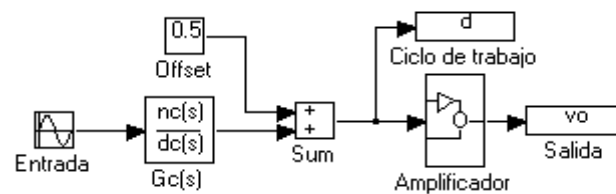


**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA**  
**DEPARTAMENT D'ENGINYERIA ELECTRÒNICA**

**COMPLEMENTOS DE CONTROL AUTOMÀTICO**

**PRÁCTICA 2 :**

**Análisis y simulación de un amplificador conmutado de audio**



**Fransesc Josep Miguel Nicolau**  
**Sebastià Jardí Estadella**

## Práctica 2 de Complementos de control automático

Análisis y simulación de un amplificador conmutado de audio.

### Objetivo

- Con ayuda de MATLAB, análisis en régimen estacionario y análisis frecuencial de un amplificador conmutado basado en dos convertidores bidireccionales en contrafase.
- Simulación con SIMULINK del amplificador.

### Estudio previo

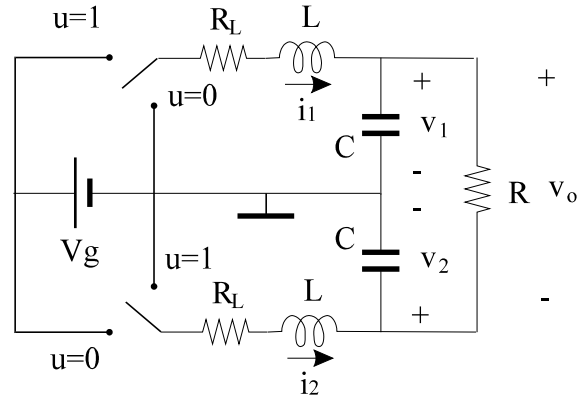


Fig 1

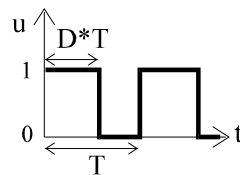
En el circuito de la figura se define el vector de estado:  $x = \begin{bmatrix} i_1 \\ v_1 \\ i_2 \\ v_2 \end{bmatrix}$

Se describe el sistema de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A_1 \cdot x + B_1 & \text{para } u = 1 \\ \dot{x} &= A_2 \cdot x + B_2 & \text{para } u = 0 \end{aligned}$$

- Obtener las matrices  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $A_2$  y  $B_2$ .

Si excitamos el sistema con una señal cuadrada periódica de ciclo de trabajo D



Para  $u=1$ , podemos deducir del circuito las siguientes ecuaciones:

$$V_g = V_{RL1} + V_{L1} + v_1 = R_L i_1 + V_{L1} + v_1 \Rightarrow V_{L1} = V_g - R_L i_1 - v_1$$

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{V_{L1}}{L} = \frac{1}{L} (V_g - R_L i_1 - v_1)$$

$$0 = V_{RL2} + V_{L2} + v_2 = R_L i_2 + V_{L2} + v_2 \Rightarrow V_{L2} = -R_L i_2 - v_2$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{V_{L2}}{L} = \frac{1}{L} (-R_L i_2 - v_2)$$

$$\frac{dv_1}{dt} = \frac{i_1 - i_L}{C} = \frac{i_1 - \frac{v_1 - v_2}{R}}{C} = \frac{1}{C} \left( \frac{i_1 R - v_1 + v_2}{R} \right) = \frac{1}{RC} (i_1 R - v_1 + v_2)$$

$$\frac{dv_2}{dt} = \frac{i_2 + i_L}{C} = \frac{1}{C} \left( i_2 + \frac{v_1 - v_2}{R} \right) = \frac{1}{RC} (i_2 R + v_1 - v_2)$$

de donde se obtienen las matrices  $A_1$  y  $B_1$ :

$$\begin{bmatrix} di_1/dt \\ dv_1/dt \\ di_2/dt \\ dv_2/dt \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} -R_L/L & -1/L & 0 & 0 \\ 1/C & -1/RC & 0 & 1/RC \\ 0 & 0 & -R_L/L & -1/L \\ 0 & 1/RC & 1/C & -1/RC \end{bmatrix}}_{A_1} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_1 \\ i_2 \\ v_2 \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} V_g/L \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}}_{B_1}$$

Para  $u=0$ , tendremos:

$$0 = v_{RL1} + v_{L1} + v_1 = R_L i_1 + v_{L1} + v_1 \Rightarrow v_{L1} = -R_L i_1 - v_1$$

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{v_{L1}}{L} = \frac{1}{L} (-R_L i_1 - v_1)$$

$$V_g = v_{RL2} + v_{L2} + v_2 = R_L i_2 + v_{L2} + v_2 \Rightarrow v_{L2} = V_g - R_L i_2 - v_2$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{v_{L2}}{L} = \frac{1}{L} (V_g - R_L i_2 - v_2)$$

$$\frac{dv_1}{dt} = \frac{i_1 - i_2}{C} = \frac{1}{RC} (i_1 R - v_1 + v_2)$$

$$\frac{dv_2}{dt} = \frac{1}{RC} (i_2 R + v_1 - v_2)$$

de donde se obtienen las matrices  $A_2$  y  $B_2$ :

$$\begin{bmatrix} \frac{di_1}{dt} \\ \frac{dv_1}{dt} \\ \frac{di_2}{dt} \\ \frac{dv_2}{dt} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} -R_L/L & -1/L & 0 & 0 \\ 1/C & -1/RC & 0 & 1/RC \\ 0 & 0 & -R_L/L & -1/L \\ 0 & 1/RC & 1/C & -1/RC \end{bmatrix}}_{A_2} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_1 \\ i_2 \\ v_2 \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ V_g/L \\ 0 \end{bmatrix}}_{B_2}$$

- Dibujar un diagrama de bloques, (preparado para introducirlo en SIMULINK) del *modelo promediado* del sistema, en el que se puedan dar condiciones iniciales a las cuatro variables de estado y se pueda observar la tensión de salida  $v_o$  y el ciclo de trabajo  $D$  de la señal cuadrada de entrada.

Cálculo del modelo promediado:

$$A_{pss} = A_1 D + A_2 D' = A_1 = A_2.$$

$$B_{pss} = B_1 D + B_2 D' = B_1 D + B_2 (1-D)$$

$$B_{pss} = \begin{bmatrix} V_g/L \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} D + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ V_g/L \\ 0 \end{bmatrix} (1-D) = \begin{bmatrix} DV_g/L \\ 0 \\ (1-D)V_g/L \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{L} \begin{bmatrix} DV_g \\ 0 \\ (1-D)V_g \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{1}{L} (DV_g - R_L i_1 - V_1) \quad \frac{di_2}{dt} = \frac{1}{L} ((1-D)V_g - R_L i_2 - V_2)$$

$$L = 150 \text{ mH} \Rightarrow \frac{1}{L} = 6.6667 \text{ e } 3$$

$$R_L = 0.1$$

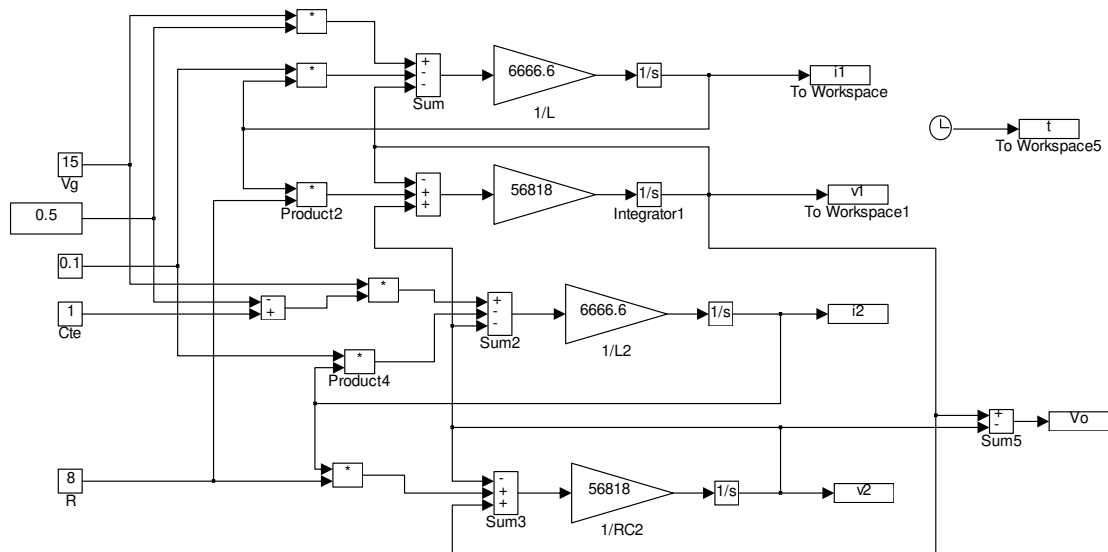
$$V_g = 15$$

$$R = 8 \text{ } \Omega$$

$$\Omega$$

$$\Rightarrow \frac{1}{RC} = 5.6818 \text{ e } 4 \text{ } \Omega$$

Modelo utilizado en SIMULINK:



### Ejercicios

En el circuito de la figura 1, los valores numéricos de los parámetros son los siguientes

$$V_g = 15 \text{ V} \quad L = 150 \mu\text{H} \quad R_L = 0.1 \Omega$$

$$R = 8 \Omega \quad C = 2.2 \mu\text{F}$$

**1. Obtener con ayuda de MATLAB los valores medios de las variables de estado y de la tensión de salida en régimen estacionario, cuando excitamos el sistema con una señal cuadrada periódica, en los casos de ciclo de trabajo  $D=1/2$ ,  $D=2/3$**   
**Linealizamos el modelo promediado en el punto de trabajo correspondiente a  $D=1/2$ .**

$X_{ss1} = -A_{pss} \backslash B_{pss1}$  donde  $X_{ss} = [i1, v1, i2, v2]$ , para  $D=1/2$ .

$X_{ss1} =$

0.0000  
7.5000  
0.0000  
7.5000

Valor medio de  $V_o = V1 - V2 = X_{ss1}(2) - X_{ss1}(4)$

$V_{omed1} =$

1.7764e-015

$X_{ss2} = -A_{pss} \backslash B_{pss2}$  donde  $X_{ss} = [i1, v1, i2, v2]$ , para  $D=2/3$ .

$X_{ss2} =$

0.6098  
9.9390

-0.6098  
5.0610

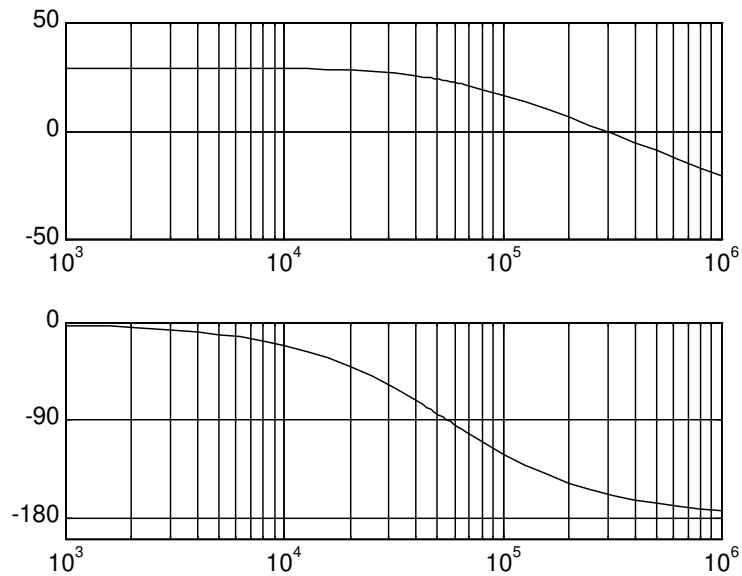
Valor medio de  $V_0 = V_1 - V_2 = X_{ss1}(2) - X_{ss1}(4)$

Vomed2 =

4.8780

2. Dibujar el diagrama de Bode de la función de transferencia  $\frac{\hat{V}_o(s)}{\hat{d}(s)}$ .

Se desea utilizar este circuito como amplificador de audio, siendo la resistencia R la impedancia de entrada de un altavoz e introduciendo la señal en  $\hat{d}(t)$ .



3. Obtener la ganancia a bajas frecuencias,  $G_0$ , y el ancho de banda,  $\omega_c$  (frecuencia de corte a  $G_0-3\text{dB}$ ) del amplificador.

Ganancia a bajas frecuencias ( $\omega=0$ ).

$G_0 = 29.2683$

$F_0 = 0$

Cálculo del ancho de banda

$\omega_c = 3.9811 \times 10^4$

Módulo y fase en  $\omega = \omega_c$

$\text{Modul}\omega_c = 18.9473$

$\text{Fase}\omega_c = -71.5159$

Módulo en  $\omega = \omega_c$  en dB=

$\text{ModuldB} = 25.5509$

Diferencia en dB con respecto a  $\omega=0$

$-3.7770$

4. Si introducimos en  $\hat{d}(t)$  una señal sinusoidal de amplitud  $A=0.3$ , y pulsación  $\omega=3 \cdot 10^4 \text{ rad/s}$ , calcular cual debe ser la amplitud de la salida  $\hat{v}_o(t)$ .

Para  $\omega=30000$  tenemos Módulo ( $G_{\omega_1}$ ) i Fase ( $F_{\omega_1}$ ):

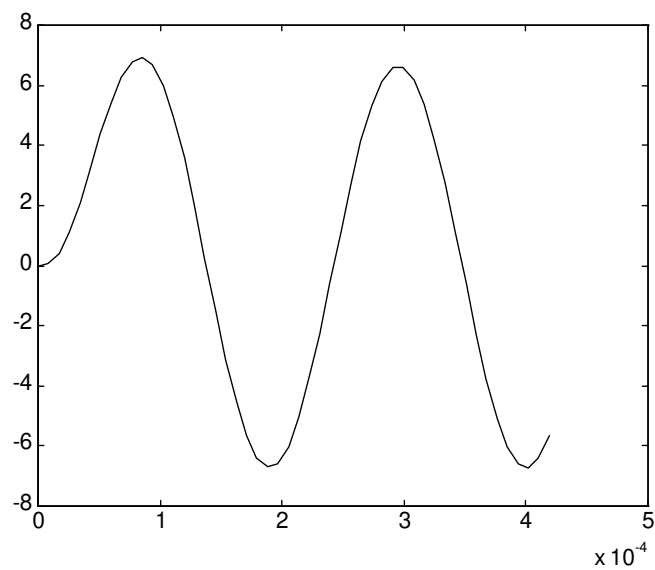
$G_{\omega_1} = 22.2957$

$F_{\omega_1} = -57.2453$

Ganancia en dB:

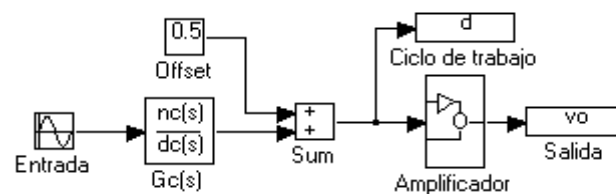
$G_{\omega_1\text{dB}} = 26.9644$

$0.3 \cdot 22.29 \approx 6.7$  V, que es aproximadamente la amplitud obtenida en la simulación, cuyo resultado puede apreciarse en la siguiente figura:



Para mejorar el ancho de banda del amplificador colocamos en cascada un filtro

$$G_c(s) = \frac{\left(\frac{s}{4 \cdot 10^4} + 1\right) \left(\frac{s}{7 \cdot 10^4} + 1\right)}{\left(\frac{s}{1 \cdot 10^7} + 1\right) \left(\frac{s}{1 \cdot 10^5} + 1\right)}$$





**5. Calcular la nueva la ganancia a bajas frecuencias y el nuevo ancho de banda.**

Nueva ganancia a bajas frecuencias ( $\omega=0$ ).

$G_0 = 29.2683$

$F_0 = 0$

Cálculo del nuevo ancho de banda

$W_c = 1.4678 \times 10^5$

Módulo y fase en  $W=W_c$

$\text{Modul}W_c = 18.1396$

$\text{Fase}W_c = -55.0155$

Módulo en  $W=W_c$  en dB

$\text{Modul}dB = 25.1725$

Diferencia en dB con respecto a  $W_0 = -4.1554$

**6. Si en la entrada damos una señal sinusoidal de amplitud  $A=0.3$ , y pulsaciones  $\omega_1=2 \cdot 10^4$  rad/s,  $\omega_2=5 \cdot 10^4$  rad/s y  $\omega_3=10^5$  rad/s, calcular la amplitud de la salida en cada caso**

Cálculo de la amplitud de la respuesta a  $\omega=2 \times 10^4$

$\text{Modulo} = 29.2606$

$\text{Fase} = -9.1050$

$V_o = 0.3 \cdot 29.2 = 8.76$

Cálculo de la amplitud de la respuesta a  $\omega=5 \times 10^4$

$\text{Modulo} = 27.8318$

$\text{Fase} = -23.9204$

$V_o = 0.3 \cdot 27.8 = 8.34$

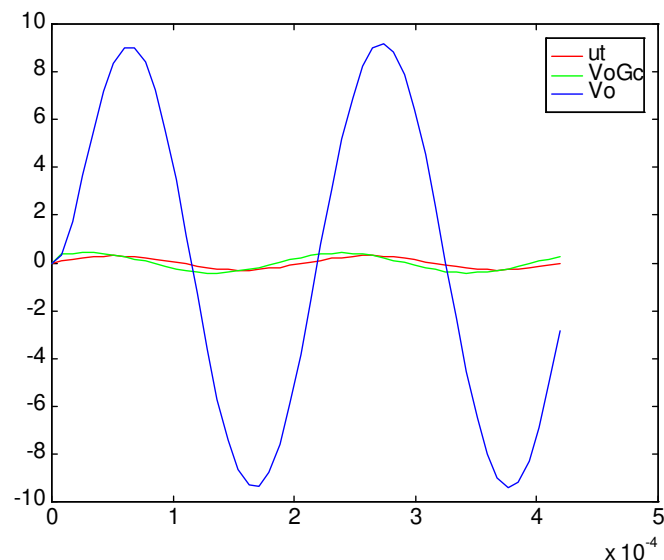
Cálculo de la amplitud de la respuesta a  $\omega=1 \times 10^5$

$\text{Modulo} = 22.6104$

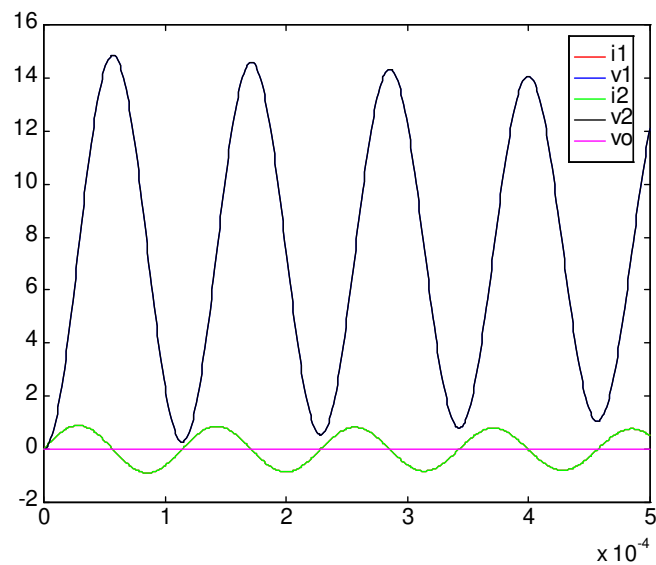
$\text{Fase} = -43.4617$

$V_o = 0.3 \cdot 22.6 = 6.78$

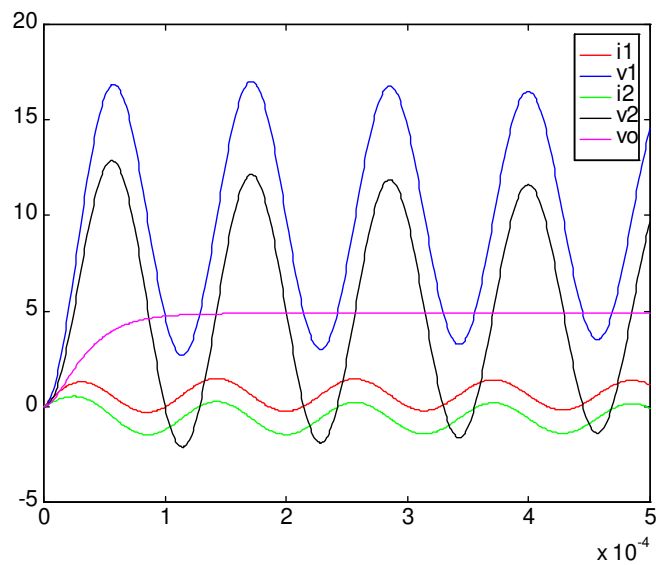
En la siguiente figura puede apreciarse la respuesta temporal a una entrada senoidal de amplitud 0.3 V y de frecuencia  $3 \times 10^4$  rad/s.



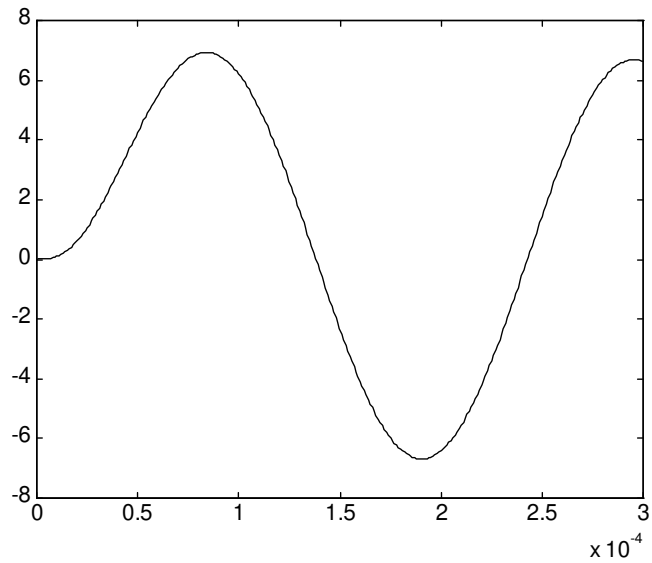
7. Simular en SIMULINK el modelo promediado del amplificador (sin compensador) y comprobar los resultados obtenidos en los apartados 1 y 4.



En esta figura podemos comprobar como los valores medios de las variables de estado coinciden con los valores de  $X_{ss1}$  ( $D=1/2$ ).



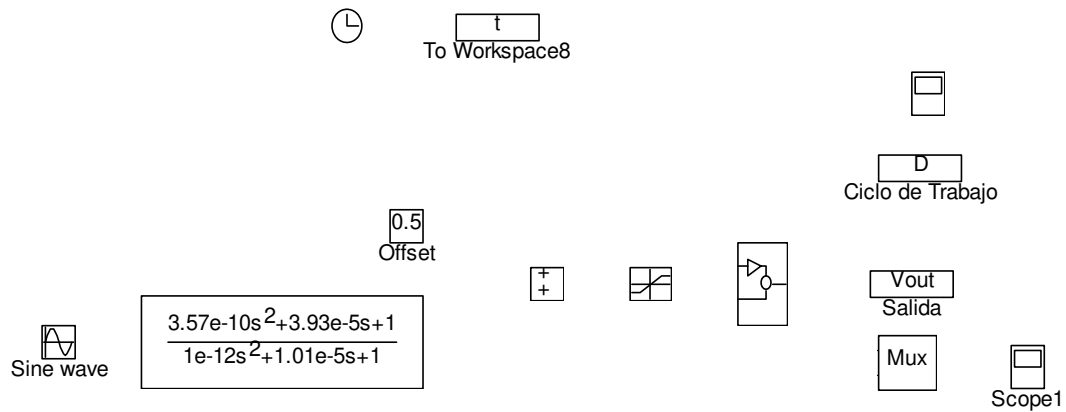
En esta otra figura podemos apreciar como los valores medios de las variables de estado coinciden con los valores de  $X_{ss2}$ , para  $D=2/3$ .



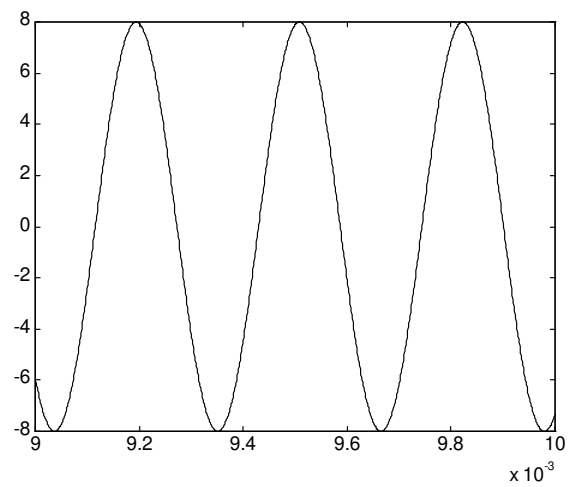
En esta figura podemos apreciar como la respuesta temporal a entrada seonidal sin compensador obtenida con SIMULINK, coincide con la respuesta obtenida en el apartado 4.

**8. Simular en SIMULINK el modelo promediado del amplificador compensado (no olvidar la limitación entre 0 y 1 del ciclo de trabajo) y comprobar los resultados del apartado 6.**

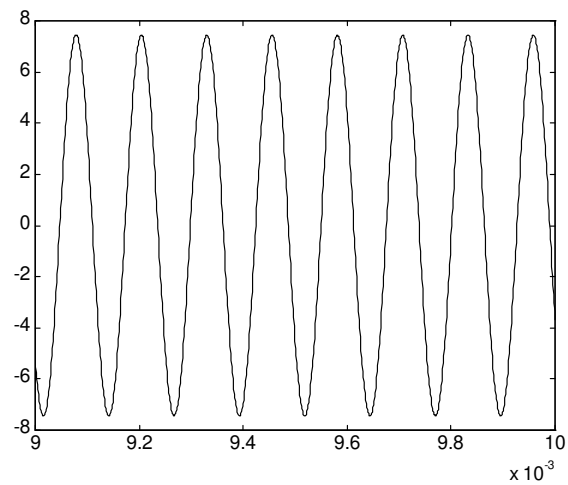
Introduciendo en SIMULINK el siguiente diagrama:



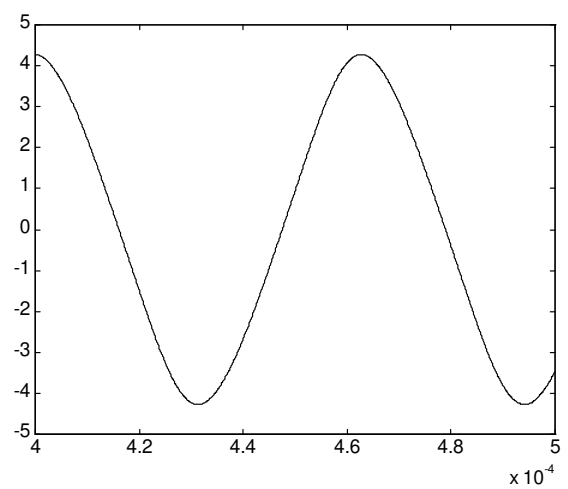
se ha obtenido el siguiente resultado:  
para  $w = 2e4$ :



para  $w=5e4$



para  $2e-5$



En estas figuras se puede apreciar como la amplitud de las señales obtenidas en SIMULINK no coinciden exactamente con los valores calculados en MATLAB, aunque sí puede apreciarse una considerable disminución de la amplitud de la señal de salida conforme va aumentando la frecuencia de la señal de entrada.

**El fichero \*.m de MATLAB utilizado para la realización de esta práctica es el siguiente:**

```
clc
disp('1.-Análisis de un amplificador conmutado de audio.')
disp(' ')
disp('1.1.- Parámetros del amplificador:')

RL=0.1;
L=150e-6;
C=2.2e-6;
R=8;
D1=1/2;
D1p=1-D1;
D2=2/3;
D2p=1-D2;
Vg=15;

disp('      RL      L      C      R      D1      D2      Vg')
disp([RL,L,C,R,D1,D2,Vg])

disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('1.2.1.-Cálculo de las matriz A1.')
disp('A1=')
disp(' -RL/L    1/L    0    0')
disp('  1/C    -1/R/C    0    1/R/C')
disp('    0    0    -RL/L    -1/L')
disp('    0    1/R/C    1/C    -1/R/C')
A1=[-RL/L,-1/L,0,0;1/C,-1/R/C,0,1/R/C;0,0,-RL/L,-1/L;0,1/R/C,1/C,-1/R/C]
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('1.2.2.-Cálculo de las matriz B1.')
disp('B1=')
disp('  Vg/L')
disp('    0')
disp('    0')
disp('    0')
B1=[Vg/L;0;0;0]
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('1.2.3.-Cálculo de las matriz A2=A1.')
disp('A2=')
disp(' -RL/L    1/L    0    0')
disp('  1/C    -1/R/C    0    1/R/C')
disp('    0    0    -RL/L    -1/L')
disp('    0    1/R/C    1/C    -1/R/C')
A2=A1
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('1.2.4.-Cálculo de las matriz B2.')
```

```

disp('B2=')
disp('  0')
disp('  0')
disp('  Vg/L')
disp('  0')
B2=[0;0;Vg/L;0]
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('Cálculo de las matrices promediadas para D=1/2.')
disp('Apss=A1=A2')
Apss=A1;
disp('Bpss1=[B1*D1+B2*D1"']')
Bpss1=[B1*D1+B2*D1p]
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('Cálculo de las matrices promediadas para D=2/3.')
disp('Apss=A1=A2')
disp('Bpss2=[B1*D2+B2*D2"']')
Bpss2=[B1*D2+B2*D2p]
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('Cáculo del vector de estado en estado estacionario para D=1/2.')
disp('Xss1=-Apss\Bpss1 donde Xss=[i1,v1,i2,v2]')
Xss1=-Apss\Bpss1
disp('Valor medio de Vo=V1-V2=Xss1(2)-Xss1(4)')
Vomed1=Xss1(2)-Xss1(4)
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('Cáculo del vector de estado en estado estacionario para D=2/3.')
disp('Xss2=-Apss\Bpss2 donde Xss=[i1,v1,i2,v2]')
Xss2=-Apss\Bpss2
disp('Valor medio de Vo=V1-V2=Xss1(2)-Xss1(4)')
Vomed2=Xss2(2)-Xss2(4)
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('2. Modelo dinámico de pequeña señal para D=1/2.')
disp('K=(A1-A2)*Xss1+B1-B2')
K1=(A1-A2)*Xss1+B1-B2
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('Bpsse1=Bpsse1/Vg')
Bpsse1=Bpss1/Vg
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
disp(' ')
pause
clc

Ci1=[Vg,0,0,0]

```

```

Cv1=[0,Vg,0,0]
Ci2=[0,0,Vg,0]
Cv2=[0,0,0,Vg]
D=[0,0]
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('Cálculo de la función de transferencia Salida-Control (Vo/D)')
[NumVo,DenVo]=ss2tf(Apss,[Bpsse1,K1],[0,1,0,-1],D,2)
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('Cálculo de la función de transferencia Salida1-Entrada (I1/Vg)')
disp(['[NumI1Vg,DenI1Vg]=ss2tf(Apss,[Bpsse1,K1],Ci1,D,1)'])
[NumI1Vg,DenI1Vg]=ss2tf(Apss,[Bpsse1,K1],Ci1,D,1)
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('Cálculo de la función de transferencia SalidaV1-Entrada (V1/Vg)')
disp(['[NumV1Vg,DenV1Vg]=ss2tf(Apss,[Bpsse1,K1],Cv1,D,1)'])
[NumV1Vg,DenV1Vg]=ss2tf(Apss,[Bpsse1,K1],Cv1,D,1)
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('Cálculo de la función de transferencia SalidaI2-Entrada (I2/Vg)')
disp(['[NumI2Vg,DenI2Vg]=ss2tf(Apss,[Bpsse1,K1],Ci2,D,1)'])
[NumI2Vg,DenI2Vg]=ss2tf(Apss,[Bpsse1,K1],Ci2,D,1)
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('Cálculo de la función de transferencia SalidaV2-Entrada (V2/Vg)')
disp(['[NumV2Vg,DenV2Vg]=ss2tf(Apss,[Bpsse1,K1],Cv2,D,1)'])
[NumV2Vg,DenV2Vg]=ss2tf(Apss,[Bpsse1,K1],Cv2,D,1)
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

if exist('diagmod')
    % Si no existe la figura del diagrama de
    figure(diagmod)% Bode se crea.
else
    diagmod=figure;
end
bode(NumVo,DenVo);
[modul,fase,w]=bode(NumVo,DenVo);

disp('3. Ganancia a bajas frecuencias (w=0).')
[G0,F0]=bode(NumVo,DenVo,0)
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('Cálculo del ancho de banda')
n=1;
G0dB=20*log10(G0);
GcdB=20*log10(G0)-3;

```

```

moduldB=20*log10(modul);
while (moduldB(n)>GcdB)           % Buscamos el primer valor de w
    n=n+1;                       % para el cual la ganancia está
end;                             % 3dB por debajo de la ganancia en W=0.
disp('Wc=')
w(n)
disp('Módulo y fase en W=Wc')
[ModulWc,FaseWc]=bode(NumVo,DenVo,w(n))
disp('Módulo en W=Wc en dB=')
ModuldB=20*log10(ModulWc)
disp('Diferencia en dB con respecto a Wo=')
disp(ModuldB-G0dB)
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('4.- Calculo de la respuesta temporal para u(t)=0.3*sen(3e4*t).')
disp('Para w=30000 tenemos Módulo (Gw1) i Fase (Fw1):')
[Gw1,Fw1]=bode(NumVo,DenVo,30000)
disp('Ganancia en dB:')
Gw1dB=20*log10(Gw1)

T=1/(3e4/2/pi);
temps=linspace(0,2*T,50);
ut=0.3*sin(3e4*temps);
Offset=0.5
if exist('simula')                % Si no existe la figura de la
    figure(simula)                % simulación se crea.
else
    simula=figure;
end
lsim(NumVo,DenVo,ut,temps);
title('Respuesta temporal a entrada senoidal.')
ylabel('Amplitud (V)')
xlabel('Tiempo (s)')
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('Introducción de los parámetros del filtro.')
NumGc=conv([1/4e4 1],[1/7e4 1])
DenGc=conv([1/1e7 1],[1/1e5 1])
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

if exist('BodeGc')                % Si no existe la figura del diagrama
    figure(BodeGc)                % de Bode del compensador se crea.
else
    BodeGc=figure;
end
bode(NumGc,DenGc)
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('Obtención de la función de transferencia del sistema con')
disp('el compensador en cascada.')
[NumA,DenA]=series(NumVo,DenVo,NumGc,DenGc)

```



```

if exist('BodeA')          % Si no existe la figura del diagrama
    figure(BodeA)          % de Bode del sistema compensado se crea.
else
    BodeA=figure;
end
bode(NumA,DenA)            % Bode del sistema compensado.
[modul,fase,w]=bode(NumA,DenA);
disp('3. Ganancia a bajas frecuencias (w=0).')
[G0,F0]=bode(NumA,DenA,0)
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('Cálculo del ancho de banda')
n=1;
G0dB=20*log10(G0);
GcdB=20*log10(G0)-3;
moduldB=20*log10(modul);
while (moduldB(n)>GcdB)    % Buscamos el primer valor de w
    n=n+1;                % para el cual la ganancia está
                           % 3dB por debajo de la ganancia en W=0.
end;
disp('Wc=')
w(n)
disp('Módulo y fase en W=Wc')
[ModulWc,FaseWc]=bode(NumA,DenA,w(n))
disp('Módulo en W=Wc en dB=')
ModuldB=20*log10(ModulWc)
disp('Diferencia en dB con respecto a Wo=')
disp(ModuldB-G0dB)
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

disp('6.1. Cálculo de la amplitud de la respuesta a w=2e4')
[Modulo,Fase]=bode(NumA,DenA,2e4)
disp('6.2. Cálculo de la amplitud de la respuesta a w=5e4')
[Modulo,Fase]=bode(NumA,DenA,5e4)
disp('6.3. Cálculo de la amplitud de la respuesta a w=1e5')
[Modulo,Fase]=bode(NumA,DenA,1e5)
disp('Pulsar una tecla para continuar.')
pause
clc

if exist('simula2')        % Si no existe la figura del diagrama
    figure(simula2)        % de respuesta temporal del sistema.
else
    simula2=figure;        % compensado se crea.
end

% Simulación del compensador, para obtener la
% señal en la salida del compensador.
[VoGc]=lsim(NumGc,DenGc,ut,temps);
plot(temps,ut,temps,VoGc)
% Simulación del sistema, aplicando a su entrada
% la señal de salida del compensador, para obtener
% la respuesta temporal de todo el sistema.
[Vo]=lsim(NumVo,DenVo,VoGc,temps);
plot(temps,ut,'r',temps,VoGc,'g',temps,Vo,'b')
legend('ut','VoGc','Vo')
title('Respuesta temporal a entrada senoidal con filtro.')
ylabel('Amplitud (V)')

```

```
xlabel('Tiempo (s)')
```