Modulación por conmutación

Alfonso Cuesta Hernández

17 de abril de 2001

La operación de multiplicación requerida para la modulación de señales en AM puede ser reemplazada por una simple operación de conmutación si observamos que cualquier señal modulada puede ser obtenida al multiplicar $m(t)$ no sólo por una sinusoide sino también por cualquier otra señal periódica $\phi(t)$ de frecuencia ω_c.

Una señal periódica puede ser representada por su serie de Fourier

$$\phi(t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \cos(n\omega_c t + \theta_n)$$

por lo tanto

$$m(t)\phi(t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n m(t) \cos(n\omega_c t + \theta_n)$$

Aplicando la transformada de Fourier, observamos que el espectro del producto $m(t)\phi(t)$ es el espectro de $M(\omega)$ desplazado en $\pm\omega_c, \pm 2\omega_c, \ldots, \pm n\omega_c$. Si a esta señal se le hace pasar por un filtro pasabandas centrado en ω_c y con un ancho de banda $2B$ obtenemos la señal modulada $c_1 m(t)\cos(\omega_c t + \theta_1)$.

Un tren de pulsos tiene la siguiente serie de Fourier

$$w(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi}\left(\cos\omega_c t - \frac{1}{3}\cos 3\omega_c t + \frac{1}{5}\cos 5\omega_c t - \cdots\right)$$

al ser multiplicada por la señal moduladora $m(t)$ obtenemos

$$m(t)w(t) = \frac{1}{2}m(t) + \frac{2}{\pi}\left(m(t)\cos\omega_c t - \frac{1}{3}m(t)\cos 3\omega_c t + \frac{1}{5}m(t)\cos 5\omega_c t - \cdots\right)$$

Como es obvio en este punto, el espectro del producto entre la señal modulante y el tren de pulsos es el de la misma señal $m(t)$ recorrida en múltiplos impares de la frecuencia fundamental. Aplicando un filtro pasabanda centrado en ω_c obtenemos la señal modulada que esperábamos.

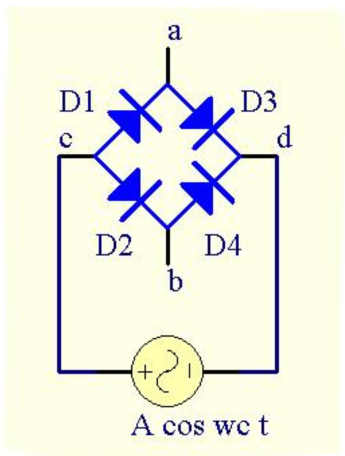

Figura 1: Puente de diodos

Como podemos observar, la multiplicación de la señal $m(t)$ por un tren de pulsos es en realidad una operación de conmutación de la propia señal de manera periódica de acuerdo a la frecuencia fundamental ω_c. Un dispositivo capaz de lograr este efecto es un puente de diodos con las señales conectadas como se muestra en la figura 1.

Donde la señal $Acos\omega_c t$ es la que controla la conmutación.

Como se puede observar los diodos D_1, D_2 y D_3, D_4 están puestos en pares. Cuando la señal $Acos\omega_c t$ tiene una polaridad que hará la terminal c positiva con respecto a d todos los diodos conducen. Durante el siguiente ciclo, la terminal d se vuelve más positiva con respecto a c y los diodos no conducen. Por lo tanto el puente de diodos sirve como un conmutador abriendo y cerrando las terminales a y b a la frecuencia f_c. Para obtener la señal $m(t)w(t)$ colocamos en las terminales a y b la señal moduladora y en las terminales c y d una sinusoide con la frecuencia portadora o fundamental.

Otro modulador de conmutación conocido como **modulador de anillo**, se muestra en la figura.

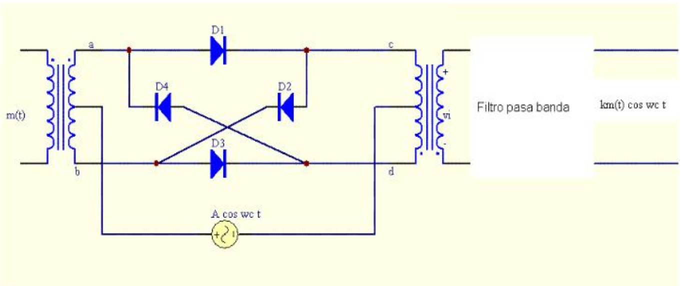

Figura 2: Modulador de anillo

Durante el medio ciclo positivo de la portadora, los diodos D_1 y D_3 conducen y D_2 y D_4 están abiertos. Por lo tanto la terminal a está conectada a la terminal c, y la terminal b está conectada a la terminal d. Durante el ciclo negativo los diodos D_2 y D_4 conducen y los otros dos no lo hacen; de esta manera queda conectada la terminal a a la d y la b a la c. Como se puede ver la señal de salida es proporcional a $m(t)$ durante los ciclos positivos de y proporcional a $-m(t)$ durante los negativos.

Como es de esperarse, al pasar la señal resultante por un filtro pasabanda sintonizado a la frecuencia ω_c se obtiene la señal modulada.

En este circuito existen dos entradas. $m(t)$ y $\cos\omega_c t$. La entrada al filtro pasabanda no contiene ninguna de las dos. Por lo tanto a este circuito se le llama **modulador doblemente balanceado**.