

ELECTRÒNICA I

AMPLIFICADORS AMB TRANSISTORS

1. Introducció

En aquesta pràctica s'analitzarà el comportament d'un circuit amplificador basat en transistors bipolars, més concretament un amplificador mono-transistor en configuració d'emissor comú. Aquest és un dels amplificadors més senzills que es poden dissenyar obtenint resultats aplicables dintre del rang de funcionament dels sistemes d'àudio. L'anàlisi que es realitzarà es farà a dos nivells distints, primer a nivell teòric, i després a través de simulació SPICE. A continuació es passarà a analitzar el comportament d'un amplificador de potència comercial d'aplicació al món de l'àudio. En aquest cas l'estudi es realitzarà a nivell de simulació SPICE.

2. Amplificador mono-transistor en configuració d'emissor comú

Anàlisi teòrica

El circuit a analitzar és el que es presenta a la Figura 1.

$V_{CC}=10V$
 $C_1=10\mu F$
 $C_2=100\mu F$
 $R_L=10\Omega$
 $R_C=34\Omega$
 $R_E=5\Omega$
 $R_1=10k\Omega$
 $R_2=\text{poten } 10k\Omega$

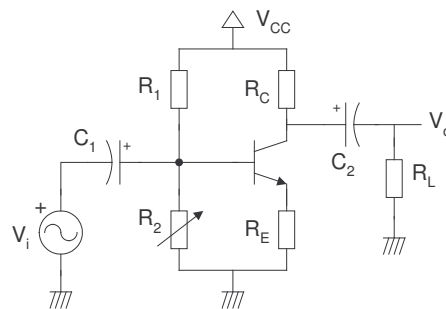


Figura 1

Q1.- Determinau el valor de R_2 per tal que en continua es tengui $I_C = 110mA$, considerant que el transistor té un guany $\beta=150$.

Q2.- Realitzau l'anàlisi en petit senyal i determinau els guanys en corrent i tensió de l'amplificador en qüestió. Considerau $nV_T=30mV$.

Q3.- Calculau les impedàncies d'entrada i sortida de l'amplificador.

Q4.- Calculau els marges dinàmics de sortida i entada.

Q5a.- Analitzau la resposta freqüencial obtenint la freqüència de tall de baixa freqüència.

Q5b. (Opcional)- Analitzau la resposta freqüencial obtenint la freqüència de tall per alta freqüència. Preneu $C_\pi = 50pF$ i $C_\mu = 10pF$.

Simulació SPICE

Q6.- Codifiquem en SPICE el circuit de la Figura 1. Per modelar el BJT emprau el model tipus Q2N2222 ja utilitzat a una pràctica anterior, i que es repeteix a continuació.

```
.model q2n2222 NPN (Is=14.34f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=74.03 Bf=255.9 Ne=1.307
+       Ise=14.34f Ikf=.2847 Xtb=1.5 Br=6.092 Nc=2 Isc=0 Ikr=0 Rc=1
+       Cjc=7.306p Mjc=.3416 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=22.01p Mje=.377 Vje=.75
+       Tr=46.91n Tf=411.1p Itf=.6 Vtf=1.7 Xtf=3 Rb=10)
```

Q7. Anàlisi OP

- a) Mitjançant una anàlisi .OP determineu R_2 tal que en el punt de treball (punt d'operació) es tenguin $I_C=110\text{mA}$. Per tal que l'SPICE realitzi un escombrat de valors de R_2 de forma automàtica haureu de definir el seu valor com un paràmetre i després utilitzar .STEP per variar el valor. Com exemple, a continuació es mostra com es definiria el paràmetre pot amb valor inicial $4\text{k}\Omega$ i com aquest paràmetre s'utilitza per fer un escombrat de valors per la resistència R_2 entre $4\text{k}\Omega$ i $8\text{k}\Omega$ amb increments de $0.5\text{k}\Omega$.

```
.param pot = 4k
R2 3 0 {pot}
.step param pot 4k 8k 0.5k
```

- b) Determineu el valor de V_C per el valor de R_2 obtingut.

Q8. Anàlisi AC

- a) Feis un diagrama de Bode per l'amplitud del guany V_o/V_i per el rang de freqüències 10Hz - 100kHz . Caldrà que la font V_i la definigueu com una font AC d'amplitud 1V , i llavors realitzeu una anàlisi .AC:

```
.ac dec 10 1 100k
```

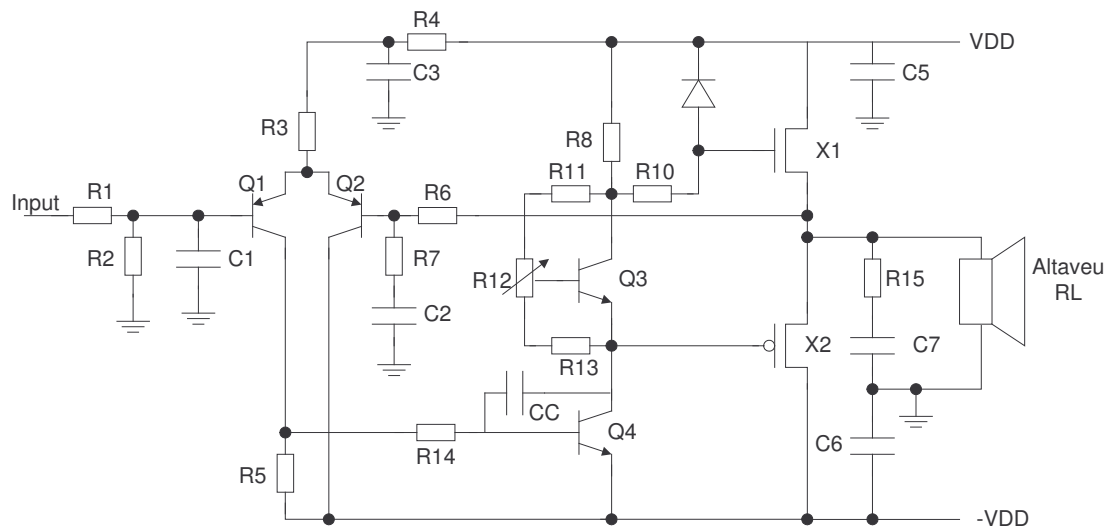
- b) Preneu per C_1 i C_2 un valors 10 vegades més petits i mirau com canvia el Bode. Explicau raonadament el que observeu. Repetiu el mateix per uns valor 10 vegades majors que els inicials.

Q9. Anàlisi transitòria

- a) Determineu V_o quan V_i es un senyal senoidal d'amplitud $A=0.1\text{V}$, 0.3V , 0.5V , 0.7V , 0.9V i 1.1V per cada una de les freqüències 20Hz , 200Hz , 2kHz i 20kHz . Comentau si hi apareix distorsió i a què es deguda.
- b) Determineu el valor de les potències mitges dissipades a les resistències R_C , R_E , R_L i al transistor Q, quan V_i es un senyal senoidal d'amplitud $A=0.3\text{V}$ i freqüència 1kHz (Recordau que $P_Q(t)=I_C(t) V_{CE}(t)$ i $P_{mitja} = \text{AVG}(P(t))$, on AVG és una de les funcions gràfiques del PROBE). Donau els valors en una taula.
- c) Realitzau dues simulacions mostrant com una d'elles es troba dins dels marges dinàmics de funcionament de l'amplificador i l'altre no. (Podeu emprar resultats de l'apartat a) d'aquesta mateixa qüestió).

3. Amplificador de potència comercial

En aquest apartat es realitzarà una anàlisi a nivell de simulació d'un circuit amplificador de potència comercial llur esquema ha estat proporcionat per l'empresa International Rectifier (IR). L'esquema del circuit és el que es pot veure a la següent figura.



Els valors dels components són :

$R1=4.7k\Omega$, $R2=47k\Omega$, $R3=15k\Omega$, $R4=1.2k\Omega$, $R5=560\Omega$, $R6=4.7k\Omega$, $R7=200\Omega$, $R8=5.4k\Omega$, $R10=680\Omega$, $R11=10k\Omega$, $R13=820\Omega$, $R14=4.7k\Omega$, $R15=10\Omega$, $RL=8\Omega$, $R12$ és un potenciòmetre de $1k\Omega$, ajustat de forma que hi hagi 650Ω en sèrie amb $R11$ i 350Ω en sèrie amb $R13$.

$C1=100pF$, $C2=100\mu F$, $C3=47\mu F$, $C5=2200\mu F$, $C6=2200\mu F$, $C7=68nF$, $CC=33pF$

Q1 i Q2 transistors 2N5087 (model Q2N5087)

Q3 i Q4 transistors 2N5088 (model Q2N5088)

X1 transistor IRF530n

X2 transistor IRF9530

Diode 1N4002 (model D1N4002)

VDD i -VDD, 30V i -30V respectivament.

Per realitzar la simulació se vos proporciona un fitxer llibreria.lib on hi ha la definició dels models pels diferents dispositius que apareixen al circuit (en tot cas aquests es poden trobar per internet). Cal notar que en el cas dels transistors MOS de potència, aquests es troben definits com un subcircuit al fitxer llibreria.lib, per tant a l'hora de codificar aquests transistors a la netlist es farà de la següent manera :

```
Xnom node_drenador node_porta node_sortidor nom_de_subcircuit
```

On nom_de_subcircuit en aquest cas serà irf530n i irf9530 per el NMOS i PMOS respectivament.

Per indicar al simulador que faci ús d'un fitxer de llibreries, el que s'ha de fer és introduir la línia següent a la netlist:

```
.lib nom_de_llibreria
```

on en aquest cas particular nom_de_llibreria és llibreria.lib. També es podrien copiar els models individuals dels components dins el fitxer .cir a on hi posareu la netlist.

Q10. Escriviu la *netlist* (descripció del circuit) del circuit amplificador.

Q11. Simulau el circuit (resposta freqüencial des de 1Hz fins a 10MHz) amb la finalitat d'obtenir :

- Guany en tensió (en dB)
- Guany en corrent (en dB)
- Impedància d'entrada
- Impedància de sortida
- Potència proporcionada a l'altaveu si l'amplitud d'entrada és de 0.1V.

(dibuixau a l'informe les gràfiques per a cada una de les magnituds anteriors vs. freqüència)

Q12. Anàlisi de distorsió :

Es tracta de realitzar un nou tipus de simulació, encaminada a determinar la distorsió harmònica que presenta la resposta del circuit amplificador, dada que solen donar els fabricants d'equips d'àudio.

Per això el que es fa és definir una entrada sinusoidal de freqüència i amplitud fixes, per exemple $A = 0.1 \text{ V}$ i $f = 1\text{kHz}$. Després es realitza una anàlisi transitòria, per exemple

```
.tran 1u 55m 5m 10u
```

En aquesta expressió, els dos darrers paràmetres indiquen que l'anàlisi comença a enregistrar-se a partir dels 5ms i que es guarden dades cada 10 μs . A continuació es realitza l'anàlisi de distorsió amb la instrucció:

```
.four freq v(node)
```

a on `node` correpon als punt del circuit on es vol analitzar la distorsió (normalment la sortida), i `freq` és la freqüència a la que es fa l'anàlisi, i que ha de coincidir amb la del senyal l'entrada.

Amb aquesta instrucció es calcula l'amplitud de les components de Fourier del senyal analitzat, a més del valor de la distorsió harmònica. Els resultats de l'anàlisi ens els proporciona en el fitxer de sortida `.out`.

Tenint en compte tot això, realitzau simulacions per a calcular la distorsió (`.FOUR`). Es demana que obtingueu dues corbes:

- a) Una corba on eix y = distorsió (en escala logarítmica), i eix x = potència entregada a la càrrega RL. Manteniu la freqüència d'entrada fixa a 1kHz i no utilitzeu entrades que donin distorsions més enllà del 5%.
- b) Una corba on eix y = distorsió (en escala logarítmica), i eix x = freqüència del senyal (en escala logarítmica). L'amplitud de l'entrada s'ha de mantenir fixa i ha de ser tal que a l'altaveu RL es dissipï 1W. Feis l'escombrat de freqüències entre 10Hz i 100kHz (quatre dècades) agafant uns 5 punts (valors de freqüència) per dècada.

Notau que no és el mateix graficar una magnitud en escala logarítmica que graficar el logaritme de la magnitud!

Per a obtenir les dues gràfiques de distorsió haureu de fer un conjunt de simulacions. Pel que fa a la *distorsio vs. potència*, podeu definir l'amplitud del senyal sinusoidal d'entrada com un paràmetre i fer un escombrat d'aquest. Així amb una sola simulació obtindreu tots els punts que volgheu.

En canvi, per la corba *distorsió vs. freqüència* haureu de fer una simulació independent per cada punt de la gràfica, variant la freqüència d'entrada (i també la que posau a la instrucció `.four`). Pensau a més que quan es canvia la freqüència del senyal per analitzar la distorsió en un altre punt, caldrà també variar els paràmetres del `.tran` per tal de **simular el mateix nombre de períodes del senyal**, ja que si no ho feim així les dades que s'obtenen perden sentit. Així, per exemple, si ara volem fer un anàlisis per $f = 100\text{Hz}$, emprarem

```
.tran 10u 550m 50m 100u
```

a on notau que la divisió de la freqüència per 10 s'ha traduït en un factor multiplicatiu 10 per als paràmetres del `.tran`.

Finalment, per tal de millorar la precisió de la simulació transitòria, afegiu la següent instrucció:

```
.options RELTOL = 10u
```