

Formulaire

Relations trigonométriques

$$\cos(A \pm B) = \cos A \cos B \mp \sin A \sin B \quad (1)$$

$$\sin(A \pm B) = \sin A \cos B \pm \cos A \sin B \quad (2)$$

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2}(\cos(A - B) + \cos(A + B)) \quad (3)$$

$$\sin A \cos B = \frac{1}{2}(\sin(A - B) + \sin(A + B)) \quad (4)$$

$$\sin A \sin B = \frac{1}{2}(\cos(A - B) - \cos(A + B)) \quad (5)$$

Transformées de FOURIER

$$\text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) \leftrightarrow T \text{sinc}(fT) \quad (6)$$

$$\text{sinc}(2Wt) \leftrightarrow \frac{1}{2W} \text{rect}\left(\frac{f}{2W}\right) \quad (7)$$

$$e^{-at}u(t), a > 0 \leftrightarrow \frac{1}{a + 2\pi jf} \quad (8)$$

$$e^{-a|t|}, a > 0 \leftrightarrow \frac{2a}{a^2 + (2\pi f)^2} \quad (9)$$

$$e^{-\pi t^2} \leftrightarrow e^{-\pi f^2} \quad (10)$$

$$\delta(t) \leftrightarrow 1 \quad (11)$$

$$1 \leftrightarrow \delta(f) \quad (12)$$

$$\delta(t - t_0) \leftrightarrow e^{-2\pi jft_0} \quad (13)$$

$$e^{2\pi jfct} \leftrightarrow \delta(f - f_c) \quad (14)$$

$$\cos(2\pi f_c t) \leftrightarrow \frac{1}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] \quad (15)$$

$$\sin(2\pi f_c t) \leftrightarrow \frac{1}{2j} [\delta(f - f_c) - \delta(f + f_c)] \quad (16)$$

$$\text{sgn}(t) \leftrightarrow \frac{1}{\pi jf} \quad (17)$$

$$\frac{1}{\pi t} \leftrightarrow -j \text{sgn}(f) \quad (18)$$

$$\sum_{i=-\infty}^{+\infty} \delta(t - iT_0) \leftrightarrow \frac{1}{T_0} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta\left(f - \frac{n}{T_0}\right) \quad (19)$$

1. (a) Dans un premier temps, on s'intéresse à la modulation en quadrature.
 - i. En quoi consiste le principe d'une modulation en quadrature ?
 - ii. Le principe permet-il d'économiser en largeur de bande lorsqu'on doit transmettre un seul signal $v(t)$ analogique ? (justifiez votre réponse !)
- (b) Définissez et expliquez le principe des techniques de modulation à bande latérale résiduelle et des modulations angulaires.
- (c) Sur base d'un signal de largeur W en bande de base, estimez la largeur de bande nécessaire pour les techniques de modulation évoquées dans la partie (b) de cette question.
- (d) Pour réaliser la modulation à bande latérale résiduelle, il faut filtrer le signal

$$u(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) \quad (20)$$

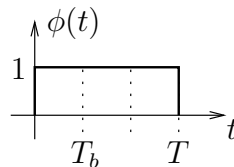
par un filtre de transmittance $H(f)$. Établissez la condition sur ce filtre pour ne pas avoir de distorsion après démodulation du signal.

- (e) Citez un exemple de chaîne de télécommunications utilisant une modulation à bande latérale résiduelle.

2. Une onde PCM obtenue après quantification est ensuite modulée par un modulateur PAM-8 de caractéristiques suivantes :

Symbole	Probabilité	Tension [Volt]
000	0,25	-3.5
001	0,15	-2.5
010	0,075	-1.5
011	0,025	-0.5
100	0,025	0.5
101	0,075	1.5
110	0,15	2.5
111	0,25	3.5

L'impulsion de mise en forme est un signal rectangulaire d'amplitude unitaire s'étendant de 0 à T :



T_b est la durée d'un bit de l'onde PCM et $T = 3T_b$.

- Dans l'hypothèse où les symboles sont non corrélés, déterminez la densité spectrale de puissance du signal PAM-8.
- Calculez la puissance du signal modulé en $[dBW]$ et $[dBm]$.
- Si l'on conserve les probabilités et les niveaux de tension mentionnés dans le tableau, proposez un nouveau tableau en modifiant uniquement la troisième colonne afin de minimiser la puissance du signal. Déterminez la puissance correspondante.
- Sans calcul, discutez l'impact en termes de probabilité d'erreur P_e de la nouvelle répartition des niveaux de tension obtenue au point (c).
- Lorsque le signal arrive au récepteur, celui-ci décode 111101000011110. Déterminez l'allure du signal à la sortie du filtre adapté (par intégration et par convolution) qui a permis de reconstruire la séquence binaire donnée.

Rappel : la densité spectrale de puissance vaut :

$$\gamma_g(f) = \|\Phi(f)\|^2 \frac{1}{T} \left[\sigma_A^2 + \mu_A^2 \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \frac{1}{T} \delta\left(f - \frac{m}{T}\right) \right]$$

3. Afin de pouvoir corriger des erreurs de transmission, on utilise un code linéaire (6,3) dont la table de mots codés est la suivante :

Message			Mots codés					
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	1	0	1	0
0	1	1	0	1	1	0	1	1
1	0	0	0	1	1	1	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	0	1	1	0
1	1	1	0	0	0	1	1	1

TABLE 1 – Table des mots codés

- (a) S'agit-il d'un code systématique ?
- (b) Déterminez la matrice génératrice de ce code.
- (c) Déterminez la matrice H et vérifiez le résultat obtenu.
- (d) Combien d'erreurs ce code peut-il détecter ?
- (e) Combien d'erreurs peut-il corriger ?
- (f) Le récepteur reçoit les mots 011111 et 111101. Quels messages ont été envoyés ?
- (g) Montrez, par un exemple, qu'il n'est pas possible de détecter plus d'erreurs que le nombre que vous avez déterminé au point (e).

4. Un opérateur de télécommunications mobiles par satellites à basse altitude (distance du sol au satellite de $1414 [km]$) prévoit des liaisons mobiles directes avec des terminaux portables à antenne isotrope fonctionnant à la fréquence de $3 [GHz]$. L'antenne à bord d'un satellite est du type parabolique avec un diamètre de $3 [m]$. Pour le dimensionnement, nous considérons la situation défavorable qui considère que le défaut d'alignement d'émission α_E est égal à $\theta_{3dB}/2$. Les pertes dues à l'atmosphère sont estimées à $0,3 [dB]$. Les pertes dans les circuits d'émissions valent $1 [dB]$. Les pertes dans les circuits de réception valent $0,15 [dB]$. Les terminaux ont un seuil de réception (c'est le niveau minimum de puissance minimum requis) de $-120 [dBW]$ pour fonctionner correctement à l'entrée du récepteur.
- Déterminez l'affaiblissement en espace libre.
 - Déterminez l'ouverture à $3 [dB]$, le gain maximum et l'aire effective de l'antenne d'émission si l'efficacité de celle-ci est égale à $0,6$.
 - Déterminez la puissance d'émission minimale d'un satellite.
 - Définissez et déterminez le PIRE.
 - Au sein du récepteur, le rapport signal à bruit minimum nécessaire au bon fonctionnement des circuits électroniques des terminaux est de $10 [dB]$. Déterminez la largeur de bande passante maximale que l'on peut utiliser si la densité spectrale de bruit estimée dans le récepteur et dans la bande de fréquence considérée vaut $N_0/2 = 5 \times 10^{-18} [W/Hz]$.
 - Considérant une largeur de bande de signal modulant de $36 [kHz]$, Déterminez le débit binaire maximum si la modulation utilisée est une modulation d'amplitude numérique classique à deux états.

Rappels :

$$\theta_{3[dB]} = 70 \frac{\lambda}{D} \quad [degré] \quad (21)$$

$$G_{max} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{eff} \quad (22)$$

$$L_{E,R} = 12 \left(\frac{\alpha_{E,R}}{\theta_{3[dB]}} \right)^2 \quad [dB] \quad (23)$$

5. (a) Quels sont les éléments constitutifs de l'architecture d'un réseau GSM ?
- (b) Dans le cadre d'un réseau GSM, à quoi sert le principe de "*Time Advance*" ?
- (c) Pour une transmission de type GSM, fait-on usage d'une modulation d'amplitude ou d'une modulation angulaire ? Argumentez votre réponse.