

**I- Nécessité d'une modulation.**

Les ondes hertziennes se propagent à grandes distances si leurs fréquences sont élevées (de l'ordre du MHz). Les fréquences que l'on peut transmettre (paroles, musique, ...) sont de l'ordre du kHz (de 20 Hz à 20 kHz). Par conséquent, on ne peut transmettre ces informations par des ondes hertziennes sur de grandes distances. D'autre part, si on utilisait ces fréquences, il serait impossible pour un récepteur de distinguer les différentes émissions. Il y aurait brouillage de l'information.

La transmission des informations basses fréquences par voie hertzienne nécessite l'utilisation d'une onde de haute fréquence appelée : **onde porteuse**.

Les informations à transmettre sont converties en signaux électriques qui modulent une grandeur caractéristique de l'onde porteuse :

- Soit l'amplitude : on parle alors de modulation d'amplitude (**A.M**)
- Soit la fréquence : Modulation de fréquence (**F.M**).

À chaque émetteur est attribuée une valeur particulière de la fréquence de la porteuse. Un émetteur peut ainsi distinguer les différentes émissions.

**II- Étude de la modulation d'amplitude.**

1)- Le principe.

- La modulation est obtenue par la combinaison de deux ondes :

- La porteuse :
  - onde sinusoidale de haute fréquence **F** en Hz
  - d'amplitude constante  $V_m$
  - produite par un oscillateur émetteur :
  - $v = V_m \cos(\Omega t) = V_m \cos(2\pi F t)$  avec  $\Omega$  pulsation en **rad/s**

- L'onde à transmettre :
  - elle est liée à l'information,
  - elle n'est pas forcément sinusoidale
  - elle peut dans un intervalle donnée
  - se ramener à la somme de fonctions sinusoidales :
  - $u = U_m \cos(\omega t) = U_m \cos(2\pi f t)$  avec  $\omega$  pulsation en **rad/s**

- Remarque : décomposition en série de Fourier :
- Tout phénomène périodique peut être décomposé en série de Fourier :
- $u(t) = U_{m1} \cos(\omega t) + U_{m2} \cos(2\omega t) + U_{m3} \cos(3\omega t) + U_{m4} \cos(4\omega t) + \dots$

2)- Obtention.

- Dans le cas d'une modulation d'amplitude (**A.M**), on ajoute la tension continue  $U_0$  (tension de décalage) à la tension  $u(t)$ , puis on utilise un circuit électronique appelé multiplieur afin d'obtenir la tension modulée  $s(t)$ .
- Schéma du dispositif :

	<p>La tension modulée est de la forme :</p> $s(t) = k \cdot v(t) \cdot [u(t) + U_0]$ $s(t) = k \cdot V_m \cdot \cos(\Omega t) \cdot [u(t) + U_0]$ $s(t) = k \cdot V_m \cdot \cos(\Omega t) \cdot [U_m \cdot \cos(\omega t) + U_0]$ $s(t) = k \cdot \frac{V_m}{U_0} \cdot \cos(\Omega t) \cdot \left[ \frac{U_m}{U_0} \cdot \cos(\omega t) + 1 \right]$
--	--

On pose :

<p>Amplitude de la tension modulée : <math>A = k \cdot \frac{V_m}{U_0}</math></p> <p>Taux de modulation : <math>m = \frac{U_m}{U_0}</math></p> <p>En conséquence :</p> $s(t) = A \cdot \cos(\Omega t) \cdot [m \cdot \cos(\omega t) + 1]$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>k</b> est un coefficient multiplicateur caractéristique du multiplieur : unité : <math>V^{-1}</math>.</li> <li>- Remarque : la tension de décalage <math>U_0</math> doit être supérieure à l'amplitude <math>U_m</math> du signal à transmettre. En conséquence, le taux de modulation <math>m &lt; 1</math>.</li> <li>- Si <math>m &gt; 1</math>, il y a surmodulation.</li> </ul>
---	---

- Exemple :

f en Hz	U <sub>0</sub> en V	V <sub>m</sub> en V	U <sub>m</sub>	F en Hz	f en Hz	U <sub>0</sub> en V	V <sub>m</sub> en V	U <sub>m</sub>	F en Hz
40	3	0,9	1,2	400	40	1	0,2	1,1	400
m		k en V <sup>-1</sup>		A	m		k en V <sup>-1</sup>		A
0,40		1		2,7	1,1	10			2

Signal modulé s(t)					Surmodulation				

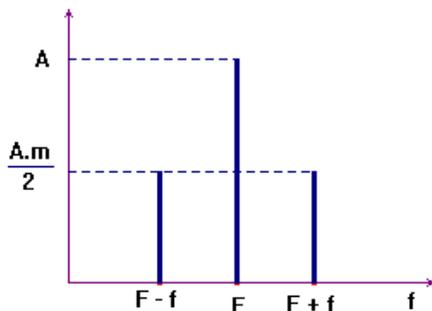
- Enveloppe de la tension modulée : la tension modulée évolue entre  $A \cdot (1 + m)$  et  $A \cdot (1 - m)$ .
- Spectre de fréquence d'une modulation d'amplitude :
- On développe l'expression (1) :

$$s(t) = A \cos(\Omega t) \cdot [m \cos(\omega t) + 1] \quad (1)$$

$$s(t) = A \cos(\Omega t) + A \cdot m \cdot \cos(\Omega t) \cdot \cos(\omega t)$$

$$s(t) = A \cos(\Omega t) + \frac{A \cdot m}{2} \cdot \cos((\Omega - \omega)t) + \frac{A \cdot m}{2} \cdot \cos((\Omega + \omega)t)$$

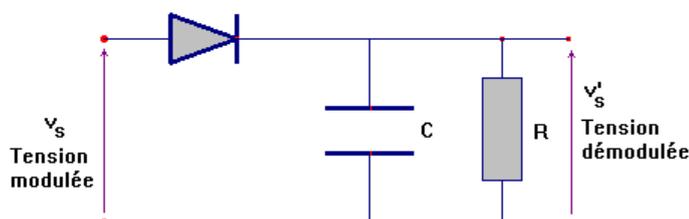
- Si F désigne la fréquence de la porteuse, alors :  $F + f = \frac{(\Omega + \omega)}{2\pi}$  et  $F - f = \frac{(\Omega - \omega)}{2\pi}$
- Spectre de fréquence :



~~Exercice~~ Exercice : un émetteur radio a les caractéristiques suivantes : Fréquence de la porteuse  $F = 200$  kHz, fréquence du signal à transmettre  $50 \text{ Hz} < f < 5$  kHz. Déterminer la bande passante qui permet de recevoir toutes les informations.

3)- La démodulation.

- Le montage détecteur d'enveloppe permet de retrouver le signal émis en démodulant la tension modulée. Il est constitué d'une diode (diode au germanium) associé à un filtre (R, C).
- Montage :



- Interprétation :

- Première phase : on peut considérer que pendant cette phase, la tension du signal modulé est positive. La diode est passante et le condensateur se charge jusqu'à ce que la tension modulée  $v_S$  prenne sa valeur maximale  $V_{Sm}$ .
- Deuxième phase : après avoir pris sa valeur maximale, la tension modulée  $v_S$  diminue, la diode se trouve bloquée car  $u_D = v_S' - v_S < 0$ , le condensateur se décharge dans la résistance et la durée de décharge est liée à la constante de temps  $\tau = R C$ .
- Pour que la tension de crête épouse le mieux possible, l'enveloppe de la tension du signal, il faut que le condensateur ne se décharge quasiment pas au cours d'une période  $T_p$  de la porteuse Il faut que :  
 $T_S$  période du signal ;  $T_p$  période de la porteuse
- $T_S > \tau$  □

✂ Exercice : On veut séparer, à l'aide d'un montage « détecteur de crête », deux tensions sinusoïdales d'amplitudes voisines et de fréquences respectives 5 kHz (signal) et 200 kHz (porteuse).

- Faire un schéma du montage.
- On dispose d'une résistance de 10 kΩ. Donner une valeur possible de la capacité du condensateur.

4)- Applications : ex 1, ex 3, ex 4, ex 5.

<p><b>1 A1 Modulation d'amplitude</b></p> <p>Dans la transmission d'un signal par une onde modulée en amplitude :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) la fréquence de la porteuse est-elle constante ?</li> <li>2) la fréquence de la porteuse doit-elle être très supérieure ou très inférieure à celle du signal à transmettre ?</li> <li>3) l'amplitude de l'onde modulée est-elle constante ?</li> <li>4) qu'appelle-t-on <i>taux de modulation</i> ?</li> </ol>	<p><b>4 A2 Observation d'une tension modulée en amplitude</b></p> <p>La <i>figure</i> ci-après représente l'oscillogramme d'une tension modulée, avec les réglages suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sensibilité verticale : <math>2 \text{ V} \cdot \text{div}^{-1}</math> ;</li> <li>• cette tension modulée est obtenue à la sortie d'un multiplieur de coefficient <math>k = 0,1 \text{ V}^{-1}</math>. Balayage horizontal : <math>50 \mu\text{s} \cdot \text{div}^{-1}</math>.</li> </ul> <p>1) L'enveloppe positive du signal évolue entre deux valeurs extrêmes de la tension.</p> <p>Déterminer ces deux valeurs. En déduire le taux de modulation.</p> <p>Sachant que l'amplitude de la porteuse est 2 V, en déduire la tension de décalage.</p> <p>2) Déterminer les périodes de la porteuse et du signal, et donner l'expression de ces tensions sous la forme <math>u = u_m \cdot \cos \omega \cdot t</math>.</p> <div data-bbox="842 1328 1484 1709" data-label="Figure"> </div>
<p><b>3 Modulation d'amplitude réalisée avec un multiplieur</b></p> <p>Afin de réaliser une modulation en amplitude, on envoie sur un circuit multiplieur une tension sinusoïdale « porteuse » d'amplitude 5 V et de fréquence 800 kHz, et un signal correspondant à une tension sinusoïdale d'amplitude 2 V et de fréquence 440 Hz, auquel on ajoute une tension de décalage <math>U_0</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>A1</b> Quelle doit être la valeur minimale de <math>U_0</math> pour qu'il n'y ait pas surmodulation ?</li> <li>2) <b>A2</b> <math>U_0</math> étant fixée à 2,5 V, calculer l'amplitude de la tension modulée et le taux de modulation, si le coefficient <math>k</math> du circuit multiplieur vaut <math>0,1 \text{ V}^{-1}</math>.</li> <li>3) <b>A2</b> Quelle est alors l'expression de la tension modulée en fonction du temps ?</li> <li>4) <b>A2</b> Sur quelle fréquence doit être accordé un récepteur recevant l'onde modulée et quelle doit être la largeur de la bande passante de ce récepteur ?</li> </ol>	
<p><b>5 A2 Expression d'une tension modulée en amplitude</b></p> <p>Une tension modulée en amplitude a pour expression :</p> $y = 0,5 \cdot \cos(2 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot t) \cdot (2,5 + 2 \cdot \cos 1000 \cdot \pi \cdot t)$ <p>L'amplitude de la tension porteuse est de 5 V et le coefficient <math>k</math> du multiplieur est égal à 0,1. Calculer :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'amplitude du signal à transmettre,</li> <li>- la tension de décalage,</li> <li>- l'amplitude de la tension modulée,</li> <li>- le taux de modulation,</li> <li>- la fréquence de la porteuse,</li> <li>- la fréquence du signal à transmettre.</li> </ul>	