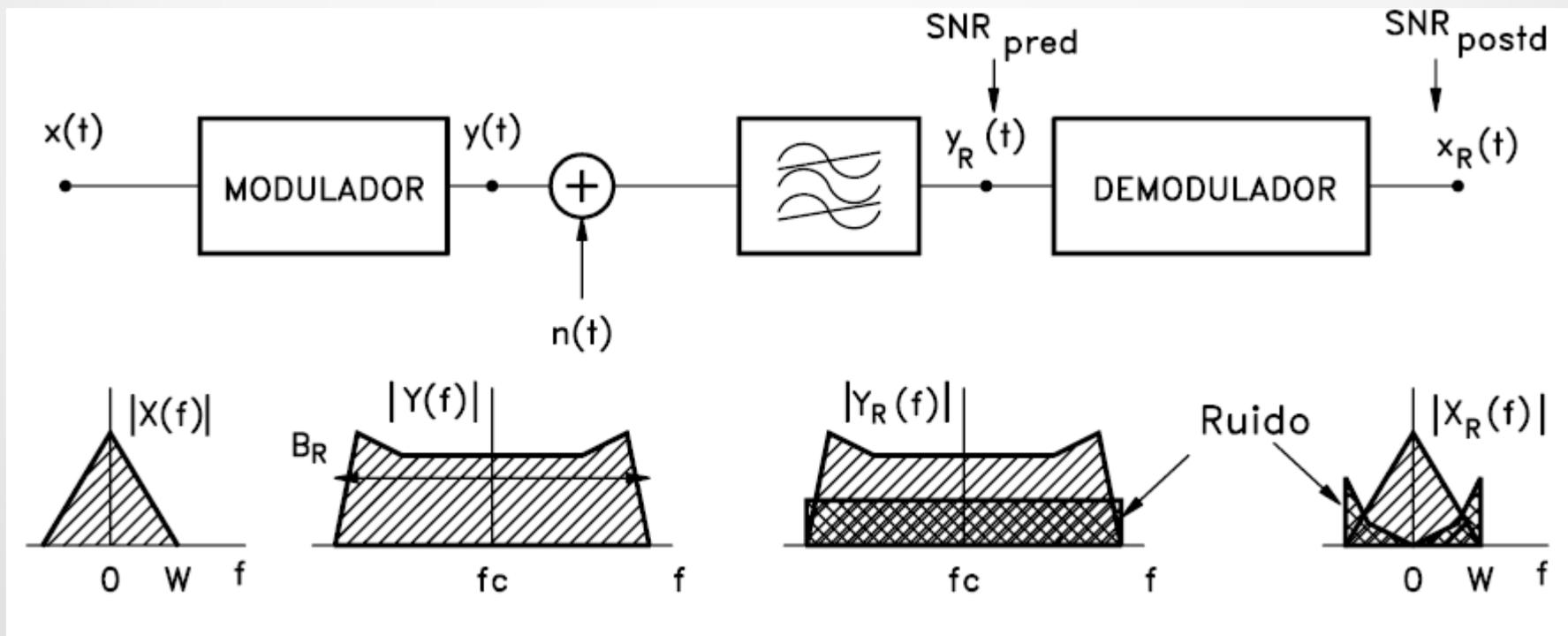


TEMA 5

COMUNICACIONES ANALÓGICAS

Modulación en canales ruidosos

- Consideramos ruido gaussiano concentrado en un único punto
- Suponemos que no hay atenuación en el canal

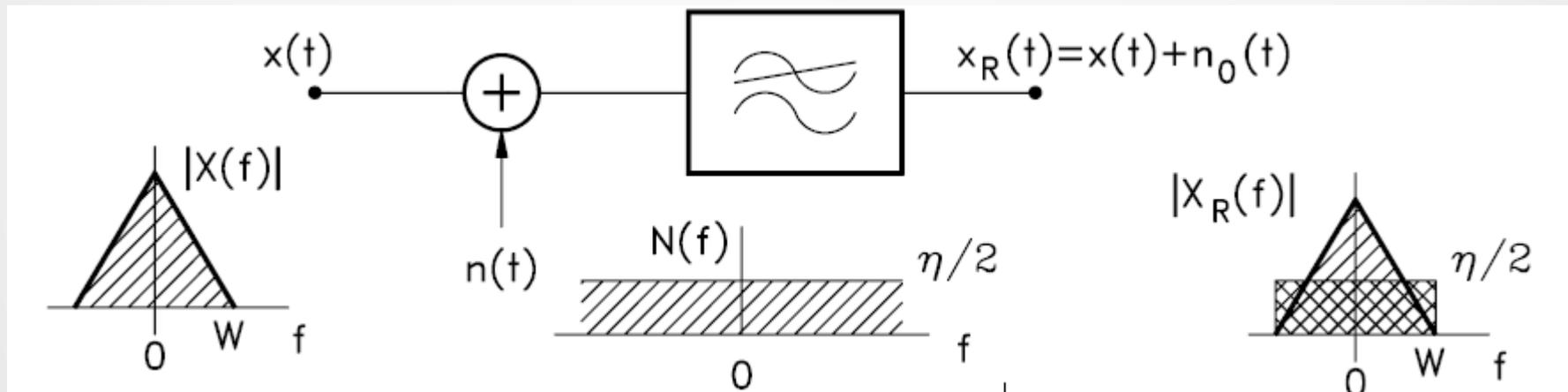


Modulación en canales ruidosos

- El papel del filtro (denominado *filtro de predetección*) es evidente: dado que el ruido será blanco (o al menos de banda ancha), no tiene sentido que se deje pasar todo al demodulador. El filtro limita el ancho del sistema al requerido por la señal a recibir.
- A la entrada del demodulador habrá una señal de Potencia P_R , acompañada por un ruido de densidad espectral de potencia $\eta/2$. Se trata de determinar la relación señal/ruido antes y después de la demodulación: **SNR de predetección y postdetección** respectivamente.
- La dificultad es conocer la calidad final del sistema (la de postdetección) analizando cómo el proceso de demodulación afecta a la señal y al ruido.

Calidad en banda base: z

- Como elemento de comparación entre las diferentes técnicas se empleará la calidad que se obtendría si la transmisión se hiciera en banda base (sin modular).

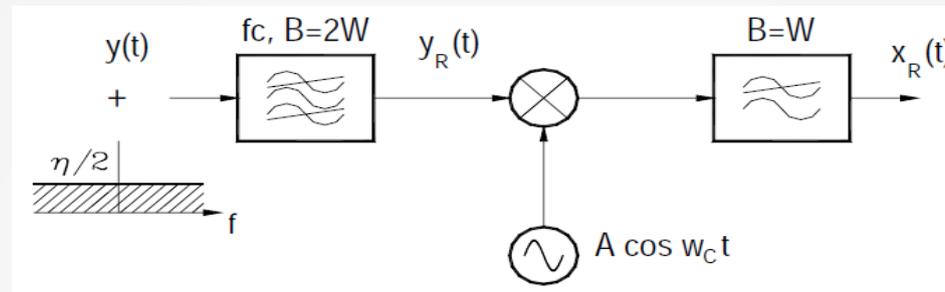


- En este caso

$$SNR_{pred} = SNR_{postd} = SNR = \frac{P_R}{\eta \cdot W} = z$$

Modulación DBL

- Analizamos la detección coherente



- A la salida del filtro

$$y_R(t) = A_c x(t) \cdot \cos \omega_c t + n_F(t) \cdot \cos \omega_c t - n_C(t) \cdot \sin \omega_c t$$

- El óptimo ancho de banda del receptor es $B=2W$. En estas condiciones, la potencia de ruido a la salida del filtro de predetección será: $N_T = 2\eta W$ (ya que $\langle n^2(t) \rangle = \langle n_F^2(t) \rangle = \langle n_C^2(t) \rangle = 2\eta W$;
- Por lo tanto, la SNR en este punto es:

$$(SNR)_{pred} = \frac{\frac{A_c^2}{2} \langle x^2(t) \rangle}{2\eta W} = \frac{A_c^2 \langle x^2(t) \rangle}{4\eta W} = \frac{P_T}{2\eta W} = \frac{z}{2}$$

Modulación DBL

- Al demodular de forma coherente

$$\begin{aligned} y_R(t) \cdot \cos \omega_c t &= [A_c x(t) \cos \omega_c t + n_F(t) \cos \omega_c t - n_C(t) \sin \omega_c t] \cos \omega_c t = \\ &= \frac{A_c x(t) + n_F(t)}{2} + \frac{A_c x(t) + n_F(t)}{2} \cdot \cos 2\omega_c t - \frac{n_C(t)}{2} \sin 2\omega_c t \end{aligned}$$

- Tras el filtro paso-bajo de post-detección

$$x_R(t) = \frac{A_c}{2} x(t) + \frac{n_F(t)}{2}$$

- La demodulación coherente sólo deja pasar el ruido "en fase" con la señal, eliminando la componente en cuadratura

$$(SNR)_{postd} = \frac{\frac{A_c^2}{4} \langle x^2(t) \rangle}{\frac{\langle n_F^2(t) \rangle}{4}} = \frac{A_c^2 \langle x^2(t) \rangle}{2\eta W} = \frac{P_T}{\eta W} = z$$

Modulación DBL

- La SNR ha mejorado en 3dB respecto a la de predetección → "ganancia de detección"
- El factor 3dB se obtiene por eliminación de la componente de ruido en cuadratura.
- La mejora en detección se compensa con la necesidad de transmitir el doble de ancho de banda.
- Se ha supuesto la referencia del oscilador perfectamente coherente con la portadora. Si esto no es así, la calidad se degradará.

Resto de modulaciones

MODULACIÓN	SNR _{POST}	Condiciones
DBL	z	-
AM (recepción coherente)	$E_p z$	-
AM (detector de envolvente)	$E_p z$	$SNR_{pred} > 10\text{dB}$
PM	$\beta^2 \langle x_N^2 \rangle z$	$z > z_u$ $z_u = 20 \frac{B_R}{W}$ $(SNR_{pred} > 13\text{dB})$
FM	$3D^2 \langle x_N^2 \rangle z$	$z > z_u$ $z_u \approx 20 \frac{B_R}{W}$ $(SNR_{pred} > 13\text{dB})$

Efecto umbral

- Algunas de las fórmulas de calidad sólo son válidas a partir de cierta relación SNR_{pred} . Si no se cumple dicha condición, la fórmula presentada no es válida, siendo la calidad real mucho peor de lo que indica la expresión → *efecto umbral*.
- Tanto en FM como en PM, se suele describir este efecto en términos de la z *umbral*, el valor de z (y por tanto de potencia recibida) que es necesario garantizar como mínimo para que el sistema funcione.

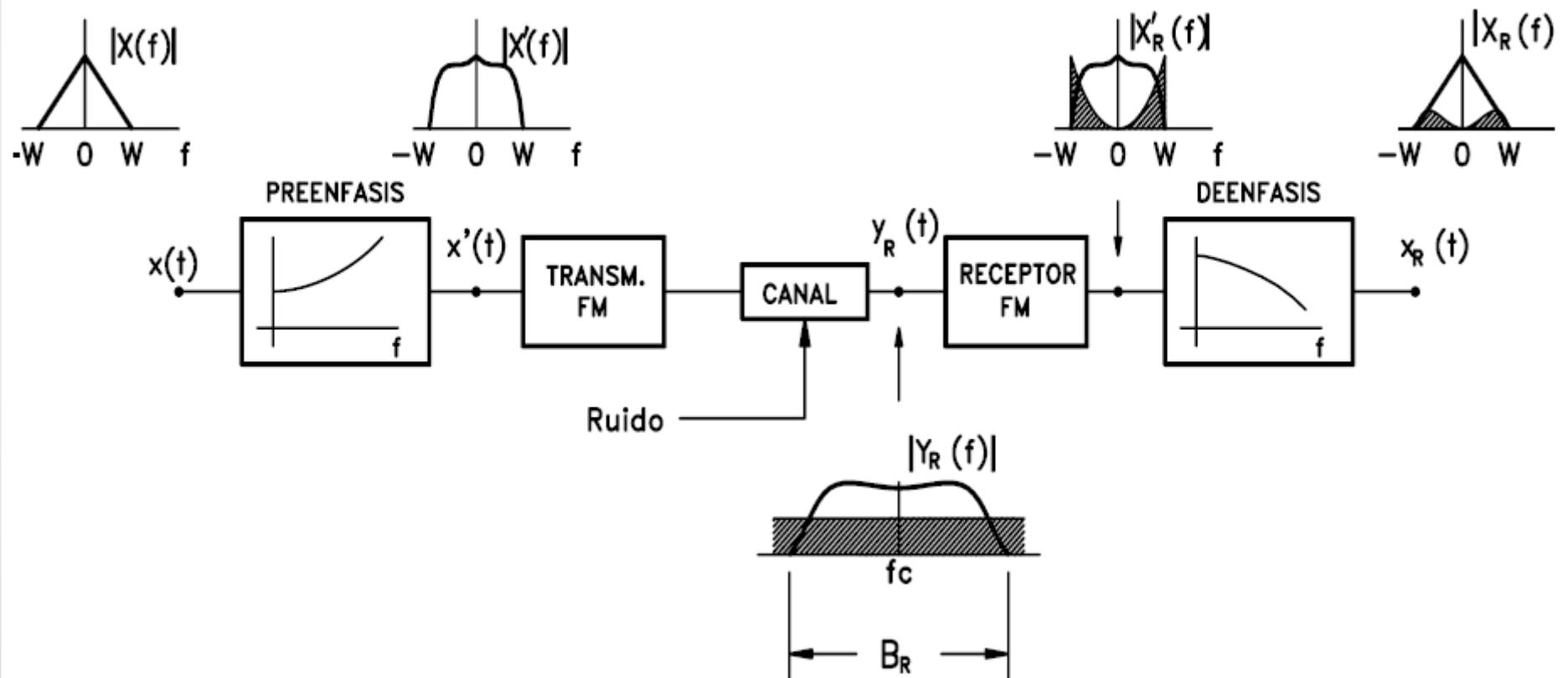
Técnica de Pre-Énfasis/ De-Énfasis

- Técnica usada en FM para mejorar la relación señal-ruido
- Se basa en una curiosa propiedad del ruido presente a la salida de un demodulador de FM, que en lugar de tener una densidad espectral plana, como es habitual, tiene una distribución de tipo parabólico
- *Idea: dado que el ruido en la parte alta de la banda de $x(t)$ es más elevado, en el transmisor se pre-distorsiona la señal "amplificando" las componentes altas de su espectro. Posteriormente, en recepción, se anula la distorsión, "atenuando" las componentes de alta frecuencia mediante un filtro de respuesta contraria que, además, eliminará ruido en alta frecuencia*

Técnica de Pre-Énfasis/ De-Énfasis

- Técnica usada en FM para mejorar la relación señal-ruido
- Se basa en una curiosa propiedad del ruido presente a la salida de un demodulador de FM, que en lugar de tener una densidad espectral plana, como es habitual, tiene una distribución de tipo parabólico
- *Idea: dado que el ruido en la parte alta de la banda de $x(t)$ es más elevado, en el transmisor se pre-distorsiona la señal "amplificando" las componentes altas de su espectro. Posteriormente, en recepción, se anula la distorsión, "atenuando" las componentes de alta frecuencia mediante un filtro de respuesta contraria que, además, eliminará ruido en alta frecuencia*

Técnica de Pre-Énfasis/ De-Énfasis



Técnica de Pre-Énfasis/ De-Énfasis

- Esta técnica produce una mejora de la SNR de postdetección, dada por:

$$Mejora(dB) = 20 \cdot \log\left(\frac{W}{f_c}\right) - 4,8$$

- Siendo f_c la frecuencia de corte a 3dB del filtro RC de de-énfasis.