Modulation AM

Objectifs partie3 :

A l'issu de ce travail vous serez capable de :

1. Définir la modulation d’amplitude.

3. Comprendre le principe de fonctionnement de la modulation AM.

4. Appliquer les notions acquis pour résoudre les exercices proposer.

La modulation :

La modulation consiste à transformer un signal connu par le signal à transmettre. Le signal à transmettre est appelé signal d’information. Lorsqu’on module un signal, on appelle :

- porteuse : le signal connu

- modulant : le signal d’information

- modulé : le signal résultant de la transformation de la porteuse par le modulant

Le signal connu est généralement un signal sinusoïdal défini par son amplitude et sa fréquence. La fréquence est appelée fréquence porteuse. On trouve parfois un signal d’impulsion (radar) et très rarement d’autres signaux.

Généralement : toutes les modulations grandes publique utilisent des porteuses sinusoïdales, mais il existe néanmoins d’autres types de porteuses.[1]

Modulation AM :

Dans le cas d’une modulation d’amplitude à porteuse conservée et pour un signal modulant sinusoïdal, voici un petit résumé de ce qu’il convient de connaitre :

Expression caractéristique :

Expression caractéristique :

Expression caractéristique :

$S(t)=S_0\,[1+m.\cos(2\pi.\,fa\,.t)].\,\cos(2\pi.f_0\,.t)$

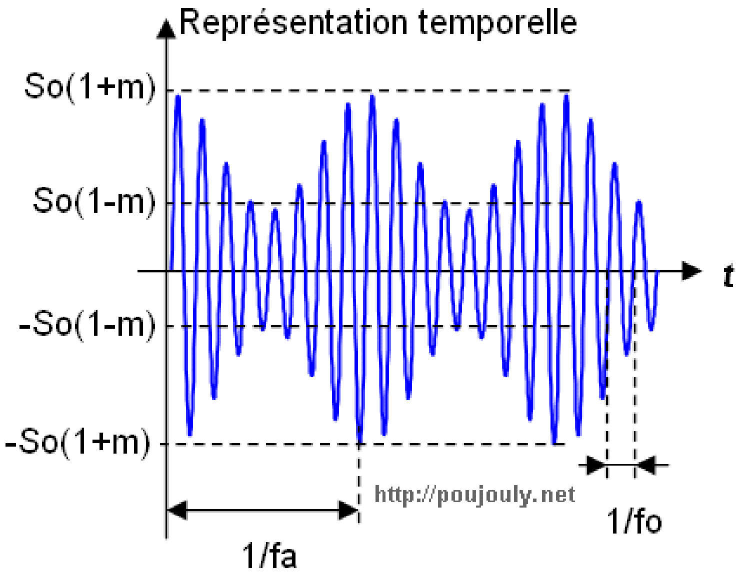
S_0 : Amplitude de la porteuse.

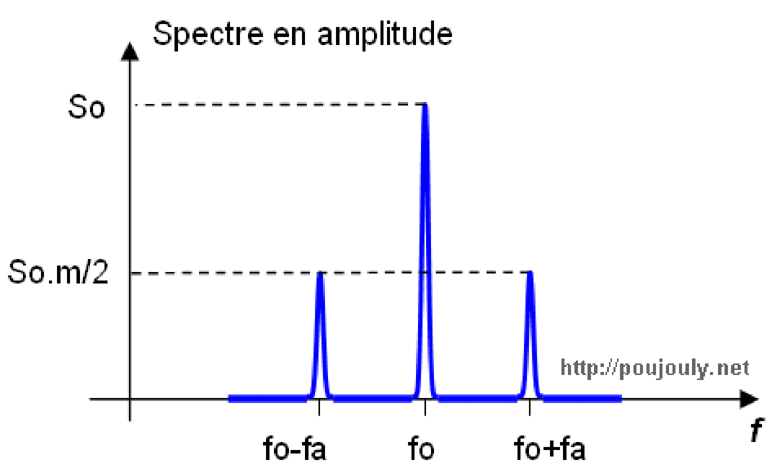
f_0 : fréquence porteuse.

f_a (t) fréquence du modulant (ici sinusoïdal)

m : taux de modulation (inférieur ou égal a 100% en général)

S(t) : signal modulé en amplitude à porteuse conservée.





La largeur de la bande nécessaire à la transmission $Bp=[f_0 - f_a\,,\, f_0 + f_a]$.[2]

SERIE TD N03

Exercice 1 :

Trouver les identités trigonométriques :

sin (a+b) =	sin(a-b)=	cos(a+b)=	cos(a-b)=
cos a .cos b =	sin a. sin b =	sin a . cos b=	sin b . cos a=
cos a + cos b=	cos a-cos b=	sin a + sin b=	sin a – sin b=

Exercice 02 :

Une onde porteuse $v_p(t) = V_p sin(w_p t)$ de haute fréquence f_p est modulée en amplitude par un signal y(t) de fréquence très inférieure à f_p. On note m l'indice de modulation :$0 \prec m \prec 1$.

1. Donner l'expression générale de l'onde modulée s(t).

2. Le signal modulant est sinusoïdal de pulsation $w_m = 2\pi f_m$; $y(t) = sin w_m t$

(a) Exprimer s(t)

(b) Représenter temporellement s(t) pour $m \prec 1$. Préciser les limites d'amplitude.

(c) Quels sont les harmoniques contenues dans le signal s(t) ?

(d) Établir l'expression de la puissance moyenne de chaque harmonique.

(e) Soit P_0 la puissance de l'onde porteuse seule. Donner l'expression de la puissance moyenne P de l'onde modulée en fonction de P_0.

Quelle conclusion peut-on tirer sur la transmission d'une onde modulée en amplitude?

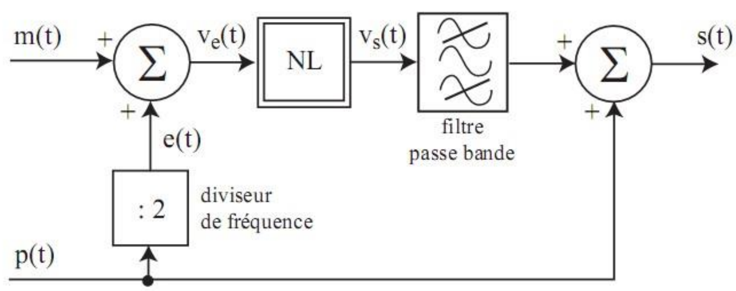
3. Le signal à transmettre y(t) contient une multitude d'harmoniques de fréquences comprises entre deux limites F1 et F2.

(a) Tracer le spectre du signal modulé.

(b) Quelle est la largeur de la bande nécessaire à la transmission?

Exercice 03 : Modulateur AM à non linéarité cubique

Le schéma bloc suivant représente un modulateur d'amplitude où $p(t)= A \cos 2\pi f_0 t$ représente la porteuse et $m(t)= b \cdot x(t)$ le signal modulant avec $|x(t)|\leq 1$. Le circuit non linéaire est caractérisé par l'équation $vs = a\ .\ ve3$ ·



1. Donner l'expression des signaux $v_e(t)$et $v_s(t)$.

2. Quelle est la condition sur le filtre passe bande pour obtenir un signal AM DBAP en sortie?

Donner alors l'expression de s(t).

3. Déterminer l'indice de modulation k du signal AM si A =1, a =2 et b =0,2.

4. Donner la représentation temporelle puis spectrale de s(t).

Solution exercice 1:

sin(a+b)= sina.cosb + sinb.cosa

sin(a-b)= sina.cosb - sinb.cosa

cos(a+b)= cosa.cosb -sina.sinb

cos(a-b)= cosa.cosb + sina.sinb

$\cos a.\cos b = \frac{\cos(a+b)+\cos(a-b)}{2}$

$\sin a.\sin b = \frac{-\cos(a+b)+\cos(a-b)}{2}$

$\sin a.\cos b = \frac{\sin(a+b)+\sin(a-b)}{2}$

$\sin b.\cos a = \frac{\sin(a+b)-\sin(a-b)}{2}$

$\cos a + \cos b = 2\cos\frac{(a+b)}{2}\cos\frac{(a-b)}{2}$

$\cos a - \cos b = -2\sin\frac{(a+b)}{2}\sin\frac{(a-b)}{2}$

$\sin a + \sin b = 2\sin\frac{(a+b)}{2}\cos\frac{(a-b)}{2}$

$\sin a - \sin b = 2\cos\frac{(a+b)}{2}\sin\frac{(a-b)}{2}$

Solution exercice 2:

Porteuse $v_p(t) = V_p sin(w_p t)$, $w_p = 2\pi f_p$

Signal modulant y(t), m indice de modulation $0<m<1$

1-l'expression générale de l'onde modulée s(t)

$s(t) = v_p\,(1+my(t))\sin(2\pi f_p\,t)$

2- le signal modulant est sinusoïdal de pulsation $w_m = 2\pi f_m$

$y(t)=\sin w_m t= \sin(2\pi f_m t)$

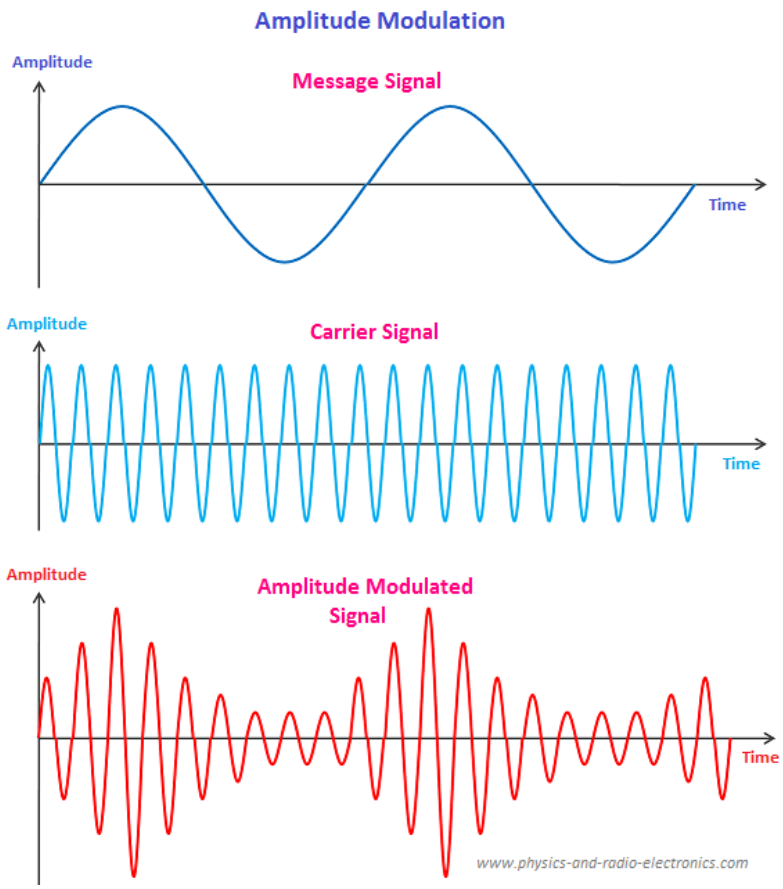
a) $s(t)=v_p\,(1+m\sin(2\pi f_m t))\sin(2\pi f_m t))\sin(2\pi f_p t)$
b) Représentation temporelle de s(t) pour $m<1$

   La porteuse oscille entre deux limites qui sont les enveloppes supérieure et inférieure

   L'enveloppe supérieur a pour équation $x(t)= v_p\,(1+m\sin(2\pi f_m t))$ lorsque $\sin(2\pi f_p t)=+1$

   L'enveloppe inférieure a pour équation $y(t)=- v_p\,(1+m\sin(2\pi f_m t))$ lorsque $\sin(2\pi f_p t)=-1$

   Donc on trouve la forme du signal modulant dans les deux enveloppes



$V_{p\,max} \Rightarrow$ lorsque $\sin(2\,\pi f_m\,t)=1$, $V_{p\,max} = V_p\,(1+m)$

$V_{p\,min} \Rightarrow$ lorsque $\sin(2\,\pi f_m\,t)=-1$, $V_{p\,min} = V_p\,(1-m)$

C) les harmoniques contenues dans le signal s(t)

$s(t)=v_p\,(1+m\,\sin(2\,\pi f_m\,t))\sin(2\pi f_m\,t))\,\sin(2\pi f_p\,t)$

$= v_p\,\sin(2\pi f_p\,t)+ v_p\,\sin(2\,\pi f_m\,t)\,\sin(2\pi f_p\,t)$

$= v_p\,\sin(w_p\,t)+ v_p\,\sin(w_m\,t)\,\sin(w_p\,t)$

$= v_p\,\sin(w_p\,t)+ \frac{v_p m}{2}\cos\,(w_p - w_m\,)t - \frac{v_p m}{2}\cos\,(w_p + w_m\,)t$

Don on a 3 harmoniques : la porteuse, bande latérale supérieure, bande latérale inférieure

d) L’expression de la puissance moyenne de chaque harmonique :

Puissance da la porteuse $P_0 = \frac{Vp^2}{2R}$

Puissance de la bande latérale supérieure $P_{BLS} = \frac{(\frac{Vp^2}{2})^2}{2R} = P_0 \frac{m^2}{4}$

Puissance de la bande latérale inférieure $P_{BLI} = \frac{(\frac{Vp^2}{2})^2}{2R} = P_0 \frac{m^2}{4}$

$P = P_0 + P_{BLS} + P_{BLI} = P_0 (1+\frac{m^2}{4})$

Conclusion : la totalité de la puissance est contenue dans la porteuse⇒ gaspillage de la puissance

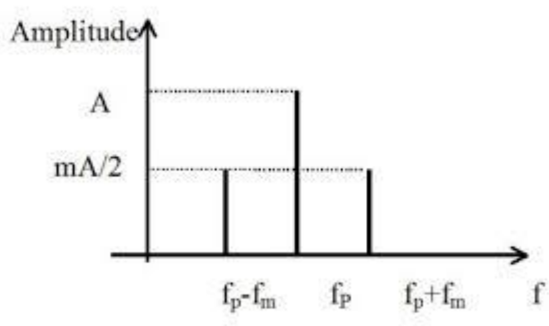
$P_0 > P_{BLS} (P_{BLI})$, alors que l’information se trouve dans les bandes latérales

Pour émettre avec une consommation plus faible, on peut supprimer la porteuse et émettre uniquement une seule bande latérale c’est la modulation BLU (bande latérale unique) très utilisée dans les équipements portables.

3- on a trouvé que :

a) $s(t) = v_p \sin(w_p t) + \frac{v_p m}{2} \cos (w_p - w_m)t - \frac{v_p m}{2} \cos (w_p + w_m)t$

donc le spectre est formé de 3 raies et a l’allure suivante :



A= v_p

a) la largeur de la bande nécessaire à la transmission : $B = 2f_m$

Solution exercice 3:

$P(t) = A\cos(2\pi f_0 t)$ porteuse

$m(t) = b.x(t)$ Signal modulant avce $|x(t)| \leq 1$

le circuit linéaire est caractérisé par l'équation $V_s = a v_e^{\ 3}$

1- l'expression de $V_e(t)$ et $V_s(t)$

on a $V_e(t) = m(t)+e(t) = b\,x(t) + A\cos\frac{w_0 t}{2}$ avec $w_0 = 2\pi f_0$

et $V_s(t) = a\,V_e(t)^3 = a(\,b\,x(t) + A\ \cos\frac{w_0\,t}{2})^{\,3}$

$$= ab^3x(t)^3 + 3ab^2\,x(t)^2\,A\cos\frac{w_0 t}{2} + 3ab\,x(t)\,A^2\cos^2(\frac{w_0\,t}{2}) + aA^3\cos^3(\frac{w_0\,t}{2})$$

$$= ab^3x(t)^3 + 3ab^2\,x(t)^2\,A\cos(\frac{w_0\,t}{2}) + 3ab\,x(t)\,A^2(\frac{1+\cos w_0 t}{2}) + aA^3(\frac{\cos\frac{3w_0\,t}{2} + 3\cos\frac{w_0\,t}{2}}{4})$$

$$\mathrm{Vs}\ (\mathrm{t}) = \mathrm{ab}^3 x(t)^3 + 3\mathrm{ab}\,x(t)\mathrm{A}^2\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\cos \mathrm{w}_0\ \mathrm{t}\right) + 3ab^2\,x(t)^2 A\cos\frac{w_0 t}{2}$$
$$+ a\,A^3(\frac{3}{4}\cos\frac{w_0 t}{2} + \frac{1}{4}\cos\frac{3w_0 t}{2})$$

2- Vs (t) possède des composantes spectrales aux fréquences f_0 , $\frac{f_0}{2}$,3 $\frac{f_0}{2}$

La composante à la fréquence $f_0$correspond au produit de x(t) par la porteuse, il faut donc garder seulement ce terme pour obtenir la modulation souhaitée ⇒ le filtre passe bande doit donc posséder une fréquence centrale $f_c = f_0$ ⇒ la sortie du filtre passe bande il ne reste que le terme $\frac{3}{2}\,\mathrm{abA}^2\ x(t)\cos \mathrm{w}_0\ \mathrm{t}$

Le signal s(t) s'écrit alors

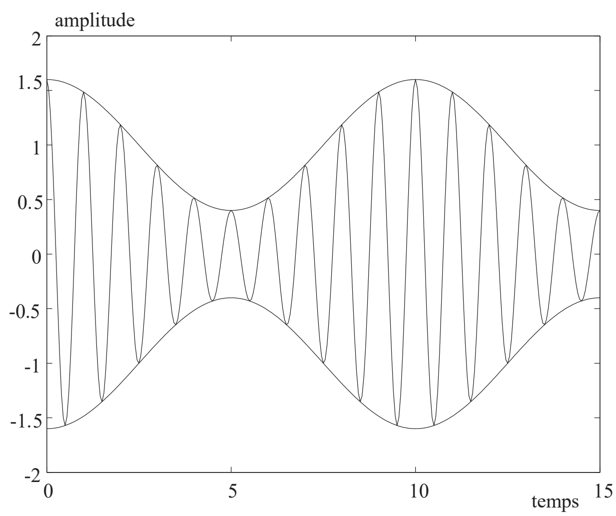
$$S(t) = A\cos 2\pi f_0\,t + \frac{3}{2}\,\mathrm{abA}^2\ x(t)\cos 2\pi f_0\,t = A(1+\frac{3}{2}\,\mathrm{abA}x(t))\cos 2\pi f_0\,t$$

C'est bien un signal AM DBAP dont l'indice de modulation est m=$\frac{3abA}{2}$ puisqu'on a |x(t)|≤1

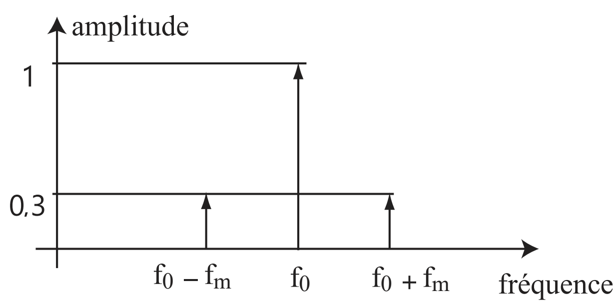
3- Pour A=1 a= 2 b= 0.2

m=$\frac{3abA}{2} = 0.6$

4- Représentation temporelle de S(t)



Représentation spectrale



Références :

[1] : https://www.lias-lab.fr/perso/fredericlaunay/Cours/T1/Modulation%20Analogique%20etudiant.pdf

[2] : https://poujouly.net/2012/03/03/modulation-am/