Chapitre 3

Modulation Angulaire : Modulation de fréquence, modulation de phase.

3.1. Introduction

La modulation d'amplitude repose sur la variation de l'amplitude de la porteuse en fonction de l'information à transmettre. Le signal est ainsi très sensible au bruit et à l'atténuation (ex : tunnel). La modulation de phase et de fréquence, l'amplitude est fixe, l'information est portée par la variation de la phase ou de la fréquence. C'est de deux types de modulations sont aussi dénommés **Modulation Angulaire**.

3.2. Modulation de fréquence

Pour la modulation de fréquence, la fréquence de la porteuse est modifiée en fonction du signal modulant.

Soient :

- La port $v_p(t) = A\cos(2\pi f_p t + \theta)$
- Le modulant (signal d'information) : $m(t) = a\cos(2\pi f_m t)$
- Le signal modulé : $v_t(t) = A\cos\left(2\pi f_p t + 2\pi k_f \int_0^t a\cos(2\pi f_m u)du\right)$

Le signal modulé s'écrit donc

$$v_t(t) = A\cos\left(2\pi f_p t + \frac{k_f a}{f_m}\sin(2\pi f_m t)\right)$$

$\Delta f = k_f a$: **la déviation fréquentielle**

$m = \dfrac{\Delta f}{f_m}$: **L'indice de modulation**

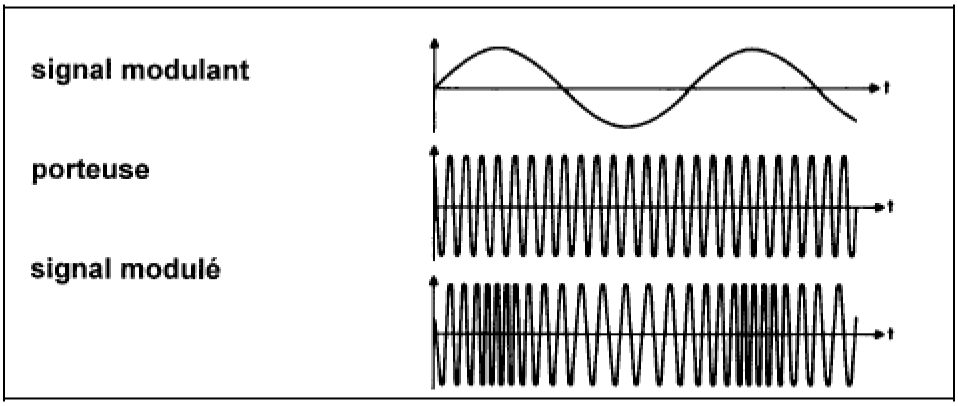
Dans certaines notations, le signal modulant s'écrit : $m(t) = \Delta\omega\cos(\Omega t)$,

$\Delta\omega$: l'amplitude du signal modulant et on trouve l'indice de modulation : $m = \dfrac{\Delta\omega}{\Omega}$

Remarque : L'excursion en fréquence est liée à l'amplitude du signal modulant.

Représentation temporelle

La figure ci-dessous montre l'allure du signal modulé FM dans le cas où le signal modulant est un signal sinusoïdal :



Représentation fréquentielle

Formule de Bessel

$$\cos(m.\sin a) = J_0(m) + 2J_2(m).\cos(2a) + 2J_4(m).\cos(4a) + \ldots$$
$$\sin(m\sin a) = 2J_1(m).\sin(a) + 2J_3(m).\sin(3a) + \ldots$$

avec J, la fonction de Bessel définie par :

$$J_n(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \left(x/2\right)^{n+2k}}{k!(n+k)!}.$$

pour un signal modulant : $s(t) = a\cos(\Omega t)$

Le signal modulé en fréquence est un signal sinusoïdal d'amplitude E et de fréquence f(t). Son expression mathématique est donc la suivante :

$$e(t) = E\cos(\theta(t)) = E\cos(\omega_o t + 2\pi k \int s(t)dt)$$

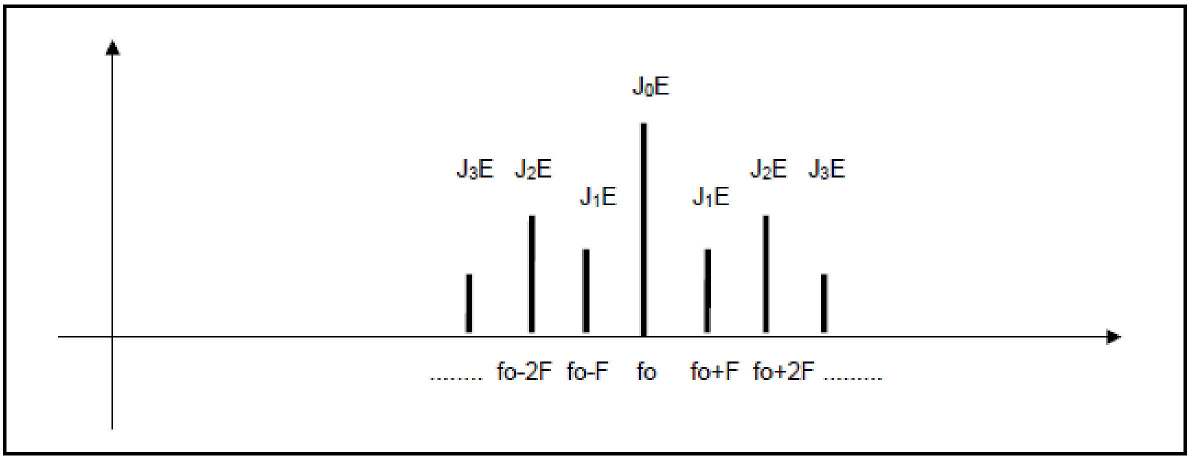
$$= E\cos(\omega_o t + m\sin(\Omega t))$$

Cette expression se développe à l'aide des fonctions de Bessel :

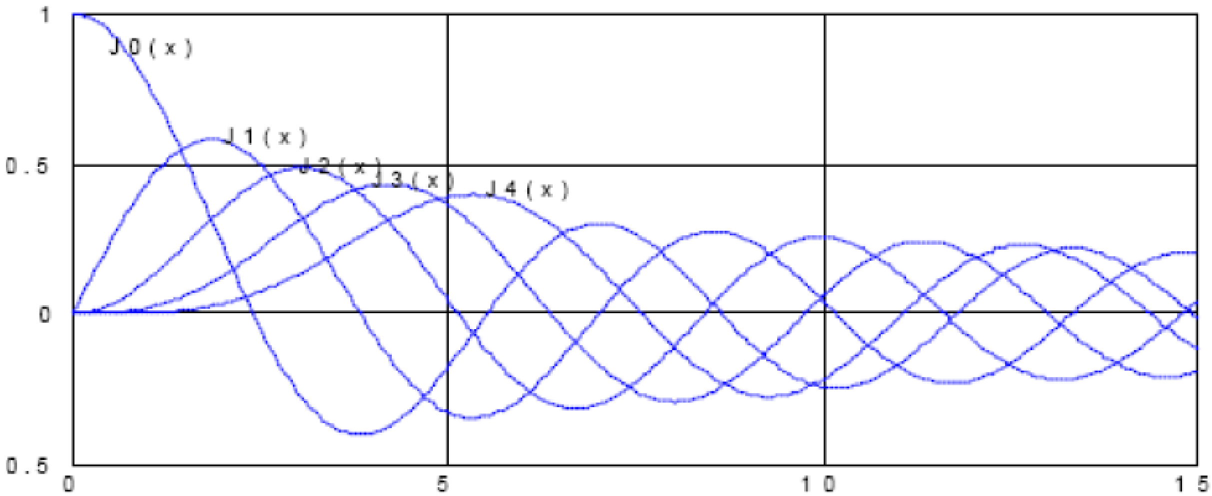
$$e(t) = EJ_0(m)\cos(\omega o t + \varphi o) + EJ_1(m)\cos[(\omega o \pm\Omega)t + \varphi 1] + EJ_2(m)\cos[(\omega o \pm 2\Omega)t + \varphi 2] + \ \dots$$

où J0(m), J1(m), J2(m) ... sont les fonctions de Bessel paramétrées en m

Le spectre du signal FM a donc l'allure générale suivante :



La figure suivante représente les 5 premières fonction de Bessel en fonction de l'amplitude x.



Fonction de Bessel

Règle de Carson

La règle de Carson indique la bande spectrale du signal après modulation angulaire pour laquelle on trouve au moins 98% de l'énergie transmise. Si l'indice de modulation est faible, la bande spectrale occupée est égale à 2Ω Si l'indice de modulation est élevée, la bande spectrale occupée est égale à $2(\Delta\omega+\Omega)$

3.3. Modulation de phase

Pour la modulation de phase, la phase de la porteuse est modifiée en fonction du signal modulant, autrement dit le signal modulant modifie la phase de la porteuse par une fonction linéaire.

$$v_m(t) = S_p.\cos\left(2\pi f_p t + \theta(t)\right)$$

avec la phase qui varie linéairement par rapport au signal à transmettre :

$$\theta(t) = k.S_i(t)$$