

# La Modulation

fill page

fill page

# Sommaire

<b>1</b>	<b>introduction sur la modulation</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>la modulation d'amplitude</b>	<b>3</b>
2.1	la communication en modulation d'amplitude . . . . .	3
2.2	la modulation AM double bande avec porteuse . . . . .	4
2.2.1	Principe . . . . .	4
2.2.2	représentation temporelle d'un signal DBAP . . . . .	4
2.2.3	représentation spectrale d'un signal AM DBAP . . . . .	5
2.2.4	puissance d'un signal AM DBAP . . . . .	5
2.3	démodulation des signaux AM DBAP . . . . .	6
2.3.1	démodulation cohérente . . . . .	6
2.3.2	démodulation AM par détection d'enveloppe . . . . .	6
2.4	la modulation AM double bande sans porteuse . . . . .	7
2.4.1	principe . . . . .	7
2.4.2	Cas d'un signal modulant sinusoïdal . . . . .	7
2.4.3	Cas d'un signal modulant quelconque . . . . .	8
2.5	Démodulation des signaux AM DBSP . . . . .	8
2.5.1	principe . . . . .	8
2.5.2	Représentation spectrale . . . . .	8

# Chapitre 1

## introduction sur la modulation

# Chapitre 2

## la modulation d'amplitude

### 2.1 la communication en modulation d'amplitude

Un système de communication transmet à travers un canal des informations de la source vers un utilisateur :

- La source fournit l'information sous la forme d'un signal analogique ou numérique (la source peut être un microphone, un lecteur de disque capteur, données numériques ... ) ;
- L'émetteur inscrit cette information sur l'amplitude d'une porteuse sinusoïdale de fréquence  $f_0$  : c'est la modulation d'amplitude ( les informations sont inscrites dans l'amplitude de la porteuse) ;
- L'antenne d'émission transforme ce signal électrique en onde électromagnétique . l'antenne de réception effectue l'opération inverse ;
- L'antenne de réception transforme l'onde électromagnétique en signal électrique et on retrouve à la base de l'antenne un signal qui est exactement la même forme que le signal qui a été envoyé sur l'antenne d'émission, la différence est que, et à cause de la distance, le signal ici est beaucoup plus faible, et la valeur l'amplitude est dans les mV ou  $\mu$ V alors que dans l'amplitude de signal modulé est dans les V.
- Le récepteur sélectionne dans la multitude des signaux captés par l'antenne, l'émission qui nous intéresse et il va extraire l'information c'est qu'on appelle : la démodulation, et cette information peut être traduite par un haut (si l'information est un audio).

## 2.2 la modulation AM double bande avec porteuse

### 2.2.1 principe

Pour Produire un signal modulé en amplitude, il faut :

- Une porteuse sinusoïdale de fréquence  $f_0$  .
- Une information BF qui peut être un signal audio, vidéo, analogique ou numérique.

Soit  $p(t) = \cos 2\pi f_0 t$  la porteuse et  $m(t)$  le message à transmettre. Le message AM DBAP s'écrit : la porteuse et  $m(t)$  le message à transmettre. Le message AM DBAP s'écrit :

$$s(t) = (A + m(t)) \cos 2\pi f_0 t \quad (2.1)$$

Dans le cas d'un signal modulant sinusoïdal  $m(t) = A_m \cos 2\pi f_m t$ , le signal AM DBAP devient :

$$\begin{aligned} s(t) &= (A + A_m \cos 2\pi f_m t) \cos 2\pi f_0 t \\ &= A \left( 1 + \frac{A_m}{A} \cos 2\pi f_m t \right) \cos 2\pi f_0 t \\ &= A (1 + k \cos 2\pi f_m t) \cos 2\pi f_0 t \end{aligned} \quad (2.2)$$

Avec  $k = \frac{A_m}{A}$  : indice de modulation (ou taux de modulation) = rapport entre l'amplitude du signal modulant et celle de la porteuse. Pour un signal modulant quelconque, l'indice de modulation est défini par :

$$k = \frac{|m(t)|_{max}}{A} \quad (2.3)$$

### 2.2.2 représentation temporelle d'un signal DBAP

Si  $k \leq 1$ , l'enveloppe du signal modulé  $s(t)$  possède exactement la forme du signal modulant. Si  $k > 1$ , l'enveloppe du signal modulé ne correspond pas au signal modulant : le signal AM est surmodulé. En pratique, on doit toujours avoir  $k \leq 1$ .

Détermination de l'indice de modulation  $k$  à partir de la représentation temporelle du signal AM DBAP :

$$\begin{aligned} \begin{cases} s_{max} &= A(1 + k) \\ s_{min} &= A(1 - k) \end{cases} \\ \Rightarrow k = \frac{s_{max} - s_{min}}{s_{max} + s_{min}} \end{aligned} \quad (2.4)$$

### 2.2.3 représentation spectrale d'un signal AM DBAP

$$\begin{aligned}
 s(t) &= A(1 + k \cos 2\pi f_m t) \cos 2\pi f_0 t \\
 &= A \cos 2\pi f_0 t + kA \cos 2\pi f_m t \cos 2\pi f_0 t \\
 &= A \cos 2\pi f_0 t + \frac{ka}{2} \cos 2\pi (f_0 - f_m) t + \frac{ka}{2} \cos 2\pi (f_0 + f_m) t
 \end{aligned}$$

Le spectre du signal AM DBAP possède donc une raie d'amplitude  $A$  à la fréquence  $f_0$  de la porteuse et deux raies latérales d'amplitude  $\frac{ka}{2}$  aux fréquences  $f_0 - f_m$  et  $f_0 + f_m$

- la porteuse a une amplitude  $A$  ;
- les raies latérales supérieure et inférieure ont la même amplitude  $\frac{ka}{2}$  ;
- l'encombrement spectral du signal AM est le double de la fréquence BF :  $B = 2f_m$ .

**Remarque** : la place occupée par ce signal modulé va de  $f_0 - f_m \rightarrow f_0 + f_m$ , donc la bande occupée est égale à 2 fois la fréquence de signal modulant. si nous voulons produire un signal modulé en amplitude par un signal BF à 10 kHz, notre spectre en signal modulé aura une largeur de  $2 \times 10 = 20$  kHz, le fait de manipuler l'amplitude de la sinusoïde m'élargit le spectre de signal.

Dans la pratique où **le signal modulant est quelconque** mais de spectre borné, *John Renshaw Carson* a démontré en 1914 que le spectre a une forme semblable.

### 2.2.4 puissance d'un signal AM DBAP

Dans le cas d'un signal modulant sinusoïdal, le signal appliquée à l'antenne a 3 composantes, donc la puissance totale dissipée dans l'antenne est la somme de 3 puissance :

$$\begin{cases} P_s &= P_{\text{porteuse}} + P_{BLI} + P_{BLS} \\ P_{BLI} &= P_{BLS} \end{cases}$$

d'où :

$$P_s = P_{\text{porteuse}} + 2 \times P_{BL} \quad (2.5)$$

$$P_s = \frac{A^2}{2} + 2 \times \frac{\left(\frac{kA}{2}\right)^2}{2} = \frac{A^2}{2} + \frac{k^2 A^2}{4} = \left(1 + \frac{k^2}{2}\right) \frac{A^2}{2} \quad (2.6)$$

$$P_s = \left(1 + \frac{k^2}{2}\right) P_{\text{porteuse}} \quad (2.7)$$

En général, le signal AM transmis ne doit pas être surmodulé :  $k \leq 1$ . Pour  $k = 1$  (valeur maximale), on a :

$$P_s = \frac{3}{2} P_{\text{porteuse}} \Rightarrow P_{\text{porteuse}} = \frac{2}{3} P_s \quad (2.8)$$

Donc seul un tiers (au maximum) de la puissance du signal AM contient l'information utile. C'est un inconvénient de la modulation AM DBAP : *gaspillage de puissance*.

## 2.3 démodulation des signaux AM DBAP

### 2.3.1 démodulation cohérente

Pour un signal  $m(t)$  tel que  $|m(t)|_{\max} = 1$ , on a :

$$\begin{aligned} v(t) &= s(t) \cos 2\pi f_0 t \\ &= A(1 + k \cdot m(t)) \cos^2 2\pi f_0 t \\ &= \frac{A}{2}(1 + k \cdot m(t))(1 + \cos 4\pi f_0 t) \\ &= \frac{A}{2} + \frac{k \cdot A}{2} m(t) + \frac{A}{2} \cos 4\pi f_0 t + \frac{k \cdot A}{2} m(t) \cos 4\pi f_0 t \end{aligned}$$

Après filtrage et suppression de la composante continue  $\frac{A}{2}$ , on obtient le signal :

$$\hat{m}(t) = \frac{k \cdot A}{2} m(t) \quad (2.9)$$

La démodulation cohérente présente le problème de la synchronisation de la porteuse locale avec la porteuse à l'émission. Une méthode de démodulation plus efficace est *la détection d'enveloppe*.

### 2.3.2 démodulation AM par détection d'enveloppe

#### principe

mesure de l'enveloppe du signal pour récupérer le signal modulant  $m(t)$  :  
Détecteur d'enveloppe :

fonctionnement

## 2.4 la modulation AM double bande sans porteuse

### 2.4.1 principe

La modulation d'amplitude avec porteuse n'est pas le seul type de modulation, nous allons développer par la suite d'autres types de modulation en particulier la modulation double bande sans porteuse.

La modulation d'amplitude double bande sans porteuse (double side band suppressed carrier) est utilisée dans les multiplexages stéréo. Le principe consiste à multiplier le signal modulant  $m(t)$  avec la porteuse  $p(t)$ . Le signal modulé ne contient pas le signal de la porteuse : ceci permet d'éviter de le retrouver lors de la démodulation. Le signal AM modulé en amplitude Double Bande Sans Porteuse (DBSP) s'écrit :

$$s(t) = p(t) \times m(t) \quad (2.10)$$

### 2.4.2 Cas d'un signal modulant sinusoïdal

On considère le cas simple d'un signal modulant sinusoïdal  $m(t) = A \cdot \cos(2\pi f_m t)$  avec  $f_m \ll f_0$ . Le signal AM s'écrit alors :

$$s(t) = \cos(2\pi f_0 t) \cdot A \cos(2\pi f_m t) \quad (2.11)$$

#### Représentation temporelle

**Représentation spectrale** Pour déterminer le spectre de  $s(t)$ , il faut le décomposer en une somme de signaux sinusoïdaux. On a :

$$s(t) = \cos 2\pi f_0 t \cdot A \cos 2\pi f_m t = \frac{A}{2} \cos 2\pi (f_0 + f_m) t + \frac{A}{2} \cos 2\pi (f_0 - f_m) t \quad (2.12)$$

Le spectre d'amplitude du signal modulé  $s(t)$  est donc constitué de deux raies symétriques situées aux fréquences  $f_0 - f_m$  et  $f_0 + f_m$ . De plus, il n'y a pas de composantes spectrales à la fréquence  $f_0$  de la porteuse. L'allure du spectre d'amplitude du signal modulé justifie l'appellation Double Bande Sans Porteuse.

Le signal modulé est un signal à bande étroite, centré autour de la fréquence  $f_0$  de la porteuse. Le but de la modulation est atteint : le signal BF est transformé en un signal HF.



### 2.4.3 Cas d'un signal modulant quelconque

#### Représentation temporelle

**Représentation spectrale** Le spectre d'amplitude du signal AM DBSP avec un signal modulant quelconque est constitué de deux bandes symétriques, centrées autour de  $f_0$  : la bande latérale inférieure (BLI) et la bande latérale supérieure (BLS).

L'occupation spectrale du signal AM DBSP est :

$$B_s = 2 \times B_m \quad (2.13)$$

**remarque** : La transmission d'un signal en modulation AM DBSP nécessite donc une largeur de bande double de celle du signal modulant.

## 2.5 Démodulation des signaux AM DBSP

### 2.5.1 principe

### 2.5.2 Représentation spectrale