

TP 03 : Principe de modulation démodulation en fréquence (FM)

TP Fonction de l'Électronique

Dr Lezzar

Table des matières



Objectifs	3
I - Étude théorique :	4
1. Modulation	4
1.1. Spectre en fréquence	5
2. Démodulation	7
2.1. Démodulation par discriminateur	7
2.2. Démodulation à quadrature	8
II - Manipulation	10
1. Réalisation de la modulation / démodulation	10
1.1. Démodulation par discrimination	11
1.2. Démodulation à quadrature	11

Objectifs

- Moduler un signal en fréquence avec l'équation.
- Maîtriser en pratique la démodulation par discrimination et à quadrature.
- Étudier l'indice de modulation

Complément

Le signal modulant est de la forme : $V_s(t) = U_s \cos(2\pi f_s t)$ et la fréquence instantanée est donnée par : $f_i(t) = f_p + K_f \cdot U_s \cos(2\pi f_s t)$, $K_f \cdot U_s$ est homogène à une fréquence.

La fréquence instantanée varie dans l'intervalle suivant : $f_p - \Delta f < f_i < f_p + \Delta f$.

$\Delta f = K_f \cdot U_s$ est appelé l'excursion en fréquence.

Le signal modulé est donné par l'expression suivante :

$$V_m(t) = U_p \cos(2\pi f_p t + \beta \sin(2\pi f_s t))$$

Méthode : Indice de modulation

$\beta = \Delta f / f_s$ est appelé Indice de modulation

1.1. Spectre en fréquence

$$V_m(t) = U_p \cos(2\pi f_p t + \beta \sin(2\pi f_s t))$$
$$V_m(t) = U_p \cos(2\pi f_p t) \cos(\beta \sin(2\pi f_s t)) - U_p \sin(2\pi f_p t) \sin(\beta \sin(2\pi f_s t))$$

Dans le cas où β est faible ($\beta < 1$), on parle de modulation à bande étroite.

$$\cos(\beta \sin(2\pi f_s t)) \approx 1$$
$$\sin(\beta \sin(2\pi f_s t)) \approx \beta \sin(2\pi f_s t)$$
$$V_m(t) = U_p \cos(2\pi f_p t) - U_p \beta \sin(2\pi f_p t) \sin(2\pi f_s t)$$
$$V_m(t) = U_p \cos(2\pi f_p t) - \frac{U_p \beta}{2} (\cos(2\pi (f_p - f_s) t) - \cos(2\pi (f_p + f_s) t))$$

Remarque

Le spectre est identique à celui d'une DBAP mais il y a opposition de phase entre la raie supérieure et la raie inférieure.

Dans le cas où β est élevé ($\beta > 1$)

$$V_m(t) = U_p \sum_{n=-\infty}^{+\infty} (J_n(\beta)) \cos(2\pi (f_p - n f_s) t)$$

Remarque

On obtient un spectre de raies symétrique par rapport à f_p et avec un écart de $f_m(f_s)$ entre chaque raie selon la fonction de Bessel comme on peut le voir sur la Figure 2

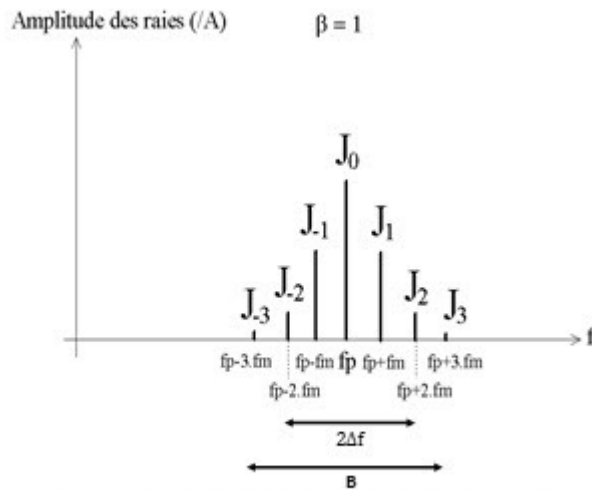


Figure 2 : Largeur de la bande Spectrale FM avec $\beta > 1$

Méthode

On cherche souvent à optimiser la largeur du spectre transmis pour qu'il soit adapté à la Largeur d'un canal. La largeur de Bande du signal modulé en fréquence est proportionnelle à β . On déduit que la largeur de Bande B nécessaire à la transmission d'un signal modulé en fréquence avec un indice β et une fréquence f_s est : $B = 2 * (\beta + 1) * f_s$

La Figure 3 montre l'allure des fonctions de Bessel de 1ère espèce en fonction de l'indice de modulation β .

Pour certaines valeurs de β (2.4, 5.52, 8.65, 11.79), $J_0(\beta) = 0$ et donc l'amplitude de la porteuse est nulle.

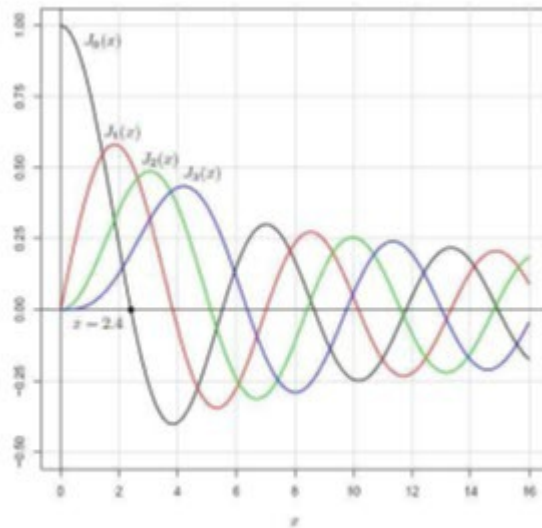


Figure 3 : Fonction de Bessel 1ère ordre

2. Démodulation

2.1. Démodulation par discriminateur

Ce type de démodulateur est peu utilisé aujourd'hui. Le but du discriminateur est de dériver le signal modulé en fréquence. L'amplitude est alors proportionnelle au signal modulant. Un détecteur d'enveloppe permet d'extraire uniquement l'amplitude du signal modulant.

Méthode

Pour dériver le signal, on utilise un circuit de type filtre qui fait varier l'amplitude en fonction de la fréquence figure 4.

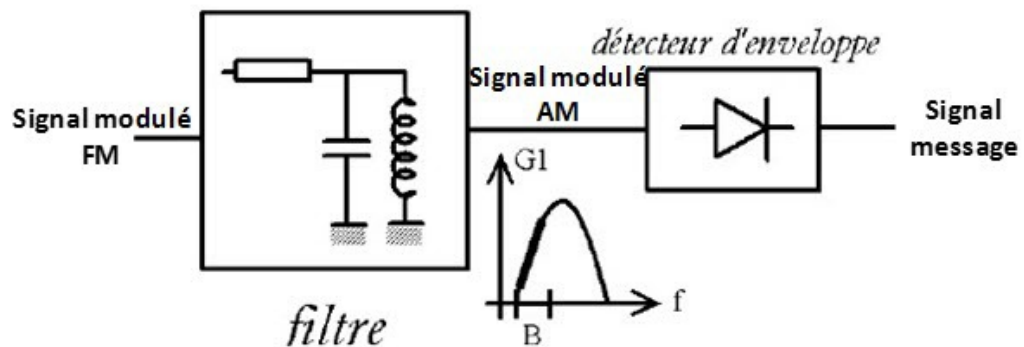


Figure 4 : Discriminateur à filtre passe bande

Fondamental

Donc la discrimination de fréquence permet de passer de la modulation FM à la modulation AM+FM, par la variation de l'amplitude du signal FM modulé en amplitude par le filtre figure 5.

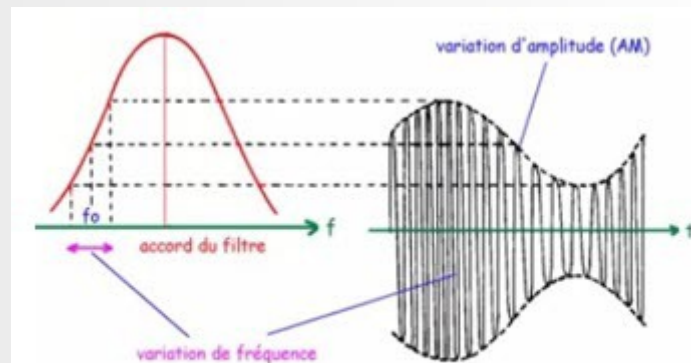


Figure 5 : Principe de la discrimination

Remarque

Pour une fréquence élevée on aura une amplitude élevée et pour la fréquence faible on aura une amplitude faible. Ensuite on passe à la Détection de l'enveloppe par Redressement du signal et filtrage.

2.2. Démodulation à quadrature

✂ Méthode

Ce démodulateur utilise un circuit déphaseur dont la phase varie linéairement en fonction de la fréquence $\theta(f) = \pi/2 - a(f - f_p)$ mais qui ne modifie pas l'amplitude du signal. (On choisit un circuit déphaseur de $\pi/2$ avec une fréquence de résonance de la fréquence porteuse d'où le nom de quadrature figure 7).

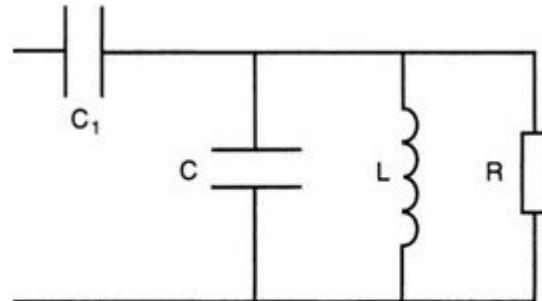


Figure 7 : Circuit déphaseur de en accordé avec la porteuse

La fréquence de résonance du circuit se calcule comme suite : $f_0 = \frac{1}{(2 * \pi * \sqrt{(L * (C1 + C))})}$

📦 Complément

Ensuite, il suffit d'utiliser un détecteur de phase pour obtenir un signal démodulé à la sortie du dispositif. L'ensemble est organisé selon le schéma suivant :

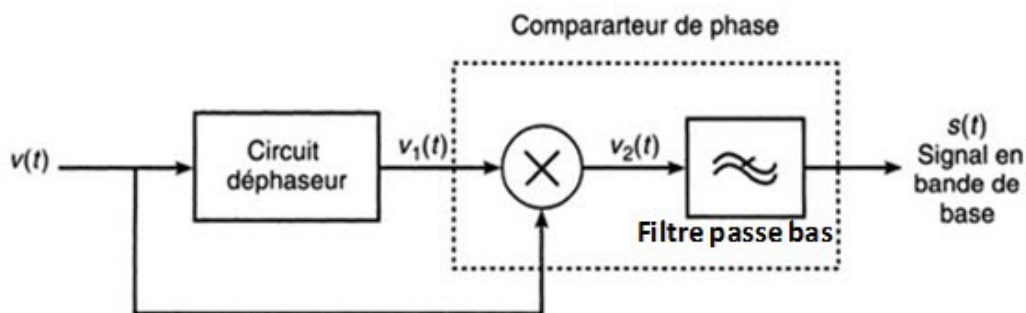


Figure 6: Démodulateur à quadrature

$$V_2(t) = \frac{(k * U_p^2)}{2} * (\cos(\theta(t)) + \cos(2 * \pi * f_p * t + \beta * \sin(2 * \pi * f_s * t) + \theta(t)))$$

Un filtre passe bas élimine le terme haute fréquence.

$$V_s(t) = \frac{(k * U_p^2)}{2} * \cos(\theta(t)) \text{ ----->} V_s(t) = \frac{(k * U_p^2)}{2} * \cos\left(\frac{\pi}{2} - a * (f(t) - f_p)\right)$$

$$f(t) = f_p + K_f * V_s(t) \text{ ----->} V_s(t) = \frac{(k * U_p^2)}{2} * \sin(a * (K_f * V_s(t)))$$

$$\sin(x) \approx x \text{ ----->} V_s(t) = \frac{(k * U_p^2)}{2} * a * (K_f * V_s(t))$$

Nous trouverons bien le signal $V_s(t)$ à la sortie du démodulateur.

 *Remarque*

Donc on utilise le circuit déphaseur qui résonne à la fréquence de la porteuse pour déphaser le signal modulé, après on le multiplie par le signal modulé d'origine pour le filtrer après et on ressort le signal modulant.

Manipulation

II

1. Réalisation de la modulation / démodulation

✂ *Méthode : Modulation*

Il faut déduire $V_m(t)$ à partir de $V_s(t)$ et $V_p(t)$

$$V_m(t) = U_p \cos(2\pi f_p t + \beta \sin(2\pi f_s t))$$

t devient *time*, π devient *pi* et on remplace les variables par leurs valeurs à savoir U_p , β , f_s , f_p .

On doit écrire uniquement la formule dans ABM Voltage sans le terme $V_m(t) =$

◀ *Rappel*

Dans un signal $V_m(t)$ la fréquence varie entre f_{min} et f_{max}

$$f_{min} = 1/T_{max} \text{ et } f_{max} = 1/T_{min}$$

Indice de modulation

La valeur de β influe sur la modulation $V_m(t)$.

🔍 *Remarque*

Pour $\beta < 1$ Nous avons un cas particulier semblable à AM

Pour $\beta > 1$ le spectre de la tension modulée augmente avec β

Le spectre

Le spectre permet d'obtenir les fréquences présentes dans le signal modulé $V_m(t)$. Ainsi il nous permet de définir l'intervalle de la bande passante, qui doit contenir tous les fréquences présentes dans le spectre.

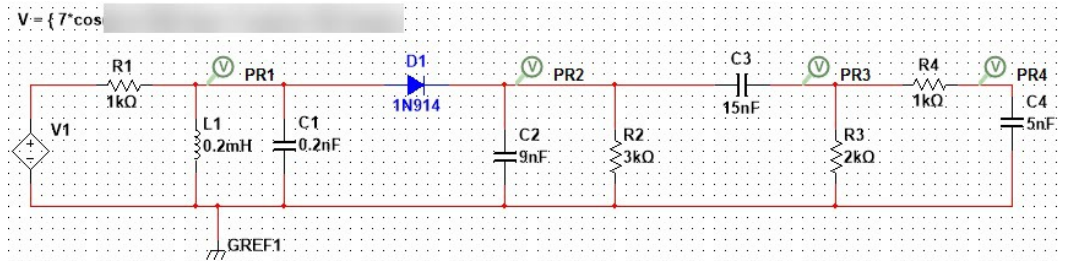
⚠ *Attention : Coefficient de bessel*

Le nombre de coefficients de Bessel J augmente avec β

1.1. Démodulation par discrimination

Méthode

Le circuit de démodulation est composé d'un filtre passe bande avec une fréquence de résonance $f_0 = 796.14$ kHz qui doit être supérieure à f_{max} ($R_1=1k\ \Omega$, $C_1=0.2nF$, $L_1=0.2mH$), une diode D_1 (1N914), circuit $R_2=3k\ \Omega // C_2=9nF$, un filtre passe haut $R_3=2k\ \Omega // C_3=15nF$, un filtre passe bas $R_4=1k\ \Omega // C_4=5nF$.

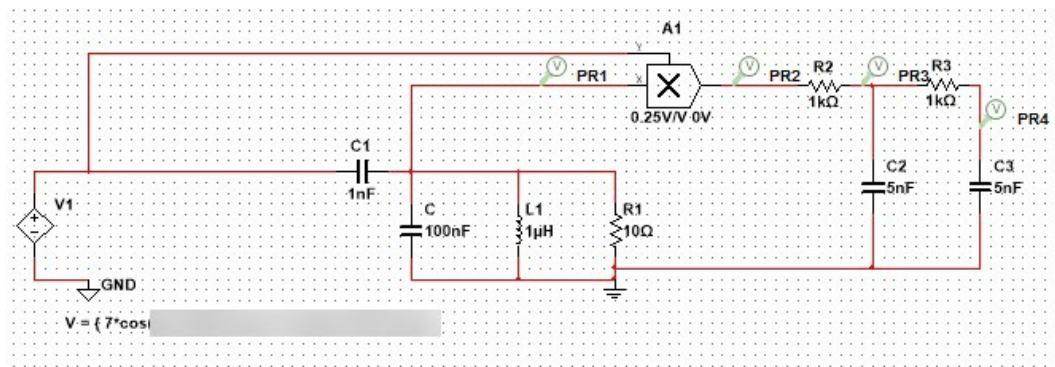


Attention

La pente de variation d'amplitude qui représente les fréquence du signalé modulé ($f_{min} \gg \gg f_{max}$) doit être à gauche de la fréquence de résonance du filtre passe bande

1.2. Démodulation a quadrature

Le circuit est réalisé avec un déphaseur dont sa fréquence $f_0=f_p$, ($C_1=1nF$, $R_1=10\ \Omega$, $C_2=100nF$, $L_1=1\ \mu H$), deux filtre passe bas $R_2=1k\ \Omega$, $C_2=5nF$. Avec un indice de modulation $\beta=2$ et gain $k=5$ du multiplicateur.



Remarque

Après les filtres on obtient le signalé $V_s(t)$