

1. Soit la modulation linéaire classique qui, à partir de la séquence binaire donnée ci-dessous (voir bas de la figure 1), génère un signal modulé dont les composantes en phase et en quadrature de phase sont données à la figure 1.

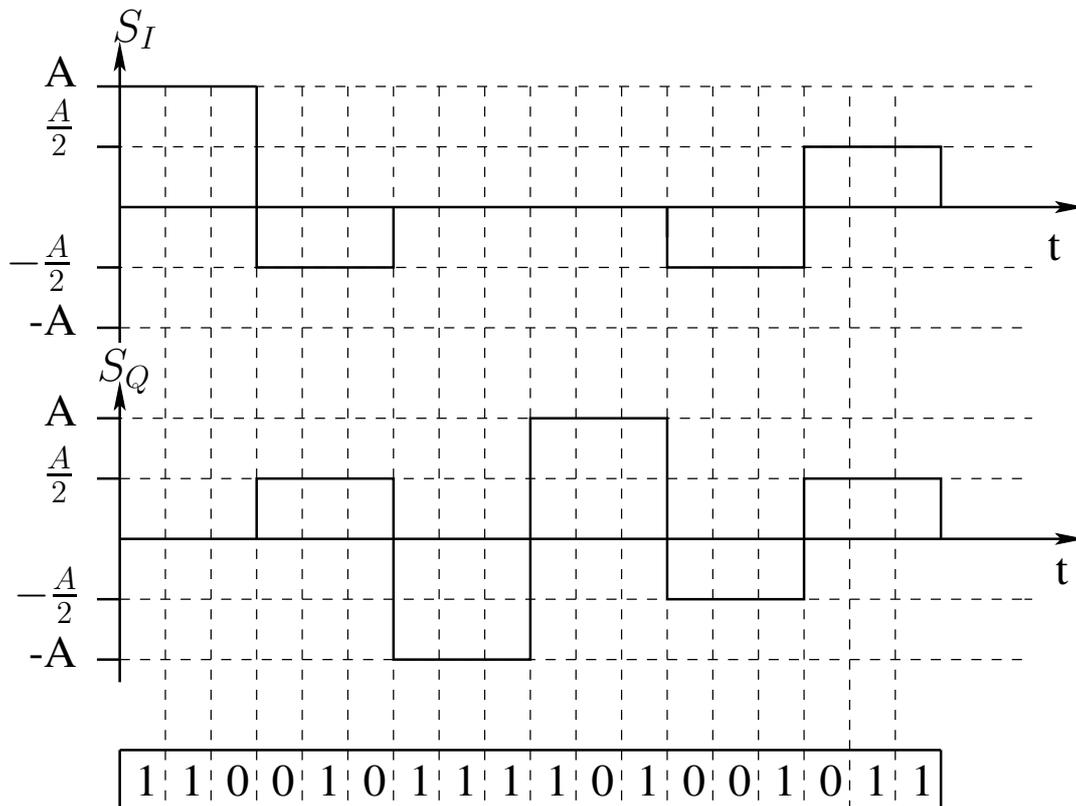
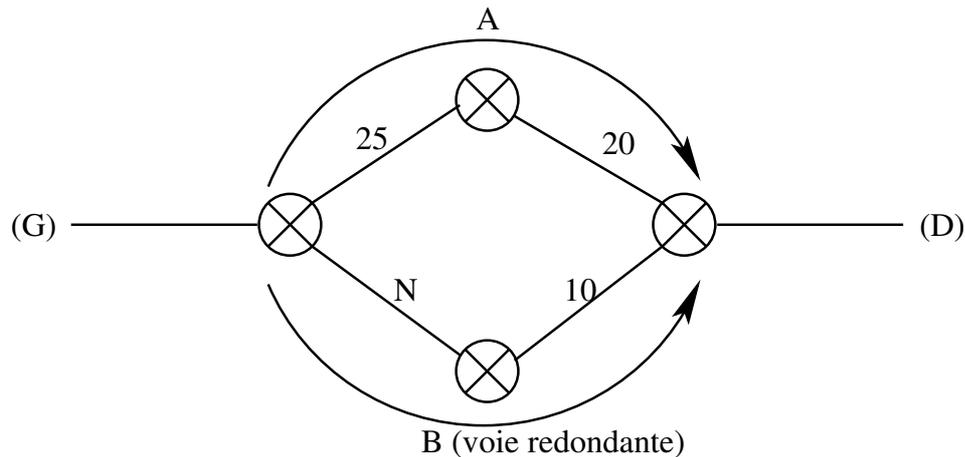


FIG. 1 – Composantes en phase et en quadrature de phase du signal modulé.

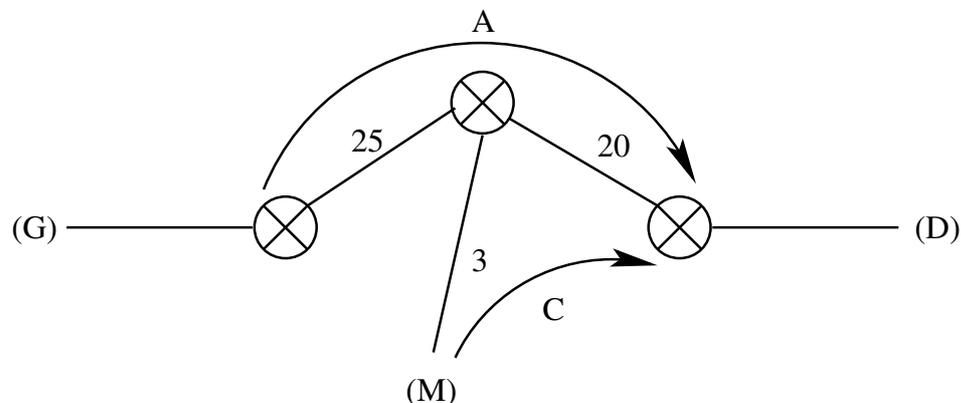
- Représentez graphiquement l'amplitude et la phase de l'enveloppe complexe du signal modulé.
- En tenant compte du fait que les symboles dont le bit le plus à gauche est 0 sont deux fois plus probables que ceux dont le bit le plus à gauche est 1, imaginez un diagramme de constellation qui minimise la puissance utilisée et dessinez ce diagramme. Justifiez votre choix.
- Dans les mêmes hypothèses qu'au point (b), donnez la densité spectrale de puissance du signal modulé.
- Sans faire de calcul, proposez une alternative au diagramme de constellation déterminé au point (b) qui minimise le taux d'erreur sur bit  $P_e$ , au lieu de minimiser la puissance consommée. Commentez votre réponse.

2. Pour augmenter la fiabilité d'un réseau, il est courant de dédoubler les trajets possibles ; cette technique porte le nom de *redondance*. Ainsi, la figure suivante montre la configuration d'un réseau assurant que, entre les extrémités de gauche (G) et de droite (D), il y ait toujours 2 voies d'acheminement des communications (les nombres indiqués et  $N$  désignent le nombre de circuits disponibles sur chaque ligne reliant les commutateurs des centraux).



Sur base d'une période d'observation d'une demi-heure, le nombre moyen d'appels entre les points (G) et (D) est égal à 120, pour une durée moyenne d'appel de 3 minutes. Ces hypothèses sont valables pour l'ensemble de la question.

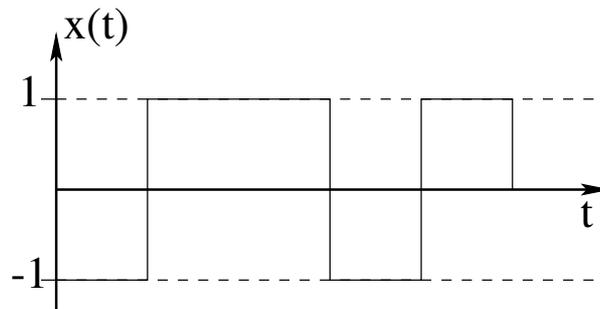
- (a) On s'intéresse tout d'abord au dimensionnement de la voie redondante. Afin de dimensionner un nouveau central téléphonique, il faut connaître la situation courante et ajouter ensuite un nombre de circuits adéquats.
- i. Calculez la probabilité qu'il y ait 10 tentatives d'appel entre les points (G) et (D) sur un laps de temps de 5 minutes.
  - ii. Que vaut la probabilité de blocage du lien en l'absence de la voie redondante ?
  - iii. Que doit valoir  $N$  pour garantir une probabilité de blocage inférieure à 0,001 ?
- (b) Considérons à présent une autre configuration, telle que représentée ci-dessous.



Cette configuration comprend un chemin horizontal A reliant trois commutateurs. On ajoute une ligne avec 3 circuits permettant des communications entre les points (M) et (D).

- i. Sur base d'une période d'observation de 15 minutes, le nombre moyen d'appels entre les points (M) et (D) est égal à 6, pour une durée moyenne d'appel de 3 minutes, déterminez la probabilité de blocage sur la partie commune aux voies A et C.
- ii. Que vaut la probabilité de blocage pour les appels du trajet A lorsque tous les appels de la voie A sont prioritaires ?
- iii. Que vaut la probabilité de blocage pour les appels du trajet A lorsque tous les appels de la voie C sont prioritaires ? Extrapoler linéairement les valeurs des tables pour obtenir les valeurs de probabilité hors table.

3. Soit la suite de bit 0 1 1 0 1. Pour moduler ce signal en bande de base (modulation NRZ), on utilise une impulsion de mise en forme rectangulaire de longueur  $T_b$  et d'amplitude unitaire. La tension vaut respectivement 1 [V] pour un 1 et  $-1$  [V] pour un 0. Le signal  $x(t)$  résultant prend donc la forme de la figure 2 et le message est transmis à une vitesse de 75 [b/s].

FIG. 2 – Signal  $x(t)$ .

On décide alors d'utiliser une technique d'étalement de spectre dont le signal  $g(t)$  d'étalement est créé à partir d'un registre à décalage de 4 bits dont la séquence initiale est 1 1 1 1. La fréquence d'horloge de ce circuit est de 1125 [Hz].

- Déterminez le schéma permettant de construire le registre à décalage de longueur maximale.
- Dessinez le signal étalé pour les deux premiers bits de  $x(t)$ .
- Déterminez le gain d'étalement en [dB].
- Si on utilise par la suite une modulation BPSK et que le rapport l'énergie d'un bit et la puissance du bruit vaut 5 [dB], déterminez le nombre maximum d'utilisateurs.
- Déterminez la bande passante du signal étalé.

4. Dans le cas d'un accès HDSL pour la fourniture d'un accès E1 (2048 [kb/s]), 3 paires torsadées sont nécessaires entre les deux modems, chaque paire véhiculant exactement la même quantité d'information. Néanmoins, pour des raisons de réduction du taux d'erreur, on ajoute 304 [kb/s] de bits redondants au total. Cela s'explique notamment par le fait qu'en HDSL, les signaux aller et retour circulent dans la même bande.

Les modems HDSL produisent un code en ligne 2B1Q, c'est-à-dire qu'à 2 bits successifs correspond un niveau de tension parmi les 4 niveaux de tension suivants :  $-3V_1$ ,  $-V_1$ ,  $V_1$ ,  $3V_1$ . De plus, la forme d'onde est rectangulaire, comme dans le cas du NRZ.

On désire analyser les interférences entre signaux dans un câble.

- (a) Comment faut-il adapter une ligne de transmission pour optimiser son utilisation ?
- (b) Pour une tension maximale valant effectivement  $3V_1 = 6 [V]$  sur la ligne, déterminez la densité spectrale de puissance réelle du signal HDSL telle que produite à la sortie du modem.  
Il faut donc établir l'expression de  $\gamma_{HDSL}(f)$  en tenant compte des hypothèses habituelles relatives à l'adaptation d'une ligne de transmission d'impédance caractéristique  $Z_c$ .
- (c) Calculez la largeur de bande de  $\gamma_{HDSL}(f)$ .
- (d) Sachant qu'une version courante de l'ADSL utilise la bande [20 kHz, 140 kHz] pour la voie montante et la bande [150 kHz, 1100 kHz] pour la voie descendante, discutez la comptabilité des spectres des signaux HDSL et ADSL au sein d'un même câble.
- (e) Donnez une borne inférieure de la **puissance** NEXT relevée sur une paire d'un câble alimenté par une liaison HDSL ?

Rappel : la densité spectrale d'un signal NRZ de moyenne nulle vaut

$$\gamma_g(f) = T\sigma_A^2 \left( \frac{\sin(\pi fT)}{\pi fT} \right)^2 \quad (1)$$