

MP 26. MISE EN FORME, TRANSPORT ET DÉTECTION DE L'INFORMATION

Pierre & Sylvie

Bibliographie : Duffaut élec
Quaranta IV [définition de l'atténuation]

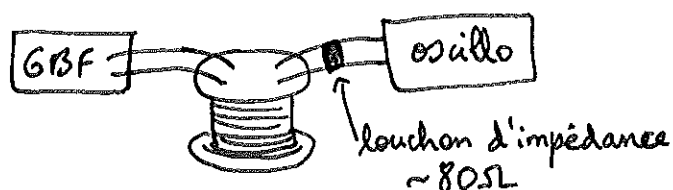
Introduction :

Dès qu'on veut transmettre un signal informatif à longue distance, on rencontre des problèmes. Par exemple, pour un signal sonore, il est très vite atténué et arrêté par les divers obstacles. On va donc le transformer en signal ^{électrique ou} électromagnétique (via un micro dans le cas sonore) et transmettre ce nouveau signal après une mise en forme que nous allons détailler (= modulation). L'utilisateur recevant ce signal devra le démoduler afin de retrouver l'information initiale.

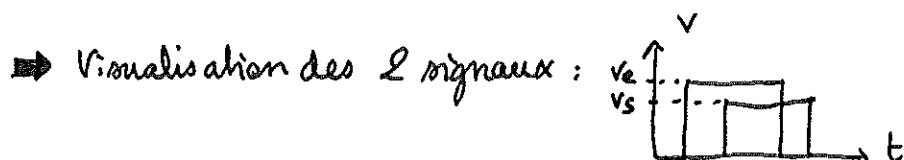
Mais tout d'abord, intéressons-nous à ce qui se passe lorsqu'on envoie un signal dans un canal.

I. Transmission dans un câble coaxial

On envoie un pulse dans le câble ($L = 91,1 \text{ m}$)



Pulse: fréquence 1kHz
amplitude 1V
largeur 40μs.



Calcul de l'atténuation dans le câble:

$$A_{dB} = -\frac{1}{L} \log \left(\frac{V_s}{V_e} \right)$$

$$A_{dB} = \quad \pm \quad \text{dB/km}$$

$$(\text{incertitude : } \Delta A = \frac{1}{L} \left(\frac{\Delta V_s}{V_s} + \frac{\Delta V_e}{V_e} \right))$$

ex: coax 3dB/km
fibre optique 0,2 dB/km } dépend de la fréquence.

Il y a donc atténuation du signal lors de son transport. C'est pour cela qu'il y a des répéteurs tous les km sur les lignes de téléphone, tous les 100 km sur les fibres optiques pour ne pas perdre l'information.

D'autre part, les canaux de transport utilisés fonctionnent dans une certaine plage de fréquence:

- lignes électriques: 0-1 GHz
- support hertzien: kHz - 100 GHz
- guides d'onde: 1 GHz - 100 GHz
- fibres optiques: $\sim 300 \text{ THz}$ (IR)

Du coup, notre signal sonore (audible: 20-20000 Hz) est trop basse fréquence pour être transmis directement, il va falloir le moduler.

Premier type de modulation:

II. La modulation d'amplitude.

1. Dispositif modulateur.

On met l'information dans l'amplitude d'un signal haute fréquence (= porteuse) qui pourra être transmis par les canaux habituels.

$$\begin{aligned} \text{Soit } m(t) &= A_0 + A_m \cos(2\pi f_m t) \text{ le signal informatif (modulant)} \\ p(t) &= A_p \cos(2\pi f_p t + \varphi_0) \text{ la porteuse} \\ &f_p \gg f_m \end{aligned}$$

On réalise l'opération: $s(t) = m(t) \cdot p(t)$

soit: $s(t) = A_p A_0 \left(1 + \underbrace{\frac{A_m}{A_0}}_{=m} \cos(2\pi f_m t) \right) \cos(2\pi f_p t + \varphi_p)$ m: indice de modulation

$$= A_p A_0 \left\{ \cos(2\pi f_p t + \varphi_p) + \frac{m}{2} \cos(2\pi (f_p - f_m)t + \varphi_p) + \frac{m}{2} \cos(2\pi (f_p + f_m)t + \varphi_p) \right\}$$

Concrètement: on utilise un multiplieur.



valeurs expérimentales:

porteuse $A_p = 5V$

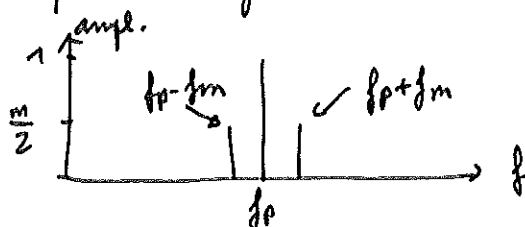
$f_p = 10 \text{ kHz}$

$A_m = 0,5V$

$A_0 = 5V$

$f_m = 1 \text{ kHz}$

⇒ visualisation du spectre du signal modulé: acquisition sur Synchro puis FFT

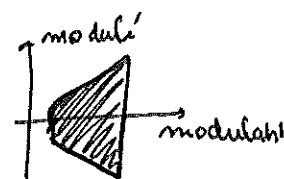


⇒ observation directe des spectres modulés à l'oscillo:

normal: $m < 1$



en mode XY



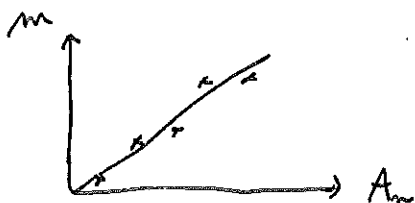
surmodulation: $m \geq 1$

($A_0 = 50 \text{ mV}$)



⇒ vérification de la linéarité de la modulation d'amplitude:

On trace $m = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}$ en fonction de l'amplitude du signal modulant A_m .



droite de pente:

$\pm$

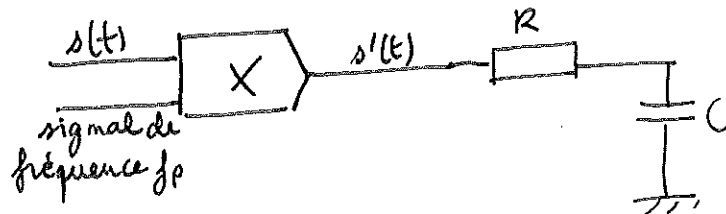
V^{-1}

on avait en théorie $\frac{1}{A_0} = 0,2 V^{-1} (A_0 = 5V)$

↳ c'est cool que ce soit linéaire, comme ça on peut envoyer plusieurs signaux en même temps et les séparer sans pb à l'arrivée.

2. Démodulation d'amplitude

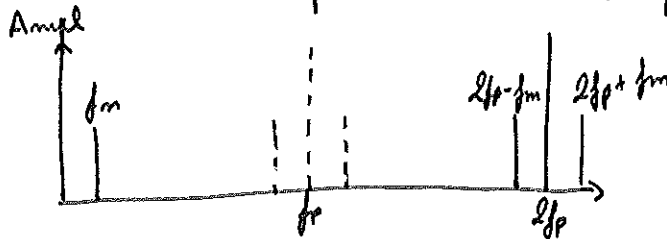
- détecteur de crête (à condition de ne pas être surmodulé)
↳ non réalisé
- détection synchrone.
idée: on multiplie le signal modulé par une sinusoïde de même fréquence que la porteuse.



$$s'(t) = A s(t) \cos(2\pi f_p t)$$

Rq: Problème de récupération de la porteuse. ici on triche, on branche directement sur le GBF qui a servi à moduler. En vrai on ne l'a pas, donc il faut se bricoler un oscillateur à fréquence variable pour trouver la bonne fréquence.

⇒ Visualisation du spectre de $s'(t)$ (Synchronie puis FFT)



$$\begin{aligned} s'(t) &= A(1 + m \cos(2\pi f_m t)) \cos^2(2\pi f_p t) \\ &= \frac{A}{2} \left\{ 1 + m \cos(2\pi f_m t) + \frac{m}{2} \cos(2\pi(2f_p + f_m)t) + \frac{m}{2} \cos(2\pi(2f_p - f_m)t) + \cos(2\pi 2f_p t) \right\} \end{aligned}$$

on coupe tout ça avec un passe-bas

Valeur du filtre: on veut $f_c \sim f_p = 20 \text{ kHz}$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \Rightarrow \begin{aligned} R &\sim 100 \Omega \\ C &= 1 \mu\text{F} \end{aligned}$$

⇒ visualisation du signal démodulé et comparaison avec le signal modulant: normalement ça ressemble!

si temps: on branche un micro en entrée à la place du signal modulant, on met un diapason et on écoute la sortie avec un HP.

Inconvénients de la modulation d'amplitude:

- grande partie de la puissance de l'émetteur qui sert à émettre la porteuse, alors qu'elle ne véhicule aucune information.
 - bruit qui se rajoute au signal pendant la transmission.
- ↳ nouveau type de modulation qui ne présente pas ce dernier inconvénient:

III. La modulation de fréquence.

Cette fois-ci l'information va être stockée dans la fréquence et non plus l'amplitude de l'onde.

1. Oscillateur commandé en tension

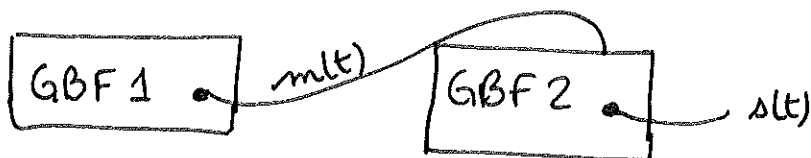
sert à fabriquer un signal dont la fréquence varie autour d'une valeur fixée, cette variation étant commandée par l'amplitude du signal modulant.

En clair: signal modulant $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$

signal modulé $s(t) = A_p \cos(2\pi f_p t + \frac{k A_m}{f_m} \sin(2\pi f_m t))$

↳ fréquence instantanée:

$$f(t) = f_p + k A_m \cos(2\pi f_m t) = f_p + \Delta f \cos(\quad)$$



⚠ L'Agilent est fourbe!!! le bouton "excursion en fréquence", qui permet de régler le k , n'indique le réel Δf que si le signal modulant a une amplitude $A_m = 5V$! Sinon, le $\Delta f_{\text{affiché}} = k \times 5V = \Delta f_{\text{réel}} \times \frac{5V}{A_m}$.

Sur les modules HAMEG, k est réglé via un petit bouton
→ étalonnage nécessaire

➡ Visualisation du signal modulé:

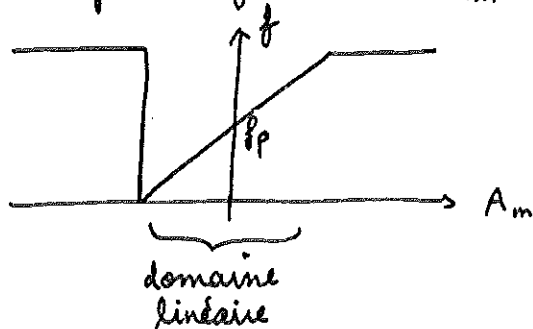
modulant $A_m = 5V$
 $f_m = 1Hz$

↓
très faible fréq.
pour bien voir la modulation

porteuse $A_p = 4V$
 $f_p = 50kHz$
 $\Delta f = 10kHz$

→ Vérification de la linéarité du VCO:

tracé de f en fonction de A_m (pour un signal modulant continu)



$$f = f_p + k A_m$$

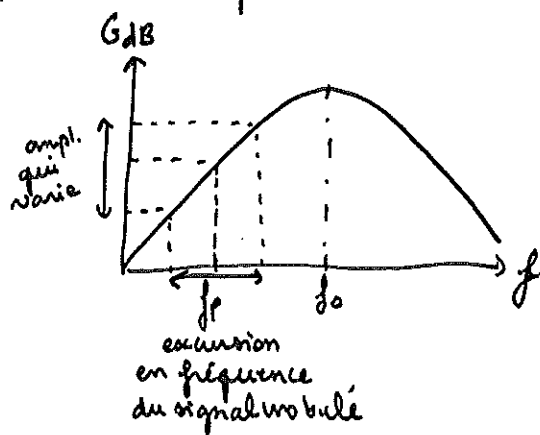
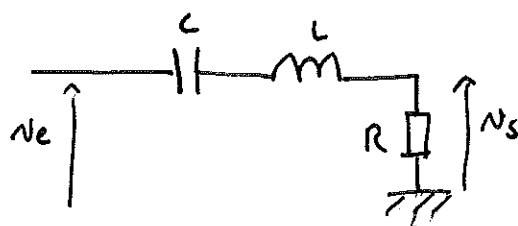
$$\Rightarrow k = \pm \dots \text{kHz/V}$$

2. Démodulation par "discriminateur de fréquence"

idée: transformer le signal modulé en fréquence en signal modulé en amplitude.

(on reprend $f_m = 500 \text{ Hz}$)

Pour cela, on attaque un filtre passe-bande par le côté.



on se sert de la pente du filtre pour transformer l'excursion en fréquence autour de f_p en modulation d'amplitude.

Pour cela, il faut un filtre de facteur de qualité $Q < 1$ pour que sa bande passante soit assez large pour contenir toutes les fréquences du signal modulé.

De plus il faut choisir la fréquence de coupure f_0 telle que f_p se trouve dans la partie linéaire.

Pour un filtre RLC: $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, $Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$

bande passante du filtre = $\frac{f_0}{Q} \gg 2kA_m = \text{excursion de fréquence}$

→ visualisation du diagramme de Bode en amplitude du filtre
↳ vérification que f_p se trouve dans une pente du filtre.

⇒ vérification de la fréquence de résonance du filtre à l'oscillo
(en XY) $f_0 = \quad \pm \quad \text{kHz.}$

Application à la démodulation de fréquence

- ⇒ on branche la sortie du VCO sur le filtre et on regarde en sortie, c'est bien modulé en amplitude.
Comparer avec le signal modulant.

| Pour finir la démodulation (d'amplitude), on peut utiliser un détecteur de crête.

Rq: la détection synchrone ne fonctionne pas ici car le signal en sortie du passe bande est certes modulé en amplitude, mais aussi en tension !

Rq2: On peut utiliser une PLL (boucle à verrouillage de phase) pour faire la démodulation de fréquence.

On a essayé en préparation, ça marchait une fois sur deux et ce n'est pas évident de comprendre pourquoi...

Conclusion

La modulation est nécessaire pour transmettre des signaux, on en a vu ici quelques exemples. On s'est limité ici à de la modulation analogique, mais en réalité la plupart des signaux sont numériques (comme la T.N.T.), ce qui nécessite d'autres méthodes de traitement.