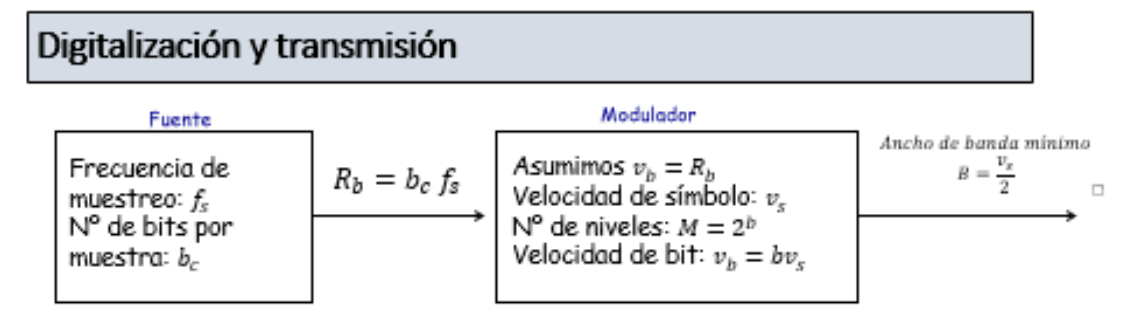


Gestión de Infraestructuras

Tema 3: Sistemas de comunicación - parte 2

Ejercicios

1. Resumen:



2. Ejercicio de clase:

Se desea transmitir la secuencia de bits 001110001010100101 para lo cual se emplea un modulador PAM con pulsos rectangulares definidos como

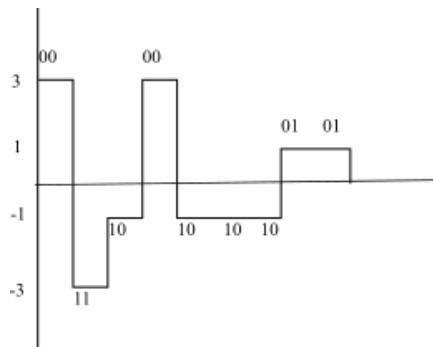
$$p(t) = A(u(t) - u(t - T))$$

donde T es el periodo de símbolo y A es la amplitud.

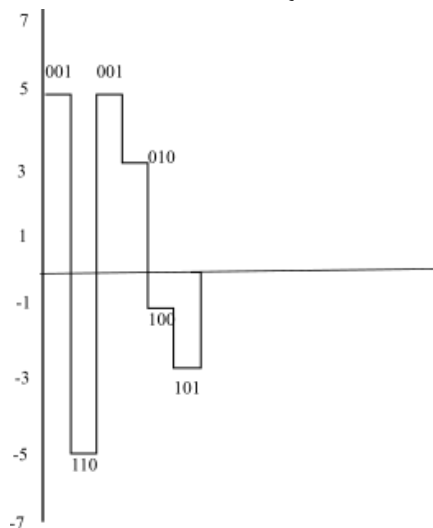
- a) Dibuje la señal que se obtiene cuando se emplean 4 niveles.
- b) Dibuje la señal que se obtiene cuando se emplean 8 niveles.

Solución:

- a) Para $M = 4$ niveles, las amplitudes son $A = \{3, 1, -1, -3\}$. Se usará la asignación $\{00, 01, 10, 11\}$



- b) Para $M = 8$ niveles, las amplitudes son $A = \{7, 5, 3, 1, -1, -3, -5, -7\}$. Se usará la asignación $\{000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111\}$



3. Ejercicio de clase:

Se quiere transmitir un texto a la velocidad de 800 caracteres por segundo. Los caracteres se representan en binario por medio de un código ASCII de 7 bits al que se le añade un octavo bit por cada caracter para detección de errores. Se emplea una modulación digital de 16 niveles.

- a) ¿Cuál es la velocidad de bit?
- b) ¿Cuál es la velocidad de símbolo?

Solución:

- a) $v_b = 6400$ bps
- b) $v_s = 1600$ simb/s.

Desarrollo:

- a) *Comenzamos viendo que la fuente codificada cada caracter con 8 bits, por lo que la velocidad es:*

$$R_b = \frac{800 \text{caracteres}}{s} \times \frac{8 \text{bits}}{\text{caracter}} = 6400 \text{bps}$$

Asumimos que la velocidad de bit v_b es igual a R_b . Por tanto, $v_b = 6400$ bps

- b) *En una modulación de $M = 16$ niveles, cada símbolo corresponde a*

$$b = \log_2(M) = \log_2(16) = 4 \text{ bits/simb}$$

Por tanto, la velocidad de símbolo es

$$v_s = \frac{v_b}{b} = \frac{6400}{4} = 1600 \text{ simb/s}$$

4. Ejercicio:

Se quiere transmitir un mensaje de 100 caracteres alfanuméricos en 2 segundos. utilizando un código ASCII de 7 bits al que en cada carácter se le añade un octavo bit para detección de errores. Se emplea una modulación digital de 32 niveles.

- a) Calcule la velocidad de símbolo y la velocidad de bit necesaria.
- b) Repita el apartado anterior para sistemas de transmisión de 16, 8, 4 y 2 niveles.

Solución:

- a) $v_b = 400$ bps y $v_s = 80$ simb/s

$$M = 16 \quad v_b = 400\text{bps} \quad v_s = 100 \text{ simb/s}$$

- b) $M = 8 \quad v_b = 400\text{bps} \quad v_s = \frac{400}{3} \text{ simb/s}$
 $M = 4 \quad v_b = 400\text{bps} \quad v_s = 200 \text{ simb/s}$
 $M = 2 \quad v_b = 400\text{bps} \quad v_s = 400 \text{ simb/s}$

Desarrollo:

- a) Si se transmiten 100 caracteres en 2 s, tenemos

$$R_b = \frac{100\text{caracteres}}{2s} \times 8 \frac{\text{bit}}{\text{caracter}} = 400\text{bps}$$

Asumiremos $v_b = R_b = 400\text{bps}$ Para $M = 32$, tenemos $b = 5 \text{ bits/simb}$. Por tanto,

$$v_s = \frac{v_b}{b} = \frac{400}{5} = 80 \text{ simb/s}$$

- b) Se realiza igual que el apartado anterior.

5. Ejercicio de clase:

Una señal de voz se muestrea a 8000 Hz y se codifica con 16 bits.

- a) ¿Cuál es el mínimo ancho de banda en el canal que se necesita para transmitir esta señal empleando la modulación 4-PAM?
- b) Repita el apartado anterior en el caso de que la voz se codifique con 8 bits.

Solución:

a) $B = 32 \text{ kHz}$

b) $B = 16 \text{ kHz}$

Desarrollo:

- a) La señal se muestrea a $f_s = 8000 \text{ Hz}$ y se codifica con $b_c = 16 \text{ bits/muestra}$, por lo que

$$v_b = R_b = 8000 \times 16 = 128000 \text{ bps}$$

Al tratarse de una 4-PAM, tenemos $b = \log_2(M) = 2 \text{ bits/símbolo}$. Por lo que la velocidad de símbolo es

$$v_s = \frac{v_b}{b} = \frac{128000}{2} = 64000 \text{ simb/s}$$

Dado que es una transmisión banda base,

$$B = \frac{v_s}{2} = 32000 = 32 \text{ kHz}$$

- b) La señal se muestrea a $f_s = 8000 \text{ Hz}$ y se codifica con 16 bits/muestra, por lo que

$$v_b = R_b = 8000 \times 8 = 64000 \text{ bps}$$

Al tratarse de una 4-PAM, tenemos $b = \log_2(M) = 2 \text{ bits/símbolo}$. Por lo que la velocidad de símbolo es

$$v_s = \frac{v_b}{b} = \frac{64000}{2} = 32000 \text{ símbolos/s}$$

Dado que es una transmisión banda base,

$$B = \frac{v_s}{2} = 16000 = 16 \text{ kHz}$$

6. Ejercicio:

¿Cuál es el ancho de banda mínimo necesario para alcanzar la velocidad de 10 Mb/s con una modulación 16-PAM?

Solución:

$$B = 1,25 \text{ MHz}$$

Desarrollo:

Partimos de $v_b = 10 \text{ Mb/s}$ y $b = \log_2(M) = \log_2(16) = 4 \text{ bits/simbolo}$. De lo que obtenemos,

$$v_s = \frac{v_b}{b} = \frac{10 \text{ M}}{4} = 2,5 \text{ M simb/s}$$

Dado que PAM es una transmisión banda base,

$$B = \frac{v_s}{2} = 1,25 \text{ MHz}$$

7. Ejercicio de clase:

Considerando que se dispone de una capacidad de 1.024.000 bits para almacenar una señal analógica.

- Determine el máximo ancho de banda que puede tener la señal analógica para poder almacenar 4 segundos, muestreando a la frecuencia de Nyquist y codificando con 8 bits.
- Este fichero se desea enviar a otro ordenador para lo cual se utiliza un sistema de transmisión PAM binario. ¿Cuál es el mínimo ancho de banda que debe tener el canal para trasladar el fichero en 4 segundos?
- Si se dispone de un canal paso bajo con un ancho de banda de 32 kHz, determine el mínimo número de niveles que debe tener un sistema de transmisión PAM para poder enviar el fichero en 4 segundos.

Solución:

- $f_x = 16 \text{ kHz}$
- $B = 128 \text{ kHz}$
- 16 niveles

Desarrollo:

- Para transmitir 1.024.000 bits en 4 segundos, es necesario que la velocidad de bit sea

$$v_b = \frac{1,024,000}{4} = 256 \text{ kbps}$$

Vamos a considerar que $R_b = v_b = 256 \text{ kbps}$

Por otro lado, sabemos que $R_b = f_s b_c$ donde f_s es la frecuencia de muestreo y b_c son los bits del codificador. Podemos obtener que

$$f_s = \frac{R_b}{b_c} = \frac{256 \text{ kbps}}{8 \text{ bits/muestra}} = 32 \text{ kmuestras/s} = 32 \text{ KHz}$$

Dado que se muestrea a la frecuencia de Nyquist, podemos obtener

$$f_x = \frac{f_s}{2} = 16 \text{ kHz}$$

- Del apartado anterior sabemos que $v_b = R_b = 256 \text{ kbps}$. Al tratarse de un sistema PAM binario, $b = 1$. Esto quiere decir que $v_s = v_b = R_b = 256 \text{ kbps}$. Finalmente, calculamos

$$B = \frac{v_s}{2} = 128 \text{ kHz}$$

- Del apartado anterior sabemos que $v_b = R_b = 256 \text{ kbps}$. Nos indican que el canal tiene ancho de banda $B = 32 \text{ kHz}$. Primero calcularemos la velocidad de símbolo

$$v_s = 2B = 64 \text{ ksimb/s}$$

Dado que $v_s = v_b/b$, obtenemos

$$b = \frac{v_b}{v_s} = \frac{256 \text{ kbps}}{64 \text{ Ksimb/s}} = 4 \text{ bits}$$

Y la modulación tiene $M = 2^b = 16$ niveles.

8. Ejercicio:

Se desea transmitir una señal analógica a través de un canal banda base con un ancho de banda de 100 kHz empleando un sistema de transmisión PAM binario. Para ello la señal se muestrea a la frecuencia de Nyquist y se codifica con 5 bits.

- a) Calcule la máxima velocidad de bit que puede emplearse.
- b) Calcule el ancho de banda máximo que puede tener la señal analógica para poder ser transmitida.
- c) Repita los dos apartados anteriores si se emplea un sistema de transmisión 8-PAM.

Solución:

- a) $v_b = 200$ kbps
- b) $f_x = 20$ kHz
- c) $v_b = 600$ kbps y $f_x = 60$ kHz

Desarrollo:

- a) *El ancho de banda del canal es $B = 100$ kHz y sabemos que $v_s = 2B$, de lo que deducimos que $v_s = 200$ simb/s. Además, al tratarse de PAM binaria,*

$$v_b = v_s = 200 \text{ kbps}$$

- b) *Consideramos que $R_b = v_b = 200$ kbps. En nuestro caso, $b_c = 5$ bits/muestra. Utilizando la ecuación $R_b = f_s \times b_c$, obtenemos*

$$f_s = \frac{R_b}{b_c} = \frac{200000}{5} = 40 \text{ kHz}$$

Dado que $f_s = 40$ kHz y $f_s = 2f_x$, obtenemos

$$f_x = \frac{f_s}{2} = 20 \text{ kHz}$$

- c) *Para 8-PAM, tenemos $M = 3$. Igual que antes $v_s = 200$ kHz y $v_b = bv_s = 600$ kbps.*

Consideramos que $R_b = v_b = 600$ kbps. En nuestro caso, $b_c = 5$ bits/muestra. Utilizando la ecuación $R_b = f_s b_c$, obtenemos

$$f_s = \frac{R_b}{b_c} = \frac{600000}{5} = 120 \text{ kHz}$$

Como $f_s = 120$ kHz y, dado que la frecuencia de muestreo es la de Nyquist, $f_x = f_s/2$, obtenemos

$$f_x = \frac{f_s}{2} = 60 \text{ kHz}$$

9. Ejercicio:

Un ordenador dispone de un fichero con una capacidad de 64 Mbits para almacenar una señal analógica.

- Determine el máximo ancho de banda que puede tener la señal analógica para poder almacenar 80 segundos, muestreando a la frecuencia de Nyquist y codificando con 16 bits.
- Este fichero se desea enviar a otro ordenador para lo cual se utiliza una modulación PAM binaria. ¿Cual es el mínimo ancho de banda que debe tener el canal para trasladar el fichero en 20 segundos?
- Si se dispone de un canal paso bajo con un ancho de banda de 400 kHz, determine el mínimo número de niveles que debe tener un modulador PAM para poder enviar el fichero en 40 segundos.

Solución:

- $f_x = 25 \text{ kHz}$
- $B = 1,6 \text{ MHz}$
- $M = 4 \text{ niveles}$

Desarrollo:

- Sabemos que el se muestrea a la frecuencia de Nyquist, $f_s = 2f_x$. Además, dado que el fichero es de 64 Mbits y dura 80 s, determinamos*

$$R_b = \frac{64 \text{ Mbits}}{80 \text{ s}} = 800 \text{ kbps}$$

Además, conocemos que el codificador utiliza 16 bits por muestra,.

$$f_s = \frac{R_b}{b_c} = \frac{800 \text{ kbps}}{16 \text{ bits/muestra}} = 50 \text{ KHz}$$

Finalmente,

$$f_x = \frac{f_s}{2} = 25 \text{ KHz}$$

- Podemos calcular la velocidad de bits de transmisión*

$$v_b = \frac{64 \text{ Mbits}}{20 \text{ s}} = 3,2 \text{ Mbps}$$

Para un sistema PAM binario, $v_s = v_b = 3,2 \text{ Mbps}$. Finalmente,

$$B = \frac{v_s}{2} = 1,6 \text{ MHz}$$

c) *Determinamos la velocidad de bits para 40 segundo,*

$$v_b = \frac{64 \text{ Mbits}}{40 \text{ s}} = 1,6 \text{ Mbps}$$

Dado que el canal tiene ancho de banda $B = 400 \text{ KHz}$, sabemos que la velocidad de símbolo es

$$v_s = 2B = 800 \text{ ksimb/s}$$

Finalmente, calculamos

$$b = \frac{v_b}{v_s} = \frac{1,6 \times 10^6}{800 \times 10^3} = 2$$

y $M = 2^2 = 4$ niveles.