples eixides



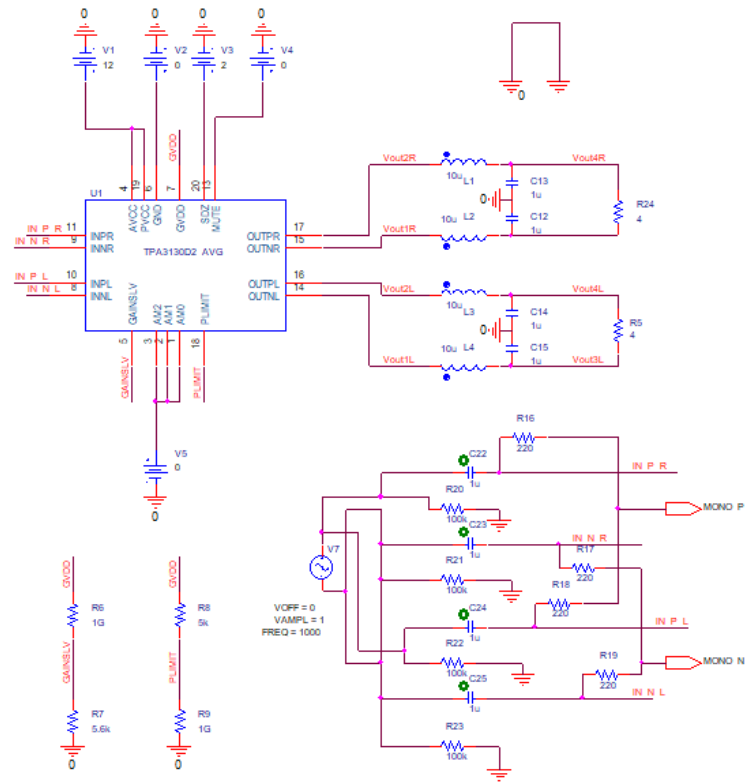
Imatge A.2. 1 Esquemàtic recomanat pel fabricant

Annex 3: Esquemàtic

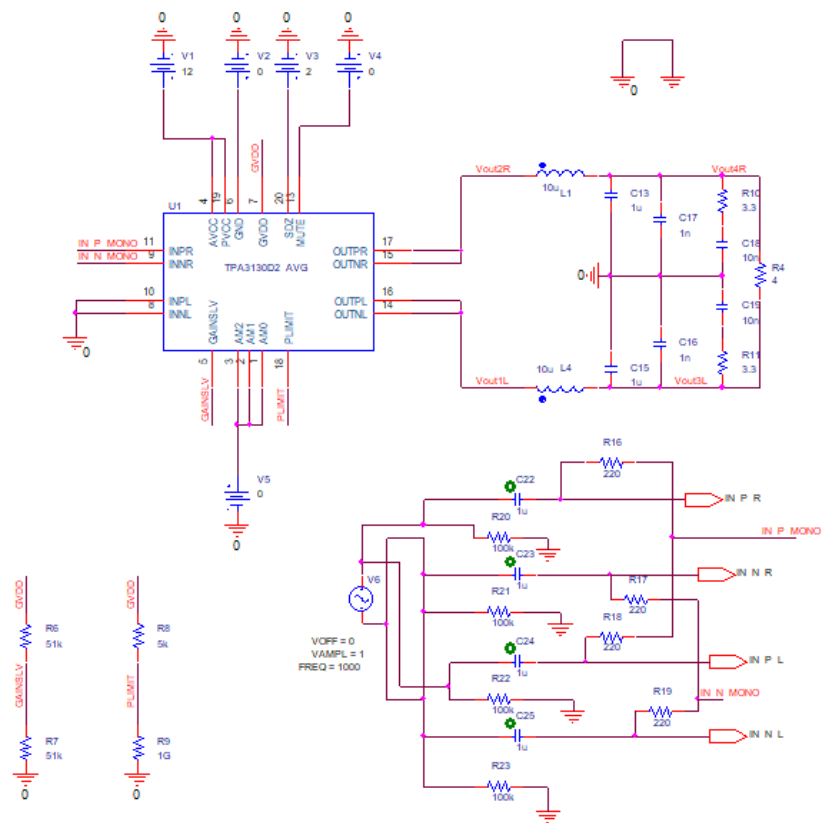


Imatge A.3. 1 Disseny del circuit complet

Annex 4: Simulacions

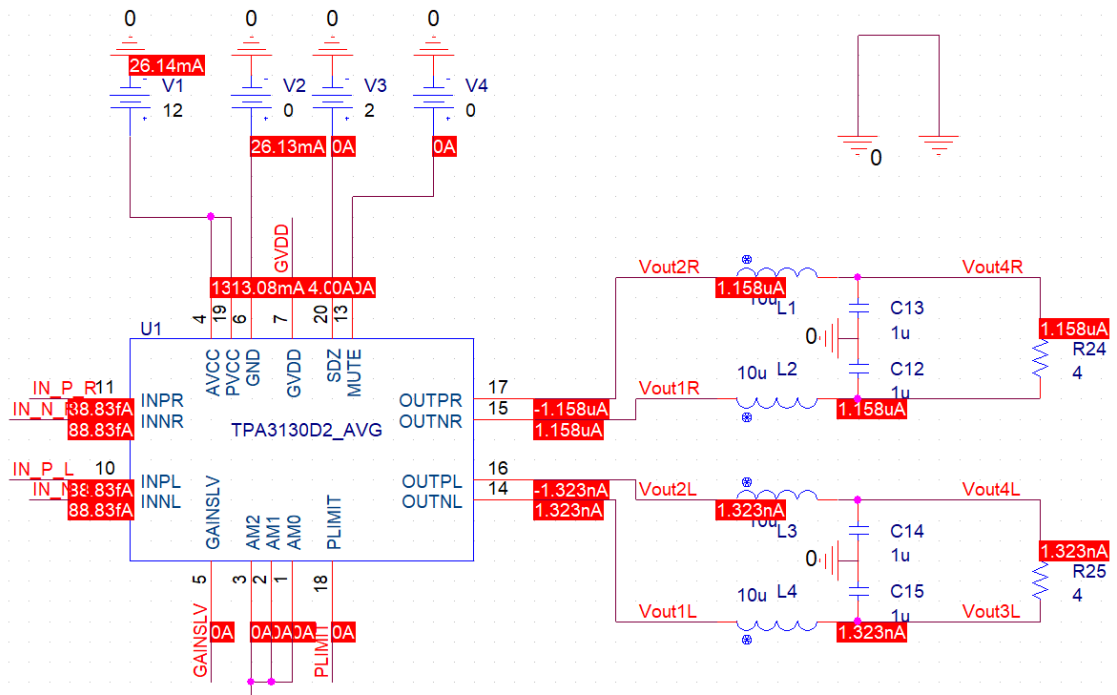


Imatge A.4. 1 Esquemàtic simulació stereo

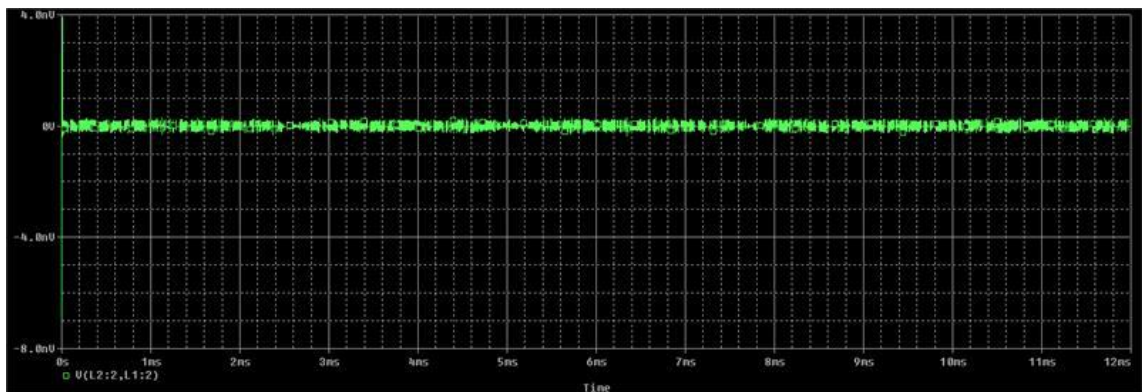
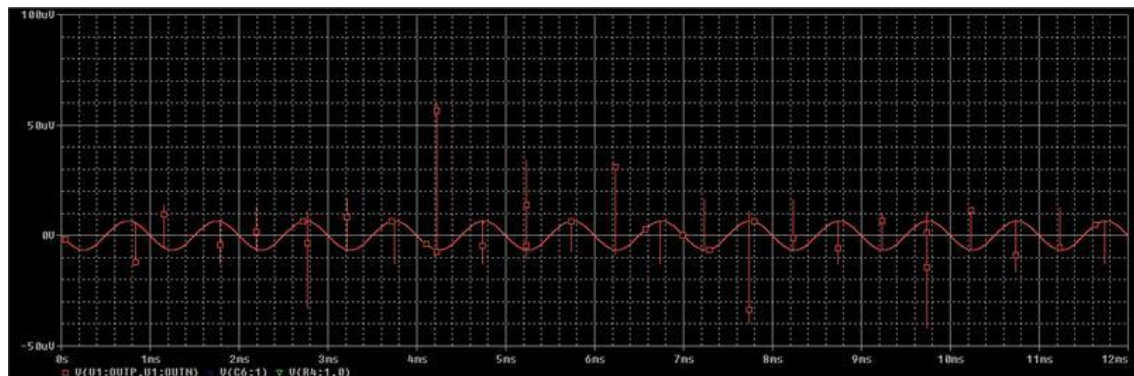


Imatge A.4. 2 Esquemàtic simulació mono

Disseny i implementació d'un amplificador d'àudio tipus D amb múltiples eixides

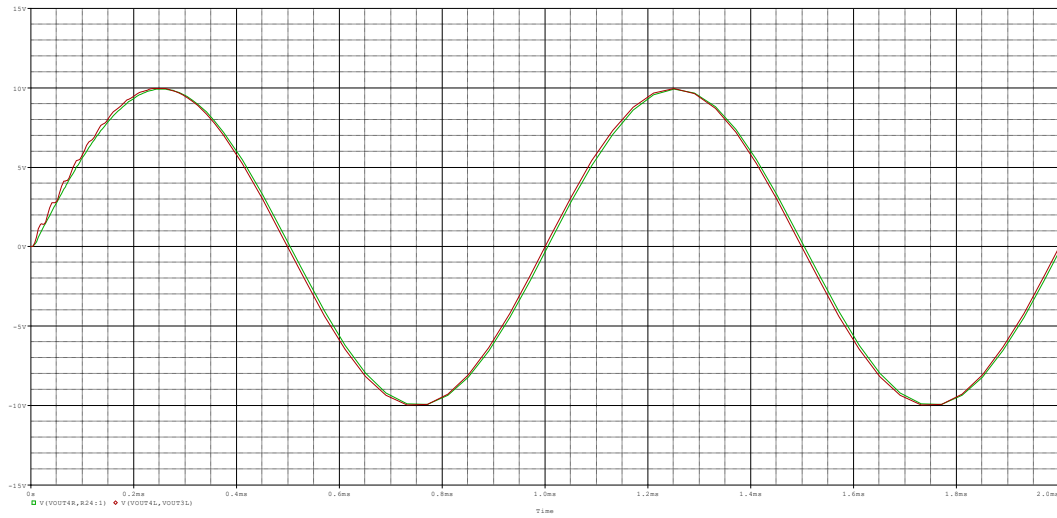


Imatge A.4. 3 Màxim amperatge



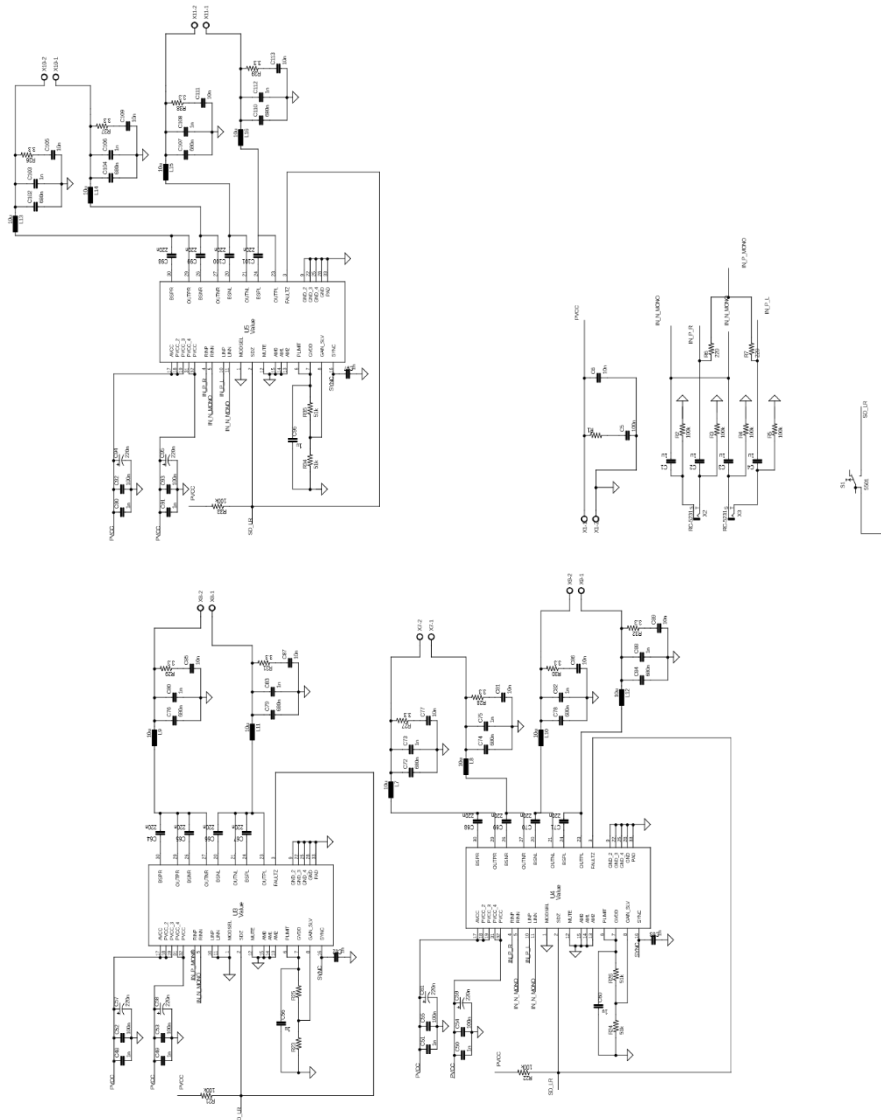
Imatge A.4. 4 Resultats primeres simulacions (errònies)

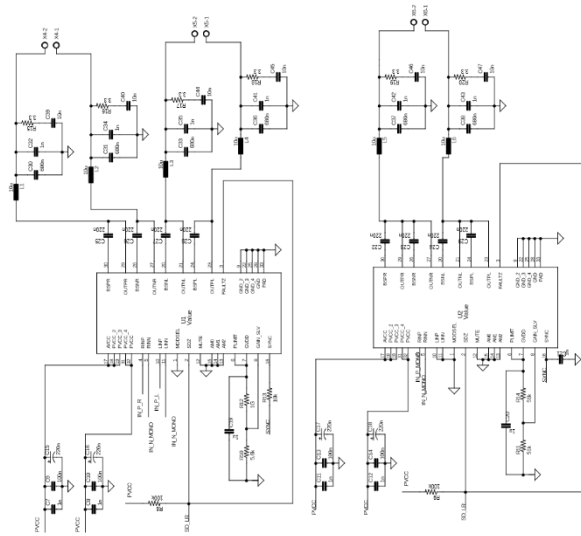
Disseny i implementació d'un amplificador d'àudio tipus D amb múltiples eixides



Imatge A.4. 5 Comparativa senyal prefiltrat (roig), postfiltrat (verd)

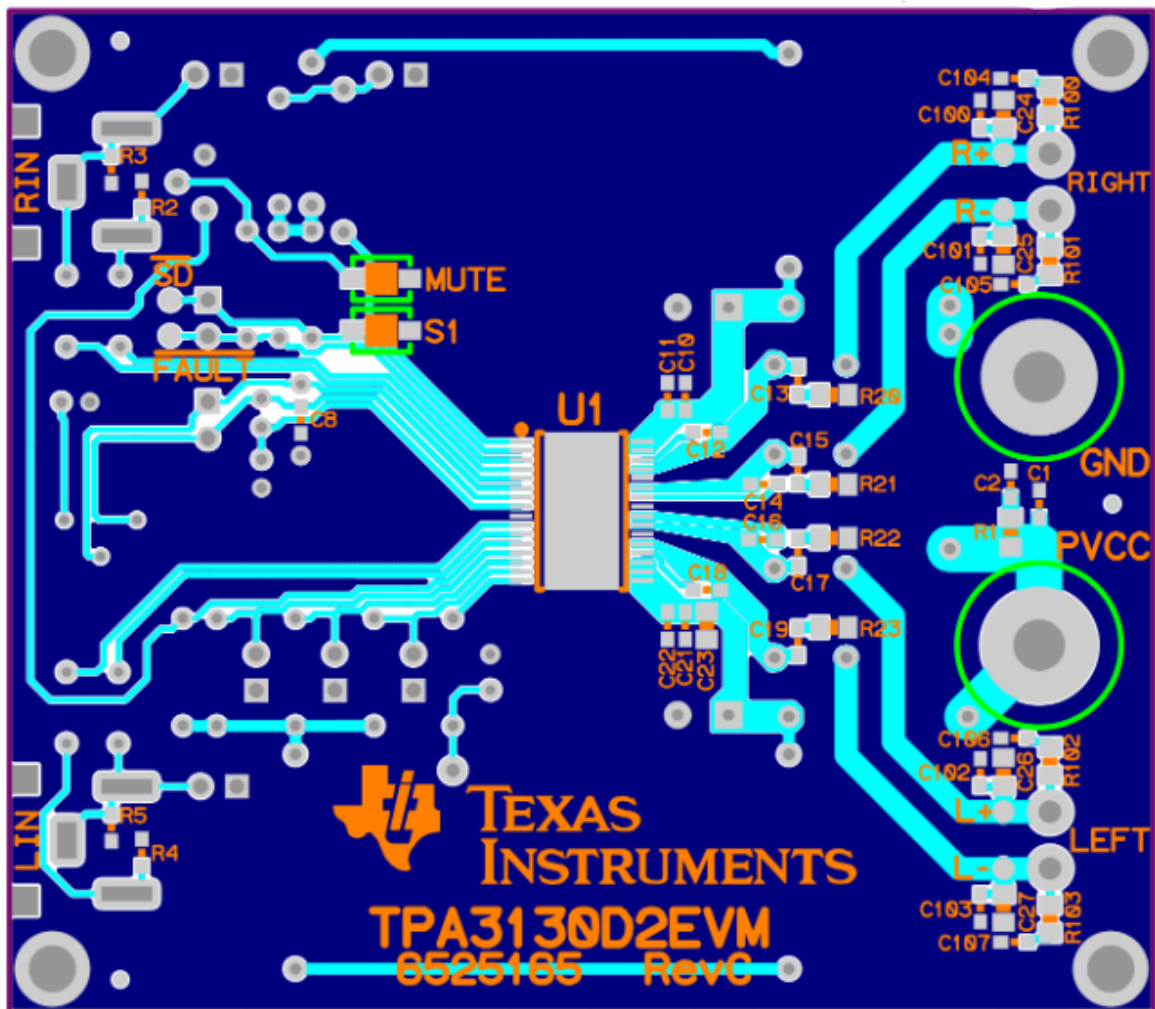
Annex 5: Esquemàtic Eagle:



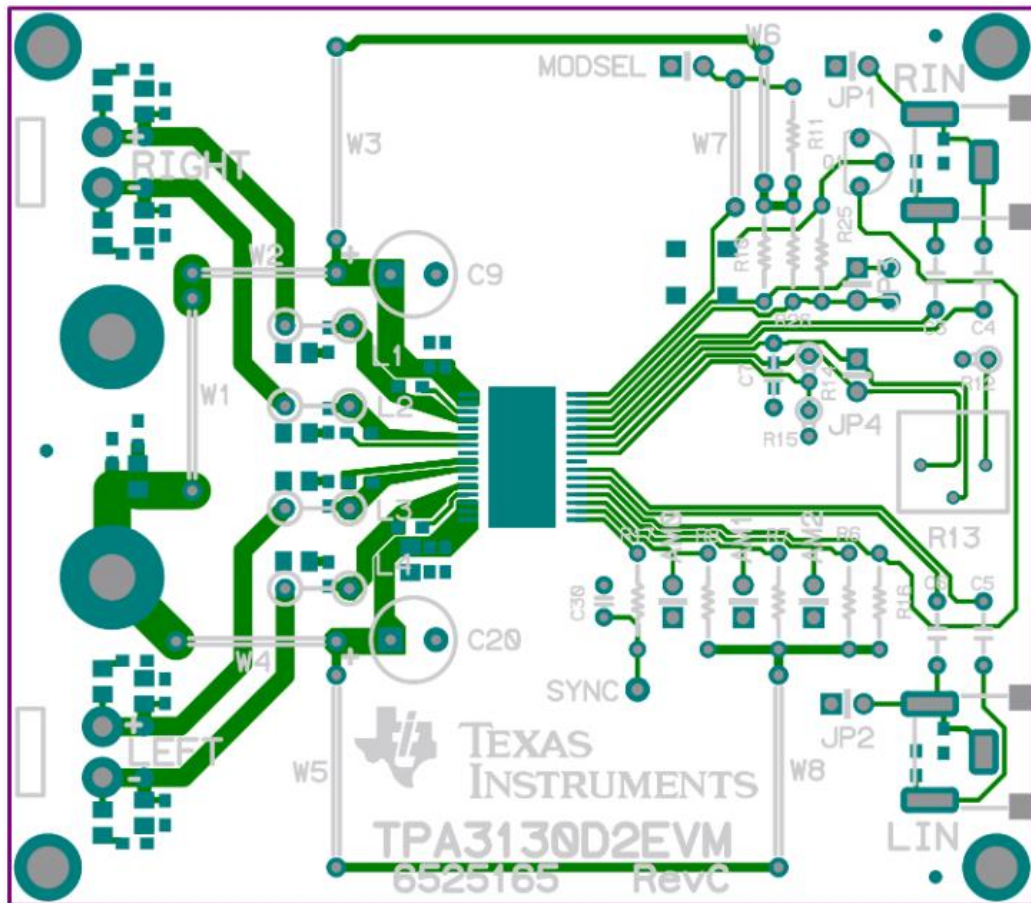


Imatge A.5. 1 Esquemàtic Eagle

Annex 6: Fulles característiques de la placa d'avaluació

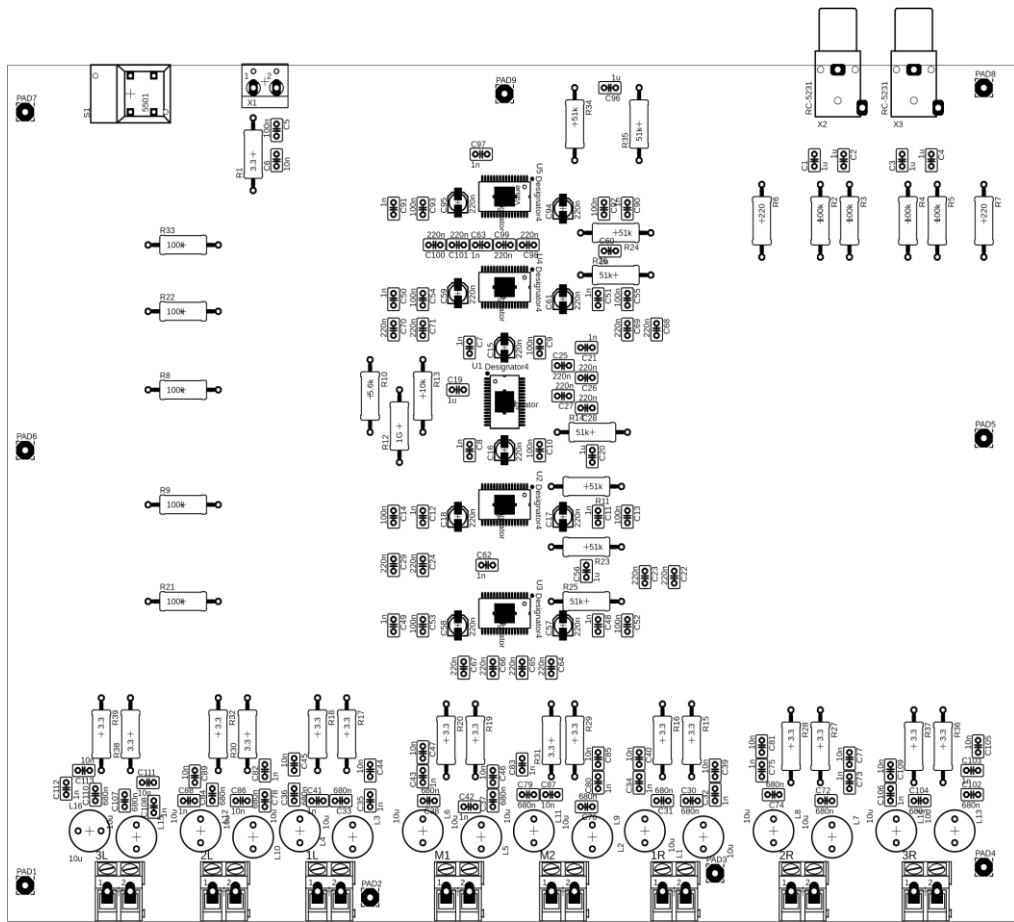


Imatge A.6. 1 Top PCB recomanada pel fabricant

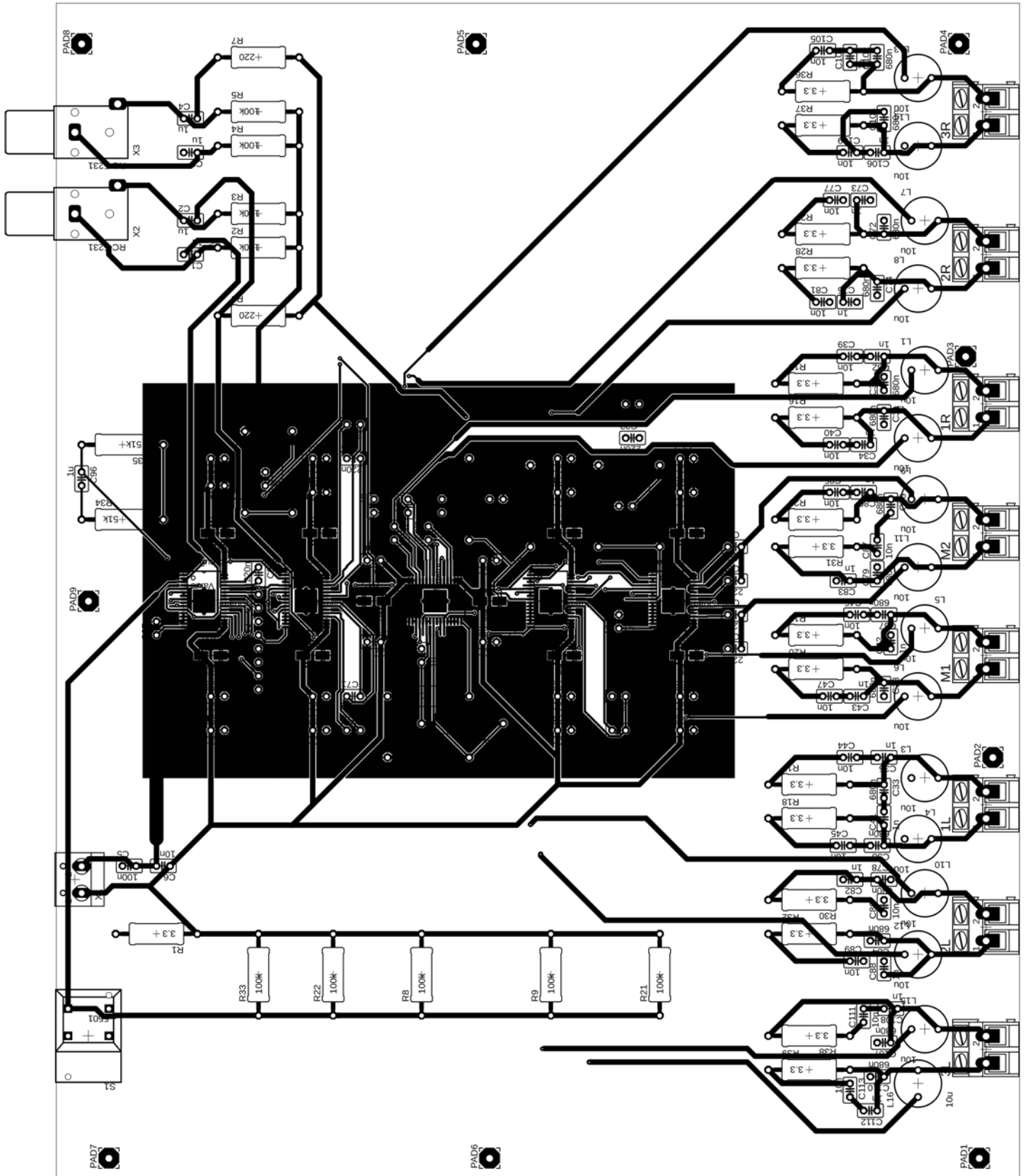


Imatge A.6. 2 Bottom PCB recomanada pel fabricant

Annex 7: Plànols PCB

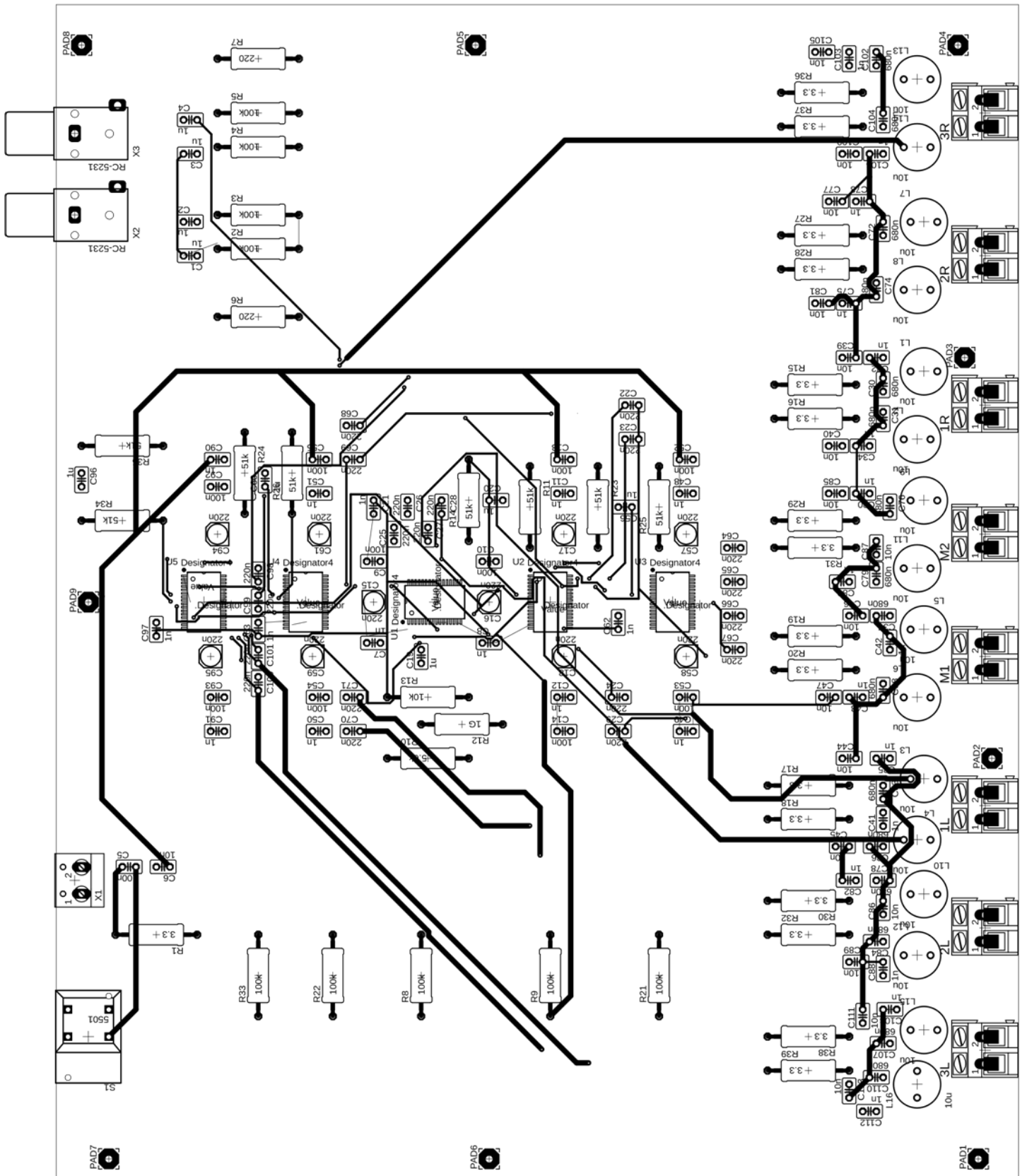


Imatge A.7. 1 PCB sense cablejar

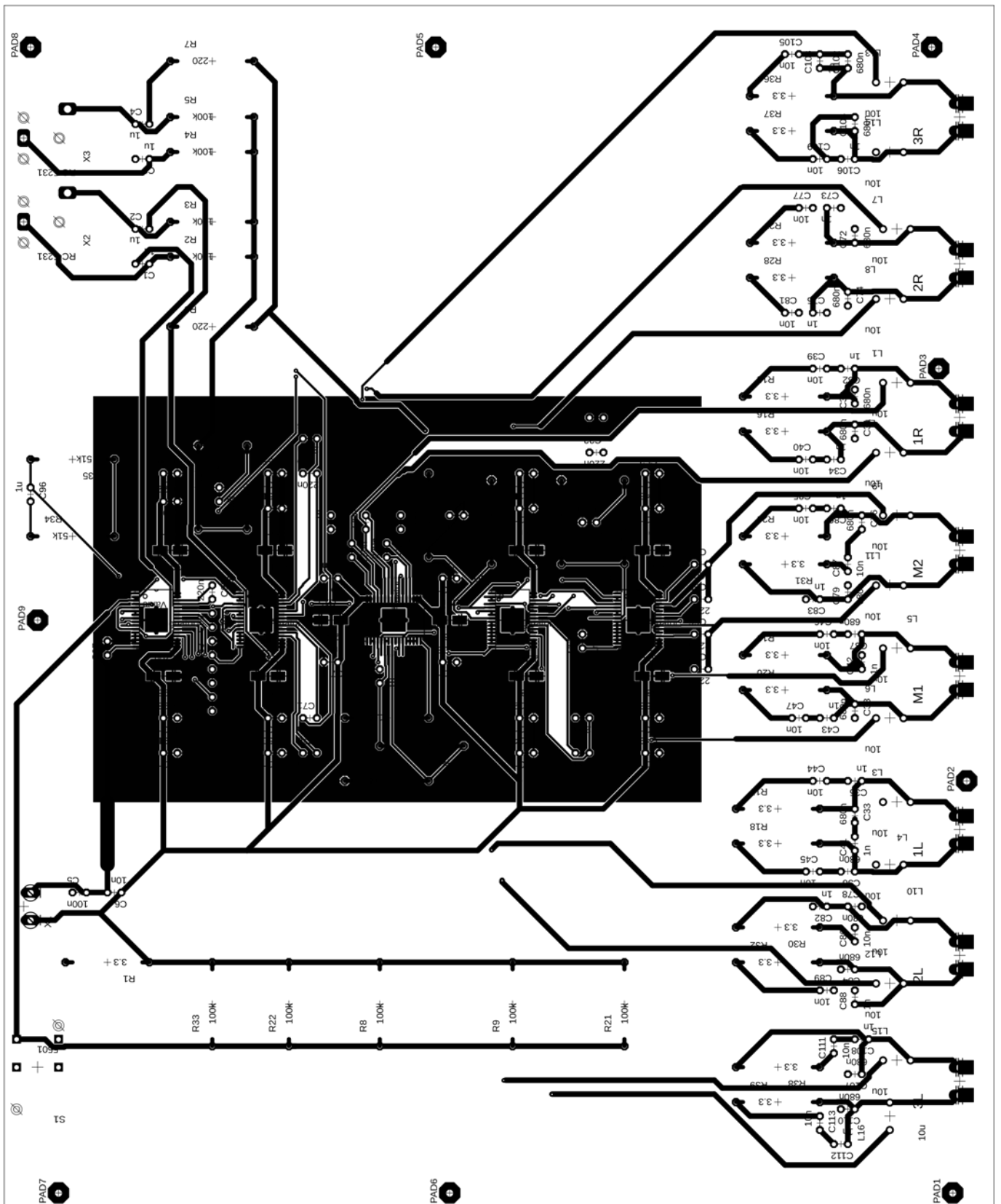


Imatge A.7. 2 Top PCB escala real

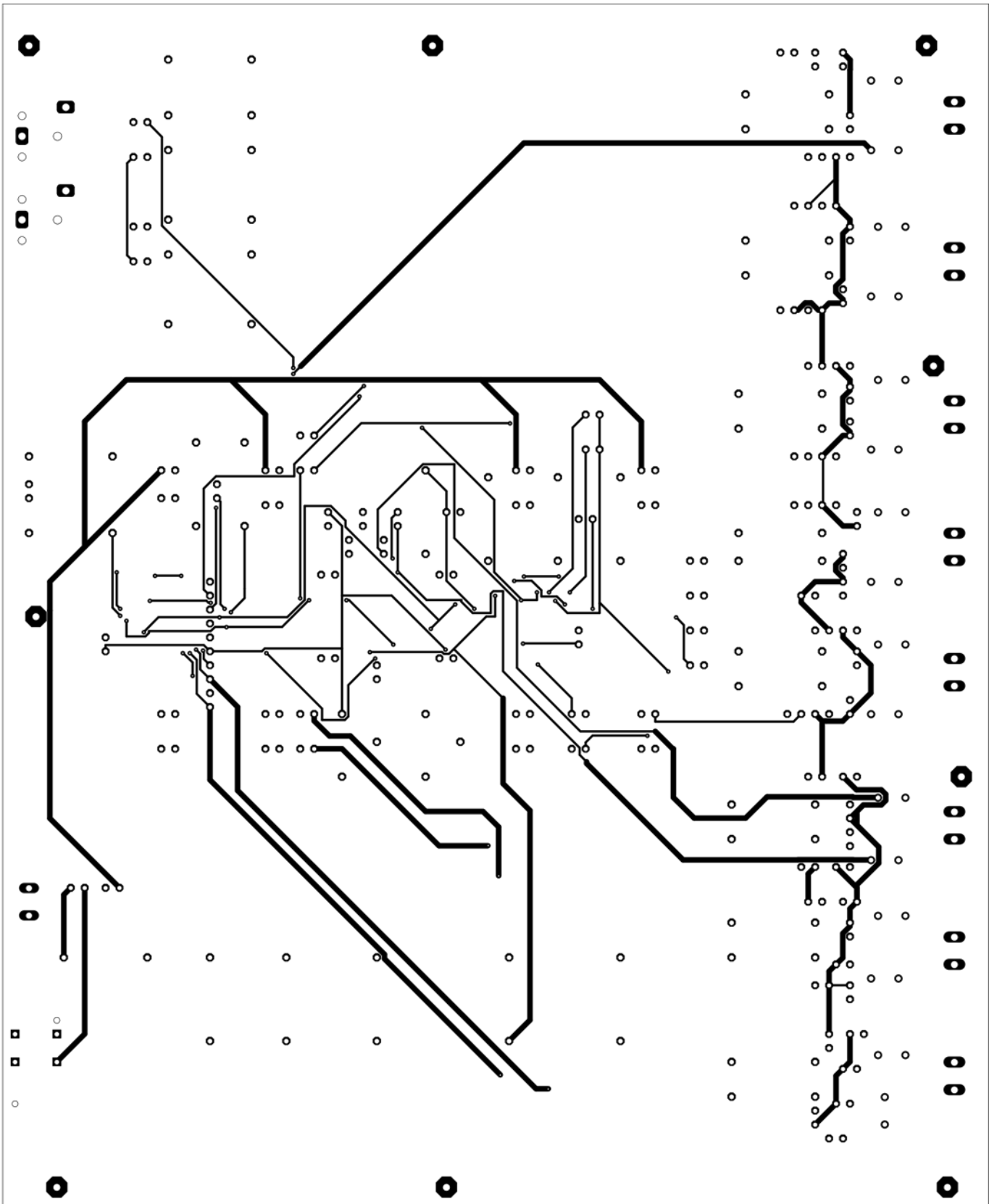
Disseny i implementació d'un amplificador d'àudio tipus D amb múltiples eixides



Imatge A.7. 3 Bottom PCB escala real



Imatge A.7. 4 TOP PCB impressió



Imatge A.7. 5 Bottom PCB impressió

Annex 8: Pressupost

Quantitat	Valor	Component	Preu component	Preu subconjunt	Package	Nom	Descripció
9		3,81/1,4	0	0	3,81/1,4	PAD1, PAD2, PAD3, PAD4, PAD5, PAD6, PAD7, PAD8, PAD9	THROUGH-HOLE PAD
8		AK300/2	0,4	3,2	AK300/2	1L, 1R, 2L, 2R, 3L, 3R, M1, M2	CONNECTOR
1		W237-102	0,8	0,8	W237-102	X1	WAGO SCREW CLAMP
9	100k	R-US_0411/15	0,41	3,69	0411/15	R2, R3, R4, R5, R8, R9, R21, R22, R33	RESISTOR, American symbol
11	100n	C-EU025-025X050	0,46	5,06	C025-025X050	C5, C9, C10, C13, C14, C52, C53, C54, C55, C92, C93	CAPACITOR, European symbol
1	10k	R-US_0411/15	0,09	0,09	0411/15	R13	RESISTOR, American symbol
17	10n	C-EU025-025X050	0,18	3,06	C025-025X050	C6, C39, C40, C44, C45, C46, C47, C77, C81, C85, C86, C87, C89, C105, C109, C111, C113	CAPACITOR, European symbol
16	10u	L-EU6000-XXX-RC	0,46	7,36	6000-XXXX-RC	L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16	INDUCTOR, European symbol
1	1G	R-US_0411/15	0,58	0,58	0411/15	R12	RESISTOR, American symbol
30	1n	C-EU025-025X050	0,32	9,6	C025-025X050	C7, C8, C11, C12, C21, C32, C34, C35, C41, C42, C43, C48, C49, C50, C51, C62, C63, C73, C75, C80, C82, C83, C88, C90, C91, C97, C103, C106, C108, C112	CAPACITOR, European symbol
9	1u	C-EU025-025X050	0,61	5,49	C025-025X050	C1, C2, C3, C4, C19, C20, C56, C60, C96	CAPACITOR, European symbol
2	220	R-US_0411/15	0,05	0,1	0411/15	R6, R7	RESISTOR, American symbol

Disseny i implementació d'un amplificador d'àudio tipus D amb múltiples eixides

20	220n	C-EU025-025X050	0,24	4,8	C025-025X050	C22, C23, C24, C25, C26, C27, C28, C29, C64, C65, C66, C67, C68, C69, C70, C71, C98, C99, C100, C101	CAPACITOR, European symbol
10	220n	CPOL-US153CLV-0405	0,04	0,4	153CLV-0405	C15, C16, C17, C18, C57, C58, C59, C61, C94, C95	POLARIZED CAPACITOR, American symbol
17	3.3	R-US_0411/15	0,37	6,29	0411/15	R1, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R27, R28, R29, R30, R31, R32, R36, R37, R38, R39	RESISTOR, American symbol
1	5.6k	R-US_0411/15	0,04	0,04	0411/15	R10	RESISTOR, American symbol
8	51k	R-US_0411/15	0,14	1,12	0411/15	R11, R14, R23, R24, R25, R26, R34, R35	RESISTOR, American symbol
1	5501	5501	5,07	5,07	5501	S1	PUSHBUTTON SERIES 5500 SWITCHES
16	680n	C-EU025-025X050	0,68	10,88	C025-025X050	C30, C31, C33, C36, C37, C38, C72, C74, C76, C78, C79, C84, C102, C104, C107, C110	CAPACITOR, European symbol
2	RC-5231	RC-5231	0,59	1,18	RC-5231	X2, X3	RCA connectors according to JEITA RC-5231
5	Value	TPA3130D2DA P	2,44	12,2	DAP0032A_N	U1, U2, U3, U4, U5	
1		Amplificador 8 eixides	81,01				

Taula A.8. 1 Pressupost