

Solution feuille de TD N°03 en Communications numériques
 Transmission sans interférences entre symboles

Exercice 01

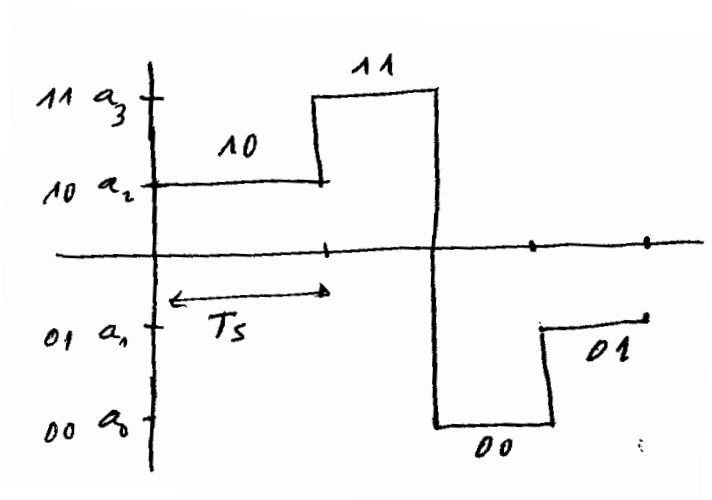
Rappel

Modulation PAM :

Exemple : PAM-4

$M=4$ donc $n = \log_2(4) = 2$

$I = 10 / 11 / 00 / 01$
 $a_2 \quad a_3 \quad a_0 \quad a_1$



Modulation PCM : Conversion analogique numérique (échantillonnage, quantification et codage).

Transmission sans interférences inter-symbole $\Rightarrow B \geq \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2}$

Donc $B_{min} = \frac{R_s}{2}$

Calcul de R_s

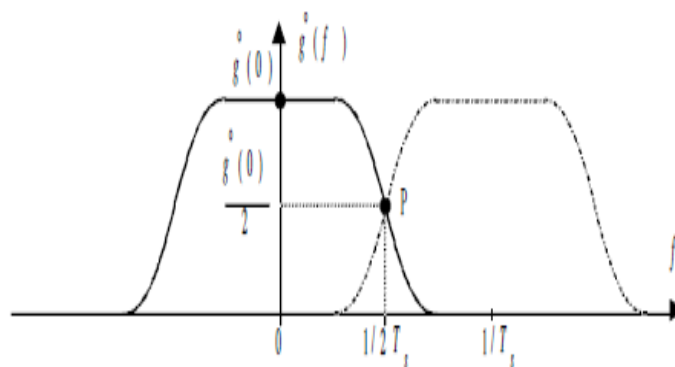
$$R_s = \frac{D}{n}$$

Avec n est le nombre de bits/symbole d'une modulation PAM

Modulation PAM à 16 niveaux $\Rightarrow M = 2^n \Rightarrow n = 4 \text{ bits/symbole}$

$$\text{Donc } R_s = \frac{D}{n} = \frac{10 \text{ Mbits/s}}{4 \text{ bits/sym}} =$$

$2,5 \frac{\text{Msym}}{\text{s}}$ ou Mbauds



Donc la bande passante minimale $B_{min} = \frac{R_s}{2} = \frac{2,5 \text{ Msym/s}}{2} = 1,25 \text{ MHz}$

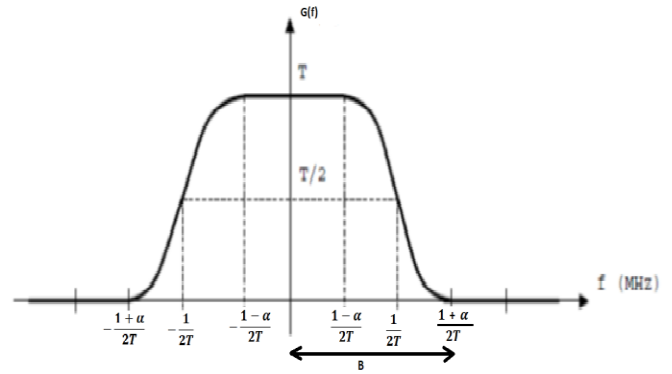
b. pour un filtre de cosinus sur élevé la bande passante s'écrit :

$$B = \frac{1 + \alpha}{2T} = (1 + \alpha) \frac{R_s}{2}$$

Avec $B = 1,375 \text{ MHz}$

Donc :

$$\alpha = \frac{2B}{R_s} - 1 = \frac{2 * 1,375}{2,5} - 1 \Rightarrow \alpha = 0,1$$



Exercice 02 :

Transmission sans interférences entre symboles $\Rightarrow B_{min} = \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2}$ avec $R_s = \frac{D}{n}$

On a une modulation PAM-32 $\Rightarrow M = 32 \Rightarrow n = \log_2(32) = 5 \text{ bits/sym}$

Calcul du débit D :

Pour une conversion analogique numérique : $D = n_e \cdot f_e$

Avec f_e est la fréquence d'échantillonnage

n_e est le nombre de bits/ échantillon

Le nombre de niveaux de quantification $L=500$ donc $n_e = \log_2(L) = \log_2(500) = 9 \text{ bits/échantillon}$

Donc $D = n_e \cdot f_e = 9 \frac{\text{bits}}{\text{éch}} \times 8000 \frac{\text{éch}}{\text{s}} = 72000 \text{ bits/s}$

Donc $R_s = \frac{D}{n} = \frac{72000 \text{ bits/s}}{5 \text{ bits/sym}} = 14400 \text{ sym/s}$

Finalement $B_{min} = \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2} = \frac{14400 \text{ sym/s}}{2} = 7200 \text{ Hz}$

Exercice 03 :

a. Calcul de la rapidité de modulation

Modulation PAM-8 $\Rightarrow M = 8 \Rightarrow n = \log_2(8) = 3 \text{ bits/sym}$

Donc $R_s = \frac{D}{n} = \frac{9600 \text{ bits/s}}{3 \text{ bits/sym}} = 3200 \text{ sym/s}$

b. Calcul du facteur de roll-off

On a $B = \frac{1+\alpha}{2T} = (1 + \alpha) \frac{R_s}{2}$

Avec $B = 2,4 \text{ kHz}$

Donc :

$$\alpha = \frac{2B}{R_s} - 1 = \frac{2 * 2,4 \text{ kHz}}{3,2 \text{ ksym/s}} - 1 \Rightarrow \alpha = 0,5$$

Exercice 04 :

a. Modulation PAM

On a $B = \frac{1+\alpha}{2T} = (1 + \alpha) \frac{R_s}{2}$

$f_e = 8000 \frac{\acute{e}ch}{s} = 8000 \text{ impulsion/s}$

Donc $R_s = 8000 \text{ sym/s}$

Donc $B = \frac{1+\alpha}{2T} = (1 + \alpha) \frac{R_s}{2} = (1 + 1) \frac{8000}{2} = 8 \text{ kHz}$

b. Transmission PCM à 8 niveaux (L=8)

On a $D = n_e \cdot f_e$

Avec $n_e = \log_2(L) = \log_2(8) = 3 \text{ bits/échantillon}$

$D = n_e \cdot f_e = 3 \frac{\text{bits}}{\acute{e}ch} \times 8000 \frac{\acute{e}ch}{s} = 24000 \text{ bits/s}$

Transmission binaire donc $R_s = D$

Finalement $B = (1 + \alpha) \frac{R_s}{2} = (1 + 1) \frac{24000}{2} = 24 \text{ kHz}$

c. Transmission PCM à 128 niveaux (L=128)

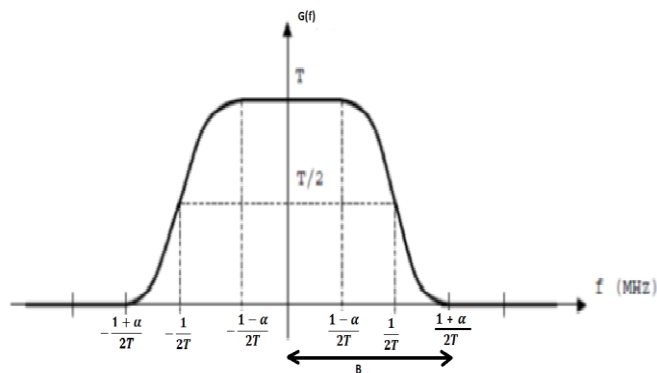
On a $D = n_e \cdot f_e$

Avec $n_e = \log_2(L) = \log_2(128) = 7 \text{ bits/échantillon}$

$D = n_e \cdot f_e = 7 \frac{\text{bits}}{\acute{e}ch} \times 8000 \frac{\acute{e}ch}{s} = 56000 \text{ bits/s}$

Transmission binaire donc $R_s = D$

Finalement $B = (1 + \alpha) \frac{R_s}{2} = (1 + 1) \frac{56000}{2} = 56 \text{ kHz}$



Exercice 05 :

a. Calcul de débit maximal

Transmission binaire donc $D = R_s$

Filtre de cosinus sur élevé donc

$B = (1 + \alpha) \frac{R_s}{2}$ donc $R_s = \frac{2B}{(1+\alpha)} = \frac{2 \times 100 \text{ kHz}}{(1+0,6)} = 125 \text{ ksym/s}$

Donc $D = 125 \text{ kbits/s}$

b. Calcul de la bande passante du signal analogique

Modulation PCM $\Rightarrow D = n_e \cdot f_e$ donc $f_e = \frac{D}{n_e}$

$L = 32 \Rightarrow n_e = \log_2(L) = \log_2(32) = 5 \text{ bits/échantillon}$

$$\text{Donc } f_e = \frac{D}{n_e} = \frac{125 \text{ Kbits/s}}{5} = 25 \text{ KHz}$$

$$\text{Condition de Shannon : } f_e \geq 2F_{max} \text{ donc } F_{max} \leq \frac{1}{2}f_e = \frac{1}{2}25 \text{ kHz} = 12,5 \text{ kHz}$$

c. Transmission PAM-8

$$R_s = \frac{D}{n} \Rightarrow D = n \times R_s$$

$$\text{on a } M = 8 \Rightarrow n = 3$$

$$\text{Donc } D = n \times R_s = 3 \times 125 \frac{\text{ksym}}{\text{s}} = 375 \text{ kbits/s}$$

Calcule de la bande passante du signal analogique

$$f_e = \frac{D}{n_e} = \frac{375 \text{ Kbits/s}}{5} = 75 \text{ KHz}$$

$$\text{Condition de Shannon : } f_e \geq 2F_{max} \text{ donc } F_{max} \leq \frac{1}{2}f_e = \frac{1}{2}75 \text{ kHz} = 37,5 \text{ kHz}$$