

Apuntes sobre la Demodulación de Señales AM

Ing. A. Ramón Vargas Patrón
rvargas@inictel.gob.pe
INICTEL

Una señal DSBC (doble banda lateral con portadora) se puede expresar (Fig.1) como:

$$f(t) = A [1 + m.g(t)] \cos\omega_c t \quad \dots(1)$$

donde:

$g(t)$ = señal modulante

m = índice de modulación ($0 < m \leq 1$)

$\omega_c = 2\pi f_c$

f_c = frecuencia de la portadora

A = amplitud de la portadora sin modular

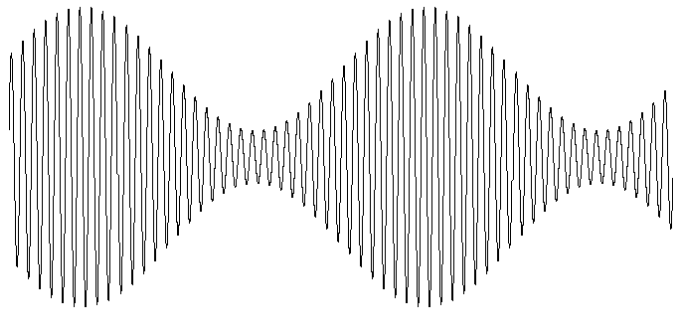


Fig.1 Señal DSBC

Sea:

$g(t) = \cos\omega_m t$

$\omega_m = 2\pi f_m$

f_m = frecuencia de la señal modulante

Entonces:

$$f(t) = A [1 + m.\cos\omega_m t] \cos\omega_c t \quad \dots(2)$$

que puede escribirse como:

$$f(t) = A \cos \omega_c t + \frac{mA}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{mA}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t \quad \dots(3)$$

1. Demodulación de señales DSBC empleando el detector de ley cuadrática

La salida de un detector de ley cuadrática es de la forma:

$$y = x^2 \quad \dots(4)$$

donde x = señal de entrada.

Los diodos al vacío y de estado sólido tienen este tipo de respuesta para señales de entrada pequeñas.

Sustituyendo $f(t)$ por x en la ec.(4) nos da:

$$\begin{aligned} f^2(t) = & A^2 \cos^2 \omega_c t + \frac{m^2 A^2}{4} \cos^2(\omega_c + \omega_m)t + \frac{m^2 A^2}{4} \cos^2(\omega_c - \omega_m)t \\ & + mA^2 \cos \omega_c t \cdot \cos(\omega_c + \omega_m)t + mA^2 \cos \omega_c t \cdot \cos(\omega_c - \omega_m)t \\ & + \frac{m^2 A^2}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t \cdot \cos(\omega_c - \omega_m)t \end{aligned}$$

o la expresión equivalente:

$$\begin{aligned} f^2(t) = & \frac{A^2}{2} (1 + \cos 2\omega_c t) + \frac{m^2 A^2}{8} [1 + \cos 2(\omega_c + \omega_m)t] + \frac{m^2 A^2}{8} [1 + \cos 2(\omega_c - \omega_m)t] \\ & + \frac{mA^2}{2} [\cos(2\omega_c + \omega_m)t + \cos \omega_m t] + \frac{mA^2}{2} [\cos(2\omega_c - \omega_m)t + \cos \omega_m t] \quad \dots(5) \\ & + \frac{m^2 A^2}{4} [\cos 2\omega_c t + \cos 2\omega_m t] \end{aligned}$$

La salida del detector de ley cuadrática tiene componentes espectrales de audio (AF) y de radio frecuencia (RF). Tras la eliminación de las altas frecuencias mediante filtrado nos quedamos con:

$$D(t) = mA^2 \cos \omega_m t + \frac{m^2 A^2}{4} \cos 2\omega_m t \quad \dots(6)$$

El primer término representa la modulación que ha sido recuperada. El segundo término constituye una componente de distorsión.

2. Detección sincrónica o por producto

Si multiplicamos la ec.(3) por el término $s(t) = B \cos \omega_c t$, obtenemos una expresión para la salida de un detector sincrónico o de producto, cuya representación esquemática se da en la figura 2.

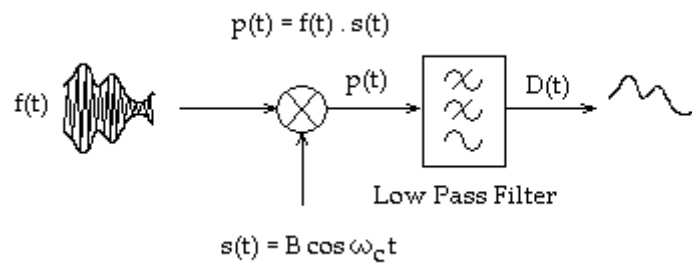


Fig.2 Detector sincrónico o de producto

La salida de este tipo de detector está dada por $p(t) = f(t) \cdot s(t)$, esto es,

$$f(t) \cdot s(t) = AB \cos^2 \omega_c t + \frac{mAB}{2} \cos \omega_c t \cdot \cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{mAB}{2} \cos \omega_c t \cdot \cos(\omega_c - \omega_m)t$$

que puede escribirse como:

$$f(t) \cdot s(t) = \frac{AB}{2} (1 + \cos 2\omega_c t) + \frac{mAB}{4} [\cos(2\omega_c + \omega_m)t + \cos \omega_m t] + \frac{mAB}{4} [\cos(2\omega_c - \omega_m)t + \cos \omega_m t] \quad \dots(7)$$

Después del filtrado de las componentes de RF obtenemos:

$$D(t) = \frac{mAB}{2} \cos \omega_m t \quad \dots(8)$$

Observamos que la componente de frecuencia $2\omega_m$ (distorsión) no existe en este caso.

3. Detección de señales de banda lateral (SSB)

Una señal SSB puede expresarse mediante:

$$f(t) = A \cos(\omega_c + \omega_m)t$$

o ... (9)

$$f(t) = A \cos(\omega_c - \omega_m)t$$

el signo “+” empleado para una señal de banda lateral superior (USB) y el signo “-” para una señal de banda lateral inferior (LSB). Los demoduladores de producto y los del tipo mezclador son empleados para la detección de señales SSB.

3.1 Detección por producto de señales SSB

Considérese un detector de producto con entradas:

$$f(t) = A \cos(\omega_c + \omega_m)t$$

y

$$s(t) = B \cos \omega_c t$$

El detector realiza la función matemática:

$$p(t) = f(t) \cdot s(t) = AB \cos \omega_c t \cdot \cos(\omega_c + \omega_m)t$$

que es idéntica a:

$$p(t) = \frac{AB}{2} [\cos(2\omega_c + \omega_m)t + \cos \omega_m t] \quad \dots(10)$$

Claramente, si filtramos las componentes de RF de $p(t)$ obtenemos:

$$D(t) = \frac{AB}{2} \cos \omega_m t \quad \dots(11)$$

que es la señal modulante deseada.

3.2 Detección SSB empleando demoduladores mezcladores

Aquí, una señal SSB a frecuencia intermedia (IF) se mezcla con la salida de un oscilador de frecuencia de batido (BFO). Esta acción permite recuperar la modulación.

Sea $f(t) = A \cos(\omega_c + \omega_m)t$ la señal SSB y $s(t) = B \cos(\omega_c + \Delta\omega)t$ la salida del BFO. La salida del mezclador es:

$$p(t) = [f(t) + s(t)]^2 \quad \dots(12)$$

Entonces:

$$p(t) = [A \cos(\omega_c + \omega_m)t + B \cos(\omega_c + \Delta\omega)t]^2$$

o su forma equivalente,

$$p(t) = \frac{A^2}{2} [1 + \cos 2(\omega_c + \omega_m)t] + \frac{B^2}{2} [1 + \cos 2(\omega_c + \Delta\omega)t] \quad \dots(13) \\ + AB[\cos(2\omega_c + \omega_m + \Delta\omega)t + \cos(\omega_m - \Delta\omega)t]$$

Después de remover las componentes de RF de la salida del mezclador nos quedamos con:

$$D(t) = AB \cos(\omega_m - \Delta\omega)t \quad \dots(14)$$

Observamos que el espectro de la señal modulante ha sido recuperado desplazado hacia abajo en frecuencia por una cantidad $\Delta\omega/2\pi$ Hertz. De ahí la importancia de un correcto ajuste del BFO.

4. Detección de señales DSBC empleando un receptor regenerativo en el modo oscilante

Usualmente las señales DSBC son detectadas en receptores regenerativos ajustando la ganancia regenerativa ligeramente por debajo del punto de oscilación. Aquí, las alinealidades del dispositivo activo son las responsables del proceso de demodulación, el cual sigue una ley cuadrática.

Sin embargo, en el modo oscilante también es posible la detección de señales DSBC. Cuando se encuentra sintonizado a la misma frecuencia, un receptor regenerativo ligeramente en estado oscilante se enganchará a la portadora entrante. Ambas señales estarán presentes a través del circuito tanque y por lo tanto serán mezcladas por el dispositivo activo.

Si A es la amplitud de la portadora sin modular y B aquella de la oscilación a través del circuito sintonizado (de la misma frecuencia que la portadora), entonces, empleando la ec.(2) obtenemos:

$$f(t) = A (1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t + B \cos \omega_c t \quad \dots(15)$$

para las señales a través del circuito tanque.

La ec.(15) puede ser escrita como:

$$f(t) = (A + B) \cos \omega_c t + \frac{mA}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{mA}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t \quad \dots(16)$$

Después de la detección por ley cuadrática y posterior filtrado nos quedamos con la modulación recuperada y un término no deseado de distorsión:

$$D(t) = mA(A + B) \cos \omega_m t + \frac{m^2 A^2}{4} \cos 2\omega_m t \quad \dots(17)$$

Usualmente, los niveles de distorsión armónica son tolerables.

5. Demodulación de señales SSB en un receptor regenerativo

La detección de señales SSB requiere que el receptor se encuentre operando en el modo oscilante. Se necesitan así mismo oscilaciones robustas para que el receptor no se enganche a la señal entrante. En caso contrario, el audio recuperado tendrá el

característico “cuac-cuac”, restándole inteligibilidad a la palabra. Como medida alternativa, el operador puede atenuar las señales de entrada.

La detección es, nuevamente, del tipo por ley cuadrática, siguiendo a un proceso de mezcla llevado a cabo por las alinealidades del dispositivo activo.

Si $A \cos(\omega_c + \omega_m)t$ es la señal SSB y $B \cos(\omega_c + \Delta\omega)t$ la oscilación del receptor, ambas a través del circuito tanque, la salida del mezclador será:

$$p(t) = [A \cos(\omega_c + \omega_m)t + B \cos(\omega_c + \Delta\omega)t]^2 \quad \dots(18)$$

dando como resultado, después de filtrar las componentes de RF:

$$D(t) = AB \cos(\omega_m - \Delta\omega)t \quad \dots(19)$$

Nuevamente, una cuidadosa sintonía del receptor será necesaria de manera que $\Delta\omega \rightarrow 0$. Así mismo, la frecuencia de oscilación deberá ser muy estable.

*Lima-Perú, Sudamérica
Agosto 30 del 2005*