



DISSENY I FABRICACIÓ D'UN FILTRE EN PCB

ADRIÀ ARÚS SETÓ - 1632367
NEDAL MARTÍNEZ BENELMEKKI - 1632368
MARC SERRA ASENSIO - 1632823

DISSENY I FABRICACIÓ D'UN FILTRE EN PCB

DISSENY I FABRICACIÓ D'UN FILTRE EN PCB

Contingut

Objectiu	3
Disseny de la PCB	4
Desenvolupament d'una llibreria	4
<i>Schematic</i> (Esquemàtic)	5
<i>Layout</i> de la PCB	6
Arxius de fabricació i <i>Bill of Materials</i>	8
Fabricació de la placa	9
Fotolitografia	9
Fresat	10
Impressió amb tinta conductora	10
Muntatge dels components	12
Test del circuit	13

DISSENY I FABRICACIÓ D'UN FILTRE EN PCB

Objectiu

Durant les pràctiques, s'havia de dissenyar un filtre passa-baixos (aproximació Butterworth) d'ordre quatre, implementat amb dues configuracions Sallen-Key de segon ordre en cascada.

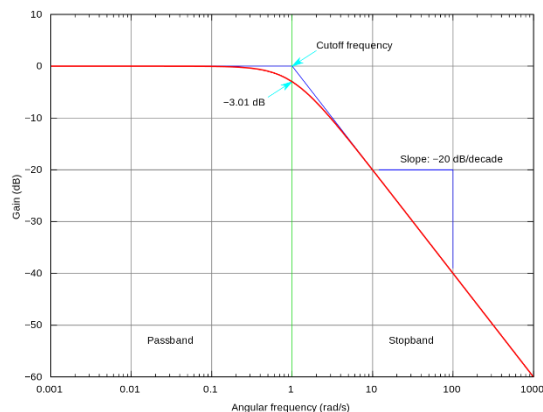


Figura 1: Filtre patró

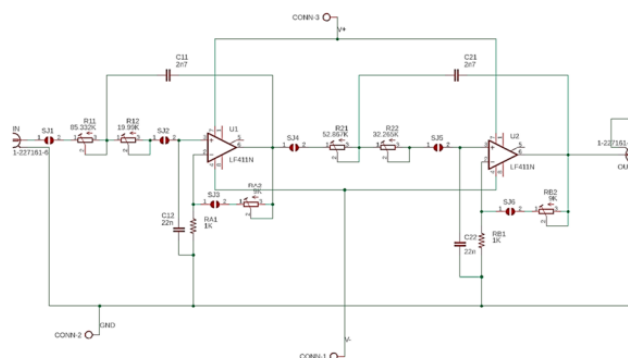


Figura 2: Disseny del circuit.

El filtre tindrà una banda de pas amb un guany de 40 dB (100 en lineal) amb una freqüència de tall de 500 Hz (freqüència on el guany cau 3 dB).

A la primera sessió de pràctiques es va dissenyar el circuit que implementa el filtre, seleccionant els components adequats i amb els valors corresponents. A continuació, a la segona pràctica, es varen descobrir els processos de fabricació d'aquest tipus de plaques. Seguint a la tercera pràctica, on se soldaren els components a la placa, construint el filtre desitjat. Finalment, a la quarta pràctica, es va dur a terme el test del circuit final muntat a la PCB.

Disseny de la PCB

La primera etapa de tot el procés consistia en dissenyar la PCB. Per a aquesta fase de disseny, calia familiaritzar-se amb softwares de tipus ECAD (*Electronic Computer Assisted Design*). Tot i que hi ha moltes eines diferents, com ara *Altium Designer* (estàndard de la indústria), *CircuitMaker*, o *KiCad* (entre moltes altres), s'ha realitzat tot el procés de disseny mitjançant *Eagle*, una eina produïda per *Autodesk*, la prestigiosa empresa d'eines CAD.

En el cas concret de la pràctica, es requerien diverses etapes, o capes, per a realitzar el circuit. En primer lloc, s'havia de crear una llibreria per poder utilitzar un component que no existia en la llibreria per defecte d'Eagle. Un cop creada la llibreria, es requeria desenvolupar l'esquemàtic (*schematic*), el *layout* de la placa i els arxius de fabricació. Tanmateix, tot i que no es demanava, per continuar amb les millors pràctiques del disseny electrònic, també s'afegirà una llista de materials (*Bill of Materials*).

A continuació, es detalla cada un d'aquests subapartats.

Desenvolupament d'una llibreria

Com bé s'ha esmentat anteriorment, el disseny del filtre proposat s'implementa amb un component que no existeix a les llibreries estàndard del programari Eagle. Així doncs, es procedeix a crear una llibreria pròpia amb un únic component: el potenciòmetre TSM4 de Vishay.

A l'hora de definir una llibreria, hi ha quatre camps que es poden emplenar: dispositius, footprints, paquets 3D i símbols. Com que no es visualitzarà el render de la placa en 3D (ja que això se surt de l'abast de la pràctica) i només s'hi afegeix un dispositiu, s'hauran d'emplenar tres camps. En primer lloc, es tracta el símbol. Des del punt de vista de component per a un esquemàtic, el TSM4 continuarà sent un potenciòmetre (amb tres terminals) i, per tant, es pot reutilitzar un símbol més general d'un potenciòmetre. Específicament, s'ha utilitzat el símbol corresponent a POT-EU.

Un cop definit el símbol, cal crear el seu footprint. El footprint del component descriu com és físicament i té importància a l'hora de dissenyar el *layout* de la PCB. Mitjançant el footprint es defineixen característiques fonamentals del component, com ara la naturalesa de la seva tecnologia (SMD – Surface Mount Device, o THD – Through Hole Device) i les seves dimensions. Al datasheet del component es troben les dimensions corresponents, i s'ha aconseguit implementar el footprint i el corresponent silkscreen (per poder localitzar correctament el component en la placa física). A continuació, s'adjunta una figura amb el resultat final.

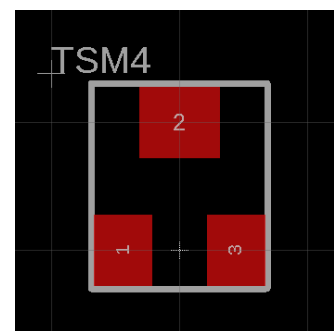


Figura 3: Implementació del footprint del TSM4

DISSENY I FABRICACIÓ D'UN FILTRE EN PCB

Un cop obtingut el *footprint* i el símbol del component, el següent i últim pas és el *Device*. El dispositiu (*Device*) és la integració del símbol amb el *footprint* per acabar de caracteritzar el component mitjançant la relació entre les connexions del símbol elèctric i les parts reals i/o físiques, i la petjada del component. Un cop finalitzat aquest procés, es pot desar la llibreria al directori on es troben les altres llibreries d'*Eagle*. D'aquesta manera, el component desitjat ja pot ser utilitzar en els dissenys a partir de la importació de la llibreria.

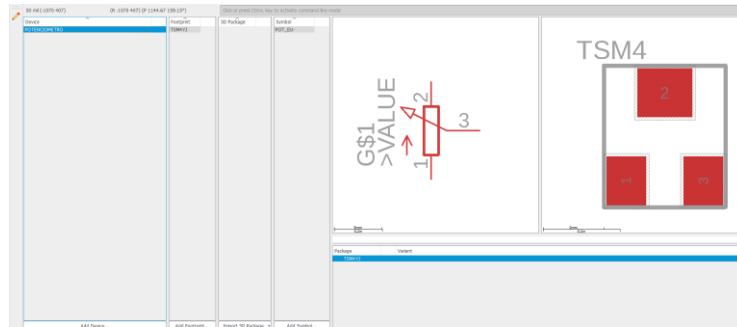


Figura 4: Llibreria finalitzada. Símbol, footprint i device acabats.

Schematic (Esquemàtic)

La generació del *schematic* és una etapa relativament senzilla. Gràcies a la realització de la “Pràctica 0”, ja es disposa del disseny del filtre amb el circuit en format *PDF*, es proporciona la llista de components, i amb la implementació de la llibreria es té accés a tots els components. D'aquesta manera, només cal implementar el circuit, de manera molt similar a com es fa en simuladors SPICE.

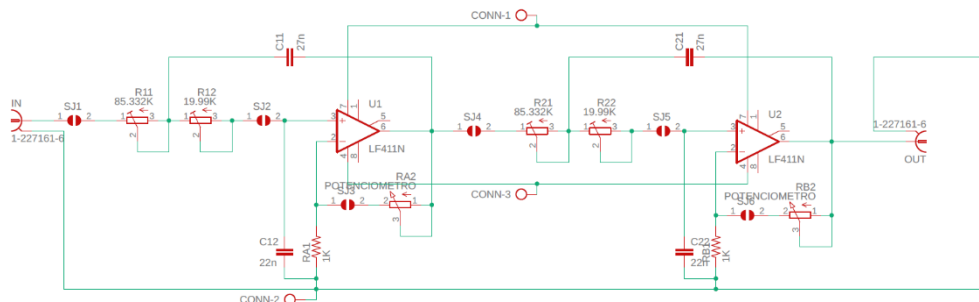


Figura 5: Schematic realitzat.

Cal recalcar, però, que generalment els *schematics* en eines de disseny de PCBs no es realitzen d'aquesta manera. En aquest cas particular, a causa de la simplicitat del circuit i la seva repetitivitat (dues configuracions Sallen-Key de segon ordre en cascada), a més de la familiaritat amb eines SPICE, es permet enfocar el disseny del *schematic* així. No obstant això, generalment en aquest apartat es troben els diversos mòduls de la PCB, ordenats segons la seva utilitat i no pel seu *layout*. En aquest cas, es podrien haver separat les dues configuracions Sallen-Key com a dos mòduls separats i indicar la seva connexió per nom (etiquetant el net), però es pot argumentar que això afegiria una capa de complexitat innecessària.

DISSENY I FABRICACIÓ D'UN FILTRE EN PCB

Finalment, es revisa que no hi hagi cap error amb l'*Electrical Rule Check* (ERC). A causa que components com l'amplificador operacional no s'alineen bé amb la resta, ha calgut solucionar alguns avisos de connexions que "estaven molt a prop, però no es tocaven". S'han solucionat aquests avisos, però encara queden altres que no s'han pogut resoldre, com la falta de valors de components (marca tots els *jumpers* i I/O BNC com a *warning*) i les alimentacions de l'amplificador operacional. El més important, però, és que supera l'ERC sense cap errada. S'adjunta una imatge a continuació.

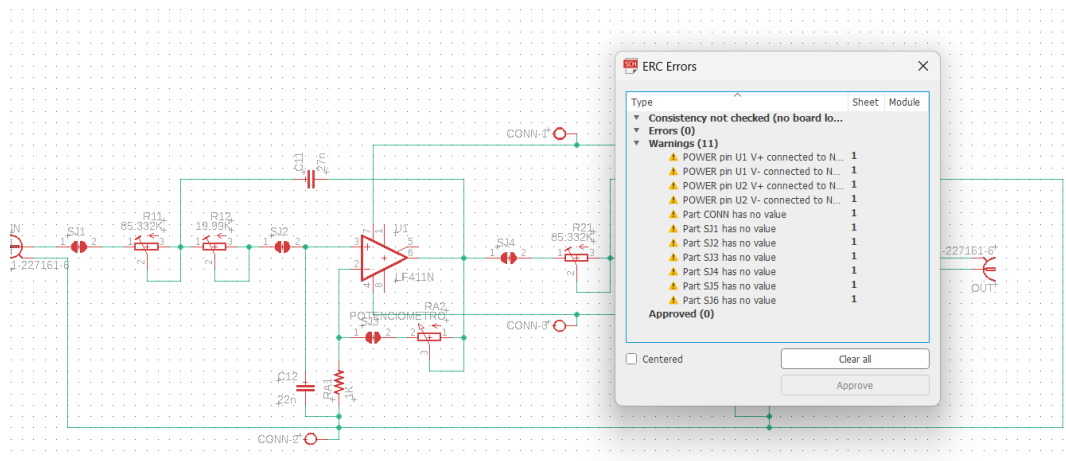


Figura 6: Schematic sense errades.

Layout de la PCB

Un cop finalitzat el *Schematic*, es procedeix a realitzar el *Layout*. Per l'experiència obtinguda i per la documentació d'Eagle, és convenient mantenir obert tant l'esquemàtic com l'arxiu de *layout*, ja que d'aquesta manera se sincronitzen els canvis automàticament.

Inicialment, s'havia de definir la mida de la PCB. A la capa de *Dimensions* es defineix el polígon equivalent i s'adjunten les mesures. Posteriorment, es defineixen les regles DRC, es realitzen els forats de fixació, es col·loquen els components, es realitzen les vies (a la capa *bottom*) i s'afegeix el pla de massa (a la capa *top*). El resultat final és el següent:

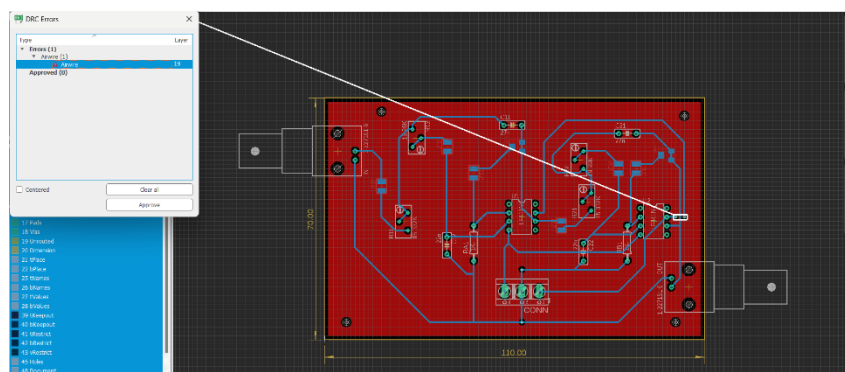


Figura 7: Resultat final de PCB.

DISSENY I FABRICACIÓ D'UN FILTRE EN PCB

Com bé es pot observar, hi ha una errada de circuit obert. Aquesta no es pot resoldre, ja que per la naturalesa del nostre circuit, és impossible trobar un camí del circuit que no causi un encreuament. De fet, si es modela el circuit com un graf, aquest no compliria el principi d'Euler, confirmant així la hipòtesi. A conseqüència s'afegeixen dues vies, per, de manera igual a la que es va fer experimentalment al laboratori, es pugui utilitzar un *jumper wire* (pont) per realitzar la connexió.

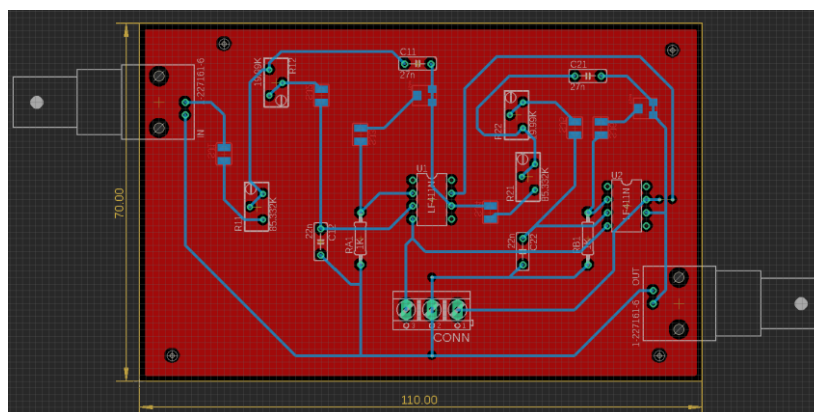


Figura 8: Layout de la PCB.

Així doncs, s'ha realitzat el *layout* de la PCB. Per comprovar que està tot correcte (temes de *silkscreen*, o forats, entre d'altres), s'utilitza l'eina "*Manufacturing*" d'Eagle, que permet veure un *render* en dues dimensions de la placa:

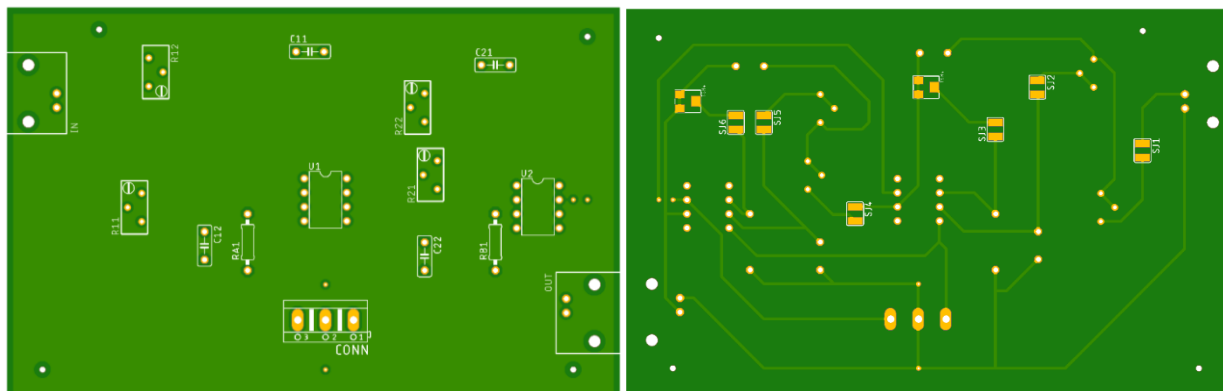


Figura 9: Render de la PCB en dues dimensions (Esquerra: capa top, Dreta: capa bottom)

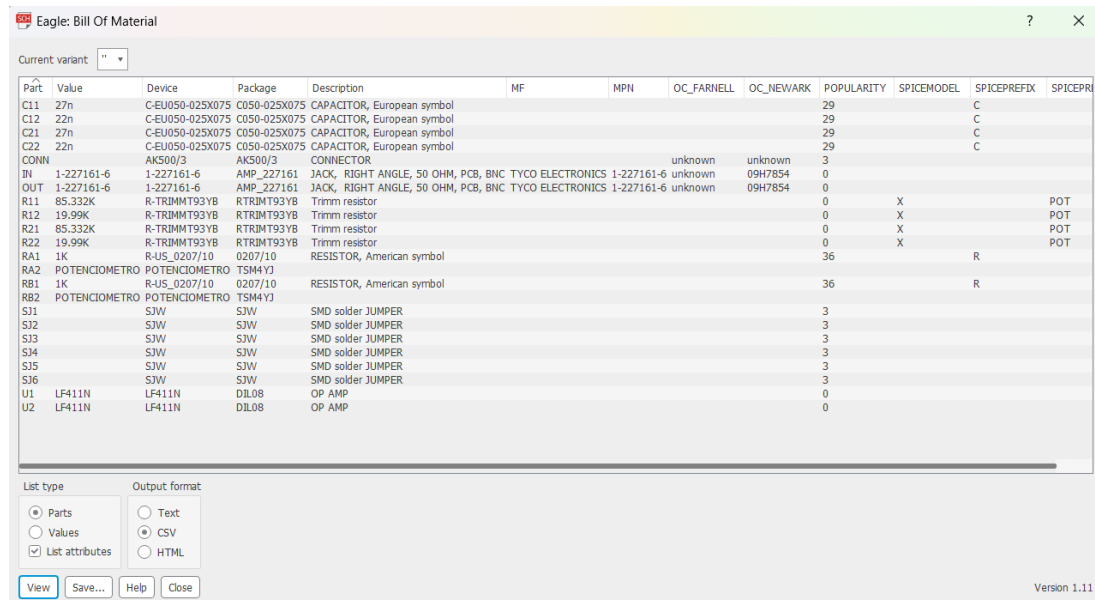


Figura 10: Render dels forats (drills) de la PCB.

DISSENY I FABRICACIÓ D'UN FILTRE EN PCB

Arxius de fabricació i *Bill of Materials*

Des del *Schematic*, seleccionem “*File*”, després “*Export*” i finalment “*BOM*”. D’aquesta manera, es pot exportar un llistat del BOM (*Bill of Materials*). S’ha afegit aquest arxiu a la carpeta del projecte, en format CSV (*BOM.csv*).



Eagle: Bill Of Material

Current variant: "

Part	Value	Device	Package	Description	MF	MPN	OC_FARNELL	OC_NEWARK	POPULARITY	SPICEMODEL	SPICEPREFIX	SPICEPRI
C11	22n	C-EU050-025X075	C050-025X075	CAPACITOR, European symbol					29		C	
C12	22n	C-EU050-025X075	C050-025X075	CAPACITOR, European symbol					29		C	
C21	27n	C-EU050-025X075	C050-025X075	CAPACITOR, European symbol					29		C	
C22	22n	C-EU050-025X075	C050-025X075	CAPACITOR, European symbol					29		C	
CONN		AK500/3	AK500/3	CONNECTOR			unknown	unknown	3			
IN	1-227161-6	1-227161-6	AMP_227161	JACK, RIGHT ANGLE, 50 OHM, PCB, BNC TYCO ELECTRONICS	1-227161-6	unknown	09H7854		0			
OUT	1-227161-6	1-227161-6	AMP_227161	JACK, RIGHT ANGLE, 50 OHM, PCB, BNC TYCO ELECTRONICS	1-227161-6	unknown	09H7854		0			
R11	85.332K	R-TRIMMT93YB	RTRIMT93YB	Trim resistor					0	X		POT
R12	19.99K	R-TRIMMT93YB	RTRIMT93YB	Trim resistor					0	X		POT
R21	85.332K	R-TRIMMT93YB	RTRIMT93YB	Trim resistor					0	X		POT
R22	19.99K	R-TRIMMT93YB	RTRIMT93YB	Trim resistor					0	X		POT
RA1	1K	R-US_0207/10	0207/10	RESISTOR, American symbol					36		R	
RA2	POTENCIOMETRO	POTENCIOMETRO	TSM4YJ									
RB1	1K	R-US_0207/10	0207/10	RESISTOR, American symbol					36		R	
RB2	POTENCIOMETRO	POTENCIOMETRO	TSM4YJ									
SJ1		SJW	SJW	SMD solder JUMPER					3			
SJ2		SJW	SJW	SMD solder JUMPER					3			
SJ3		SJW	SJW	SMD solder JUMPER					3			
SJ4		SJW	SJW	SMD solder JUMPER					3			
SJ5		SJW	SJW	SMD solder JUMPER					3			
SJ6		SJW	SJW	SMD solder JUMPER					3			
U1	LF411N	LF411N	DIL08	OP AMP					0			
U2	LF411N	LF411N	DIL08	OP AMP					0			

List type: ☒ Parts ☐ Values ☒ List attributes

Output format: ☐ Text ☒ CSV ☐ HTML

View Save... Help Close

Version 1.11

Figura 11: Generació del BOM.

Finalment, des de l'arxiu del *layout*, se selecciona l'opció de generar els fitxers *Gerber* (*Generate CAM data*). S'emmagatzemen aquests arxius en una carpeta ZIP al directori del projecte (*Gerber_Files.zip*).

Fabricació de la placa

En una de les sessions de les pràctiques es van explicar tres processos de fabricació d'una placa PCB. Dos d'aquests processos eren de tipus subtractiu i l'altre de tipus additiu. Els processos subtractius consisteixen en el fet que el material conductor amb el que es fan les pistes es troben inicialment a la placa i es treu d'allà on no es vol. Per contra, els processos additius consisteixen a afegir el material conductor a un substrat que inicialment no el té.

Veiem ara en més detall cada un dels processos.

Fotolitografia

Es tracta d'un dels dos processos subtractius i consisteix a remoure el coure a partir d'atacs químics en aquelles zones desprotegides d'una resina sensible a la llum. Els passos són els següents:

Primerament, es fa una rentada del coure tot per evitar impureses com l'òxid de coure a causa de l'exposició amb l'aire. Seguidament, es fa la sensibilització que consisteix a dipositar una resina fotosensible. Aquests dos primers passos no es van veure, ja que la placa PCB ja venia amb la resina fotosensible protegint la superfície del coure.

El procés continua amb la definició de la màscara a partir d'una impressora en un material transparent. En el cas de les pràctiques, les parts que tapava la màscara eren les pistes deixant al descobert la resina fotosensible allà on no volem coure. Idealment, els coeficients d'expansió tèrmica del material transparent és igual al de la placa. En cas contrari, es podria perdre definició.

Seguidament, s'exposa la resina fotosensible a llum ultraviolada (la més energètica per accelerar el procés) en una insoladora per debilitar les parts desprotegides de la màscara. Cal tenir en compte que hi ha casos on succeeix el contrari, és a dir, que és la part que no ha rebut llum ultraviolada la debilitada, però en les pràctiques es va veure el primer cas.

Després es fa un revelatge retirant la resina debilitada amb sosa càustica (molt diluïda) exposant així el coure que es vol remoure de la placa. A continuació es fa l'atac químic en el qual es treu el coure amb clorur fèrric en aquelles parts on no hi ha resina.

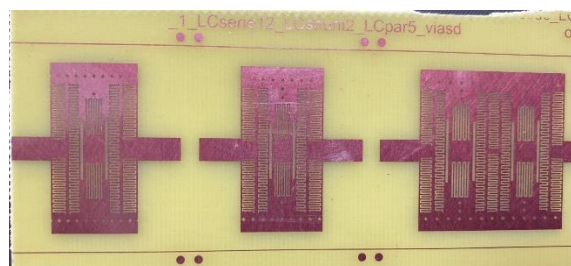


Figura 12: Exemple de fotolitografia després del revelatge

Finalment es fa un despeniment de la resina que en s'ha servit per protegir el coure de les pistes.

DISSENY I FABRICACIÓ D'UN FILTRE EN PCB

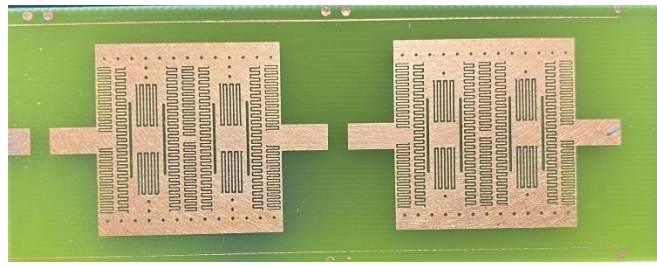


Figura 13: Resultat final

Fresat

Aquesta és l'altra tècnica substractiva. En aquest cas es remou el coure amb una màquina que té una peça giratòria anomenada fresa. El procediment que segueix la màquina consisteix en els passos descrits a continuació.

Primer la màquina s'alinea de manera automàtica i es fan els forats. Seguidament remou el coure amb les fresas. Aquestes són de carbur tungstè i es van canviant de diàmetre segons la necessitat (poden anar des de 0.2 mm fins a 3 mm).

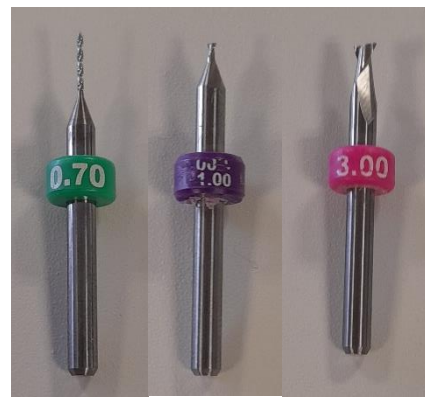


Figura 14: Fresas de diferents mides

Finalment es talla per obtenir la peça.

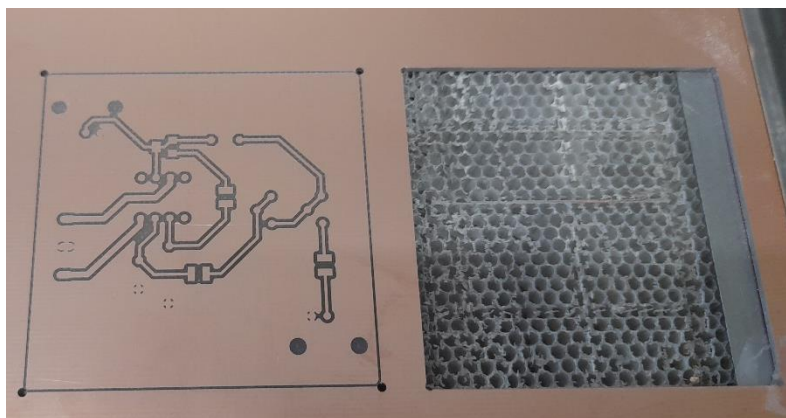


Figura 15: Lamina abans i després del tall

Aquest procediment té com a contrapartida que és notablement més car, ja que les fresas són cares i es desgasten amb l'ús.

Impressió amb tinta conductora

Aquesta darrera tècnica és l'additiva, també coneguda com a "injecció de tinta". Com bé indica el seu nom, es basa en una màquina (amb un cost d'aproximadament 5.000 €) que imprimeix les

DISSENY I FABRICACIÓ D'UN FILTRE EN PCB

pistes directament sobre la placa mitjançant uns cartutxos de tinta, que costen uns 100 € cadascun.

El procés d'ús és força senzill en comparació amb les dues tècniques anteriors. La màquina esmentada, mitjançant un èmbol i l'aplicació de pressió sobre aquest, dissipa un material (generalment plata o algun altre material amb partícules de plata). Aquesta impressió es pot realitzar des d'una plantilla o a mà alçada, amb la placa en blanc. Així, indicant al programari associat a la màquina quin tipus de tinta es té, i seguint les instruccions proporcionades (és un procés molt guiat), es pot començar a imprimir el circuit. Cal tenir en compte que la placa sobre la qual s'imprimeix ha de ser plana i uniforme.

Un cop realitzada tota aquesta fase de preparació, es pot procedir a la impressió del circuit. Inicialment, s'ha de muntar la punta de calibració, on es calibrarà l'alçada, es farà una calibració en moviment, i es marcaran els límits del circuit. Un cop calibrat, es començarà a pintar amb un patró de "tocs" per acabar la calibració. La finalització d'aquests "tocs" marca la fi del procés de calibració. El programari ho indicarà i donarà la instrucció de començar la impressió.

Girant l'èmbol s'aconsegueix afegir pressió fins que surti la tinta. Quan això succeeix, netegem la punta i la col·loquem a la màquina. La màquina imprimirà unes línies de calibració. Si està tot correcte, es continua seguint les instruccions del programari. Si no, es pot esborrar amb alcohol i paper, ja que el material encara no s'ha solidificat.

Finalment, es procedeix a imprimir el circuit. Cal anar amb compte perquè s'han de curar les pistes per acabar de solidificar-les. Amb el circuit resultant, es poden soldar components manualment, tenint en compte les limitacions de material i temperatura. No obstant això, també existeix l'opció de soldar amb la mateixa màquina, canviant el material de la tinta.

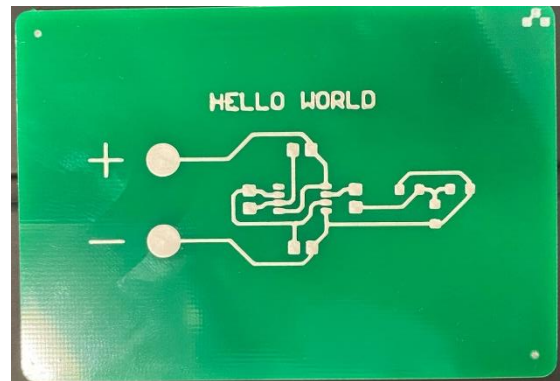


Figura 16: Resultat de la tècnica additiva

Muntatge dels components

En el cas de les pràctiques, es van fer soldadures a mà dels diferents components sobre la placa PCB. A més dels components necessaris, es van utilitzar un soldador amb una esponja mullada, estany i una malla metàl·lica.

Abans de començar, calia escalfar el soldador a la temperatura correcta, la qual cosa es comprovava amb una mica d'estany. El procés de soldar consistia a escalfar el metall de la placa i del component, i un cop calent, afegir l'estany perquè la soldadura quedés ben mullada i sense excessos de material.

Aquest grup va tenir problemes inicials per entendre bé el funcionament, però finalment es van realitzar totes les soldadures satisfactòriament. Es va demanar feedback al professorat, i es van rebre comentaris positius quant a la qualitat de les soldadures. A continuació es mostren fotografies dels resultats.

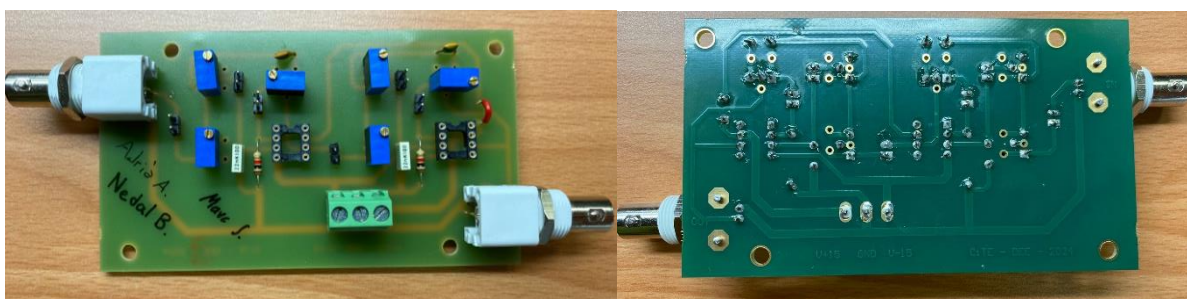


Figura 17: Resultats del muntatge.

DISSENY I FABRICACIÓ D'UN FILTRE EN PCB

Test del circuit

Una vegada implementada la placa, s'han calibrat els components amb els valors nominals. Per testejar el funcionament del filtre, es fa un escombrat de freqüències veient el resultat. S'ha generat un diagrama de Bode per a poder comprovar que el nostre sistema funciona correctament:

f [Hz]	Vin [V]	Vout [V]	G	G [dB]	Atenuació [dB]
1,00E+00	1,00E-01	1,24E+01	124	41,8684337	0
1,00E+01	1,00E-01	1,24E+01	124	41,8684337	0
1,00E+02	1,00E-01	1,24E+01	124	41,8684337	0
1,25E+02	1,00E-01	1,17E+01	1,17E+02	41,34885686	0,519576848
1,50E+02	1,00E-01	1,09E+01	1,09E+02	40,73257791	1,135855796
1,75E+02	1,00E-01	9,76E+00	9,76E+01	39,78899635	2,07943735
2,00E+02	1,00E-01	8,68E+00	8,68E+01	38,7703945	3,0980392
2,25E+02	1,00E-01	7,60E+00	7,60E+01	37,61627185	4,252161858
2,50E+02	1,00E-01	6,60E+00	6,60E+01	36,39087871	5,477554992
2,75E+02	1,00E-01	5,68E+00	5,68E+01	35,08696671	6,781466989
3,00E+02	1,00E-01	4,88E+00	48,8	33,76839644	8,100037263
3,50E+02	1,00E-01	3,48E+00	3,48E+01	30,83158488	11,03684882
4,00E+02	1,00E-01	2,48E+00	2,48E+01	27,88903362	13,97940009
4,50E+02	1,00E-01	1,80E+00	1,80E+01	25,1054501	16,7629836
5,00E+02	1,00E-01	1,28E+00	1,28E+01	22,14419939	19,72423431
5,50E+02	1,00E-01	9,38E-01	9,38	19,44405677	22,42437694
6,00E+02	1,00E-01	7,14E-01	7,14	17,07396424	24,79446947
7,00E+02	1,00E-01	4,24E-01	4,24	12,54731713	29,32111657
8,00E+02	1,00E-01	2,60E-01	2,6	8,299466959	33,56896674
9,00E+02	1,00E-01	2,00E-01	2	6,020599913	35,84783379
1,00E+03	1,00E-01	1,82E-01	1,82	5,20142776	36,66700594
2,00E+03	1,00E-01	1,40E-01	1,4	2,922560714	38,94587299
5,00E+03	1,00E-01	9,60E-02	9,60E-01	-0,354575339	42,22300904

DISSENY I FABRICACIÓ D'UN FILTRE EN PCB

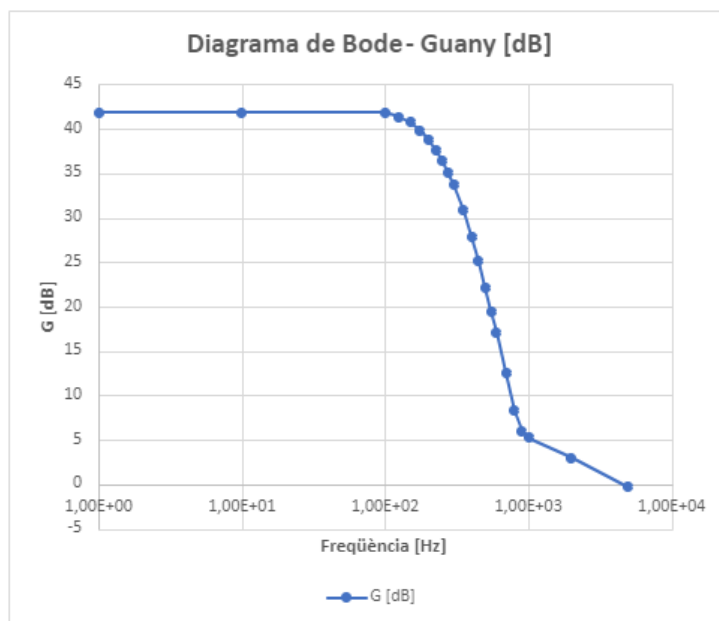
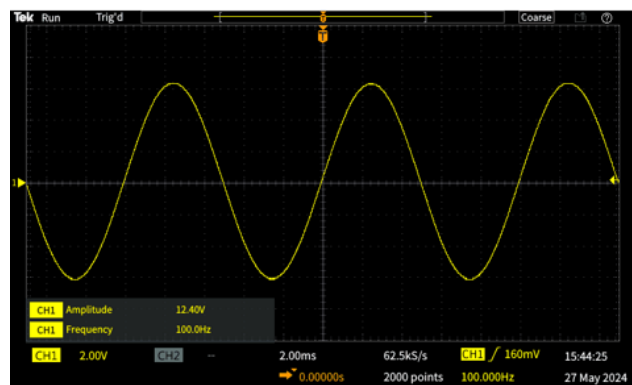


Figura 18: Diagrama de Bode utilitzant els valors nominals.

S'observa la forma d'un filtre Butterworth passa-baixos, amb un guany d'uns 41 dB (124 en lineal) a la banda de pas i una freqüència de tall de al voltant de 200 Hz. A la banda atenuant es veu un pendent d'uns 80 dB per dècada, conseqüència de l'ordre 4 del filtre.

Es pot comparar el resultat d'amplificar un senyal en la banda de pas (100 Hz) amb el de la banda atenuant (400 Hz) per a una entrada d'amplitud 50 mV:



TBS1052C - 08:42:45 27/05/2024

Figura 19: Guany a la banda passant.

DISSENY I FABRICACIÓ D'UN FILTRE EN PCB

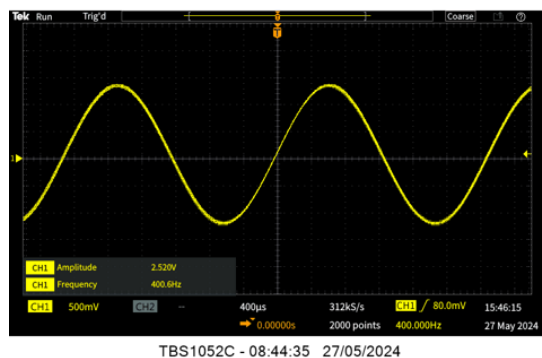


Figura 20: Guany/Atenuació a la banda d'atenuació.

Ajustant els valors als del disseny s'obté el següent diagrama de Bode:

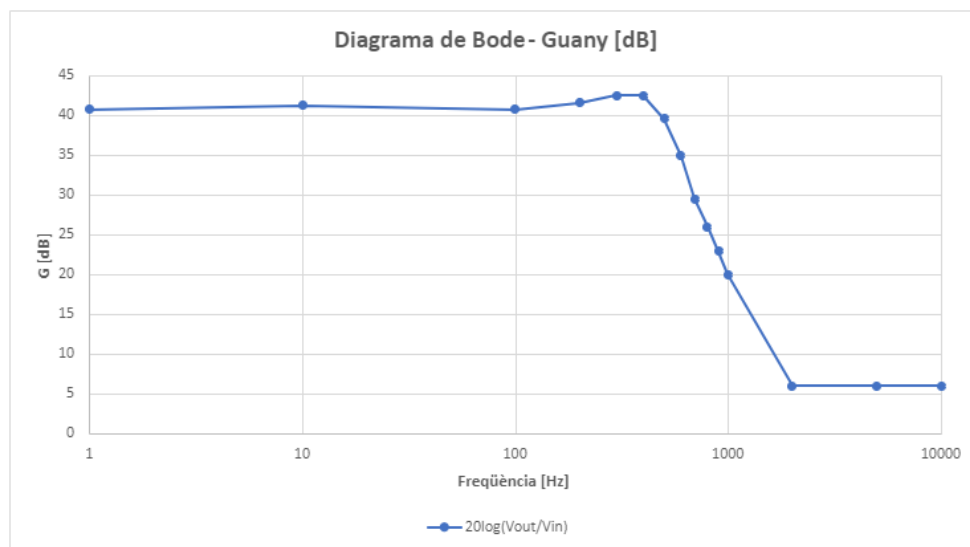


Figura 21: Diagrama de Bode amb els valors ajustats.

Com es pot observar, a causa de no idealitats tenim un factor de qualitat més elevat del desitjat.

En conclusió, el nostre sistema implementa un filtre *Butterworth* passa-baix totalment funcional.