

Objectifs & notifications :

On vous propose à travers ce TP de découvrir les principes de base de la transmission en modulation d'amplitude. Cette séance de travaux pratiques vous propose d'étudier les fonctions électroniques participant aux modulations & démodulation d'amplitude.

Dans la première partie A nous allons mettre au point un modulateur en utilisant une maquette didactique autour du multiplieur AD633. Dans les parties B & C nous allons étudier quelques techniques de démodulation sensible à l'enveloppe du signal modulé. On retrouve alors essentiellement 2 types de montages : Détecteur de crête et Redressement/Filtrage.

Partie A : Mise en œuvre d'un modulateur d'amplitude

Afin de réaliser un signal modulé en amplitude, on utilise le dispositif de la figure 1 ci dessous utilisant comme multiplieur le circuit AD633

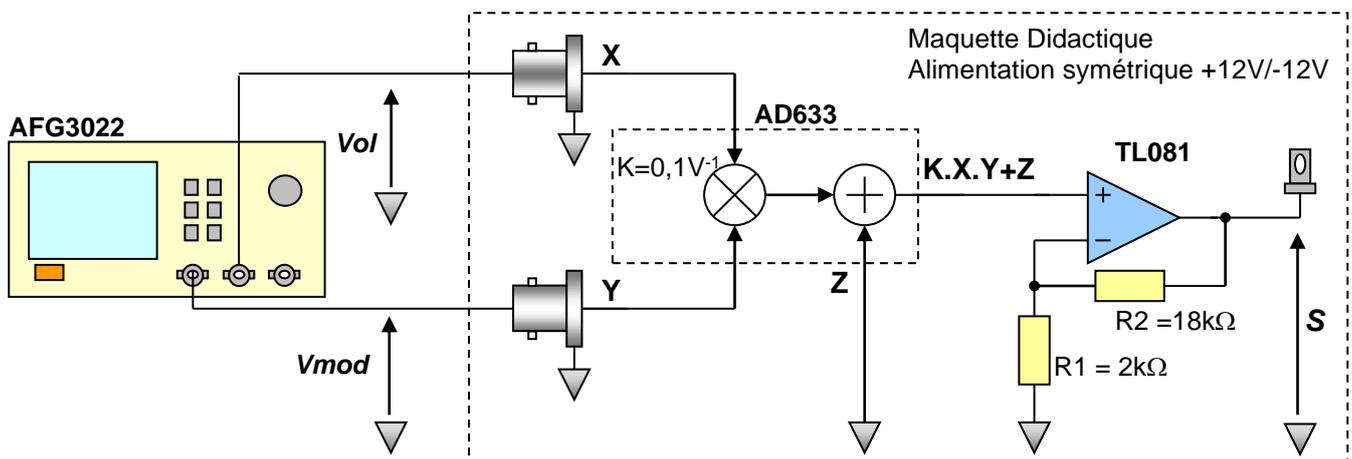


Figure 1 : Modulateur d'amplitude

Le signal de la porteuse V_{ol} est tel que $V_{ol} = V_o \cdot \cos(2\pi f_p \cdot t)$ avec $f_o = 70\text{kHz}$ et $V_o = 1\text{V}$.

On choisit volontairement une fréquence porteuse suffisamment basse pour effectuer la mesure de la valeur efficace du signal modulé sur les multimètres numériques mis à votre disposition.

Le signal modulant est de la forme générique : $V_{mod} = V_a + V_b \cdot \cos(2\pi f_1 \cdot t)$ avec $f_1 = 2\text{kHz}$

En examinant le montage de la figure 1, On montre que le signal de sortie S peut se mettre sous la forme $S(t) = S_0 \cdot [1 + m \cdot \cos(2\pi f_1 t)] \cdot \cos(2\pi f_p t)$ avec $S_0 = K \cdot V_o \cdot V_a \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$ et $m = \frac{V_b}{V_a}$

La valeur efficace S_{eff} du signal modulé peut s'écrire sous la forme : $S_{eff} = S_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{m^2}{4}}$

□ En déduire alors les valeurs de V_a et V_b , afin d'obtenir les modulations suivantes :

a) Modulation avec porteuse / $m=50\%$ / $S_{eff} = 2\text{V}$

b) Modulation avec porteuse / $m=100\%$ / $S_{eff} = 2\text{V}$

c) Dans le cas particulier d'une modulation d'amplitude sans porteuse, que doit on choisir pour V_a ? En se fixant la valeur $S_{eff} = 2\text{V}$, en déduire la valeur de V_b .

□ Régler vos sondes de mesure et câbler le dispositif de la figure 1.

□ Pour chacun des 3 cas proposés ci dessus :

- Régler le générateur Vmod conformément à votre préparation précédente. N'oubliez pas de spécifier l'impédance de charge sur le générateur AFG3022 afin d'obtenir les bonnes indications (Load High Z).
- Observer et relever les signaux S & Vmod en synchronisant l'oscilloscope sur le signal modulant.
- Vérifier et mesurer la valeur efficace en utilisant le multimètre numérique.
- Effectuer le relevé de l'analyse spectrale à l'aide du module FFT. Noter la procédure et les paramètres de cette analyse.
- Justifier l'ensemble des résultats obtenus.

Partie B : Démodulation d'amplitude : Le détecteur de crête

On vous propose d'étudier dans cette partie le détecteur de crête (ou d'enveloppe) qui est le démodulateur d'amplitude le plus simple qui existe et qui n'utilise que 3 composants. Pour la mise en œuvre de ce montage on vous propose d'utiliser une diode Schottky BAT85 présentant une tension de seuil faible et les composants $R_d=18k\Omega$ et $C_d=2,2nF$ que l'on monte sur une plaque d'essais pour composants sur broches.

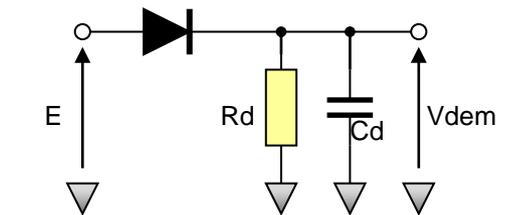


Figure 1 : Détecteur de crête

□ On connecte sur l'entrée E un signal modulé en amplitude directement fourni par le générateur AFG3022 sur **la voie CH1** avec les paramètres suivants :

- Fréquence porteuse : $f_p=350kHz$
- Amplitude : $6V_{pp}$:
- Signal modulant : Sinusoïdal dans un premier temps puis de forme quelconque par la suite.
- Fréquence du modulant : $f_a=1kHz$
- Taux de modulation : 50%

□ Afin de faciliter la visualisation du signal modulé, on utilise comme signal de synchro la sortie TTL du générateur AFG3022 qui est synchrone avec le signal modulant. Observer et relever le signal modulé E et le signal démodulé Vdem en sortie du détecteur de crête.

□ Que se passe-t-il si l'on augmente la fréquence du signal modulant ?

□ Que se passe-t-il si on augmente le taux de modulation pour une fréquence du modulant à 1kHz ?

□ Vérifier que le choix de la constante de temps vérifie bien les conditions énoncées sur l'équation ci-contre si l'on fixe $f_{amax}=4,5kHz$ (Bande passante conforme à la qualité audio en diffusion AM) et que l'on fixe une limite pour le taux de modulation

$$\frac{m \times 2\pi \times f_{amax}}{\sqrt{1-m^2}} < \frac{1}{R_d C_d} \ll f_p$$

□ Afin d'illustrer une transmission d'information audio on vous propose de connecter sur l'entrée de modulation externe du générateur AFG3022 un signal audio provenant de votre téléphone portable ou de votre PC (Sortie Jack) en utilisant l'adaptateur audio mis à votre disposition. On connecte directement l'enceinte amplifiée en sortie démodulateur en utilisant une transition BNC/Jack 3,5mm stéréo.

Partie C : Démodulation d'amplitude : Redresseur/Filtrage

Cette technique de démodulation est bien différente de la technique précédente et nettement plus performante que le détecteur de crête lorsque le taux de modulation se rapproche de 100%. On utilise un montage redresseur double alternance (un redresseur simple alternance peut aussi fonctionner mais avec des performances inférieures) suivi d'un filtre passe bas. Le schéma synoptique de ce procédé de démodulation est représenté ci-dessous.

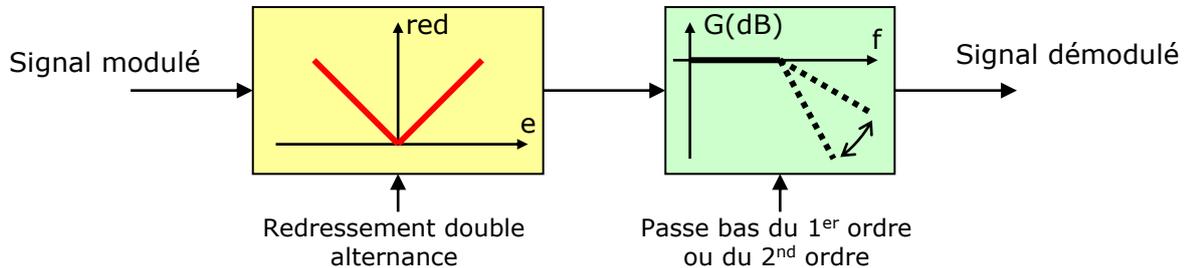


Figure 1 : Principe de la démodulation non cohérente

On vous propose mettre en œuvre cette technique de démodulation pour la récupération d'une information numérique inaudible superposée avec un signal audio comme l'indique le spectre du signal audio composite ci-contre. Pour la transmission de l'information numérique on utilise une modulation d'amplitude numérique ASK autour d'une fréquence porteuse égale à 21kHz.

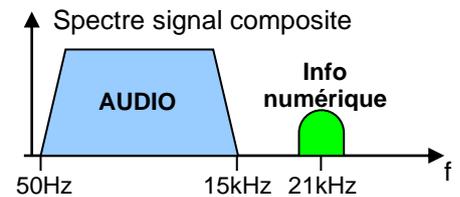


Figure 2 : Spectre signal composite

Le débit des données est de 2400bit/s ce qui signifie que le temps pour transmettre un bit est tel que $T_b = 1/D = 416\mu s$. On fixe un taux de modulation de 50%.

A propos des modulations ASK/OOK

Les modulations ASK/OOK (Amplitude Shift Keying/On Off Keying) sont très utilisées dans les systèmes de commande à distance et dans les produits de type radio-identification. Elles sont très simples à mettre en œuvre et permettent ainsi d'obtenir des systèmes de transmission économiques.

Le principe repose sur une modulation d'amplitude d'une porteuse sinusoïdale. Contrairement aux modulations d'amplitudes analogiques l'amplitude de la porteuse ne peut prendre que 2 valeurs en fonction du signal modulant.

L'expression du signal modulé ASK peut se mettre sous la forme $S_{ASK} = A_k \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$ avec $A_k = A_0$ ou $A_k = A_1$ en fonction du message binaire à transmettre. La figure 3 ci-contre illustre le principe de cette modulation.

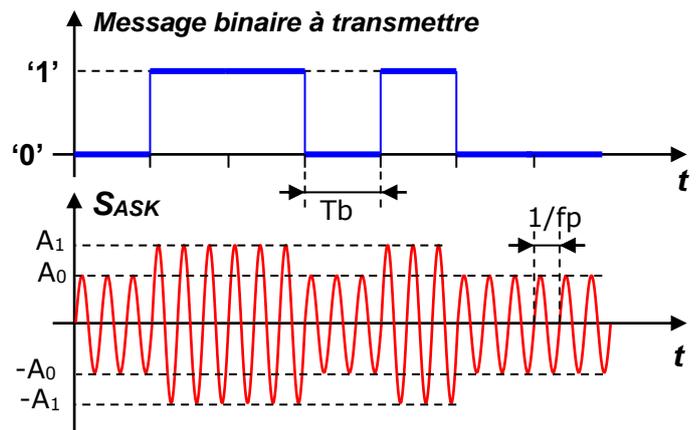


Figure 3 : principe d'une modulation ASK

Pour la mise en œuvre de l'ensemble on propose une maquette avec 3 mini-modules incluant l'opération de redressement puis filtrage. Afin de retrouver l'information numérique on dispose d'un comparateur de tension. La maquette est alimentée sous une **tension symétrique +/-5V**.

Pour la mise en œuvre du redressement double alternance on vous propose le montage ci-dessous. Veillez à bien positionner le jumper J1 pour obtenir un redressement double alternance ainsi que le jumper J2

❑ Afin de vérifier le bon fonctionnement du montage redresseur on applique sur l'entrée E un signal sinusoïdal de fréquence 21kHz et d'amplitude 4Vpp.

❑ Dans un premier temps on choisit un filtre passe bas du 1^{er} ordre. En sachant que $R=3k\Omega$, calculer la valeur de C permettant de fixer une fréquence de coupure de 2,4kHz pour récupérer l'information numérique.

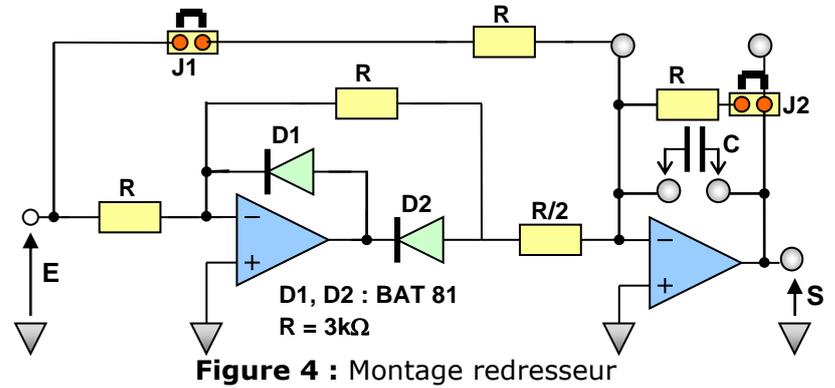


Figure 4 : Montage redresseur

❑ On connecte sur l'entrée E un signal modulé en amplitude directement fourni par le générateur AFG3022 sur la voie CH1 avec les paramètres suivants :

- Fréquence porteuse : $f_p=21kHz$
- Fréquence du modulant : $f_a=1,2kHz$ (Pour obtenir un débit de 2,4kbit/s)
- Amplitude : 5Vpp
- Signal modulant : Carré
- Taux de modulation : 50%

❑ Afin de faciliter la visualisation du signal modulé, on utilise comme signal de synchro la sortie TTL du générateur AFG3022 qui est dans ce cas similaire avec le signal modulant (l'information numérique est alors une suite de 1 0 1 0...). Observer et relever le signal à la sortie du redresseur avec et sans filtrage (en retirant le condensateur). Justifier cette réponse et les niveaux en amplitude.

❑ Afin d'améliorer la rapidité de la réponse temporelle on opte pour un filtre dont la fréquence de coupure est un peu plus grande. Afin de conserver le même niveau d'ondulation il faut augmenter l'ordre du filtre en optant pour une structure de Sallen & Key dont le schéma est rappelé sur la figure ci-contre.

On propose les valeurs suivantes :
 $R=4,3k\Omega$, $C1=4,7nF$ & $C2=3,3nF$

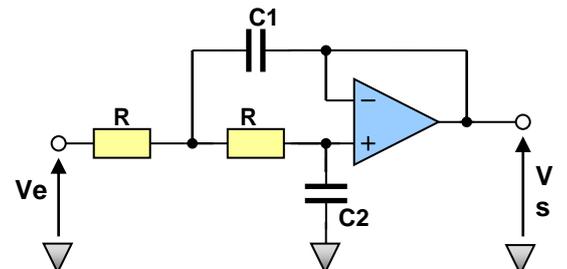


Figure 5 : Filtre passe bas du 2nd ordre

On rappelle la fonction de transfert
$$\frac{V_s(j\omega)}{V_e(j\omega)} = \frac{1}{1 + 2m \cdot \frac{j\omega}{\omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2}$$
 avec $m = \sqrt{\frac{C2}{C1}}$ $\omega_0 = \frac{1}{2\pi R \sqrt{C1 \cdot C2}}$

❑ Calculer les valeurs de f_0 et m et vérifier par mesure le bon réglage de ce filtre. Mesurer la fréquence de coupure de ce filtre et vérifier que celle-ci est bien supérieure à la valeur du débit.

❑ Connecter la sortie du montage redresseur (enlever le condensateur C) sur l'entrée du filtre passe bas et analyser la réponse du montage pour le signal modulé défini précédemment. Vérifier que le temps de réponse est amélioré.

❑ Afin de mettre en forme le signal numérique on propose le montage comparateur à hystérésis sur la photo ci-contre et dans lequel on règle le seuil de comparaison par l'intermédiaire du potentiomètre.

❑ Pour valider le fonctionnement de votre ensemble on vous propose de connecter un signal modulé et d'afficher l'information numérique initiale et démodulé.

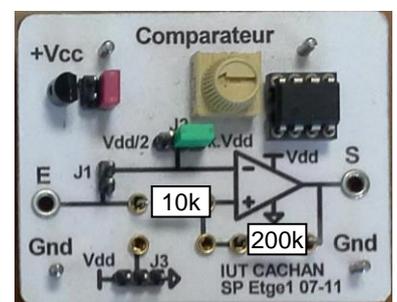


Photo2 : comparateur

Voie CH1 : Signal modulé en amplitude ASK

- Fréquence porteuse : $f_p=21kHz$
- Amplitude : 5Vpp (Load High Z)
- Signal modulant : Externe
- Taux de modulation : 50%

Voie CH2 : Information numérique connecté sur l'entrée de modulation externe CH1 situé au dos de l'appareil.

- Fréquence : 1,2Hz (pour obtenir un débit de 1200 bits)
- Amplitude : 2Vpp (Load High Z)
- Menu Arb : user1