

Faculté d'électronique et d'informatique

2ème année Licence : Télécommunications / section A&B

Module : Télécommunications fondamentales

Travaux pratiques N°3

Modulation / Démodulation d'amplitude avec porteuse AM

But du TP

Le but de cette manipulation est d'étudier la modulation d'amplitude avec porteuse AM à l'aide du circuit multiplieur AD 633.

Introduction

L'information que l'on souhaite transmettre (parole, musique, ...) est constituée de signaux qui ont des fréquences de l'ordre du kHz, et donc des longueurs d'onde voisines de 100 km. Ces basses fréquences ne sont pas adaptées à la transmission pour plusieurs raisons :

- Les antennes, qui ont des dimensions du même ordre de grandeur que la longueur d'onde du signal qu'elles émettent, seraient très encombrantes ;
- Les signaux électromagnétiques de basse fréquence se propagent très mal dans l'atmosphère ;
- transmettre directement le signal utile ne permettrait pas au récepteur de distinguer des signaux provenant de stations différentes (brouillage de l'information).

En modulant l'amplitude d'un signal de haute fréquence (la porteuse) par le signal informatif on peut ainsi permettre la transmission d'informations vocales à grande distance puisque les ondes de haute fréquence se propagent très bien dans l'atmosphère sans risquer de brouillage de l'information en choisissant des fréquences de porteuse différentes. Pour obtenir une modulation de bonne qualité la fréquence de la porteuse doit être très supérieure à la fréquence du signal informatif.

I. Etude théorique

Le rôle d'un émetteur est de transposer le spectre d'un signal basse fréquence BF à des fréquences plus hautes afin de pouvoir le transmettre à l'aide d'un rayonnement électromagnétique. Cette transposition est indispensable car le rayonnement est d'autant plus efficace que les fréquences sont élevées.

Cette émission se fait soit en AM (modulation d'amplitude) soit en modulation de fréquence (FM) ou de phase (PM).

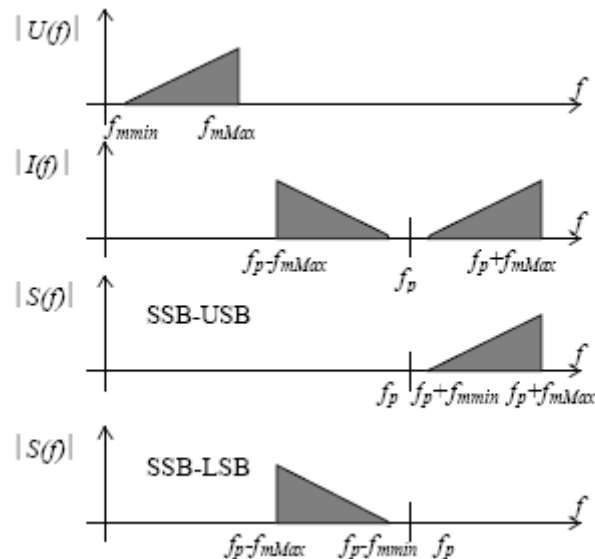


Figure 1 Spectre du signal utile et spectre du signal modulé en AM, en DSB-SC et en SSB

1. Modulation d'amplitude à porteuse conservée

La modulation consiste donc à porter, par un signal HF (haute fréquence), l'**onde porteuse**, pouvant se propager très loin, un signal basse fréquence (**onde modulante**). Le signal transmis est appelé **onde modulée**.

Le principe de la modulation d'amplitude est de faire varier l'amplitude du signal HF de pulsation ω_0 au rythme d'un signal BF de pulsation ω_c .

Le signal modulé s'écrit comme suit :

$$m(t) = A_p (1 + m \cos \omega_c t) \cos \omega_p t = (A_p + A_c * \cos \omega_c t) \cdot \cos \omega_p t$$

m est le taux de modulation. $m = \frac{A_c}{A_p}$

Le signal modulant s'écrit comme suit : $s(t) = A_c \cos \omega_c t$

L'onde porteuse s'écrit $P(t) = A_p \cos \omega_p t$

Le schéma fonctionnel du modulateur est représenté par la figure suivante :

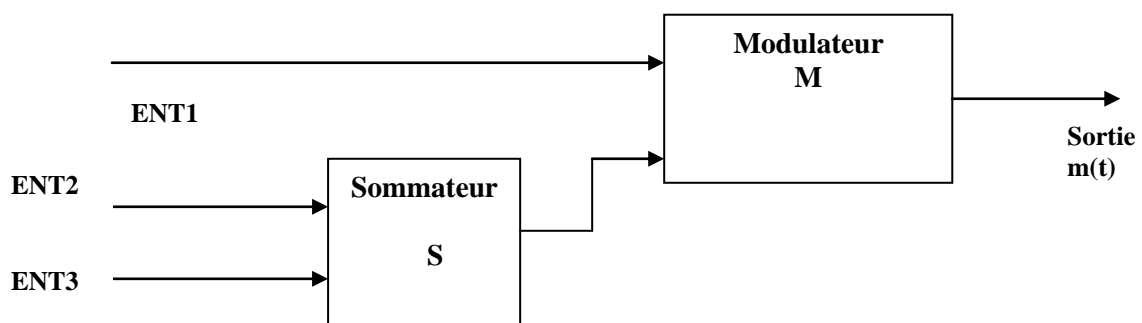


Figure 2 Schéma synoptique d'un modulateur d'amplitude

Le modulateur est constitué d'un multiplicateur analogique M et d'un sommateur analogique S.

Trois signaux d'entrée sont appliqués au modulateur :

- la porteuse $\cos \omega_p t$
- le signal modulant $A_c \cos \omega_c t$
- le signal de tension continue.

Le spectre d'oscillation à la sortie du modulateur d'amplitude est représenté par la figure suivante :

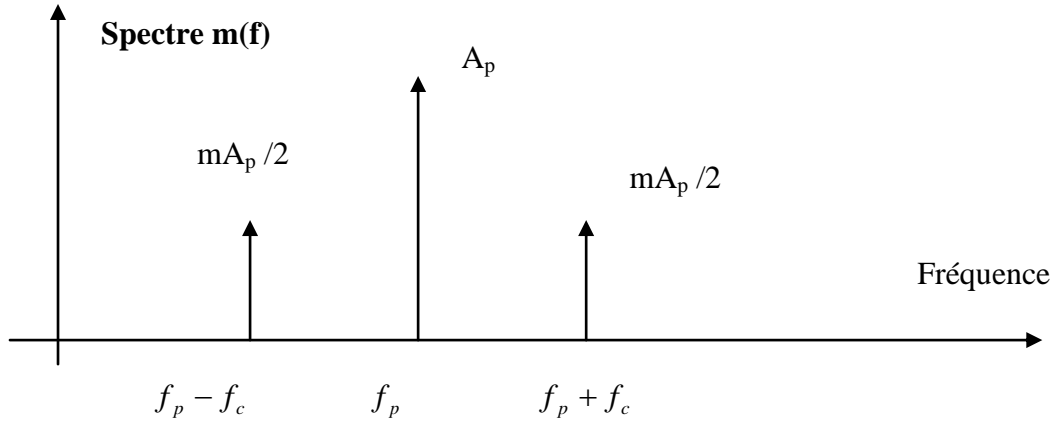


Figure Représentation spectrale du signal modulé en amplitude

Ou $f_p + f_c$ représente la raie latérale supérieure et $f_p - f_c$ la raie latérale inférieure.

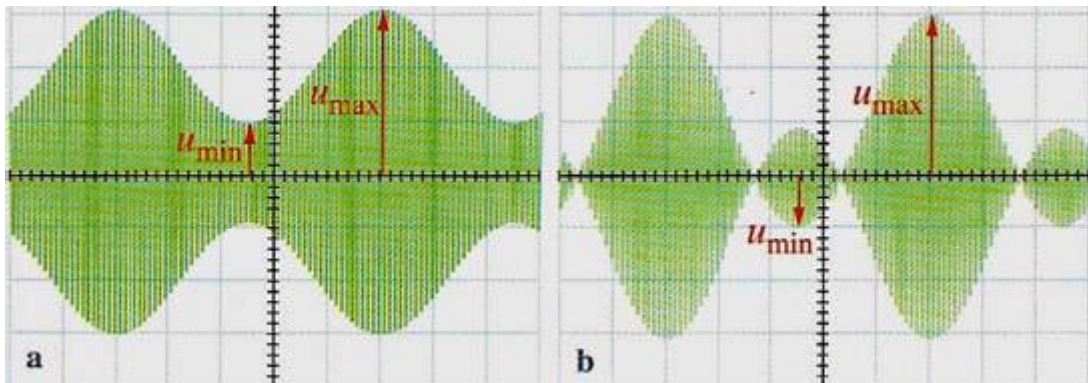


Figure 4. Représentation temporelle d'un signal modulé en Amplitude

On donne $U_{\max} = A_p + A_c$ et $U_{\min} = A_p - A_c$

A partir de ces deux relations ; on tire :

$$A_p = \frac{U_{\max} + U_{\min}}{2} \text{ et } A_c = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2}$$

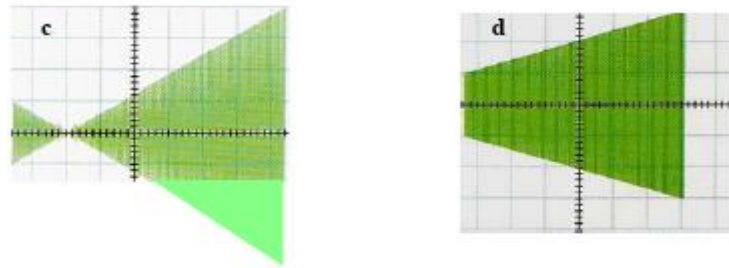
L'indice de modulation est donné par la relation :

$$m = \frac{A_c}{A_p} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}$$

La modulation est de bonne qualité dans le cas de l'oscillogramme a. Elle est de mauvaise qualité dans le cas de l'oscillogramme b (surmodulation).

La méthode du trapèze consiste à représenter la tension modulée en amplitude en fonction de la tension modulante ; lorsque les deux tensions sont visualisées sur les deux voies de l'oscilloscope, on enclenche le mode XY et on observe alors l'une des figure ci-après suivant le cas.

Pour observer différemment la tension modulée on utilise la méthode du trapèze.



Lorsque la modulation est de bonne qualité, on obtient un trapèze.

Donc l'oscillogramme a correspond à la figure d (trapèze donc modulation de bonne qualité) et l'oscillogramme b correspond à la figure c (deux triangles homothétiques (sur modulation)).

La présentation spectrale d'un signal modulé en Amplitude à porteuse conservée(fréquence porteuse égale à 50 KHz et fréquence modulante égale à 1 KHz à titre d'exemple) est donnée par la figure suivante :

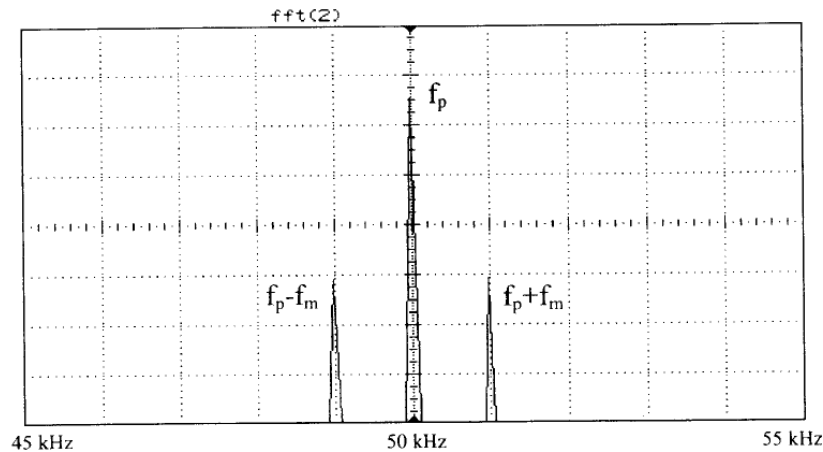


Figure 5 : Spectre du signal modulé avec porteuse

II. Préparation théorique

II.1 Modulation d'amplitude à porteuse conservée

On considère le circuit de la figure suivante :

G est un élément non linéaire ;

$$V_2 = a_1 V_1 + a_2 V_1^2$$

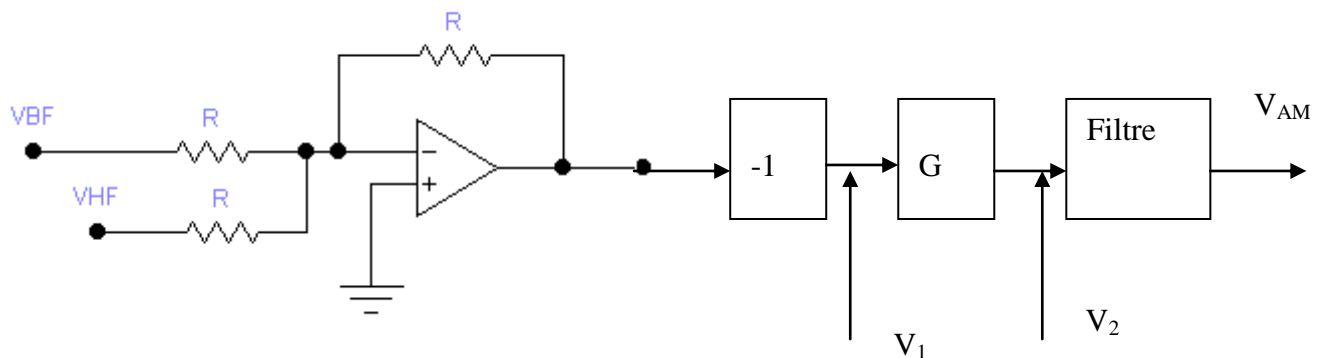


Figure 6. Circuit de modulation

1. Trouvez l'expression de V_1 tel que $V_{BF} = A_c \cos w_c t$ et $V_{HF} = A_p \cos w_p t$;
2. Trouvez l'expression de V_2 .
3. Quelle doit être la nature du filtre de sortie pour obtenir une modulation d'amplitude.
4. Quelles sont les conditions que doivent remplir les fréquences de coupure de ce filtre ?
5. Si on annule le niveau de tension BF, que se passe t-il ?
6. On considère le signal V_s défini par l'expression suivante :

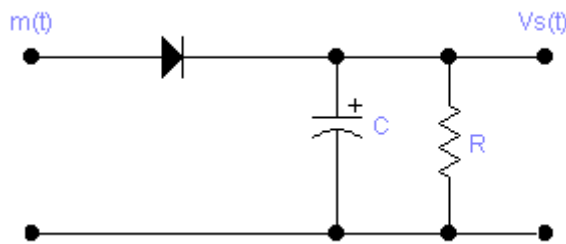
$$V_{AM}(t) = (5 + \cos 400\pi) \cos 20000\pi$$

On demande :

- 6.1 Représentez les variations dans le temps de ce signal, en déduire l'indice de modulation ?
- 6.2 Donnez la composition spectrale de ce signal ? en déduire la largeur de la bande passante ?
- 6.3 Ce signal est envoyé à travers une antenne d'émission de résistance égale à 5Ω . En déduire la puissance dissipée relative à ce signal ?
7. Que devient le signal modulé si on annule la tension basse fréquence.

II.2 Démodulation d'amplitude par détection linéaire

Ce type de démodulation est le plus fréquent. Le circuit le plus usuel dans ce cas, utilise comme détecteur une diode et un simple circuit RC (filtre passe bas) pour éliminer la composante spectrale relative à la porteuse.



On rappelle que le signal modulé en amplitude est décrit par :

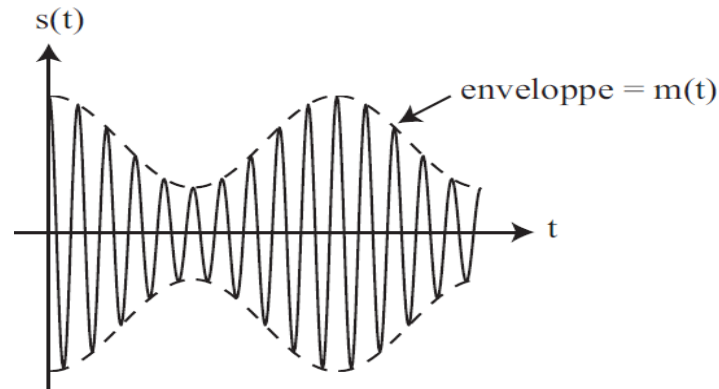
$$m(t) = A_p (1 + m \cos w_c t) \cos w_p t$$

la condition pour avoir un signal modulant utile est la suivante :

$$(1/f_p) \ll \tau \ll (1/f_c) \quad \text{avec } \tau = RC$$

le condensateur va se charger à travers la résistance dynamique R_d de la diode. La décharge va par contre s'effectuer à travers la résistance R . le condensateur n'aura pas le temps de se décharger complètement au cours de la période du signal haute fréquence qui représente la porteuse, par contre il pourra se décharger si on lui laisse un temps équivalent à la période du signal modulant basse fréquence.

Principe : mesure de l'enveloppe du signal pour récupérer le signal modulant $m(t)$:



Détecteur d'enveloppe

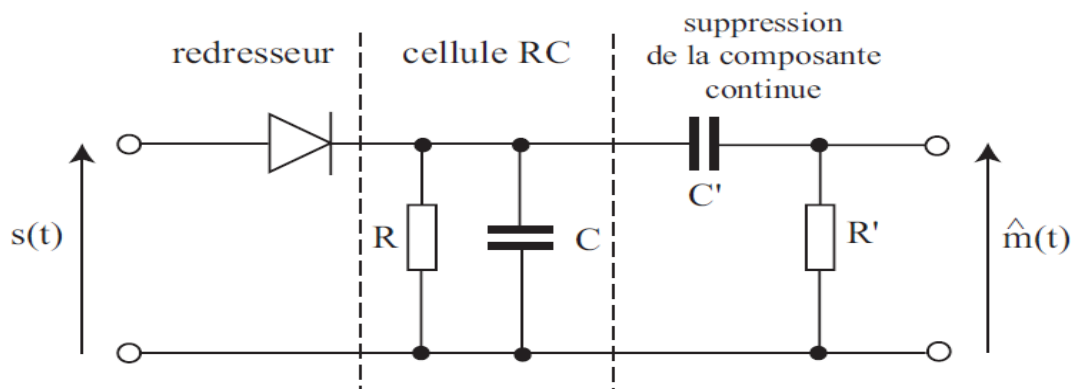
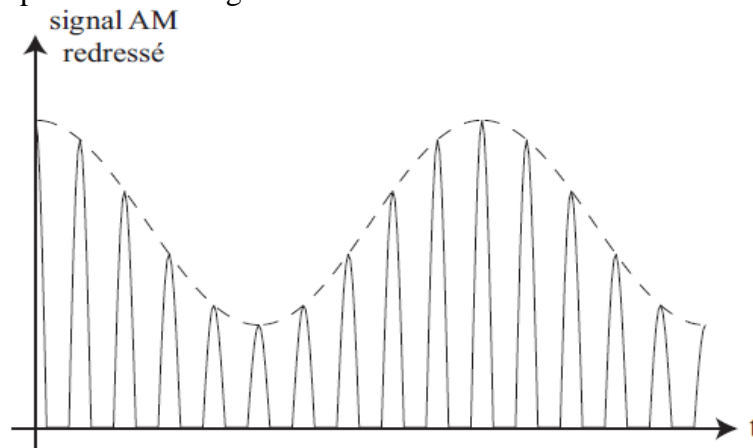
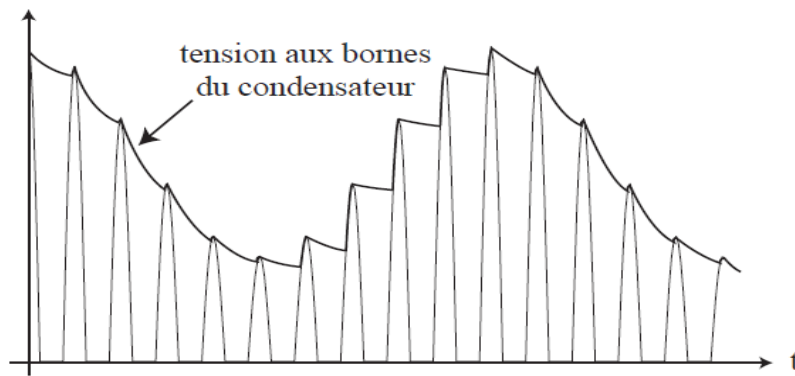


Figure 7. Détecteur d'enveloppe

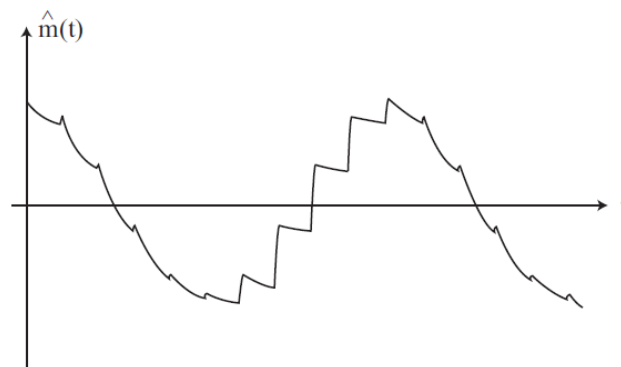
Fonctionnement : le signal AM est redressé par la diode afin de garder seulement l'alternance positive. Ce signal ne doit pas être surmodulé pour que l'enveloppe du signal redressé soit proportionnelle au signal modulant :



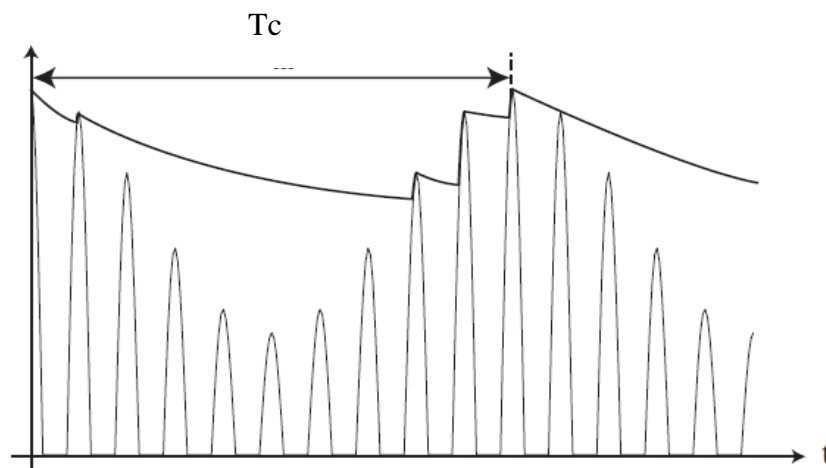
Pendant l'alternance positive du signal AM ou la diode conduit, le condensateur C se charge. Lorsque la diode se bloque pendant l'alternance négative, le condensateur se décharge à travers la résistance R avec une constante de temps $\tau = RC$. Si cette constante de temps est suffisamment grande, la tension aux bornes du condensateur reproduit approximativement la forme de l'enveloppe du signal AM.



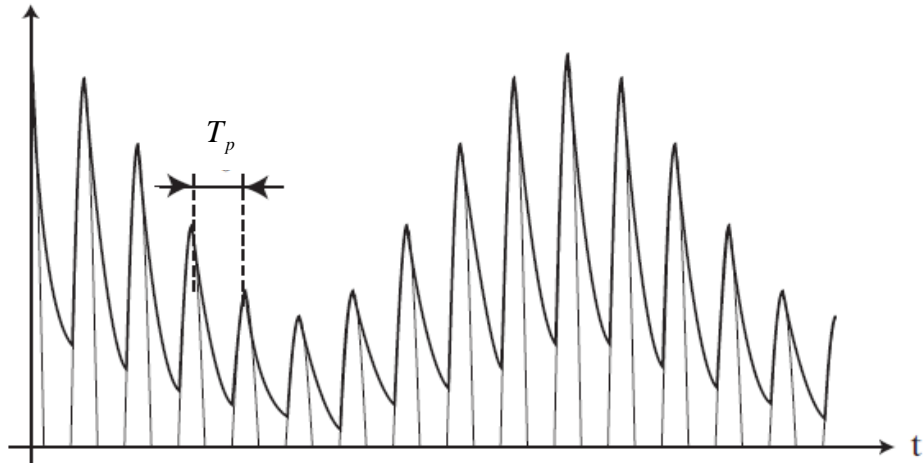
Après élimination de la composante continue, on obtient le signal démodulé:



Si τ est de l'ordre de la période $T_c = \frac{1}{f_c}$ du signal modulant, le condensateur se décharge trop lentement, dans ce cas le signal démodulé ne peut pas suivre les variations du signal modulant :



Si τ est de l'ordre de la période $T_p = \frac{1}{f_p}$ de la porteuse, le condensateur se décharge trop rapidement, le signal démodulé présente une forte ondulation haute fréquence.



Pour une démodulation correcte, on doit donc avoir :

$$T_p \ll T \ll T_c$$

III. Manipulation

La création d'un signal modulé se réalise à l'aide d'un circuit intégré multiplieur AD 633. Étudions le fonctionnement de ce composant et les caractéristiques du signal modulé. Étudions d'abord le fonctionnement du circuit intégré AD633 autant que multiplieur et déduisons la constante de K (voir brochage du CI 633).

A. Principe de fonctionnement d'un multiplieur

Réalisons l'expérience suivante :

- Relier l'alimentation + 12V / 0 V / - 12 V aux bornes du multiplieur (+ 12 V ; Z (masse) ; - 12 V) ;
- Relier les bornes du premier générateur entre les entrées X1 et X2 ;
- Relier les bornes du deuxième générateur entre les entrées Y1 et Y2 ;
- Relier les bornes X2, Y2, et Z (masse) entre elles ;
- Mettre en marche l'alimentation, puis les générateurs ;
- Régler la tension U1 à une valeur de 2,0 V et la tension U2 à une valeur de 6,0 V ;
- Brancher le voltmètre à la sortie entre les bornes W et la masse Z.

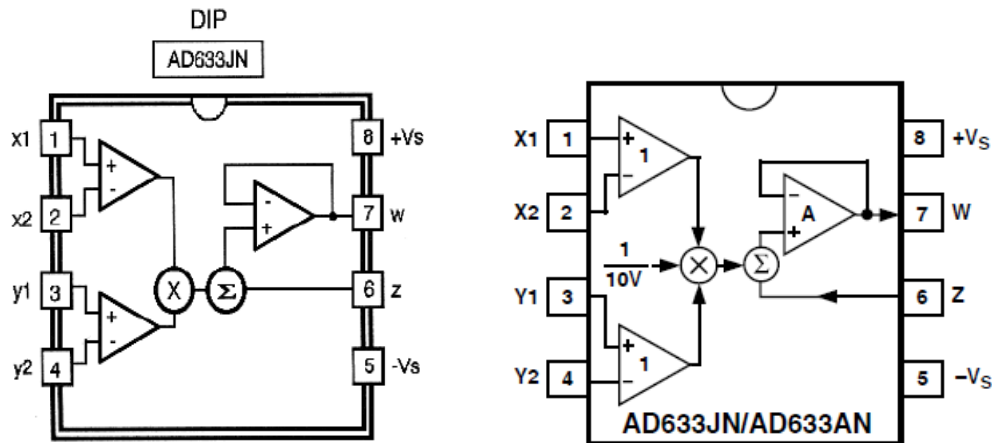


Figure 8 Brochage du circuit multiplieur AD633

Exploitation.

- Mesurer la tension U_s .
- Compléter alors le tableau suivant :

V1(en volt)	V2(en volt)	U_s (en volt)
2	4	
4	6	
2	6	

1. Montrer alors que l'on a une relation du type : $U_s = K * V_1 * V_2$ et en déduire la valeur du facteur k .
2. Montrez qu'en injectant aux bornes x_1 et y_1 deux sinusoïdaux dont le premier représente un signal BF plus une composante continue tandis que le deuxième un signal HF et en reliant la borne 6 à la borne 3, on obtient l'expression d'un signal modulé en Amplitude (travail théorique).

B. Étude expérimentale de la modulation.

Le multiplieur AD633 est le cœur de la plaquette, il est complété par d'autres opérateurs : il y a des soustracteurs à l'entrée pour avoir des entrées différentielles (il n'est donc pas nécessaire d'avoir une des bornes à la masse).

Le facteur K est dû à une diode Zener. Il permet d'éviter d'avoir de trop grandes tensions, qui feraient saturer le montage. Un sommateur est utilisé pour ajouter Z .

Un suiveur est mis sur la sortie pour réaliser l'adaptation d'impédance (insensibilité à la charge, dans une certaine mesure).

B.1. Réalisation du montage de modulation

1. Réaliser le schéma donné par la figure suivante, relier la borne 6 à la borne 3.

La porteuse $V_1(t)$ branchée en entrée y_1 ou délivrée par le GBF n°2 est telle que

$$V_1(t) = P(t) = A_p \cos w_p t : \text{ou } A_p = 5V \text{ et } f_p = 500Khz$$

Le signal modulant $V_2(t)$ délivré par le GBF n°1 s'écrit comme suit $s(t) = A_0 + A_c \cos w_c t$ tel que $A_0 = 4v$ ou plus, $A_c = 2v$, $f_c = 10Khz$. Ajuster l'amplitude à 2V et sa tension de décalage (offset) supérieure à 4V.

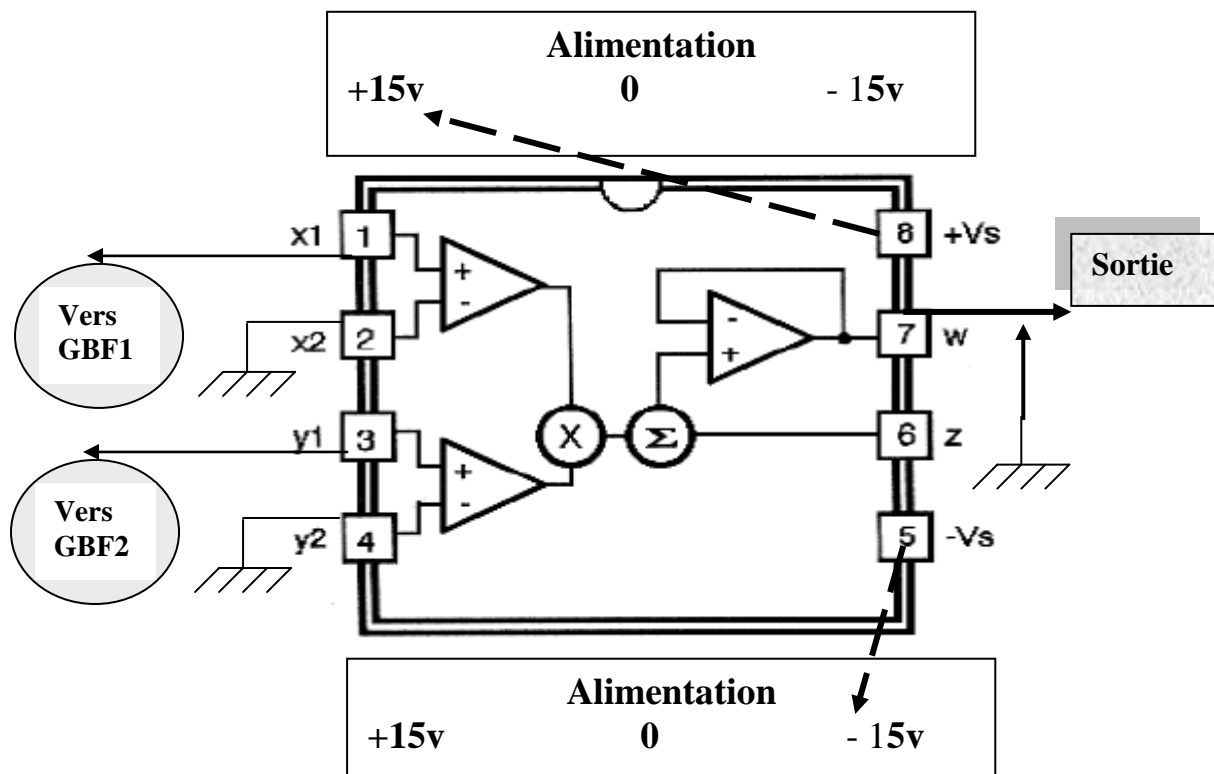


Figure 9 Modulation d'amplitude par circuit AD633

2. le signal modulé en amplitude $U_s(t)$ (obtenu en multipliant les deux signaux $V1(t)$ et $V2(t)$) est réalisé à l'aide d'un circuit intégré multiplieur AD633.
 3. Réaliser le montage de la figure en suivant les instructions. L'alimentation + 15V / 0 V/ - 15 V du circuit multiplieur doit être connectée en premier. (Ou choisir +/- 12volt).
 4. Connecter l'oscilloscope pour visualiser :
 - Sur la voie 1 : le signal modulant $u1(t)$;
 - Sur la voie 2 : le signal modulé $U_s(t)$ (entre les bornes W et la masse).
- Comparer le signal modulé au signal modulant.

B.2. Étude du taux de modulation et du phénomène de surmodulation

B.2.1. Détermination graphique

1. Déterminer sur l'oscilloscope, les valeurs de l'amplitude maximale U_{max} puis minimale U_{min} du signal modulé.
Le taux de modulation m est donné par la relation : $U_{max}-U_{min}/U_{max}+U_{min}$
2. Calculer sa valeur numérique pour le cas étudié en utilisant les valeurs précédentes.
Calculez l'indice de modulation ?
3. Donnez le mode de modulation de l'oscilloscope permettant , mesurez le taux de modulation.
4. En utilisant la fonction analyseur de spectre de l'oscilloscope numérique (mettre l'oscilloscope en mode FFT), visualisez le spectre du signal modulé ?
5. Visualisez la forme temporelle du signal modulé lorsqu'on augmente l'amplitude du signal modulant ainsi que son spectre ?

6. Remplacez le signal informatif sinusoïdal par un signal informatif carré avec les mêmes fréquences BF et HF prises précédemment. Représentez la forme du signal ainsi que son spectre. Conclure

C. Étude expérimentale de la démodulation.

1. Principe du détecteur de crête

Le récepteur capte un signal modulé ; afin d'avoir accès à l'information contenu dans le signal modulé, celui ci doit être injecté à l'entrée d'un démodulateur dont le rôle est de fournir un signal image du signal modulant.

On considère le montage suivant constitué d'une diode supposée idéale, d'une résistance R et d'un condensateur C . On l'alimente par une tension d'entrée sinusoïdale

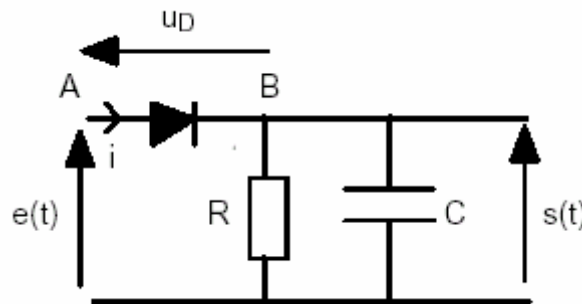


Figure 10. Principe du démodulateur par détecteur d'enveloppe

On envoie le signal modulé à l'entrée du circuit schématisé ci-contre.

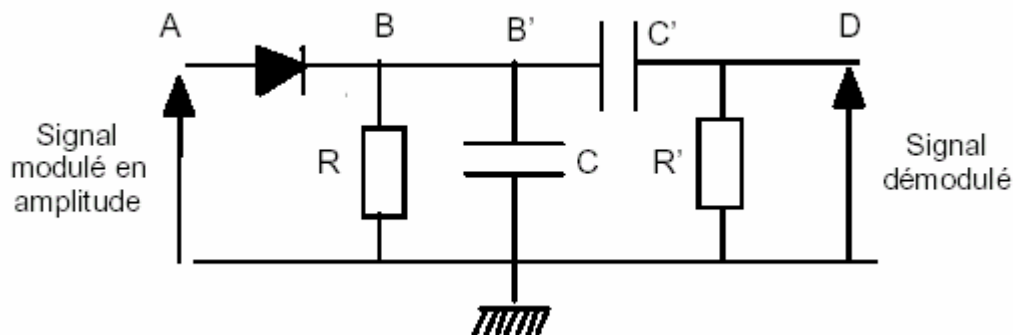


Figure 11. Circuit global de la démodulation d'amplitude

On prendra les mêmes valeurs de fréquence que précédemment, une amplitude porteuse de 8 à 10 V et un facteur de modulation $m = 0,4$ (préciser la valeur V_m qui convient).

On prendra les valeurs suivantes : $R = 1 \text{ kohm}$; $C = 33 \text{ nF}$; $R' = 100 \text{ kohm}$; $C' = 100 \text{ nF}$.

1. Observer à l'oscilloscope les signaux obtenus au point A, en débranchant le fil BB'. Représenter ce que vous observez sur votre compte rendu. Conclure.
2. Rebrancher le fil BB. Observer le signal obtenu au point B (ou B') et représenter le sur votre compte rendu. Conclure.
3. Observer le signal au point D. Conclure.

4. Afin de comparer le signal modulant et le signal détecté au point D, on peut envoyer l'un sur la voie X de l'oscilloscope et l'autre sur la voie Y. Représenter sur votre compte rendu ce que vous observez sur l'écran. La démodulation est-elle satisfaisante ?

Conclusion générale