Modulation d'amplitude

1 Introduction

Objectif :

Transmettre des signaux analogiques (son, vidéo, information,...) par communication sans fil (voie hertzienne)

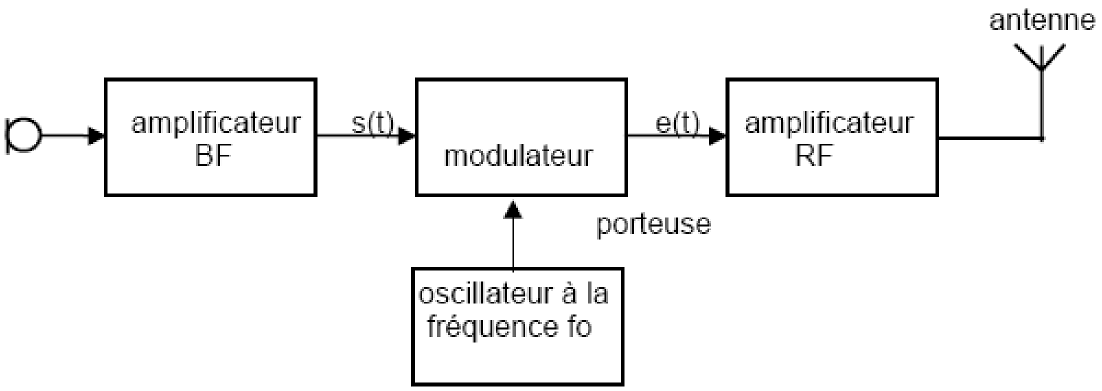
Principe :

Cette transmission ne peut se faire qu'en haute fréquence pour plusieurs raisons :

Taille des antennes

Pouvoir transmettre plusieurs signaux simultanément

Schéma d'une transmission par voie hertzienne



Le signal à transporter étant souvent basse fréquence, nécessité de le décaler en haute fréquence

Modulation d'amplitude (MA) :

Radiodiffusion	GO 150-255 khz
	PO 525-1605 khz
	Autres bandes : (VHF, BLU, armée,...)

Définitions :

Signal modulant : basse fréquence Vm(t). Il contient l'information

Exemple : signal audio 20Hz < F < 20kHz

Porteuse Vp(t) : haute fréquence permet de porter l'information

Exemple Fp=150 à 255 khz en AM GO   Fp>>F

Signal transmis Vam(t): c'est la porteuse Vp(t), modulée en amplitude par le signal modulant Vm(t).

2 Modulation d'amplitude avec porteuse

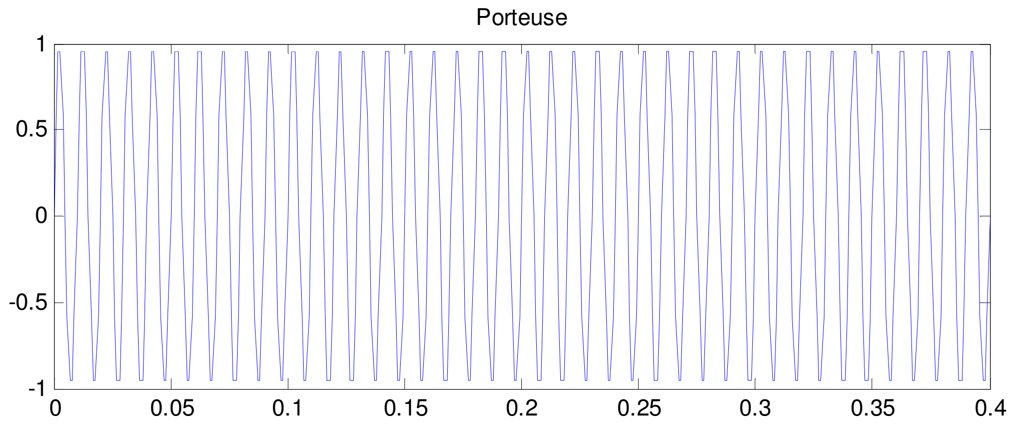
2.1 Définition

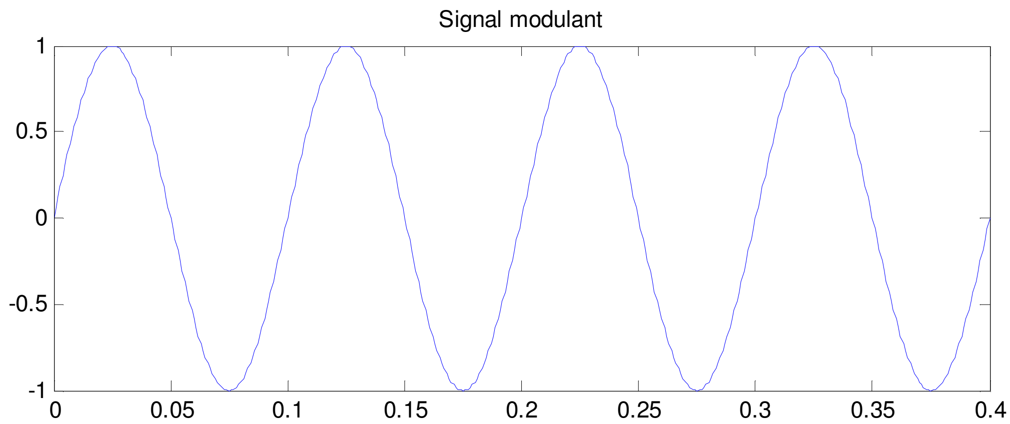
Soit une porteuse sinusoïdale :

$vp(t) = Ap.\cos(\omega p.t)$ avec $Ap=2V$ et $fp=\omega p/2\pi = 100khz$

Le signal modulant : $vm(t) = C+Am.\cos(\Omega t)$ avec $Am=5V$ et $F=\Omega/2\pi = 5$ khz

C : composante continue (offset) ajouté à la sinusoïde





2.2 Forme d'onde du signal AM

Le signal transmis modulé en amplitude est le produit des 2 précédents signaux. Il sera de la forme :

$Vam(t)= k.vp(t)*vm(t) = k.Ap.\cos(\omega p.t)*(C+Am.\cos(\Omega t)$

k : coefficient de multiplication en V^{-1}

Soit

$Vam(t)=k.Ap.C.(1+(Am/C).\cos(\Omega t)) .\cos(\omega p.t)$

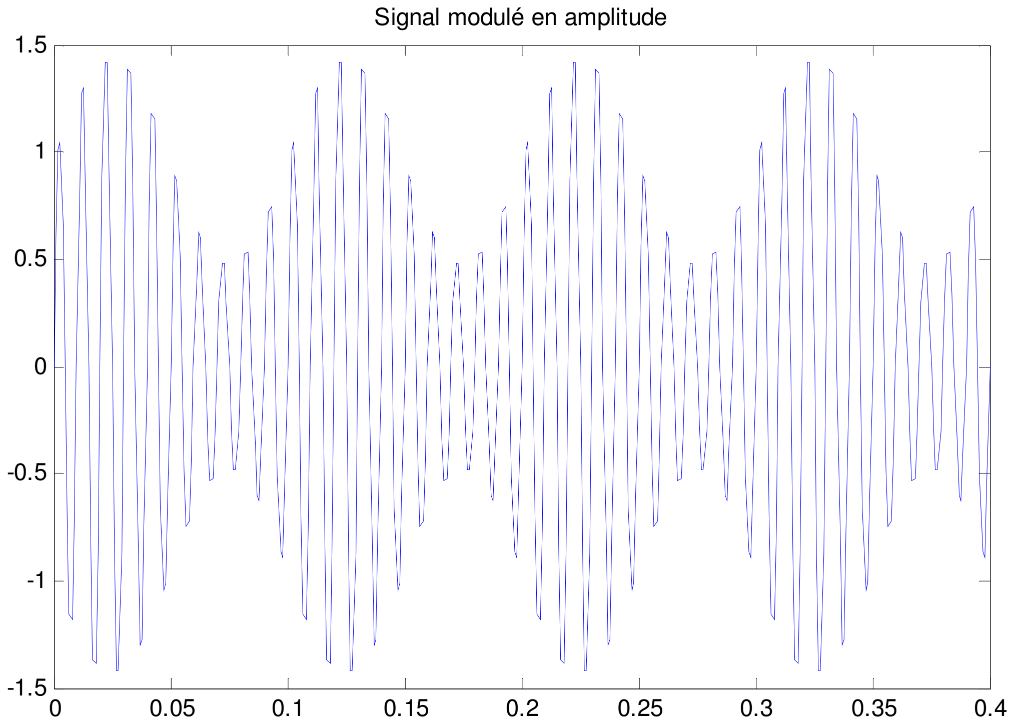
Le terme

$k.Ap.C.(1+(Am/C).\cos(\Omega t)$

est l'amplitude instantanée du signal émis

$m = \frac{Am}{C}$ est le **taux ou indice de modulation**

$\boxed{Vam(t)=k.Ap.C.(1+m.\cos(\Omega t)) .\cos(\omega p.t)}$



2.3 Spectre du signal AM avec porteuse

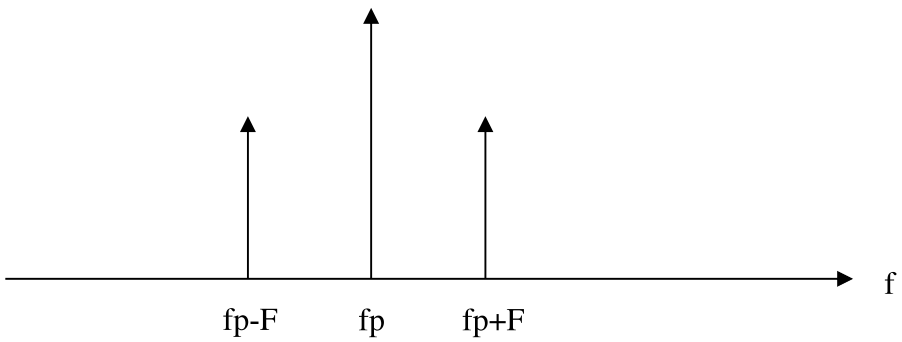
En développant :

Vam(t)= k.Ap.C.cos(ωp.t)+ k.Ap.C.m.cos(Ωt).cos(ωp.t)

=k.Ap.C.cos(ωp.t)+k.0,5.Ap.C.m[cos(ωp-Ω)t+cos(ωp+Ω)t]

Le spectre donne donc 3 raies :

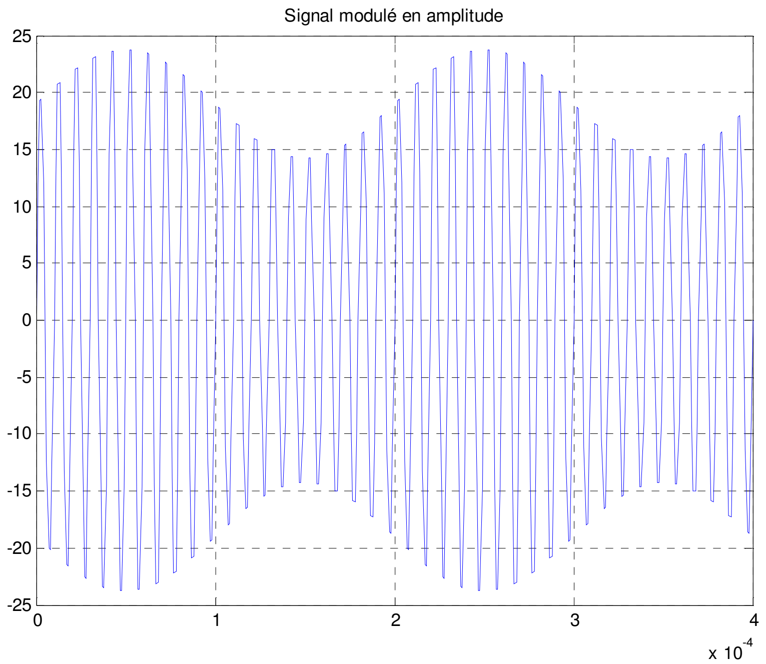
1 raie à la fréquence fp (porteuse)
1 raie à la fréquence fp - F
1 raie à la fréquence fp +F



2.4 Exemples

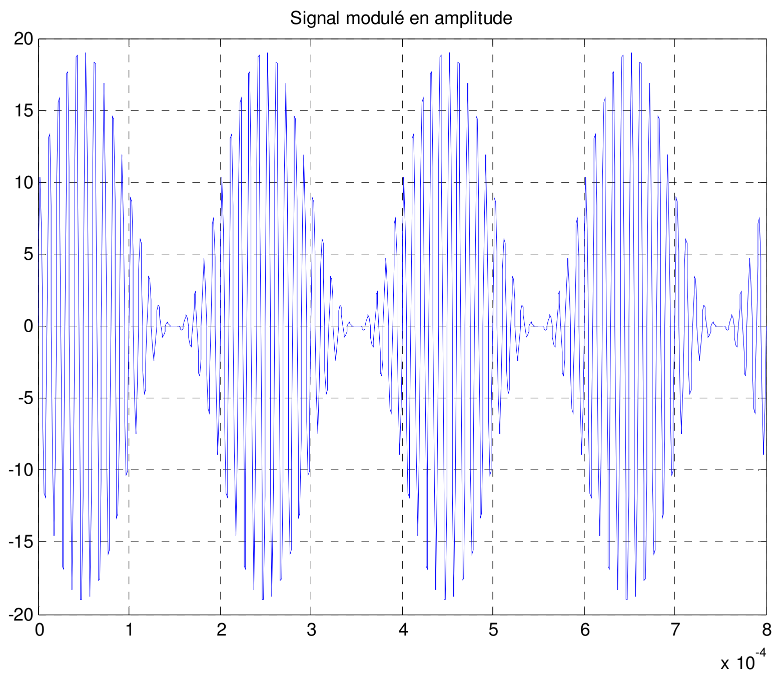
Exemple 1 :

Ap=2V et fp=ωp/2π =100 khz
Am=5V et F=Ω/2π = 5 khz
m=0,5 => C=10V



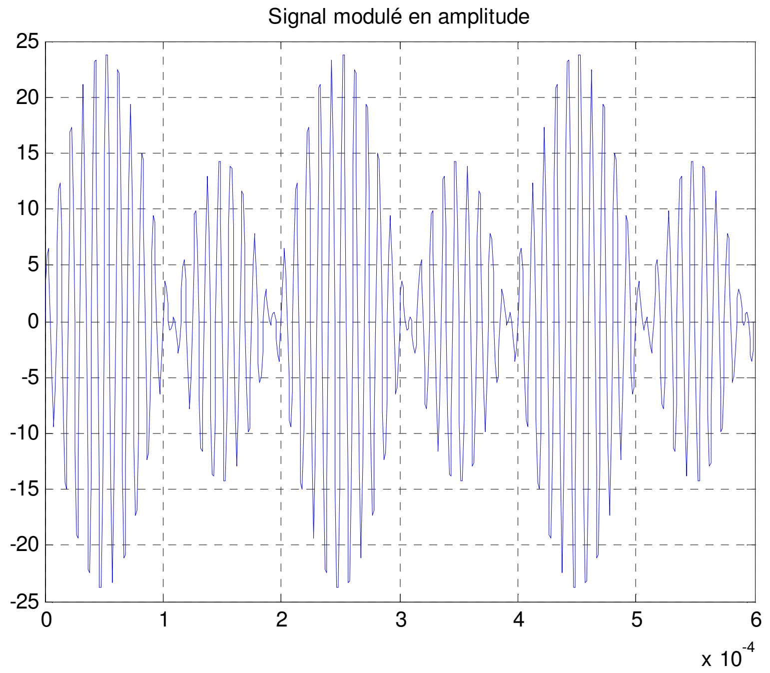
Exemple 2 :

Ap=2V et fp=ωp/2π =100 khz
Am=5V et F=Ω/2π = 5 khz
m=1 => C=5V



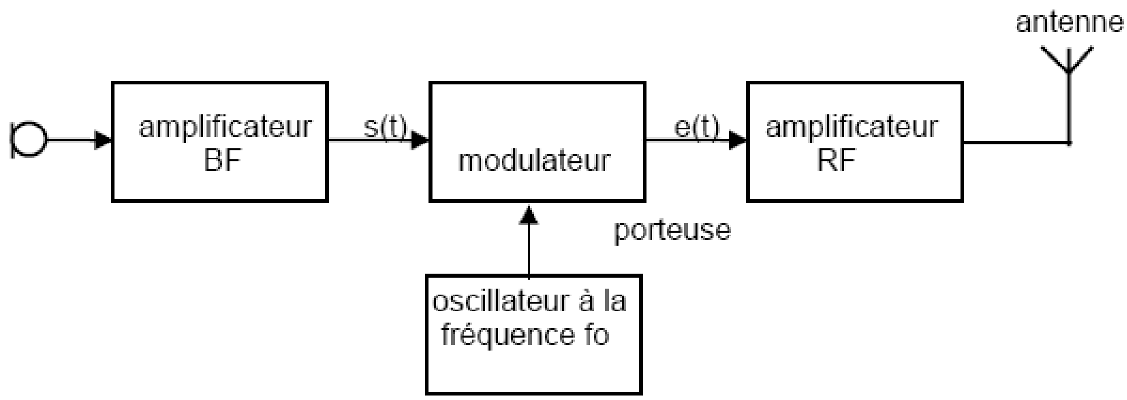
Exemple 3 :

Ap=2V et fp=ωp/2π =100 khz
Am=5V et F=Ω/2π = 5 khz
m=2 => C=2,5V



2.5 Puissance transportée par un signal AM

Le signal AM est appliqué à l'antenne qui se comporte vis-à-vis de l'amplificateur de sortie comme une charge résistive R :



Vam(t)=k.Ap.C.cos(ωp.t)+k.0,5.Ap.C.m[cos(ωp-Ω)t]+ k.0,5.Ap.C.m [cos(ωp+Ω)t]

On notera E=k.Ap.C

Rappel :

La puissance moyenne d'un signal sinusoïdal V.sin(ωt) dans une résistance R vaut $V^2/2R$

$$Pmoy = \frac{1}{T}\int_0^T V^2.\sin^2(\omega t).dt$$

La puissance totale dissipée dans l'antenne et donc émise vaut :

$$P = \frac{E^2}{2R} + \frac{(m.E/2)^2}{2R} + \frac{(m.E/2)^2}{2R}$$

Prenons un exemple numérique : E = 50V, m = 0,5 , antenne R = 50Ω

Nous aurons : pour la porteuse Pp = 25 W et pour une raie latérale : Ps = Pi = 1,56 W
soit une puissance totale de : P = 25 + 1,56 + 1,56 = 28,12 W

Puissance importante dans la porteuse alors que l'information se trouve dans les bandes latérales
D'où
Modulation sans porteuse
Modulation BLU

Exercice 3 :
Lorsque m=0,2 Pp=25W et Ps=Pi=1W
Lorsque m=1 Pp=25W et Ps=Pi=6,25W
Préférable m=1

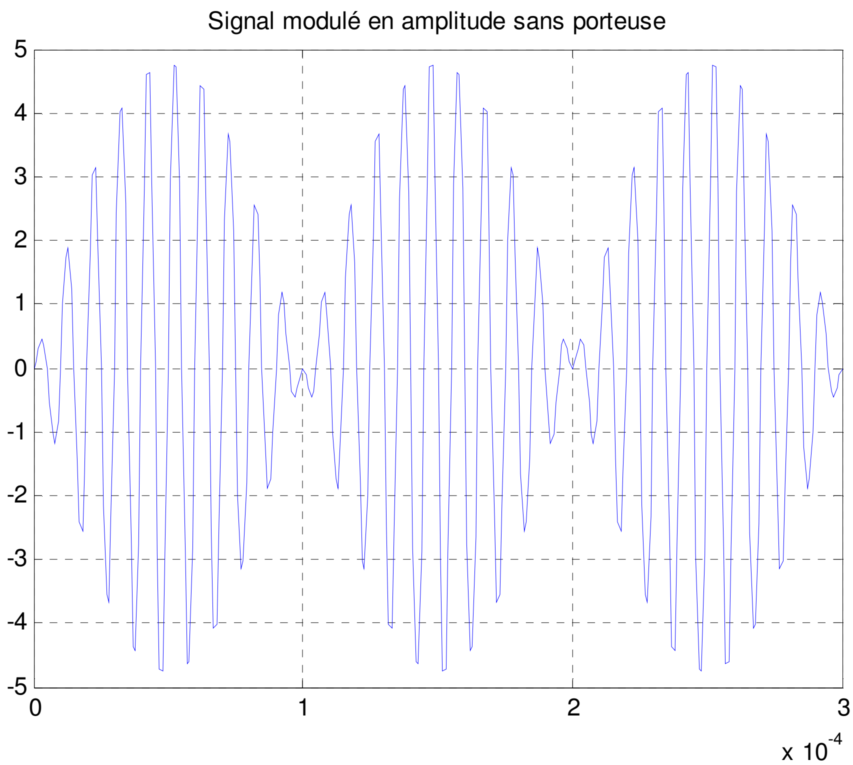
3 Modulation d'amplitude sans porteuse

3.1 Définition

Cette fois, le signal modulant est de la forme :
vm(t) =Am. sin(Ωt) (plus de composante continue)
La porteuse est identique
vp(t) = Ap.sin(ωp.t)

Le signal modulé en amplitude sans porteuse est encore le produit des 2 précédents signaux

$\boxed{Vam(t)=k.Ap.Am.\sin(\Omega t))\ .\sin(\omega p.t)}$



3.2 Spectre du signal AM sans porteuse

En développant :

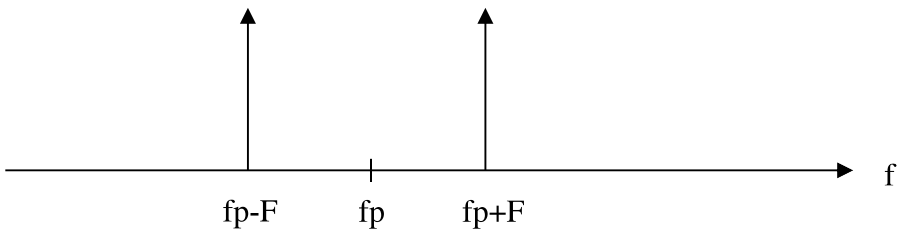
$Vam(t)= k.Ap.Am.\sin(\Omega t).\sin(\omega p.t)$

$=0,5.k.Ap.Am[\cos(\omega p-\Omega)t-\cos(\omega p+\Omega)t]$

Le spectre donne donc 2 raies :

1 raie à la fréquence fp - F

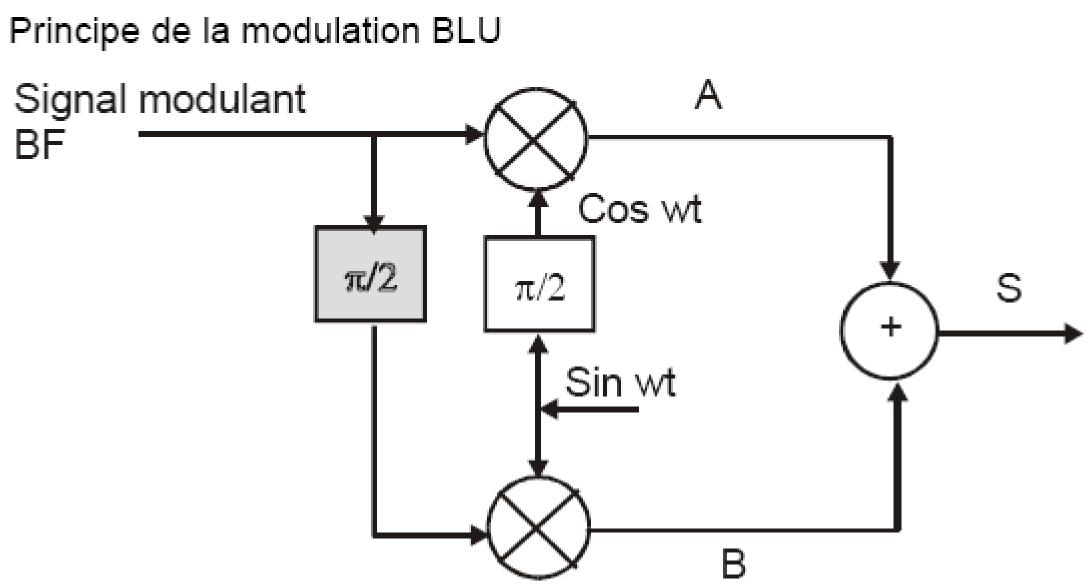
1 raie à la fréquence fp +F



La modulation AM sans porteuse est difficile à démoduler à cause de la non présence de porteuse

4 Modulation à bande latérale unique BLU

Signal plus délicat à produire.
Puissance à émettre plus faible qu'en AM classique donc portée plus élevée



$A= Am.\cos(\Omega t).Ap.\cos(\omega t)$

$B= Am.\cos(\Omega .t+\pi/2).Ap.\cos(\omega.t+ \pi/2)= AP.\sin(\Omega t).Ap.\sin(\omega t)$

$S = Am.Ap.\cos(\Omega - \omega)t$

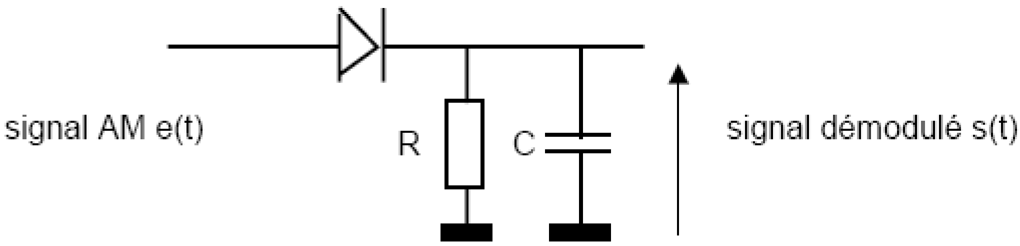
Seule subsiste la raie latérale inférieure

Démodulation d'amplitude

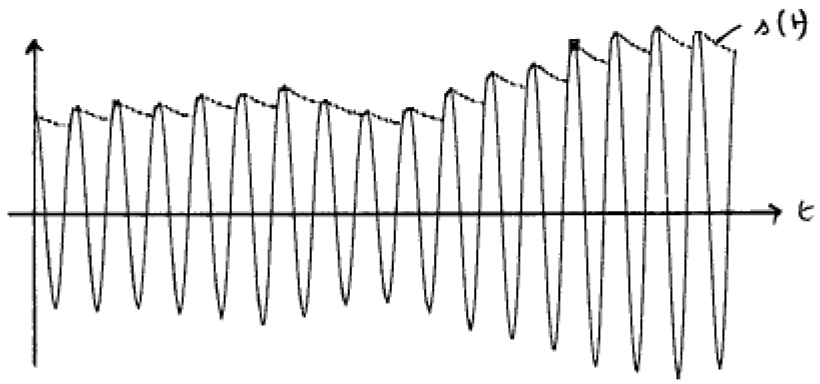
Vm(t) signal modulant (BF) : information de fréquence F avec Fmin< F <Fmax
Vp(t) porteuse (HF) fp>>F
Vam(t) signal émis Vam(t)= E.(1+m.cos(Ω.t))cos(ωp.t)
Vd(t) signal démodulé

1 La détection d'enveloppe

Schéma de principe



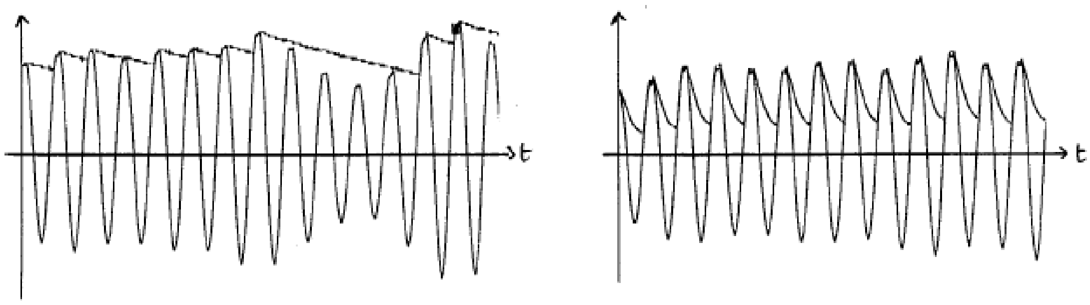
Allure du signal de sortie lorsque R et C sont correctes



Choix de la constante de temps :

$$\boxed{To=1/fp \ll \tau=RC \ll 1/F}$$

Si la constante de temps du circuit RC est trop grande ou trop faible, le signal de sortie de ce démodulateur ne reproduit pas fidèlement le signal basse-fréquence modulant :



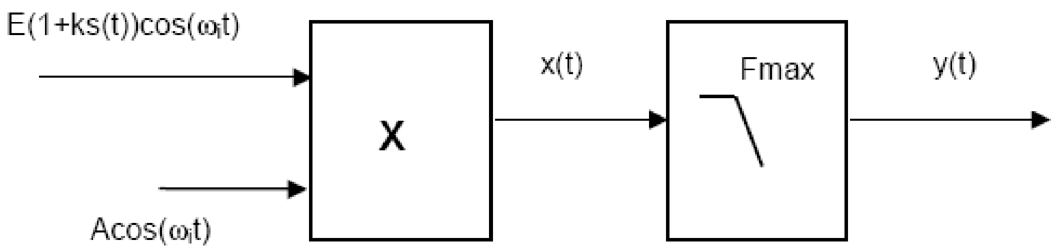
constante de temps trop grande   constante de temps trop faible

Contraintes :

- m<1
- niveau de tension suffisant à cause de la tension de seuil de la diode (qq centaines de mV)

2 Démodulation synchrone

Dans une démodulation synchrone, on multiplie simplement le signal AM par un signal sinusoïdal en phase (synchrone) avec la porteuse :



$x(t) = E.(1+m.\cos(\Omega.t))\cos(\omega p.t).\ A.\cos(\omega p.t)$

$x(t) = E.A.\cos^2(\omega p.t).(1+m.\cos(\Omega.t))$

$x(t) = E.A.(1+m.\cos(\Omega.t)).(1+\cos(2\ \omega p.t))/2$

$x(t)= A.E/2[1+ \cos(2\ \omega p.t) + m.\cos(\Omega.t) + m.\cos(\Omega.t).\ \cos(2\ \omega p.t)]$

$x(t)= A.E/2 + E.A.m.\cos(\Omega.t)/2 + A.E.\cos(2\ \omega p.t)/2 + A.E.\cos(\Omega.t).\ \cos(2\ \omega p.t)/2$

soit le spectre suivant

Après filtrage et suppression de la composante continue :

$$\boxed{y(t) = E.A.m.\cos(\Omega.t)/2}$$

Cette démodulation nécessite la reconstitution d'une porteuse synchronisée avec la porteuse du signal AM

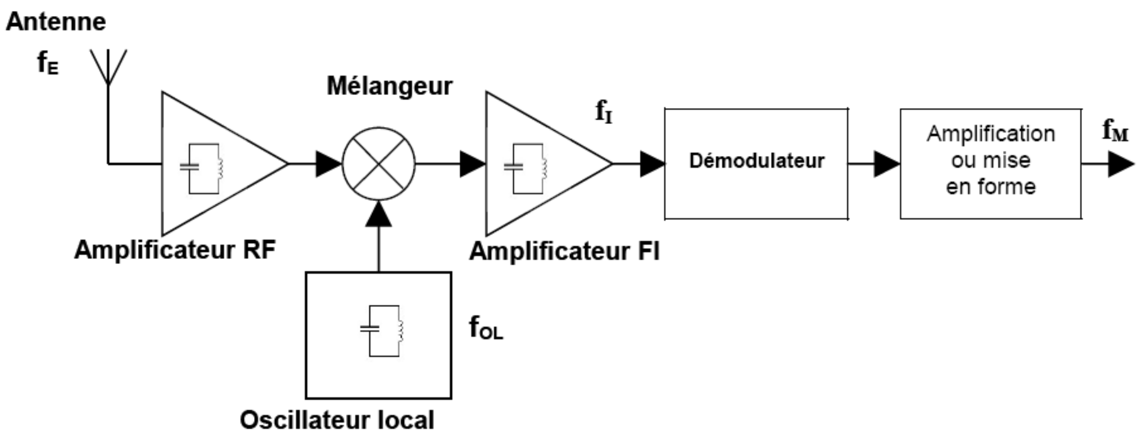
3 Réception de radiodiffusion AM, le récepteur superhétérodyne

Si l'émetteur est loin du récepteur, le signal AM sera de quelques microvolts
Une amplification HF est donc nécessaire
Pour recevoir des émetteurs dont 150 kHz < fp <1 Mhz , ampli très difficile à réaliser

3.1 Principe du récepteur superhétérodyne

Amener le signal autour d'une fréquence fi.
Amplifier autour de cette fréquence fi.

Schéma bloc superhétérodyne



$Vam(t) = E.s(t).\cos(\omega p.t)$
$VL(t) = Vl.\cos(\omega_{OL}.t)$

$Vm(t) = Vam(t) * VL(t) = E.\ Vl.s(t).\cos(\omega p.t).\ \cos(\omega_{OL}.t)$
$=[\ E.\ Vl.]/2.[\ s(t).\cos(\omega p+\omega_{OL})t+ s(t).\cos(\omega p-\omega_{OL})t]$

On choisit ω_{OL} tel que $\omega p - \omega_{OL} = \omega i$

L'amplificateur sélectif amplifie autour de fi

Spectres et chronogrammes
Fp=162

Fi=455
Fol= fi+fp =162+455=617
Donc fp+fol=779

3.2 Fréquence image

En réalité, $\omega i = \omega p - \omega_{OL}$ ou $\omega i = \omega_{OL} - \omega p$ puisque $\cos(-x)=\cos(x)$
Une autre fréquence ωp peut être captée et rentrer dans le filtre fi

Fi=fp-fol
Fi=fol-fp'
Soit
2.fi=fp-fp'

$$\boxed{fp'=fp-2.fi}$$