

Travaux Dirigés

Communications numériques en bande de base

Objectifs :

- Comprendre les méthodes de conception d'un système de transmission numérique en bande de base.
- Savoir gérer les ressources fréquentielles et régler la puissance d'émission en fonction de la qualité de transmission visée.

On dispose d'une paire de fils torsadés qui présente une bande fréquentielle de 8 MHz, avec une atténuation moyenne dans cette bande de 7 dB. On se propose de réaliser une transmission en bande de base. Dans un premier temps, le codage des informations retenu est un codage binaire NRZ avec la tension des signaux émis qui varie entre -1 V et 1 V. Le système est initialement dimensionné pour transmettre un signal numérique avec un débit de 10 Mbit/s. Le taux d'erreurs binaires (TEB) à garantir est de 10^{-9} .

Question 1. Tracez l'évolution temporelle de la tension appliquée sur le câble pour la succession de bits suivante : 01101001.

Question 2. Montrez que la bande fréquentielle disponible convient si l'on suppose que le système complet réalise un filtrage de Nyquist avec un coefficient d'arrondi égal à 0,5.

Question 3. Si l'on mesure les puissances sur des charges de 50Ω , quelle est la puissance moyenne du signal à l'entrée de la paire de cuivre en dBm ? (On rappelle que la puissance instantanée est égale au produit courant.tension. La valeur d'une puissance en dBm est égale à 10 fois le logarithme à base 10 de la valeur de cette puissance exprimée en mW).

Question 4. Que vaut alors la puissance du signal reçue en sortie du câble ?

Le canal ajoute au signal du bruit. Ce dernier est considéré 'blanc', ce qui signifie que sa densité spectrale de puissance est constante. On note cette constante $N_0/2$.

Ici, la puissance de bruit reçu, mesurée dans une bande équivalente de 5 MHz (comme si on utilisait un filtre passe-bas idéal, laissant passer les fréquences de 0 à 5 MHz) vaut -12 dBm.

Question 5. Donnez l'expression de cette puissance de bruit en fonction de la bande équivalente du filtre et de la densité spectrale de puissance du bruit ajouté par le canal $N_0/2$.

Le bruit ajouté par le canal a un impact direct sur la qualité de la transmission. Ainsi, comme montré sur les courbes CN3-55, le taux d'erreurs binaires se déduit des valeurs de N_0 et de l'énergie du bit E_b (égale au produit de la puissance reçue et de la durée du bit). De plus, la qualité de la transmission se dégrade d'autant plus avec le bruit quand le nombre d'états M utilisé dans le système augmente.

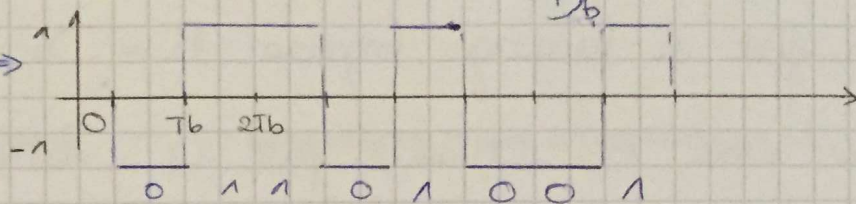
Question 6. Déduisez de la question précédente l'expression du rapport E_b/N_0 en réception en fonction des données de l'énoncé. Calculez sa valeur numérique en dB et montrez que le TEB de 10^{-9} est bien respecté.

Le système doit maintenant transmettre un signal numérique à un débit de 20 Mbit/s.

Question 7. Faut-il changer de codage ? Si oui, pourquoi et quel type de code conviendrait-il ?

Question 8. Pour conserver la même qualité de transmission, faut-il modifier la puissance émise ? Si oui, pourquoi et de quelle valeur ?

TD CN2 Q1) On a 2 états à un débit binaire $D_b = 10 \text{ Mbit/s}$
 La durée d'un bit est $T_b = 1/D_b$ ou $R = 10 \text{ Mbps}$
 d'où $T_b = 100 \text{ ns} \Rightarrow$



Q2) La bande occupée avec un filtrage de Nyquist est
 $B_{occ} = \frac{R}{2}(1+\alpha)$ ici $B_{occ} = 7.5 \text{ MHz} < 8 \text{ MHz} = B_{disp}$

Le message va être bien transmis

Q3) On a $P = U \times I \Rightarrow P_{moy} = \frac{1}{2} P^{V=1} + \frac{1}{2} P^{V=-1}$ ($1/2 = \text{proba d'avoir un 0 ou un 1}$)

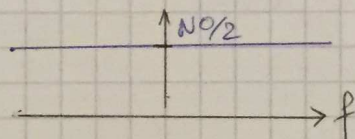
$$\text{finalement } P_{moy} = \frac{1}{2} \frac{1^2}{R} + \frac{1}{2} \frac{(-1)^2}{R} = 2 \text{ mW}$$

$$\Rightarrow P_{moy \text{ dBm}} = 10(\log(2) + \log(10)) = 13 \text{ dBm}$$

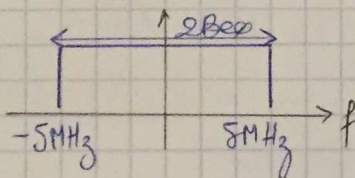
Q4) On sait que $\gamma(f) = |H(f)|^2 \times (f)$

$$\Rightarrow P_s = -4 \text{ dB} + 13 \text{ dBm} = 9 \text{ dBm}$$

Q5) Densité du bruit



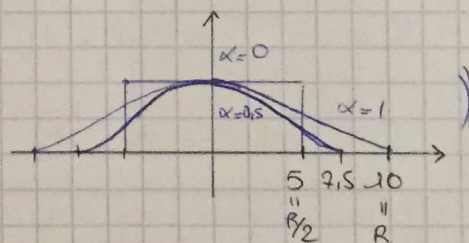
sur une bande



$$\text{on a } P_{br} \approx -12 \text{ dBm}$$

((puisque $B_{wp} = 5$ c'est supposer $\alpha = 0$)

$$\text{On a } P_{br} = \frac{2B_{wp} N_0}{2} = N_0 B_{wp}$$



Q6) On a alors $\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_s}{P_{br}} \frac{B_{wp}}{T_b}$ or $B_{wp} = \frac{R}{2}$ et $T_b = \frac{1}{R}$ i.e.

$$\text{finalement } \frac{E_b}{N_0} (\text{dB}) = 9 \text{ dBm} - (-12 \text{ dBm}) + 10 \log(1/2) = 15 \text{ dB}$$

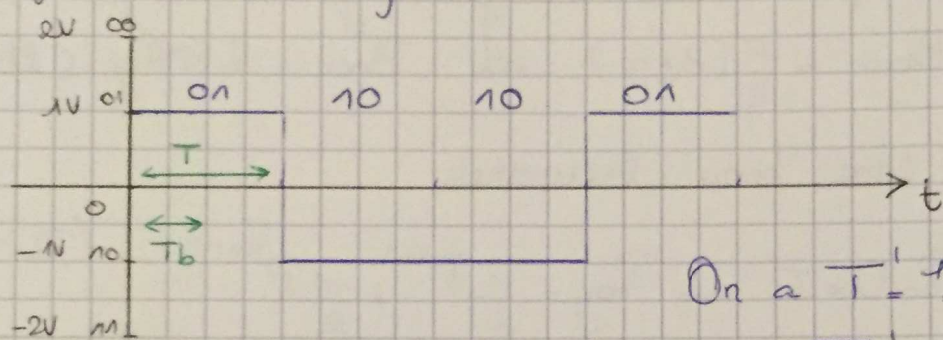
ou!

Avec le graph du cours on voit que $P_e \leq 10^{-9} \Leftrightarrow \frac{E_b}{N_0} \geq 12.5 \text{ dB}$

Q2) La nouvelle bande occupée est $\frac{2B}{2}(1+0,8) = 18\text{MHz} > 8\text{MHz}$

En effet en langage binaire $R = D_b$

pour avoir $R = 10\text{Mbaud}$ pour $D_b = 2\text{Mbit/s}$ il faut un langage à 4 motifs et donc $B_{occ} = 4,5\text{MHz}$ encore



$$\text{On a } T' = 1/R = 100\text{ns} = \frac{T}{4}$$

$$T_b' = 1/D_b = 50\text{ns} = \frac{T_b}{2}$$

Q3) P_c est modifié car la courbe est modifiée pour $M=4$

La différence de courbe est $D = 4\text{dB}$ à abscisse

$$\text{Or } D = 10 \log \left(\frac{E_b'/N_0'}{E_b/N_0} \right) = 10 \log \left(\frac{P_s' \times T_b'}{P_s \times T_b} \right)$$

$$\text{D'où } 10 \log(P_s') = D + 10 \log(P_s) + 10 \log \left(\frac{T_b}{T_b'} \right)$$

$$\text{Or } T_b = 2 \times T_b'$$

$$\text{il reste } P_s' = 4 + P_s + 10 \log 2 = P_s + 7\text{dB}$$

pour garder le même T_b .