

Chapitre 15

Modulation & démodulation d'amplitude

RÉVISION ET RÉSUMÉ

Dans votre livre Le cours correspondant est traité dans les sections 3 et 4, pages 69 à 72. Les exercices vont du N°9 au N°22 pages 83 à 86.

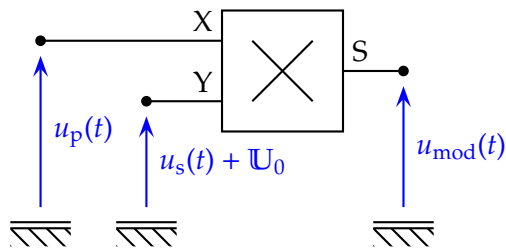
Modulation Moduler en amplitude consiste à multiplier l'amplitude constante de la porteuse, notée \mathcal{U}_p , par une fonction du temps incluant le signal modulant $u_s(t)$:

$$\mathcal{U}_p \rightarrow (u_s(t) + \mathcal{U}_0) \mathcal{U}_p$$

où \mathcal{U}_0 est une tension de décalage, constante, nécessaire à une bonne modulation.

Multiplieur Un multiplieur permet, en multipliant les deux signaux u_s et u_p , d'effectuer cette modulation d'amplitude :

$$u_{\text{mod}} = k(u_s + \mathcal{U}_0) u_p \quad \text{avec} \quad k = \text{cte}$$



Porteuse La porteuse est un signal de haute fréquence, pourquoi pas sinusoïdal (sa forme importe peu) :

$$u_p(t) = \mathcal{U}_p \cos(2\pi f_p t)$$

La fréquence f_p est élevée, ce qui permet une propagation du signal avec une atténuation moindre. Des fréquences de porteuse typique sont de l'ordre de la centaine de kiloHertz.

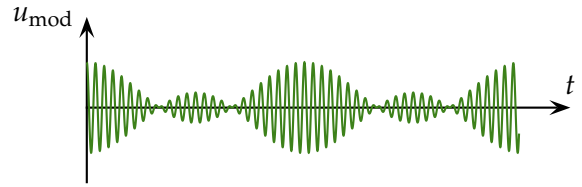
Signal Le signal modulant $u_s(t)$ est en général issu d'un microphone. Dans ce cas particulier, la fréquence des signaux électriques sera comprise entre 20 Hz et 20 kHz, voir même moins pour diminuer la largeur de bande.

On utilise par commodité un signal modulant sinusoïdal de fréquence f_s :

$$u_s(t) = \mathcal{U}_s \cos(2\pi f_s t)$$

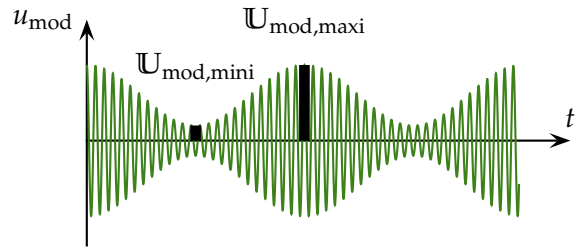
Un signal périodique quelconque peut se décomposer en une somme de signaux sinusoïdaux (transformée de Fourier).

Surmodulation Si la valeur du décalage \mathcal{U}_0 est inférieure à l'amplitude \mathcal{U}_s du signal, l'amplitude modulée ne restera pas constamment positive, on aura surmodulation :



La détection d'enveloppe d'un tel signal ne va pas donner un résultat satisfaisant.

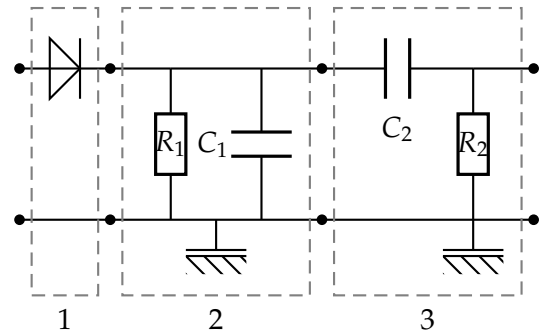
Taux de modulation



$$m = \frac{\mathcal{U}_{\text{mod,max}} - \mathcal{U}_{\text{mod,mini}}}{\mathcal{U}_{\text{mod,max}} + \mathcal{U}_{\text{mod,mini}}}$$

Une modulation correcte correspond au cas $0 < m < 1$, la surmodulation à $m > 1$.

Démodulation La démodulation est assurée par un détecteur d'enveloppe, qui comporte :



1. Une diode, qui supprime les alternances négatives ;
2. un quadripôle $R_1 C_1$ parallèle, filtre passe-bas, lisse les oscillations de haute fréquence f_p , avec la condition :

$$f_s < 1/R_1 C_1 \ll f_p$$

3. Quadripôle $R_2 C_2$ série, filtre passe-haut, supprime la composante continue \mathcal{U}_0 .

La démodulation permet de récupérer l'enveloppe du signal modulé $u_{\text{mod}}(t)$, qui reproduit les variations du signal modulant $u_s(t)$, signal transmis.

MOTS CLÉS

Modulation
Multiplieur

Porteuse
Poisson d'avril

Signal
Surmodulation

Taux de modulation
Démodulation

QUESTIONS

Q1 Définir chacun des mots-clefs.

Q2 Pour quelles raisons n'essaye-t-on pas de transmettre directement le signal $u_s(t)$ contenant l'information à communiquer ? Trouver au minimum trois arguments irréfutables.

Q3 Quel autre type de modulation s'offre à nous ? Citer son application, et la fréquence typique des porteuses.

Q4 Lors d'un TP, vous vous occupez de la démodulation, et votre binôme de la modulation. Vous désirez

transmettre un LA₃, émis par un diapason. Quelle est la forme du signal modulant produit par le microphone ? Votre binôme se trompe dans le réglage, il y a surmodulation ; que prévoyez-vous pour la forme de la tension démodulée, ainsi que pour son spectre ? Que prévoyez-vous pour le timbre du son délivré par un haut-parleur en sortie du démodulateur ?

Q5 N°19 p. 85 : Détecteur d'enveloppe

Q6 N°21 p. 86 : Émission radio

Q7 N°12 p. 84 : Démodulateur

EXERCICES

Votre livre regroupe le meilleur des exercices donnés ces dernières années

Modulation

15.1 N°15 p. 84 : Expression d'une tension modulée

15.2 N°16 p. 84 : À l'écoute de France Inter

15.3 N°17 p. 85 : Étude d'un oscillogramme

Spectre

15.4 N°10 p. 84 : Interprétation d'un spectre

15.5 N°13 p. 84 : Spectre d'une tension modulée

Démodulation

15.6 N°22 p. 86 : Qualité de la démodulation

15.7 N°26 p. 89 : Modulation – démodulation

★★
★

Corrigé 15

Modulation & démodulation d'amplitude

QUESTIONS

Q1 Utilisez les révisions et résumés pour définir les mots-clés. Attention, il y a un intrus parmi les mots-clés, saurez-vous trouver lequel ?

Q2 Le signal $u_s(t)$ à transmettre est souvent de basse fréquence (inférieure à 20 kHz), or les signaux électromagnétiques de basse fréquence ne se propagent pas sur de longues distances.

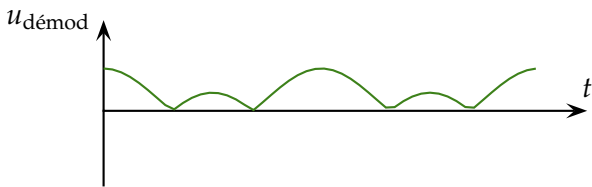
De plus, utiliser directement ces fréquences reviendrait à se limiter à une seule transmission à la fois.

Enfin, le signal pourrait être perturbé par du *bruit électromagnétique* aux mêmes fréquences, due aux autres activités humaines (étincelle dans les moteurs à explosion, etc).

Q3 Modulation de fréquence, porteuse de fréquence de l'ordre de la centaine de mégahertz (exemple : 107,7 MHz pour "Autoroute Info").

Q4 Le signal en sortie du microphone est une sinusoïde.

Si la modulation est incorrecte, l'enveloppe détectée ne sera pas l'image d'une sinusoïde :



Le spectre sera composé de plusieurs pics, et le son ne sera pas pur : son timbre sera spécifique, distinct de l'impression sonore due au diapason.

Q5 N°19 p. 85 : Détecteur d'enveloppe

Non, le schéma est incorrect. En effet, on constate bien une charge du condensateur C' lors des alternances positives, mais pas une décharge lors des alternances négatives. Autrement dit, les segments de droites entre pics de charge doivent être remplacés par des arcs d'exponentielle décroissante.

Q6 N°21 p. 86 : Émission radio 1. d) et 2. c).

Q7 N°12 p. 84 : Démodulateur

1. La diode D bloque les alternances négatives du signal modulé.
2. a. Le dipôle RC parallèle *lisse* la tension, permettant de récupérer l'enveloppe du signal.
b. On parle de filtre passe-bas, car les hautes fréquences sont éliminées, seules les basses fréquences sont conservées.
3. Pour l'ensemble, on parle de détecteur d'enveloppe. Pour avoir un démodulateur complet, il manque encore un circuit RC série, jouant le rôle de filtre passe-haut, et permettant d'éliminer la composante continue du signal.

EXERCICES

15.1 N°15 p. 84 : Expression d'une tension modulée

1. $u(t) = U \cos(2\pi ft) + U_d$ et $v(t) = V \cos(2\pi Ft)$
 $u(t) = \cos(200\pi t) + 4$ et $v(t) = 6 \cos(40 \cdot 10^3 \pi t)$
2. $s(t) = ku(t)v(t)$
3. $s(t) = 0,1 \times [4 + \cos(2\pi ft)] \times 6 \cos(2\pi Ft)$
On factorise par $0,1 \times 4 \times 6 = 2,4$ pour faire apparaître 1 dans le crochet :
 $s(t) = 2,4 \times [1 + \frac{1}{4} \cos(2\pi ft)] \cos(2\pi Ft)$
4. Identification avec la forme proposée : $m = \frac{1}{4} = 0,25$ et $A = 2,4 \text{ V}^{-1}$.

15.2 N°16 p. 84 : À l'écoute de France Inter

15.3 N°17 p. 85 : Étude d'un oscillogramme

15.4 N°10 p. 84 : Interprétation d'un spectre

1. Porteuse : $F = 242 \text{ kHz}$
2. Signal transmis : $F + f = 246,5 \Rightarrow f = 4,5 \text{ kHz}$
3. Dans l'hypothèse de signaux sinusoïdaux, on a dé-

montré dans le cours que :

$$m = \frac{U_s}{U_0}$$

De plus, on a vu que la hauteur vaut $kU_p U_0$ pour le pic principal, et $\frac{1}{2}kU_p U_s$ pour les pics secondaires ; par suite, on constate que le taux de modulation est égal au rapport de la hauteur du pic principal, sur la hauteur des pics secondaires :

$$\frac{\frac{1}{2}kU_p U_s}{kU_p U_0} = \frac{1}{2} \frac{U_s}{U_0} = \frac{1}{2} m \Rightarrow m = 2 \times \frac{2}{5} = 0,8$$

15.5 N°13 p. 84 : Spectre d'une tension modulée

1. On a un signal de basse fréquence $f_s = 3,14 \cdot 10^3 / 2\pi = 500 \text{ Hz}$ et un signal de haute fréquence $f_p = 6,28 \cdot 10^4 / 2\pi = 1,00 \cdot 10^4 \text{ Hz}$. Les fréquences des trois fonctions sinusoïdales sont :

$$\begin{cases} f_p - f_s = 0,500 \cdot 10^4 \text{ Hz} \\ f_p = 1,00 \cdot 10^4 \text{ Hz} \\ f_p + f_s = 1,50 \cdot 10^4 \text{ Hz} \end{cases}$$

Les amplitudes sont :

$$\begin{cases} \text{Pic principal} : 1,8 \text{ V} \\ \text{Pics secondaires} : \frac{1}{2} \times 1,8 \times 0,66 = 0,59 \text{ V} \end{cases}$$

15.6 N°22 p. 86 : **Qualité de la démodulation**

- Le dipôle RC passe-bas doit avoir une constante de temps $\tau = RC$:
 - suffisamment grande devant la très faible période de la porteuse haute-fréquence F pour la filtrer ;
 - suffisamment faible devant la période plus élevée du signal basse fréquence f , pour le laisser passer.

$$T \ll \tau < t$$

- Calcul de $\tau = RC$ pour chaque valeur de la capacité :

$$\tau = 0,22 \cdot 10^{-6} \times 6,7 \cdot 10^3 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 1,5 \text{ ms}$$

$$\tau = 4,7 \cdot 10^{-6} \times 6,7 \cdot 10^3 = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 32 \text{ ms}$$

$$\tau = 1 \cdot 10^{-6} \times 6,7 \cdot 10^3 = 7 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 7 \text{ ms}$$

$$\tau = 10 \cdot 10^{-9} \times 6,7 \cdot 10^3 = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ s} = 0,067 \text{ ms}$$

Calcul des périodes de la porteuse et du signal :

$$\begin{cases} T = \frac{1}{F} = \frac{1}{20 \cdot 10^3} = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ s} = 0,050 \text{ ms} \\ t = \frac{1}{f} = \frac{1}{100} = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 10,0 \text{ ms} \end{cases}$$

La condition de démodulation correcte est respectée par la première et la troisième des valeurs proposées, étant toutes inférieures à t (condition $\tau < t$) et dix fois plus élevées que T (condition $\tau \gg T$).

- La première valeur, bien inférieure à t , donnerait les meilleurs résultats (on peut se fixer $5\tau < t$ comme condition).

15.7 N°26 p. 89 : **Modulation – démodulation**