

Tema 2: modulaciones analógicas y ruido (sol)

2.1 La señal $x(t)$, cuyo espectro se muestra en la figura p.1(a), se pasa a través del sistema de la figura p.1(b) compuesto por dos moduladores DBL y dos filtros paso alto. Demostrar que este sistema produce BLU superior y encontrar los valores máximos permitidos para f_{p1} y f_{p2} si los filtros paso alto tienen una zona de transición limitada por $W_{ti} \geq f_{ci}/100$.

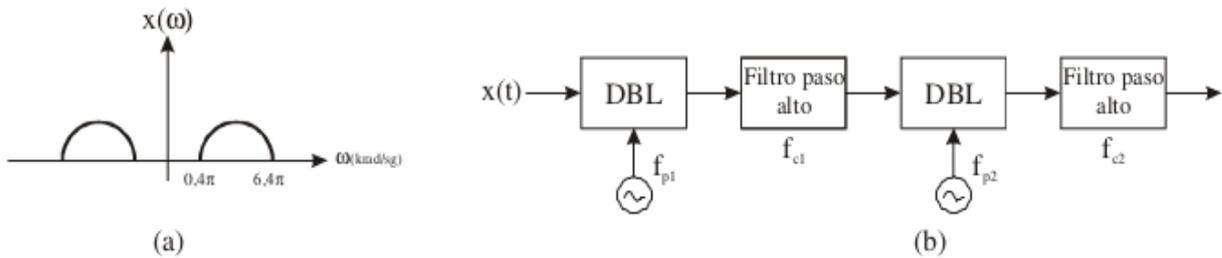


Figura p.1

Solución: [$f_{p1} \leq 40 \text{ kHz}$; $f_{p2} \leq 8040 \text{ kHz}$]

2.2 Una señal $x(t)$ periódica, de valor medio cero, ancho de banda 5 kHz, amplitud máxima 4 V y potencia media normalizada de 0.5, modula en DBL a una portadora de 1 MHz, obteniéndose una señal cuya potencia media es de 400 W. Se pide:

- Amplitud de la portadora.
- Potencia de la banda lateral inferior.
- Esquema del demodulador necesario para recuperar $x(t)$, dando los valores más significativos del mismo.

Solución: [a) $A_p = 10 \text{ V}$; b) $P(\text{BLI}) = 200 \text{ W}$; c) Demodulador síncrono, figura p.2: $A_x = 0.2 \text{ V}$; $f_x = 1 \text{ MHz}$; $K_F = 1$; $f_c \gg 5 \text{ kHz}$]

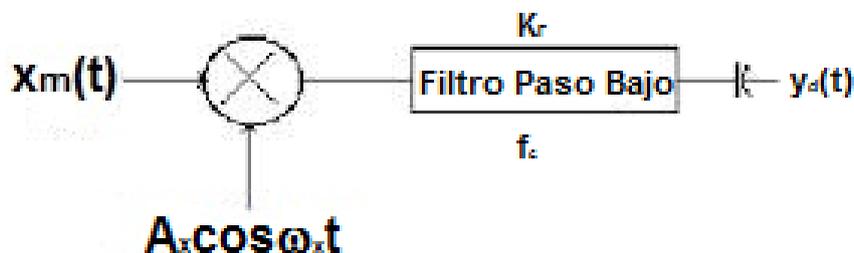


Figura p.2.

2.3 La señal $x(t)$, cuya frecuencia es 10 kHz, modula a una portadora de 100 kHz y se observa en un osciloscopio una señal como la de la figura p.3. Se pide:

- Indicar el tipo de modulación utilizado.
- Obtener el índice de modulación.
- Obtener la potencia de la portadora y de la moduladora.
- Indicar el valor de la eficiencia de potencia de la señal modulada.
- Obtener la señal recuperada si se utiliza un demodulador síncrono, sintonizado a $f_0=f_p=100$ kHz.
- Obtener la señal recuperada si se utiliza un detector de envolvente.

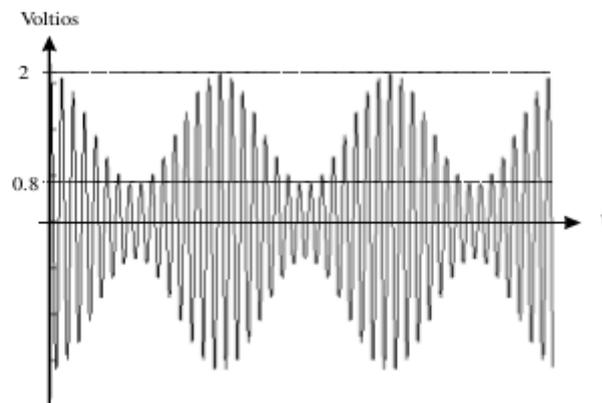


Figura p.3

Solución: [a] AM; b) $m=3/7$; c) $P[p(t)]= 0'98$ W; $P[x(t)]= 0'18$ W; d) Eficiencia= $P(2BL)/P(AM)=8'41\%$; e) Demodulador síncrono: $y_d(t)=0'5A_m\cos\omega_m t$ V; f) Detector de envolvente: $x_d(t)=A_m\cos\omega_m t$ V]

2.4 Un coseno puro de 8 W de potencia y de frecuencia 10 kHz modula en DBL a la portadora $p_1(t) = A_p \cos(2\pi \cdot 10^5 t)$, obteniéndose una señal modulada cuya potencia es de 256 W. La señal DBL, a su vez, modula en AM a la portadora $p_2(t) = 32 \cos(2\pi \cdot 10^6 t)$. La señal AM se transmite por un canal que reduce el nivel de la señal al 50% en el margen de frecuencias [0...950 KHz), y un 75% en el margen de frecuencias [950 KHz ... 10^{12} Hz]. Determinar:

- Ecuación de la señal $x(t)$, $x_{DBL}(t)$ y $x_{AM}(t)$.
- Potencia media de la señal a la entrada y a la salida del canal.
- En el receptor se aplica detección síncrona. Indicar el valor de la frecuencia de su oscilador local para recuperar una señal con la misma frecuencia que la señal $x(t)$, así como la frecuencia de corte del filtro paso bajo de dicho receptor.
- Potencia media de la señal recuperada, sabiendo que la amplitud del oscilador local es de 1 V.

Solución: [a] $x(t)=4\cos 2\pi \cdot 10^4 \cdot t$ V; $x_{DBL}(t)=16\cos 2\pi \cdot 90 \cdot 10^3 \cdot t + 16\cos 2\pi \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot t$ V; $x_{AM}(t)=32\cos 2\pi \cdot 10^6 \cdot t + 8\cos 2\pi \cdot 910 \cdot 10^3 \cdot t + 8\cos 2\pi \cdot 1.090 \cdot 10^3 \cdot t + 8\cos 2\pi \cdot 890 \cdot 10^3 \cdot t + 8\cos 2\pi \cdot 1.110 \cdot 10^3 \cdot t$ V; b) $P_{IN}(\text{canal})= 640$ W; $P_{OUT}(\text{canal})= 52$ W; c) Demodulador síncrono, figura p.2: $A_x=1$ V; $f_x=880$ kHz; $K_D=1$; $f_c \geq 10$ KHz; d) $y_d(t)= 2\cos(2\pi \cdot 10^4 \cdot t)$; $P[y_d(t)]= 2$ W]

TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN

2.5 La señal $x(t) = \cos(2\pi \cdot 10^4 t) + 4 \cdot \cos(2\pi \cdot 1,5 \cdot 10^4 t) - 0,99 \cos(2\pi \cdot 2 \cdot 10^4 t)$ modula en DBL a la portadora $p(t) = 2 \cos(2\pi \cdot 10^5 t)$. Hallar la señal que se obtendría a la salida del detector de envolvente, utilizando el sistema representado en la figura p.5.

$$H(\omega) = \begin{cases} 0 & |\omega| < 200\pi \text{ krad/s} \\ 1 & |\omega| > 200\pi \text{ krad/s} \end{cases}$$

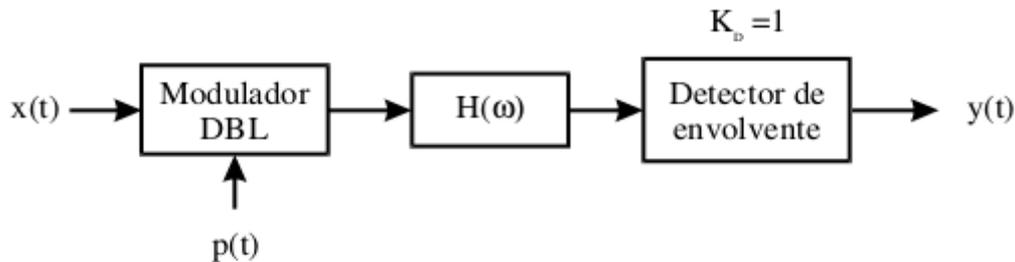


Figura p.5

Solución: $[y_d(t) = \sqrt{2}/12 \cos(2\pi \cdot 10^4 \cdot t + \pi) \text{ V}]$

2.6 Un transmisor tiene una potencia media nominal de 30 W y una potencia de pico máxima de 60 W. Se pide calcular:

a. La potencia asociada a una banda lateral cuando la señal $x(t) = \cos(2\pi \cdot 10^4 t)$ modula a la portadora $p(t) = A_p \cos(2\pi \cdot 10^5 t)$, así como el valor de A_p en los casos siguientes:

- i. Modulación AM al 80%.
- ii. Modulación DBL.
- iii. Modulación BLU.

b. En el caso i. del apartado anterior se observa que el canal presenta una atenuación no uniforme, tal como se aprecia en la figura p.6. Obtenga la señal detectada en los casos siguientes:

- i. Detección de envolvente.
- ii. Detección síncrona.

En ambos casos se supondrá un bloque de supresión de continua.

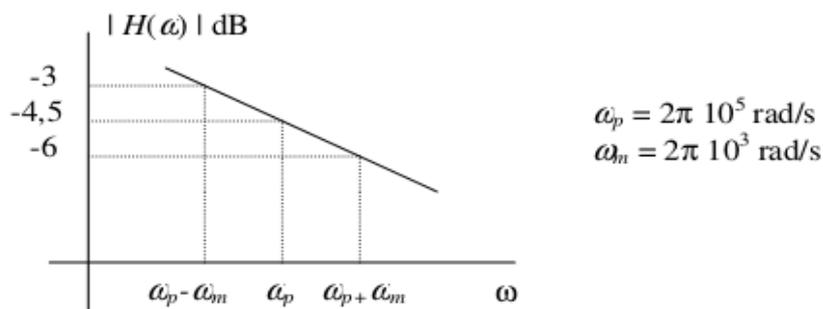


Figura p.6

Solución: [ai) $P_{1BL}(AM)=2'96$ W; $A_p(AM)=6'08$ V; aii) $P_{1BL}(DBL)=15$ W; $A_p(DBL)=10'95$ V; aiii) $P_{BL}(BLU)=30$ W; $A_p(BLU)=15'49$ V; bi) Detección de envolvente: $y_d(t)=K_D[A(t)-\langle A(t) \rangle]$; bii) Detección síncrona: $y_d(t)=K_D A_x 0'48\cos(\omega_m t)$]

2.7 La señal $x(t) = A_m \cos(2\pi \cdot 10^5 t)$ modula angularmente a la siguiente portadora $p(t) = A_p \cos(\omega_p t)$. Si se duplica la frecuencia del tono, se observa que las frecuencias instantáneas mínima y máxima de la señal modulada no varían, pero si varía el ancho de banda de la señal modulada.

- Razonar si se trata de modulación FM o PM.
- En cuánto se modifica el ancho de banda de la señal modulada.

Solución: [a) FM); b) $B[x_{FM}(t)]=2M\omega_m$; por tanto, se duplica]

2.8 Si $x_{FM}(t)$ es la señal que resulta al modular en FM una portadora $p(t) = A_p \cos(\omega_p t)$ por una señal $x(t)$. ¿Cuál sería la condición que permitiría recuperar la señal $x(t)$ mediante el esquema de la figura p.8?

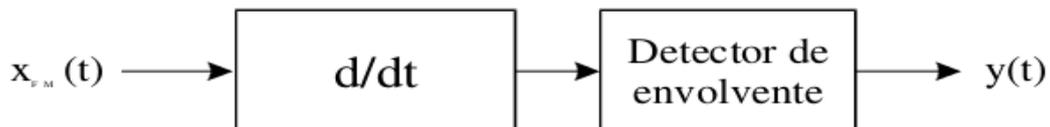
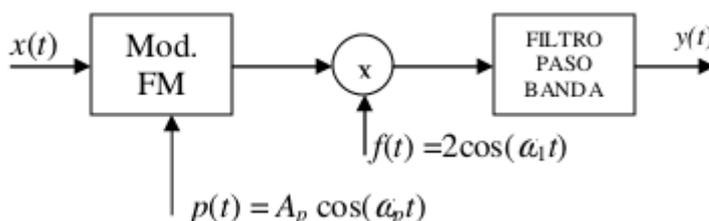


Figura p.8

Solución: $[(\omega_p + \omega_d x(t)) \geq 0 \rightarrow [(\omega_p - \omega_d |x(t)|_{\text{máx.}}) \geq 0]$

2.9 El esquema de la figura p.9 representa un modulador de FM seguido de un convertidor de frecuencia para adaptar la señal modulada a una banda de frecuencias conveniente para la transmisión. Para ajustar los parámetros del sistema se utiliza un tono de prueba $x(t)$. A partir de los valores recogidos en el apartado de datos, se pide calcular:

- El índice de modulación β y el ancho de banda de la onda modulada.
- El valor del ancho de banda, B , y la pulsación central del filtro paso-banda, ω_0 , si el canal de transmisión está situado por encima de la pulsación ω_1 .
- La potencia de la señal de salida $y(t)$ en función de A_p suponiendo que la pérdida de potencia por no transmitir las componentes menos significativas sea del 10%.



Datos

$x(t) = \cos(\omega_m t)$ V.
 $\omega_m = 2\pi \cdot 4$ krad/s
 $\omega_p = 2\pi \cdot 400$ krad/s
 $\omega_1 = 2\pi \cdot 2$ Mrad/s
 $\omega_2 = 2\pi \cdot 16$ krad/s

Figura p.9

Solución: [a) $\beta=4$; $B[x_{FM}(t)] \cong 2(\beta+a)\omega_m = 12\omega_m$ rad/s; b) $B_{\text{filtro}} \cong 12\omega_m$ rad/s; $\omega_0 = \omega_1 + \omega_p = 2\pi \cdot 2'4 \cdot 10^6$ rad/s; c) $P[y(t)]_{\text{salida}} = P_{\text{portadora}} 0'9 = 90\% P_{\text{portadora}}$]

TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN

2.10 Un sistema de transmisión por radio utiliza un modulador de frecuencia (FM) cuya constante del modulador es $f_d = 20 \text{ kHz/V}$ y portadora $p(t) = 5 \cos(2\pi \cdot 5 \cdot 10^7 t)$. Se pide:

- Calcular el índice de modulación β y el ancho de banda aproximado cuando la señal moduladora es $x_1(t) = \cos(2\pi \cdot 500 t)$.
- Repetir el apartado anterior si la señal moduladora es $x_2(t) = \cos(2\pi \cdot 10^4 t)$.

Para mejorar la relación señal-ruido de demodulación del sistema, se introducen los filtros de preénfasis y deénfasis de la figura p.10 y se prueba el sistema con la señal moduladora $x(t) = x_1(t) + x_2(t)$.

- Calcular el valor de la frecuencia de corte del filtro de deénfasis definido a 3 dB " B_{DE} ", para que el tono de frecuencia 10 kHz se atenúe 17 dB respecto al filtro ideal.
- Determinar la mejora en la relación señal-ruido de demodulación.
- Calcular el ancho de banda de la señal transmitida.

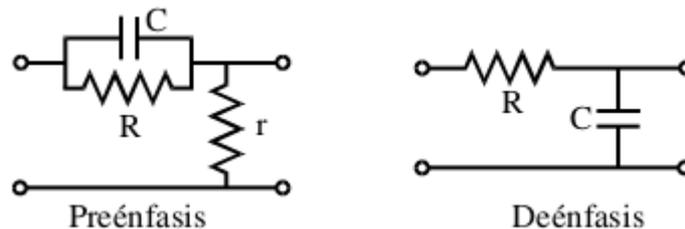


Figura p.10

Solución: [a) $\beta_1 = 40$; $B[x_{FM1}(t)] \approx 2\pi \cdot 40 \cdot 10^3 \text{ rad/s}$; b) $\beta_2 = 2$; $B[x_{FM2}(t)] \approx 2\pi \cdot 60 \cdot 10^3 \text{ rad/s}$; c) $B_{DE\text{filtro}} = 2\pi \cdot 1,43 \cdot 10^3 \text{ rad/s}$; d) 12,14 dB; e) $B_T = 2\pi \cdot 3 \cdot 10^5 \text{ rad/s}$

2.11 Se dispone de un transmisor que puede modular la señal de entrada en DBL o en AM. Para que el enlace cumpla las especificaciones de calidad, la relación señal-ruido de postdetección debe ser como mínimo de 20 dB.

Cuando se modula en DBL, se consigue un alcance máximo de 15 km con una potencia de 1 W a la salida del transmisor. La atenuación del enlace (en dB) es proporcional a la distancia que media entre el transmisor y el receptor. Se pide:

- Calcular la potencia de la señal a la salida del transmisor cuando modula en DBL y se desea un alcance de 20 km.
- Repetir el apartado anterior en el caso de modulación AM al 80 %.
- Calcular las potencias de pico de envolvente a la salida del transmisor en las condiciones de los apartados anteriores.

Datos: $N_0/2 = 2 \cdot 10^{-9} \text{ W/Hz}$; $|x(t)|_{\text{máx}} = 1 \text{ V}$; $S_x = 0,5 \text{ W}$; $W_x = 2\pi \cdot 5 \text{ krad/s}$; $\alpha_T(\text{dB}) = A \cdot d \text{ (km)}$, A cte.

Solución: [a) $S_T(\text{DBL}) = 7,96 \text{ W}$; b) $S_T(\text{AM}80\%) = 32,69 \text{ W}$ c) $P_{EP}(\text{DBL}) = 15,92 \text{ W}$; $P_{EP}(\text{AM}80\%) = 80,25 \text{ W}$

2.12 Una señal normalizada de ancho de banda 5 kHz y potencia media 0.5 W se transmite en un sistema de modulación AM, siendo la potencia de transmisor de 660 W. En el receptor, situado a una distancia de 40 km se obtiene una relación señal-ruido de postdetección de 33 dB.

Sabiendo que la densidad espectral de potencia de ruido es $N_0/2=2 \cdot 10^{-13}$ W/Hz y que la atenuación de propagación viene dada por $\alpha_T(\text{dB})=40+20\log(d(\text{km}))$, se pide:

- El índice de modulación m .
- La potencia invertida en transmitir la portadora, y la invertida en transmitir cada una de las bandas laterales.

Nota: para facilitar cálculos, hallar el valor de $b=m^2\langle x^2(t) \rangle$, y obtener el valor de m a partir del valor obtenido.

Solución: [a) $m=0,46$; b) $S_T(\text{PORTADORA}) = 596,15$ W; $S_T(\text{BANDA LAT.}) = 31,92$ W]

2.13 La señal $x(t)$ de la figura p.13(a) se pasa a través de un filtro paso bajo de ancho de banda 10 kHz, no influyendo esta limitación de banda en la potencia de la señal, y se elimina su componente continua.

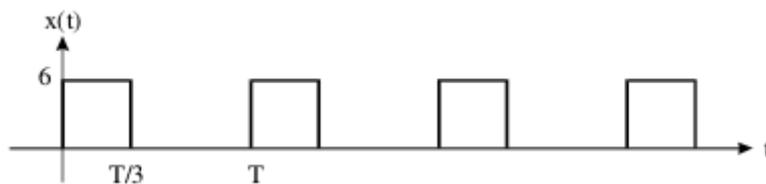


Figura p.13(a)

La señal resultante modula en AM a una portadora de 125 V, con un índice de modulación de 0.7484, y se transmite a través de una emisora de radio. El canal de transmisión introduce una atenuación de 80 dB y ruido blanco gaussiano cuya densidad espectral de potencia es $N_0/2=10^{-11}$ W/Hz.

Un vehículo que tiene sintonizada esta emisora, penetra en un túnel en cuyo interior la atenuación de propagación deja de ser constante y varía con la distancia según la ley:

$$A_T(\text{dB}) = a_0 + a_1 d \Rightarrow \begin{cases} a_0 = 10 \text{ dB} \\ a_1 = \frac{1}{3} \text{ dB/m} \\ d \rightarrow \text{distancia (m)} \end{cases}$$

- Obtener la potencia media de la señal modulada.
- Obtener la relación señal-ruido de demodulación a la entrada del túnel.
- Obtener la distancia a la que dejará de oírse la señal, en el vehículo, sabiendo que el umbral de demodulación del coche es de 10 dB.

TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN

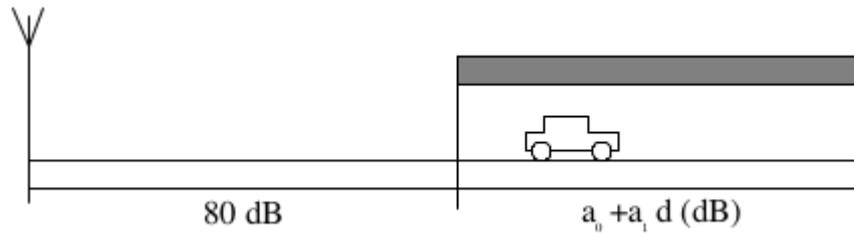


Figura p.13(b)

Solución: [a) $S_{AM} \equiv S_T = 10$ kW; b) $(S/N)_D$ -ENTRADA TÚNEL=109,39(20,38 dB); c) $d(10$ dB) =11,94 m.]

2.14 En un sistema de comunicación en el que la señal que llega al receptor tiene una potencia que está 100 dB por debajo de la potencia radiada por el transmisor y la densidad espectral de potencia de ruido es $N_0/2=2 \cdot 10^{-15}$ W/Hz, se requiere una relación señal-ruido de demodulación superior a 40 dB, para que la escucha sea correcta. El valor de la tensión máxima del mensaje es de 2 V, su potencia media es de 1 vatio y su ancho de banda 10 kHz. Obtener la potencia de transmisión mínima si se emplean los siguientes sistemas de modulación, considerando una relación señal-ruido postdetección umbral de 10 dB:

- a. Modulación DBL.
- b. Modulación AM, con $m=0.5$.
- c. Modulación BLU.
- d. Modulación PM ($\phi_d=1$ rad/V)
- e. Modulación FM sin deénfasis ($f_d=10^5$ Hz/V).

Solución: [a) $S_T = 4$ kW; b) $\gamma > \gamma_{th}$, $S_T = 68$ kW; c) $S_T = 4$ kW; d) $\gamma > \gamma_{th}$, $S_T = 4$ kW; e) $\gamma_{th} > \gamma$ por tanto: $S_T = S_{th}$; $S_T = 160$ W].

2.15 Se desea transmitir una señal de ancho de banda 10 kHz y potencia media normalizada de 0.5, a través de un sistema de comunicación FM. La relación señal ruido de demodulación debe estar por encima de 40 dB con un mínimo gasto de potencia, para ello, se dispone de un canal cuyo ancho de banda es de 120 kHz y que introduce ruido blanco cuya densidad espectral de potencia es de $N_0/2=0.5 \cdot 10^{-8}$ W/Hz y una atenuación de 40 dB. Indicar cuál debe ser la potencia necesaria para transmitir la señal.

Solución: [$S_T = 416,66$ W].

2.16 La señal $x(t)$, cuyo espectro se representa en la figura 2.16, se filtra mediante un filtro ideal paso banda de frecuencias de corte $f_{cinf}=40$ KHz y $f_{csup}=60$ KHz. La señal obtenida a la salida del filtro $y(t)$, modula en DBL a una portadora de amplitud máxima 10 V y frecuencia 1 M Hz. Se pide:

- a.- La potencia media de la señal moduladora $y(t)$ y la potencia media de la señal modulada $y_{DBL}(t)$.
- b.- La potencia de pico de la señal modulada $y_{DBL}(t)$.

Con el fin de obtener un tono puro de frecuencia f_x , la señal DBL se aplica a un demodulador síncrono cuyo oscilador local es $p(t)=\cos 2\pi 10^6 t$ V, con filtro paso bajo ideal de frecuencia de corte $f_c=75$ KHz. Determinar:

- c.- La amplitud máxima, A_x y la frecuencia, f_x del tono puro obtenido a la salida del demodulador síncrono.

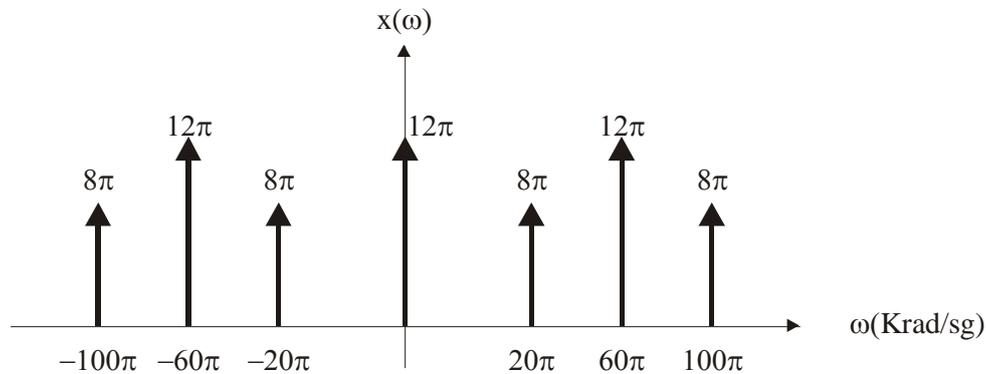


Figura 2.16

Solución: [a) $P[y(t)]=32$ W; $P[y_{DBL}(t)]=1.600$ W; b) $P_{EP}(y_{DBL}(t))=3.200$ W c) $A_x=40$ V; $f_x=50$ kHz].