

---

## LABORATORIO DE COMUNICACIONES ELO-241

### Informe Previo 3 MODULACIÓN DIGITAL DE PORTADORA: ASK, OOK Y BPSK

---

*Andrés Farías Bórquez*  
201121021-2

*Felipe Fernández Pino*  
201121011-5

*Felipe Padilla Oyanader*  
201121037-9

10 de junio de 2014

## 1. Resumen

En el desarrollo de este informe previo se describen los métodos de resolución para cada problema, los conceptos teóricos necesarios para comprender cada uno de éstos y se explica el diseño de los módulos de prueba que se pretenden utilizar en esta experiencia.

## 2. Objetivos

- Lograr simular la modulación de señales digitales utilizando transmisión de información en amplitud de portadora (ASK y OOK) y transmisión de información en fase de portadora (BPSK).
- Observar los espectros pertenecientes a cada una de estas modulaciones y calcular sus respectivos anchos de banda basándose en tres distintos criterios.
- Simular la etapa de demodulación sincrónica para cada una de las señales descritas anteriormente.
- Observar y comprender el efecto de introducir un desfase a la señal portadora con la cual se demodula.
- Diseñar correctamente un circuito detector de envolvente para frecuencias de portadora dadas.

### 3. Descripción del Problema

En esta sección se procede a identificar cada problema y comprender qué se busca aprender en cada uno.

#### 1. Problema 1

El principal objetivo en este problema es simular correctamente cada una de las modulaciones que se estudian en esta experiencia, observando los efectos que producen al modular con señales cuadradas de frecuencia fija y ciclo de trabajo variable o con señales cuadradas pseudoaleatorias (más cercanas a una modulación digital real). Se desea graficar el espectro para cada uno de estos casos identificando diferencias y similitudes.

#### 2. Problema 2

En este problema se busca determinar el ancho de banda para cada una de las señales moduladas considerando tres distintos criterios:

- Ancho de banda de -3 [dB]
- Ancho de banda del primer nulo
- Ancho de banda de 98 % de potencia

#### 3. Problema 3

El objetivo de este problema es simular correctamente un demodulador sincrónico junto con un filtro pasa bajos para poder recepcionar los mensajes simulados anteriormente. También se busca determinar el efecto que tiene el demodular con una portadora desfasada desde  $0^\circ$  a  $180^\circ$ .

#### 4. Problema 4

En este problema busca familiarizarse con el amplificador operacional AD817, entender qué características son las que lo hacen útil para esta experiencia y diseñar las componentes que lo involucran para lograr desfasar la señal portadora.

#### 5. Problema 5

El objetivo de este problema es lograr diseñar correctamente el circuito detector de envolvente que se emplea para demodular en dos frecuencias de portadora distintas. Se debe especificar qué componentes se utilizan y el rango de voltajes apropiados para el circuito.

## 4. Metodología

### 1. Problema 1

A través del uso del software *Matlab* se procede a simular señales de tipos OOK y BPSK en base a características de diseño determinadas observando sus formas de onda y obteniendo el espectro de cada una en base a ciclos de trabajo determinados. Se analizarán y comentarán cada uno de los resultados obtenidos.

### 2. Problema 2

Se procede a determinar el ancho de banda de las señales simuladas en el Problema 1 en base a criterios como: Ancho de Banda de Primer Nulo, Ancho de banda -3dB y ancho de banda en base al 98 % de la Potencia. Se analizarán y comentarán cada uno de los resultados obtenidos.

### 3. Problema 3

Se utiliza el software MATLAB/Simulink para realizar la simulación del circuito demodulador sincrónico. En la Figura 1 se ilustra el modelo a utilizar en Simulink para simular la etapa de modulación y demodulación.

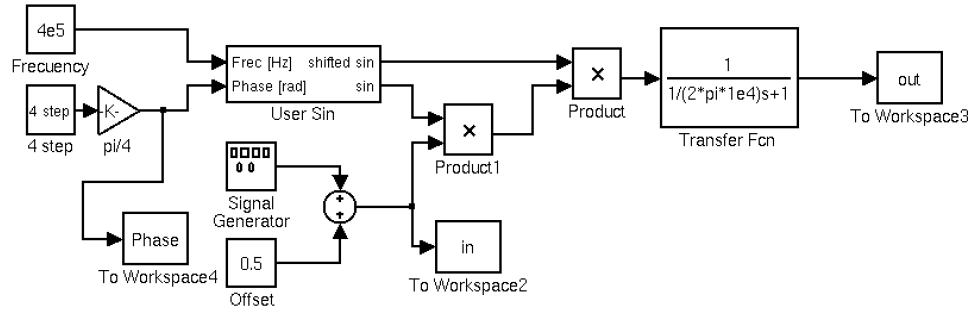


Figura 1: Modelo en Simulink a utilizar para simular demodulación sincrónica.

Para cada simulación (OOK y BPSK) se considera una señal modulante de frecuencia  $f_m = 5$  [KHz], una frecuencia de portadora de  $f_c = 400$  [KHz] y un ancho de banda (determinado por el criterio del primer nulo) de  $f_{corte} = 10$  [KHz].

En la simulación se considera la demodulación con cinco diferentes desfases para la portadora ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  y  $180^\circ$ ) dentro de un tiempo de 3 [ms] para lograr comparar fácilmente el efecto de éste en la señal demodulada.

### 4. Problema 4

### 5. Problema 5

## 5. Resultados y Contrastaciones

### 1. Problema 1

Se procede a elaborar tablas de amplitud de componentes espectrales de señales moduladas digitalmente mediante OOK y BPSK con los siguientes parámetros:

Para la Señal Portadora:

$$A_c = 1[V]$$

$$f_c = 400[Khz]$$

Para la Señal Modulante:

$$A_m = 1[V]$$

$$f_m = 5000[Hz]$$

Para las respectivas simulaciones, se utilizarán los siguientes códigos en *Matlab*:

### 5.1. Señal OOK

```

1  clear all; close all;
2  %OOK
3  %Caracteristicas: Debe tener un indice de modulacion igual a 1
4  Am= 1;
5  Ac= 1;
6  fm= 5e3;
7  fc= 400e3;
8  duty=50;
9  syms t;
10 %Variables
11 wc= 2*pi*fc;
12 wm= 2*pi*fm;
13 m = (Am/Ac);
14 fs= 2*wc;
15 %Tiempo
16 Tm = (1/fm);
17 t = 0:(Tm/1000):1000*Tm;
18 %senal Modulante
19 E = m.*(square(t.*wm,duty));
20 %senal OOK
21 f1=(1+E).*cos(t.*wc);
22 %Graficos senal OOK
23 title('senal OOK')
24 subplot(2,1,1);
25 A = plot(t,f1);
26 grid on;
27 set(A,'Color','black','LineWidth',2)
28 axis([0 2*Tm -3.5*m 3.5*m]);
29 xlabel('Tiempo[s]')
30 ylabel('Voltaje[V]')
31
32 %Grafico senal Modulante
33 title('Senal Modulante')
34 subplot(2,1,2);
35 B = plot(t,E);
36 grid on;
37 title('Senal Modulante')
38 set(B,'Color','red','LineWidth',2)
39 set(gca)
40 axis([0 2*Tm -1.5*m 1.5*m]);
41 xlabel('Tiempo[s]')
42 ylabel('Voltaje[V]')

```

Listing 1: Código Matlab OOK

Se obtienen los siguientes Gráficos:

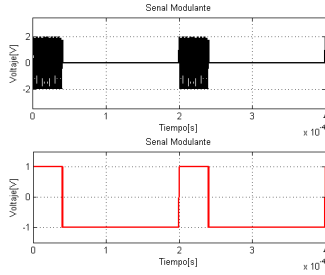


Figura 2: Señal 20 % ciclo de Trabajo

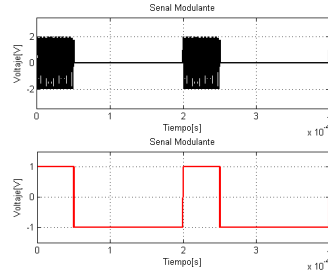


Figura 3: Señal 25 % ciclo de Trabajo

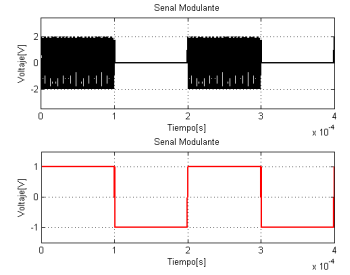


Figura 4: Señal 50 % ciclo de Trabajo

Cabe destacar la generación de nulos en la señal dependiendo del ciclo de trabajo de la señal Modulante. La relación de nulos generados se plantea a través de :

$$T/\tau = n \quad (1)$$

Donde n es la posición del Nulo.

Luego, se implementa el siguiente código para generar los espectros:

```

1  %%
2  %FFT
3  close all
4  X = fftshift(fft(f1));
5  f = fs/2*linspace(-1,1,length(X));
6  plot(f,10*log10(abs(X)))
7  axis([-5e5 -3e5 0 60])
8  [x,y] = ginput(5)
9  title('Espectro de señal OOK')
10 xlabel('Frecuencia(Hz)')
11 ylabel('|Y(f)|')
```

Listing 2: Código Matlab FFT OOK

Se obtienen los siguientes espectros:

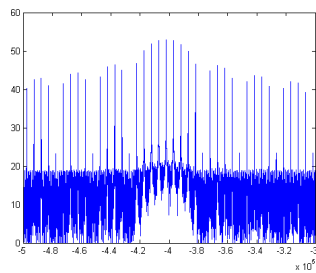


Figura 5: Señal 20 % ciclo de Trabajo

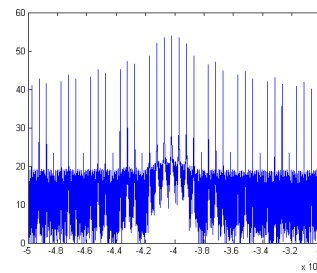


Figura 6: Señal 25 % ciclo de Trabajo

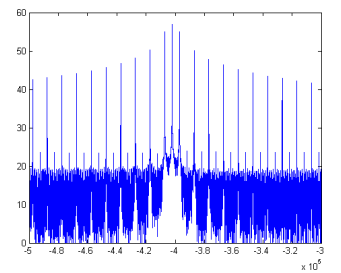


Figura 7: Señal 50 % ciclo de Trabajo

A traves del uso de la funcion *gidinput* en *Matlab* se encuentran las respectivas amplitudes y frecuencias fundamentales para cada uno de los espectros. Los valores son:

Nº armónica	Frecuencia · 1.0e+05 [Hz]	Potencia [dB]
1	-4.0207	57.6316
2	-4.0714	49.7368
3	-3.9700	49.5614
4	-4.1221	48.8596
5	-3.9194	48.6842

Tabla 1: Valores frecuencias fundamentales OOK

## 5.2. Señal BPSK

```

1  %Experiencia 3
2  clear all; close all;
3  %BPSK
4  %Caracteristicas: Debe tener un indice de modulacion igual a 1
5  Am= 1;
6  Ac= 1;
7  fm= 5e3;
8  fc= 400e3;
9  duty=50;
10 syms t;
11 %Variables
12 wc= 2*pi*fc;
13 wm= 2*pi*fm;
14 m = (Am/Ac);
15 fs= 2*wc;
16 %Tiempo
17 Tm = (1/fm);
18 t = [0:(Tm/1000):1000*Tm];
19 %senal Modulante
20 E = (0.5+0.5.*square(t.*wm,duty));
21 %senal ASK
22 f1=cos(t.*wc + 180.*E);
23 %Graficos senal BSK
24 title('senal BPSK');
25 subplot(2,1,1);
26 A = plot(t,f1);
27 grid on;
28 set(A,'Color','black','LineWidth',2)
29 axis([0 2*Tm -3.5*m 3.5*m]);
30 xlabel('Tiempo[s]');
31 ylabel('Voltaje[V]');
32
33 %Grafico senal Modulante
34 title('Senal Modulante');
35 subplot(2,1,2);
36 B = plot(t,E);
37 grid on;
38 title('Senal Modulante');
39 set(B,'Color','red','LineWidth',2)
40 set(gca)
41 axis([0 2*Tm -0.5*m 1.5*m]);
42 xlabel('Tiempo[s]');
43 ylabel('Voltaje[V]');

```

Listing 3: Codigo Matlab BPSK

Se obtienen los siguientes gráficos:

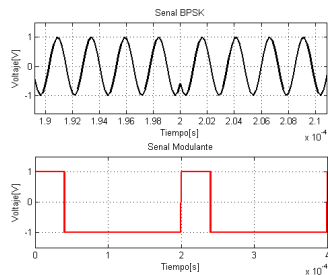


Figura 8: Señal 20 % ciclo de Trabajo

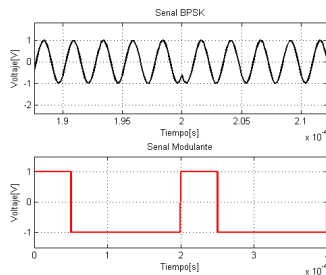


Figura 9: Señal 25 % ciclo de Trabajo

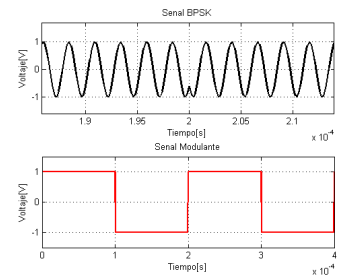


Figura 10: Señal 50 % ciclo de Trabajo

Es notorio en cada grafico la relacion de cambio de fase cada vez que la señal modulante cambia entre valores discretos, lo cual corresponde a una definicion directa de señales tipo BPSK.



Luego se implementa el siguiente código *Matlab* para generar los espectros:

```

1  %%
2  %FFT
3  close all
4  X = fftshift(fft(f1));
5  f = fs/2*linspace(-1,1,length(X));
6  plot(f,10*log10(abs(X)))
7  axis([-5e5 -3e5 0 60])
8  [x,y] = ginput(5)
9  title('Espectro de señal BPSK')
10 xlabel('Frecuencia(Hz)')
11 ylabel('|Y(f)|')

```

Listing 4: Código Matlab FFT BPSK

Se obtienen los siguientes Espectros:

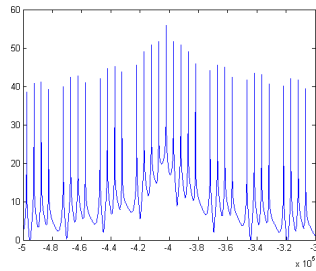


Figura 11: Señal 20 % ciclo de Trabajo

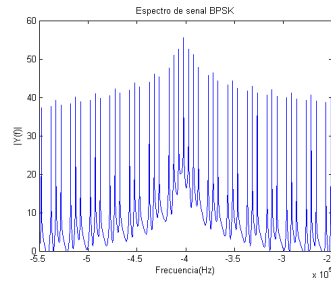


Figura 12: Señal 25 % ciclo de Trabajo

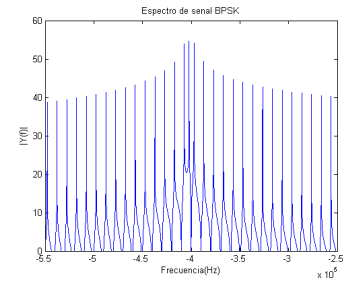


Figura 13: Señal 50 % ciclo de Trabajo

Las principales diferencias encontradas

Luego, se obtienen las siguientes tablas de datos:

Nº armónica	Frecuencia · 1.0e+05 [Hz]	Potencia [dB]
1	-4.0219	45.0000
2	-4.0726	41.8421
3	-3.9712	42.0175
4	-4.1210	41.1404
5	-3.9205	40.6140

Tabla 2: Valores frecuencias fundamentales BPSK

## 2. Problema 2

Se procede a calcular analíticamente los anchos de banda para cada uno de los casos anteriores. Para ello se utilizarán graficas espectrales mediante matlab dependiendo del criterio de determinacion de Bandwith pedido.

### 5.3. Ancho de Banda -3dB

#### 5.3.1. Señal OOK

Se obtienen los siguientes espectros en base a una caída de -3dB:

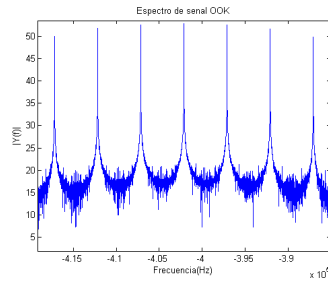


Figura 14: Señal 20 % ciclo de Trabajo

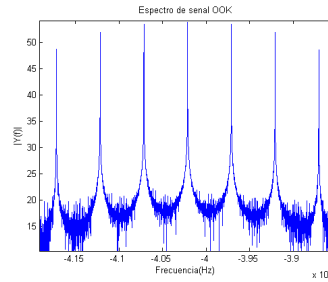


Figura 15: Señal 25 % ciclo de Trabajo

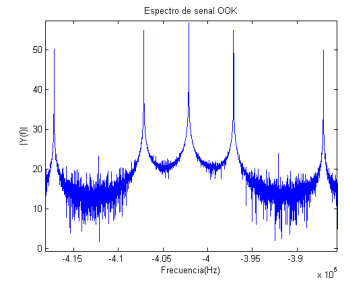


Figura 16: Señal 50 % ciclo de Trabajo

Armonica	Ciclo de Trabajo	Frecuencia Armónica · 1.0e+05[Hz]	Potencia [dB]
1	20	-4.0207	56.7544
3	20	-4.1728	50.2632
1	25	-4.0207	53.9474
3	25	-4.1728	48.5088
1	50	-4.0207	52.8947
3	50	-4.1728	49.9123

Tabla 3: Caída de -3dB

Ciclo de Trabajo	Ancho de banda · 1.0e+05[Hz]
20	0.1521
25	0.1521
50	0.1521

Tabla 4: Anchos de Banda de Señales para Diversos ciclos de Trabajo

### 5.3.2. Señal BPSK

Se obtienen los siguientes espectros en base a una caída de -3dB:

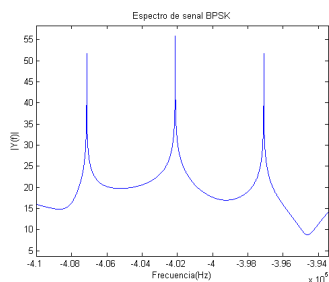


Figura 17: Señal 20 % ciclo de Trabajo

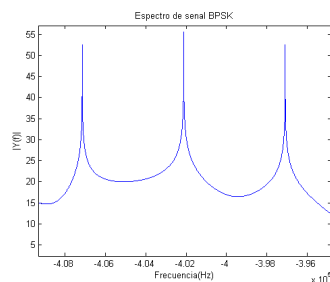


Figura 18: Señal 25 % ciclo de Trabajo

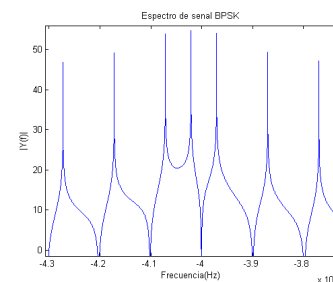


Figura 19: Señal 50 % ciclo de Trabajo

Armonica	Ciclo de Trabajo	Frecuencia Armónica · 1.0e+05[Hz]	Potencia [dB]
1	20	-4.0242	55.7018
2	20	-4.0726	51.4912
1	25	-4.0242	55.3509
2	25	-4.0726	52.1930
1	50	-4.0242	54.4737
3	50	-4.1694	49.0351

Tabla 5: Caída de -3dB

Ciclo de Trabajo	Ancho de banda · 1.0e+05[Hz]
20	0.0519
25	0.0484
50	0.1452

Tabla 6: Anchos de Banda de Señales para Diversos ciclos de Trabajo

## 5.4. Ancho de Banda Primer Nulo

### 5.4.1. Señal OOK

Se obtienen los siguientes Espectros en base al primer nulo:

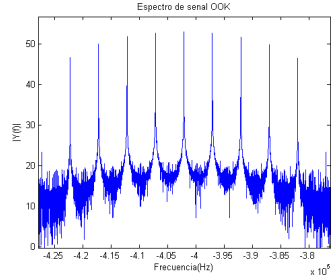


Figura 20: Señal 20 % ciclo de Trabajo

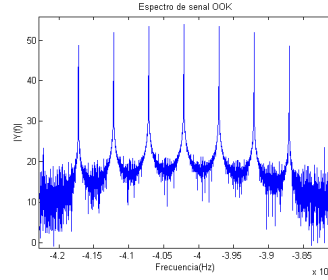


Figura 21: Señal 25 % ciclo de Trabajo

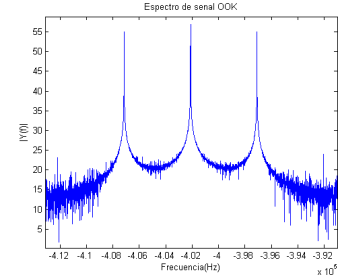


Figura 22: Señal 50 % ciclo de Trabajo

<i>Numero</i> Nulo	Ciclo de Trabajo	Frecuencia Nulos $\cdot 1.0e+05$ [Hz]	Potencia [dB]
1	20	-4.2742	19.7368
2	20	-3.7719	20.4386
1	25	-3.8180	20.9649
2	25	-4.2235	19.7368
1	50	-4.1221	18.8596
2	50	-3.9194	21.3158

Tabla 7: Nulos señales OOK a diversos ciclos de trabajo

Finalmente los anchos de banda respectivos para cada señal quedan denotados por:

Ciclo de Trabajo	Ancho de banda $\cdot 1.0e+05$ [Hz]
20	0.5023
25	0.4055
50	0.2027

Tabla 8: Anchos de Banda de Señales para Diversos ciclos de Trabajo

### 5.4.2. Señal BPSK

Se obtienen los siguientes Espectros en base al primer nulo:

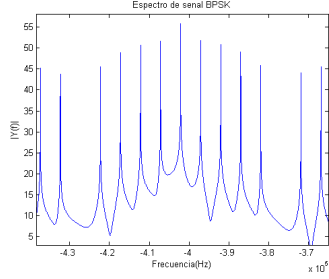


Figura 23: Señal 20 % ciclo de Trabajo

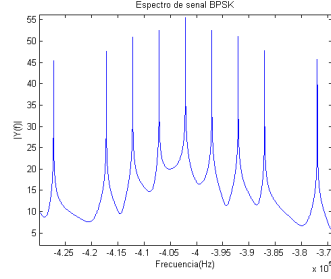


Figura 24: Señal 25 % ciclo de Trabajo

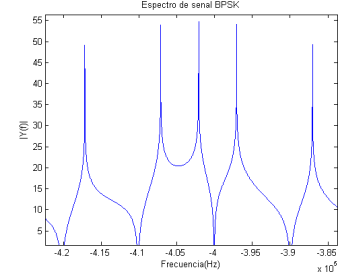


Figura 25: Señal 50 % ciclo de Trabajo

Numero Nulo	Ciclo de Trabajo	Frecuencia Nulos · 1.0e+05[Hz]	Potencia [dB]
1	20	-4.2592	7.4561
2	20	-3.7546	6.7544
1	25	-4.2108	7.8070
2	25	-3.8030	7.1053
1	50	-4.1071	6.9298
2	50	-3.9067	7.4561

Tabla 9: Nulos señales BPSK a diversos ciclos de trabajo

Finalmente los anchos de banda respectivos para cada señal quedan denotados por:

Ciclo de Trabajo	Ancho de banda· 1.0e+05[Hz]
20	0.5046
25	0.4078
50	0.2004

Tabla 10: Anchos de Banda de Señales para Diversos ciclos de Trabajo

### 5.4.3. Determinacion Ancho de Banda 98 % Potencia

Para determinar analiticamente el 98 % de potencia de una señal se utilizará calculo de coeficientes de la Serie de Fourie. Sea una resistencia de 50[Ω], la potencia total disipada en ella tiene un valor de:

$$P_{av} = \frac{1}{2 \cdot 50} (A^2 + B^2) [W] \quad (2)$$

Con A= Amplitud Señal Modulante y B= Amplitud Señal Portadora

### 3. Problema 3

En la Figura ?? se ilustra el resultado de la simulación al demodular sincrónicamente una señal OOK.

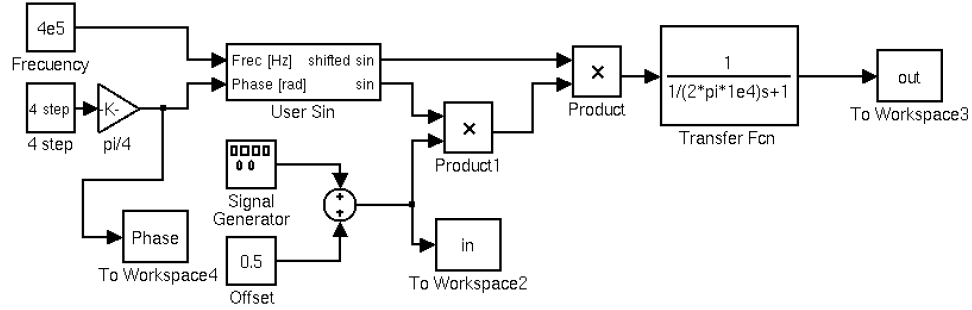


Figura 26: Modelo en Simulink a utilizar para simular demodulación sincrónica.

Se puede apreciar que

### 4. Problema 4

Se tiene el siguiente circuito desfasador mostrado a continuación:

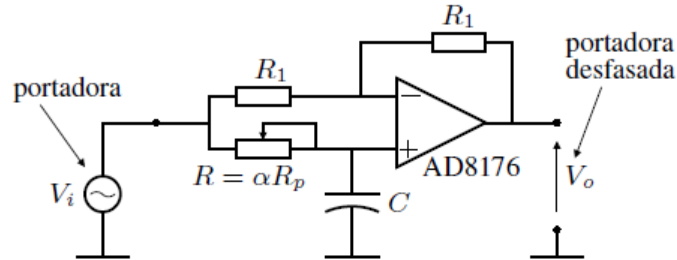


Figura 27: Circuito Desfasador.

Para comenzar entenderemos cuales son las características que hacen del amplificador operacional AD817 útil en esta experiencia, siendo una de estas su ancho de banda unitaria el cual es de 50[Mhz] lo que quiere decir que dentro de este rango de frecuencias no se presentarán atenuaciones en la señal de salida, como en este caso se utilizará una frecuencia de portadora de  $f_c = 400[kHz]$  el amplificador operacional no causará problema a la señal de salida.

Otra característica importante es el slew rate el cual en el AD817 es de  $350[\frac{V}{\mu s}]$ , el slew rate es la máxima velocidad de cambio que puede tener la señal de salida, es decir la capacidad del A.O para seguir los cambios de una señal de alta frecuencia de entrada y que la señal de salida no presente problemas.

En conclusión estas características del AD817 hacen posible el procesamiento de señales de entrada de alta velocidad siendo algunos ejemplos las señales de imágenes y videos, y en este caso la modulación de alta frecuencia.

Ahora para diseñar los valores de  $R_p$  y  $C$  se tiene que la función de transferencia del circuito desfasador es la siguiente:

$$V_o = V_i \frac{1 - j\omega RC}{1 + j\omega RC} \quad (3)$$

En donde expresando el fasor en modulo y ángulo se tiene:

$$|V_o| = |V_i| \sqrt{\frac{1 + (\omega RC)^2}{1 + (\omega RC)^2}} \frac{\angle \arctan(-\omega RC)}{\angle \arctan(\omega RC)}$$

Dado que la arcotangente es una función impar finalmente se obtiene:

$$|V_o| = |V_i| \angle -2 \arctan(\omega RC) \quad (4)$$

Se observa que no importa la frecuencia o valores de R y C la amplitud de la señal salida es igual al de la entrada, ahora tomando el ángulo se tiene:

$$\begin{aligned} \theta &= -2 \arctan(\omega RC) \\ R &= \frac{\tan(-\theta/2)}{\omega C} \end{aligned}$$

Dado que  $-\frac{\pi}{2} < \theta < 0$  buscamos el desfase para  $\theta = -\frac{\pi}{2}$  Remplazando este valor en la ecuación se obtiene:

$$R = \alpha R_p = \frac{1}{\omega C} \quad (5)$$

Escogiendo para este valor de desfase, el valor máximo del potenciómetro y con  $f_c = 400[kHz]$  se tiene

$$\begin{aligned} \alpha &= 1 \\ \omega &= 2\pi f_c = 2,513,274 \left[ \frac{rad}{s} \right] \end{aligned}$$

Fijando el potenciómetro de  $R = 2[k\Omega]$  se tendrá un valor de  $C = 0,198[nF]$ .

Finalmente con respecto a  $R_1$  se escoge un valor de unos pocos  $k\Omega$  con el fin de reducir el efecto ocasionado por las capacitancias parasitas, las cuales provocan oscilaciones de alta frecuencia en el lazo cerrado.

Luego los valores diseñados son:

$$\begin{aligned} R &= 2[k\Omega] \\ R_1 &= 10[k\Omega] \\ C &= 0,198[nF] \end{aligned}$$



### 5. Problema 5

Para diseñar el circuito detector de envolvente se basa en el siguiente criterio de diseño:

$$\frac{1}{f_p} \ll \tau \ll \frac{1}{f_m} \quad (6)$$

En donde la constante de tiempo es  $\tau = RC$

Este criterio se debe a que eligiendo un valor muy pequeño de  $\tau$  cercano a  $1/f_p$  existirá un ripple muy pronunciado debido a la rapidez que tendrá el comportamiento dinámico del circuito impidiendo la detección correcta de la envolvente, por otro lado el valor pequeño de  $\tau$  producirá que el efecto llamado negative peak clipping el cual consiste en que la señal demodulada tiende a redondear y no seguir correctamente a la señal AM será menos significativa.

En la siguiente figura se ilustran estos efectos.

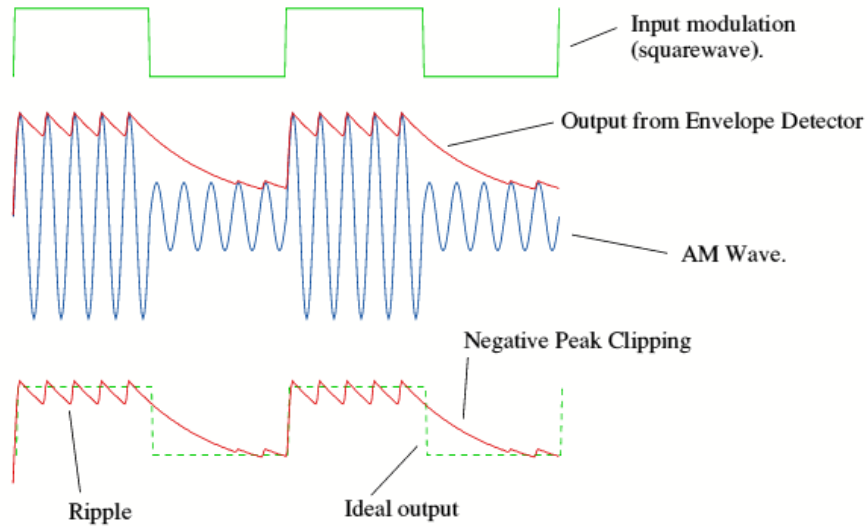


Figura 28: Efectos Ripple y Negative peak clipping.

Por otro lado si escogemos un valor de  $\tau$  más grande el efecto ripple será menos notorio, pero por otro lado el efecto del negative peak clipping se verá incrementado por lo cual usando las inecuaciones (4) consideraremos componentes con valores tales que la constante de tiempo se encuentre en un equilibrio para que no exista ni un efecto Ripple pronunciado ni un negative peak clipping pronunciado y obtener una demodulación bastante correcta de la señal AM.



El diodo que se utilizara es el 1N4148 el cual es un con alta velocidad de switching de frecuencia máxima de 250[MHz], por lo cual para nuestra señal AM de 400[kHz] es más que suficiente , NO SEGURO EN ALGUNOS LADOS SALE 100 MEGAS

## 6. Conclusiones

- Conclusión
- Conclusión