

CONTROLE ECRIT
SYSTEMES DE TRANSMISSION
(version revue par Eric LEE)

Durée : 2 heures

Documents et calculatrices autorisés

Ce contrôle est destiné à mesurer le degré de compréhension et d'assimilation de cet enseignement. Il s'appuie sur des questions posées sous forme de petits problèmes.

Les 4 problèmes sont indépendants. Pour vous aider, elles sont accompagnées d'une estimation de difficulté (niveau 1 à niveau 3). VOUS POUVEZ FAIRE LE CHOIX ENTRE LES PROBLEMES 3 ET 4.

Il n'y a jamais de longs développements de calculs. Apportez des réponses rédigées, courtes mais claires.

Bon courage !

1. Principes directeurs pour la transmission hertzienne (niveau 1)

Lors de la conception d'un système de transmission hertzienne, on avance trois principes directeurs :

- la coexistence de plusieurs transmissions simultanées ;
- l'indépendance entre ces différentes transmissions ;
- la sélection, à la réception, d'une seule des transmissions parmi les autres.

Expliquez, avec vos propres mots, pourquoi ces principes ont conduit à deux systèmes majeurs de transmission :

- 1.1 : les modulations sur porteur sinusoïdal (et pas une autre fonction)
- 1.2 : le multiplexage fréquentiel

Pour chacun de ces deux systèmes, vous expliquerez les choix réalisés et les dispositifs mis en œuvre pour satisfaire à chacun des principes directeurs. Vous pourrez aussi, bien sûr, exprimer les similitudes (s'il y a lieu) entre ces deux systèmes pour ne pas répéter les mêmes choses ...

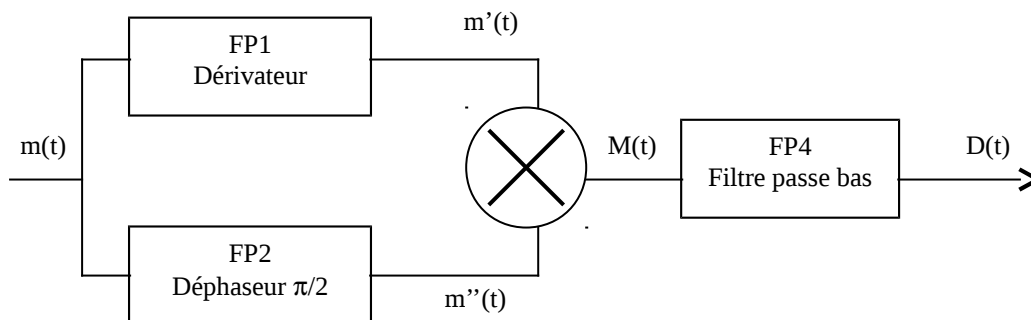
Nota : il est attendu une rédaction transcrivant votre appropriation du sujet et non une recopie du photocopié ...

2. Démodulateur de fréquence : méthode du déphaseur (niveau 3)

On peut réaliser un démodulateur de fréquence en combinant les deux opérations suivantes :

- une conversion fréquence – déphasage
- une démodulation de phase

Le schéma bloc de la chaîne de traitement correspondant est le suivant :



FP1 est un filtre passe bande du second ordre (de type RLC par exemple) et qui au voisinage de f_0 permet de réaliser la dérivation du signal d'entrée $m(t)$ par rapport au temps sans affecter l'amplitude de $m(t)$. On obtient en $m'(t)$ la dérivée de $m(t)$.

FP2 est un déphaseur qui permet d'ajouter à $m''(t)$ une phase de $-\frac{\pi}{2}$.

FP3 est un multiplieur analogique tel que $M(t) = \lambda \cdot m''(t) \cdot m'(t)$ avec $\lambda=1$

FP4 est un filtre passe bas du second ordre de fréquence de coupure f_c .

2.1 Ecrire l'expression d'une fonction $m(t)$ modulée en fréquence par un signal $s(t)$. On notera « A » l'amplitude de cette fonction, « f_0 » sa fréquence centrale, on considèrera que la phase à l'origine est nulle et on écrira cette fonction « en cosinus ».

2.2 Déterminer l'expression de $m'(t)$.

2.3 Montrer que $M(t)$ peut s'écrire sous la forme : $M(t) = K \cdot B(t) \cdot \sin [C(t)]$ où $K \in \mathbb{R}$? $B(t)$ et $C(t)$ sont des fonctions du temps à déterminer.

2.4 Soit F_m la fréquence maximale du message $s(t)$. Déterminer un encadrement de f_c permettant de récupérer uniquement le message en $D(t)$.

2.5 Dédurre de la question précédente l'expression de $D(t)$ et montrer que : $D(t) = D_0 + d(t)$ où D_0 est une constante et $d(t)$ une fonction du temps.

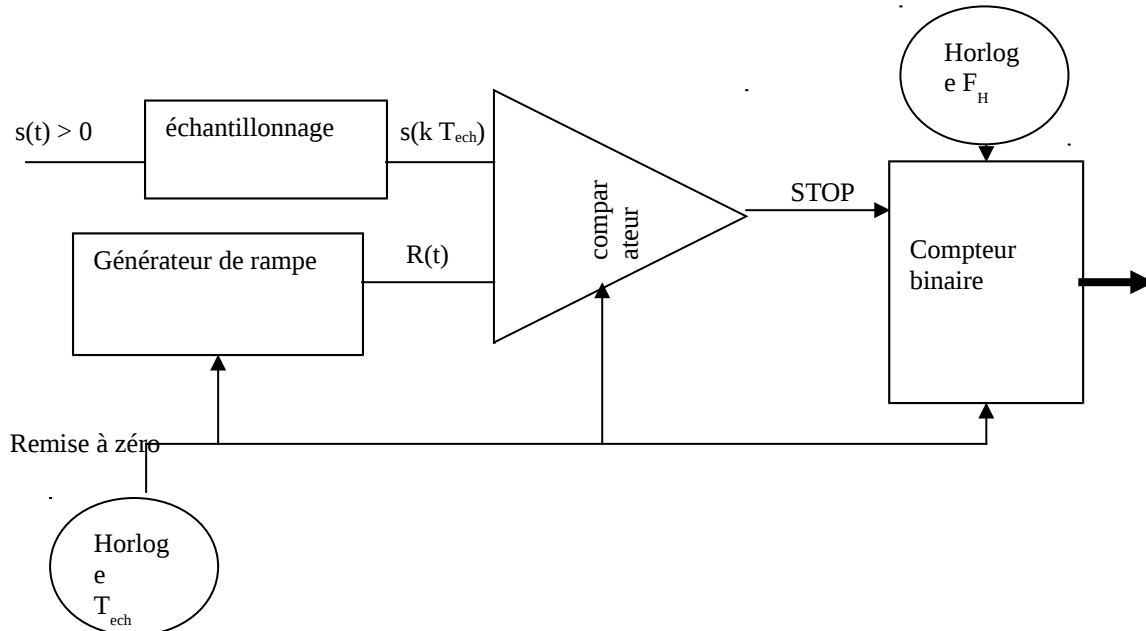
3. Convertisseur analogique numérique CAN « à simple rampe » (niveau 2) AU CHOIX (traiter 3 ou 4)

On considère une fonction analogique à valeurs strictement positives, mais inférieures à $A_{\max}$. On opère d'abord à un échantillonnage de période T_{ech} . La valeur échantillonnée sera ensuite maintenue constante durant tout le temps T_{ech} (donc jusqu'à l'échantillon suivant).

On souhaite à présent réaliser un convertisseur analogique – numérique en utilisant les éléments suivants :

- un générateur de rampe (tension proportionnelle au temps), remise à zéro à chaque nouvel échantillon
- un comparateur de tensions, mis à « zéro » (logique) à chaque nouvel échantillon et qui donnera la valeur « un » (logique) quand les deux tensions seront égales
- un compteur binaire, mis à zéro à chaque nouvel échantillon et qui s'incrémente en suivant une horloge logique interne de fréquence F_H et dont on peut stopper l'incrémentation par une commande logique que l'on notera « STOP ».

Le schéma bloc d'un tel CAN est donné ci-dessous :



a. $s(t) < R(t)$. Décrire le fonctionnement du système notamment au niveau du compteur.

b. $s(t)$ est maintenant égale à $R(t)$. Décrire le fonctionnement du système notamment au niveau du compteur.

3.3 Donner une relation (ou condition) entre T_{ech} et F_H de manière à assurer un « bon fonctionnement » de ce convertisseur, puis exprimer l'avantage à choisir F_H « grande ».

3.4 Exprimer la valeur de l'intervalle de quantification q en fonction de $A_{\max}$, T_{ech} , F_H .

4. Méthode du « changement de fréquence » (niveau 2) AU CHOIX (traiter 3 ou 4)

L'émission et la réception « directe » d'un signal quelconque modulé sur un porteur de fréquence quelconque est en général impossible. La méthode du « changement de fréquence » permet de palier cette impossibilité (*cf chapitre 6.2 et plus précisément 6.2.4 et suivants du polycopié et cours oral*).

Cette méthode entraîne l'apparition d'une « fréquence image » f' adjointe à chaque fréquence f émise ou reçue. Cette méthode nécessite l'emploi d'un « oscillateur local » de fréquence notée f_{OL} et définit une nouvelle fréquence « intermédiaire » notée f_i .

a. Rappeler et justifier succinctement l'expression de cette fréquence f' en fonction de la fréquence f .

4.2 Prenons le cas d'un récepteur opérant dans une gamme de fréquences f comprises entre f_{min} et f_{max} : c'est le cas d'un récepteur « radio » qui est capable de recevoir un certain nombre de « stations » appartenant à une « gamme ». On notera G cette gamme :

$$G = f_{max} - f_{min}.$$

Donner une condition sur G afin que la réception soit possible. (*ceci a été traité en cours !*)

4.3 Si cette condition n'est pas satisfaite, qu'arrivera-t-il ?

F I N

CONTROLE ECRIT
SYSTEMES DE TRANSMISSION

Durée : 2 heures

Documents et calculatrices autorisés

Ce contrôle est destiné à mesurer le degré de compréhension et d'assimilation de cet enseignement. Il s'appuie sur des questions posées sous forme de petits problèmes.

Les 4 problèmes sont indépendants. Pour vous aider, elles sont accompagnées d'une estimation de difficulté (niveau 1 à niveau 3). VOUS POUVEZ FAIRE LE CHOIX ENTRE LES PROBLEMES 3 ET 4.

Il n'y a jamais de longs développements de calculs. Apportez des réponses rédigées, courtes mais claires.

Bon courage !

5. Principes directeurs pour la transmission hertzienne (niveau 1)

Lors de la conception d'un système de transmission hertzienne, on avance trois principes directeurs :

- la coexistence de plusieurs transmissions simultanées ;
- l'indépendance entre ces différentes transmissions ;
- la sélection, à la réception, d'une seule des transmissions parmi les autres.

Expliquez, avec vos propres mots, pourquoi ces principes ont conduit à deux systèmes majeurs de transmission :

- 1.1 : les modulations sur porteur sinusoïdal (et pas une autre fonction)
- 1.2 : le multiplexage fréquentiel

Pour chacun de ces deux systèmes, vous expliquerez les choix réalisés et les dispositifs mis en œuvre pour satisfaire à chacun des principes directeurs. Vous pourrez aussi, bien sûr, exprimer les similitudes (s'il y a lieu) entre ces deux systèmes pour ne pas répéter les mêmes choses ...

Nota : il est attendu une rédaction transcrivant votre appropriation du sujet et non une recopie du polycopié ...

6. Démodulateur de fréquence : méthode du déphaseur (niveau 3)

On peut réaliser un démodulateur de fréquence en combinant les deux opérations suivantes :

- une conversion fréquence – déphasage
- une démodulation de phase

2.1 Ecrire l'expression d'une fonction **m(t)** modulée en fréquence par un signal **s(t)**. On notera « **A** » l'amplitude de cette fonction, « **f₀** » sa fréquence centrale, on considèrera que la phase à l'origine est nulle et on écrira cette fonction « en cosinus ».

2.2 On considère d'abord un filtre passe-bande du second ordre (de type RLC par exemple) de fréquence centrale égale à **f₀**. Un tel filtre, au voisinage de cette fréquence **f₀**, provoque une atténuation en amplitude quasi-nulle (amplitude de sortie = amplitude d'entrée) et provoque un déphasage entrée – sortie **φ** sensiblement proportionnel à l'écart de fréquence $(f - f_0)$: $\phi \approx \alpha (f - f_0)$

Justifier ces affirmations de manière graphique (fonction de transfert en module et en phase)

On pourra aussi écrire la fonction de transfert simplifiée d'un tel filtre.

$$H(j\omega) = j\omega / ((\omega^2 - \omega_0^2) + j\omega)$$

et étudier les variations du module et de la phase au voisinage de $\omega_0 = 2\pi f_0$. (ne pas passer trop de temps)

2.3 Ecrire l'expression de la fonction **m'(t)** issue de la fonction **m(t)** après passage dans le filtre passe-bande décrit en 2.2, en se situant toujours au voisinage de **f₀**. On pourra admettre les résultats de 2.2.

2.4 Ecrire l'expression de la fonction **m''(t)** issue de la fonction **m(t)** après passage dans un déphaseur pur de valeur $\theta = -\pi/2$.

2.5 Ecrire l'expression du produit des deux fonctions précédentes :

$$\mathbf{M(t) = m'(t) \cdot m''(t)}$$

On utilisera pour cela la relation trigonométrique suivante :

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

2.6 On fait suivre $M(t)$ d'un filtre passe-bas dont on précisera le choix de la fréquence de coupure (pour répondre à cette question, il faudra bien sûr avoir compris le principe de la démarche !). On appellera $D(t)$ la fonction en sortie de ce filtre.

2.7 En se plaçant toujours au voisinage de f_0 , montrer qu'un développement limité à l'ordre 1 permet de retrouver, à un coefficient près, le signal démodulé $s(t)$ en sortie du filtre passe bas défini en 2.6, donc à partir des la fonction $D(t)$.

On utilisera le fait que : $\sin(x) \approx x$ au voisinage de $x = 0$.

On utilisera aussi la définition de la modulation de fréquence (et pas seulement l'expression de la fonction modulée ...)

2.8 Dessiner le schéma bloc complet de ce dispositif.

7. Convertisseur analogique numérique « à simple rampe » (niveau 2) AU CHOIX (traiter 3 ou 4)

On considère une fonction analogique à valeurs strictement positives, mais inférieures à $A_{\max}$. On opère d'abord à un échantillonnage de période T_{ech} . La valeur échantillonnée sera ensuite maintenue constante durant tout le temps T_{ech} (donc jusqu'à l'échantillon suivant).

On souhaite à présent réaliser un convertisseur analogique – numérique en utilisant les éléments suivants :

- un générateur de rampe (tension proportionnelle au temps), remise à zéro à chaque nouvel échantillon
- un comparateur de tensions, mis à « zéro » (logique) à chaque nouvel échantillon et qui donnera la valeur « un » (logique) quand les deux tensions seront égales
- un compteur binaire, mis à zéro à chaque nouvel échantillon et qui s'incrémente en suivant une horloge logique interne de fréquence F_H et dont on peut stopper l'incrémentation par une commande logique que l'on notera « STOP ».

3.1 Imaginer et représenter le schéma de principe d'un tel convertisseur (qui se nomme « convertisseur à simple rampe »)

3.2 Donner une relation (ou condition) entre T_{ech} et F_H de manière à assurer un « bon fonctionnement » de ce convertisseur, puis exprimer l'avantage à choisir F_H « grande ».

3.3 Exprimer la valeur de l'intervalle de quantification q en fonction de $A_{\max}$, T_{ech} , F_H .

8. Méthode du « changement de fréquence » (niveau 2) AU CHOIX (traiter 3 ou 4)

L'émission et la réception « directe » d'un signal quelconque modulé sur un porteur de fréquence quelconque est en général impossible. La méthode du « changement de fréquence » permet de palier cette impossibilité (cf chapitre 6.2 et plus précisément 6.2.4 et suivants du photocopié et cours oral).

Cette méthode entraîne l'apparition d'une « fréquence image » f' adjointe à chaque fréquence f émise ou reçue.

Cette méthode nécessite l'emploi d'un « oscillateur local » de fréquence notée f_{OL} et définit une nouvelle fréquence « intermédiaire » notée f_i .

- a. Rappeler et justifier succinctement l'expression de cette fréquence f' en fonction de la fréquence f .

4.2 Prenons le cas d'un récepteur opérant dans une gamme de fréquences f comprises entre $f_{\min}$ et $f_{\max}$: c'est le cas d'un récepteur « radio » qui est capable de recevoir un certain nombre de « stations » appartenant à une « gamme ». On notera G cette gamme :

$$G = f_{\max} - f_{\min}.$$

Donner une condition sur G afin que la réception soit possible. (ceci a été traité en cours !)

4.3 Si cette condition n'est pas satisfaite, qu'arrivera-t-il ?

FIN

1. Principes directeurs pour la transmission hertzienne (6 points)

1.1 Pour les modulations sur porteur sinusoïdal : (3 points, 1 par principe)

La coexistence est assurée dès lors qu'une transmission (ou qu'une nouvelle transmission) n'occupe pas le canal entier : avec un porteur sinusoïdal, le théorème de Fourier ne faisant apparaître qu'une seule composante fréquentielle, toutes les autres (une infinité en théorie) restent disponibles : la modulation permet justement de n'utiliser qu'une bande étroite de fréquences autour de la fréquence porteuse.

L'indépendance est assurée grâce à la propriété d'orthogonalité des fonctions sinusoïdales (*largement vu en cours*)

La sélection est assurée dès lors que l'on sait réaliser un système permettant de sélectionner une seule fréquence (ou une bande étroite de fréquences autour d'une fréquence) : c'est un filtre passe-bande.

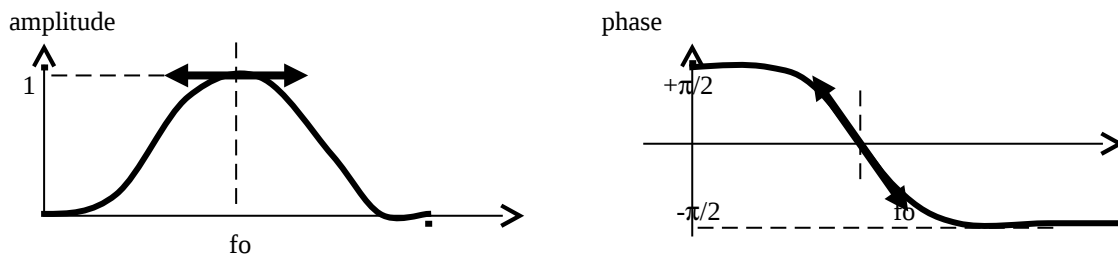
1.2 Pour le multiplexage fréquentiel : (3 points)

Ce sont exactement les mêmes principes qui sont utilisés ! En effet, le multiplexage fréquentiel consiste en une somme de modulations autour de fréquences « porteuses » (dites parfois « sous-porteuses »), cette somme étant elle-même à son tour modulée autour d'une fréquence porteuse globale. A l'inverse, un ensemble de transmissions autour de porteuses différentes peut être considéré comme un multiplex fréquentiel ; exemple : la gamme FM de radiodiffusion sonore pourrait être considérée comme un grand multiplex de programmes (stations). Donc, comme l'indiquait l'énoncé « exprimer les similitudes ... pour ne pas répéter les mêmes choses »).

2. Démodulateur de fréquence : méthode du déphaseur (12 points)

2.1 (1 pt) $m(t) = A \cos(2\pi f_0 t + 2\pi k \int s(t) dt)$ en suivant les instructions de l'énoncé.

2.2 (2 pts) la fonction de transfert d'un filtre passe bande possède l'allure suivante (amplitude puis phase) :



L'amplitude est une courbe à tangente horizontale en f_0 , donc au voisinage de f_0 , on peut en effet considérer que cette amplitude soit quasiment constante (propriété de la tangente horizontale).

La phase est une courbe présentant un point d'inflexion en f_0 , donc on peut en effet considérer que cette phase varie linéairement en fonction de f_0 , au voisinage de f_0 (propriété de l'inflexion).

On peut aussi exprimer $|H(j\omega)|^2 = \omega^2 / ((\omega^2 - \omega_0^2)^2 + \omega^2)$, avec $\omega \approx \omega_0$, on obtient $|H(j\omega)|^2 \approx \omega^2 / (\omega^2) = 1$

Puis $\text{Arg}(H(j\omega)) = \text{Arg}(j\omega) - \text{Arg}((\omega^2 - \omega_0^2) + j\omega)$, avec $\omega = \omega_0$, on obtient : $\text{Arg}(H(j\omega)) = \text{Arg}(j\omega) - \text{Arg}(j\omega) = \pi/2 - \pi/2 = 0$

Pour aller plus loin, il faudrait faire une véritable étude au voisinage de ω_0 (dérivées, développements limités)

2.3 (1 pt) Compte tenu des résultats du 2.2, la fonction $m'(t)$ a une amplitude A (inchangée) et présente un déphasage ϕ par rapport à $m(t)$, de valeur : $\phi = \alpha(f - f_0)$. Donc : $m'(t) = A \cos(2\pi f_0 t + 2\pi k \int s(t) dt + \alpha(f - f_0))$

2.4 (1 pt) $m''(t) = A \cos(2\pi f_0 t + 2\pi k \int s(t) dt - \pi/2)$ en suivant les instructions de l'énoncé, en effet : $m''(t)$ est égal à $m(t)$ à un déphasage $-\pi/2$ près

2.5 (2 pts) $M(t) = m'(t) \cdot m''(t) = A^2 \cos(2\pi f_0 t + 2\pi k \int s(t) dt + \alpha(f - f_0)) \cdot \cos(2\pi f_0 t + 2\pi k \int s(t) dt - \pi/2)$

or, $\cos(X - \pi/2) = \sin(X)$, donc : $M(t) = A^2 \cos(2\pi f_0 t + 2\pi k \int s(t) dt + \alpha(f - f_0)) \cdot \sin(2\pi f_0 t + 2\pi k \int s(t) dt)$ soit, en utilisant la relation trigonométrique donnée dans l'énoncé :

$M(t) = A^2/2 \sin(4\pi f_0 t + 4\pi k \int s(t) dt + \alpha(f - f_0)) - A^2/2 \sin(\alpha(f - f_0))$

Il apparaît nettement deux termes très différents : le premier est de fréquence centrale $2f_0$ (terme en $4\pi f_0 t$), le deuxième est un terme en $(f - f_0)$, donc ne dépendant que de l'écart de fréquence par rapport à f_0 (rappelons qu'il s'agit de modulation de fréquence et donc que c'est bien l'écart de fréquence qui est important)

2.6 (2 pts) Il faut bien sûr éliminer le premier terme de $M(t)$. Les remarques ci-dessus entraînent alors l'utilisation d'un filtre passe-bas donc la fréquence de coupure est inférieure à $2 f_0$ (mais supérieure à la fréquence maximale du signal modulant). Alors $D(t) = -A^2/2 \sin(\alpha(f-f_0))$

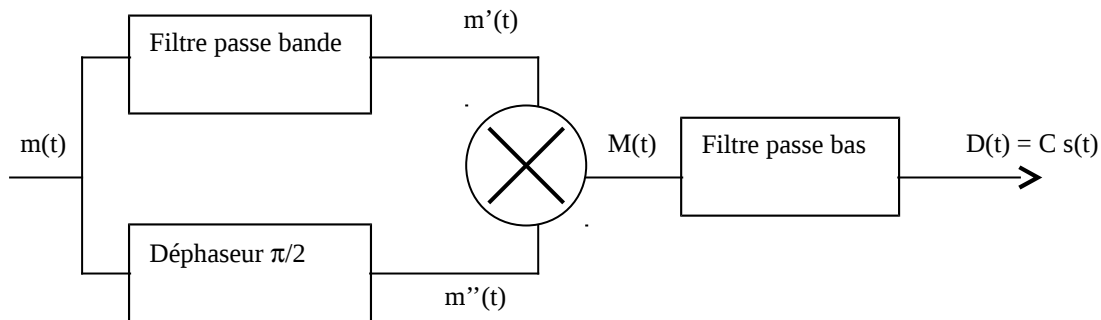
2.7 (2 pts) Il subsiste donc, en sortie du filtre, la fonction $D(t)$, qui, au voisinage de $f = f_0$, peut s'écrire, en se limitant au développement à l'ordre 1 (cf énoncé) : $D(t) \approx -A^2/2 \alpha(f-f_0) = B(f-f_0)$ en notant B (constante) $= -A^2 \alpha/2$.

En outre, la définition de la modulation de fréquence est (cf cours) : $f = f_0 + k s(t) \Leftrightarrow f - f_0 = k s(t)$

Nous arrivons donc à : $D(t) \approx B k s(t) = C s(t)$ en notant C (constante) $= B k$

On retrouve donc bien, à une constante multiplicatrice C près, le signal $s(t)$.

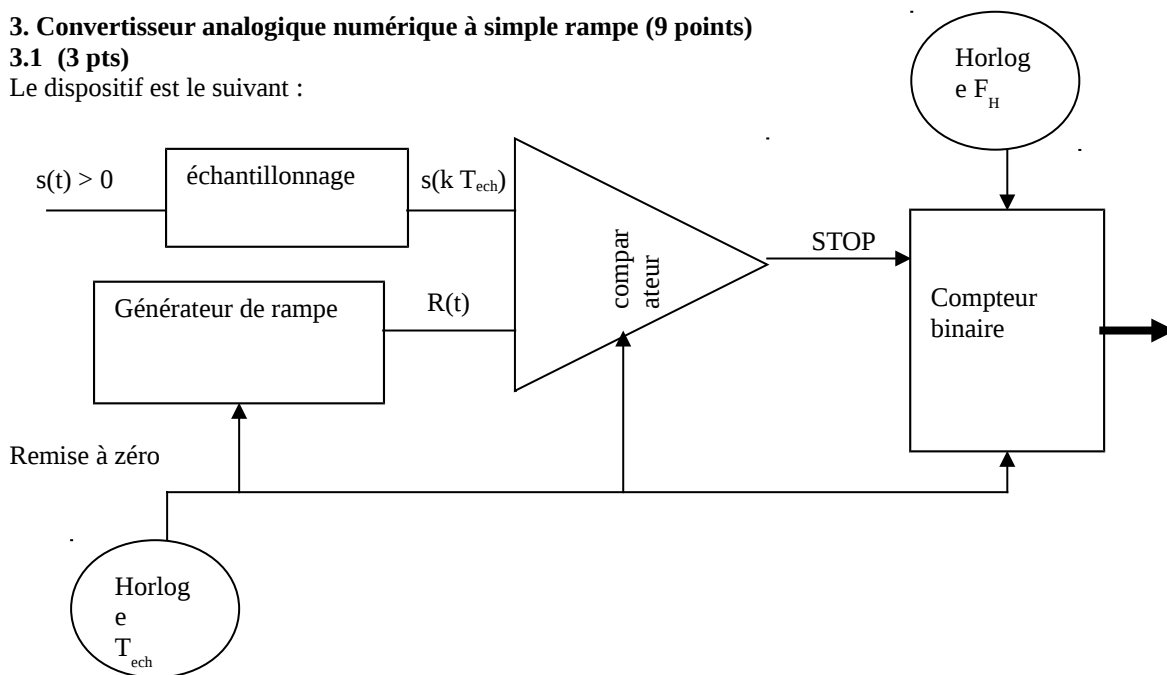
2.8 (1 pt) Le schéma bloc est déduit directement des opérations effectuées :



3. Convertisseur analogique numérique à simple rampe (9 points)

3.1 (3 pts)

Le dispositif est le suivant :



Plaçons-nous à un instant d'échantillonnage ($k T_{ech}$), le signal d'entrée échantillonné a pour valeur : $s(k T_{ech})$.

Cette valeur est maintenue jusqu'à l'instant d'échantillonnage suivant (cf énoncé). Cette valeur est donc constante dans l'intervalle $[k T_{ech}, (k+1)T_{ech}]$.

A ce même instant $k T_{ech}$, le générateur de rampe démarre depuis 0 (cf énoncé) et le comparateur est initialisé à 0 logique (cf énoncé) : situation « RAZ »

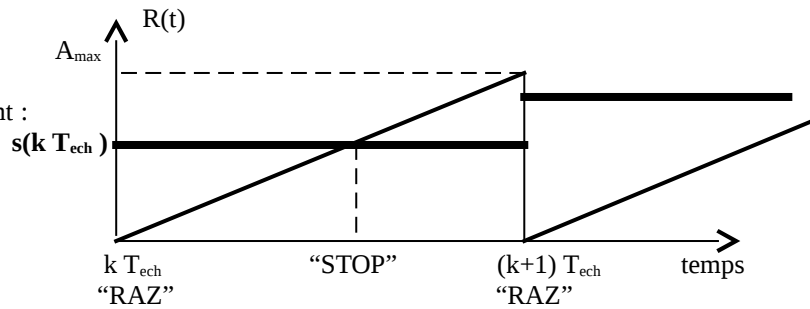
La conversion numérique va se faire grâce à l'incrémement du compteur et au relevé de sa valeur à l'instant défini par « STOP » ; cette dernière commande émane donc du convertisseur dès lors que la rampe a rattrapé la valeur $s(k T_{ech})$.

En effet, selon la valeur de $s(k T_{ech})$, la rampe mettra plus ou moins de temps à rattraper cette valeur, ce temps étant compté par le compteur, la valeur finale du compteur représentera bien la valeur de $s(k T_{ech})$.

D'où le schéma.

3.2 (3 pts)

Le déroulement temporel est le suivant :



Il faut donc bien évidemment que le compteur s'incrémente entre les instants « RAZ » et « STOP », il faut donc, au minimum que la période d'horloge T_H soit strictement inférieure à T_{ech} , et ceci dans le cas le plus favorable (« STOP » le plus éloigné de « RAZ » dans le sens du temps) : $T_H < T_{ech} \Leftrightarrow 1/F_H < T_{ech}$

En réalité, il faut prendre T_H la plus petite possible de manière à ce que le compteur puisse « suivre au plus près » la valeur $R(t)$, on obtient ainsi une valeur numérique approchée de $R(t)$, et donc, à l'instant « STOP » une valeur numérique approchée de $s(k T_{ech})$, ce qui est bien l'objectif recherché.

Il faut donc bien prendre F_H « grande » (pour avoir T_H « petite »)

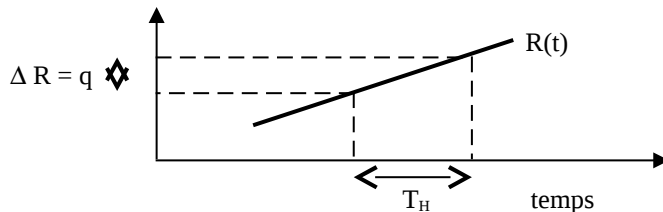
3.3 (3 pts)

Compte tenu de tout ce qui a été vu précédemment, l'intervalle de quantification correspond à la variation de $R(t)$ non mesurable par le compteur : c'est-à-dire, la variation de $R(t)$ entre deux incréments du compteur.

On a ainsi : $q = \Delta R$. Pour exprimer ce ΔR , il nous faut connaître la pente de la rampe $R(t)$. Cette rampe a des valeurs comprises entre 0 et A_{max} (car A_{max} est la valeur maximale possible pour $s(t)$, cf énoncé) ; cette rampe dure un temps T_{ech} . Sa pente vaut donc $dR/dt = A_{max}/T_{ech}$.

D'où : $q = \Delta R = dR/dt \cdot T_H$ (T_H représentant bien le temps entre deux l'incrémentes élémentaires du compteur).

D'où, enfin : $q = (A_{max}/T_{ech}) \cdot T_H$ donc : $q = A_{max}/(T_{ech} \cdot F_H)$



4. Méthode du changement de fréquence (9 points)

4.1 (3 pts)

La fréquence image f' apparaît lors d'une opération de changement de fréquence en émission ou en réception.

Dans le cas de l'émission, soit f_i (intermédiaire) la fréquence porteuse qui reçoit la modulation, soit f_{ol} la fréquence d'un oscillateur (oscillateur local), on effectue le produit des deux fonctions :

$$\cos(2\pi f_i t) \cdot \cos(2\pi f_{ol} t) = \frac{1}{2} \cos(2\pi (f_i + f_{ol}) t) + \frac{1}{2} \cos(2\pi (f_i - f_{ol}) t)$$

Soit $f = f_i + f_{ol}$ la fréquence émise, alors $f' = f_i - f_{ol}$ est la fréquence image correspondante. Cette dernière est non seulement inutile (répétition) mais nuisible (occupation inutile de fréquence).

Des relations précédentes, on déduit aisément : $f + f' = 2 f_i$, d'où : $f' = 2 f_i - f$.

Dans le cas d'une réception, soit f la fréquence à sélectionner et f_{ol} la fréquence d'un oscillateur (oscillateur local), on déduit une fréquence intermédiaire f_i sur laquelle on effectuera la démodulation en faisant encore le produit des deux fonctions :

$$\cos(2\pi f t) \cdot \cos(2\pi f_{ol} t) = \frac{1}{2} \cos(2\pi (f + f_{ol}) t) + \frac{1}{2} \cos(2\pi (f - f_{ol}) t)$$

Soit $f_i = f - f_{ol}$ la fréquence intermédiaire. Il existe une autre fréquence f' telle que $f_i = f_{ol} - f'$, cette dernière, si elle porte une transmission, conduira à la même fréquence intermédiaire f_i . Cette fréquence f' conduirait alors à une « double réception », l'une d'entre elles étant nuisible.

Des relations précédentes, on déduit : $2 f_i = f - f'$, d'où : $f' = f - 2 f_i$.

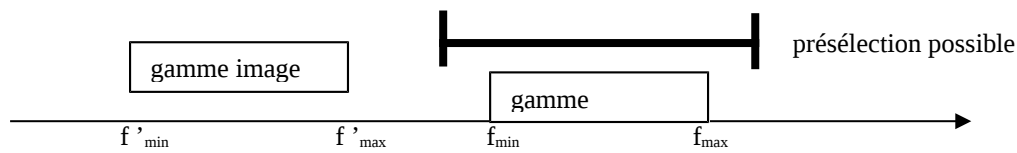
4.2 (3 pts)

On se place dans le cas de la réception, donc : $f' = f - 2 f_i$.

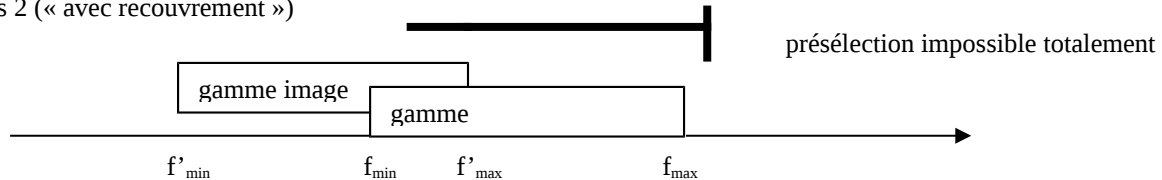
Donc $f'_{\max} = f_{\max} - 2 f_i$ et $f'_{\min} = f_{\min} - 2 f_i$

On place ces valeurs sur un graphique de fréquences, pour deux cas de figure :

cas 1 (« sans recouvrement »)



cas 2 (« avec recouvrement »)



Dans le cas 2, la gamme image ne peut pas être rejetée totalement par filtrage car ce même filtrage rejeterait en même temps une partie de la gamme utile !

La condition est donc : $f'_{\max} < f_{\min}$, soit : $f_{\max} - 2 f_i < f_{\min}$ soit encore : $f_{\max} - f_{\min} < 2 f_i$

D'où la relation attendue : $G < 2 f_i$

4.3 (3 pts)

Si cette condition n'est pas satisfaite, il y aura parfois « double réception » : une seule fréquence f_i prévue pour sélectionner une transmission dont la fréquence est proche de $f_{\max}$ par exemple (voir figure ci-dessus, cas 2) conduira à la double sélection d'une transmission située à la fréquence f_1 telle que : $f_i = f_1 - f_{ol}$ (voir 4.1) en même temps qu'une autre transmission qui se trouve à la fréquence f_2 (f_2 image de f_1) telle que : $f_i = f_{ol} - f_2$, sachant que cette fréquence f_2 appartient aussi à la gamme utile !

