

T.P. P9 : Modulation d'amplitude

Objectif : Obtenir une porteuse modulée, l'observer et la décrire. Introduire la notion de taux de modulation et le phénomène de surmodulation. Conditions d'obtention d'une modulation de bonne qualité.

I.- Principe

C.1. : La transmission d'un signal (radio, T.V.) à grande distance s'effectue grâce à une onde électromagnétique (O.E.M.) qui se propage dans l'air avec la célérité de la lumière $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

Le signal à transmettre $u_s(t)$ ou **signal modulant** est ici un signal audible donc de basse fréquence (B.F.) produit par un microphone, un baladeur, un lecteur de C.D., un générateur de son etc... $u_m(t)$ est caractérisé par une **fréquence f_s** et une **amplitude U_s** .

Le signal $u_p(t)$ qui génère l'O.E.M. est la **porteuse** : c'est un signal de haute fréquence (H.F.) produit par un oscillateur électrique (du type RLC auto-entretenu par exemple). $u_p(t)$ est caractérisé par une **fréquence f_p** et une **amplitude U_p** .

C.2. : La modulation d'amplitude (M.A. ou A.M.) consiste à « **imprimer** » le **message $u_m(t)$** sur l'**amplitude U_p** de la **porteuse** (celle-ci devant conserver sa haute fréquence pour engendrer une O.E.M. susceptible de se propager sur une grande distance) à l'aide d'un circuit multiplieur. Le signal $u(t)$ obtenu possède alors une amplitude $U(t)$ qui varie avec les caractéristiques du signal modulant $u_s(t)$.

II.- Obtention de la porteuse modulée

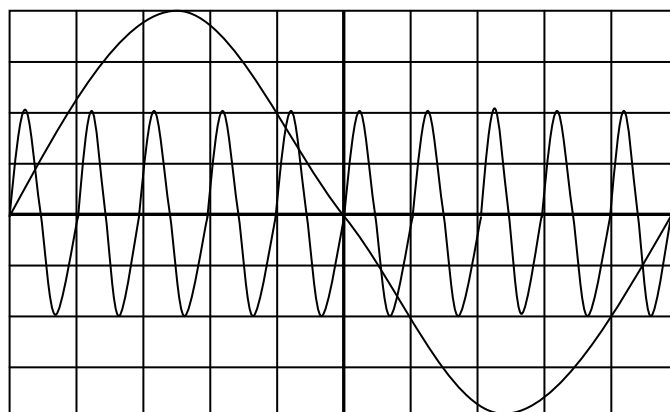
1) Réglage des G.B.F.

Le signal modulant sera ici, pour des raisons pratiques, généré par un G.B.F.

E.1. : En observant la sortie d'un G.B.F. à l'oscilloscope (voie Y I), générer un signal modulant sinusoïdal de **fréquence $f_s = 500 \text{ Hz}$** et d'**amplitude $U_s = 4,0 \text{ V}$** .

E.2. : De manière analogue avec un second G.B.F., générer une porteuse sinusoïdale de **fréquence $f_p = 5000 \text{ Hz}$** et d'**amplitude $U_p = 2,0 \text{ V}$** (voie Y II).

S.3. : Représenter ces signaux sur les oscillogramme ci-dessous en précisant la sensibilité verticale et la base de temps.



Calibre voies Y I et Y II :

----- V / div

Base de temps :

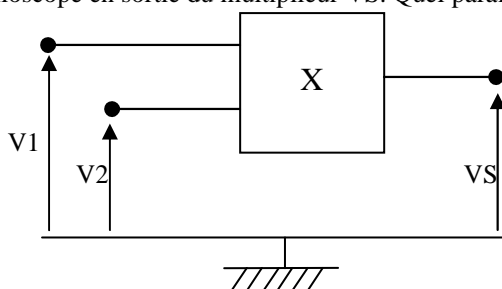
----- / div

2) Signal modulé

E.4. : Alimenter la plaque modulation à l'aide de l'alimentation stabilité -15 V ; 0 V ; +15 V. Mettre l'alimentation en marche.

E.5. : Connecter les sorties de chacun des deux G.B.F. précédents aux deux entrées V1 et V2 du multiplieur.

E.6. : Connecter la voie Y II de l'oscilloscope en sortie du multiplieur VS. Quel paramètre de la porteuse a-t-on modifié ?

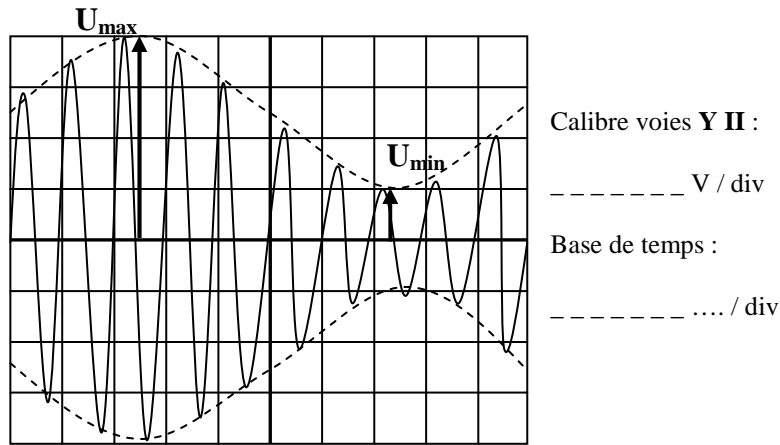


Q.7. : Sur quelle voie doit-on synchroniser l'oscilloscope pour visualiser un signal net ?

E.8. : Ajouter une tension continue de décalage (Offset) $U_0 = 5 \text{ V}$ au signal modulant $u_s(t)$.

S.9. : Observer le signal modulé $u(t) = VS$. Le représenter sur le schéma ci-dessous :

Q.10. : Le signal modulé comporte-t-il le signal à transmettre ? Expliquer. Comparer le signal modulé et le signal modulant avec et sans tension de décalage.



Q.11. : De l'oscillogramme, déduire : la valeur maximale de l'amplitude de $u(t)$: $U_{\max} = \dots\dots\dots$ V ; la valeur minimale de l'amplitude : $U_{\min} = \dots\dots\dots$ V ; ainsi que la période T de la fonction amplitude $U(t)$ de la tension $u(t)$: $T = \dots\dots\dots$ s

Q.12. : Comparer la période T à la période T_s du signal modulant. Conclure.

Q.13. : L'amplitude du signal modulé varie suivant une fonction de la forme $U(t) = K + K' \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$ où K et K' sont des constantes. Donner les expressions de K et K' et les calculer.

II.- Taux de modulation

C.14. : Comme le multiplieur réalise la multiplication des signaux $u_s(t)$ et $u_p(t)$ puis divise par une tension constante de 10V (afin de conserver, en sortie une grandeur tension), on a :

$$u(t) = 0,1 \times \left[U_s \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T_s}\right) \times U_p \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T_p}\right) + U_0 \times U_p \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T_p}\right) \right]$$

$$u(t) = 0,1 \times \left[U_s \cdot U_p \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T_s}\right) + U_0 \cdot U_p \right] \times \cos\left(\frac{2\pi t}{T_p}\right)$$

$$u(t) = 0,1 \times U_0 \cdot U_p \times \left[1 + m \times \cos\left(\frac{2\pi t}{T_s}\right) \right] \times \cos\left(\frac{2\pi t}{T_p}\right) ; \text{ avec } m = U_s / U_0$$

L'amplitude $U(t)$ de $u(t)$ s'écrit donc : $U(t) = A \times \left[1 + m \times \cos\left(\frac{2\pi t}{T_s}\right) \right]$; avec $m = U_s / U_0$ et $A = 0,1 \cdot U_0 \cdot U_p$, varie entre $A \cdot (1+m)$ et $A \cdot (1-m)$ et a pour période $T = T_s$. m est appelé **taux de modulation** (sans unité).

1) Détermination expérimentale

1.1. : A partir de l'oscillogramme $u(t)$:

Q.15. : Vérifier que le taux de modulation peut être défini graphiquement par : $m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}$.

Q.16. : Déterminer graphiquement m .

Q.17. : Vérifier que U_{\max} et U_{\min} ont bien les valeurs attendues.

1.2. : En mode X-Y (en bonus) :

E.18. : Se placer en mode X-Y sur l'oscilloscope (le signal modulant en Y I est alors représenté en abscisse et le signal modulé en Y II est alors représenté en ordonné).

Q.19. : Qu'observe-t-on ?

Q.20. : Pourquoi a-t-on un trapèze ?

Q.21. : Calculer les valeurs des deux bases du trapèze et en déduire une valeur de m . Comparer à la valeur précédente.

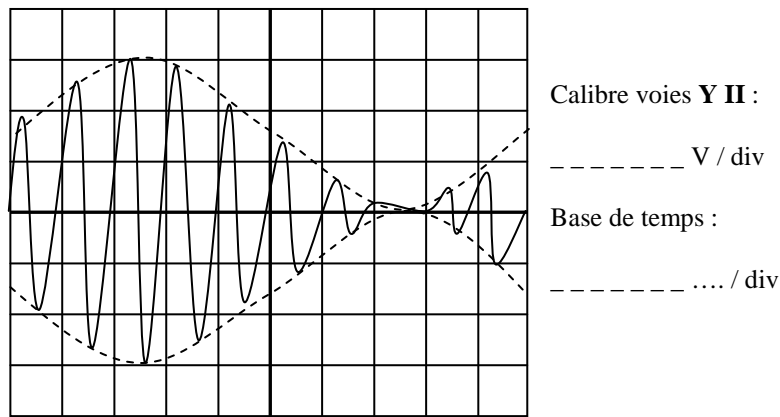
2) Calcul à partir de la définition

Q.22. : Calculer m à partir de la formule U_s / U_0 et comparer aux mesures graphiques. Conclure.

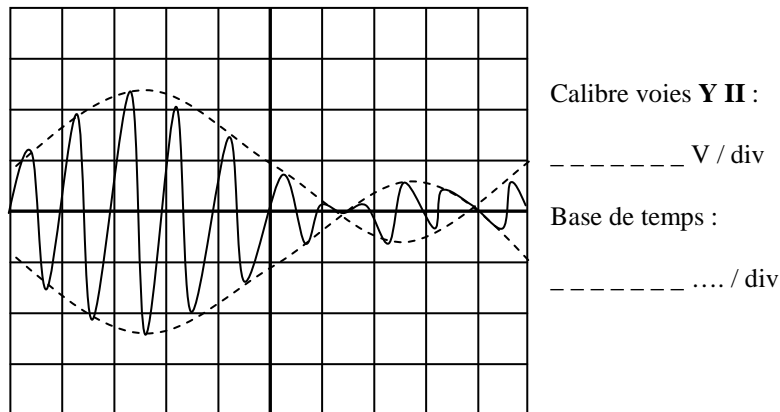
3) Influence de la valeur de m sur le signal modulé

E.23. : Modifier le taux de modulation jusqu'à 1 (en modifiant U_0).

S.23. : Représenter ci-dessous l'allure de l'oscillogramme de $u(t)$ observé :



S.24. : Représenter l'aspect de l'oscillogramme lorsque $m > 1$:



Q.25. : En quoi cela pose-t-il un problème sur la transmission du signal $u_s(t)$? On parle ici de surmodulation.

Q.26. : En déduire la condition sur m pour réaliser une bonne modulation.

III.- Spectre du signal modulé

E.27. : Ouvrir GENERIS et réaliser une acquisition du signal modulé $u(t)$ sur la voie directe de l'interface : dans les paramètres temporels, choisir une durée d'enregistrement adaptée à la visualisation de 2 à 3 périodes et choisir un grand nombre de points : 1000.

E.28. : Basculer les résultats sur Regressi et enregistrer sous le nom : **spectremodulation**.

E.29. : Réaliser le spectre en fréquence de $u(t)$ (onglet **outil** puis **analyse de Fourier**).

Q.30. : Qu'observe-t-on ? Que peut-on en déduire ?

C.31. : On a vu :

$$u(t) = A \times [1 + m \times \cos(2\pi f_s t)] \times \cos(2\pi f_p t) ; \text{ en posant}$$

$$u(t) = A \times \cos(2\pi f_s t) + m \times A \times \cos(2\pi f_p t) \times \cos(2\pi f_s t)$$

$$u(t) = A \cdot \cos(2\pi f_s t) + \frac{mA}{2} \times [\cos 2\pi(f_p - f_s)t + \cos 2\pi(f_p + f_s)t]$$

Q.32. : Justifier le spectre observé : fréquences des différents pics et amplitudes respectives.

Q.33. : Dans la réalité, le signal modulant n'est pas monochromatique (composé d'une seule fréquence) mais est un signal complexe, par exemple celui du son d'un concert symphonique entre 30 et 16000 Hz. Quelle est alors l'allure du spectre en fréquence du signal modulé sachant que la porteuse est plus communément de fréquence $f_p = 500$ kHz.

