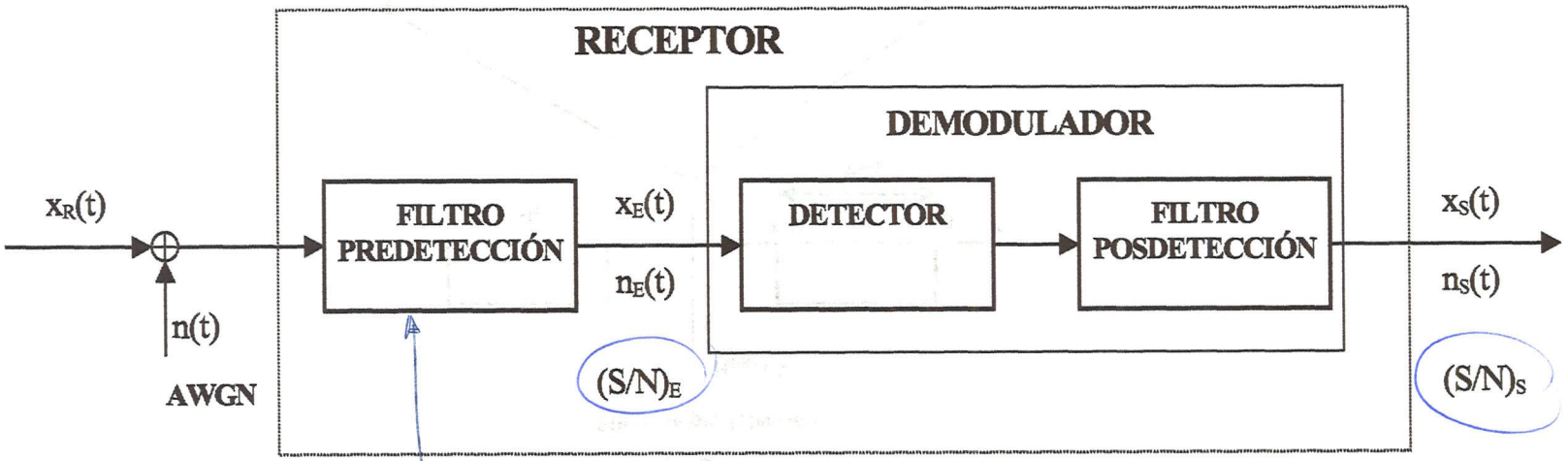
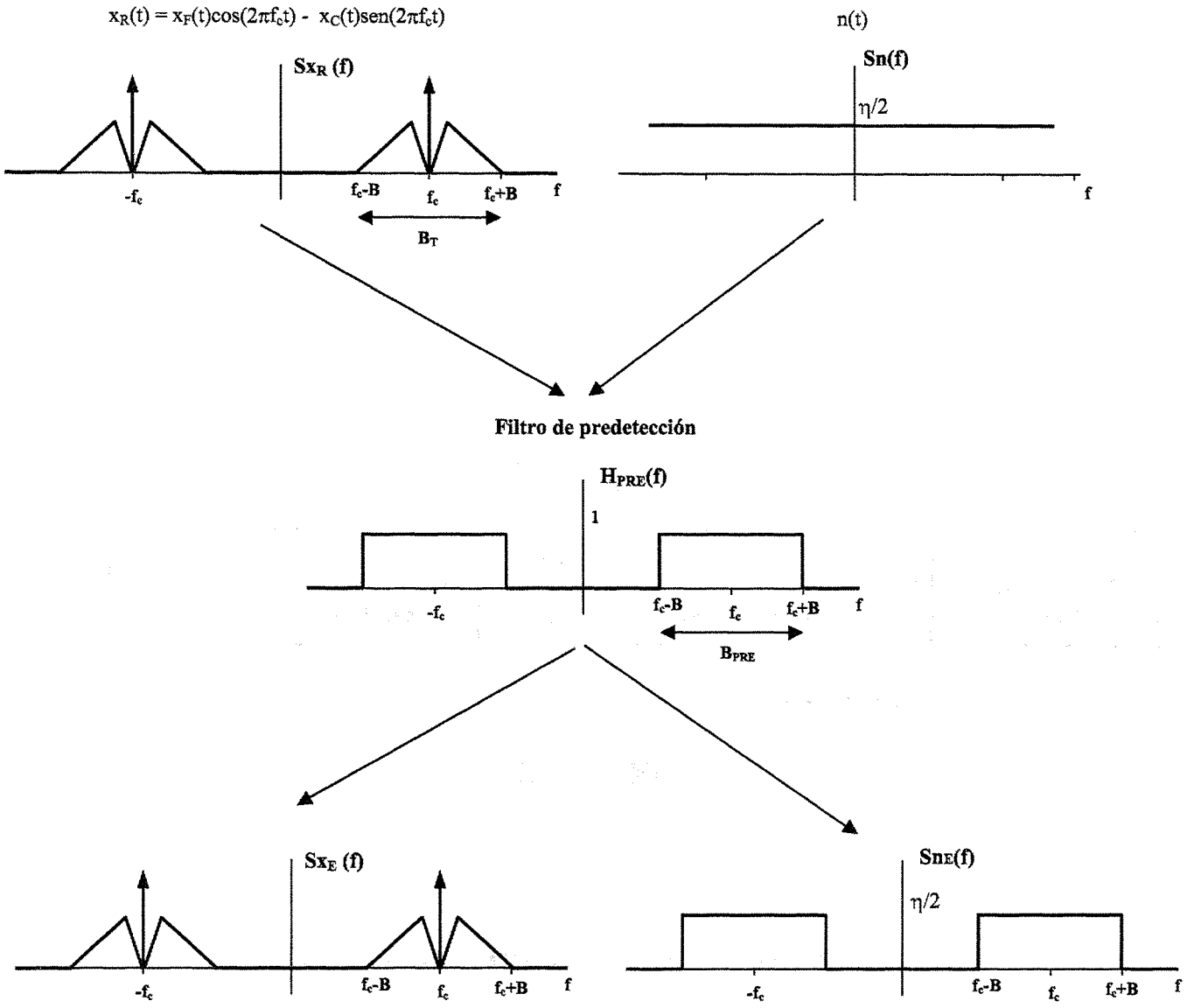
Análisis del Ruido: Modelo de Receptor.



- eliminar otros canales multiplexados
- eliminar todo el ruido posible



Receptor de Modulaciones Lineales (AM)

Comparativa de modulaciones

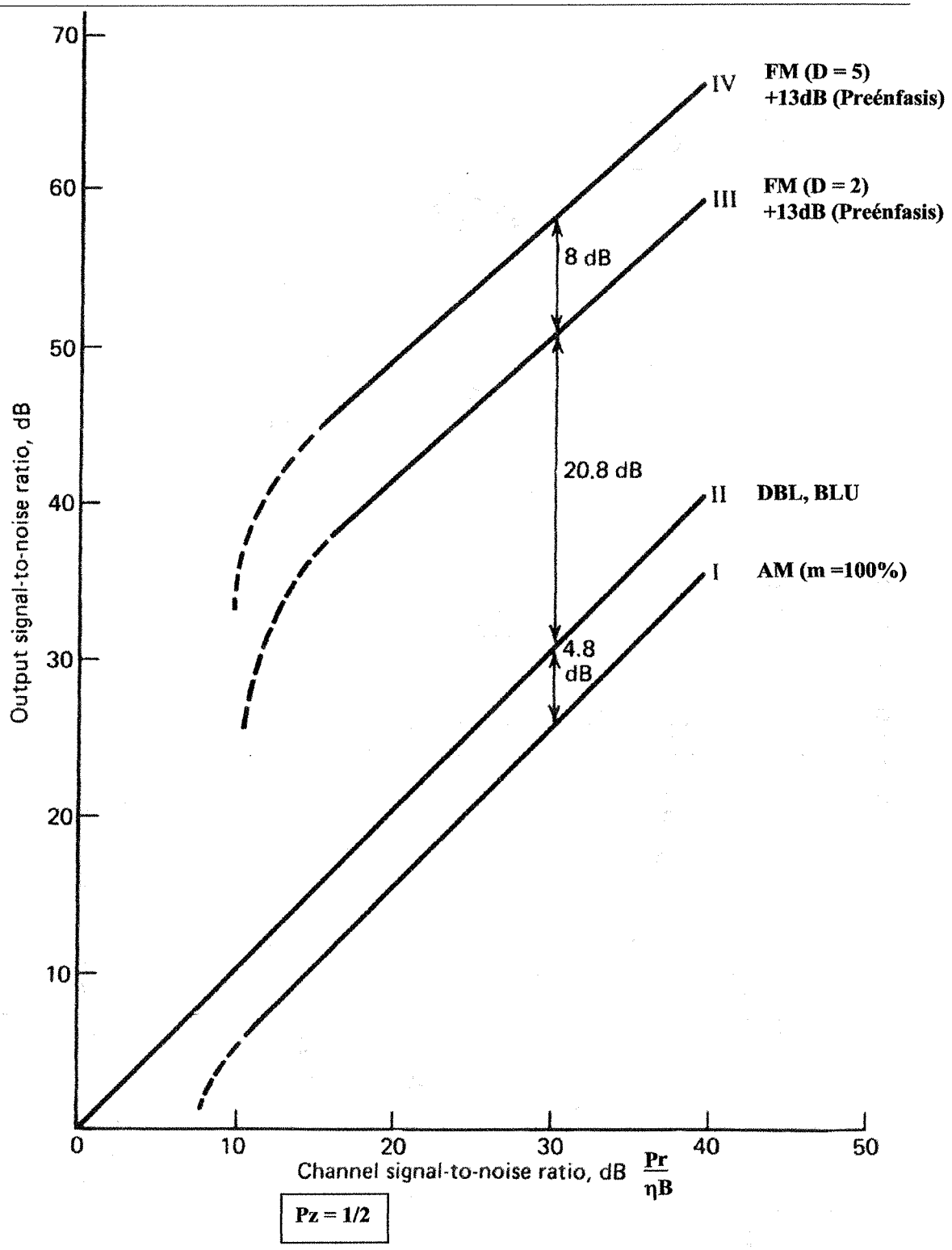
	Envolvente Compleja	Ancho Banda (W)	Potencia	PEP	$(S/N)_E$ *	$(S/N)_S$ *	$\frac{(S/N)_S}{(S/N)_{BB}}$ *
AM	$A.(1+m.z(t))$	$2.B$	$\frac{A^2}{2}(1+m^2.P_z)$	$\frac{A^2}{2}(1+m)^2$	$\frac{P_R}{2.\eta.B}$	$\frac{P_R}{\eta.B}\left(\frac{m^2.P_z}{1+m^2.P_z}\right)$	$\frac{m^2.P_z}{1+m^2.P_z}$
DBL	$A.z(t)$	$2.B$	$\frac{A^2}{2}P_z$	$\frac{A^2}{2}$	$\frac{P_R}{2.\eta.B}$	$\frac{P_R}{\eta.B}$	1
BLU	$A(z(t)+j.\hat{z}(t))$	B	A^2P_z	$\frac{A^2}{2}.Max\left[z^2(t)+\hat{z}^2(t)\right]$	$\frac{P_R}{\eta.B}$	$\frac{P_R}{\eta.B}$	1
MQ	$A(z_1(t)+j.z_2(t))$	$2.B$	$A^2P_{z_1}=A^2P_{z_2}$	A^2	$\frac{P_R}{2.\eta.B}$	$\frac{P_R}{2.\eta.B}$	1
FM**	$A.e^{j\varphi(t)}$	$2B(D+1)$	$\frac{A^2}{2}$	$\frac{A^2}{2}$	$\frac{P_R}{2.\eta.B(D+1)}$	$3.D^2P_z\frac{P_R}{\eta.B}$	$3.D^2P_z$

NOTAS:

* B_{PRE}=W (Ancho de Banda de la señal modulada)
B_{POS}=B (Ancho de Banda de la señal moduladora)

** $\varphi(t)=2\pi.\Delta f\int_0^t z(\tau)d\tau$; $D=\frac{\Delta f}{B}$

Comparativa de modulaciones



RELACIÓN DE PROBLEMAS DE COMUNICACIONES ANALÓGICAS
TEMA IV: EFECTO DEL RUIDO EN LA DEMODULACION

IV.1. Un canal de comunicaciones tiene un ancho de banda de 100 KHz. Se quiere utilizar dicho canal para transmitir un mensaje analógico normalizado con un ancho de banda de 4 KHz. La potencia de dicho mensaje es de 0.1. Calcule la relación entre la SNR a la salida de un sistema FM que utilice toda la banda disponible y la SNR a la salida de un sistema AM con un índice de modulación de 0.85. Exprese dicha relación en decibelios.

IV.2. Para el ejercicio **IV.1** calcule la potencia del transmisor mínima para conseguir una SNR a la salida del receptor de 25 dB. Para ello considere que el canal de transmisión presenta una atenuación de 60 dB y está sometido a un ruido blanco aditivo de densidad espectral de potencia de –110 dBW/Hz. Considere que el valor umbral de FM es 13 dB.

IV.3. Un mensaje analógico normalizado, *m(t)*, tiene un ancho de banda de 5 KHz y una potencia de 0.1. Se quiere transmitir por un canal de 100 KHz de ancho de banda, 80 dB de atenuación y ruido blanco con densidad espectral de potencia $0.5\ 10^{-12}$ W/Hz. La potencia del transmisor es de 10 KW.

a) ¿Qué SNR a la salida se obtendrá usando AM con índice de modulación de 0.8?

b) ¿Cuál será la máxima SNR a la salida que se pueda obtener usando FM?

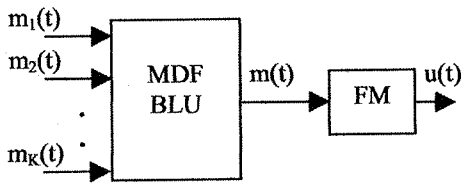
IV.4. Un mensaje analógico normalizado tiene un ancho de banda de 8 KHz y una potencia de 0.5. Se quiere transmitir por un canal con ancho de banda disponible de 60 KHz y atenuación de 40 dB. El ruido del canal es blanco y aditivo con densidad espectral de potencia de 10^{-12} W/Hz. Se propone utilizar una modulación de frecuencia sin pre-énfasis/de-énfasis.

a) Si se desea obtener una SNR de 40 dB a la salida del receptor ¿cuál será la mínima potencia transmitida necesaria y la correspondiente desviación de fase?

b) ¿Y si se deseara obtener una SNR de 60 dB?

c) Si en el apartado b) se pudiera emplear pre-énfasis/de-énfasis mediante unos filtros de constante de tiempo (τ=RC) de 75 μs, cómo cambiaría la SNR.

IV.5. En la transmisión de señales telefónicas por enlaces directos de microondas se utiliza frecuentemente una combinación de multiplexación en frecuencia de canales BLU con modulación FM. Observe el esquema de la figura. A cada una de las señales $m_i(t)$ se le limita su ancho de banda a W Hz, y se modula en BLU utilizando la portadora $c_i(t) = A_i\cos 2\pi f_{ci}t$ donde $f_{ci} = (i-1)W$, $1 \le i \le K$ y m(t) es la suma de todas las señales moduladas con BLU. Esta señal es modulada en FM con una portadora de frecuencia f_c y un índice de modulación de fase D.



a) Dibuje el espectro de la señal m(t).

b) Determine el ancho de banda de m(t).

c) La señal recibida en el receptor, $r(t) = u(t) + n_w(t)$, es primeramente demodulada FM y luego es pasada por un banco de demoduladores BLU. Demuestre que la potencia de ruido que entra a estos demoduladores depende de i.

d) Determine la relación existente entre la SNR a la entrada del demodulador BLU de frecuencia de portadora f_i y la SNR a la entrada del demodulador BLU de frecuencia f_j.

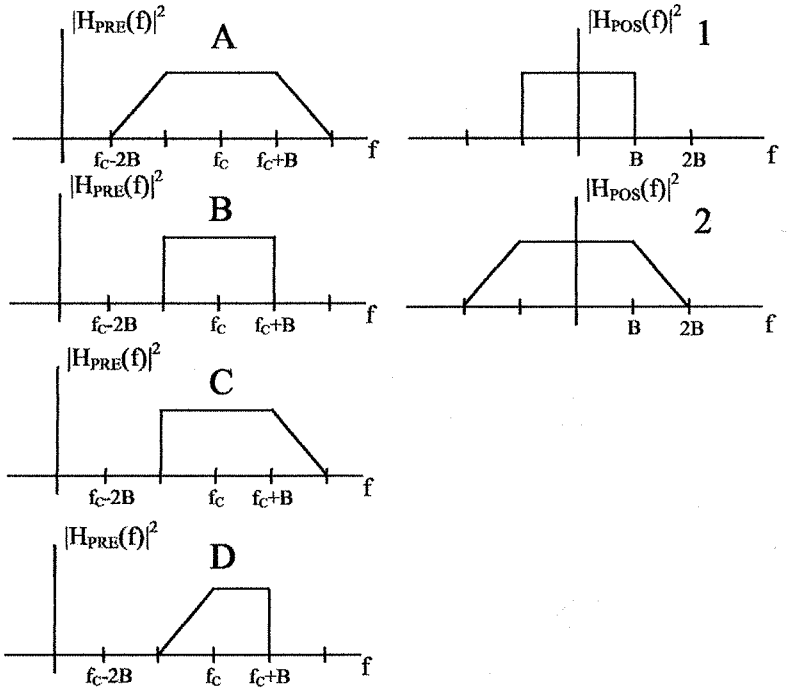
e) ¿De qué manera habría que escoger las amplitudes de las portadoras, A_i, para garantizar que después de la demodulación BLU, la SNR para todos los canales fuera la misma?

IV.6. El espectro de una señal de voz *m(t)* es cero fuera del intervalo $f_a \le |f| \le f_b$. Para conseguir privacidad en la comunicación, la señal es aplicada a un *scrambler* que consiste en los siguientes componentes en cascada: un modulador multiplicador, un filtro paso alto, un segundo modulador multiplicador y un filtro paso bajo. La portadora aplicada al primer modulador multiplicador tiene una frecuencia igual a f_c, mientras que la aplicada al segundo es de $f_b + f_c$; ambas de amplitud unidad. El filtro paso alto y paso bajo tienen la misma frecuencia de corte, f_c. Asúmase que $f_c > f_b$.

a) Obtenga una expresión de la salida del *scrambler s(t)*, y dibuje el espectro.

b) Demuéstre que la señal de voz original *m(t)* puede ser recuperada a partir de s(t) usando un *unscrambler* que es idéntico al *scrambler*.

IV.7. Obtenga la SNR que se obtendrá a la entrada y a la salida de un demodulador para los diferentes modulaciones y casos propuestos de filtros predetectores y postdetectores. Supóngase que el mensaje a transmitir tiene ancho de banda B.



a) Para todas las modulaciones lineales y filtros A y 1.

b) Para todas las modulaciones lineales y filtros A y 2.

c) Para todas las modulaciones lineales y filtros B y 2.

d) Para BLU de banda superior y filtros C y 1.

e) Para BLU de banda superior y filtros C y 2.

f) Para BLU de banda superior y filtros D y 1.

g) Para BLU de banda superior y filtros D y 2.

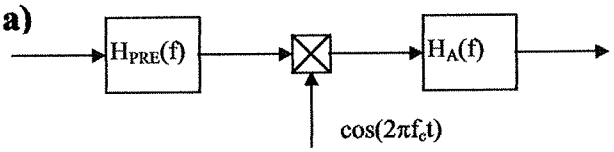
IV.8. Los receptores de la figura adjunta se usan para demodular una señal que ha sido previamente modulada en BLU superior. La señal modulada es perturbada por AWGN de densidad espectral $S_n(f)=\eta/2$. Expresar la relación S/N a la salida en cada uno de los casos, en función de η, de la potencia de señal BLU recibida P_R, y de su ancho de banda B. ($f_c>>B$).

$H_{PRE}(f)= 1\,, \quad |\,|f|-f_c\,| \le B$ $\qquad$ $H_{PRE}(f)= 0\,, \quad |\,|f|-f_c\,| > B$

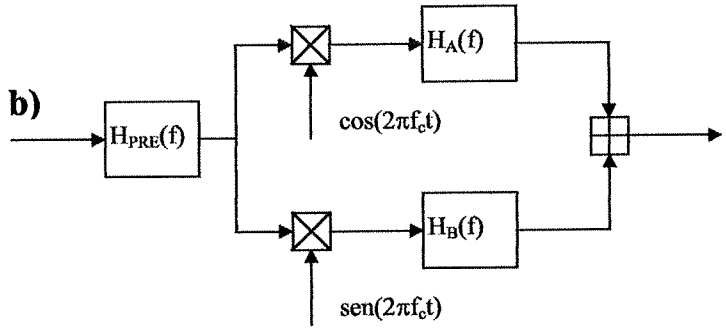
$H_A(f)= 1\,, \quad |f| \le B$ $\qquad$ $H_A(f)= 0\,, \quad |f| > B$

$H_B(f)= -j.sig(f)\,, \quad |f| \le B$ $\qquad$ $H_B(f)= 0\,, \quad |f| > B$

a)



b)



IV.9. Se desea transmitir una señal analógica con alta calidad mediante un enlace rádio. En dicho sistema es de primordial importancia minimizar la potencia de transmisión, existiendo cierta flexibilidad en la elección del ancho de banda. Se desea comparar distintas técnicas de modulación. La señal moduladora normalizada tiene una potencia de 1/4, y un ancho de banda de 25 KHz. El canal atenua la señal 80 dB, siendo la densidad espectral de AWGN a la entrada del receptor $S_n(f)= -130$ dBm/Hz. La relación S/N a la salida del receptor debe ser mejor que 60 dB. Calcular la potencia de transmisión mínima, y el ancho de banda ocupado en los siguientes casos:

a) Modulación analógica lineal.

b) Modulación FM.

Nota: Considere que el valor umbral de FM es 13 dB.

IV.10. Considere los sistemas de modulación y demodulación de Doble Banda Lateral y de Banda Lateral Única. Obtenga justificadamente las expresiones de la relación Señal/Ruido a la salida del receptor en los siguientes casos:

a) Transmisión DBL y Recepción DBL.

b) Transmisión DBL y Recepción BLU.

c) Transmisión BLU y Recepción BLU.

d) Transmisión BLU y Recepción DBL.

Nota: Considere los filtros de predetección y posdetección ideales.

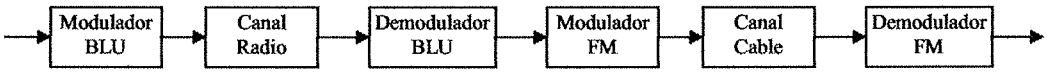
IV.11. Para transmitir cierta señal banda base se emplea en primer lugar un enlace radio, seguido de un sistema de transmisión por cable. La señal banda base normalizada tiene una potencia de 1/4, y un ancho de banda de 25 KHz. La modulación empleada en el enlace radio es BLU. La potencia de transmisión es de 10 W. El canal atenua la señal 80 dB, siendo la densidad espectral de AWGN a la entrada del receptor $S_n(f)$= -130 dBm/Hz.

a) Calcular la S/N a la salida del demodulador BLU.

Tras recuperar la señal banda base, la señal es modulada en frecuencia, y transmitida por un cable. La atenuación que introduce el cable es de 100 dB, y la densidad espectral de AWGN a la entrada del receptor FM es $S_n(f)= 10^{-15}$ w/Hz. Se desea que la relación S/N a la salida de este segundo demodulador sea 3 dB inferior al primero.

b) Calcular la potencia mínima de transmisión y el ancho de banda ocupado.

Nota: Considere que el valor umbral de FM es 13 dB.

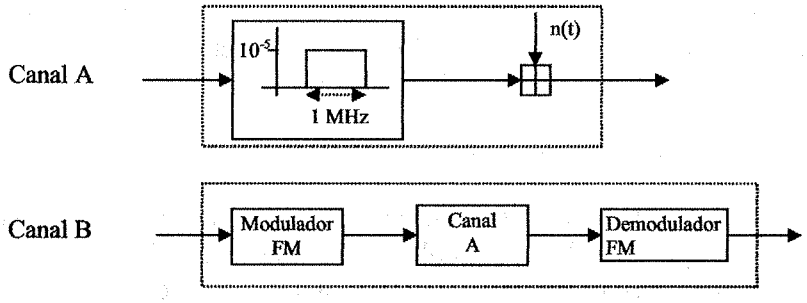


IV.12. Se dispone de un transmisor de una potencia de 1 w para transmitir por un canal (canal A) de 1 MHz de ancho de banda y que atenua la señal 100 dB. El ruido a la entrada del receptor es AWGN con $\eta = 10^{-18}$ w/Hz . Calcular la capacidad del canal, e indicar la densidad espectral de la señal transmitida necesaria para alcanzar dicha capacidad. Suponga ahora que el canal anterior es usado por un sistema de modulación/demodulación FM. Calcule la capacidad del nuevo canal (canal B), que incluye dicho sistema de modulación/demodulación FM, en los siguientes casos:

a) El indice de desviación es D=1;

b) El indice de desviación es D=9;

Suponga que la señal que entra al modulador está normalizada, y su potencia es ¼. Suponga que el ruido a la salida del demodulador FM es tambien gaussiano.



Nota: Considere que el ancho de banda de la señal FM viene dado por la regla de Carson.

$$\int \ln x \, dx = x(\ln x - 1)$$

IV.13. Cierta señal banda base z(t), de amplitud normalizada y ancho de banda 10 KHz, se modula usando en primer lugar una modulación tipo PAM con un pulso p(t), bipolar y de duración igual al periodo de muestreo. En este proceso se usa la mínima frecuencia de muestreo para evitar solapes espectrales. La señal PAM resultante modula en FM una portadora de 1 MHz, de modo que la desviación máxima de fase resulta ser $\pi/4$.

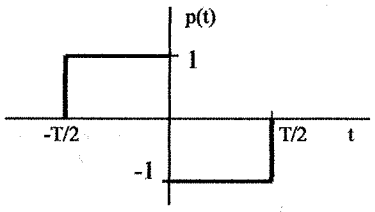
a) Obtener la expresión del equivalente paso bajo de la señal FM.

b) Calcular la desviación de frecuencia de la señal FM.

Considere a continuación exclusivamente el sistema modulador/demodulador FM anterior. Se pretende mejorar en 20 dB la relación S/N a la salida del demodulador, sin modificar la potencia de transmisión ni la frecuencia de portadora.

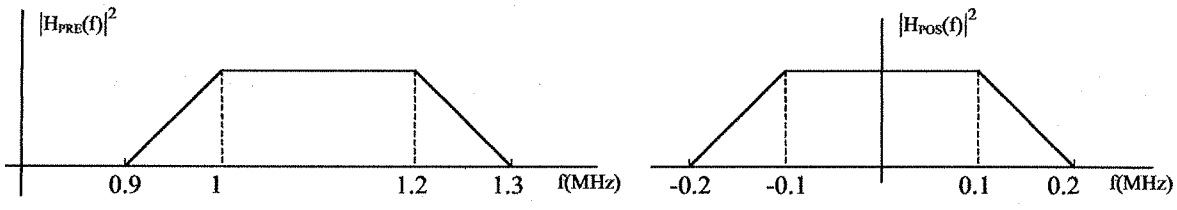
c) Si usa el modulador FM previamente considerado como primera etapa, diseñe una segunda etapa de transmisión, que permita conseguir dicha mejora.

Nota: Considere que la relación S/N a la entrada del discriminador es en todo caso superior al valor umbral.



IV.14. Cierta señal banda base z(t), de amplitud normalizada y ancho de banda 100 KHz, se modula en banda lateral única superior, con una portadora de frecuencia 1 MHz. La atenuación introducida por el canal depende de la distancia entre transmisor y receptor, siguiendo la ley: $A = 32 + 20 \log(d)$, donde A se expresa en decibelios y la distancia d en kilómetros.

a) Se desea conocer en qué porcentaje se reduce el alcance de este sistema, si en vez de usar filtros ideales en el receptor, usamos los representados en la figura adjunta.

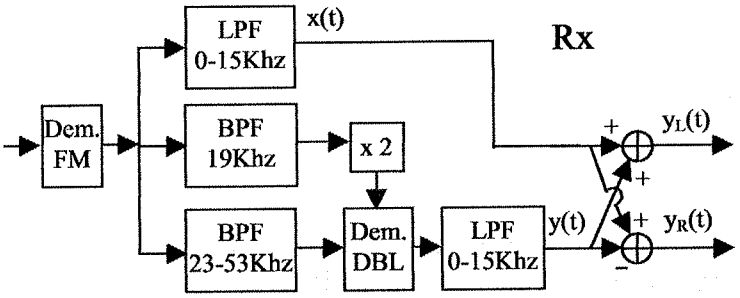


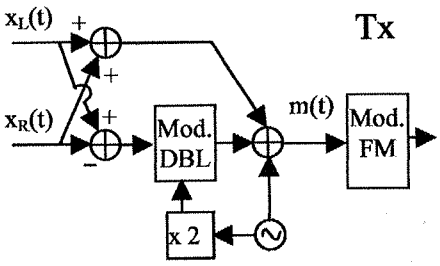
Nota: Se entiende por alcance del sistema, la máxima distancia entre transmisor y receptor que verifica que la SNR a la salida de este último es superior o igual a un valor dado.

IV.15. El transmisor y el receptor de las figuras son una versión simplificada de los de un sistema de FM estereo convencional. Se quiere estudiar las características del receptor. Para ello tenga en cuenta las siguientes consideraciones y siga los siguientes pasos:

- Las señales de audio $x_L(t)$ y $x_R(t)$ tienen igual potencia, un ancho de banda de 15 Khz y se pueden considerar estadísticamente independientes.
- La frecuencia del oscilador es 19 KHz.
- La señal m(t) se encuentra normalizada en amplitud. Cada una de las tres señales que la componen tienen la misma potencia, que es igual a 1/12.
- La máxima desviación de frecuencia del modulador de FM es 75Khz
- La potencia transmisión es de 50 dBm.
- El canal atenua la señal 80 dB, siendo la densidad espectral del AWGN a la entrada del receptor $S_n(f) = -130$dBm/Hz
- Todos los filtros del receptor y el demodulador coherente DBL se consideran ideales.
- En ausencia de ruido, las potencias de las señales x(t) e y(t) son idénticas.

a) Determine y dibuje la densidad espectral de potencia del ruido que afectará a las señales x(t) e y(t).
b) Calcule la SNR de la señal x(t).
c) Calcule la SNR de la señal y(t).
d) Calcule la SNR de las salidas $y_L(t)$, $y_R(t)$.
e) ¿Cómo se podría mejorar las prestaciones del sistema sin variar la potencia transmitida ni la desviación de frecuencia del modulador FM?





IV.16. Se quiere transmitir una señal de audio de banda limitada (300Hz – 15KHz). Se pretende comparar los resultados que se obtienen utilizando dos tipos de modulaciones diferentes:

1. AM con índice de modulación 1.
2. Modulación tipo AM pero con índice de modulación m>>1

a) El segundo modulador ¿produce una verdadera modulación AM?. Justifique la respuesta.
b) Proponga un receptor incoherente para cada caso (dibuje un diagrama detallado de cada uno).
c) Suponiendo que los receptores cuentan con filtros ideales, obtenga las expresiones de la relación señal a ruido obtenida a su salida y compárelas.
d) Haga una crítica de la modulación tipo 2. ¿Qué dificultades prácticas pueden aparecer en la realización de su receptor? ¿Cómo afectarán a la relación señal a ruido calculada en el apartado anterior?

IV.17. Sea un sistema de comunicaciones que transmite, multiplexadas en frecuencia, 10 señales. Cada una de ellas ocupa en banda base 20 KHz, y son moduladas en AM con frecuencias de portadora: fc_i = 200Khz + (i-1).50Khz, i=1,...10. Se quiere diseñar un receptor superheterodino para este sistema. El amplificador de RF sintonizado se puede ver como un amplificador ideal seguido del filtro de la figura 1 y el amplificador de frecuencia intermedia de igual manera pero seguido del filtro de la de la figura 2. El demodulador de AM es incoherente y con filtro posdetección ideal (figura 3).

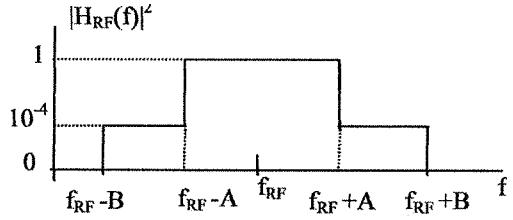


Figura 1

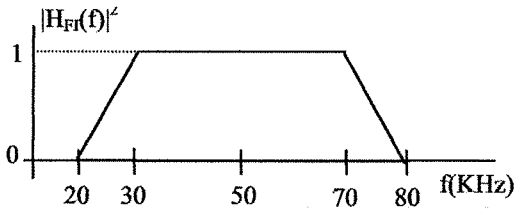


Figura 2

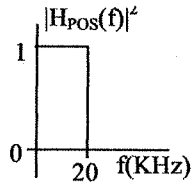


Figura 3

a) Dibuje el diagrama detallado de bloques del receptor usado para recibir el canal de índice i=5 (indique expresamente en el diagrama el valor de sus parámetros que permiten recuperar dicho canal).

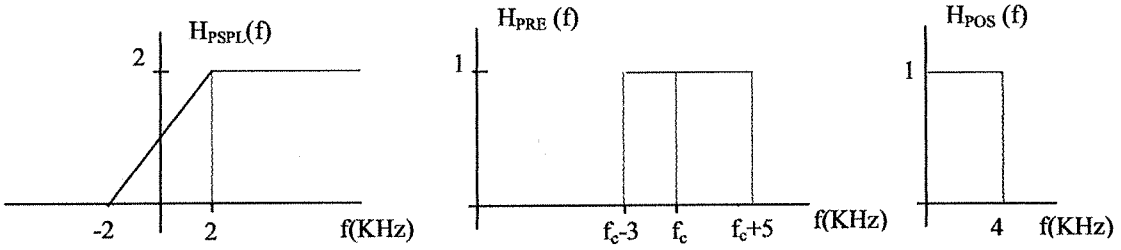
b) Obtenga la SNR que se obtiene a la entrada y salida del demodulador de AM para dicho canal en los siguientes casos:

1. Amplificador RF con A = 40 Khz y B = 70 Khz
2. Amplificador RF con A = 70 Khz y B = 130 Khz

Para ello tenga en cuenta los siguientes datos y consideraciones:

- Las señales están normalizadas en amplitud y tienen todas una potencia de 1/4.
- El índice de la modulación AM es 1.
- La potencia usada para la transmisión de cada una de las señales es de 40 dBm.
- El canal atenúa la señal 60 dB, siendo la densidad espectral del AWGN a la entrada del receptor
  Sn(f) = -120dBm/Hz
- Se considerará como ruido la interferencia de cualquier canal vecino en la señal demodulada.

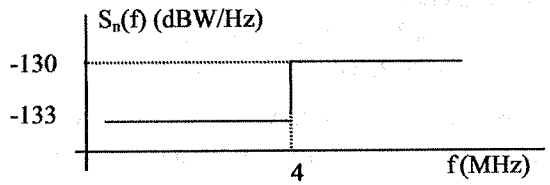
IV.18. Una señal analógica de 4 KHz de banda se quiere transmitir mediante una modulación de banda residual, definida por el filtro pseudosplitter de la figura. El canal atenúa la señal 80 dB, siendo la densidad espectral de AWGN a la entrada del receptor de –120 dBm/Hz. La potencia transmitida es de 50 dBm. Se utiliza un receptor coherente con los filtros de predetección y postdetección de la figura.



a) Obtenga la SNR a la entrada y a la salida del receptor. Para ello aproxime la potencia de la señal modulada a la que se obtendría si la modulación fuera de banda lateral única.

b) Repita los cálculos del apartado a) sin tener en cuenta la aproximación, para una señal a transmitir cuya densidad espectral de potencia fuera constante en toda su banda. Se recomienda para los cálculos obtener la d.e.p. de la señal modulada a partir de la d.e.p. del equivalente paso bajo.

IV.19. Cierto canal real produce una atenuación a la señal transmitida de 70 dB. El ruido a la entrada del receptor es gaussiano y estacionario, con una densidad espectral de potencia (DEP) que viene reflejada en la figura adjunta. Se dispone de capacidad para transmitir en la banda de 3 a 5 MHz, con una potencia de 5 w.



a) Calcular la capacidad del canal.

Dicha capacidad se alcanza cuando la señal transmitida es estacionaria y gaussiana.

b) Calcular la DEP del equivalente paso bajo, de la componente en fase y de la componente en cuadratura tanto de la señal transmitida como del ruido. Calcular la densidad espectral cruzada entre las componentes en fase y cuadratura.

c) Calcular la capacidad de dicho canal si utilizamos modulación DBL (hacer uso del modelo equivalente paso bajo).

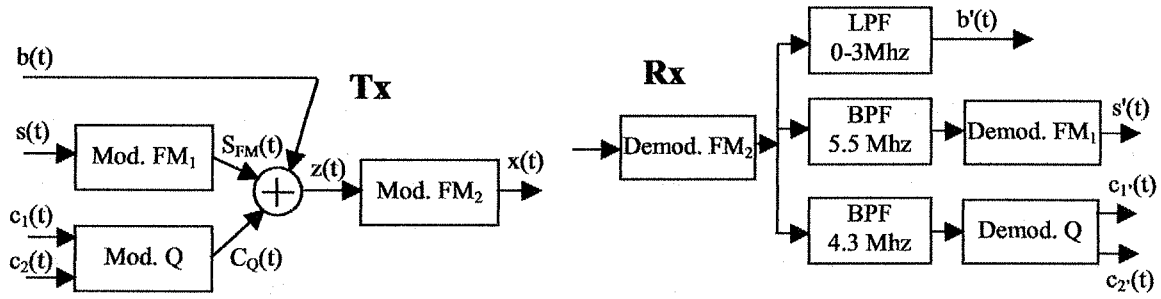
d) Calcular la capacidad del canal si utilizamos modulación en cuadratura.

e) Comparar los resultados en c) y d) con el obtenido en a) y justifique las diferencias.

IV.20. Continúe el ejercicio **III.11** obteniendo una expresión de la SNR a la salida que presentan los dos tipos de demoduladores diseñados e indique las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos. Considere el uso de filtros ideales.

IV.21. El transmisor y el receptor de las figuras son una versión simplificada de los de un sistema de Televisión analógica por satélite. En ellos se observa que la señal de Brillo en banda base junto con las dos señales de color moduladas en cuadratura y la de sonido modulada en FM, son moduladas en FM y transmitidas. Se quieren estudiar las prestaciones del receptor. Para ello tenga en cuenta las siguientes consideraciones.

- La señal de brillo, b(t), tiene un ancho de banda de 3 MHz, las señales de color, $c_1(t)$ y $c_2(t)$, de 1 MHz cada una y la de sonido, s(t), de 15 kHz.
- El modulador de FM (FM_1) utilizado para modular el sonido, tiene una desviación de frecuencia de 50 kHz y una portadora de 5.5 MHz.
- El segundo modulador FM (FM_2), tiene una desviación de frecuencia de 13 MHz y una portadora de 11 GHz.
- La señal z(t) se encuentra normalizada en amplitud y cada una de las tres señales que la forman tienen sus potencias iguales a 1/12.
- La señal s(t) se encuentra igualmente normalizada en amplitud y su potencia es 1/3.
- El modulador en cuadratura (Q) utiliza una portadora de 4.3 Mhz.
- Todos los filtros del receptor y demoduladores son ideales.
- El canal introduce una atenuación de 100 dB y la densidad espectral de potencia del ruido AWGN a la entrada del receptor es de -150dBm/Hz
- Asúmase que en la entrada del demodulador FM_1 el ruido es blanco.
- La potencia transmitida es de 60 dBm.



a) Dibuje la forma del espectro de la señal z(t), especificando los límites de los diferentes canales, y determine el ancho de banda de la señal x(t).
b) Calcule la SNR a la salida del demodulador FM_2.
c) Calcule la SNR de las señales b'(t), s'(t), c_1'(t) y c_2'(t).
d) Obtenga las relaciones que debería haber entre las potencias de las señales b(t), $S_{FM}(t)$ y $C_Q(t)$ para que todas las señales del apartado c) obtuvieran la misma SNR.

IV.22. Considere el diagrama de la figura adjunta. La señal de información z(t) de ancho de banda B y potencia P_z es modulada y transmitida por un canal de respuesta impulsiva h(t). La señal recibida por el receptor incluye una componente de ruido blanco u(t) de densidad espectral $\eta/2$. La señal demodulada a la salida del sistema tiene por tanto dos componentes, z'(t) corresponde a la señal transmitida y v(t) al ruido.

a) Obtenga la expresión de la señal z'(t).

b) Obtenga la expresión de la relación señal a ruido.

c) Obtenga la expresión del parámetro ϕ que hace máxima la relación señal a ruido.

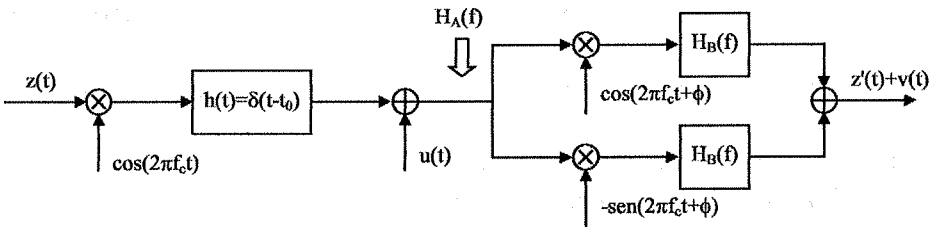
Si a la entrada del demodulador en cuadratura se incluye el filtro de respuesta en frecuencia $H_A(f)$,

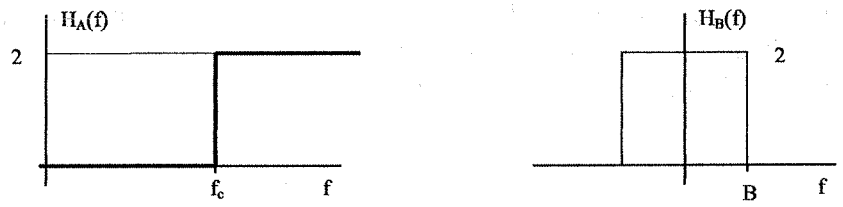
d) Obtenga la nueva expresión de la señal z'(t).

e) Obtenga la expresión de la relación señal a ruido.

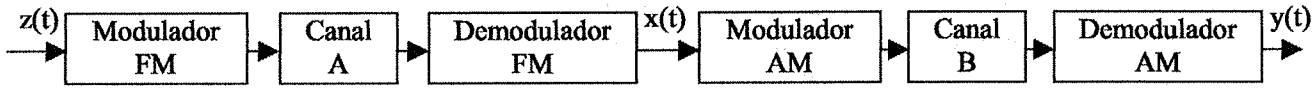
f) Obtenga la expresión del parámetro ϕ para que no se produzca distorsión.

Nota: Todos los filtros utilizados tienen respuesta impulsiva real.





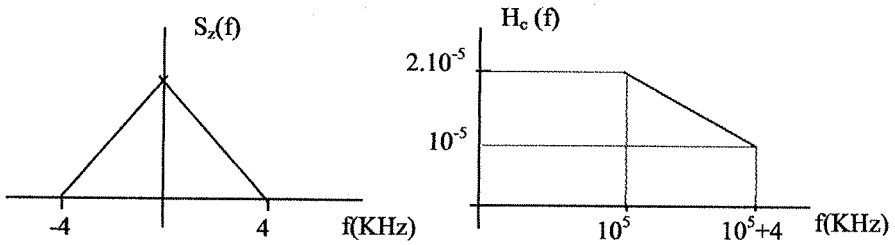
IV.23. Una señal de audio es transmitida primeramente a través de un canal A con una modulación FM. La señal recibida es posteriormente transmitida por otro canal B con una modulación AM. La señal está normalizada en amplitud y tiene una potencia de 1/4 y un ancho de banda de 10 kHz. El canal A atenúa la señal 80 dB y el canal B 70 dB. La densidad espectral de potencia de ruido AWGN a la entrada del demodulador de FM es de 10^{-12} W/Hz, mientras que a la entrada del demodulador de AM es de 10^{-14} W/Hz. La desviación de frecuencia del modulador FM es de 500kHz. El valor umbral tanto de FM como de AM es de 13 dB.



a) Obtenga la potencia transmitida necesaria en el modulador FM para conseguir una SNR de 60 dB en la señal x(t).

b) Con los resultados del apartado anterior obtenga la potencia mínima necesaria en el modulador de AM para conseguir que la SNR de la señal y(t) sea 2 dB menor que la de la señal x(t).

IV.24. Una señal analógica z(t) modula en BLU una portadora de 100 MHz. La densidad espectral de la señal z(t) y la respuesta en frecuencia del canal de transmisión aparecen en las figuras adjuntas. La densidad espectral de AWGN a la entrada del receptor de –120 dBm/Hz. La potencia transmitida es igual a 2 watios. Se utiliza un receptor coherente con filtros ideales.

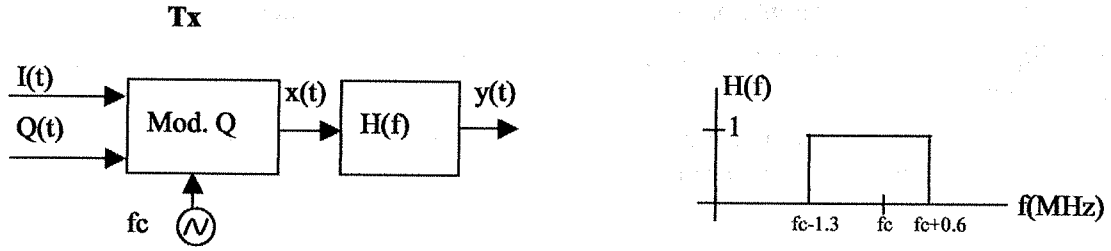


a) Obtenga la SNR a la entrada y a la salida del receptor.

b) Obtenga la respuesta en frecuencia de un filtro igualador, ubicado a la salida del receptor, que compense la distorsión introducida por el canal.

c) Obtenga la SNR a la salida del igualador

IV.25. El sistema de Televisión NTSC utiliza dos señales para transmitir el color, la señal I de 1.3 Mhz de banda y la señal Q de 0.6 MHz de banda. Las dos son moduladas en cuadratura, la primera en fase y la segunda en cuadratura. Además la señal modulada, antes de ser transmitida, es filtrada, tal como se ve en el diagrama del transmisor de la figura, obteniéndose una especie de modulación en cuadratura vestigial. Se persigue diseñar el receptor y evaluar sus prestaciones.



a) Obtenga la expresión analítica de las señales x(t) e y(t). Para el caso de y(t) asuma que $I(t) = I_A(t) + I_B(t)$ donde $I_A(t)$ se corresponda con la banda de 0 a 0.6 MHz de I(t) e $I_B(t)$ con la banda de 0.6 a 1.3 MHz.

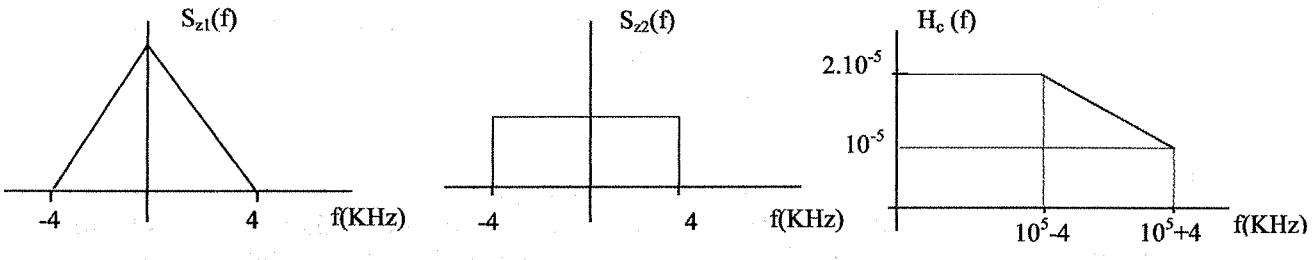
b) Teniendo en cuenta que las señales Q(t) e I(t) tienen la misma potencia y a su vez las señales $I_A(t)$ e $I_B(t)$ tienen las dos la mitad de la potencia de I(t). ¿Qué porcentaje de la potencia transmitida de y(t) corresponde con las señales Q(t), $I_A(t)$ e $I_B(t)$? Contraste esos valores con la banda ocupada por cada una de ellas.

c) Diseño el receptor con los filtros postdetectores que permitan recuperar adecuadamente las señales Q(t) e I(t). Justifique la respuesta.

d) Obtenga la SNR a la salida del receptor para las dos señales. Para ello tenga en cuenta que la potencia transmitida de la señal y(t) es de 60 dBm y que el canal atenúa la señal 70 dB, siendo la densidad espectral de potencia del AWGN a la entrada del receptor de –120 dBm/Hz

IV.26. Considere las modulaciones DBL con detección coherente y AM con detección de envolvente. Obtenga una expresión para el error de fase cometido en el proceso de demodulación que haga iguales las prestaciones de ambas modulaciones.

IV.27. Dos señales de información z1(t) y z2(t) de igual potencia y densidades espectrales representadas en la figura adjunta son moduladas en cuadratura, usando una frecuencia de portadora de 100 MHz. La señal modulada pasa por un canal lineal e invariante, cuya respuesta en frecuencia Hc(f) aparece también en la figura.



En recepción la señal es procesada con un demodulador coherente en cuadratura. Considere que los filtros del demodulador son ideales y que no se comete error de fase de portadora.

- **a.** Obtener el modelo equivalente paso bajo de este sistema de comunicación.
- **b.** Identifique la parte de señal e interferencia que se obtiene en cada una de las salidas del demodulador.
- **c.** Calcule la relación señal a interferencia (valor numérico) que hay en cada una de las salidas del demodulador en cuadratura.

V.1 (IV.9 bis) Se desea transmitir una señal analógica con alta calidad mediante un enlace rádio. En dicho sistema es de primordial importancia minimizar la potencia de transmisión, existiendo cierta flexibilidad en la elección del ancho de banda. Se desea comparar distintas técnicas de modulación.

La señal moduladora normalizada tiene una potencia de 1/4, y un ancho de banda de 25 KHz. El canal atenua la señal 80 dB, siendo la densidad espectral de AWGN a la entrada del receptor $S_n(f)$= -130 dBm/Hz. La relación S/N a la salida del receptor debe ser mejor que 60 dB.

Calcule la potencia de transmisión mínima, y el ancho de banda ocupado en los siguientes casos:

a) Modulación analógica lineal.
b) Modulación FM.
c) Modulación digital ocupando un ancho de banda de 250 KHz
d) Modulación digital sin restricción de ancho de banda.

En los sistemas de modulación digital debe tener en cuenta lo siguiente: La señal moduladora es un proceso estocástico gaussiano de densidad espectral constante en su banda. El cuantificador utilizado produce una distórsión 12 dB superior al mínimo teorico. La velocidad del modulador digital es 1/4 de la máxima teórica. Considere despreciable el efecto de los errores cometidos por el demodulador digital.

Nota: **Utilice la aproximación $\ln(1+x) = x$, para $x << 1$.**
Considere que el valor umbral de FM es 13 dB.

39 3º TEL · SUP. 0'06E

IV.1 ≈ 28 dB

IV.2 16 dBW

IV.3 **a)** 31 dB **b)** ≈ 57 dB

IV.4 **a)** D = 2.75, P_T = 0.14 W **b)** P_T = 14 W
c) SNR = 68.7 dB ó SNR igual y P_T = 1.9 W

IV.5 **b)** B = K W **c)** $N_{S_i} = \frac{2}{3} W^3 \eta \left[3i^2 - 3i + 1\right]$

d) $\frac{A_i^2\left(3j^2 - 3j + 1\right)}{A_j^2(3i^2 - 3i + 1)}$ **e)** $A_i = A_1\sqrt{3i^2 - 3i + 1}$

IV.6 **a)** $s(t) = m(t)\cos(2\pi f_b t) + \hat{m}(t)\,\mathrm{sen}(2\pi f_b t)$

IV.7 **a)** DBL,AM,MQ: $SNR_E = 2/3\ SNR_{Eideal}$, $SNR_S = SNR_{Sideal}$
BLU: $SNR_E = 1/3\ SNR_{Eideal}$, $SNR_S = 1/2\ SNR_{Sideal}$
b) DBL,AM,MQ: $SNR_E = 2/3\ SNR_{Eideal}$, $SNR_S = 3/4\ SNR_{Sideal}$
BLU: $SNR_E = 1/3\ SNR_{Eideal}$, $SNR_S = 3/8\ SNR_{Sideal}$
c) DBL,AM,MQ: $SNR_E = SNR_{Eideal}$, $SNR_S = SNR_{Sideal}$
BLU: $SNR_E = 1/2\ SNR_{Eideal}$, $SNR_S = 1/2\ SNR_{Sideal}$
d) $SNR_E = 2/5\ SNR_{Eideal}$, $SNR_S = 1/2\ SNR_{Sideal}$
e) $SNR_E = 2/5\ SNR_{Eideal}$, $SNR_S = 3/7\ SNR_{Sideal}$
f) $SNR_E = 2/3\ SNR_{Eideal}$, $SNR_S = 2/3\ SNR_{Sideal}$
g) $SNR_E = 2/3\ SNR_{Eideal}$, $SNR_S = 2/3\ SNR_{Sideal}$

IV.8 **a)** $\frac{P_R}{2\eta B}$ **b)** $\frac{P_R}{\eta B}$

IV.9 **a)** $P_{T_{BLU}} = P_{T_{DBL}} = 0.5\ kW \quad P_{T_{AM}} = 2.5\ kW$
$B_{T_{AM}} = B_{T_{DBL}} = 2B_{T_{BLU}} = 50kHz$
b) $P_{T_{FM}} = 0.6\ W \quad B_{T_{FM}} = 1.6MHz$

IV.10 **a)** $\frac{P_R}{\eta B}$ **b)** $\frac{P_R}{2\eta B}$ **c)** $\frac{P_R}{\eta B}$ **d)** $\frac{P_R}{2\eta B}$

IV.11 **a)** SNR = 43 dB **b)** B_T = 485 KHz, P_T = 193 W

IV.12 C_A = 6.65 Mbps , $S_x(f)$ = 0.5 10^{-6} $C_{B(D=1)}$ = 2.37 Mbps , $C_{B(D=9)}$ = 0.9 Mbps

IV.13 **a)** $Ae^{j\left[2\pi f_\Delta \sum_i z(iT)g(t-iT)\right]}$, $g(t) = -|t| + \frac{T}{2} \quad 0 < |t| < \frac{T}{2}$
b) 5 KHz

IV.14 30%

IV.15 **a)** $S_{nx}(f) = 2\,10^{-13} f^2 \quad S_{ny}(f) = 4\,10^{-13} f^2 + 5.77\,10^{-4} \qquad 0 \le |f| \le 15kHz$

b) $SNR_x = 63$ dB **c)** $SNR_y = 50$ dB **d)** $SNR_{yL} = SNR_{yR} = 53$ dB

IV.17 **b)** $SNR_{E1} = 50$ dB, $SNR_{S1} = 47$ dB, $SNR_{E2} = 39.5$ dB, $SNR_{S2} = 39.2$ dB

IV.18 **a)** $SNR_E = \frac{P_R}{2\eta B}, \qquad SNR_S = \frac{4P_R}{7\eta B}$

b) $SNR_E = \frac{P_R}{2\eta B}, \qquad SNR_S = \frac{24P_R}{35\eta B}$

IV.19 **a)** 3 Mbps **c)** 2.12 Mbps **d)** 2.83 Mbps

IV.20 Los dos $\frac{P_R}{2\eta B}$

IV.21 **a)** B = 37.12 MHz b) 45.6 dB
c) $SNR_{b'} = 48.9$ dB, $SNR_{s'} = 72.2$ dB, $SNR_{c1'} = SNR_{c2'} = 42.7$ dB
d) $P_{S_Q} = 4.2P_b = 840P_{C_{FM}}$

IV.22 **a)** $z'(t) = z(t-t_o)[\cos(2\pi f_c t_0 + \phi) - sen(2\pi f_c t_0 + \phi)]$

b) $\frac{P_z[1 - sen(2(\phi + 2\pi f_c t_0))]}{4\eta B}$ **c)** $\phi = -(\frac{\pi}{4} + 2\pi f_c t_0)$

d) $z'(t) = z(t-t_o)[\cos(2\pi f_c t_0 + \phi) - sen(2\pi f_c t_0 + \phi)] + 2(t-t_o)[\cos(2\pi f_c t_0 + \phi) + sen(2\pi f_c t_0 + \phi)]$

e) $\frac{P_z[1 - sen(2(\phi + 2\pi f_c t_0))]}{4\eta B + P_z[1 + sen(2(\phi + 2\pi f_c t_0))]}$ **f)** Igual que c

IV.23 **a) 4 KW** **b) 63 KW**

IV.24 **a)** **a)** $SNR_E = SNR_S = 18.5$ dB **b)** SNR = 17 dB

IV.25 **a)** $y(t) = (I_A(t) + \frac{I_B(t)}{2})\cos(2\pi f_c t) - (Q(t) - \frac{\hat{I}_B(t)}{2})sen(2\pi f_c t)$

c) 57% Q(t), 29% $I_A(t)$ y 14% $I_B(t)$ e) $SNR_Q = 46.7$ dB, $SNR_I = 41.5$ dB

IV.26 $\phi = \arccos(\sqrt{\frac{m^2 Pz}{1 + m^2 Pz}})$

IV.27 **c)** 27 y 54