



HAL
open science

APPROCHE DE L'ELECTRONIQUE PAR LES FONCTIONS

Manuel Avila, Pascal Vrignat, Stéphane Begot, Florent Duculty

► **To cite this version:**

Manuel Avila, Pascal Vrignat, Stéphane Begot, Florent Duculty. APPROCHE DE
L'ELECTRONIQUE PAR LES FONCTIONS. 2007. hal-00602843

HAL Id: hal-00602843

<https://hal.science/hal-00602843>

Submitted on 23 Jun 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

APPROCHE DE L'ELECTRONIQUE PAR LES FONCTIONS

AVILA M., VRIGNAT P., BEGOT S., DUCULTY F.
Manuel.Avila@univ-orleans.fr
Laboratoire Vision et Robotique, IUT de l'Indre
2 av. F. Mitterrand, 36000 CHATEAUROUX

RESUME

Dans cet article, nous présentons des maquettes de travaux pratiques d'électronique que nous avons conçues pour l'enseignement de l'électronique en deuxième année de DUT GEII, notamment sur l'aspect transmission de l'information. Le cours d'électronique est construit autour des fonctions élémentaires pour la transmission d'un signal : l'oscillateur sinusoïdal, le filtre, le mélangeur (ou mixer), l'oscillateur commandé en tension. A partir de ces fonctions, il est possible de « construire » des systèmes plus complexes : une boucle à verrouillage de phase, un démodulateur AM ou FM, ...

Mots clés : TP d'électronique, VCO/OCT, PLL, Modulation/démodulation

1 INTRODUCTION

Le programme de deuxième année de DUT Génie Electrique et Informatique Industrielle contient un module intitulé : Fonctions associées au Traitement et à la Transmission de l'Information. Les compétences attendues sont :

- Savoir mettre en oeuvre un oscillateur sinusoïdal et les circuits spécialisés afférents,
- Connaître et savoir exploiter la boucle à verrouillage de phase,
- Être capable de mettre en œuvre une chaîne élémentaire de traitement et de transmission du signal.

Les fonctions « élémentaires » pour présenter ces notions sont : le filtre (actif ou passif), l'oscillateur (éventuellement commandé en Tension OCT ou VCO), et le mélangeur (ou mixer). A partir de ces « briques de base », il est possible de reconstruire des fonctions plus évoluées : boucle à verrouillage de phase (PLL), modulateur, démodulateur, ...

Il peut être nécessaire d'utiliser d'autres fonctions particulières pour permettre de caractériser des fonctions : par exemple le filtre déphaseur.

Depuis quelques années, nous étions à la recherche de matériels de TP permettant d'illustrer « simplement » ces problèmes. Les systèmes disponibles sur le marché étaient excessivement chers ou ne correspondaient pas à nos attentes. Les systèmes existants nécessitent généralement l'usage d'un ordinateur pour les piloter, pour collecter les mesures, pour rédiger le compte rendu, ... L'un des intérêts pédagogiques des TP d'électronique est d'obliger les étudiants à utiliser le matériel de mesure (GBF, multimètres, oscilloscopes, ...) en les incitant à se poser des questions.

Nous avons, donc, conçu des maquettes de TP sous formes de modules insérables dans un « fond de panier » qui simplifie la connexion vers les appareils de mesure et fournit les alimentations à chaque module. L'intérêt est de réduire la partie câblage de l'étudiant pour qu'il se consacre aux parties « intéressantes » que sont l'étude et la caractérisation des fonctions électroniques.

Dans cet article, nous présentons les quelques fonctions que nous avons réalisées ainsi que le « fond de panier ».

Des exemples de systèmes « complexes » sont ensuite construits à partir de ces fonctions « élémentaires ».

2 LES FONCTIONS ELEMENTAIRES

Nous commencerons donc par présenter les fonctions élémentaires utiles pour décrire des systèmes plus complexes.

2.1 LE FILTRE

La fonction filtre peut être réalisée en technologie passive ou active. Un moyen simple de réaliser un filtre actif consiste à mettre en cascade un certain nombre de cellule de filtres actifs d'ordre 2. On peut utiliser des cellules de Rauch, de Sallen & Key ou d'autres. Suivant l'ordre et la méthode d'approximation, il suffira de déterminer la valeur des composants en fonction du coefficient d'amortissement et de la fréquence de coupure. Ce problème ne sera pas traité dans cette étude. Nous étudierons simplement un circuit passif (figure 1) comportant 4 impédances.

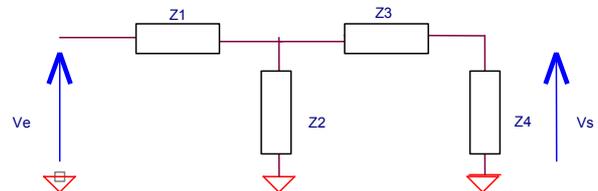


fig 1 : Filtre passif

En fonction de la nature des impédances, on peut réaliser un filtre passe bas, un filtre passe haut ou un filtre passe bande. L'expression suivante donne la fonction de transfert générique du filtre.

$$\frac{v_s(j\omega)}{v_e(j\omega)} = \frac{z_2 \cdot z_4}{z_1 \cdot z_2 + z_1 \cdot z_3 + z_1 \cdot z_4 + z_2 \cdot z_3 + z_2 \cdot z_4}$$

Par exemple, la figure 2 permet de réaliser un filtre passe bas passif d'ordre 2.

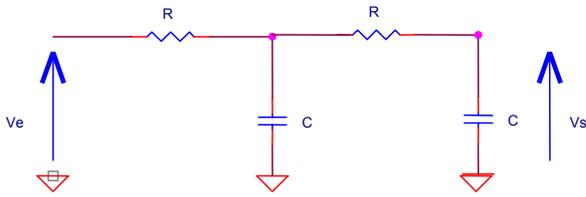


fig 2 : Filtre passe bas passif

On obtient, pour ce montage, la fonction de transfert suivante :

$$\frac{v_s(j\omega)}{v_e(j\omega)} = \frac{1}{1 + 3 \cdot jRC\omega + (jRC\omega)^2}$$

En remplaçant une des résistances par une bobine (figure 3), il est possible d'obtenir un filtre passe bande très sélectif en fonction des valeurs des composants. Cela permet, par exemple, de réaliser un réseau de réaction pour un oscillateur.

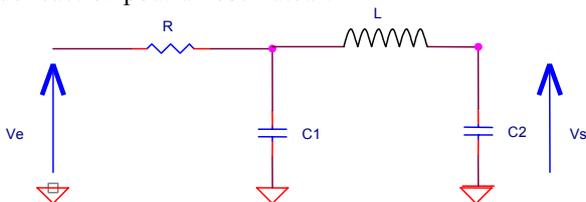


fig 3 : Filtre passe bande passif

On obtient, pour ce montage, la fonction de transfert suivante :

$$\frac{v_s(j\omega)}{v_e(j\omega)} = \frac{1}{1 + jR(C_1 + C_2)\omega + LC_2(j\omega)^2 + LRC_1C_2(j\omega)^3}$$

2.2 LE MELANGEUR

La fonction mélangeur (ou mixer) est une fonction essentielle pour la transmission d'information. Cet élément permet de concevoir des comparateurs de phase pour la PLL, des démodulateurs ou des éléments de ceux-ci pour la démodulation d'amplitude ou de fréquence, des translateurs de fréquence, ...

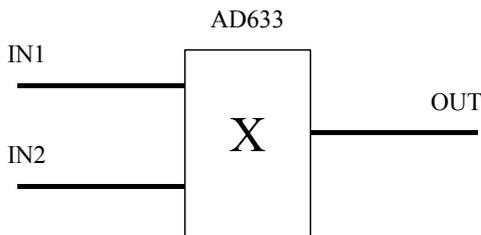


fig 4 : Fonction mélangeur

La relation, sur laquelle est basé le principe du mélangeur, est la suivante :

$$\cos(a) \cdot \cos(b) = \frac{\cos(a-b) + \cos(a+b)}{2}$$

Si l'on considère les signaux suivants aux entrées du mélangeur :

$$\text{Sur IN1 : } v_1(t) = A_1 \cos(\omega_1 \cdot t + \varphi_1)$$

$$\text{Sur IN2 : } v_2(t) = A_2 \cos(\omega_2 \cdot t + \varphi_2)$$

En sortie, nous obtenons :

$$v_x(t) = A_1 \cos(\omega_1 \cdot t + \varphi_1) \cdot A_2 \cos(\omega_2 \cdot t + \varphi_2)$$

$$v_x(t) = \frac{A_1 \cdot A_2}{2} [\cos((\omega_1 - \omega_2)t + \varphi_1 - \varphi_2) + \cos((\omega_1 + \omega_2)t + \varphi_1 + \varphi_2)]$$

En plaçant un filtre passe bas en sortie du mélangeur, on élimine la partie haute fréquence et il reste en sortie :

$$v_s(t) = \frac{A_1 \cdot A_2}{2} [\cos((\omega_1 - \omega_2)t + \varphi_1 - \varphi_2)]$$

Suivant la nature des entrées, on obtient une fonction différente :

- Un comparateur de phase si les fréquences de V_1 et V_2 sont voisines (figure 5).

Hypothèse : même fréquence avec déphasage

$$v_1(t) = A_1 \cos(\omega_1 \cdot t + \varphi_1), v_2(t) = A_2 \cos(\omega_1 \cdot t + \varphi_2)$$

On obtient en sortie :

$$v_s(t) = \frac{A_1 \cdot A_2}{2} [\cos(\varphi_1 - \varphi_2)]$$

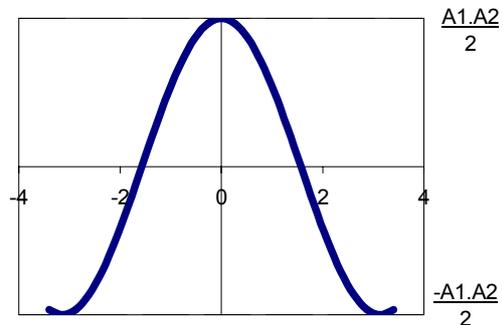


fig 5 : Caractéristique du comparateur de phase

- Un translateur de fréquence si les fréquences sont éloignées.

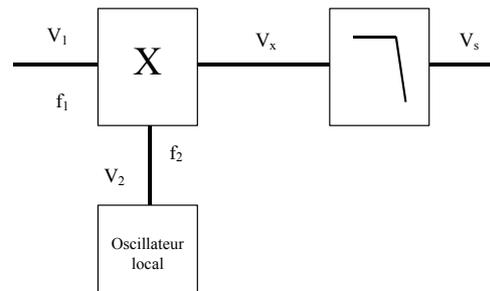


fig 6 : Translateur de fréquence

A la sortie du translateur (figure 6), les fréquences présentes dans le signal V_1 sont décalées en fonction de la fréquence de l'oscillateur local. Ce type de montage est très souvent utilisé dans des récepteurs (radio, téléviseur, ...).

Le signal, en sortie, se trouve décalé en fréquence. La pulsation du signal en sortie sera égale à $\omega_s = \omega_1 - \omega_2$ et la fréquence $f_s = f_1 - f_2$.

$$v_s(t) = \frac{A_1 \cdot A_2}{2} [\cos((\omega_1 - \omega_2) \cdot t)]$$

2.3 L'OCT ou VCO

L'Oscillateur Commandé en Tension (OCT ou Voltage Control Oscillator figure 7) est un convertisseur tension fréquence. Il peut être construit sur la base d'oscillateur RC ou LC dans lequel, la valeur d'une capacité est variable en fonction d'une tension (diode varicap).

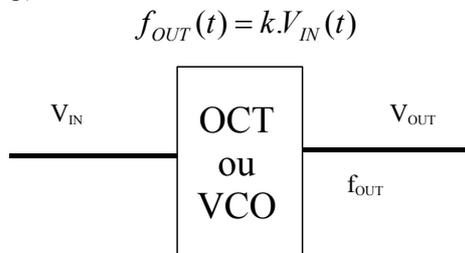


fig 7 : Oscillateur Commandé en Tension

Il existe encore quelques circuits intégrés qui réalisent uniquement cette fonction sur des formats simples de mise en œuvre (composant traversant boîtier DIP) : Par exemple : MAX038, XR2206, ...

Ce composant peut être utilisé :

- pour produire un signal modulé en fréquence,
- dans une PLL,
- comme un oscillateur local (figure 6),
- ...

3 FONCTIONS COMPLEXES

A partir des fonctions élémentaires, on peut construire des fonctions complexes :

- une PLL,
- un oscillateur à réseau de réaction,
- un démodulateur FM,
- ...

3.1 L'OSCILLATEUR

Un oscillateur à réseau de réaction se compose d'un amplificateur de gain \underline{A} et d'un réseau de réaction \underline{B} . Les conditions d'oscillation de ce type de montage sont définies par le critère de Barkaüsen :

$$\underline{A} \cdot \underline{B} = 1$$

Cette relation conduit à deux conditions :

- $\text{Arg}(\underline{A}) + \text{Arg}(\underline{B}) = 0$ qui donne la fréquence des oscillations
- $|\underline{A} \cdot \underline{B}| = 1$ qui donne la condition de démarrage

Dans le montage de Collpitts (figure 8), la condition sur les arguments, pour le réseau de réaction, peut se vérifier avec un déphasage de $-\pi$. Pour satisfaire cette condition, il faut utiliser un amplificateur inverseur. Ce qui peut être réalisé de façon simple à l'aide du mélangeur sur lequel on appliquera une tension continue négative sur l'une des deux entrées, l'autre recevant le signal à amplifier. En séance de TP, on peut utiliser un simple potentiomètre connecté aux tensions adéquates qui permettra, entre autre, de vérifier la condition de démarrage.

La même maquette peut être utilisée pour réaliser un oscillateur à pont de Wien. Il faudra alors utiliser un amplificateur non inverseur, facile à réaliser avec le mélangeur en utilisant une tension continue positive.

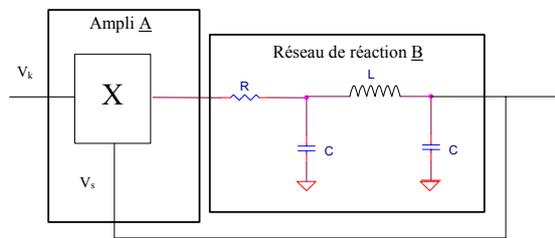


fig 8 : Oscillateur à réseau de réaction

3.2 LA PLL

Un moyen simple de réaliser une PLL est d'utiliser le schéma suivant (figure 9) composé d'un mélangeur, d'un filtre passe bas et d'un oscillateur commandé en tension.

L'étude en TP de la PLL consiste à tracer les caractéristiques des composants de celle-ci :

- caractéristique du comparateur de phase (exemple figure 5),
- caractéristique de l'OCT (fréquence en sortie / tension d'entrée).

On peut, ensuite, en déduire la plage de poursuite cette PLL .

Afin de caractériser le comparateur de phase, il est nécessaire d'utiliser un filtre déphaseur. Le principe est décrit au paragraphe suivant.

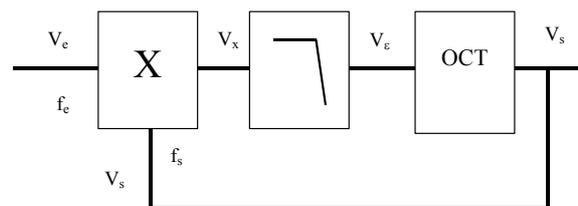


fig 9 : Exemple de PLL

3.3 DEMODULATEUR FM

On peut réaliser un démodulateur de fréquence (figure 10) en utilisant un comparateur de phase associé à un filtre déphaseur. Le schéma de ce filtre déphaseur est détaillé sur la figure 15. Il possède un gain constant de 0dB et présente un déphasage de 0 à -4π en fonction de la fréquence (figure 11).

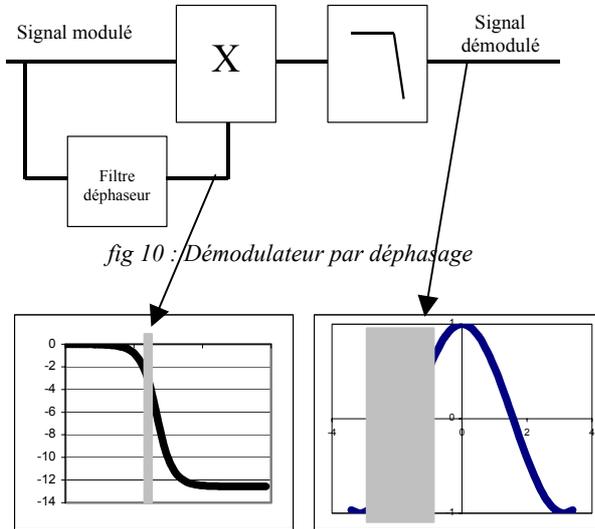


fig 10 : Démodulateur par déphasage

fig 11 : Démodulateur par déphasage

En choisissant correctement la fréquence du signal modulé par rapport à la caractéristique du filtre déphaseur (figure 11), la tension en sortie du comparateur de phase sera proportionnelle à la tension modulante.

4 LA MAQUETTE DE TP

Notre maquette de TP a été conçue afin de concentrer le travail des étudiants sur l'étude des fonctions en limitant les problèmes de connexion entre les modules. La carte « fond de panier » (figure 12) a été conçue pour simplifier le câblage des fonctions. Il suffit de connecter la carte fonction sur le fond de panier pour assurer l'alimentation des composants. Nous avons opté pour des connecteurs SUBD 9 points mâles et femelles qui assurent également une liaison mécanique efficace des fonctions.

La liaison entre les fonctions est assurée par des cordons bananes de 2mm.

4.1 LE FOND DE PANIER

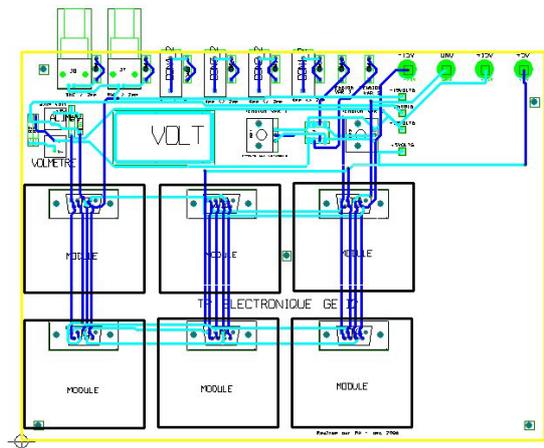


fig 12 : Fond de panier

La carte « fond de panier » (figure 12) dispose de six emplacements permettant de recevoir les fonctions élémentaires. Elle assure l'alimentation des cartes fonctions à partir des borniers d'alimentation (fiches bananes 4mm). Nous avons également placé des interfaces de connexion : banane 4mm \leftrightarrow 2mm et BNC \leftrightarrow banane 2mm. Deux potentiomètres ont été placés sur la carte pour disposer de tensions ajustables de -15 à $+15$ Volts. Un voltmètre a été placé également pour visualiser une tension (faible précision).

Il est possible de placer une plaque de câblage sur le côté de la carte « fond de panier », ceci afin de disposer d'une zone de câblage libre (visible figure 18).

4.2 LES FONCTIONS ELEMENTAIRES

4.2.1 Le filtre

La figure 13 montre l'implantation des composants sur la fonction filtre. Quatre emplacements permettent d'associer en série ou en parallèle des dipôles afin de constituer différents types de filtres.

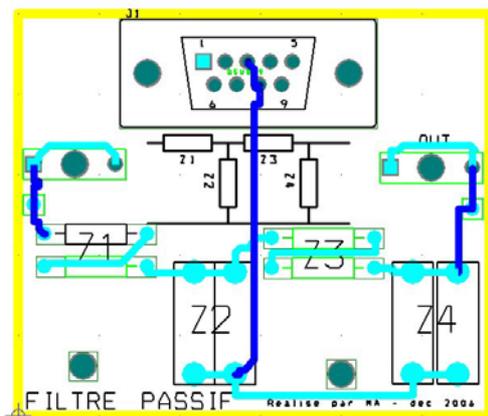


fig 13 : Filtre passif

4.2.2 Le mélangeur

La figure 14 montre l'implantation de la fonction mélangeur. La sortie OUT est le produit « analogique » des entrées IN1 et IN2. Le composant AD633 effectue le produit des deux entrées, suivant sa configuration, à un coefficient près de 1/10. Cette atténuation est compensée par un montage amplificateur non inverseur réglable à l'aide d'un potentiomètre.

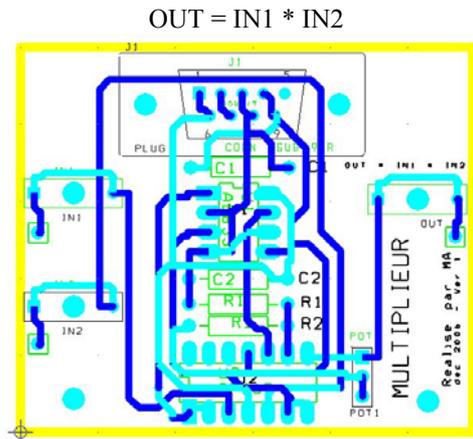


fig 14 : Mélangeur

4.2.3 Le filtre déphaseur

Le filtre déphaseur est composé de 4 cellules « filtre déphaseur » en cascade. Le potentiomètre en sortie permet d'ajuster l'amplitude de la tension en sortie.

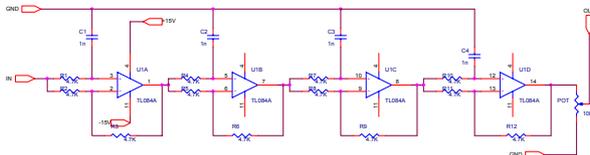


fig 15 : Filtre déphaseur

Chaque cellule possède la fonction de transfert suivante :

$$\frac{v_s(j\omega)}{v_e(j\omega)} = \frac{1 - jRC\omega}{1 + jRC\omega}$$

La mise en cascade de quatre cellule permet d'obtenir un déphasage de 0 à -4π en fonction de la fréquence avec un gain théorique constant de 0dB.

4.3 EXEMPLES DE TP

Les étudiants sont amenés à caractériser les fonctions afin d'obtenir le résultat attendu. Pour atteindre cet objectif, ils n'ont qu'à assembler différentes fonctions élémentaires.

4.3.1 L'OSCILLATEUR SINUSOIDAL

L'étude de l'oscillateur de Collpitts consiste à caractériser les deux parties de l'oscillateur : l'amplificateur (A) et le réseau de réaction (B).

Il faut tracer le diagramme de Bode du réseau de réaction afin de déterminer la fréquence pour laquelle le déphasage est de $-\pi$. Il faudra vérifier que les oscillations apparaissent à cette fréquence. L'amplificateur est constitué d'un mélangeur dont l'une des entrées est connectée à une tension négative variable, dans notre cas, un potentiomètre.

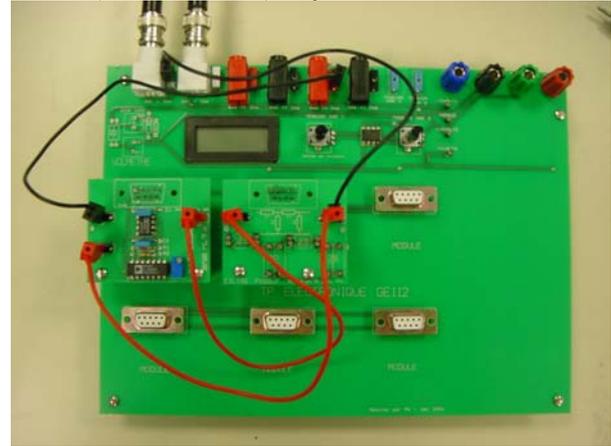


fig 16 : Oscillateur de Collpitts

4.3.2 LA PLL

Cette PLL (figure 17) est identique à celle décrite au paragraphe 3.2. L'objectif pédagogique en TP consiste à caractériser les éléments de celle-ci.

Pour caractériser le comparateur de phase, il est nécessaire d'utiliser un filtre déphaseur. La figure 18 montre le montage. La variation de fréquence du signal en entrée permet de faire varier le déphasage entre les signaux à l'entrée du mélangeur. La mesure du déphasage entre ces signaux et la tension de sortie permet de tracer la caractéristique du comparateur de phase.

Pour caractériser l'oscillateur commandé en tension, il suffit de faire varier la tension continue en entrée et de mesurer la fréquence en sortie.

Le test de la PLL peut alors s'effectuer en assemblant les différentes fonctions de base. Il suffit alors de faire varier la fréquence à l'entrée de la PLL pour déterminer la plage de poursuite de celle-ci.

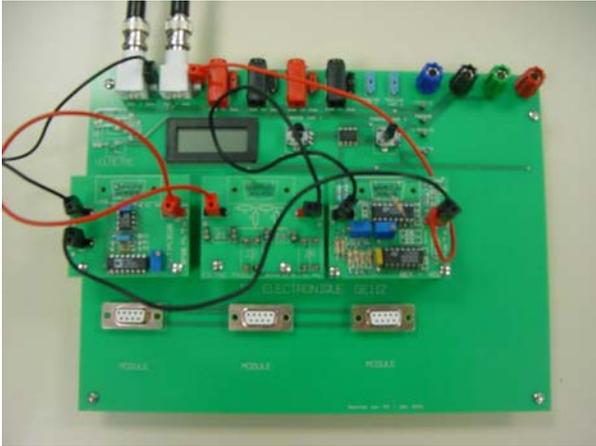


fig 17 : PLL

4.3.3 DEMODULATION PAR DEPHASAGE

Le montage suivant (figure 18) permet de caractériser le comparateur de phase de la PLL lorsque la fréquence en entrée est fixée. Si on applique, à l'entrée, une tension modulée en fréquence, avec une fréquence de porteuse correctement choisie, la tension de sortie sera à l'image de la tension modulante.

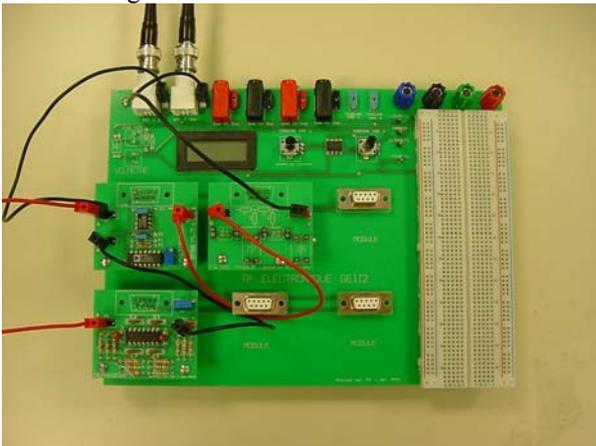


fig 18 : Démodulation par déphasage

5 CONCLUSION

Dans cet article, nous présentons une maquette permettant de concevoir facilement des TP d'électronique « orientés » communications. En effet, à partir de fonctions élémentaires, il est facile d'obtenir des fonctions évoluées en assemblant plusieurs fonctions élémentaires.

L'usage de ce matériel est limité car il ne permet pas de travailler à de hautes et très hautes fréquences. Les liaisons étant assurées par des cordons bananes, elles sont particulièrement sensibles aux fréquences élevées. Cependant, nous n'avons pas de spécialité HF dans notre institut, il n'est donc pas nécessaire de faire des études à ces fréquences. Les principes de

transmission peuvent être étudiés en « basses fréquences ».

La réalisation de cette maquette est relativement peu onéreuse. Un jeu de circuits imprimés (commandé par 5 ou 10) représente moins de 100 euros. Les composants nécessaires pour les fonctions se chiffrent à moins de 200 euros. Les offres commerciales qui pourraient répondre aux mêmes objectifs pédagogiques sont vendues quelques milliers d'euros avec les réserves émises en introduction.

D'autres fonctions pourront être ajoutées :

- Filtres actifs,
- Oscillateur à quartz,
- ...

Les circuits ont été conçus avec le logiciel de CAO électronique Orcad. Ils pourraient être mis à disposition des collègues intéressés.