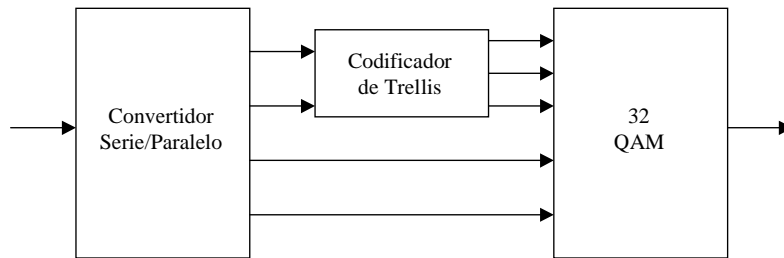


Problema PTC0001-14

Una señal $f(t)$ digital a 9600 bps lleva una secuencia alternada de ceros y unos. La señal se modula en frecuencia con una portadora de 10 kHz y un índice de modulación unidad. La señal modulada $g(t)$ se transmite por un cable de ancho de banda B_c . Tras demodular la señal $g(t)$ se vuelve a enviar por un modem V.32 (modulación TCM) como el de la figura. Determinar.

- El ancho de banda necesario para transmitir la señal FM.
- El ancho de banda necesario para transmitir la señal TCM.



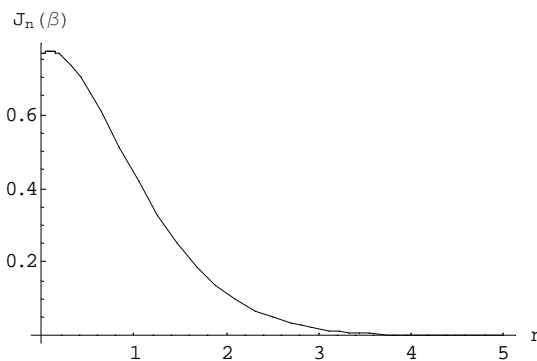
Solución PTC0001-14

a) La señal $g(t)$ modulada en frecuencia tiene un ancho de banda que viene dado por

$$B_g = 2 \cdot n_s \cdot B_f$$

donde n_s es el número de valores significativas de las funciones de Bessel con un índice de modulación unidad. De acuerdo con la tabla de valores y la gráfica de las funciones de Bessel podemos considerar que el valor de n_s es 3.

n	$J_n(\beta); \beta=1$
0	0.765
1	0.440
2	0.115
3	0.019
4	0.002
5	-

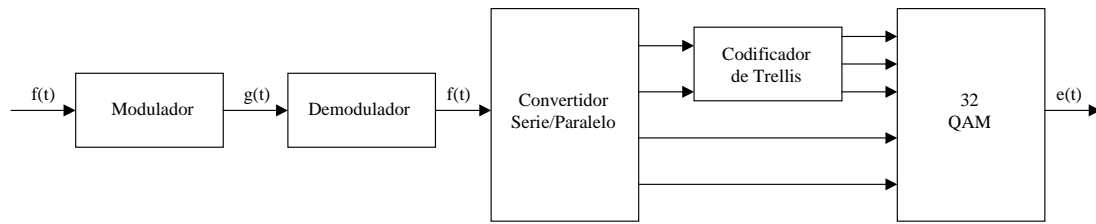


Por otra parte B_f es el ancho de banda de la señal en banda base. Si consideramos que $f(t)$ es una señal digital de velocidad $v_b = 9600$ bps, y tenemos en cuenta que idealmente se necesita un canal de ancho de banda $B_{cf} = v_b/2$ para acomodarla, entonces vemos que el ancho de banda necesario para acomodar a la señal $g(t)$ será

$$B_{cg} = 2 \cdot n_s \cdot B_{cf} = 2 \cdot n_s \cdot \frac{v_b}{2} = n_s \cdot v_b = 3 \cdot 9600 = 28.800 \text{ Hz.}$$

En situaciones no ideales se suele considerar que $B_{cf} = v_b$ por lo que, en este caso,

$$B_{cg} = 2 \cdot n_s \cdot B_{cf} = 2 \cdot n_s \cdot v_b = 2 \cdot 3 \cdot 9600 = 57.600 \text{ Hz.}$$



b) A la salida del demodulador de FM volvemos a tener la señal digital $f(t)$, por lo que, con respecto a la segunda parte del problema, en nada influye el modulador FM. Denominemos $e(t)$ a la salida del modem V.32. Este modem, como vemos en la figura, toma 4 bits de la entrada para codificar un punto de la constelación QAM. Es decir, cada símbolo, cada forma de onda, cada pulso de $e(t)$ se corresponde con 4 símbolos, formas de onda o pulsos de $f(t)$. Es decir la velocidad en símbolos de $e(t)$ (v_s) es la cuarta parte de la velocidad en bits de $f(t)$ (v_b): $v_s = 9600/4 = 2400$ baudios. En condiciones ideales el ancho de banda necesario para albergar un señal así será

$$B_{ce} = 2 \cdot \frac{v_s}{2} = v_s = 2400 \text{ Hz}$$

En situaciones no ideales suele considerarse que

$$B_{ce} = 2 \cdot v_s = 4800 \text{ Hz}$$