

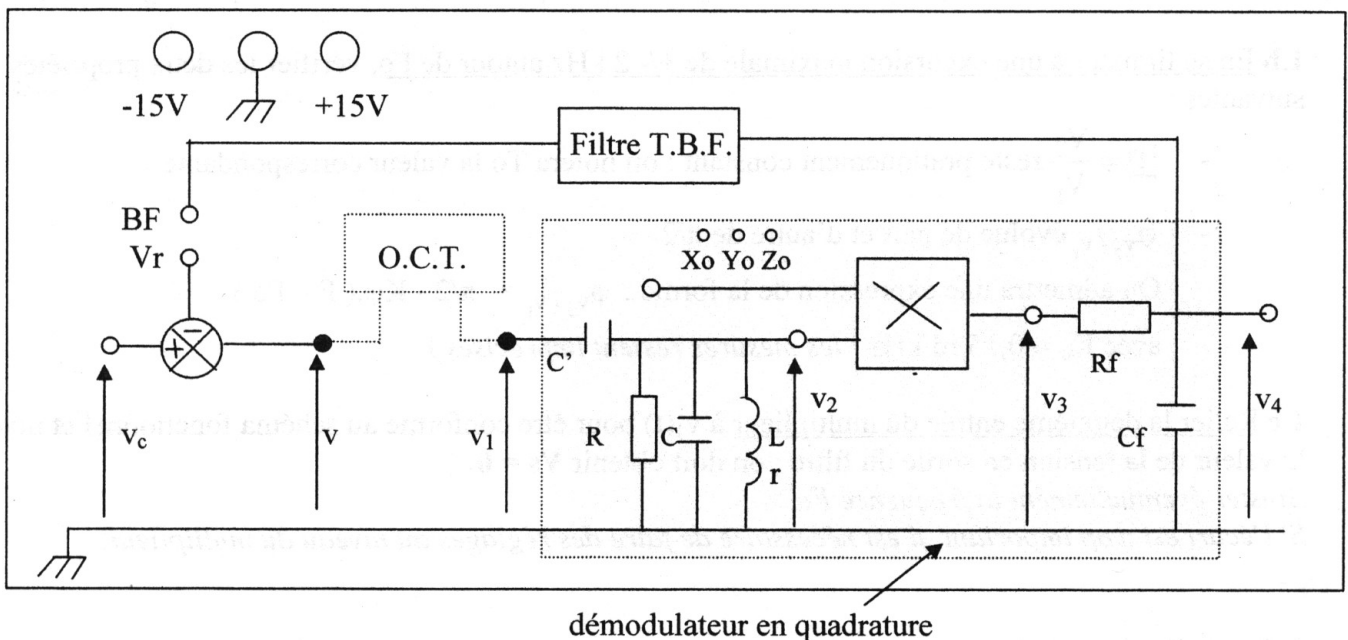
TP n°5 : étude d'un démodulateur de fréquence à quadrature (ou à coïncidence).

→ **But du TP** : le but de ce cinquième TP de seconde année est l'utilisation d'une maquette pour montrer le fonctionnement du démodulateur de fréquence à quadrature. On étudie tout d'abord les blocs principaux de cette maquette pour mieux comprendre le fonctionnement global de la démodulation FM.

1) présentation de la maquette.

On dispose :

- d'une maquette « démodulateur à quadrature » constituée de :



Seule la partie située entre v_1 et v_4 sera utilisée dans ce TP. Le bloc O.C.T. n'existe pas sur la maquette.

On donne :

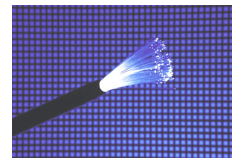
- pour le déphaseur : $C' = 1 \text{ nF}$, $C = 10 \text{ nF}$, $L = 0,1 \text{ mH}$ et $R = 3,9 \text{ k}\Omega$.
- pour le filtre passe-bas : $R_f = 10 \text{ k}\Omega$ et $C_f = 10 \text{ nF}$.

Les potentiomètres X_o, Y_o, Z_o peuvent être utiles pour des réglages propres au multiplieur.

- d'un générateur Agilent 22330 qui permet de créer des signaux modulés en fréquence, c'est-à-dire dont la fréquence instantanée s'écrit : $f(t) = f_0 + K_0 \cdot s(t)$.

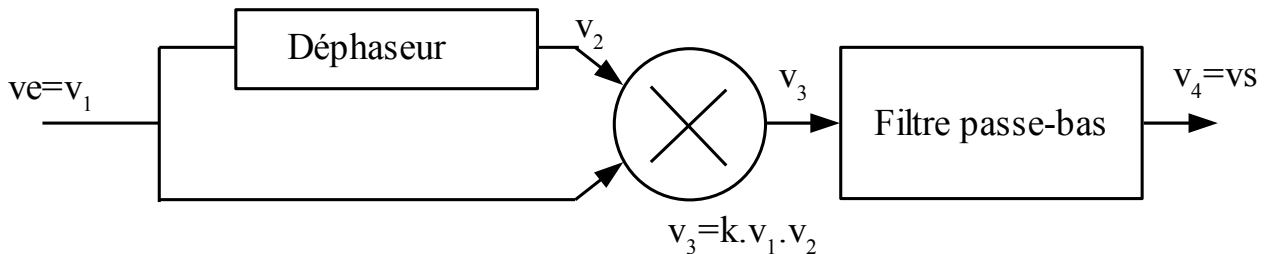
Le signal $s(t)$ peut être soit un signal externe, soit un signal interne (touche INT) créée par l'appareil lui-même. Le fonctionnement de ce générateur a déjà été expliqué dans un TP précédent.

Le but de ce TP est de récupérer le signal modulant $s(t)$ à la sortie v_4 de la maquette.



2) étude du démodulateur à quadrature.

Le schéma fonctionnel du démodulateur étudié est conforme à :



A) étude pratique :

étude du déphaseur seul : dans cette partie, on étudie le déphaseur seul alimenté par un signal sinusoïdal pur.

En imposant un signal sinusoïdal $v_1(t)$ d'amplitude $\widehat{V}_1 = 4 \text{ V}$ et de fréquence f (dans la gamme « 100 kHz ») en entrée du déphaseur, noter la valeur particulière de la fréquence pour laquelle $\varphi_{v_2/v_1} = \pi/2$.

On notera f_0 cette fréquence particulière.

Relever les signaux en indiquant les mesures qui vous ont permis de valider un déphasage de $\pi/2$ sur votre compte-rendu.

En se limitant à une excursion maximale de $\pm 2 \text{ kHz}$ autour de f_0 , relever les valeurs de \widehat{V}_1 , \widehat{V}_2 et φ_{v_2/v_1} pour quelques valeurs de f . Vérifier que :

- $T = \frac{\widehat{V}_2}{\widehat{V}_1}$ reste à peu près constant.
- φ_{v_2/v_1} varie linéairement en fonction de f :

On admettra par la suite que : $\varphi_{v_2/v_1} = \frac{\pi}{2} - K_\varphi \cdot (f - f_0)$ avec $K_\varphi \approx 0,15 \text{ rad/kHz}$

Câbler alors l'ensemble pour être conforme au schéma fonctionnel et noter la valeur de la tension en sortie du filtre ; on doit obtenir $V_s = 0 \text{ V}$ pour $f = f_0$.

Ajuster éventuellement la fréquence f_0 et si l'écart reste trop important, faire des réglages au niveau du multiplieur.

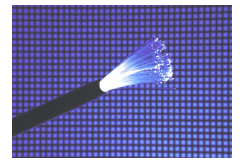
B) **étude théorique** : on suppose que $v_1(t) = \widehat{V}_1 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$

- écrire l'expression de $v_2(t)$ en fonction de T , \widehat{V}_1 et φ_{v_2/v_1} .

- en utilisant le fait que $\cos(a) \cdot \cos(b) = \frac{\cos(a+b) + \cos(a-b)}{2}$, montrer que $v_3(t)$ s'écrit comme la somme de deux fonctions sinusoïdales.

- montrer alors que $v_4(t)$ s'écrit : $v_4(t) = \frac{T \cdot \widehat{V}_1^2 \cdot K}{2} \cdot \sin(K_\varphi \cdot (f - f_0))$ en se rappelant que

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \sin(x). \quad (K \text{ est un coefficient propre au multiplieur})$$



- en utilisant le fait que $\sin(x) \approx x$ si x est petit, on obtient alors l'expression suivante :

$$v_4(t) = \frac{T \cdot \hat{V}^2 \cdot K \cdot K_\varphi}{2} \cdot (f - f_0)$$

Que doit-il alors se passer si $f(t) = f_0 + K_0 \cdot s(t)$?

3) application à la démodulation FM .

étude pratique : on impose alors un signal modulé en fréquence à l'aide du générateur Agilent 33220.

La porteuse sera sinusoïdale de fréquence f_0 telle que f_0 est la fréquence où le déphaseur donne un déphasage de $\pi/2$ et d'amplitude 4 V.

Le signal modulant $s(t)$ sera créé de manière interne au générateur et sera sinusoïdal d'amplitude $\hat{S} = 0,5$ V et de fréquence $F = 100$ Hz.

L'excursion de fréquence sera réglée à $\Delta f = 2$ kHz.

Donner la valeur théorique de l'indice de modulation.

Visualiser la tension de sortie $v_4(t)$ et montrer (en faisant varier légèrement la fréquence de $s(t)$) que cette tension est l'image du signal modulant $s(t)$. Garder une trace de ce travail sur votre compte-rendu.

En reprenant $F = 100$ Hz, relever la caractéristique $\hat{V}_4 = f(\hat{S})$ en faisant varier l'amplitude de $s(t)$ de 0 à 2 V environ. Noter les valeurs caractérisant le domaine linéaire.

On note α la pente de cette caractéristique dans le domaine linéaire.

Donner l'ordre de grandeur de α et valider le résultat obtenu expérimentalement en se rappelant la

relation démontrée :
$$v_4(t) = \frac{T \cdot \hat{V}^2 \cdot K \cdot K_\varphi}{2} \cdot (f - f_0)$$

influence d'un décalage entre la fréquence porteuse et la fréquence où le déphaseur vaut $\pi/2$:

Le signal $v_1(t)$ est maintenant modulé en fréquence autour de f'_0 différente de f_0 .

Le signal modulant $s(t)$ a une amplitude de 0,1V et une fréquence de $F = 100$ Hz.

Pour un écart entre f'_0 et f_0 de l'ordre de 2 kHz, visualiser et imprimer $v_s(t)$.

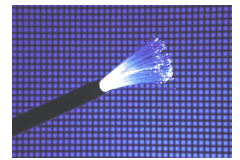
Positionner le point de fonctionnement correspondant sur la caractéristique $\hat{V}_4 = g(f - f_0)$ et noter la cohérence avec la représentation instantanée de $v_s(t)$.

Noter l'évolution du point de fonctionnement si on augmente encore l'écart entre f'_0 et f_0 .

Justifier ainsi l'allure de $v_s(t)$ obtenue.

Conclusion : pour une bonne démodulation, il est nécessaire que la fréquence porteuse coïncide avec la fréquence pour laquelle le déphaseur introduit un déphasage de $\frac{\pi}{2}$.

On justifie ainsi la terminologie « démodulateur à coïncidence »

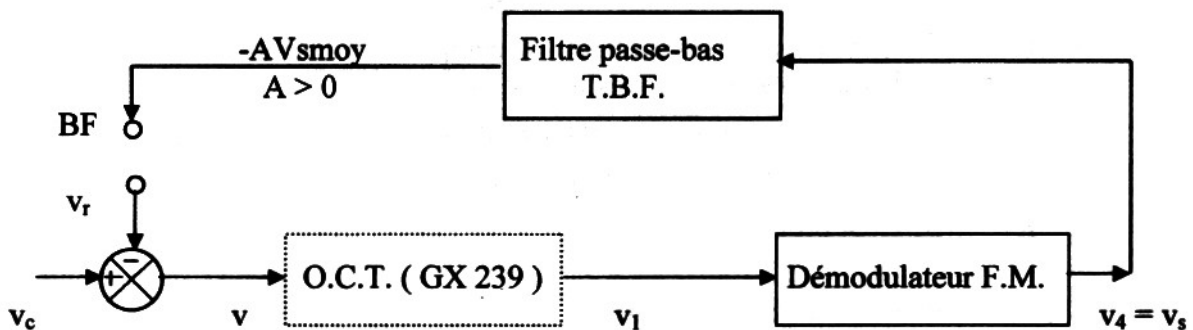


4) contrôle automatique de gain.

Données du problème : le signal $v_1(t)$ est modulé en fréquence autour de f'_0 différente de f_0 . Dans ce cas, avec $s(t) = 0$, on obtient en sortie une composante continue V_{smoy} de valeur différente de zéro.

Principe du C.A.F. : exploiter cette valeur, image de l'écart entre f'_0 et f_0 , pour ramener la fréquence centrale de $v_1(t)$ à la fréquence f_0 .

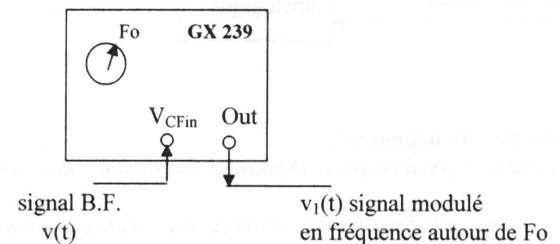
Sur la maquette, on dispose d'un filtre passe-bas (noté T.B.F.) est conçu à partir d'un ampli



inverseur:

- sa fréquence de coupure est de l'ordre de 0,16 Hz.
- son amplification dans le domaine des très basses fréquences

On impose maintenant le signal modulant $s(t)$ sur l'entrée de la boucle (sur l'entrée repérée v_c) et on règle la fréquence centrale du générateur GX239 (de la porteuse) à $f'_0 \neq f_0$. Le signal $s(t)$ va attaquer l'entrée V_{CFin} du générateur GX239 qui va délivrer le signal $v_1(t)$ d'amplitude de l'ordre de 4 V.



Étude en boucle ouverte. (on impose $v_r = 0$)

Pour un écart faible (de l'ordre de 2 kHz), vérifier la présence sur la borne notée BF d'une tension continue. Noter et justifier son signe quand $f'_0 > f_0$ et $f'_0 < f_0$

Étude en boucle fermée. (on relie v_r à la borne notée B F)

Visualiser $v_c(t)$ et $v_s(t)$ pour un écart de fréquence entre f'_0 et f_0 de l'ordre de ± 2 kHz. Commenter.

Justifier de façon qualitative ce " contrôle automatique " de fréquence en suivant le raisonnement suivant :

- on note f_c la fréquence centrale de l'O.C.T.
- initialement, $f_c = f'_0 \neq f_0$ et une grandeur continue est ramenée sur v_r
- préciser son signe et l'effet produit sur la valeur de f_c .