

Utilisation des diodes et multiplieurs en électronique

Application à la modulation et démodulation d'amplitude

On cherche à déplacer le spectre du signal initial centré sur ω_m vers les hautes fréquences (spectre du signal modulé centré sur ω_p)

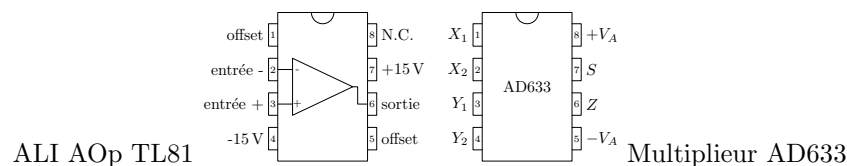
1. Réalisation d'une modulation d'amplitude AM

1. 1 Matériel utilisé : circuit intégré AD633 On utilise un multiplieur analogique AD633 (alimentation symétrique continue comme pour les A.O.). Il réalise le produit comme indiqué sur la formule (S en volts) :

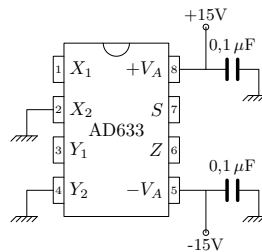
$$S = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10} - Z$$

Attention : il ressemble à s'y méprendre à un composant A.L.I. Ampli Op TL081 ou 741, donc prenez soin de regarder son câblage caractéristique.

L'alimentation se fait sur les bornes V_A et $-V_A$.

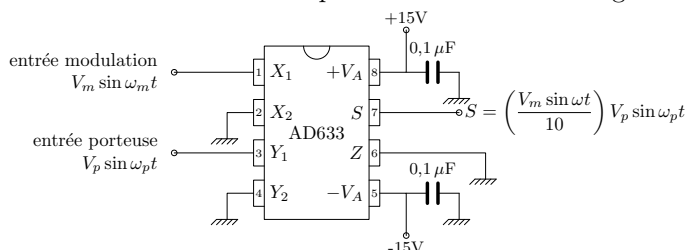


1. 2 Le composant AD 633 doit être câblé comme indiqué sur le schéma ci-dessous.



Afin de réaliser le produit de deux tensions, on met X_2 et Y_2 à la masse et les deux tensions initiales sont sur les bornes X_1 et Y_1 . **Les condensateurs sur le schéma ne sont pas ici indispensables.** Ils servent à assurer le filtrage de l'alimentation $\pm 15V$. Quel problème l'alimentation peut avoir, que l'on règle avec ces condensateurs ?

1. 3 On veut réaliser le produit de $V_p \sin \omega_p t$ (qui sera appelé la porteuse, de fréquence haute) par $V_m \sin \omega_m t$ (qui sera le signal modulant, de fréquence faible, c'est-à-dire le signal que l'on cherche à transporter au voisinage de la pulsation ω_p). Réaliser le câblage et visualiser le produit $s(t) = \frac{1}{10} V_m V_p \sin(\omega_p t) \sin(\omega_m t)$. Faire l'enregistrement de cette tension. Tracer le spectre de Fourier de ce signal.



1. 4 On modifie le montage pour tenir compte de la borne Z de l'AD633. En effet, le signal avec la méthode précédente varie jusqu'à zéro, mais pas avec cette méthode-ci. Le signal de sortie est, pour $k = \frac{1}{10}$ la constante multiplicative de l'AD633 :

$$v_s(t) = v_p(t) + kv_p(t)v_m(t) = v_p(t)[1 + kv_m(t)] = V_p[1 + kV_m \sin(\omega_m t)] \sin(\omega_p t)$$

Posons : $kV_m = m$ qui est appelé indice de modulation. On a alors comme signal de sortie :

$$v_s(t) = V_p[1 + m \sin(\omega_m t)] \sin(\omega_p t) \quad \text{On peut tracer le spectre de Fourier de ce signal.}$$

Utilisation des formules trigonométriques

On utilisera les formules ci-dessous au lieu de calculer les coefficients a_n et b_n comme indiqué dans le formalisme de Fourier :

$$\cos p + \cos q = 2 \cos\left(\frac{p+q}{2}\right) \cos\left(\frac{p-q}{2}\right)$$

et

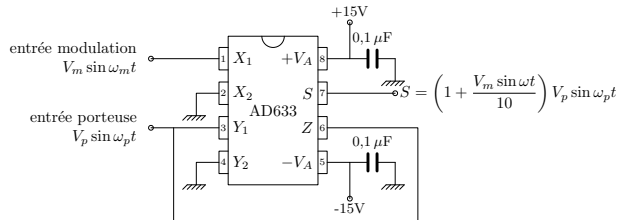
$$\cos p - \cos q = -2 \sin\left(\frac{p+q}{2}\right) \sin\left(\frac{p-q}{2}\right)$$

$$\sin p + \sin q = 2 \sin\left(\frac{p+q}{2}\right) \cos\left(\frac{p-q}{2}\right)$$

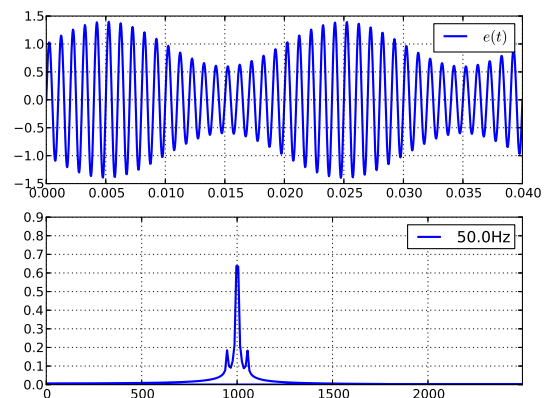
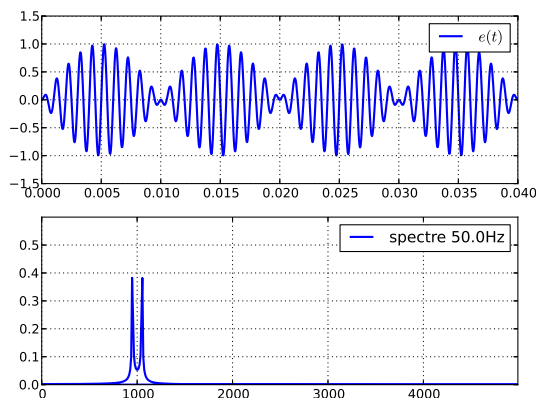
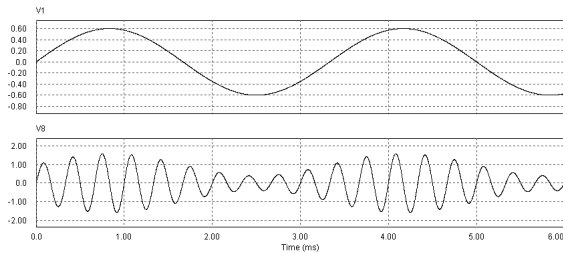
et

$$\sin p - \sin q = 2 \cos\left(\frac{p+q}{2}\right) \sin\left(\frac{p-q}{2}\right)$$

On utilise donc $\cos A \cos B = \frac{1}{2} (\cos(A - B) + \cos(A + B))$ ou $\sin A \cos B = \frac{1}{2} (\sin(A + B) + \sin(A - B))$



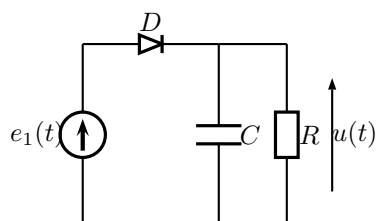
On peut faire varier le taux de modulation du signal de sortie.



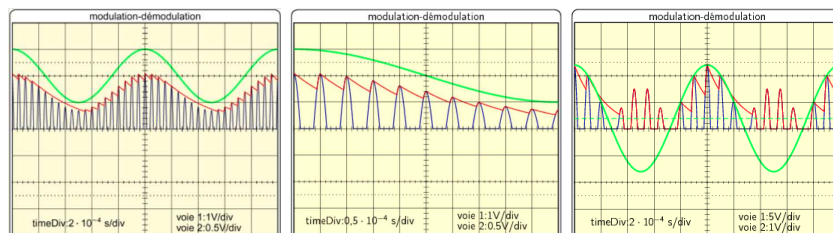
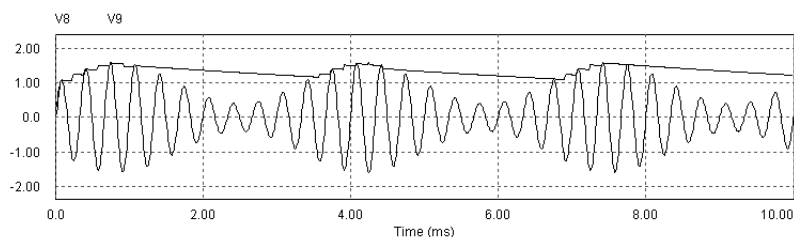
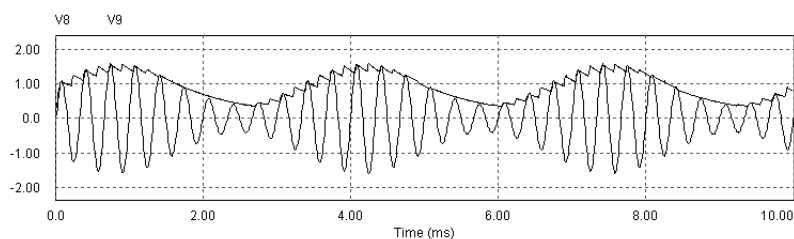
Calcul du spectre de Fourier

2. Démodulation AM par détection de crêtes : 1ère méthode, dite ASYNCHRONE

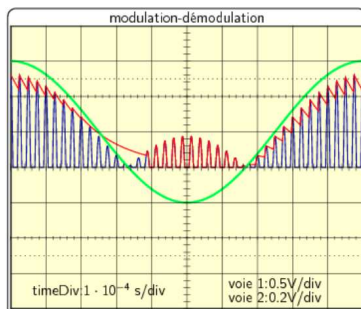
2. 1 Le problème est de **dimensionner le circuit RC** de manière à **restituer au mieux l'enveloppe du signal modulé**, c'est à dire de choisir R et C de manière à ce que la tension $d(t)$ s'approche au mieux de $S_p(1 + m \cos \omega_m t)$: on a une contrainte sur la constante de temps RC :



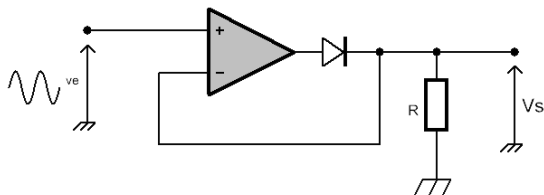
2. 2 Lors de la décroissance rapide de $s(t)$, la décharge du condensateur peut être insuffisante pendant une période T de la porteuse, ce qui conduit à une erreur de détection de l'enveloppe du signal modulé.



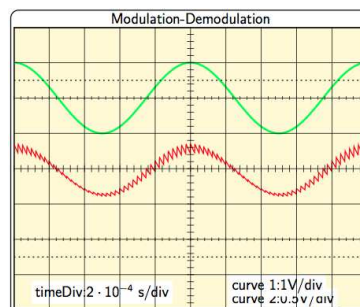
2. 3 Cas de plusieurs indices de modulation m et pour une fréquence du signal modulant f_m comprise entre 200 Hz et 5 kHz. ($m > 1$ et $m < 1$).



2. 4 Montage "diode idéale"



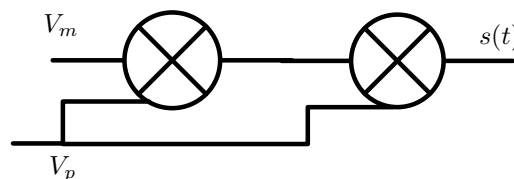
2. 5 Spectre de Fourier du signal démodulé ainsi que celui du signal initial.



3. Démodulation AM par détection SYNCHRONES : 2ème méthode, meilleure

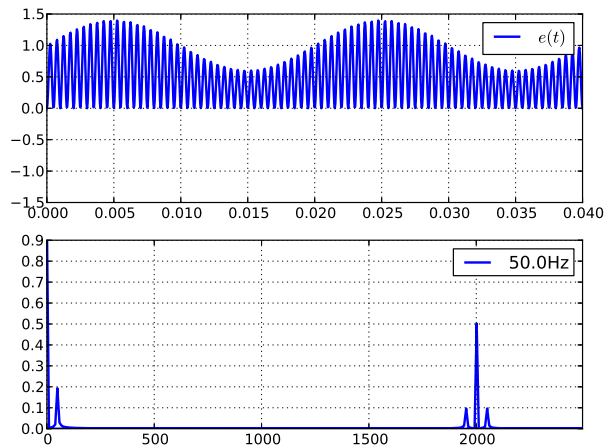
3. 1 On utilise un premier multiplieur pour réaliser la modulation, puis on place un second multiplieur afin de réaliser la démodulation (on multiplie le signal modulé par le signal porteur).

Ce montage n'est complet que lorsque l'on **ajoute en sortie un filtre passe-bas** pour ne garder que le signal recherché (voir le tracé de Fourier où le signal transporté est de 10kHz et le signal porteur est de 200kHz).

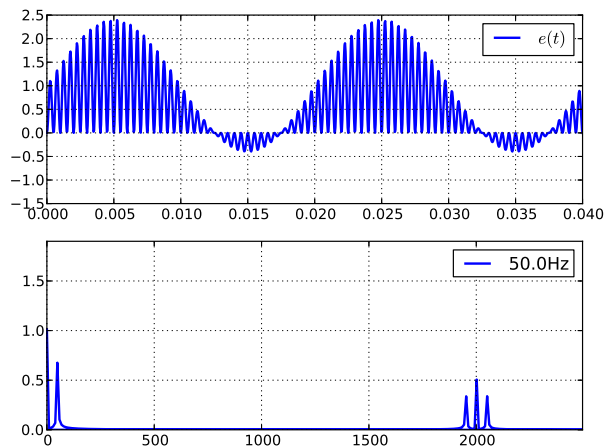


3. 2 Démodulation d'un signal sinusoïdal, préalablement modulé en amplitude dans la partie précédente :

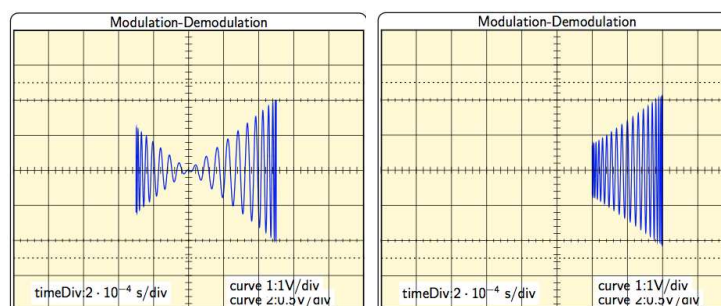
3. 3 Démodulation AM d'un signal avec $m < 1$.



3. 4 Cas $m > 1$.



3. 5 On utilise l'oscilloscope en mode X-Y et on observe les traces du signal modulé en fonction du signal modulant : la forme obtenue à l'écran est une manière de connaître m .



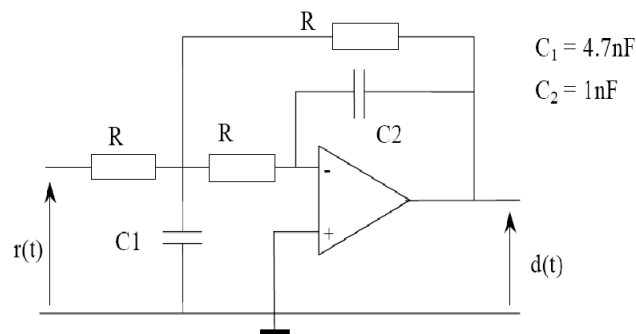
3. 6 Il est facile de calculer le signal de sortie $d(t)$ du détecteur synchrone et de montrer que l'on restitue bien le signal modulant, quelque soit la valeur de l'indice de modulation m , par un filtrage passe-bas.

? Exercice 1: Déphasage

Si la porteuse utilisée est déphasée d'un angle φ par rapport à la porteuse initiale utilisée lors de la modulation, montrer que l'on obtient le signal démodulé précédant corrigé par un terme dépendant de φ ce qui peut dégrader la réception.

? Exercice 2: Filtrage

On peut utiliser le montage à AO suivant dans la chaîne de détection synchrone. Quelles sont les caractéristiques de ce montage ?



4. Multiplication par un signal créneau

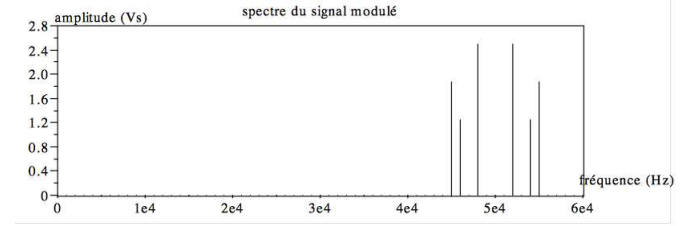
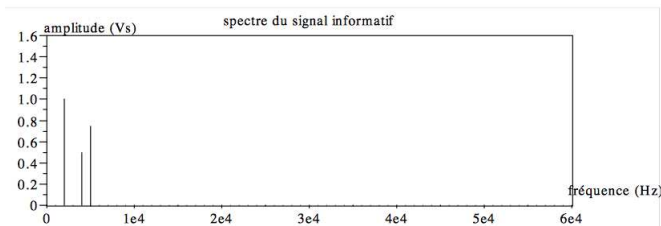
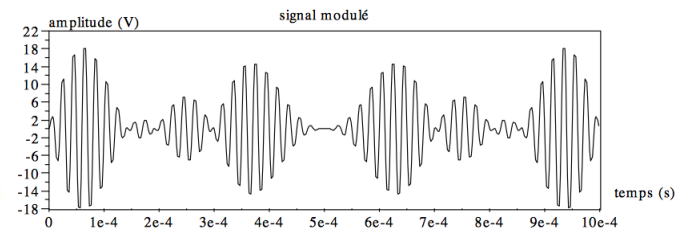
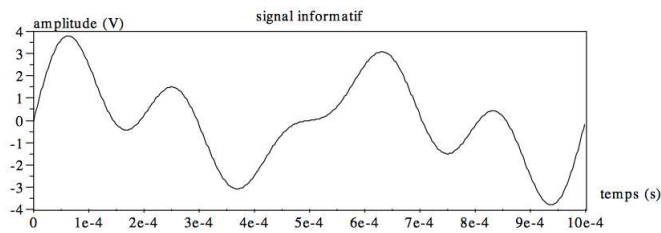
On peut présenter les fréquences et des amplitudes des cinq premières harmoniques d'un signal créneau de fréquence f_0 comme bonne approximation du signal

? Exercice 3: Signal Créneau

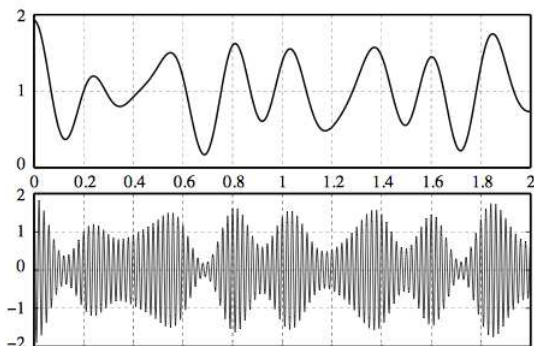
On réalise le produit de ce signal par le signal $s(t) = A(1 + \cos \omega t)$. Quel est alors le spectre du signal obtenu ?

5. Cas d'un spectre plus étendu initialement, non limité un sinus seul

Les tracés temporels précédents ne correspondent qu'à un spectre initial harmonique.



On peut donc émettre une modulation d'amplitude qui peut suivre un signal initial quelconque :



? Exercice 4: Vibration quasi-monochromatique

On réalise la somme de trois vibrations monochromatiques $V_0(t)$ d'amplitude A_0 et de fréquence f_0 , $V_1(t)$ d'amplitude $A_0/2$ et de fréquence $f_0 - \Delta f/2$ et $V_2(t)$ d'amplitude $A_0/2$ et de fréquence $f_0 + \Delta f/2$.

5. 1 Exprimer $V(t)$ comme une fonction trigonométrique de A_0 , f_0 et Δf . Comment cela peut être réalisé avec un multiplieur ?
5. 2 Montrer que cette vibration peut être assimilée à une vibration quasi-monochromatique dans un cas que l'on précisera.

? Exercice 5: Utilisation de multiplieurs

Un montage comportant des étages "multiplieur" fournit une tension de sortie qui suit la relation ci-dessous en fonction de la tension d'entrée : $s(t) = A + Be(t) + Ce^2(t) + De^3(t)$. On dispose en entrée une tension sinusoïdale de fréquence f_0 et d'amplitude assez élevée.

5. 1 Faire un schéma par blocs possible pour le montage.
5. 2 Représenter une allure du spectre de fréquence du signal de sortie.
5. 3 On utilise maintenant en entrée un signal non monochromatique de fréquence centrale f_0 et de largeur Δf . Représenter une allure du spectre de fréquence du signal d'entrée. Même question pour le signal de sortie.