

I – Filtre passe-bas du second ordre

Objectifs :

- Analyser/Raisonner : choix des composants, les différents filtres d'ordre 2, les calculs d'incertitude.
- Réaliser : montage par blocs, montage suiveur, diagramme de Bode, Wobulation interne, détecteur d'enveloppe.
- S'approprier : plaquette « labdec », ALI en mode linéaire, matériel d'électronique, utiliser un code couleur...
- Valider/Communiquer : utiliser les incertitudes afin de valider le modèle.

Matériel à disposition :

- 1 Oscilloscope numérique Keysight avec câbles coaxiaux, et T...
- 1 GBF FI 5505 GA qui servira à la wobulation externe
- 1 GBF Enertec/Schlumberger 4415 avec wobulation interne
- 1 alimentation +15V/0/-15V pour l'ALI
- 1 plaquette Labdec et des fils de connexion adaptées
- 1 multimètre Fluke
- 2 boîtes de résistances à décade
- 1 boîte de capacités à décade
- 1 bobine de 10mH (500spires)
- 1 diode sur support.
- Des composants libres : 1 TL081, des résistances (1kΩ), des capacités (1μF),...
- 1 RLC-mètre.
- Les notices des différents appareils de mesure.

Pratiques expérimentales : Électricité

Générateurs basse fréquence à modulation interne ou externe.	Élaborer un signal électrique analogique modulé en fréquence.	On fera en TP la wobulation interne.
Montages utilisant un amplificateur linéaire intégré (ALI).	Mettre en œuvre divers montages utilisant un ALI, les schémas des montages étant fournis.	Dans ce premier TP on s'intéressera au comportement linéaire de l'ALI.

I – Présentation du filtre

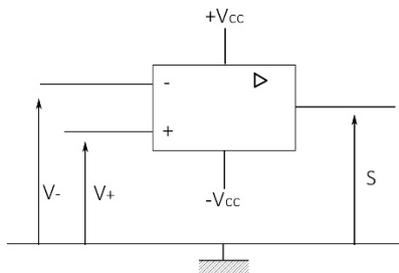
I-1) Filtre étudié

Dans le programme de PCSI, on a vu les différentes fonctions de transfert normalisés des quatre filtres de base que l'on rappelle ici :

Document 1 : Filtres d'ordre 2

Filtre	Fonction de transfert	Equation différentielle
Passe-bas	$\underline{H} = H_0 \frac{1}{1 + \frac{jx}{Q} + (jx)^2}$	$\frac{d^2s}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{ds}{dt} + \omega_0^2 s = H_0 \omega_0^2 e$
Passe-bande	$\underline{H} = H_0 \frac{\frac{jx}{Q}}{1 + \frac{jx}{Q} + (jx)^2}$	$\frac{d^2s}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{ds}{dt} + \omega_0^2 s = H_0 \frac{\omega_0}{Q} \frac{de}{dt}$
Passe-haut	$\underline{H} = H_0 \frac{(jx)^2}{1 + \frac{jx}{Q} + (jx)^2}$	$\frac{d^2s}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{ds}{dt} + \omega_0^2 s = H_0 \frac{d^2e}{dt^2}$
	$\underline{H} = H_0 \frac{1 - (jx)^2}{1 + \frac{jx}{Q} + (jx)^2}$	$\frac{d^2s}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{ds}{dt} + \omega_0^2 s = H_0 \left(\omega_0^2 e + \frac{d^2e}{dt^2} \right)$

Où Q = facteur de qualité, $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ la pulsation réduite et H_0 le gain « statique ».



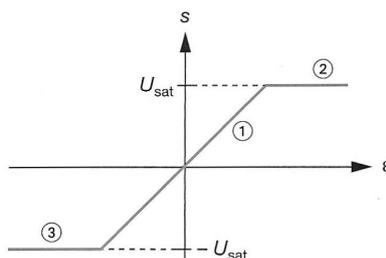
On parle d'amplificateur de différence si la tension de sortie (s) est proportionnelle à la différence $\epsilon = v_+ - v_-$ entre :

- La tension v_+ , différence entre le potentiel de l'entrée non inverseuse « + » et celui de la masse d'une part ;
- La tension v_- , différence entre le potentiel de l'entrée inverseuse « - » et celui de la masse, d'autre part.

On définit le gain différentiel d'un tel circuit par :

$$A_d = \frac{s}{v_+ - v_-} = \frac{s}{\epsilon}$$

C'est un paramètre caractéristique d'un amplificateur de différence, qui prend couramment une valeur très élevée, de l'ordre de $A_d = 10^5$. La caractéristique de l'ALI est la suivante :



On distingue trois domaines :

- La plage linéaire (1) :

$$|\epsilon| < \frac{U_{sat}}{A_d} \text{ avec } s = A_d \epsilon$$

- La saturation positive (2) :

$$\epsilon \geq \frac{U_{sat}}{A_d} \text{ avec } s = U_{sat} \sim V_{cc}$$

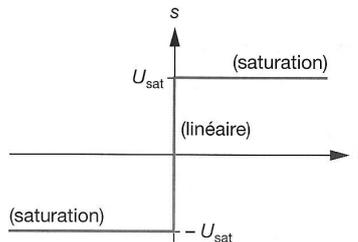
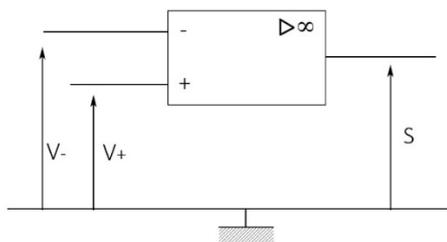
- La saturation négative (3) :

$$\epsilon \leq -\frac{U_{sat}}{A_d} \text{ avec } s = -U_{sat} \sim -V_{cc}$$

L'impédance d'entrée étant quasi-infinie, on considérera dans la suite que les courants absorbés par les entrées inverseuse et non inverseuse sont nuls.

c) L'ALI idéal (ALII)

L'ALI idéal correspond au modèle « parfait » de l'ALI : on suppose que $A_d \rightarrow \infty$ d'où la nouvelle caractéristique et symbole (on rajoute le symbole ∞ en haut à droite) :



On distingue alors trois domaines :

- La plage linéaire (1) : $\epsilon = V_+ - V_- = 0$ avec $|s| \leq U_{sat}$
- La saturation positive (2) : $\epsilon > 0$ avec $s = U_{sat} \sim V_{cc}$
- La saturation négative (3) : $\epsilon < 0$ avec $s = -U_{sat} \sim -V_{cc}$

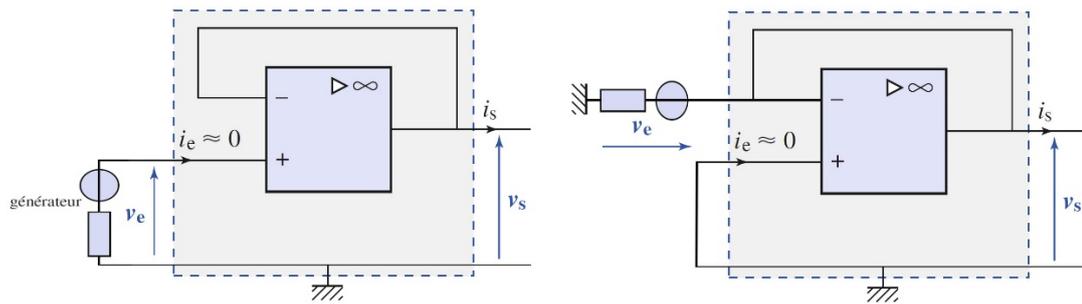
Un ALI idéal est un amplificateur de différence avec :

- Une impédance d'entrée infinie $Z_e \rightarrow \infty \Rightarrow$ les courants d'entrée sont nuls : $\begin{cases} i_+ = 0 \\ i_- = 0 \end{cases}$ (Ceci est valable en régime saturé et linéaire)
- Un fonctionnement linéaire obtenu lorsque $|s| \leq U_{sat}$ tel que : $\epsilon = 0 \Rightarrow V_+ = V_-$
- Un fonctionnement saturé obtenu lorsque : $s = \pm U_{sat}$ tel que : $\epsilon \neq 0 \Rightarrow V_- \neq V_+$

d) Montage suiveur

Q4) Parmi les deux montages suivants, lequel des deux remplit le rôle d'un montage suiveur :

- $v_s = v_e$;
- Ce montage doit faire abstraction de la résistance interne du générateur.



I-3) Réalisation du montage.

a) Quelques conseils

En électronique, les causes d'erreurs de montage sont nombreuses mais peuvent être limitées en adoptant quelques règles simples.

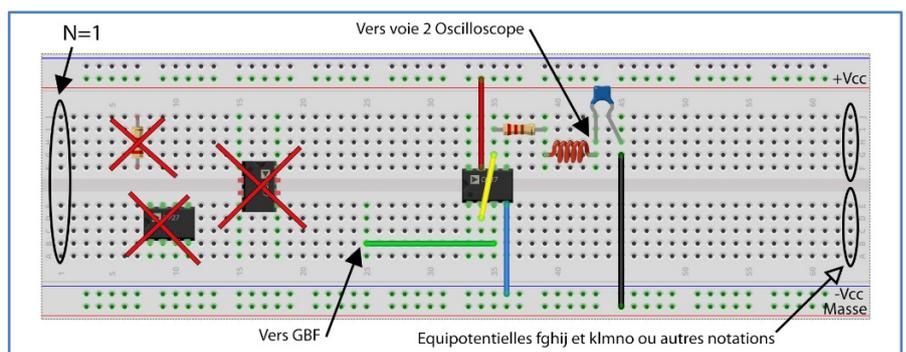
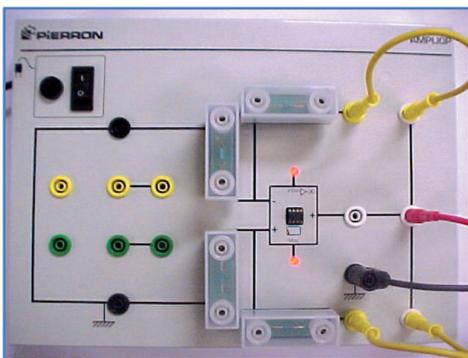
Règles simples de réalisation d'un montage

- Utiliser un code couleur : **la masse doit toujours être connectée avec des fils de couleur noire**. On peut aussi utiliser des codes propres à son montage pour reconnaître plus facilement les branchements lors de la vérification. Par exemple : en bleu, les tensions négatives, en rouge, les tensions positives, en vert les entrées, et en jaune les sorties...
- Réaliser le montage par bloc et vérifier le fonctionnement de chaque bloc avant de connecter les blocs entre eux.
- Souvent les erreurs de montage sont souvent les mêmes pour chaque élève. Il faut donc bien utiliser son cahier de TP en notant celle-ci afin de ne pas les reproduire.
- ...

b) Plaque « Labdec »

Afin de réaliser nos montages en électronique on peut utiliser des plaques de connexion avec des bornes de 4mm qui correspondent directement au diamètre des fils dont on dispose. Cependant ces plaques sont souvent adaptées à un type de montage particulier mais elles ont l'avantage d'être assez simple dans leur utilisation.

Pour réaliser de nombreux montages, sans changer de plaque de connexion, on préfère en électronique utiliser des plaques de connexion dites « à trous » ou « Labdec »



Il existe plusieurs types de plaques « labdec » mais toutes ont des caractéristiques communes. Celles qu'on utilise au lycée, ont les propriétés suivantes :

- Des équipotentiels horizontales (appelées lignes) : 2 en haut et 2 en bas. Ces quatre équipotentiels sont indépendantes entre elles.
- Des équipotentiels verticales (appelées colonnes) numérotées de N=1 à 63 sur notre exemple. Elles sont décomposées en deux parties : f,g,h,i,j et k,l,m,n,o. Un sillon central les sépare. Cela nous fait donc 126 colonnes indépendantes.

La forme de la plaque « labdec » a de nombreux avantages pour son utilisation :

- Les « lignes » servent souvent pour la masse, les tensions de polarisation, les tensions d'alimentation
- Les « colonnes » sont utilisées comme fils de jonction entre composants.
- Le « sillon central » est très pratique pour placer des puces électroniques.

Sur notre exemple nous pouvons remarquer :

- Sur la partie gauche de mauvais branchements qui court-circuitent les composants.
- Sur la partie droite, une bonne utilisation des composants avec un montage suiveur suivi d'un circuit RLC série.

c) Bloc suiveur

Sur la plaque « Labdec » réaliser le montage suiveur. On vérifiera à l'aide d'un signal sinusoïdal de $f = 1\text{kHz}$ et d'amplitude $V_e = 4\text{V}$ (c'est-à-dire 8V pic à pic) que le montage réalise bien sa fonction première : $V_s = V_e$.

d) Filtre passif passe-bas d'ordre 2.

Q5) On dispose d'une bobine de 10mH , choisir la capacité qui permet d'avoir une fréquence de coupure d'environ 1kHz . Calculer précisément celle-ci en fonction de la capacité choisie.

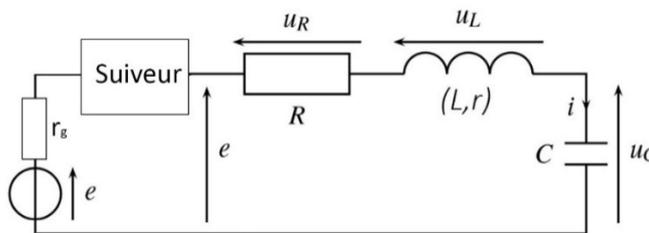
Q6) Calculer R_c (la résistance critique), ainsi que $R_{0,1}$ et R_{10} les résistances qui permettent d'avoir un facteur de qualité de $0,1$ et de 10 . Commenter les valeurs de R obtenues en comparaison de la résistance interne du GBF de 50Ω .

- A l'aide du RLC mètre, mesurer la résistance interne de la bobine. Choisir alors la résistance qui permet d'avoir un facteur de qualité de $0,1$ (on utilisera une résistance à décades pour cela)
- Sur la plaque « Labdec » réaliser le montage RLC série afin de pouvoir réaliser votre filtre passe-bas d'ordre 2.

Q7) En utilisant la même tension d'entrée que précédemment, proposer une expérimentation qui permet bien de vérifier qu'on a affaire à un passe-bas.

e) Filtre actif passe-bas d'ordre 2.

On appelle filtre actif, un filtre qui utilise un composant actif comme l'ALI. Regroupez les deux blocs afin de réaliser le montage suivant :



Q8) Dans votre compte-rendu proposer une expérimentation qui permet de calculer rapidement :

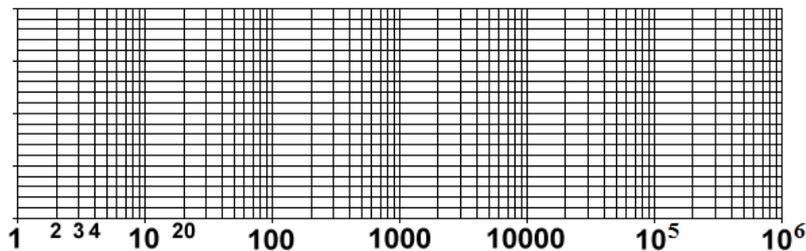
- La fréquence de coupure à -3dB du filtre f_0 .
- Le gain statique H_0 .
- Le facteur de qualité Q .

On donnera les résultats avec leur incertitude afin de valider les valeurs des composants choisis.

II – Tracé du diagramme de Bode point par point

II-1) Principe du tracé

On cherche à représenter le gain et la phase en fonction de la fréquence sur une grande plage de fréquence. De 10 Hz à 100 kHz , il y a en effet 4 ordres de grandeurs ou quatre décades. On utilise la fonction logarithmique pour représenter des grandeurs sur plusieurs décades de fréquence car cette fonction compresse les grands chiffres. Pour éviter de calculer systématiquement le logarithme de la fréquence, on utilise une feuille de papier semi-logarithmique. C'est une feuille où la fonction log est intégrée dans le quadrillage : plus on augmente f , plus le quadrillage diminue, jusqu'à la prochaine décade.



Pour bien réussir un diagramme de Bode, il faut prévoir à l'avance :

- Le nombre de décades à observer ainsi que les fréquences « importantes ».
- Faire des mesures en tenant compte de l'échelle log : ainsi on réalise souvent les mesures en utilisant les multiples suivants : 1×10^n , 2×10^n et 5×10^n où ici n prendra les valeurs $n = \{1,2,3,4\}$
- Utiliser les fonctions intégrées de l'oscilloscope : f , V_{pp} ou V_{rms} , phase ...

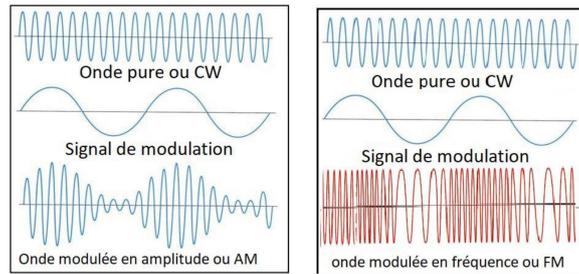
II-2) Réalisation du tracé

- Réaliser le montage de façon à visualiser v_e et v_s .
- Relever dans un tableau les valeurs de V_e, V_s et φ pour les différentes valeurs de la fréquence.
- Compléter votre tableau en calculant $G_{dB} = 20 \log \left(\frac{V_s}{V_e} \right)$
- Tracer (papier ou informatique) les diagrammes de Bode en gain, puis sur un autre graphe le diagramme de Bode en phase du filtre étudié, pour le facteur de qualité $Q = 0,1$.
- A partir des tracés, obtenir les valeurs de Q, H_0 et f_0 . Comme toujours on donnera les résultats accompagnés de leur incertitude (ici c'est le premier TP, je vous le rappelle, mais par la suite il faudra y penser par vous-même)

III – Caractéristique du filtre par wobulation interne

II-1) Principe

Un signal wobulé est un signal modulé en fréquence sur un large domaine spectral. On applique en général la wobulation à un signal initialement sinusoïdal.



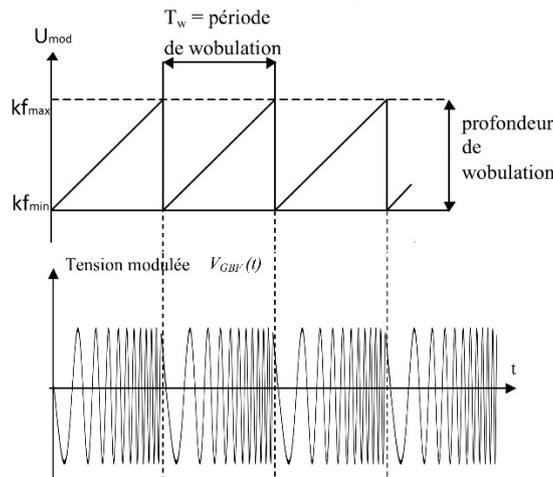
Un signal sinusoïdal peut s'écrire $s(t) = A \cos(\theta(t))$ avec $\frac{d\theta}{dt} = \omega = cste \Rightarrow s(t) = A \cos(\omega t + \phi)$. Un signal modulé en fréquence quant à lui peut s'écrire $s(t) = A \cos(\theta(t))$ où $\frac{d\theta}{dt} = \omega(t) \neq cste$: la pulsation dépend du temps. On utilise en général comme signal modulant un signal rampe ce qui permet d'obtenir une tension modulée en fréquence.

Pour visualiser directement sur l'oscilloscope la courbe représentant la caractéristique du filtre, on se place en mode (XY) ;

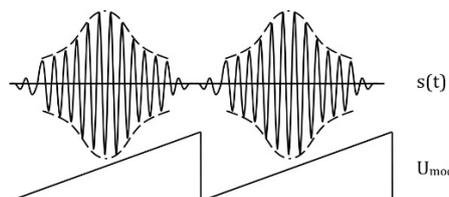
- Sur la voie X on visualise la fréquence (ou une « image » de la fréquence)
- Sur la voie Y le module de la de la fonction de transfert (ou une image de celle-ci).

Dans notre cas, on obtiendra une caractéristique du type $v_s = f(f)$ et non un diagramme de Bode en gain.

Sur la voie X, on observe une tension u_{mod} proportionnelle à la fréquence : $u_{mod}(t) = kf(t)$. C'est un signal de ce type qui est délivré par la sortie wobulation du GBF. Lorsque le GBF est en mode « wobulateur », le signal délivré par la sortie 50Ω reste un signal sinusoïdal mais dont la fréquence $f(t)$ varie linéairement avec le temps ainsi on observe ainsi : $V_{GBF}(t)$.



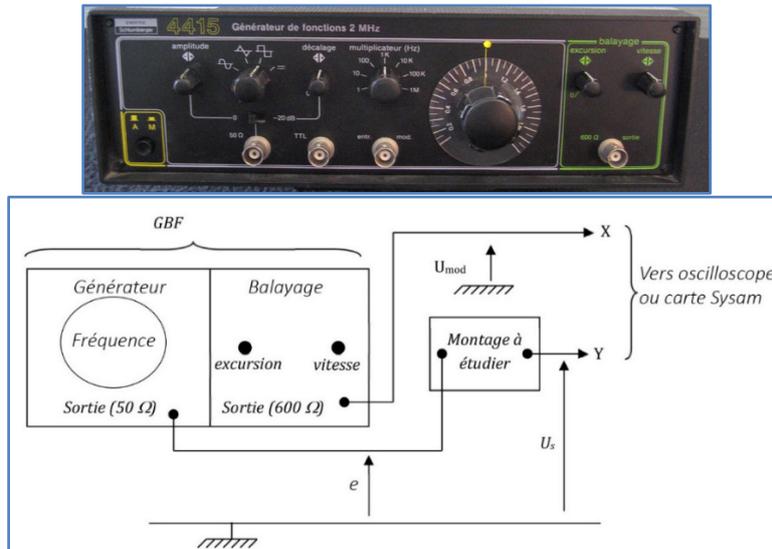
Il suffira alors d'envoyer notre signal $V_{GBF}(t)$ dans notre filtre puis observer la sortie $s(t)$ qui aura la forme suivante (ici, dans le cas d'un passe-bande):



Pour finir on passe en mode XY en plaçant sur la voie 1, u_{mod} et sur la voie 2, $s(t)$ ou $u_s(t)$.

II-2) Réalisation de la wobulation interne

Les GBF 4415 « Etertec-Schlumberger » dispose d'une wobulation interne, afin de visualiser la caractéristique du filtre on pourra réaliser le montage suivant :



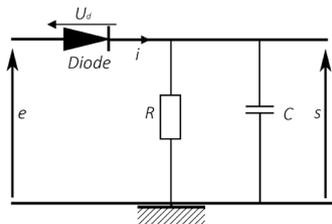
Afin de régler la bande de fréquence balayée, il faut utiliser les boutons :

- Le bouton de fréquence du GBF permet de choisir f_{min} .
- Le bouton excursion (qui permet d'enclencher la wobulation ou non) permet de choisir Δf tel que $f_{max} = f_{min} + \Delta f$
- Le bouton vitesse permet de régler T_w . (On le choisit en général assez petit)
- A l'aide de la wobulation interne, représenter à l'oscilloscope le gain en fonction de la fréquence. Conclure sur la nature du filtre. A l'aide du même montage, réaliser un autre type de filtre d'ordre 2 (passe-bande par exemple) et observer sa réponse à l'oscilloscope.

II-3) Détecteur d'enveloppe

On va essayer d'améliorer la caractéristique observée de notre filtre à l'aide d'un détecteur d'enveloppe dont le principe est rappelé dans le document ci-dessous.

Document 2 : Détecteur d'enveloppe



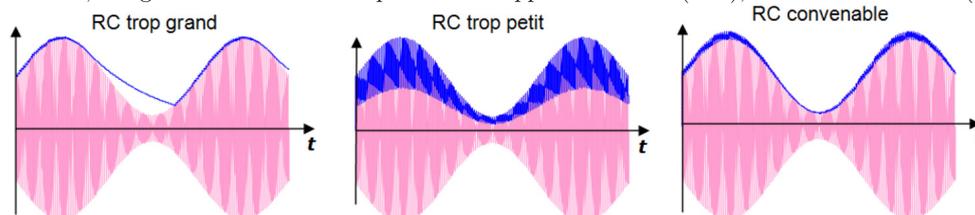
La diode « idéale » est un composant à base de semi-conducteurs qui :

- En mode passant $U_d \geq 0$, laisse passer le courant dans le sens de la flèche.
- En mode bloquant $U_d < 0$, empêche le courant de passer dans l'autre sens.

La diode permet de redresser la tension, les valeurs négatives ne sont pas transmises. Le condensateur est initialement déchargé ainsi $e(t) > s(t)$ et celui-ci se charge jusqu'au maximum de $e(t)$. Lorsque $e(t)$ décroît, on a $s(t) > e(t)$ et la diode devient bloquée. Le condensateur se décharge alors dans la résistance R avec une constante de temps $\tau = RC$. Lorsqu'on a, à nouveau $e(t) \geq s(t)$ le condensateur se recharge et ainsi de suite.

Bien entendu, le choix de τ est important pour réaliser un bon détecteur d'enveloppe, si on note T_e la période de l'enveloppe et T_s celle du signal, il faut vérifier : $T_s \ll \tau \leq T_e$

Sur la figure suivante, le signal dont on veut récupérer l'enveloppe est en clair (rose), et la sortie en foncé (bleu).



Q9) Calculer une valeur du produit RC qui semble être convenable à l'observation de l'enveloppe de notre caractéristique.

- Rajouter ce troisième bloc à votre montage et observer la tension aux bornes du détecteur d'enveloppe à l'oscilloscope. Conclure.

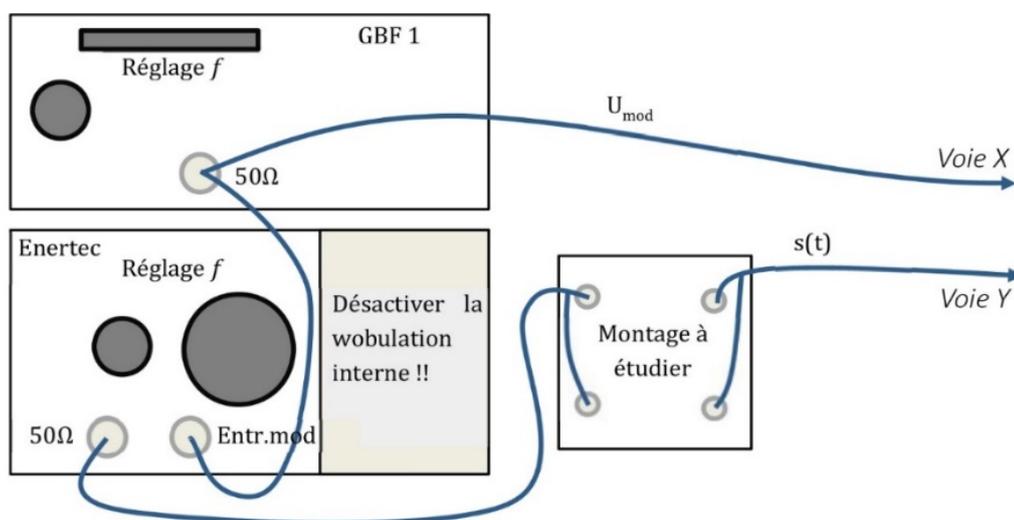
IV – Caractéristique du filtre par wobulation externe (pour les plus rapides)

IV-1) Principe

Dans le programme, on laisse le choix à la wobulation interne ou externe. Cependant les GBF à wobulation interne sont rares mais avec deux GBF « basiques » on peut réaliser un autre type de wobulation : la wobulation externe. Cette fois-ci un GBF, nommé GBF1 va envoyer un signal rampe sur le GBF2 afin de forcer le GBF2 à fournir un signal du type $V_{GBF}(t)$ qui sera modulé par la rampe de GBF1. Pour le GBF1, on va choisir le générateur de fonction FI 5505 GA et pour le GBF2, le GBF Enertec 4415.

IV-2) Réalisation

- Régler le GBF1 afin d'avoir notre signal rampe positive. Pour cela tester le mode « Triangle » ou « Rampe » du générateur de fonction. Vérifiez votre signal avant de l'appliquer sur le GBF Enertec.
- Pour régler Δf on jouera sur l'amplitude du GBF1. Attention à ne pas saturer la rampe.
- Pour régler T_w on jouera sur la fréquence du GBF1. (Une fréquence de 30Hz est raisonnable)
- Pour régler f_{min} on jouera sur le bouton « fréquence » du GBF Enertec dont on aura bien pris soin de couper la wobulation interne.
- Retrouver à nouveau la réponse du filtre à l'oscilloscope en fonction de la fréquence.



V – Annexes

Pour rappel, les différentes annexes nécessaires à ce TP se trouvent à cette adresse :

<http://pcjoffre.fr/travaux-pratiques/notices-et-datasheet/>