Notions de base

Transmission
Multiplexage
Commutation

2

Transmission

- Câble Coaxial (bande de base)
- Fibre optique (bande de base)
- Liaison hertzienne (Modulation d'une porteuse)

3

Les propriétés du canal de transmission

- bande passante
  - Les phénomènes vibratoires (acoustiques, électriques, électromagnétiques, optiques...) sont caractérisés par leur paramètres fréquentiels.
  - Dans le cas le plus simple, un phénomène vibratoire peut être représenté par une sinusoïde :
    - $y(t) = A \sin(wt + \varphi)$ avec $w=2\pi f$
      - l'amplitude maximum A
      - la phase φ représentant le décalage par rapport à l'origine. Ce décalage est important pour des problèmes de synchronisation.
      - la fréquence f.

4

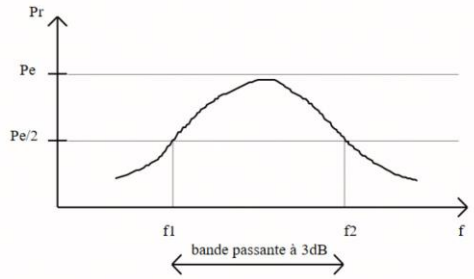
Les propriétés du canal de transmission

- Un support de transmission est imparfait et ne laisse passer que certaines fréquences, il se comporte comme un filtre.
- Il est donc caractérisé par sa bande passante définie comme la bande de fréquences dans laquelle les signaux sont convenablement transmis.
- On définit la bande passante à N décibels par l'intervalle de fréquences dans lequel on a :
  - $10 \log_{10}(Pe / Pr) \leq N$
  - où Pe représente la puissance émise et Pr la puissance reçue.
- Quand on ne précise pas le N décibels, il s'agit de la bande passante à 3 dB
  - qui correspond à la bande de fréquence où la puissance du signal reçu est au moins égale à la moitié de celle du signal émis.

5

Les propriétés du canal de transmission

- Bande passante



- bande passante d'un support -

- Par exemple : le téléphone a une bande passante de 300 à 3400 Hz.

6

Les propriétés du canal de transmission

- Affaiblissement
  - L'affaiblissement qui traduit la perte de puissance d'un signal sur une ligne est une fonction non linéaire de la longueur de la ligne et de la fréquence du signal. Cet affaiblissement est exprimé en dB par la relation :
    - $A=10 \log_{10}(Pe/Pr)$
    - où Pe représente la puissance émise et Pr la puissance reçue.
  - Amplificateurs appelés répéteurs pour régénérer les signaux.

7

les propriétés du canal de transmission

- DEBIT D'UN CANAL DE TRANSMISSION
  - Le débit binaire qui caractérise une liaison est directement fonction de la bande passante du support mais aussi du bruit. On appelle bruit l'ensemble des perturbations qui affectent la voie de transmission, elles proviennent de la qualité de la ligne, d'éléments extérieurs comme les ondes électromagnétiques.
  - Le signal réellement transmis $y(t) = s(t) + b(t)$ où $s(t)$ représente le signal à transmettre et $b(t)$ le bruit dans le canal. On en déduit une caractéristique du canal qui est le rapport signal sur bruit S/B.

8

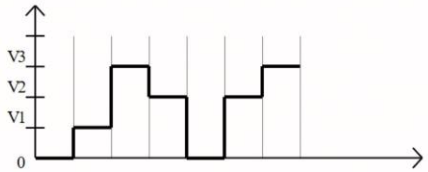
Les propriétés du canal de transmission

- débit d'un canal de transmission
  - Ce rapport représente le rapport puissance du signal sur puissance du bruit exprimé en dB.
    - $S/B\ dB = 10 \log_{10}(Ps/Pb)$
  - Le théorème de Shannon nous donne la capacité maximale d'un canal :
    - $D = W * \log_2(1+Ps/Pb)$
    - où D est exprimé en bit/s, Ps/Pb le rapport puissance signal sur puissance bruit et W la bande passante en Hz.
  - Par exemple une ligne téléphonique de bande passante 3100 Hz ayant un rapport S/B de 10 (càd : puissance signal = 10 * puissance bruit) possède un débit maximum de 10720 bit/s.
  - On notera que ce débit théorique maximum est loin d'être atteint dans la pratique.

9

Propriétés d'un signal numérique

- Le signal doit être modélisé afin d'utiliser un canal adapté.
- les informations sont de natures numériques
- la source d'informations discrètes.
- On appelle valence le nombre n d'états distincts que fournit la source.
  - Par exemple une source binaire fournit 2 états (0 et 1) et possède une valence de 2, on parle de signal bivalent.



un signal tétravalent

10

Propriétés d'un signal numérique

- Comme les systèmes manipulent des données binaires, il faut un certain nombre de bits pour représenter les différents états du signal numérique.
- Le nombre N de bits nécessaires vaut :
  - $N = \log_2(\text{valence})$
  - Un signal ayant 256 états distincts nécessite log2(256) = 8 bits.
- Les sources sont en général régulières de sorte que les états ont tous la même durée T.
- On appelle intervalle significatif cette durée T.
  - temps pendant lequel les caractéristiques du signal à transmettre ne changent pas.

11

Propriétés d'un signal numérique

- On appelle rapidité de modulation l'inverse de l'intervalle significatif.
  - Si T est l'intervalle significatif, exprimé en seconde, la rapidité de modulation vaut 1/T. Elle est exprimée en baud.
  - Une voie de transmission de bande passante B permet une rapidité de modulation maximale de 2*B.(Shannon)
- La quantité d'informations exprimée en bit/s est donnée par :
  - $D=R*\log_2(V)$ où R est la rapidité de modulation et V la valence.
- Ainsi une rapidité de modulation de 1200 bauds d'un signal binaire fournit une quantité d'information de 1200 bits/s

12

Temps de propagation et temps de transmission

- Le temps de propagation Tp est le temps nécessaire à un signal pour parcourir un support d'un point à un autre.
  - Ce temps dépend de la nature du support, de la distance et de la fréquence du signal.
- Le temps de transmission Tt est le délai qui s'écoule entre le début et la fin de la transmission d'un message.
  - Il est égal au rapport entre la longueur du message et le débit sur la ligne.
- Le temps d'acheminement est la somme de ces deux temps.
- Exemple (exercice)
  - Un message de 100 bits transmis à 2400 bits/s sur une paire torsadée d'une longueur de 100 Km avec un temps de propagation de 10 μs/Km. Calculer Tp, Tt et Ta ?
  - Tp= 1 ms et Tt= 42 ms, donc Ta=43 ms

13

Conclusions

- Pour transmettre l'information il faut que :
  - le débit de la source soit inférieur ou égal à celui du canal.
  - le spectre de la source soit inclus dans la bande passante du canal.
- le spectre du signal doit être compris dans la bande passante du support mais un support large bande devant transmettre un signal à spectre étroit est mal utilisé.
- il existe des techniques de modulation qui permettent d'adapter le signal à la bande passante du support.

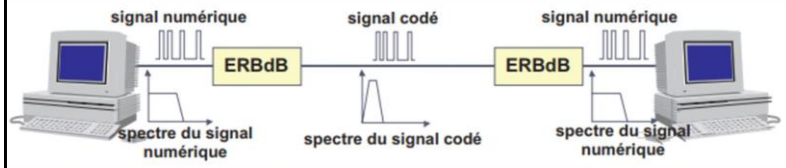
14

Les différents modes de transmission.

- Transmission analogique d'informations analogiques.
  - la parole sur le réseau téléphonique, le son sur les ondes radio....
- Transmission analogique d'informations numériques.
  - le transport de données sur le réseau téléphonique grâce à des modems (minitel).
- Transmission numérique d'informations numériques.
  - la transmission en bande de base utilisée par les réseaux locaux (ethernet) ou le RNIS.
- Transmission numérique d'informations analogiques.
  - Cette transmission nécessite au préalable une transformation du signal analogique en signal numérique puis fait appel à **une transmission en bande de base** (technique MIC modulation par impulsion et codage).

15

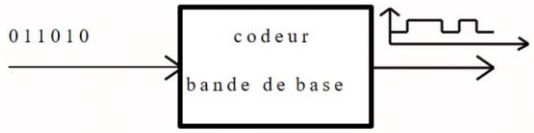
Transmission numérique (en bande de base)



16

Transmission numérique (en bande de base)

- la suite des bits représentant la donnée numérique à transmettre est convertie en changements discrets d'amplitude du signal physique (la tension ou l'intensité lumineuse) par un codeur bande de base bien que .



- Le signal en bande de base ne subit pas de transposition en fréquences, de même que la durée de chaque bit est constante.
- En transmission en bande de base il n'y a qu'une seule information véhiculée à un instant donné.

17

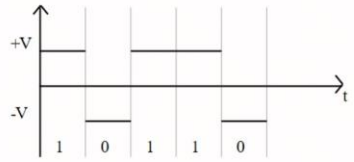
Nécessite d'un codage.

- Le signal numérique possède en général les caractéristiques suivantes :
  - Son spectre est concentré autour de la fréquence nulle, il faut donc utiliser des médiums laissant passer cette fréquence, ce qui n'est pas toujours le cas ;
  - Sa valeur moyenne n'est pas nulle.
- Si le signal possède une longue suite de bits identiques, le récepteur peut commettre une erreur sur le nombre de bits à cause de la précision de T.
- Le processus de codage a pour rôle
  - d'adapter le signal au médium (amplification, translation de tension…)
  - d'introduire des informations supplémentaire (synchronisation de l'horloge de récepteur).

18

Les codages à 2 niveaux

- Le codage NRZ (Non Retour à Zéro)
  - Au niveau logique 0 il fait correspondre une tension -V et au niveau 1 la tension +V.
  - Ce codage est très simple mais comme il a été dit plus haut il peut poser des problèmes de synchronisation à la réception. Application (exercice) : Représenter la séquence 10110 ?

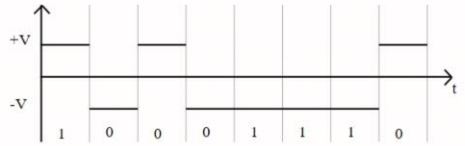


codage NRZ

19

Les codages à 2 niveaux

- Le codage NRZi (Non Retour à Zéro inversé sur les uns)
  - Ce codage a été utilisé très tôt dans les transmissions, il consiste à inverser la représentation du signal pour chaque bit à 0 et à ne pas introduire de transition pour les 1 rencontrés.
  - Application (exercice) : Représenter la séquence 10001110 ?

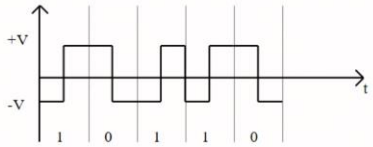


codage NRZI

20

Les codages à 2 niveaux

- Le codage biphasé ou Manchester.
  - assure qu'il y a toujours une transition par élément binaire, au milieu de l'intervalle de temps d'un bit, afin de faciliter la synchronisation du récepteur.
  - fait correspondre un front montant au niveau 1 et un front descendant au niveau 0.
  - Application (exercice) : Représenter la séquence 10110 ?

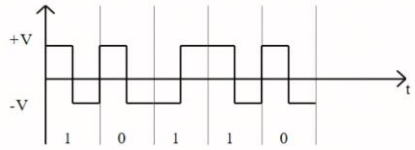


codage Manchester

21

Les codages à 2 niveaux

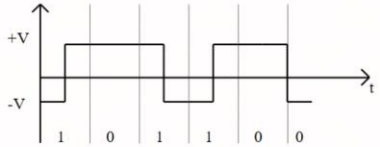
- Le codage Manchester différentiel.
  - Ce codage est une évolution du Manchester, mais au lieu de coder les données en absolu, un bit est codé en fonction du codage du bit précédent. Si le bit à coder est un 0 on recopie le codage du bit précédent, si le bit à coder est un 1 on inverse le codage.
  - Application (exercice) : Représenter la séquence 10110 ?



codage Manchester différentiel

22

- Le codage de Miller.
  - Un bit à 1 est codé par une transition au milieu de l'intervalle du bit. Un bit à 0 est codé par une transition à la fin de l'intervalle si celui-ci est suivi par un autre bit à 0.
  - On montre que le spectre du codage de Miller est plus étroit que celui du codage Manchester. Il est bien adapté aux supports à bande limitée
  - Application (exercice) : Représenter la séquence 101100 ?

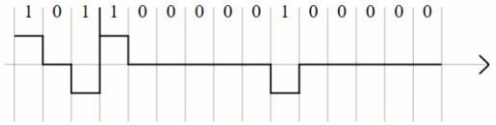


codage de Miller

23

Les codages à 3 niveaux

- Les codages à trois niveaux présentent les mêmes avantages que les codes de Miller.
- Le codage bipolaire simple.
  - Avec ce codage, les bits à 1 sont codés alternativement par +V et -V, tandis que les bits à 0 sont codés par 0v. Bien entendu, lors d'une suite de zéros, il peut y avoir un problème de synchronisation à la réception
    Application (exercice) : Représenter la séquence 101100000100000 ?



codage bipolaire simple

24

LES CODAGES A 3 NIVEAUX

- Les codes HDBN.
  - Les codes HDBN (bipolaires à haute densité d'ordre n) sont des variantes du codage bipolaire simple, afin d'apporter une solution au codage des longues suites de zéros. Le principe consiste à remplacer une suite de n+1 zéros par une suite de remplissage que le récepteur doit repérer et remplacer par les zéros initiaux.

25

Les codages à 3 niveaux

- La séquence commence par un bit B de bourrage qui peut prendre la valeur 0, +v, -v et se termine par un bit V de viol.
  - 1)Le bit V doit provoquer la rupture (le viol) du codage en étant de même polarité que le dernier symbole.
  - 2)Tout au long du codage, les bits V doivent être successivement à +v et à -v pour maintenir la composante continue vers 0 volt.
  - 3)Le bit B peut être mis à 0, +v, -v pour satisfaire 1) et 2)
- Par exemple la séquence de remplacement, du codage HDB3 commence par un bit de bourrage, suivi de 2 bit à 0 et se termine par un bit de viol. La séquence est B00V.

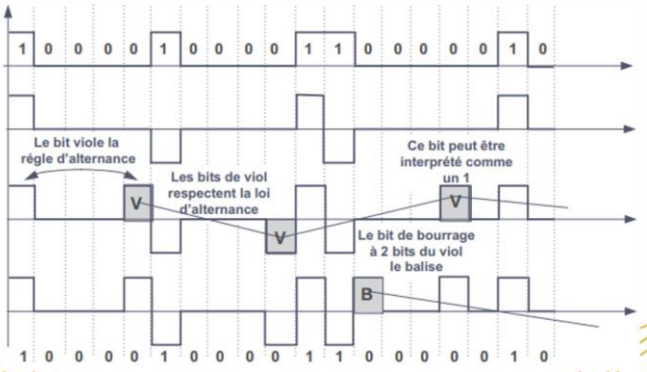
26

Les codes HDBN.

- Par exemple la séquence de remplacement, du codage HDB3 commence par un bit de bourrage, suivi de 2 bit à 0 et se termine par un bit de viol. La séquence est B00V.

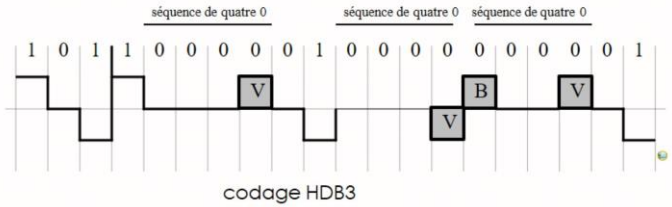
27

- Les codes HDBN.



28

- Les codes HDBN.
  - Application (exercice) : 10110000010000000001



codage HDB3

29

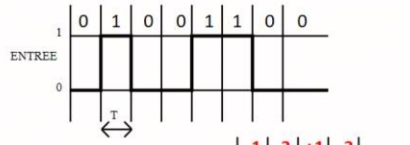
- Codage 2B1Q
  - Ce codage consiste à remplacer un ensemble de 2 bits (dibit) par une amplitude parmi 4 possibles, en fonction du tableau suivant :

DIBIT	Signal
00	-3
01	-1
11	+1
10	+3

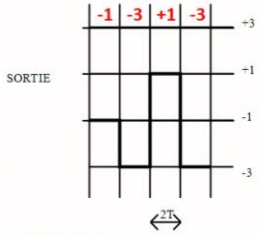
  - Le principal avantage de ce codage consiste à réduire de moitié le nombre de baud, donc de réduire le spectre de fréquence pour un signal d'entrée donné.

30

- Codage 2B1Q (exercice) :



00	-3
01	-1
10	+3
11	+1



codage 2B1Q

31

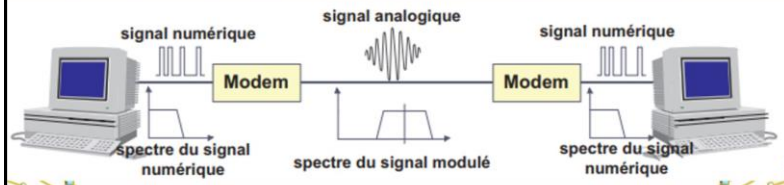
Les critères de choix d'un codage

- Aucune méthode de codage pour une transmission en bande de base n'est à priori parfaite.
- Le type de codage doit être choisi en fonction des paramètres connus du support.
- il n'y a pas de normalisation dans les transmissions en bande de base contrairement à d'autres éléments de transmission.
- Comme les supports de transmission coupent brutalement les fréquences au voisinage de la fréquence nulle. Le codage le plus mal adapté est le NRZ.
- Le codage bi-phase a un spectre particulièrement large et ne peut être envisagé que sur des supports à large bande passante.
- La sensibilité aux bruits est liée à la valence du signal, de ce fait les codes bipolaires (de valence 3) sont plus sensibles aux erreurs que les codages à 2 niveaux.

32

Transmission analogique et en large bande.

- On appelle transmission analogique ou transmission par modulation d'une porteuse, le procédé qui consiste à transformer le message en un signal analogique adapté au support.
- Il y a transposition du signal dans un domaine de fréquences adapté au support.

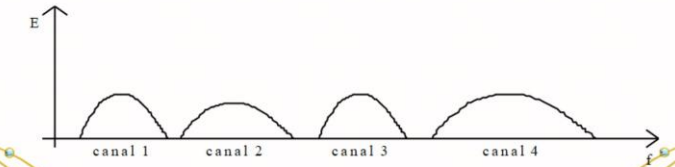


Voir : 5.3 LA TRANSMISSION EN LARGE BANDE
Réseaux et télécoms Livre page 78

33

Transmission analogique et en large bande.

- La modulation d'un signal offre le plus souvent une meilleure protection contre le bruit.
- Si le support est à large bande (avec une bande passante nettement supérieure à la largeur de bande du signal modulé), il est possible de transmettre simultanément plusieurs messages indépendants dans des bandes de fréquences juxtaposées pour rentabiliser l'utilisation du médium.
  - Il y a alors plusieurs canaux de transmission.



spectre en transmission large bande

34

- La modulation utilise une onde sinusoïdale de référence appelée porteuse, dont la fréquence est très nettement supérieure au signal modulant représentant le message à transmettre.
- Trois techniques de modulation suivant le paramètre de la porteuse qui est modulé.
  - Modulation d'amplitude
  - Modulation de fréquence
  - Modulation de phase
- L'opération de modulation à l'émission et de démodulation à la réception est réalisée par un Modem (Modulateur-Demodulateur).

35

Modulation numérique

Transmission numérique

- Avantages techniques
  - Immunité au bruit
  - Optimalisation de la bande passante
  - Facilité de traitement de l'information
- Optimisation des coûts
  - Séparation d'une application en sous-ensembles
  - Utilisation de composants à grande tolérance

Signaux analogiques et numériques

- Signal analogique
  - Analogue à une grandeur physique (pression sonore, tension, intensité lumineuse, …)
  - Continu dans le temps
  - Infinité de valeurs
- Signal numérique
  - Représenté par une suite de chiffres
    - Système binaire: 0 et 1
  - Discret dans le temps (échantillonnage)
  - Valeurs discrètes (quantification)

38

Fonction δ de Dirac

- Définition

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 \text{ si } t \neq 0 \\ \infty \text{ si } t = 0 \end{cases} \qquad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)\,dt = 1$$

- Propriété

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\delta(t-a)\,dt \overset{not}{=} f(t) \otimes \delta(t-a) = f(a)$$

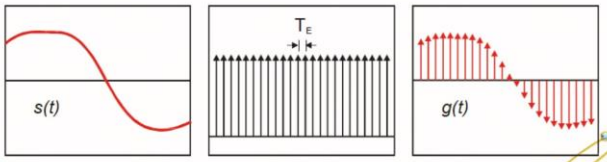
Produit de convolution

39

Signal échantillonné

- $g(t) = \sum_{n=0}^{N-1} f(t)\delta(t - nT_E)$

$$g(t) = \begin{cases} f(t) \text{ en } t = nT_E \\ 0 \text{ entre 2 échantillons} \end{cases}$$



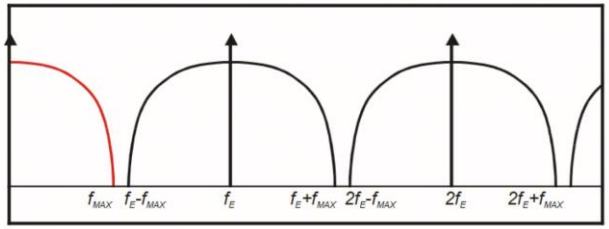
40

Spectre du signal échantillonné

- Principe
  - TF du produit de 2 fonctions =
    Produit de convolution des TF des 2 fonctions
- Transformées de Fourier
  - Du train d'impulsions d'intervalle T_E
    → Train d'impulsions d'intervalle $f_E = 1/T_E$
  - Du signal $f(t)$
    → Spectre du signal $s(f)$

41

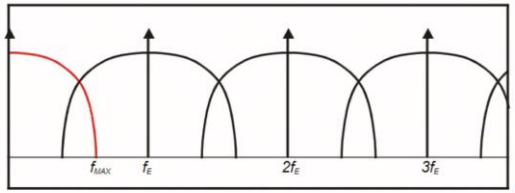
Spectre du signal échantillonné (2)



42

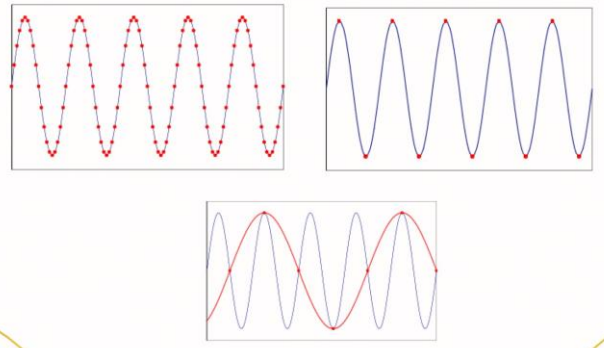
Théorème de Shannon

- Fréquence minimale d'échantillonnage
  $f_E \geq 2\, f_{MAX}$
  (fréquence de Nyquist)
- Repliement spectral *(Aliasing)*



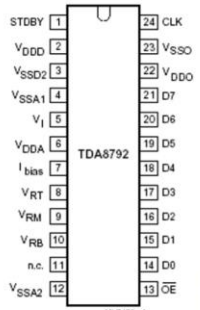
43

Sur- et sous-échantillonnage



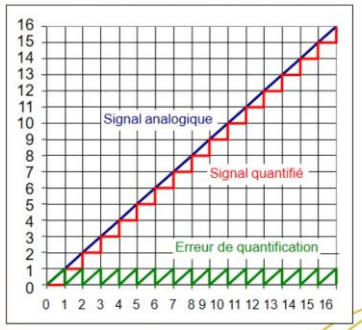
Quantification

- Convertisseur Analogique/Numérique
  - Nombre de bits: *n*
  - Niveaux de sortie: 2^N
- Sortie
  - Parallèle
  - Série
- TDA 8792
  - 8 bits parallèle
  - 25 MHz



Erreur de quantification

- Différence entre
  - Signal analogique
  - Signal numérique
- Bruit de quantification
  - Rapport S/N
  - dB



46

Signal numérique

- Signal numérique

$$m(t) = \begin{cases} 1: \text{si le bit vaut 1} \\ -1: \text{si le bit vaut 0} \end{cases}$$

$$f_B = \frac{1}{T_B} \quad (bits/sec, \text{ ou bps})$$

- Spectre

Encombrement spectral $\approx f_B$

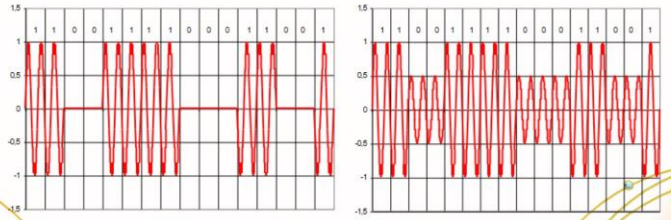
47

Modulation d'amplitude

- Signal modulé

$$s(t) = P\left[1 + km(t)\right]\sin(\omega_p t)$$

- 2 types
  - k < 1: Amplitude Shift Keying (ASK)
  - k = 1: On-Off Keying (OOK)

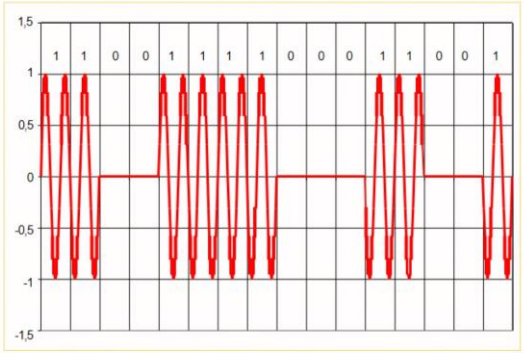


zoom zoom

48

Modulation d'amplitude

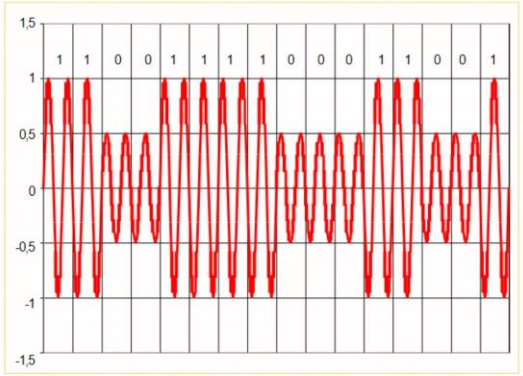
- k < 1: Amplitude Shift Keying (ASK)



49

Modulation d'amplitude

- k = 1: On-Off Keying (OOK)



50

Modulation d'amplitude (2)

- Spectre du signal numérique
  - Dépend de
    - la probabilité de 0 et de 1
    - signal unipolaire ou bipolaire
    - ...
  - Estimation: fMAX ≈ fB (= 1/TB)
- Largeur du signal modulé
  - 2 fB
- Modulation sur plusieurs niveaux
  - ASK-k

51

Modulation de fréquence

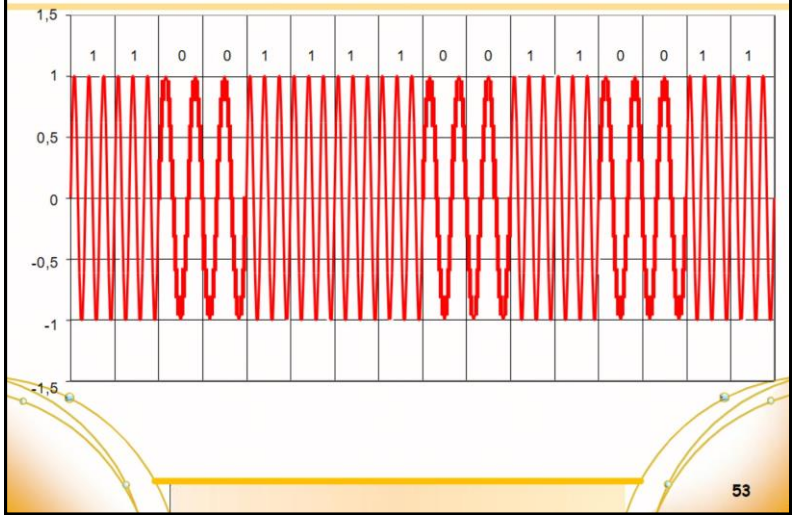
- Frequency Shift Keying (FSK)

$$s(t) = P\sin[2\pi(f_0 + m(t)\Delta f)t$$

  - Df = Excursion en fréquence
- Largeur spectrale
  - 2 fB + 2 Df
- Modulation sur plusieurs niveaux
  - FSK-k

52

Signal modulé en fréquence



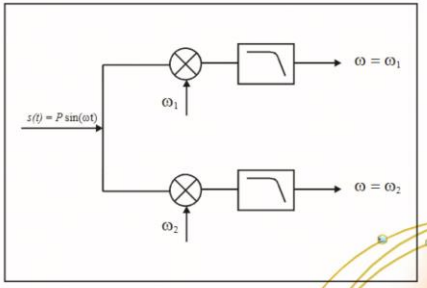
53

Démodulation FSK

- Démodulation par filtres passe-bande
  - 1 filtre par fréquence
  - 1 détecteur d'enveloppe
- Démodulation par multiplicateurs

$$s(t) = P\sin(\omega t)$$

$$\begin{cases} P\sin(\omega_1 t) \\ P\sin(\omega_2 t) \end{cases}$$



54

Démodulation FSK (2)

- Sortie des multiplicateurs

$$P\sin(\omega t)\sin(\omega_1 t) = P\left[\cos(\omega t - \omega_1 t) + \cos(\omega t + \omega_1 t)\right]$$

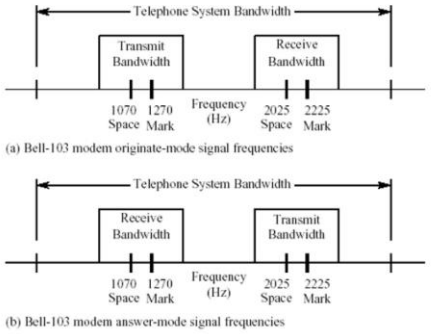
$$P\sin(\omega t)\sin(\omega_2 t) = P\left[\cos(\omega t - \omega_2 t) + \cos(\omega t + \omega_1 t)\right]$$

- Filtrage passe-bas
  - Composante non-nulle si cos = 1
    - w = w1 ou
    - w = w2

55

Modulation FSK: application

- Modem 300 bps
  - 2 fréquences d'émission
  - 2 fréquences de réception



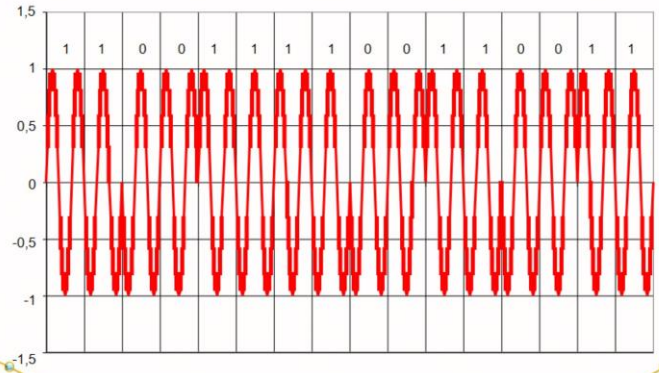
Modulation de phase

- Phase Shift Keying (PSK)

$$s(t) = P\sin\left(\omega_0 t + n(t)\frac{2\pi}{k}\right) \qquad n(t) = 0, 1, \ldots k-1$$

  - Modulation à k niveaux: PSK-k
- PSK-2 (BPSK)
  - Changement de phase: p
  - Multiplication de la porteuse par +1 ou -1

Signal modulé BPSK



58

Démodulation BPSK

- Signal modulé

$$s(t)=\begin{cases} P\sin(\omega_0 t) & m=1 \\ -P\sin(\omega_0 t) & m=-1 \end{cases}$$

- Multiplication par fréquence w_0

$$p'(t)=P'\sin(\omega_0 t)$$

$$PP'\sin^2(\omega_0 t)=\pm\frac{PP'}{2}(1-\cos 2\omega_0)$$

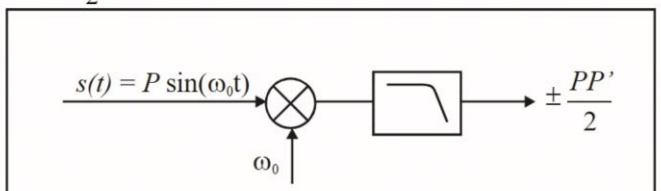
59

Démodulation BPSK (2)

- Filtrage passe-bas

$\frac{PP'}{2}$ pour $m = +1$

$-\frac{PP'}{2}$ pour $m = -1$

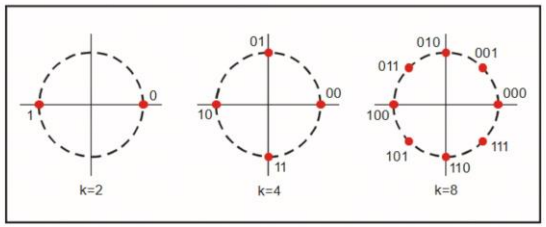


Modulation PSK-4

- Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)
  - Changements de phase: $0, \frac{\pi}{2}, \pi,$ ou $\frac{3\pi}{2}$
  - Ou $\frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4},$ et $\frac{7\pi}{4}$
- Regroupement des bits
  - 2bits par symbole
  - fS = fB / 2

Diagrammes de constellation

- Amplitude et phase
  - Amplitude: distance
  - Phase: angle
- Représentation graphique de l'alphabet



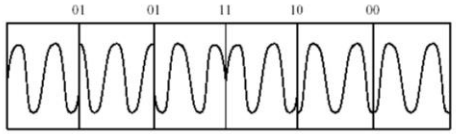
62

Differential Phase Shift Keying

- Problème de référence de phase

Dibit Table

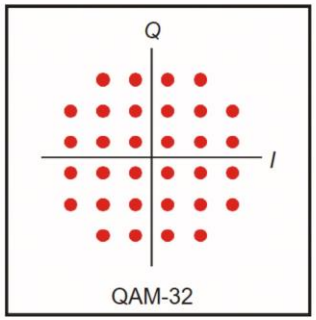
To encode	requires a shift of
00	0°
01	90°
11	180°
10	270°



63

Combinaison de modulations

- Combiner
  - Modulation de phase
  - Modulation d'amplitude
- Exemple: QAM-32
  - Symboles: 5 bits
  - 32 points dans la constellation



QAM-32

64

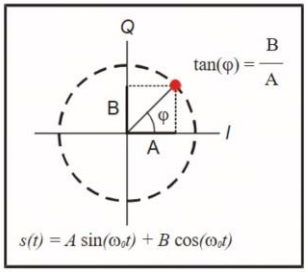
Quadrature Amplitude Modulation

- Chaque point généré par

$$s(t) = A\sin(\omega_0 t) + B\cos(\omega_0 t)$$

  - Composante A: en phase (notée I)
  - Composante B: en quadrature (notée Q)
- Amplitude

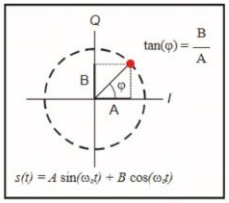
$$S = \sqrt{A^2 + B^2}$$



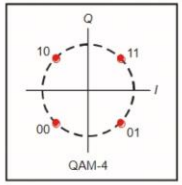
65

Diagrammes I/Q

- Cas particuliers
  - Modulation d'amplitude
    - tous les points sur axe I
  - Modulation de phase pure
    - tous les points sur un cercle

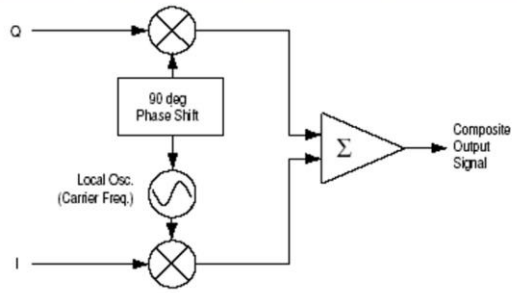


- QAM-4
  - = QPSK



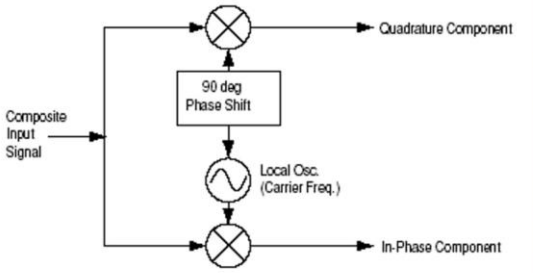
66

Modulateur QAM



67

Démodulateur QAM



68