



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

**ANÀLISI I DISSENY D'UN EQUIP DE COMUNICACIÓ  
MITJANÇANT LA XARXA ELÈCTRICA**



**Memòria i Annexos**

**Autor:** Marc Rubió Solsona  
**Director:** Alfonso Conesa Roca  
**Convocatòria:** Juny 2021



## Resum

Aquest treball de fi de grau, consisteix en l'anàlisi i el disseny d'un equip que es pugui comunicar a través de la xarxa elèctrica. L'equip està format per dos circuits, el circuit emissor, que és l'encarregat d'enviar la senyal a la xarxa i el circuit receptor, on la seva funció, és detectar la senyal enviada pel circuit emissor.

Aquests dos circuits s'han analitzat amb *Matlab*. Es van extreure les funcions de transferència i els diagrames de Bode de cada un dels circuits, per tal de verificar el disseny en el domini de la freqüència. Posteriorment amb el programa *PSim*, s'han verificat els circuits i el seu funcionament en el domini del temps.

Finalment, a través d'un circuit integrat comercial *LM567*, es podrà detectar la freqüència rebuda pel circuit receptor, i d'aquesta manera poder transformar la senyal analògica en una senyal digital.

## Resumen

Este trabajo de fin de grado, consiste en el análisis i diseño de un equipo que se pueda comunicar a través de la red eléctrica. El equipo está formado por dos circuitos, el circuito emisor, que es el encargado de enviar la señal a la red, y el circuito receptor, que su función es detectar la señal enviada por el emisor.

Estos dos circuitos se han analizado con *Matlab*. Se extrajeron las funciones de transferencia y los diagramas de Bode de cada uno de los circuitos, para verificar el diseño en el dominio de la frecuencia. Posteriormente con el programa *Psim*, se han verificado los circuitos y su funcionamiento en el dominio del tiempo.

Finalmente, a través de un circuito integrado comercial *LM657*, se podrá detectar la frecuencia recibida por el circuito receptor, y de esta manera poder transformar la señal analógica en una señal digital.

## Abstract

This final degree project consists of the analysis and design of a device that can communicate through the electrical network. The equipment consists of two circuits, the emitter circuit, which is responsible for sending the signal to the network, and the receiver circuit, whose function is to detect the signal sent by the emitter.

These two circuits have been analysed with *Matlab*. The transfer functions and Bode diagrams of each of the circuits were extracted to verify the design in the frequency domain. Subsequently, with *Psim*, the circuits and their operation in the time domain were verified.

Finally, through a commercial integrated circuit *LM657*, it will be possible to detect the frequency received by the receiver circuit, and thus be able to transform the analog signal into a digital signal.



## **Agraïments**

Principalment, al meu tutor del treball de fi de grau, Alfonso Conesa Roca, per la seva exigència, el constant suport, l'orientació i la confiança d'acompanyar-me durant la trajectòria del projecte.

A les meves amistats, als meus companys i companyes de la universitat, ja que gràcies a ells el camí fins aquí ha sigut més fàcil.

Finalment a la meva família, en especial als meus pares, que han estat sempre recolzant-me i ajudant-me quan ho he necessitat.





# Índex

<b>RESUM</b>	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>V</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>9</b>
1.1. Objectius del treball .....	9
<b>2. ANÀLISI DEL CIRCUIT</b>	<b>11</b>
2.1. Estudi del transformador .....	12
2.2. Circuit emissor.....	17
2.2.1. Disseny del circuit emissor .....	17
2.2.2. Funcions de transferència .....	21
2.3. Circuit receptor .....	31
2.3.1. Funció de transferència.....	34
2.4. LM567.....	37
<b>3. ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL</b>	<b>38</b>
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>41</b>
<b>PRESSUPOST</b>	<b>43</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>45</b>
<b>ANNEXOS</b>	<b>47</b>



## 1. Introducció

En aquest projecte, s'analitza i es dissenya un dispositiu emissor-receptor, on amb la xarxa elèctrica d'intermediari, es puguin enviar dades a través de la xarxa, les dades són emeses pel circuit emissor a una determinada freqüència i el circuit receptor que està dissenyat per detectar aquesta freqüència, pot obtenir les dades d'una manera senzilla a través de la xarxa elèctrica.

### 1.1. Objectius del treball

L'objectiu final d'aquest treball de fi de grau és analitzar un muntatge molt utilitzat en el nostre entorn com pot ser aplicacions domòtiques o de transmissions en *ethernet*. Un cop analitzat el circuit, es pretén fer el disseny del circuit emissor i del receptor per una comunicació entre ells.

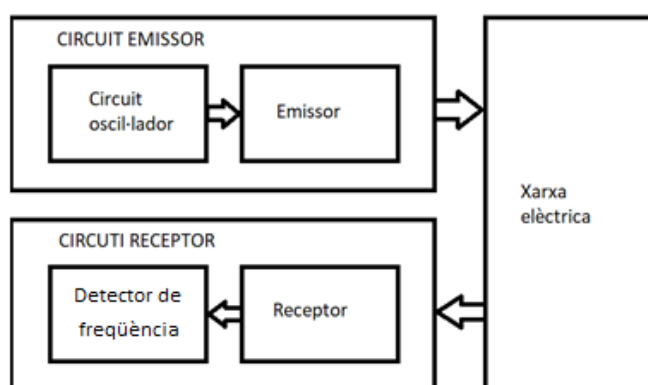


Figura 2.1. Diagrama de blocs

En el circuit emissor es poden diferenciar dos blocs:

-CIRCUIT OSCIL·LADOR: La freqüència serà emesa per un *Arduino*, que estarà connectat al circuit emissor.

-EMISSOR: L'emissor, envia la senyal en les millors condicions possibles, tant en nivell de voltatge, com en forma d'ona. Ha de ser un circuit aïllat galvànica per protegir la resta del circuit de la tensió de la xarxa.

## RECEPTOR

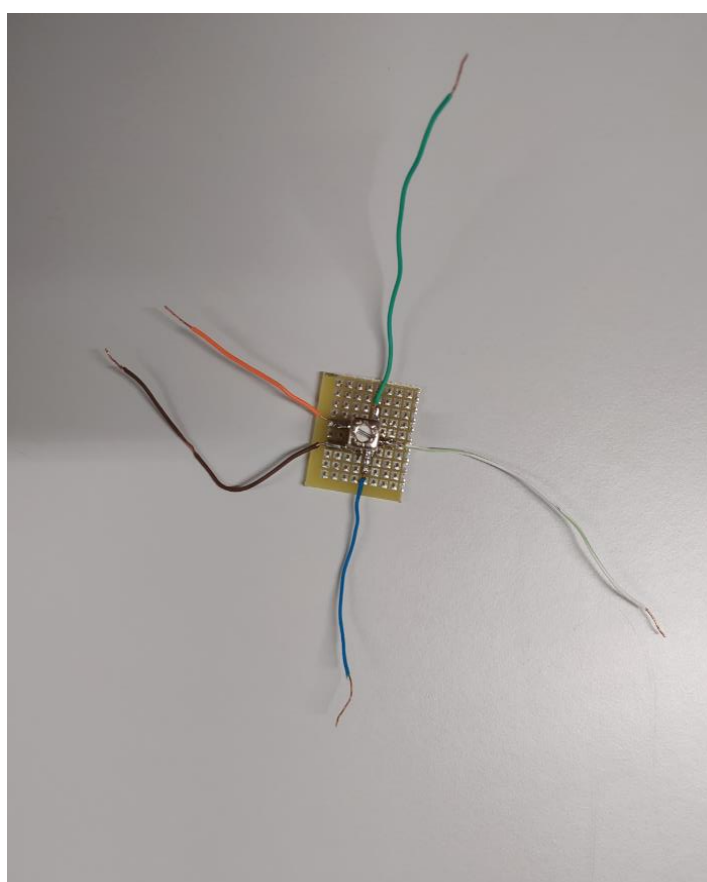
-RECEPTOR: Aquest bloc rep i adequa la senyal que arriba de la xarxa en les millors condicions possibles, tant en nivell com en forma. També ha de ser un circuit galvànica per protegir la resta del circuit de la tensió de la xarxa.

-DETECTOR DE FREQUÈNCIA: A través d'un circuit integrat comercial LM567, es podrà detectar la freqüència rebuda i d'aquesta manera poder rebre les dades.

## 2. Anàlisi del circuit

Abans de començar a dissenyar el circuit, es va indagar de com havia de ser l'estructura, quins components són els més utilitzats i sobretot entendre el que es volia fer.

En la recerca de varis circuits, en la majoria d'ells, eren molt utilitzats com a solució comercial, els transformadors de freqüència intermèdia. Donat a que aquest component es el típic component de funcionament, es van adquirir sis transformadors. El següent pas, va ser caracteritzar els components del transformador. Aquestes components seran utilitzades finalment al fer la simulació del circuit.



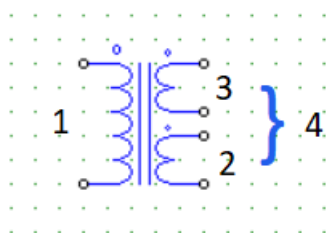
**Figura 2.1.** Transformador de freqüència intermèdia

Com es pot observar a la imatge, es van soldar les patilles del transformador a cinc cables per tal de poder-lo connectar al multímetre amb mes facilitat.

## 2.1. Estudi del transformador

Un cop obtinguts els transformadors, es va realitzar la seva caracterització.

Primer de tot es va obtenir la posició de les bobines, tal i com estan connectats els cables a la Figura 2.1.



**Figura 2.1.1.** Posició del transformador

Un cop se sap quins són els punts del transformador, es van obtenir les resistències internes de cada bobinatge.

<b>RCable</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>
0.5 $\Omega$	0.7 $\Omega$	5 $\Omega$	3.4 $\Omega$

**Taula 2.1.1.** Resistències de les bobines.

Un cop obtingudes les resistències, es van mesurar les inductàncies, per fer un càlcul més precís, es van mesurar amb tres multímetres diferents.

Els multímetres utilitzats es mostren a continuació.

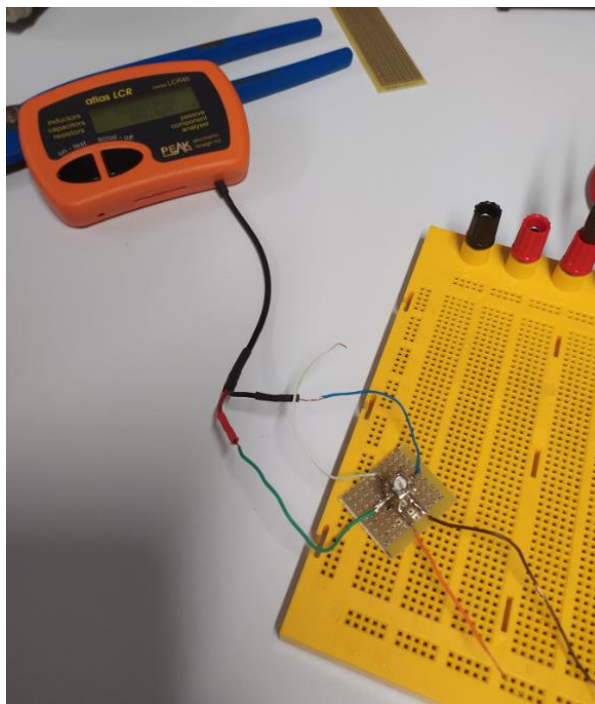


Figura 2.1.2. Multímetre nº1

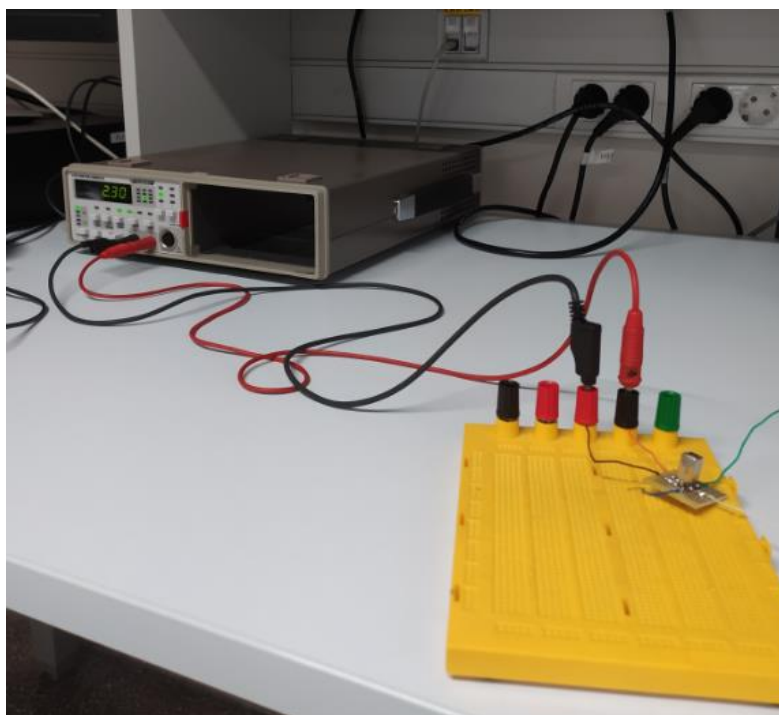
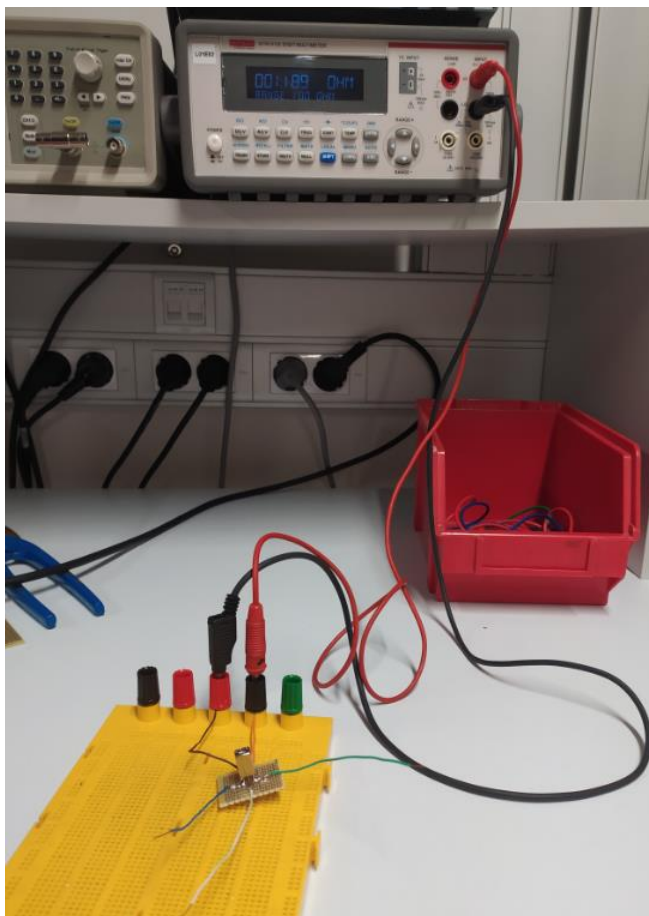


Figura 2.1.2. Multímetre nº2



**Figura 2.1.3.** Multímetre nº3

Es van mesurar les inductàncies en circuit obert i en curtcircuit.

Mesures de les bobines amb els multímetres diferents en circuit obert.

Inductàncies	Multímetre 1	Multímetre 2	Multímetre 3
L1	{*1}	0.6 $\mu$ H	0.48 $\mu$ H
L2	470 $\mu$ H	390 $\mu$ H	410 $\mu$ H
L3	87 $\mu$ H	30 $\mu$ H	75 $\mu$ H

**Taula 2.1.2.** Inductàncies del transformador en circuit obert.

{\*1}: Mesura descartada per la precisió del instrument.



Seguidament, es mesuren les inductàncies en curtcircuit. En aquest cas, només s'ha mesurat amb el 2n i el 3r multímetre, ja que en el 1r multímetre, la inductància era tan baixa que no la podia mesurar.

Inductàncies	Multímetre 2	Multímetre 3
L1 (3cc)	0.3 $\mu$ H	0.39 $\mu$ H
L1(2cc)	0.1 $\mu$ H	0.26 $\mu$ H
L3(2cc)	3.9 $\mu$ H	4.3 $\mu$ H

**Taula 2.1.3.** Inductàncies del transformador en curtcircuit.

Un cop obtingudes les mesures, es calcula la inductància mútua entre bobines, però abans de fer-ho, s'ha de calcular la  $k$  dels valors obtinguts de cada multímetre, per poder escollir un d'ells per poder calcular la inductància mútua.

$$L_{x_{cc}} = (1 - k^2) \times L_{x0} \tag{Eq.2.1}$$

$$M_{xy}^2 = k_{xy}^2 \times L_x \times L_y \tag{Eq.2.2}$$

$$M_{xy} = M_{yx} \tag{Eq.2.3}$$

A través de la Eq.2.1, s'obtindrà la  $k$ .

$k$	Multímetre 2	Multímetre 3
<b>12</b>	0.9291	0.667
<b>13</b>	0.7071	0.433
<b>23</b>	0.9327	0.9709

**Taula 2.1.4.** Valors obtinguts de  $k$ .

Com es pot observar en la taula anterior, en el 2n multímetre, el valor de  $k$ , es més pròxim a 1 en la majoria de casos, per tant, en el càlcul de la inductància mútua, es faran servir els valors obtinguts del 2n multímetre.

Seguidament, amb l'equació 2.2 es calcula la inductància mútua.

$M_{12}$	3 $\mu\text{H}$
$M_{13}$	14.21 $\mu\text{H}$
$M_{23}$	100.89 $\mu\text{H}$

**Taula 2.1.5.** Inductància mútua.

## 2.2. Circuit emissor

Primer de tot es farà el disseny del circuit, on la base principal es que arribi la freqüència determinada a la xarxa elèctrica, s'utilitzarà el programa *PSim* per poder simular el circuit, un cop simulat, es buscaran les funcions de transferència i el diagrama de Bode d'elles, per poder estar segurs de que el circuit està bé.

### 2.2.1. Disseny del circuit emissor

A través de la cerca de varis circuits similars, es va dissenyar el següent circuit.

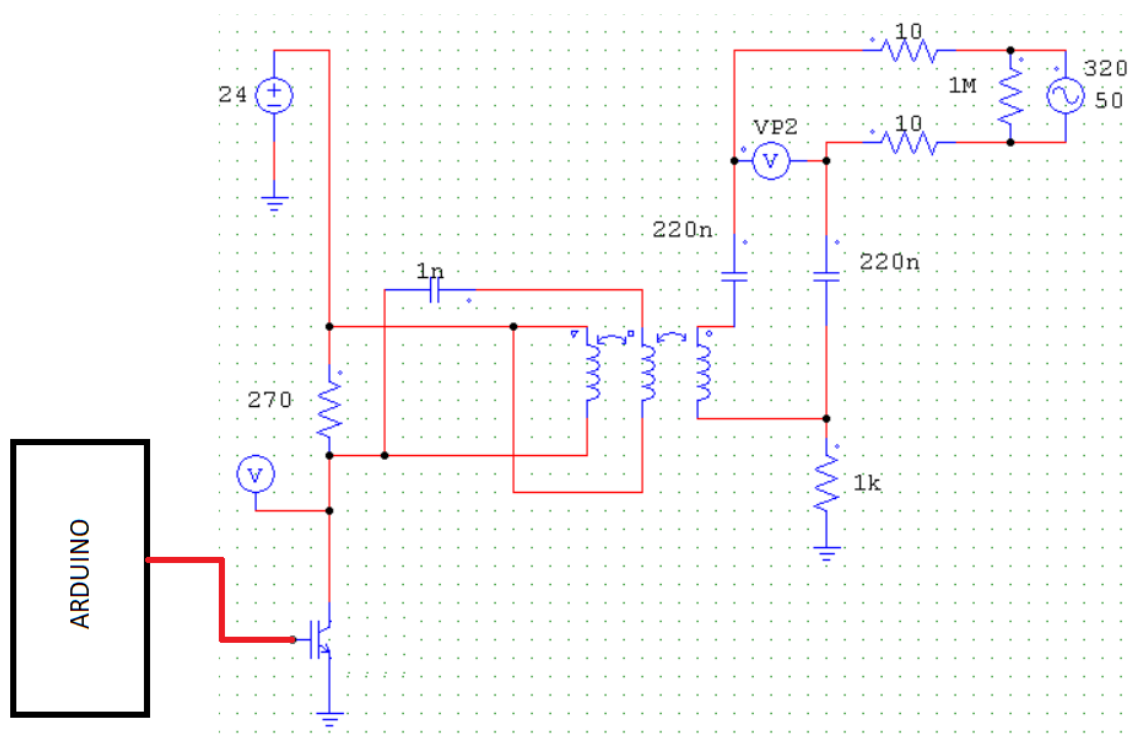


Figura 2.2.1. 1r disseny del circuit emissor.

Per poder-ho simular amb més facilitat, s'ha substituït el bloc del *Arduino* i del transistor per un generador sinusoidal.

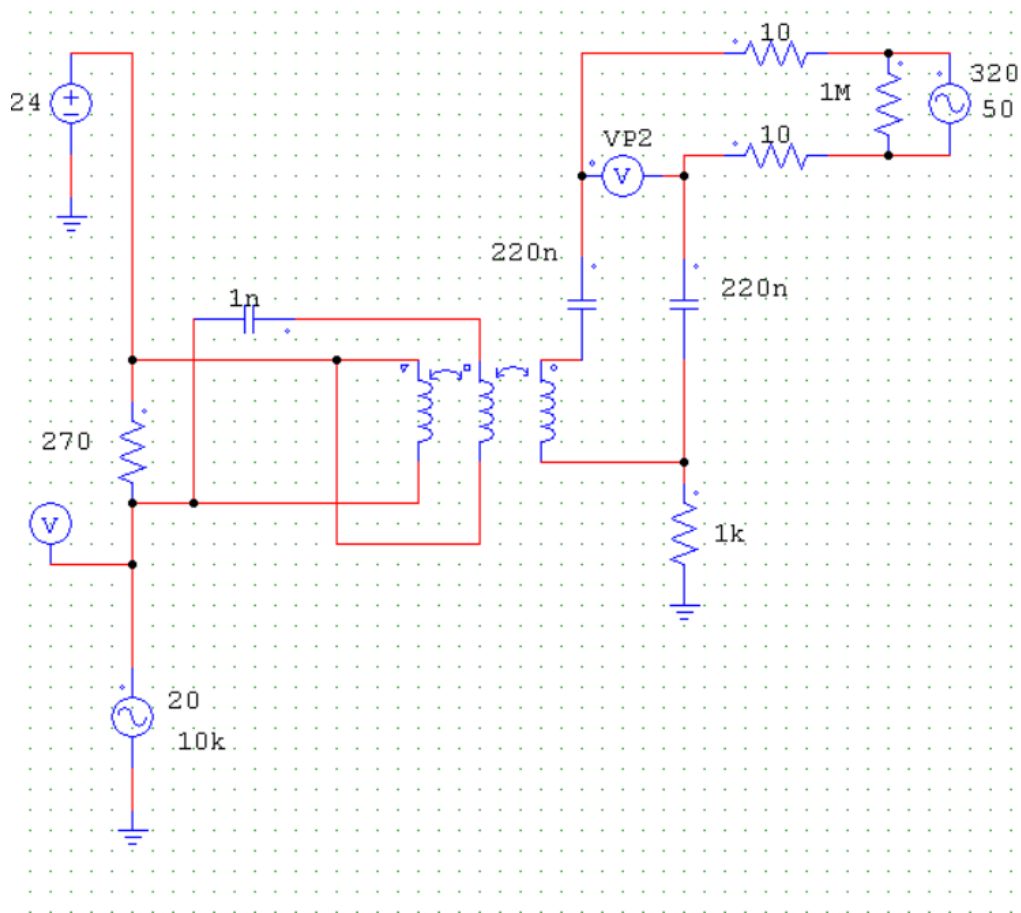


Figura 2.2.2. 1r disseny del circuit emissor substituint l'Arduino i el transistor per un generador sinusoidal.

Com es pot observar a l'anterior imatge, es va fer un circuit d'inductàncies acoblades i no amb un transformador, ja que la relació d'espores no es tenia.

Un cop introduïts tots els valors de cada component es va simular.

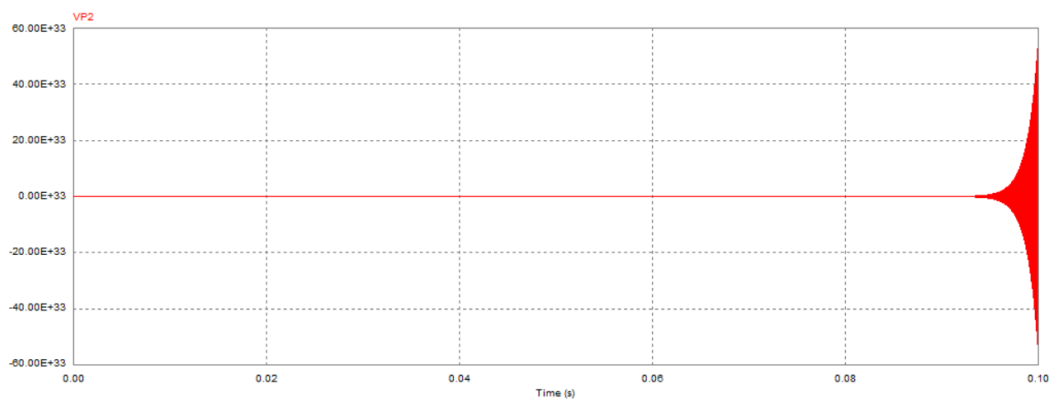


Figura 2.2.3. Simulació del 1r disseny del circuit emissor.

Un cop feta la simulació, es pot observar que el circuit no és estable.

Finalment, al cap de fer varies modificacions i que el circuit continués sent inestable, es va trobar la solució, afegir una impedància RL d'entrada a la xarxa elèctrica, que en la vida real, la pròpia xarxa elèctrica hi és, però en el 1r disseny del circuit no es va aplicar.

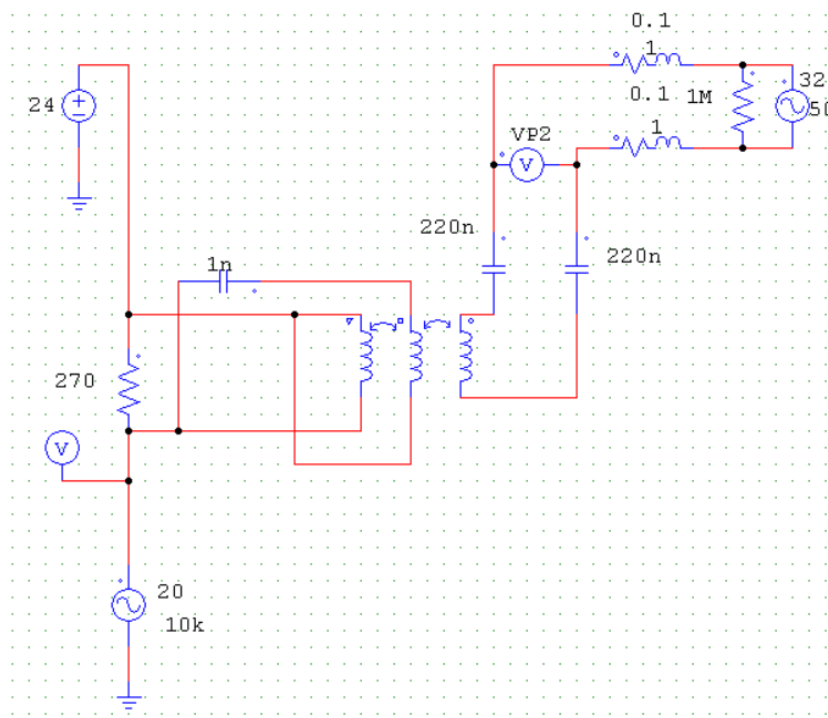


Figura 2.2.4. Disseny del circuit emissor.

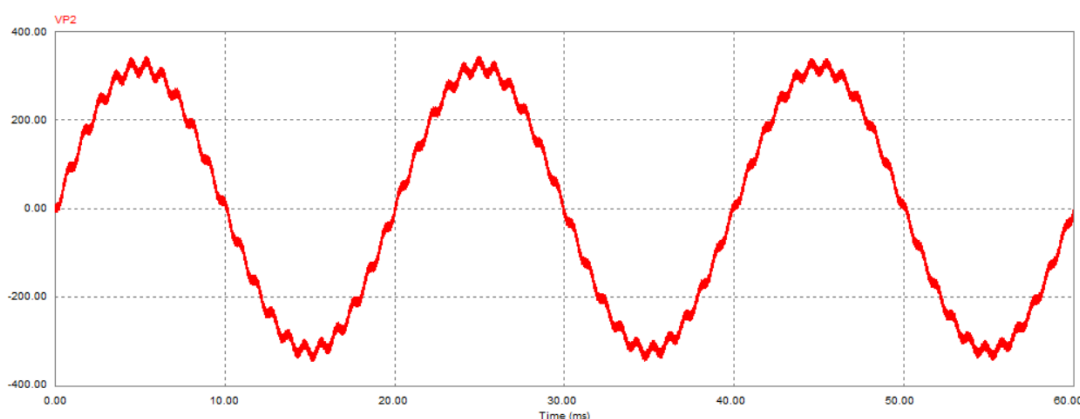
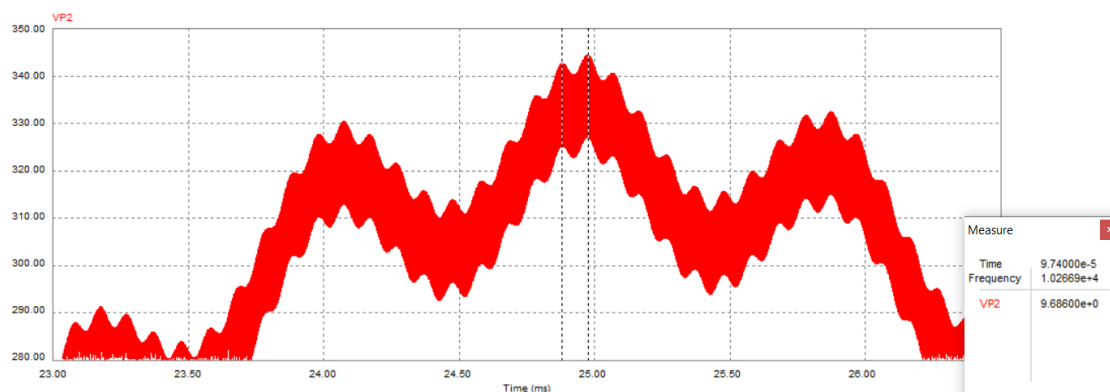


Figura 2.2.5. Simulació del disseny del circuit emissor.



**Figura 2.2.6.** Freqüència de 10kHz superposada a l'ona de 50 Hz.

Com es pot observar en les anteriors simulacions, La freqüència de 10kHz imposada en el circuit està superposada als 50Hz de la xarxa elèctrica, per tant, es pot afirmar que el disseny del circuit és correcte.

Però per poder afirmar definitivament que el circuit està bé, amb tots els seus paràmetres, cal fer les funcions de transferència per poder-ho corroborar.

## 2.2.2. Funcions de transferència

Un cop dissenyat el circuit, es procedeix a extreure les funcions de transferència.

El circuit a estudiar, és el següent:

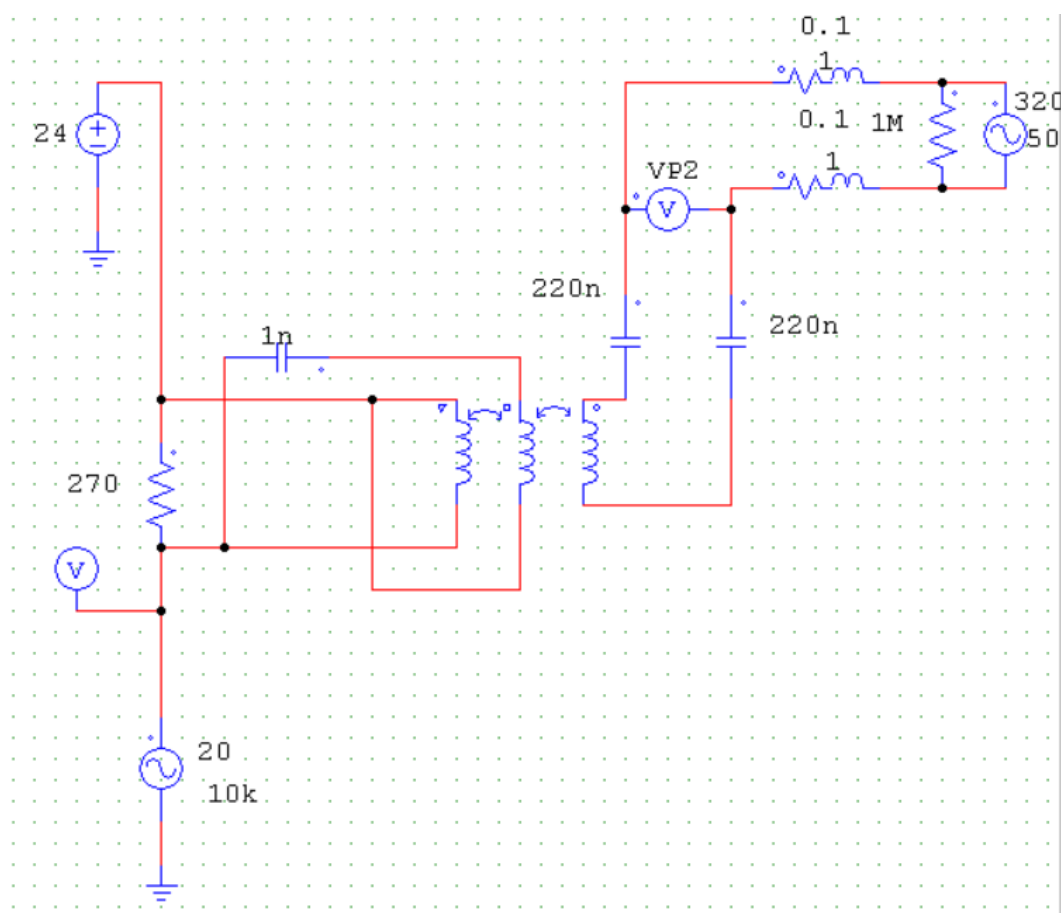


Figura 2.2.7. Funció sortida-entrada del disseny del circuit emissor. Circuit inicial.

Per trobar la funció de transferència, s'ha anat simplificant el circuit, per poder trobar les equacions.

S'han desactivat les fonts independents del circuit, ja que es vol obtenir la funció de transferència de  $V_i$ , per tant el circuit queda d'aquesta manera:

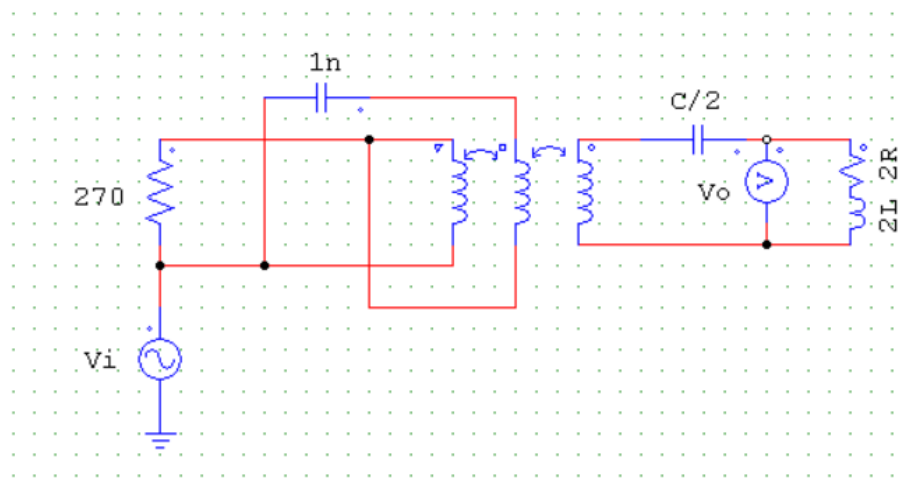


Figura 2.2.8. Funció sortida-entrada del disseny del circuit emissor. Desactivant les fonts.

Finalment s'obté el circuit simplificat:

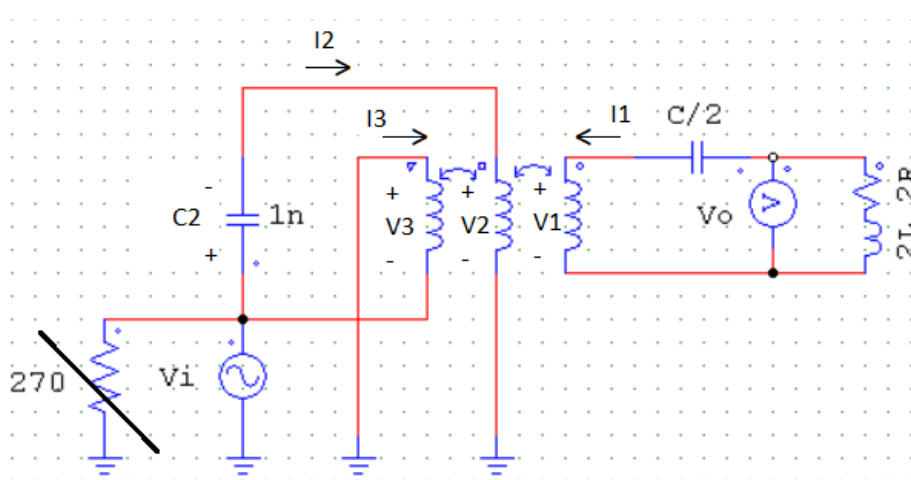


Figura 2.2.9. Funció sortida-entrada del disseny del circuit emissor. Circuit simplificat.

Amb el circuit simplificat, s'obtenen les equacions del circuit.

$$V_3 = -V_i$$

(Eq.2.4)

$$V_1 = (-I_1)(2R + 2Ls \frac{1}{s \frac{C}{2}})$$



(Eq.2.5)

$$V_i = I_2 \frac{1}{sC_2} V_2$$

(Eq.2.6)

$$V_3 = sL_3 I_3 + sM_{23} I_2 + sM_{13} I_1$$

(Eq.2.7)

$$V_2 = sM_{23} I_3 + sL_2 I_2 + sM_{12} I_1$$

(Eq.2.8)

$$V_3 = sM_{13} I_3 + sM_{12} I_2 + sL_1 I_1$$

(Eq.2.9)

Un cop extretes les equacions, amb l'ajuda del *Matlab*, extraïem la funció de transferència i el diagrama de Bode, ja que es necessari que actui com un filtre passa-banda.

**Programa del *Matlab*:**

```
clear

syms s L1 L2 L3 M12 M13 M23 vi

syms C C2 Rr Lr

e=[-vi; vi;0]

A=[s*L3, s*M23, s*M13; s*M23, s*L2+1/s/C2, s*M12; s*M13, s*M12, s*L1+2*Rr+2*s*Lr+2/s/C]

I=A\e

G1=I(3)/vi;

G2= G1*-(2*Rr+2*s*Lr)
```

Un cop aquí, s'obté G2, que és la relació de tensió de sortida-entrada.

Ara s'introdueixen els valors dels components per tal d'obtenir la funció de transferència.

```
clear
```

$C= 220e-9; R_r= 1; L_r= 0.1; C_2= 1e-9;$

$L_1= 0.6e-6; M_{12}= 14e-6; L_2= 390e-6; M_{13}= 3e-6; M_{23}= 101e-6; L_3= 30e-6;$

$s= tf('s');$

$$G_2 = \frac{-C*s*(2*R_r + 2*L_r*s)*(M_{13} + C*L_2*M_{13}*s^2 - C*L_3*M_{12}*s^2 - C*M_{12}*M_{23}*s^2 + C*M_{13}*M_{23}*s^2)}{(2*L_3 - C*M_{13}^2*s^2 - 2*C^2*M_{23}^2*s^2 + C*L_1*L_3*s^2 + 2*C^2*L_2*L_3*s^2 + 2*C*L_3*L_r*s^2 + 2*C*L_3*R_r*s - C^2*L_2*M_{13}^2*s^4 - C^2*L_3*M_{12}^2*s^4 - C^2*L_1*M_{23}^2*s^4 - 2*C^2*L_r*M_{23}^2*s^4 - 2*C^2*M_{23}^2*R_r*s^3 + C^2*L_1*L_2*L_3*s^4 + 2*C^2*L_2*L_3*L_r*s^4 + 2*C^2*M_{12}*M_{13}*M_{23}*s^4 + 2*C^2*L_2*L_3*R_r*s^3)}$$

S'obté la funció de transferència.

$$G_2 = \frac{1.588e^{-26}s^4 + 1.588e^{-25}s^3 - 1.32e^{-13}s^2 - 1.32e^{-12}s}{6.596e^{-26}s^4 + 6.596e^{-25}s^3 + 1.32e^{-12}s^2 + 1.32e^{-11}s + 6e^{-5}}$$

I finalment el diagrama de Bode.

`bode(G2)`

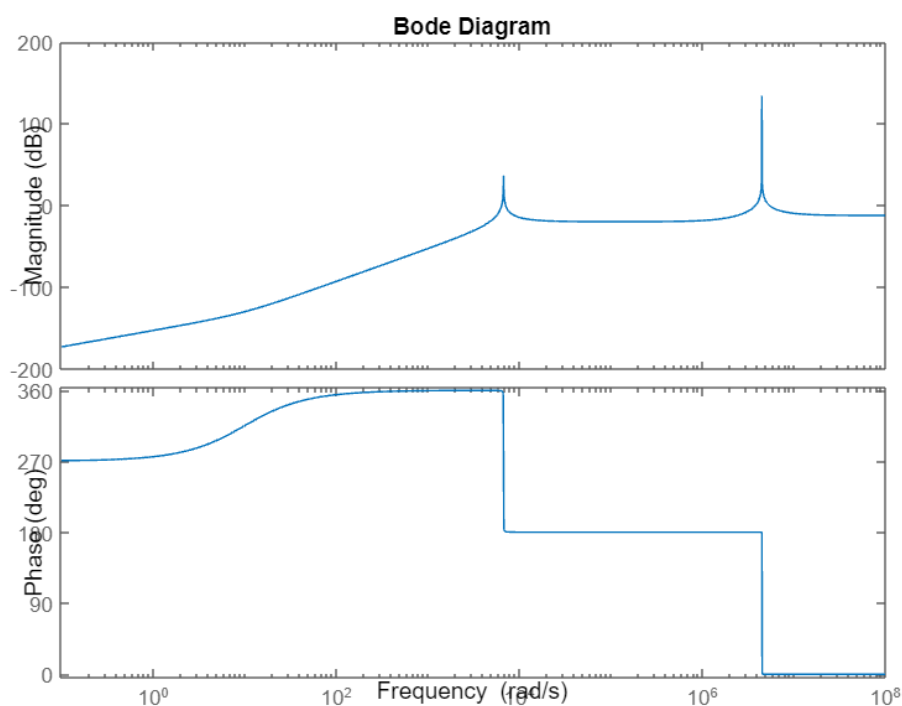


Figura 2.2.10. Funció sortida-entrada del disseny del circuit emissor. Diagrama de Bode.

Un cop s'obté el diagrama de Bode, es pot observar que el 1r pic, no coincideix amb la freqüència proposada en la simulació del circuit, per tant, es varen fer una sèrie de canvis per tal de que fossin iguals.

Un cop realitzats els canvis, es va tornar a fer la simulació, com el circuit ja es va obtenir i les equacions també, només s'han substituït els valors canviats.

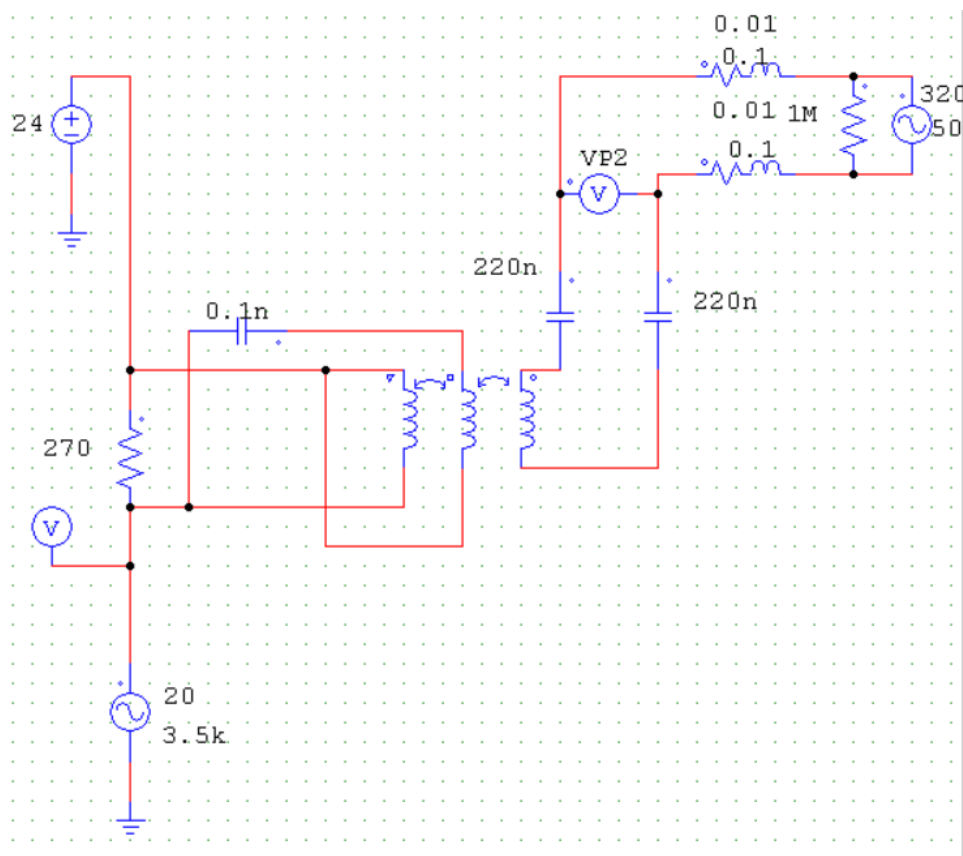


Figura 2.2.11. Circuit d'entrada.

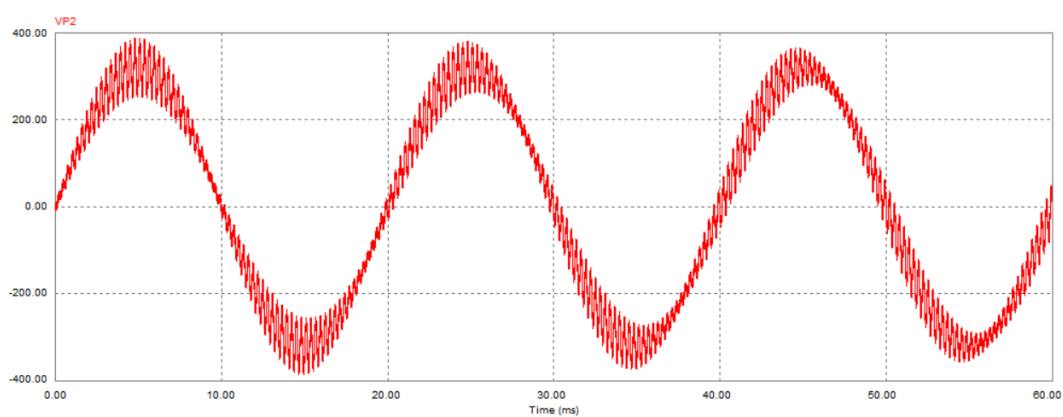


Figura 2.2.12. Simulació del circuit d'entrada.

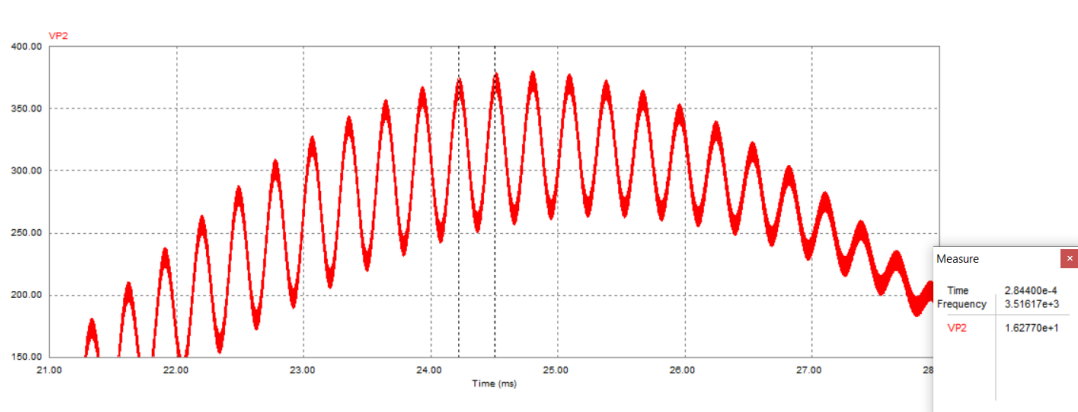


Figura 2.2.13. Ona superposada de 3.5kHz.

Es torna a calcular la funció de transferència.

**Programa del Matlab:**

```
clear
```

```
C= 220e-9; Rr= 0.1; Lr= 0.01; C2= 0.1e-9;
```

```
L1= 0.6e-6; M12= 14e-6; L2= 390e-6; M13= 3e-6; M23= 101e-6; L3= 30e-6;
```

```
s= tf('s');
```

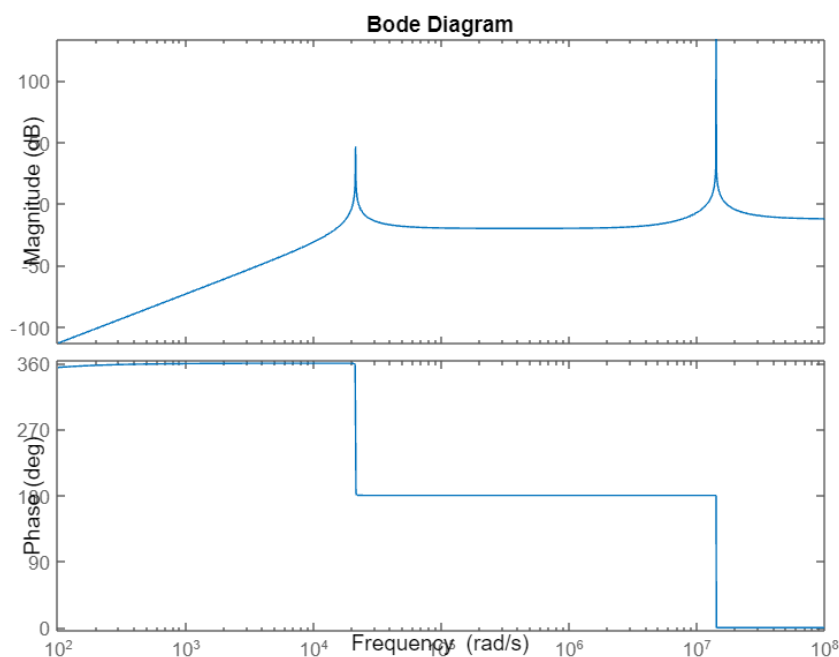
```
G2= -(C*s*(2*Rr + 2*Lr*s)*(M13 + C2*L2*M13*s^2 - C2*L3*M12*s^2 - C2*M12*M23*s^2 +
C2*M13*M23*s^2))/(2*L3 - C*M13^2*s^2 - 2*C2*M23^2*s^2 + C*L1*L3*s^2 + 2*C2*L2*L3*s^2 +
2*C*L3*Lr*s^2 + 2*C*L3*Rr*s - C*C2*L2*M13^2*s^4 - C*C2*L3*M12^2*s^4 - C*C2*L1*M23^2*s^4
- 2*C*C2*Lr*M23^2*s^4 - 2*C*C2*M23^2*Rr*s^3 + C*C2*L1*L2*L3*s^4 + 2*C*C2*L2*L3*Lr*s^4 +
2*C*C2*M12*M13*M23*s^4 + 2*C*C2*L2*L3*Rr*s^3)
```

S'obté la nova funció de transferència.

$$G2 = \frac{1.588e^{-28}s^4 + 1.588e^{-27}s^3 - 1.32e^{-14}s^2 - 1.32e^{-13}s}{6.596e^{-28}s^4 + 6.596e^{-27}s^3 + 1.32e^{-13}s^2 + 1.32e^{-12}s + 6e^{-5}}$$

I finalment, el diagrama de Bode.

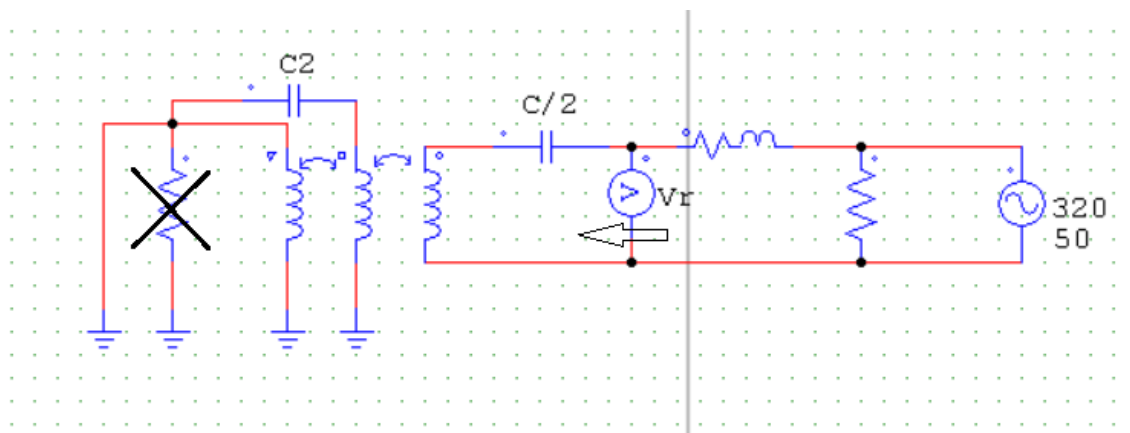
```
bode ( G2)
```



**Figura 2.2.14.** Funció sortida-entrada del circuit emissor. Diagrama de Bode.

Un cop aquí, per poder validar el circuit, s'ha buscat la funció d'intensitat d'entrada-tensió de xarxa, d'aquesta manera es pot observar el comportament dels components respecte els 50 Hz de la xarxa elèctrica.

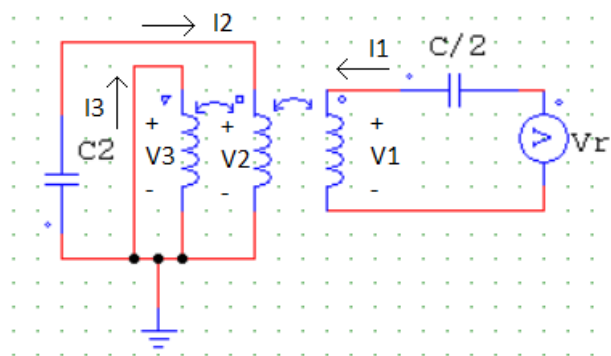
Per tant, es va simplificar el circuit per tal de extreure les equacions, com la resistència i la inductància, són les de la mateixa xarxa, no s'han introduït doncs del circuit.



**Figura 2.2.15.** Funció intensitat-tensió de la xarxa del circuit emissor. Circuit inicial.

El circuit s'estudiarà des de el punt de vista de Vr.

Per tant finalment, s'obté el següent circuit.



**Figura 2.2.16.** Funció intensitat-tensió de xarxa del circuit emissor. Circuit simplificat.

Un cop el circuit està simplificat, s'extreuen les equacions.

$$V_1 = sM_{13}I_3 + sM_{12}I_2 + sL_1I_1 = -I_1 \frac{2}{sC} + V_r \quad (\text{Eq.2.10})$$

$$V_2 = sM_{23}I_3 + sL_2I_2 + sM_{12}I_1 = -I_2 \frac{1}{sC_2} \quad (\text{Eq.2.11})$$

$$V_3 = sL_3I_3 + sM_{23}I_2 + sM_{13}I_1 = 0 \quad (\text{Eq.2.12})$$

Un cop obtingudes les equacions, amb l'ajuda del *Matlab*, s'obtindrà el diagrama de Bode, per tal de poder observar la impedància a 50Hz ja que els components estan exposats a la freqüència de la xarxa elèctrica.

**Programa Matlab:**

```
clear

syms s L1 L2 L3 M12 M13 M23 vr

syms C C2

e = [vr; 0 ; 0];

A=[s*M13, s*M12, (s*L1+2/s/C); s*M23, (s*L2+1/s/C2), s*M12; s*L3, s*M23, s*M13];

I=A\e

G1 = vr/I(3)
```

Amb això, s'obté G1, que es la impedància d'entrada, i afegint els valors al *Matlab*, obtenim la funció de transferència i el diagrama de Bode.

```
clear

C= 220e-9; C2= 0.1e-9;
```

$L1= 0.6e-6$ ;  $M12= 14e-6$ ;  $L2= 390e-6$ ;  $M13= 3e-6$ ;  $M23= 101e-6$ ;  $L3= 30e-6$ ;

$s= tf('s')$ ;

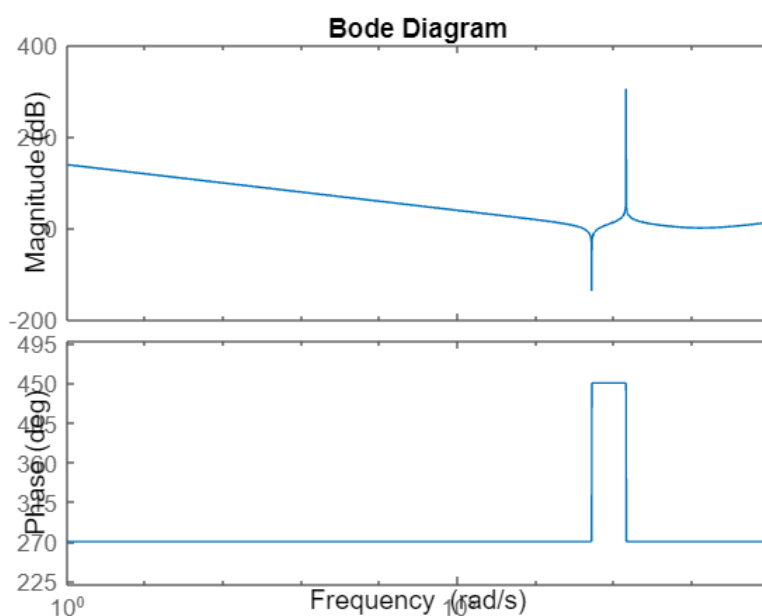
$$G1= \frac{(2*L3 - C*M13^2*s^2 - 2*C2*M23^2*s^2 + C*L1*L3*s^2 + 2*C2*L2*L3*s^2 - C*C2*L2*M13^2*s^4 - C*C2*L3*M12^2*s^4 - C*C2*L1*M23^2*s^4 + C*C2*L1*L2*L3*s^4 + 2*C*C2*M12*M13*M23*s^4)}{(C*s*(-C2*M23^2*s^2 + C2*L2*L3*s^2 + L3))}$$

S'obté la funció de transferència.

$$G1 = \frac{-1.452e^{-34}s^4 + 2.28e^{-18}s^2 + 6e^{-5}}{3.298e^{-26}s^3 + 6.6e^{-12}s}$$

I finalment el diagrama de Bode.

`bode(G1)`



**Figura 2.2.17.** Funció intensitat-tensió de la xarxa del circuit emissor. Diagrama de Bode.

Com es pot observar, la impedància d'entrada es bastant alta a 50Hz, per tant podem afirmar que el circuit, és segur.



## 2.3. Circuit receptor

Un cop finalitzat el circuit emissor, amb aproximadament el mateix disseny, s'ha realitzat el circuit receptor, on amb el mateix acoblament magnètic, l'objectiu es rebre la senyal de 3.5kHz per poder llegir les dades.

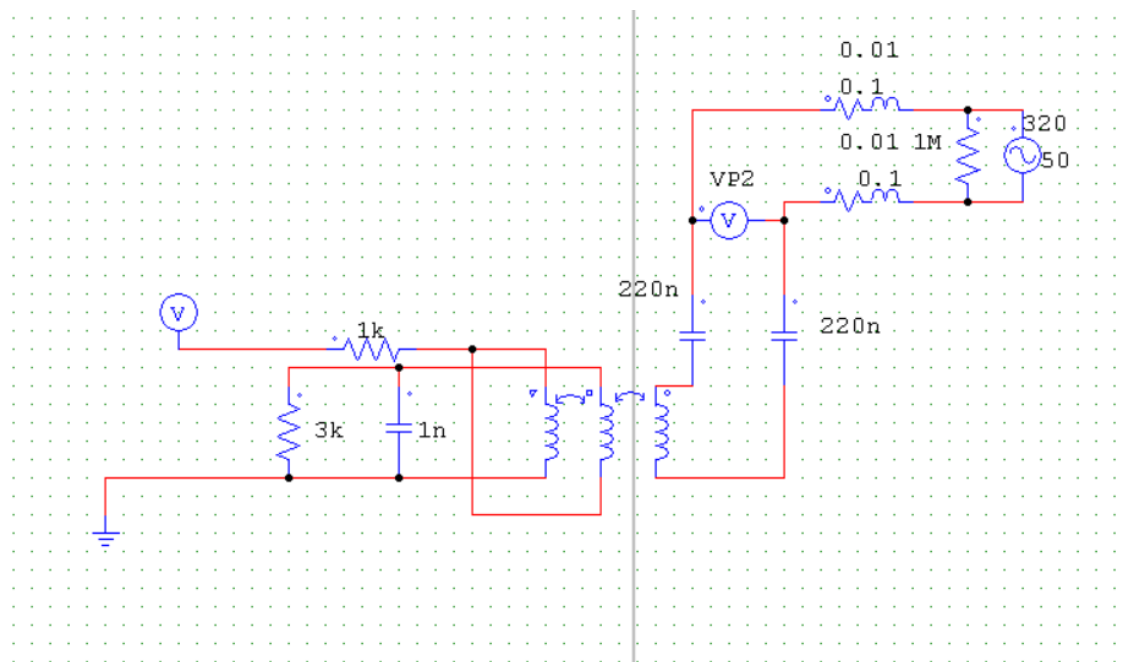


Figura 2.3.1. 1r disseny del circuit receptor.

Per imposar la freqüència de 3.5kHz es va adjuntar el circuit emissor al receptor per poder obtenir la senyal a la sortida del circuit receptor.

Es va adjuntar una font de tensió controlada per voltatge així es simula que a l'entrada del circuit receptor hi ha el voltatge de la xarxa elèctrica junt amb la freqüència emesa pel circuit emissor.

El circuit queda tal que així:



Durant molts intents erronis, finalment, es va trobar una solució òptima.

En alguns casos, es va obtenir els 3,5kHz a la sortida, però alhora d'obtenir el diagrama de Bode, el guany, era superior a 0, i per tant podria ser perjudicial a freqüències baixes.

Una de les solucions, va ser invertir el transformador, i va quedar d'aquesta manera.

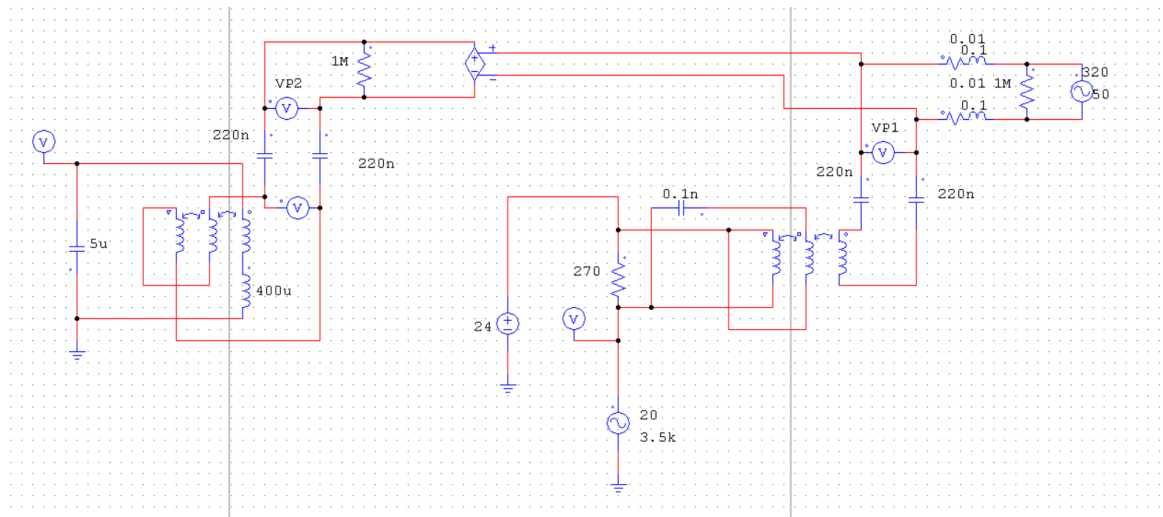


Figura 2.3.4. Disseny final del circuit emissor-receptor.

Un cop es simula el circuit, es pot observar els 3,5kHz a la sortida, que bàsicament era l'objectiu del treball.

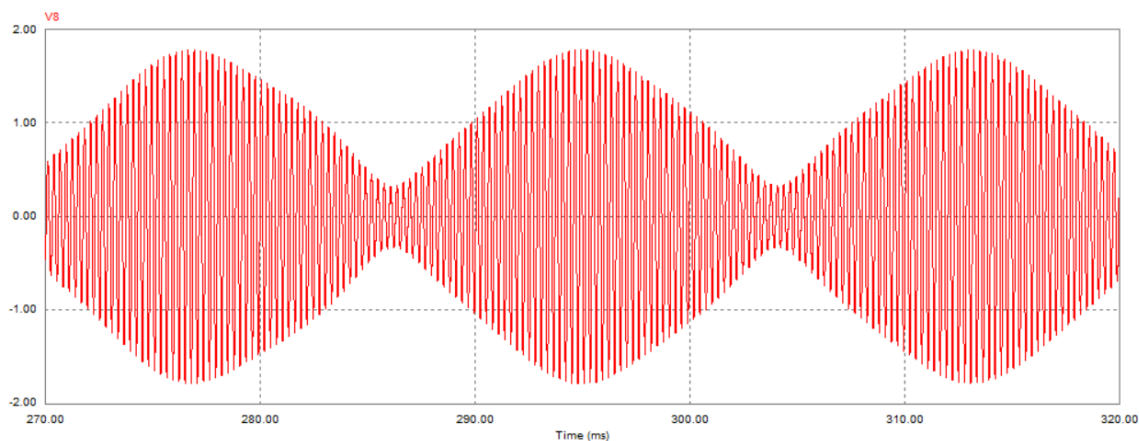


Figura 2.3.5. Simulació del disseny del circuit emissor-receptor.

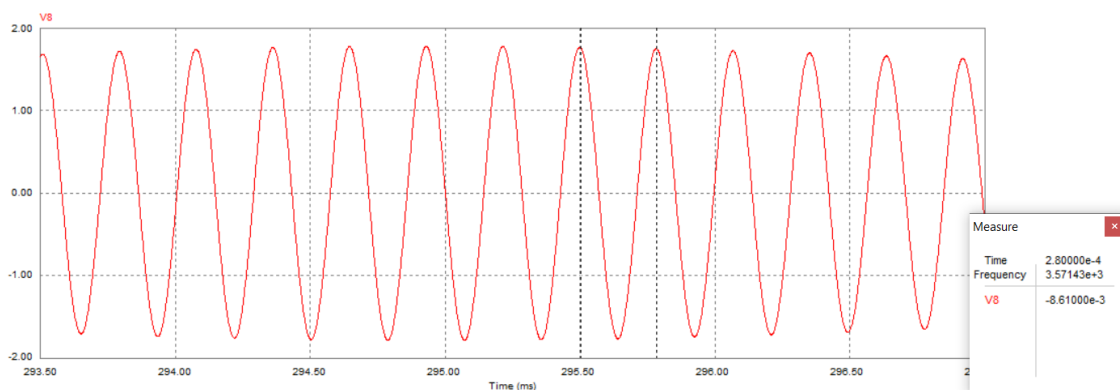


Figura 2.3.6. Simulació ampliada amb els 3,5kHz de freqüència.

Com es pot observar en la simulació anterior, el circuit rep els 3,5kHz emesos pel circuit emissor. Un cop feta la simulació s’ha de obtenir el diagrama de Bode, per tal de poder afirmar que el circuit es un filtre passa-banda i així confirmar que el circuit és correcte.

### 2.3.1. Funció de transferència

Per poder extreure la funció de transferència, es va simplificar el circuit per extreure les equacions. El circuit receptor simplificat queda d’aquesta manera:

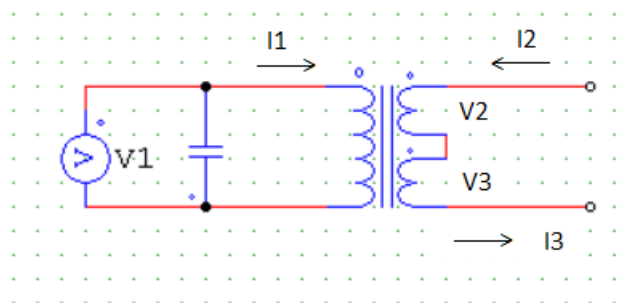


Figura 2.3.6. Circuit receptor simplificat.

Un cop el circuit està simplificat, s’extreuen les equacions.

$$V_1 = sL_1I_1 + sM_{12}I_2 + sM_{13}I_3 = -I_1 \frac{2}{sC}$$

(Eq.2.13)

$$V_2 = sM_{12}I_1 + sL_2I_2 + sM_{23}I_3 \tag{Eq.2.14}$$

$$V_3 = sM_{13}I_1 + sM_{23}I_2 + sL_3I_3 \tag{Eq.2.15}$$

Amb l'ajuda del *Matlab*, s'obté la funció de transferència del voltatge d'entrada respecte el de la sortida.

La relació és  $V_{23}/V_1$ , on  $V_{23}$  és  $V_2+V_3$ .

$G = V_{23}/V_1$ .

**Programa *Matlab*:**

```
clear
```

```
s= tf('s');
```

```
L1= 400.6e-6; L2= 390e-6; L3= 30e-6; C= 5e-6;
```

```
k12= 0.9291; k13= 0.7071; k23= 0.9327;
```

```
M12 = 3e-6; M13 = 14.21e-6; M23 = 100.89e-6;
```

```
w= logspace(3, 6, 1e5);
```

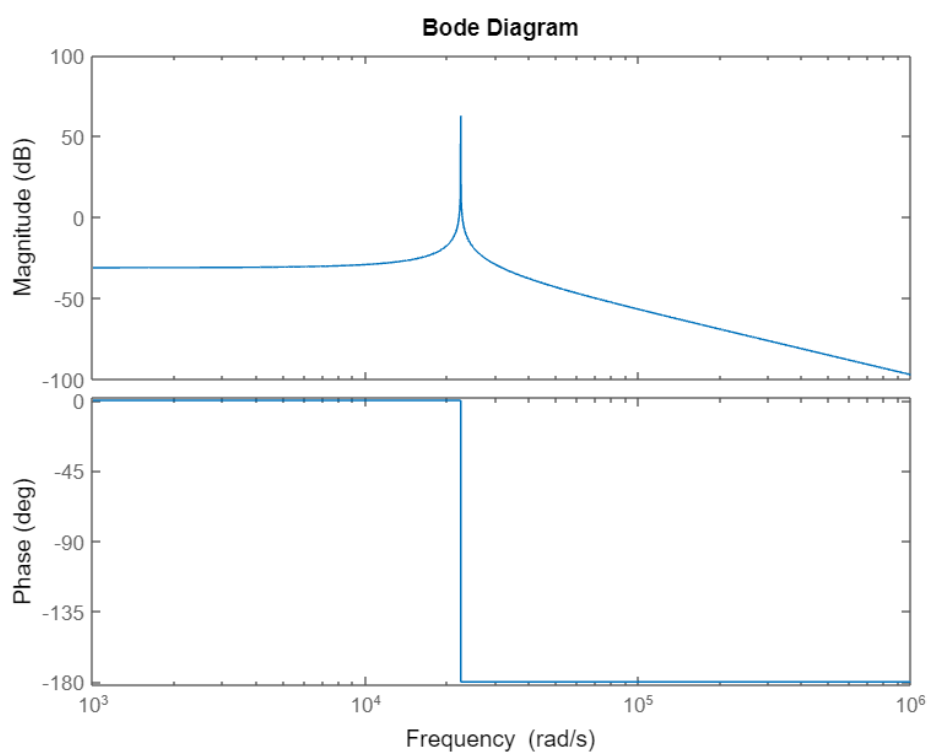
```
M= (s*L1*(s*M12+s*M13) -(s*M12+s*M13)*(s*L1+1/s/C)) / ((s*M12 +s*M13)*(s*M12+s*M13) - (s*L2+s*M23+s*M23+s*L3)*(s*L1 +1/s/C))
```

Amb això s'obté la funció de transferència.

$$G = \frac{8.605e^{-11}s^2}{6.22e^{-18}s^4 + 3.109e^{-9}s^2}$$

I finalment s'obté el diagrama de Bode.

```
bode ( G,w)
```



**Figura 2.3.7.** Funció sortida-entrada del circuit receptor. Diagrama de Bode.

Un cop realitzat el diagrama de Bode, es pot afirmar que el circuit, és un filtre passa-banda. Per tant es confirma que el circuit és correcte.

## 2.4. LM567

Un cop aconseguit l'objectiu del treball, i poder confirmar que els circuits emissor i receptor funcionen, s'ha buscat un circuit integrat que la seva funció sigui detectar si a l'entrada hi ha una senyal de freqüència determinada. D'aquesta manera, en el cas de que la senyal d'entrada del LM567 sigui de 3,5kHz a la sortida hi haurà un voltatge de 5 V, i si la senyal a l'entrada és diferent a 3,5kHz a la sortida s'obtidran 0 V.

Aquest circuit seria utilitzat en el cas de que es volguessin les dades en una senyal digital.

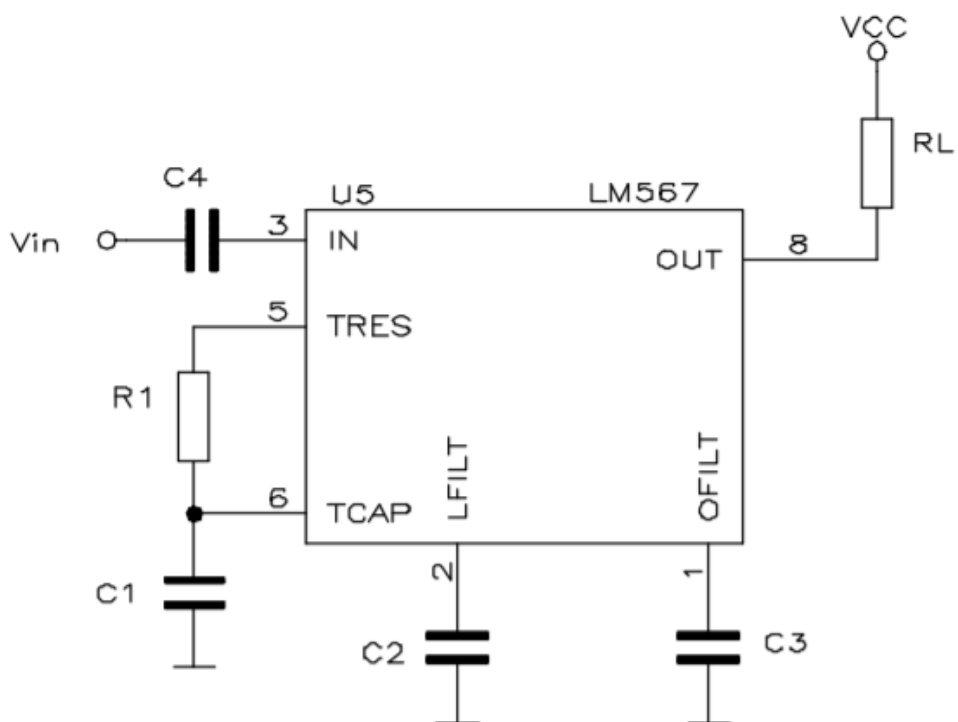


Figura 2.4.1. Configuració bàsica del circuit integrat LM567.

### 3. Anàlisi de l'impacte ambiental

La contaminació i el canvi climàtic són, avui en dia, uns dels temes que més preocupen a la societat. Això provoca que les empreses i productors siguin cada cop més conscients sobre l'impacte ambiental dels seus processos i productes.

Entenem per impacte ambiental com les alteracions i canvis apreciables sobre el medi ambient, provocades per l'activitat humana. L'objectiu d'aquest apartat és analitzar quin seria l'impacte ambiental que hi hauria en el muntatge i dels circuits, ja que en l'estudi i disseny l'impacte ambiental és nul.

Per a quantificar aquest impacte s'ha realitzat un anàlisi del cicle de vida del producte. És a dir, s'han determinat els impactes ambientals durant totes les fases de la seva vida: extracció de matèries primeres, producció, distribució, ús i final de vida.

Durant l'extracció de metalls es produeix una important transformació del paisatge per l'explotació minera i per l'acumulació de residus que contaminen el sòl. Per tant, els impactes ambientals associats a aquesta fase són: degradació del medi ambient i pèrdua de biodiversitat, desequilibri d'ecosistemes, esgotament de recursos naturals, contaminació del sòl o aigües subterrànies, generació de sorolls, vibracions, olors i fums, i contaminació atmosfèrica.

En la fase de producció, normalment en la fabricació de dispositius electrònics exigeix un alt consum d'energia i d'aigua per al funcionament de la maquinària. A més, l'ús de materials i substàncies per al muntatge dels materials és un altre input a tenir en compte. Per tant en aquesta etapa, la contaminació de l'atmosfera i de l'aigua, i acumulació de residus serien el principal impacte.

Un cop les peces electròniques estan fabricades, són transportades llargues distàncies fins als països on són venudes. Aquest transport, que pot fer-se de manera terrestre, marítima o aèria, implica consum de combustibles i emissions de gasos d'efecte hivernacle. Per tant l'impacte ambiental provocat durant la distribució és la contaminació atmosfèrica.

La fase d'ús és la que té menys impacte al medi, ja que el dispositiu consumeix poca energia durant la seva vida útil.

Finalment, en la fase final de vida, s'ha de tenir en compte que el reciclat dels dispositius elèctrics i electrònics és un procés difícil, costós i contaminant, ja que generalment són estructures compactes, constituïdes per petits components, que sovint contenen substàncies tòxiques.



La major part d'aquests residus acaben entre els residus urbans. És a dir, van a parar a abocadors o s'incineren sense cap tractament previ, en lloc de a deixalleries o punts verds.

Per tant, els impactes que causaria aquest dispositiu, si arribés a abocadors o incineradores, serien la contaminació atmosfèrica i sòls.



## Conclusions

Per concloure aquest treball de fi de grau, es pot afirmar que la comunicació a través de la xarxa elèctrica pot ser un mètode alternatiu de transmissió de dades a la de comunicació a través via WI-FI.

Avui en dia, la domòtica està evolucionant cada cop més en el nostre estil de vida, però en la majoria de casos la comunicació es a través d'ones WI-FI i d'aquesta manera, eliminaríem part d'aquestes ones del nostre dia a dia, que a la llarga poden ser perjudicials per la salut.

També afegir que personalment, gràcies aquest treball, he après a enfrontar-me a diversos problemes, que estic segur que m'ajudaran a afrontar els que pugui trobar en el futur, també s'ha ampliat en gran mesura el coneixement en els programes de *Matlab* i *PSim*.



## Pressupost

### -Mà d'obra:

Aquest treball, s'ha dividit en dues parts: L'estudi i el disseny.

Tipus de mà d'obra	Quantitat (hores)	Cost unitari (€/h)	Cost total (€)
Estudi	150	14	2100€
Disseny	250	14	3500€
<b>Total</b>	<b>400</b>		<b>5600€</b>

Taula 1. Cost de la mà d'obra.

### -Material

En aquest treball, només s'ha comprat els transformadors de freqüència intermèdia, per poder fer la caracterització.

Nº de transformadors	Cost unitari (€)	Preu total (€)
5	3	15€

Taula 2. Cost dels transformadors.

El cost total del projecte són 5615€.

Cal aplicar el 21% d'IVA.

Per tant el preu final és de 6794.15€.



## Bibliografia

- *PSIM User's Manual.*

[Consultat 10 març 2021]. Disponible a Internet.

<https://www.powersimtech.com/wp-content/uploads/2021/01/PSIM-User-Manual.pdf>

- *Manual de MATLAB.*

[Consultat 3 abril 2021]. Disponible a Internet.

<https://es.mathworks.com/help/matlab/>

- *DataSheet LM567.*

[Consultat 27 maig 2021]. Disponible a Internet.

[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm567c.pdf?ts=1615814540600&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FLM567C](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm567c.pdf?ts=1615814540600&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FLM567C)





## **Annexos**

### **Normativa:**

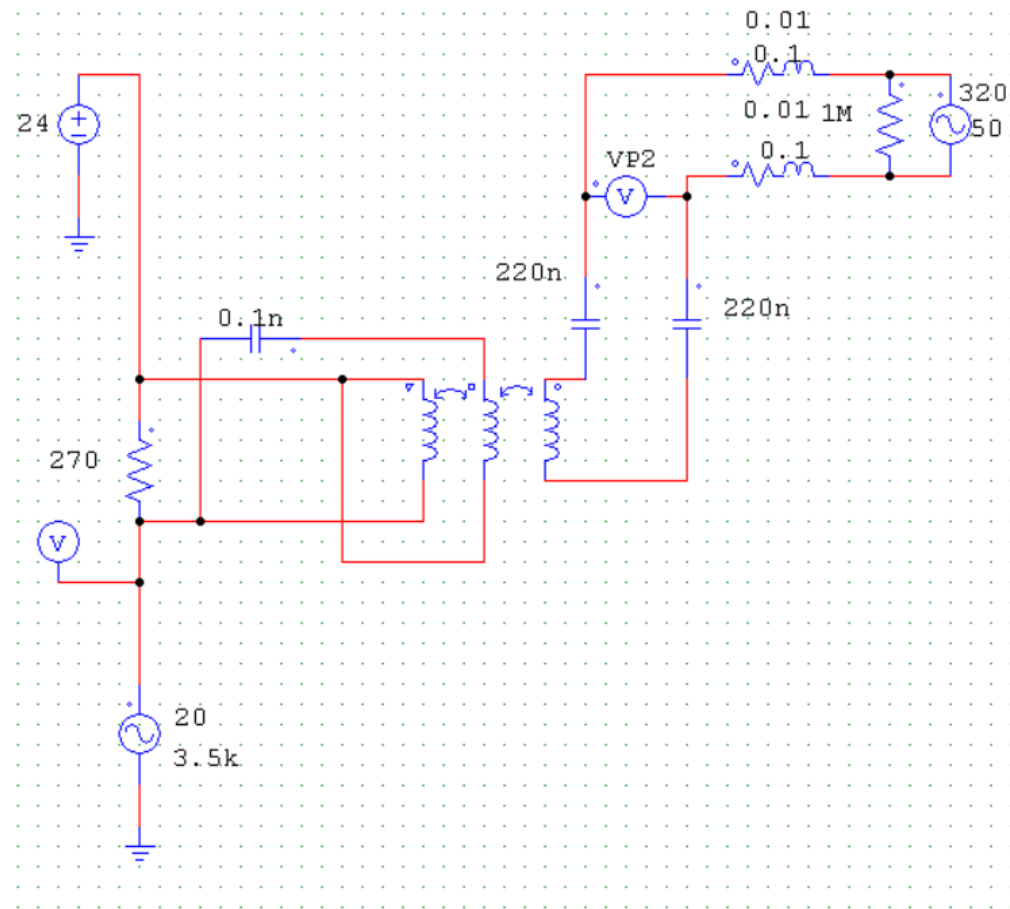
\*Arxiu adjunt a la memòria.

### **DataSheet LM567:**

\*Arxiu adjunt a la memòria.

### **Plànols:**



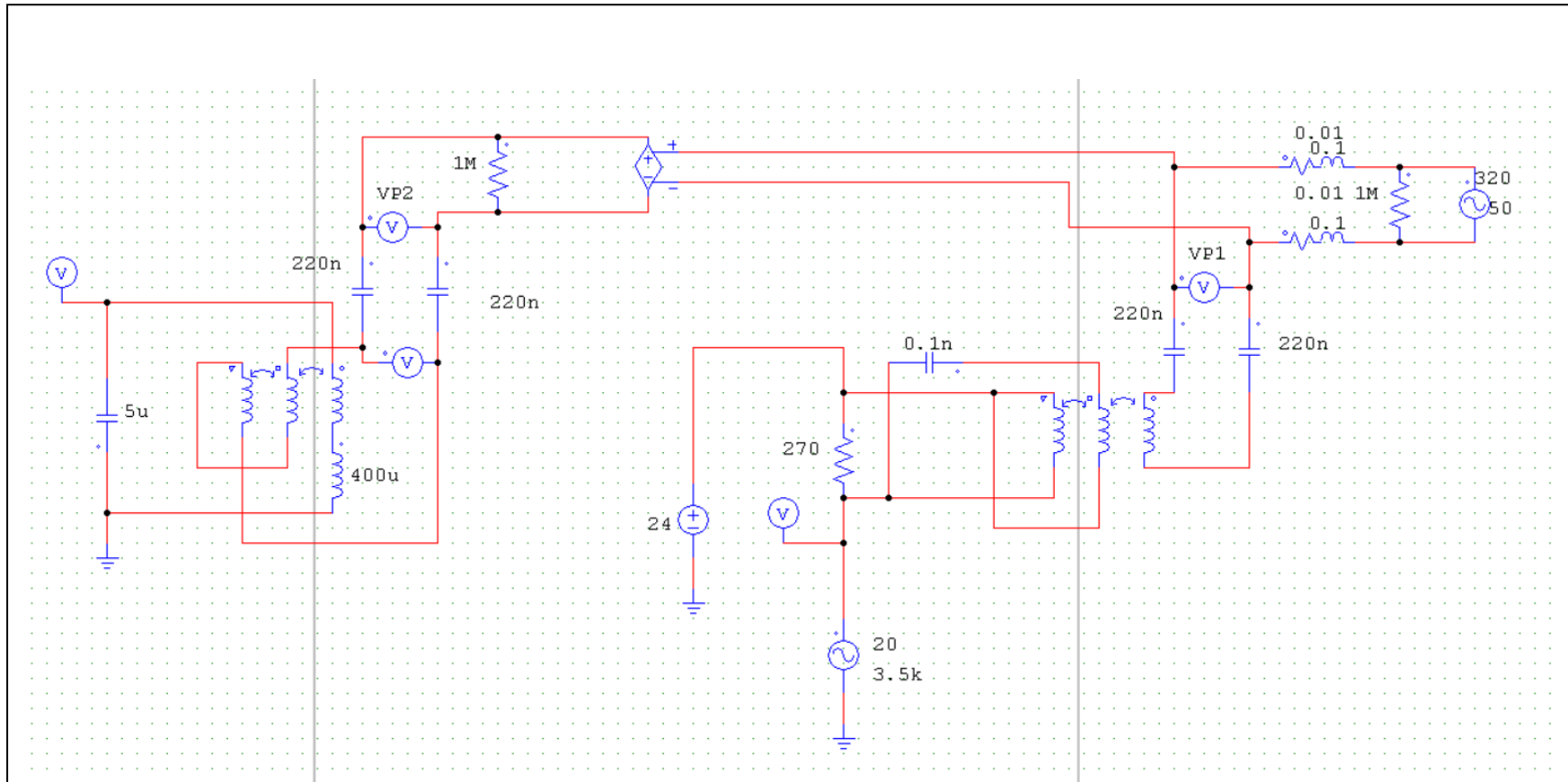


Circuit Emissor

Abril 2021

Marc Rubió Solsona

Universitat Politècnica de Catalunya



Circuit Final

Maig 2021

Marc Rubió Solsona

Universitat Politècnica de Catalunya