Transmission Analogique

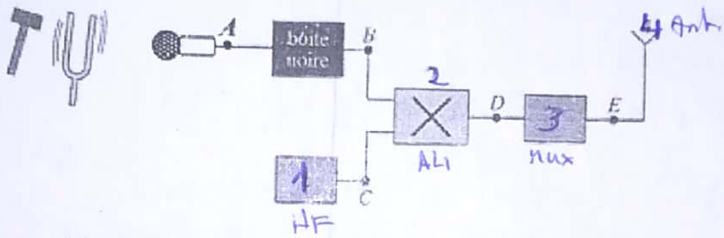
Travaux Dirigés N°1

Exercice 1 :

Les ondes électromagnétiques ne peuvent se propager dans l'air sur de grandes distances que dans un domaine de fréquences élevées. Les signaux sonores audibles de faibles fréquences sont convertis en signaux électriques de même fréquence puis associés à une onde porteuse de haute fréquence afin d'assurer une bonne transmission.

A. La chaîne de transmission

Le document suivant représente la chaîne simplifiée de transmission d'un son par modulation d'amplitude. Elle est constituée de plusieurs dispositifs électroniques.



1. Parmi les cinq propositions ci-dessous, retrouver le nom des quatre dispositifs électroniques numérotés: Antenne; Amplificateur HF (Haute Fréquence); Générateur HF (Haute Fréquence) ; Multiplieur ; Voltmètre.

2. Quels sont les signaux obtenus en B, C et D parmi ceux cités ci-dessous?

- Porteuse, notée $u_p(t) = U_{P(max)} \cos(2\,\pi.F.\,t)$.
- Signal, modulant B.F., noté $u_S(t) + U_o$.
- Signal modulé, noté $u_m(t)$.

3. Le signal électrique recueilli en A à la sortie du microphone correspond à la tension $u_S(t)$. Une boîte noire est intercalée entre les points A et B. Quel est son rôle?

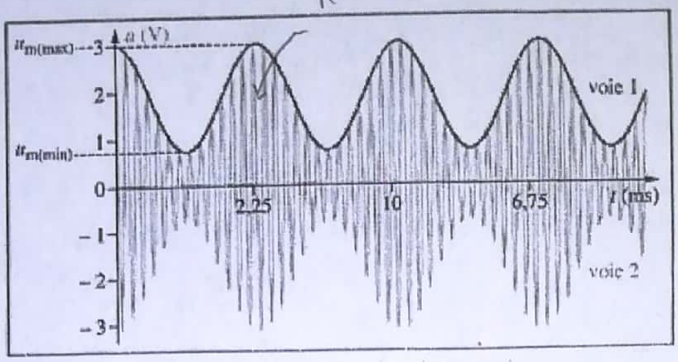
4. Le dispositif électronique 2 effectue une opération de multiplication en amplifiant le signal obtenu par un coefficient k. Donner l'expression mathématique du signal $u_m(t)$ obtenu en D.

B. La modulation d'amplitude

La voie 1 d'un oscilloscope bicourbe est reliée en B et la voie 2 est reliée en D.

L'oscillogramme obtenu est le suivant:

Scanned by CamScanner



1. Estimer les valeurs des périodes T_S et T_P du signal modulant et de la porteuse. En déduire les fréquences f du signal modulant et F de la porteuse.

2. Donner la relation entre la constante k et $U_{P(max)}$.

3. Calculer l'indice de modulation m.

4. L'amplitude de la tension du signal modulé $u_m(t)$ varie entre deux valeurs extrêmes, notées respectivement $U_{m(max)}$ et $U_{m(min)}$.

a. Montrer que le taux de modulation m peut s'écrire comme suit:

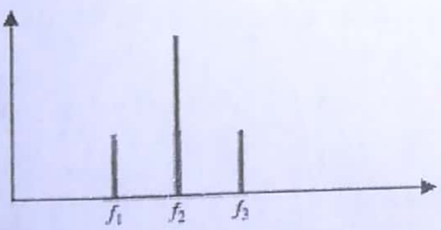
$m = (U_{m(max)} - U_{m(min)}) / (U_{m(max)} + U_{m(min)})$

b. En déduire la valeur de m. Retrouve-t-on la valeur de *m* calculée précédemment ?

c. À quoi correspondrait un taux de modulation m supérieur à 1 ?

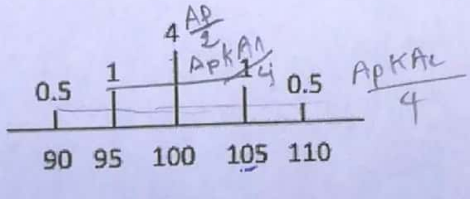
d. Quelle condition doit-on satisfaire pour obtenir un taux de modulation m < 1 ?

e. L'analyse en fréquence du signal montre que celui-ci est composé de trois fréquences f_1, f_2 et f_3. En fonction de la fréquence du signal modulant f et de la fréquence de la porteuse F, déduire les fréquences apparaissant sur le spectre ci-dessous.



Exercice 2 :

Soit le spectre d'un signal modulé AM comme suit (la fréquence en MHz) :



fp = 100 MHz.

Déterminer :

1. La fréquence de la porteuse et celle du message.
2. La bande passante du signal AM et celle du message. 20
3. L'expression mathématique du message.

Scanned by CamScanner

4. L'expression mathématique du signal modulé.
5. L'indice de modulation.
6. La puissance utile, la puissance de la porteuse et le rendement de la modulation.

Exercice 3 :

Un émetteur AM doit transmettre le signal suivant :

$100 \cos(3{,}77\ 10^6\ t) + 43{,}5 \cos(3{,}738\ 10^6\ t) + 43{,}5 \cos(3{,}802\ 10^6\ t)$

1. Quelle est la fréquence de la bande latérale supérieure ?
2. Quelle est la fréquence modulante ? Quel est le taux de modulation ?
3. Quelle est la bande B de fréquence de l'émission ?
4. Calculer la puissance contenue dans la porteuse et dans chaque bande latérale, puis la puissance totale émise. Si la puissance totale du signal AM est réduite à 6000 W lorsque l'on change le signal modulant, quel est le nouveau taux de modulation ?

Scanned by CamScanner

T.D. N°1 : Transmission Analogique.

Exercice N°2 :

1- $f_p = 100\ MHz$.

$\begin{cases} f_p + f_1 = 105\ MHz \\ f_p - f_1 = 95\ MHz \end{cases} \Rightarrow f_1 = 5\ MHz$

$\begin{cases} f_p + f_2 = 110\ MHz \\ f_p + f_2 = 90\ MHz \end{cases} \Rightarrow f_2 = 10\ MHz$.

2) La bande du signal utile (signal modulant)

$u(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 t) + A_2 \cos(2\pi f_2 t)$

(max de entre f_1 et f_2).

$B_u = f_{max} = 10\ MHz$.

* La bande du signal modulé (AM).

$B = 2 f_{max} = 20\ MHz$.

3)

$\frac{A_p}{2} = 4 \Rightarrow A_p = 8V$

- $\frac{A_p k A_1}{4} = 1 \Rightarrow A_1 = \frac{4}{A_p . k}$ avec $k = 1$

$A_1 = \frac{4}{8} = 0,5$.

- $\frac{A_p k A_2}{4} = 0,5 \Rightarrow A_2 = \frac{2}{A_p k}$

$A_2 = \frac{2}{8} = 0,25$.

$u(t) = 0,5 \cos(2\pi . 5 . 10^6 t) + 0,25 \cos(2\pi\, 10 . 10^6 t)$

4) - $s(t) = A_p (1 + k u(t)) \cos(2\pi f_p t)$

$= 8(1 + [\underbrace{0,5 \cos(2\pi . 10^7 t) + (0,25 \cos 2\pi . 10^7)}_{u(t)}]$

$\times \cos(2\pi . 10^8 t)$

5) $m = \frac{|k \max(u(t))|}{U_0}$ avec $k = U_0 = 1$

$m = \max u(t) = 0,25 + 0,5 = 0,75 < 1$

$\Rightarrow$ pas de surmodulation.

6) - $P_u = \sum s(t)^2$

obtenu par modulation $\left(\frac{A_p k A_1}{4}\right)^2 + \left(\frac{A_p k A_2}{4}\right)^2 \times 2 \times 2$.

$\times 2$ (symétrie en fréquence positive)

$\times 2$ (// // négative).

$P_u = \left(\frac{A_p^2 k A_1^2}{16} + \frac{A_p k A_2^2}{16}\right) \times 4$

$= \frac{A_p^2 A_1^2}{4} + \frac{A_p^2 A_2^2}{4}$

$= \frac{8^2 \times 0,5^2}{4} + \frac{8^2 \times 0,25^2}{4}$

$= 5\ w$.

$P_p = \left(\frac{A_p}{2}\right)^2 \times 2 = \frac{A_p^2}{2} = 32\ w$

consommé par la porteuse.

Scanned by CamScanner

rendement : $\frac{P_u}{P_u + P_p} = \frac{5}{32+5} = 0{,}13$

$\Rightarrow 13\,\%$

La modulation (AM) à double bande avec porteuse est très inefficace en terme de puissance

Exercice 1 :

1- générateur HF

2- multiplieur

3- amplificateur

4- Antenne.

2/ B $\rightarrow$ $U_s(t) + U_0$: signal modulant

C $\rightarrow$ porteuse $U_p(t) = U_{p\,max} \cos(2\pi . F . t)$

D $\rightarrow$ signal modulé noté $U_m(t)$

Rq : $m = \frac{|k U_{max}|}{U_0} < 1 \Rightarrow$ éviter la surmodulation pour simplifier la démodulation qui peut être faite dans ce cas par un simple détecteur de crête

3/ Le rôle de la boite noire est d'ajouter une tension continu pour contrôler l'indice de modulation m qui doit être inferieur à 1 ($m < 1$) afin d'éviter la surmodulation pour simplifier la démodulation (utilisation d'un détecteur de crête)

4/ $k U_p(t) \left(U_s(t) + U_0 \right) = U_m(t)$

B) Voie 1 : $U_0 + U_s(t)$

Voie 2 : $U_m(t)$

1) $T_s = 2.25\,ms$

$T_s = 12\,T_p$

$T_p = \frac{T_s}{12} = \frac{2{,}25}{12} = 0{,}187\,ms$

$f = \frac{1}{T_s} = 444{,}44\,Hz$

$F = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{0{,}187 . 10^{-3}} = 5347{,}5\,Hz$

2/ $k U_{p\,max} (U_0 + U_s(t)_{max}) = U_0 + U_{s\,max}$

$k U_{p\,max} (U_0 - U_{s\,max}) = U_0 - U_{s\,max}$

$k U_{p\,max} = 1.$

3/ $m = \frac{U_{s\,max}}{U_0}$

$U_0 = \frac{3 + 0{,}8}{2} = 1{,}9\,V$

$U_0 + U_{s\,max} = 3\,V$

$U_0 - U_{s\,max} = 0{,}8\,V$

$U_{s\,max} = \frac{3 - 0{,}8}{2} = 1{,}1\,V$

$m = \frac{1{,}1}{1{,}9} = 0{,}6.$

4/ $U_{m\,max} = k U_{p\,max} (U_0 + U_{s\,max})$

$U_{m\,min} = k U_{p\,min} (U_0 - U_{s\,min})$

$\frac{U_{m\,max} - U_{m\,min}}{U_{m\,max} + U_{m\,min}} = \frac{2 k U_{p\,max} . U_{s\,max}}{2 k U_{p\,max} U_0}$

$= \frac{U_{s\,max}}{U_0} = m$

Rq : $m = \frac{|k U_{s\,max}|}{U_0} = \frac{U_{s\,max}}{U_0}$ (pour $k = 1$)

$m = \frac{U_{m\,max} - U_{m\,min}}{U_{m\,max} + U_{m\,min}}$

Scanned by CamScanner

Exercice 3 :

$\Delta U = 100 \cos(3,77.10^6 t) + 43,5 \cos(3,738.10^6 t) + 43,5 \cos(3,802.10^6 t)$

1/ $2\pi f_{BLS} = 3,802.10^6 \Rightarrow f_{BLS} = 0,605 .10^6 \, Hz$.

$= 605 \, kHz = f_p + f_u$.

2/ $s(t) = A_p (1 + k U_m \cos(2\pi f_u t)) \cos(2\pi f_p t)$

$s(t) = 100 \cos(3,77.10^6 t) + 43,5 [\cos(3,738.10^6 t) + \cos(3,802.10^6 t)]$

$= 100 \cos(3,77.10^6 t) + 43,5 \times 2 \cos(2\pi f_p t) \cos(2\pi f_u t)$

$A_p U_0 \; (U_0 = 1) \Rightarrow A_p = 100 \qquad A_p . \underbrace{k U_{max}}_{m}$

$2\pi f_p = 3,77.10^6 \Rightarrow f_p = 600 \, kHz$

or on a : $f_{BLS} = f_p + f_u$ d'où $f_u = f_{BLS} - f_p$

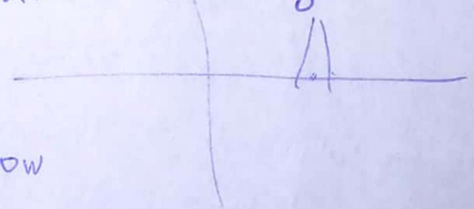
$= 605 - 600 = 5 \, kHz$

$= \frac{43,5 \times 2}{100} = 0,87 < 1 \Rightarrow$ pas de modulation.

3/ C'est une modulation AM à double bande avec porteuse

$\Rightarrow$ la bande du signal modulé est émis est : $B = 2 . x f_{max}$

$= 2 \times 5.10^3 = 10 \, kHz$.



4/ $P_{porteuse} = \left(\frac{A_p}{2}\right)^2 = \frac{A_p^2}{4} = 2500 \, W$

On choisi $U_0 = 1 \Rightarrow A_p = 100 \Rightarrow P_{porteuse} = 2500 \, W$

$P_{BLI} = P_{BLS} = \left(\frac{A_p m}{4}\right)^2 = \frac{(43,5 \times 2)^2}{16} = 473,06 \, W$

$P_{émise} = 2 P_{porteuse} + 4 P_{BLS} \rightarrow$ P. consommé par le signal utile (signal modulant).

(puissance consommé par port)

$= 2 \times 2500 + 4 \times 473,06 = 6892,25 \, W$

Si $P_{émise} = 6000 \, W$, $m = ?$

$P_{émise} = \frac{A_p^2}{2} + \frac{A_p^2 m^2}{4} = 6000 \, W \iff \frac{A_p^2}{2}\left(1 + \frac{m^2}{2}\right) = 6000 \iff m^2 = 2\left(\frac{6000 \times 2}{10000} - 1\right) = 0,4$

$m = 0,6325$.

Scanned by CamScanner

c/ pour $m > 1$ => une surmodulation

d/ $m < 1 \Rightarrow \frac{U_{smax}}{U_0} < 1$

$U_{smax} < U_0$

e/ $f_2 = F$

$f_1 = F - f$

$f_3 = F + f$

$m < 1$: pas de surmodulation

=> modulation est simple est faite par un détecteur de crête

Suite de Cour (page 10)

L'enveloppe est constitué tout les $T_p = \frac{1}{F_p}$ par le maximum de signal s(t)

Lorsque $\begin{cases} s(t) > 0 \ ; \ D \nearrow \\ s(t) < 0 \ ; \ D \searrow \end{cases}$

Lorsque D ↗, le condensateur est chargé et la tension de signal d'entrée s(t)

Il se charge jusqu'à il atteint le maximum

Dès que le signal d'entrée décroit, la diode ↘ pourque le Tension au borne d'une condensateur > signal d'entrée

Dans ce cas, le condensateur se décharge lentement dans la résistance jusqu'à atteindre la tension d'entrée dans la diode s(t) => Régime Transitoire

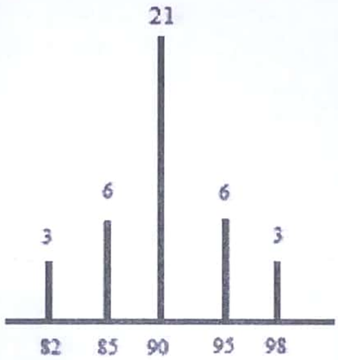
Diapo 47:

Transmission Analogique

Travaux Dirigés N°2

Exercice:

On se propose de moduler un signal réel u(t) en utilisant une modulation d'amplitude.
A. L'analyse en fréquence du signal modulé s(t) montre que celui-ci est composé de cinq fréquences comme suit (les fréquences sont mesurées en MHz)



Le signal modulé en amplitude correspondant à ce spectre est de la forme:

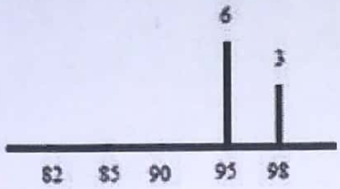
$$s(t) = A_p\left(U_0 + u(t)\right)\cos(2\pi f_p t)$$

A.1. D'après le spectre, la constante U_0 peut-elle être nulle dans ce cas? Justifier?
A.2. Déterminer les fréquences contenues dans l'onde modulée.
A.3. Calculer les bandes passantes de u(t) et s(t). Que remarquez vous?
A.4. Sachant que A_p=2V, déterminer d'après le spectre l'expression du signal u(t).
A.5. Déterminer d'après le spectre la valeur de U_0 et déduire l'expression du signal modulé s(t).
A.6. Donner le rôle de U_0. Indiquer le type de la modulation d'amplitude considérée.
A.7. Calculer l'indice de modulation **m**. S'agit-il d'une sur-modulation? Justifier.
A.8. Calculer la puissance contenue dans la porteuse non modulée.
A.9. Calculer la puissance utile. Que remarquez-vous?
A.10. Déduire le rendement de la modulation.

B. On veut obtenir maintenant la modulation AM à double bandes latérales sans porteuse.
B.1. Expliquer quelle modification doit-on effectuer sur le signal s(t) pour obtenir ce type de modulation.
B.2. Quel est l'intérêt de ce type de modulation par rapport au type précédent? Quelle est sa limite?
B.3. Tracer le nouveau spectre du signal s(t).

Scanned by CamScanner

C. On veut obtenir maintenant le signal $s_1(t)$ de spectre $S_1(f)$ comme suit:



C.1. Indiquer le type de cette modulation.

C.2. Quel l'intérêt de ce type de modulation par rapport aux deux types présentés précédemment?

C.3. Pour obtenir le signal $s_1(t)$, on utilise le filtre de Hilbert $h(t)$. Soit $\hat{u}(t)=h(t)*u(t)$, la transformée de Hilbert de $u(t)$. Rappeler la relation entre $\hat{U}(f)$ et $U(f)$.

C.4. Déduire à partir de $U(f)$ l'expression de $\hat{U}(f)$.

C.5. Déduire à partir de $\hat{U}(f)$ l'expression de $\hat{u}(t)$.

C.6. Considérons les deux signaux analytiques suivants:

$u_a(t)=u(t)+j\hat{u}(t)$ et $u_b(t)=u(t)-j\hat{u}(t)$

Calculer $U_a(f)$ et $U_b(f)$.

C.7. Comment peut-on donc obtenir $s_1(t)$ à partir de $u_a(t)$ et $u_b(t)$?

C.8. Commenter la faisabilité de cette modulation.

Scanned by CamScanner

TD N2

$s(t) = A_p\left(U_0 + u(t)\right)\cos(2\pi f_p t)$

A. 1- U_0 ne peut pas être nulle car il s'agit d'une modulation d'amplitude AM à DBAP.

2- $f_p = 90\,MHz$

$\begin{cases} f_p + f_1 = 95\,MHz \\ f_p - f_1 = 85\,MHz \end{cases} \Rightarrow f_1 = 5\,MHz.$

$\begin{cases} f_p + f_2 = 98\,MHz \\ f_p - f_2 = 82\,MHz \end{cases} \Rightarrow f_2 = 8\,MHz.$

3/ La bande passante de $u(t) = \max(f_1, f_2)$

$= 8\,MHz.$

La bande passante de $s(t) = 2 \cdot f_{max} = 16\,MHz.$

4/ $A_p = 2v$

$u(t) = A_1\cos(2\pi f_1 t) + A_2\cos(2\pi f_2 t)$

or $A_1 = ?$

On a : $\frac{A_p m}{4} = 6 \Leftrightarrow \frac{A_p k A_1}{4} = 6$

$A_1 = 12v$

$\frac{A_p k A_2}{4} = 3 \Rightarrow A_2 = 6v$

$u(t) = 12\cos(10 \cdot 10^6 \pi t) + 6\cos(16 \cdot 10^6 \pi t)$

$\frac{A_p U_0}{2} = 21v \Rightarrow U_0 = 21v$

$s(t) = 2\left[21 + 12\cos(10 \cdot 10^6 \pi t) + 6\cos(16 \cdot 10^6 \pi t)\right] \times \cos(180 \quad t)$

6/ U_0 est ajouté pour contrôler le taux de modulation pour ne pas avoir une surmodulation afin de simplifier la modulation.

7/ $m = \frac{|k \max u(t)|}{U_0} = \frac{A_1 + A_2}{U_0}$

$= \frac{6+12}{21} = 0{,}87.$

$m < 1 \Rightarrow$ pas de surmodulation

8/ $P_p = \left(\frac{A_p U_0}{2}\right)^2 \times 2$

$= 21^2 \times 2 = 882\,W$

9/ $P_u = \left[\left(\frac{A_p A_1}{4}\right)^2 + \left(\frac{A_p A_2}{4}\right)^2\right] \times 4$

$= (6^2 + 3^2) \times 4 = 180\,W$

$\eta = \frac{P_u}{P_u + P_p} = \frac{180}{180 + 882} = 16{,}95\%$

- Pour passer de la modulation AM. DBAP à une modulation DBSP, il faut choisir $U_0 = 0$

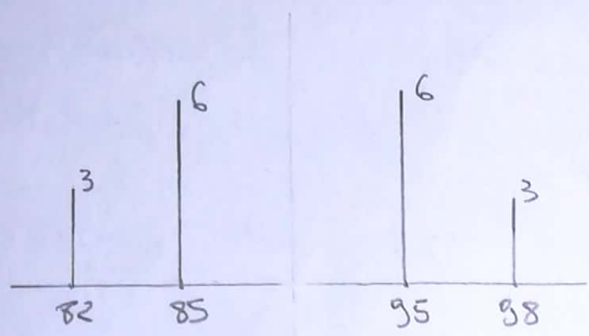
$s(t) = A_p \cdot u(t)\cos(2\pi f_p t)$

Scanned by CamScanner

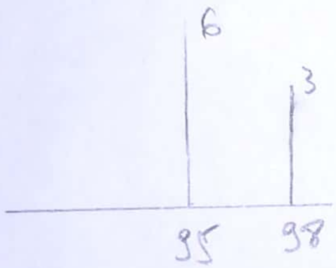
~~TD N°2~~

Pour éviter le gaspillage en puissance, mais on a toujours un gaspillage au niveau de la bande passante (inefficace).

3/



c/



C'est une modulation AM. SSB

=> Pour éviter le gaspillage en bande passante.

c/3-

$\hat{u}(t) = h(t) * u(t)$

$h(t) = \frac{1}{\pi \times t}$ d $\hat{u}(t) = \frac{1}{\pi t} * u(t)$

$TF\left(\frac{1}{j\pi t}\right) = -\,sgn(f)$

dc $\hat{U}(f) = j\,TF\left(\frac{1}{j\pi t}\right) \cdot U(f)$

dc $\hat{U}(f) = -j\,sgn(f) \cdot U(f)$

$$\Rightarrow \hat{U}(f) = \begin{cases} -jU(f) & si\ f>0 \\ jU(f) & si\ f<0 \end{cases}$$

4/ $u(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 t) + A_2 \cos(2\pi f_2 t)$

$$U(f) = \frac{A_1}{2}\left[\delta(f-f_1) + \delta(f+f_1)\right] + \frac{A_2}{2}\left[\delta(f-f_2) + \delta(f-f_2)\right]$$

dc. $\hat{U}(f)$

$$= -j\frac{A_1}{2}\left[\delta(f-f_1) - \delta(f+f_1)\right] - j\frac{A_2}{2}\left[\delta(f-f_2) - \delta(f+f_2)\right]$$

5/ TF $\sin(2\pi f_0 t) = \frac{-j}{2}\left[\delta(f-f_0) - \delta(f+f_0)\right]$

$\hat{u}(t) = A_1 \sin(2\pi f_1 t) + A_2 \sin(2\pi f_2 t)$

6/ $u_a(t) = u(t) + j\hat{u}(t)$

$u_b(t) = u(t) - j\hat{u}(t)$

$U_a(f) = U(f) + j\hat{U}(f)$

$$= \frac{A_1}{2}\left[\delta(f-f_1) + \delta(f+f_1)\right] + \frac{A_2}{2}\left[\delta(f-f_2) + \delta(f+f_2)\right] + \frac{A_1}{2}\left[\delta(f-f_1) - \delta(f+f_1)\right] + \frac{A_2}{2}\left[\delta(f-f_2) - \delta(f+f_2)\right]$$

$$= A_1\,\delta(f-f_1) + A_2\,\delta(f-f_2)$$

Scanned by CamScanner

(2π) méthode.

$$u_0(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 t) + A_2 \cos(2\pi f_2 t) + jA_1 \sin(2\pi f_1 t) + jA_2 \sin(2\pi f_2 t)$$

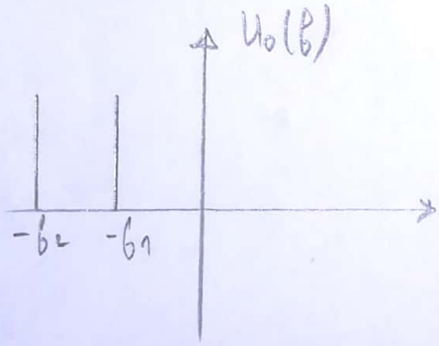
$$= A_1 e^{j2\pi f_1 t} + A_2 e^{j2\pi f_2 t}.$$

• $U_a(f) = A_1 \delta(f-f_1) + A_2 \delta(f-f_2)$

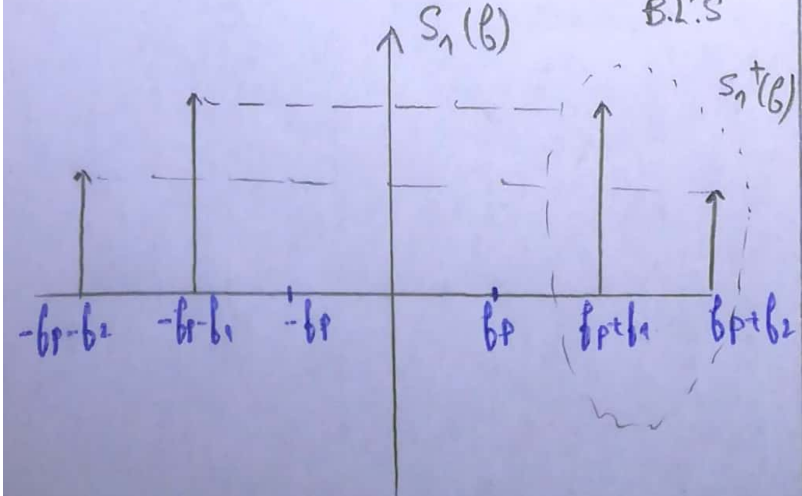
* $U_b(t) = u(t) - j\hat{u}(t)$

$$= A_1 \cos(2\pi f_1 t) + A_2 \cos(2\pi f_2 t) - jA_1 \sin(2\pi f_1 t) - jA_2 \sin(2\pi f_2 t).$$

$$= A_1 e^{-j2\pi f_2 t} + A_2 e^{-j2\pi f_2 t}$$



$$U_b(f) = A_1 \delta(f+f_1) + A_2 \delta(f+f_2)$$



$$S_1(f) = \left[\underbrace{U_a(f-f_p)}_{S_1^+(f)} + \underbrace{U_b(f+f_p)}_{S_1^-(f)}\right] A_p$$

$$\Rightarrow s_1(t) = \mathrm{TFI}(S_1(f))$$

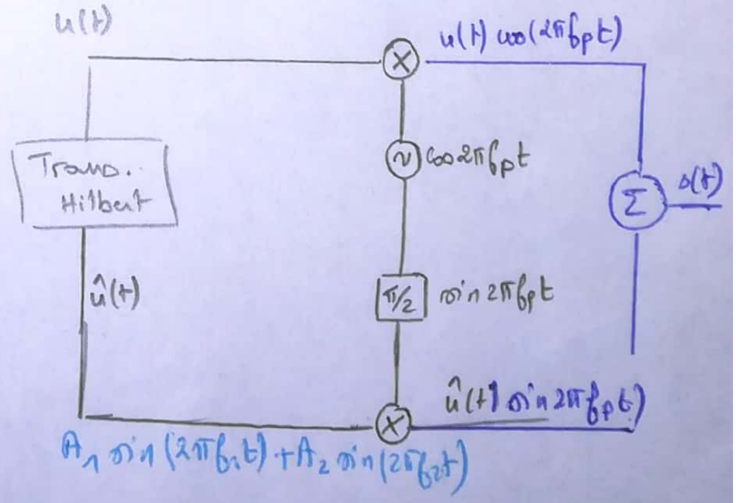
$$= u_a(t) e^{j2\pi f_p t} + u_b(t) e^{-j2\pi f_p t}$$

$$= A_1 e^{j2\pi(f_1+f_p)t} + A_1 e^{-j2\pi(f_1+f_p)t} + A_2 e^{j2\pi(f_2+f_p)t} + A_2 e^{-j2\pi(f_2+f_p)t}$$

$$= 2A_1 \cos(2\pi(f_1+f_p)t) + 2A_2 \cos(2\pi(f_2+f_p)t)$$

or $\cos(a+b) = \cos(a)\cos(b) - \sin(a)\cdot\sin(b)$

$$s_1(t) = 2A_1 \cos(2\pi f_1 t)\cos(2\pi f_p t) - 2A_1 \sin(2\pi f_1 t)\sin(2\pi f_p t) + 2A_2 \cos(2\pi f_2 t)\cos(2\pi f_p t) - 2A_2 \sin(2\pi f_2 t)\sin(2\pi f_p t)$$



8/ Cette modulation n'est pas facile à réaliser en pratique à cause de $\frac{1}{t}$ $\left(\hat{u}(t) = \frac{1}{\pi t} * u(t)\right)$ qui n'est pas défini en 0.

Scanned by CamScanner

Transmission Analogique

Travaux Dirigés N°3

Exercice 1:

La fréquence instantanée maximale d'un signal FM est 105,525 MHz et la fréquence de la porteuse est 105,45 MHz. Sachant que la fréquence modulante est de 2,5 kHz, calculez l'excursion de fréquence, l'indice de modulation ainsi que la bande de fréquences occupée par ce signal.

Exercice 2:

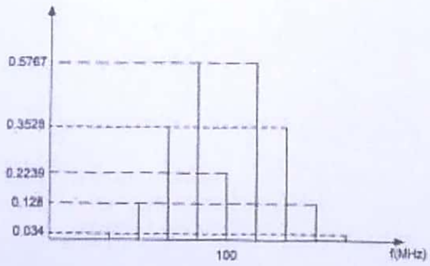
L'expression d'un signal modulé FM est la suivante :

$$V(t) = 20cos[(2\pi.10^8)t + 3sin(\pi.10^4)t]$$

1. Quel est l'indice de modulation β ?
2. Quelle est la fréquence modulante f_m ?
3. Quelle est l'excursion maximale de fréquence Δf_{max} ?
4. Quelles sont les fréquences présentes dans le spectre du signal ?
5. Que devient l'indice de modulation si la fréquence modulante est multipliée par 3 et si l'amplitude du signal modulant est multipliée par 2 ?
6. Déterminer la bande de fréquence du signal FM dans les deux cas.

Exercice 3:

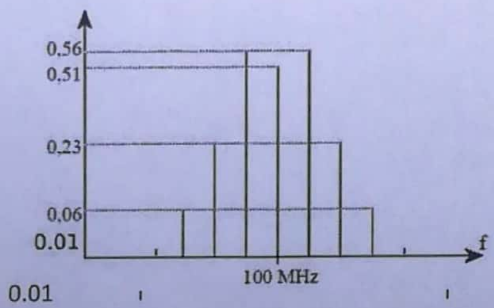
Soit le spectre en fréquence suivant.



1. Déterminer l'indice de modulation du signal FM correspondant sachant que A_p=2V.
2. Calculer la puissance transmise du signal et en déduire son pourcentage par rapport à la puissance totale.
3. Si on se contente d'un pourcentage de 98% ; peut-on éliminer une ou plusieurs raies du signal transmis. Justifier.

Exercice 4:

Le spectre d'une onde FM occupe une largeur de bande de 12 kHz.



Scanned by CamScanner

1. Trouver l'indice de modulation β, la fréquence modulante f_m et l'excursion de fréquence Δf.

2. Si la fréquence modulante est deux fois moindre et que le message conserve la même amplitude, trouver l'indice de modulation β', l'excursion de fréquence Δf' ainsi que la bande de fréquences B' du nouveau signal modulé.

3. Reprendre la question 2 si le signal modulant double d'amplitude tout en conservant la fréquence de la question 1.

Scanned by CamScanner

TD N 3 :

Exercice 3 :

1/ $A_p = 2v$

Les amplitudes des raies sont $\frac{A_p}{2} J_K(\beta)$ avec β de 0 jusqu'à n_{max}

$\frac{A_p}{2} = 1v$ et on a $n_{max} = 4$

D'après le tableau de Bessel on peut déduire que $\beta = 2$

2/ $P_{totale} = \frac{A_p^2}{2}$

$P_{transmise} = 2 \times \left(\sum_{k=-4}^{4} \frac{A_p}{2} \cdot J_k(\beta) \right)^2$

$= \frac{A_p^2}{2} \left(J_0^2(\beta) + 2 \sum_{k=1}^{4} J_k^2(\beta) \right)$

$= 2 \left[(0,2239)^2 + 2\left[(0,5767)^2 + (0,3528)^2 + (0,128)^2 + (0,034)^2 \right] \right]$

$= 1,99 w$

$P_{total} = \frac{A_p^2}{2} = 2w$

$\frac{P_{tran}}{P_{total}} = \frac{1,99}{2} = 99,5\%$

3/ $\frac{P'_{tran}}{P_{total}} = 98\%$

$P'_{tran} = P_{tran} - \left(\frac{A_p^2}{2} \cdot 2 J_4(\beta) \right)$

$= 1,99 - \left(4 \cdot (0,034)^2 \right) = 1,98 w$

$\frac{1,98}{2} = 99\%$

On ne peut plus supprimer une autre raie parce qu'on va avoir un pourcentage $< 98\%$

Exercice 1 : TD N°4

1/ $f_p = 10^6 = 1MHz$.

$f_m = 5 \cdot 10^3 Hz \quad (0,005 \times 10^6)$

2/ $20 \log_{10} \left(\frac{A_p}{2} J_0(\beta) \right) = 4,9 dB$

$\frac{A_p}{2} J_0(\beta) = 10^{-\frac{4,9}{20}} = 0,5688v$

* $20 \log_{10} \left(\frac{A_p}{2} J_1(\beta) \right) = -5,2 dB$

$\frac{A_p}{2} J_1(\beta) = 10^{-\frac{5,2}{20}} = 0,5495$

* $20 \log_{10} \left(\frac{A_p}{2} J_2(\beta) \right) = -13 dB$

$\frac{A_p}{2} J_2(\beta) = 10^{-\frac{13}{20}} = 0,223v$

* $20 \log_{10} \left(\frac{A_p}{2} J_3(\beta) \right) = -26 dB$

$\frac{A_p}{2} J_3(\beta) = 10^{-\frac{26}{20}} = 0,05v$

* $20 \log_{10} \left(\frac{A_p}{2} J_4(\beta) \right) = -41 dB$

$\frac{A_p}{2} J_4(\beta) = 10^{-\frac{41}{20}} = 0,008v$

3/ => D'après le tab. de Bessel $\beta = 1,4$

4/ $P_{trans} = 2 \cdot \left(\frac{A_p}{2} \right)^2 \left[J_0^2(\beta) + 2 \sum_1^4 J_i \right.$

$= 2 \left[(0,5688)^2 + 2\left[(0,5495)^2 + (0,223)^2 + (0,05)^2 + (0,0 \right. \right.$

$= 1,99 w$

Scanned by CamScanner

Exercice 1 :

fréquence maximale du signal modulé

$F_M = 105,525$ MHz.

$F_p = 105,45$ MHz.

fréquence du signal modulant

$f_{max} = 2,5$ kHz.

1/ $\Delta f = 105,525 - 105,45$

$= 75$ kHz.

=> déviation maximale de la fréquence du signal FM.

2/ $\beta = \dfrac{\Delta f}{f_{max}} = \dfrac{75}{2,5} = 30 \ggg 1$ rad

=> modulation FM à large bande.

3/ $B = 2.\Delta f + 2.f_m$

$= 2 \times 75 + 2.2,5$

$= 155$ kHz.

Exercice 2 :

$$v(t) = 20 \cos\left[(2\pi.10^8)t + 3\sin(\pi.10^4)t\right]$$

1) $v(t) = A_p \cos(2\pi f_p t) + \beta \sin(2\pi f_m t)$

avec $\beta = \dfrac{\Delta f}{f_m} = \dfrac{k_f.A_m}{f_m}$

$\beta = 3 > 1$ => modulation FM à large bande.

2) $2\pi f_m = \pi.10^4$

$f_m = 5$ kHz.

3/ Δf ?

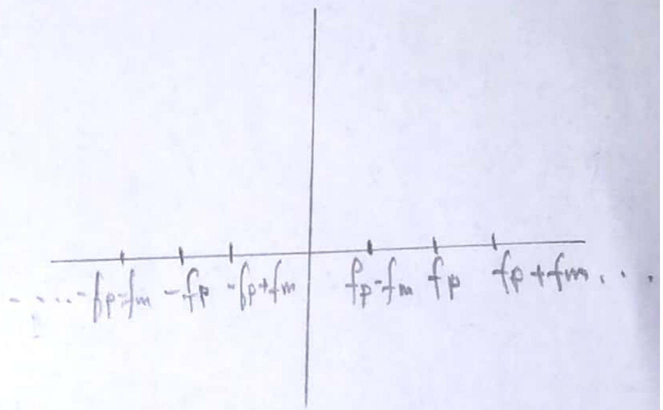
On a : $\beta = \dfrac{\Delta f}{f_m} \Rightarrow \Delta f = \beta \times f_m$

$= 3 \times 5$

$= 15$ kHz.

4/ On trouve des raies autour de f_p et les multiples de f_m

$f_p \pm n.f_m$ avec n varie de 0 jusqu'à 6 (d'après le tableau de Bessel pour $\beta = 3$; $n = 6$)



5/ $\beta' = \dfrac{\Delta f'_m}{f_m'}$

or $f'_m = 3 f_m$

$\Delta f' = k_f.A_m'$

$= k_f.2A_m = 2\Delta f_{max}$

$\beta = \dfrac{2\Delta f}{3 f_m} = \dfrac{2}{3} \times \beta$

$= \dfrac{2}{3} \times 3 = 2$ rad > 1

6/ Pour $\beta = 3 \Rightarrow B_{fm} = 2.n.f_{max}$

$= 2 \times 6 \times 5$

$= 60$ kHz

$\beta = 2 \Rightarrow B_{fm} = 2 \times n.f'_m$

$= 2 \times 4 \times 15$

$= 120$ kHz.

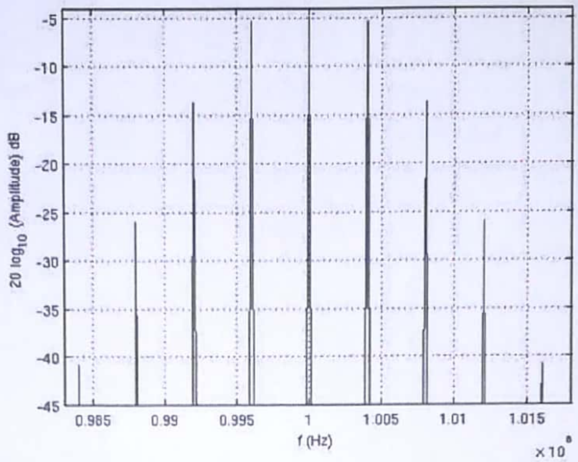
Scanned by CamScanner

Transmission Analogique

Travaux Dirigés N°4

Exercice 1:

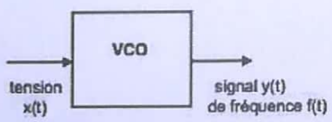
Un analyseur de spectre donne le spectre suivant pour un signal modulé FM.

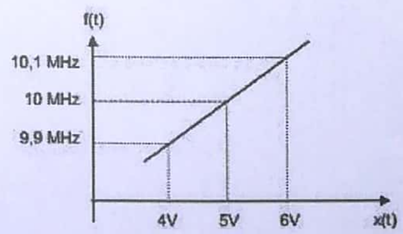


1) Quelles sont les valeurs de f_p et f_m.
2) On se limite à une approximation N=4, calculer l'amplitude de chaque raie de 0 jusqu'à N.
3) Sachant que l'amplitude de la porteuse est A_p=2V, déduire la valeur de β pour en s'appuyant sur le Tableau des coefficients de Bessel.
4) Calculer la puissance d'émission et déduire son pourcentage par rapport à la puissance totale.

Exercice 2:

Pour fabriquer un signal modulé en fréquence, on utilise un oscillateur contrôlé en tension (VCO : Voltage Controled Oscillator) ayant la caractéristique suivante :





On applique à l'entrée de ce VCO le signal x(t) = 5 + 0,5cos(2πFt) avec F = 10 kHz.

1) Calculer la fréquence centrale f_0 du signal en sortie et son excursion en fréquence Δf.
2) En déduire l'indice de modulation β.
3) Tracer le spectre du signal y(t) produit par le VCO sachant qu'il fournit en sortie une tension d'amplitude 5V et en déduire la largeur de bande B occupée par ce signal.
4) Ce signal est envoyé sur l'antenne de résistance R = 50Ω après avoir traversé un ampli de gain G = 40 dB. Calculer la puissance totale émise P.

Scanned by CamScanner

Exercice 3:

Soit le signal modulé en fréquence suivant

$$s_0(t)=A_{c0}\cos[2\pi f_{c0}t+\beta_0\sin(2\pi f_m t)]$$

avec A_c=6V, f_{c0}=3.125Mhz, f_m=20Khz, β_0=0.25
1)Quel est le type de cette modulation FM.
2)Montrer qu'il est possible d'approximer ce signal par une modulation AM.
3)Déterminer le schéma de la modulation
On voudrait passer à une modulation sur la fréquence f_c=100 Mhz , f_m=20Khz, et avec un facteur β=8.
B.1)Déterminer la nature de cette modulation FM.
B.2)Calculer la valeur de n tel que $f_c= 2^n f_{c0}$ et la valeur de p tel que $\beta=2^p\ \beta_0$. Qu'est ce qu'on remarque.
B.3) Montrer qu'en élevant le signal $s_0(t)$ au carré et en appliquant un filtre pass-haut n fois, il est possible de retrouver le signal s(t).

Scanned by CamScanner