

Etude d'un filtre actif passe-bande

I. Généralités

Ce document a pour but de montrer comment utiliser Oscillo5 pour étudier un filtre en régime harmonique (attaque sinusoidale) et en régime impulsionnel (attaque par une impulsion). Oscillo5 sera utilisé en mode balayage, spectre et « Diagrammes de Bode » ; certaines fonctions originales des GBF seront également mises à contribution.

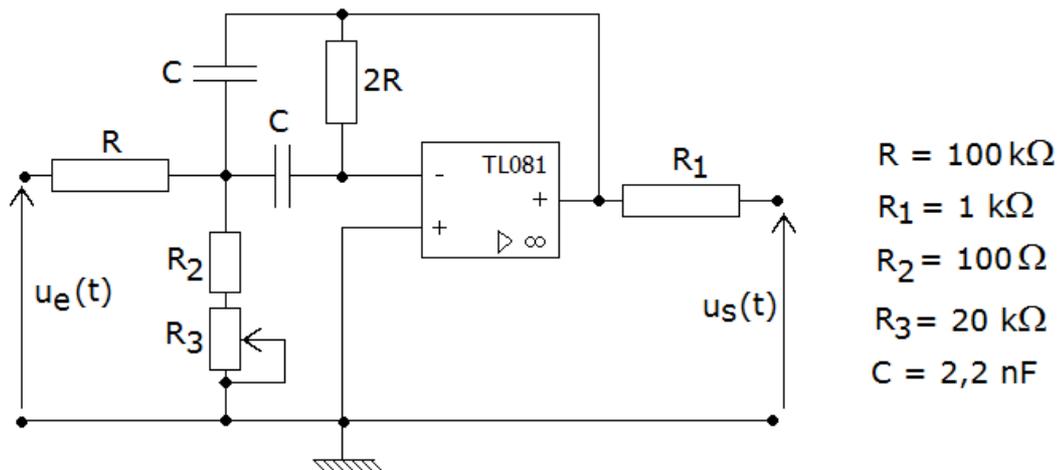
Le document n'a pas de finalité pédagogique. Il est fortement inspiré d'une fiche de travaux pratiques pêchée sur internet (voir le lien en fin de document) et ne prétend pas être exhaustif.

Le filtre étudié est un filtre actif passe-bande du second ordre (montage ci-dessous) construit autour d'un amplificateur opérationnel. Un tel filtre présente une fonction de transfert du type

$$H(j.f) = -1 / [1 + j.Q(f/f_0 - f_0/f)]$$

avec

- un facteur de qualité $Q = [(R+R_2+R_3) / (2R_2 + 2R_3)]^{1/2}$



- une fréquence de résonance $f_0 = Q/(2.\pi.R.C)$
- une largeur de bande passante $\Delta f = f_0/Q = 1/(2.\pi.R.C)$ de valeur approximative 720 Hz.

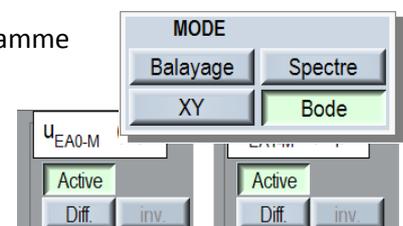
Régler le potentiomètre à sa valeur maximale de 20 kΩ.

II. Attaque harmonique : diagrammes de Bode, Nyquist et Black-Nichols.

1. Réglages préliminaires.

a. Après avoir réalisé le montage, lancer Oscillo5, passer en mode « Diagramme de Bode ».

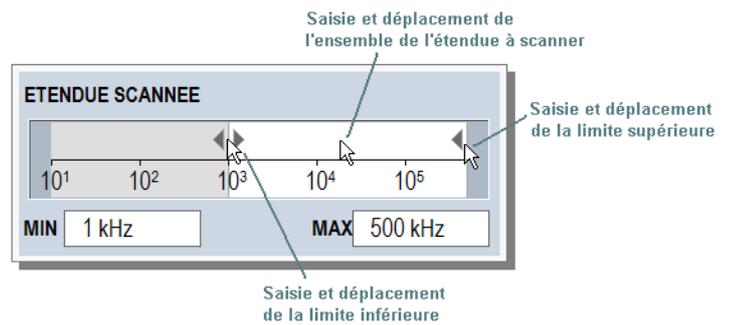
b. Activer les deux entrées utilisées : EA0 et EA1. On n'utilisera pas ici le mode différentiel.



c. Afficher les quatre diagrammes.

d. Régler l'intervalle de fréquence scanné en ajustant les limites : de 100 Hz à 100 kHz

e. Conserver comme signal d'entrée du filtre le signal appliqué à l'entrée EA0



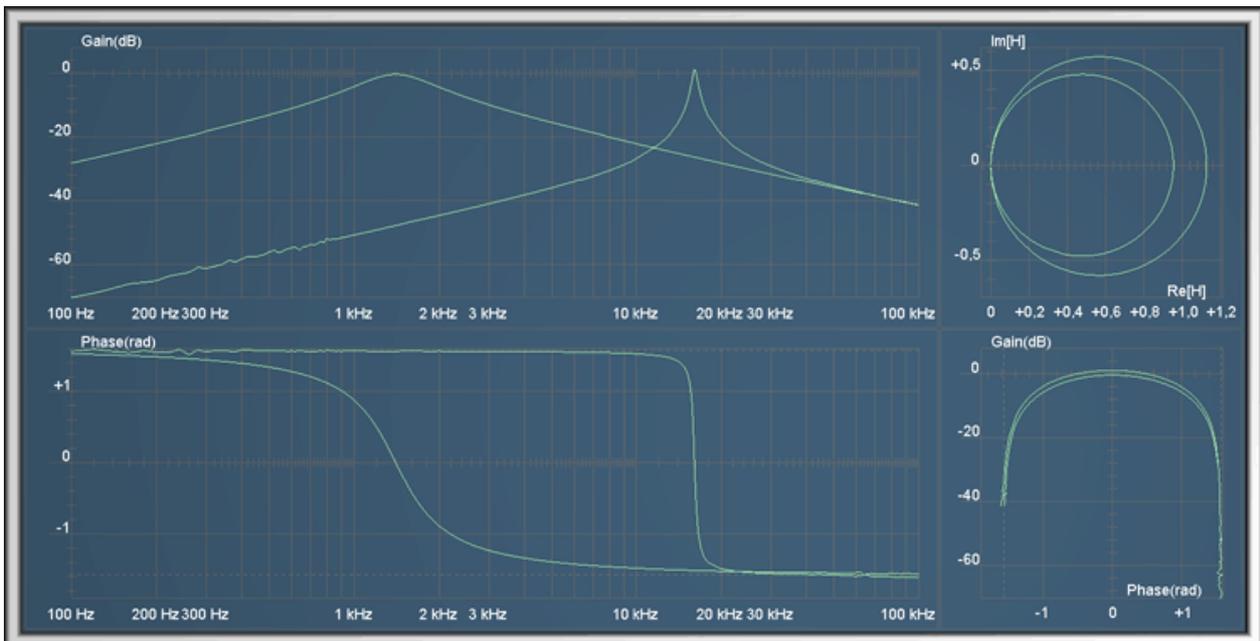
2. Acquisitions.

a. Lancer l'acquisition : bouton **Déclencher**

A un moment donné de l'acquisition, on peut observer la correction de phase. En effet, l'étude théorique du filtre montre que la phase doit être comprise entre $-\pi/2$ et $+\pi/2$. La phase brute mesurée au début de l'acquisition est un peu inférieure à $-\pi/2$ et décroissante, donc en dehors de l'intervalle théorique. Ce résultat est normal : à partir des deux signaux sinusoïdaux acquis, Oscillo5 détermine la phase « brute » qui sera forcément comprise en $-\pi$ et $+\pi$. Pour retrouver la valeur théorique de la phase, qui peut dépasser cet intervalle, ou qui peut être plus proche de 0 que ces limites, il tente un processus de correction, en utilisant la première branche asymptotique rencontrée, dont la « longueur » est d'au moins $1/3$ de décade et la pente proche d'un multiple entier de 20 dB/décade (6 dB par octave), sachant qu'à une branche asymptotique de $n \cdot 20$ dB/décade correspond une phase $n \cdot \pi/2$ (n entier positif ou négatif ou nul). Lors de cette première acquisition, la correction a lieu après la résonance.

b. Seconde acquisition

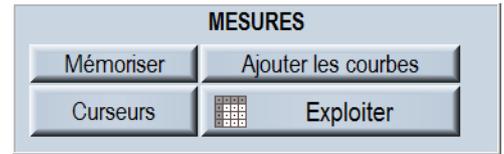
Régler le potentiomètre R_3 sur sa valeur la plus faible et relancer l'acquisition en veillant à ne pas effacer l'acquisition précédente. Ne changer aucun réglage. Observer la correction de phase qui a lieu cette fois-ci avant la résonance.



3. Mesures

a. Passage en mode exploitation

Mémoriser les données en cliquant sur le bouton « Mémoriser » du panneau « MESURES » situé en bas et à droite de la façade de l'oscilloscope. Passer en mode exploitation en cliquant sur le bouton « Exploiter ». L'oscilloscope disparaît et est remplacé par la fenêtre d'exploitation.



Nous ferons les mesures sur la seconde courbe, acquise avec la résistance minimale du potentiomètre R_3 . Pour éviter que l'autre courbe ne gêne, décocher la case à cocher dans l'entête du groupe de colonnes correspondantes dans le tableau des mesures : elle ne sera plus affichée.

(c)UM	Acq1	Acq2
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	f	f
	Gain	Gain
Unités	Hz	Hz
	dB	dB
	rad	rad
0	100	100
	-28,21	-70,28
	1,523	1,558

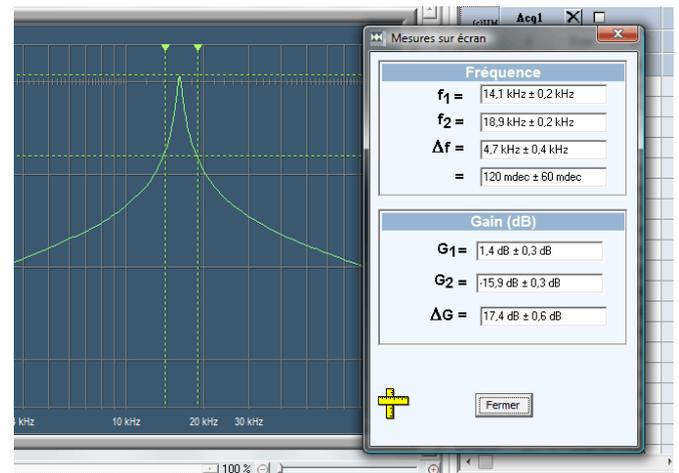
Activer le mode « Mesures sur écran » en cliquant sur le bouton  de la barre d'outils. Relâcher les boutons d'affichage des diagrammes de phase, Nyquist et Black.



b. Mesure des fréquences de coupure du filtre

Positionner approximativement les quatre curseurs au voisinage de la résonance (ci-contre).

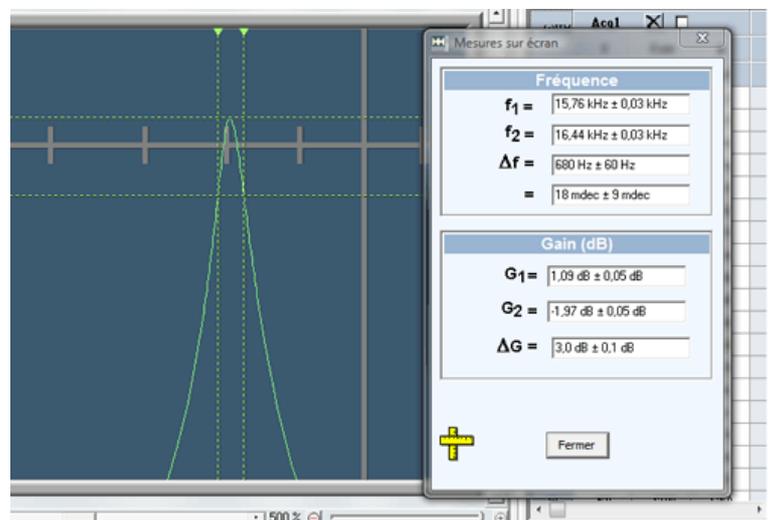
Utiliser ensuite le zoom, et repositionner à la fois la partie visible (en saisissant le fond de l'oscillogramme) et les curseurs de manière précise :



placer le curseur horizontal du haut au niveau du pic, celui du bas 3,0 dB en dessous (on doit lire $\Delta G = 3,0$ dB). Placer ensuite les deux curseurs verticaux au niveau des intersections des curseurs horizontaux avec la courbe et lire les valeurs des fréquences de coupure :

$$f_1 = 15,7 \text{ kHz et } f_2 = 16,4 \text{ kHz.}$$

La largeur de la bande passante est également indiquée : $\Delta f = 680$ Hz avec une incertitude de 60 Hz (deux fois la valeur correspondant à 1 pixel). Cette valeur concorde avec la valeur calculée à partir des caractéristiques du filtre.



c. Mesure de la fréquence de résonance

Placer l'un des curseurs verticaux au niveau du sommet du pic. On mesure : $f_0 = 16,1$ kHz.

Sachant que $R_3 = 0$, le facteur de qualité est

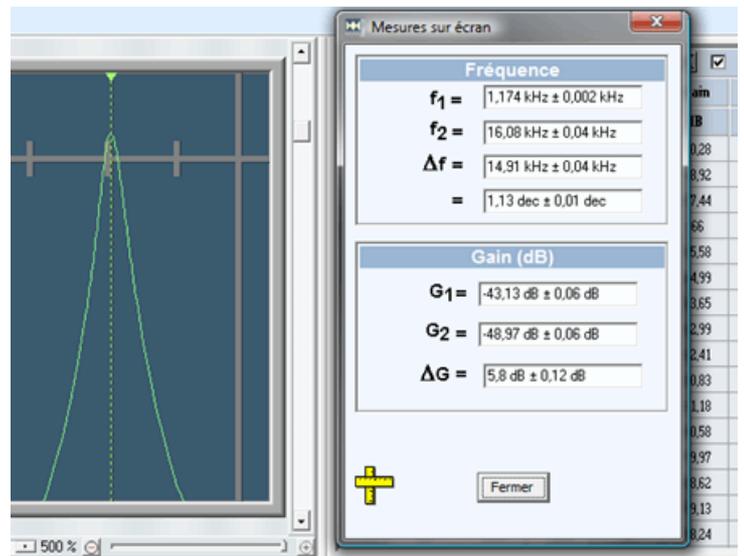
$$Q = [(R+R_2+R_3) / (2R_2 + 2R_3)]^{1/2}$$

$$Q = [(1,0 \times 10^5 + 100 + 0) / (2 \times 100 + 2 \times 0)]^{1/2}$$

soit $Q \sim 22,4$.

On trouve une fréquence de résonance théorique

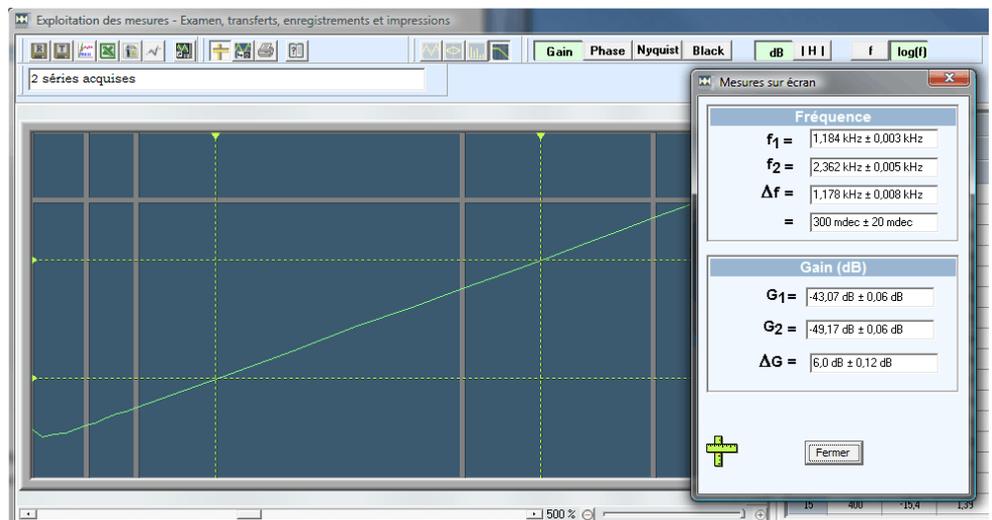
$$f_0 = Q / (2 \cdot \pi \cdot R \cdot C) = 22,4 / (2 \times \pi \times 1,0 \cdot 10^5 \cdot 2,2 \cdot 10^{-9}) = 16,2 \text{ kHz, ce qui est très satisfaisant.}$$



d. Mesure de la pente d'une branche asymptotique

Positionner les deux curseurs verticaux sur une zone où la courbe de gain est rectiligne, en les séparant d'une octave ($f_2 = 2 \times f_1$) soit 0,3 décade ($\Delta f = 300$ mdec). Positionner ensuite les deux curseurs horizontaux aux intersections avec les courbes.

On mesure $\Delta G = 6,0$ dB pour une octave, donc 20 dB par décade.



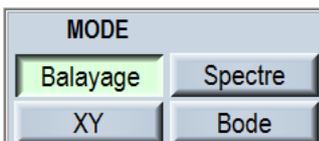
III. Attaque impulsionnelle

Pour cette seconde manipulation, aucune modification des branchements n'est nécessaire.

1. Réglages

a. Revenir à l'oscilloscope (bouton ci-contre).

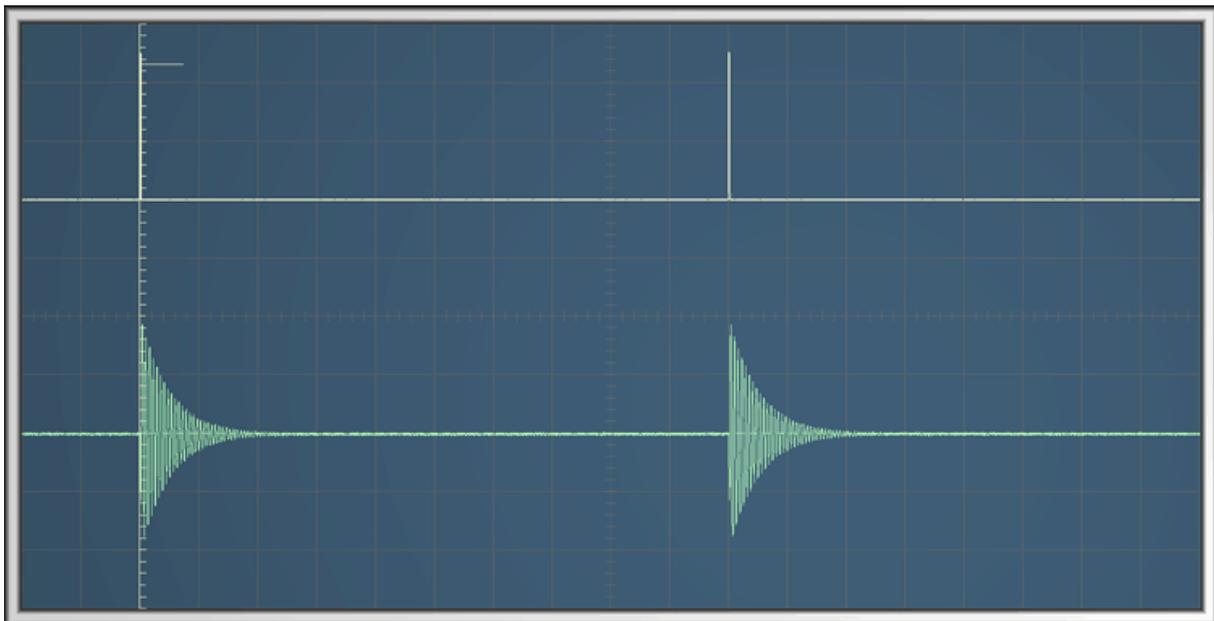
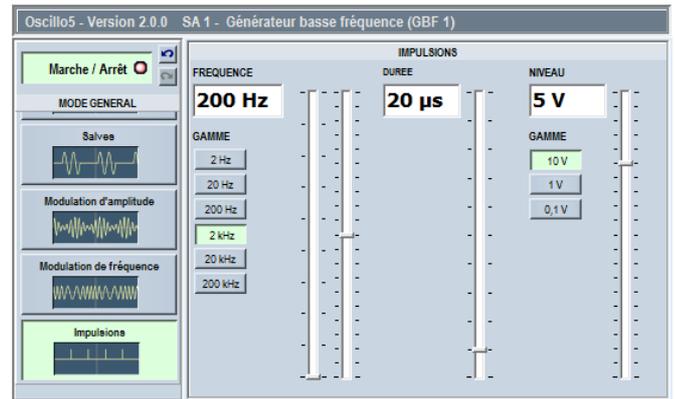
b. Passer en mode balayage.



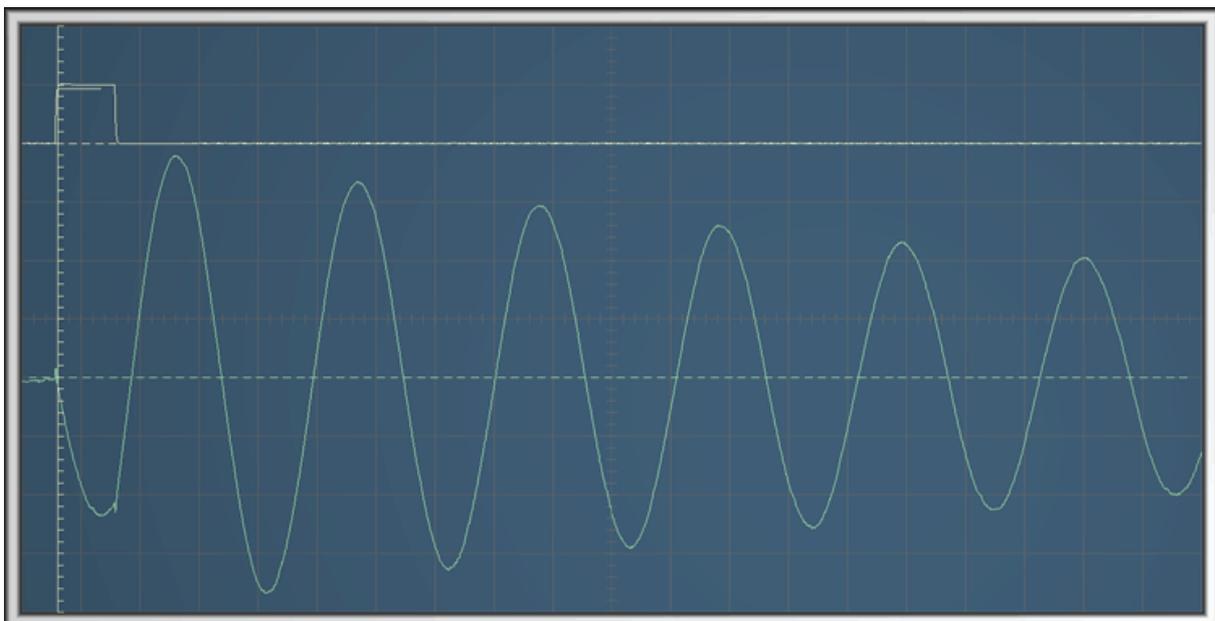
c. Afficher le GBF1 (à partir du panneau de contrôle)

d. Régler le GBF sur le mode impulsion, donner une fréquence de 200 Hz aux impulsions, une durée de 20 μs et un niveau de 5,0 V.

e. Pour l'oscilloscope, activer EA0 (sensibilité 2V.div⁻¹) et EA1 (sensibilité 200 mV.div⁻¹), choisir un balayage de 500 μs .div⁻¹. Utiliser une synchro sur seuil de 2V ou automatique, sur la voie EA0. Utiliser la pré-acquisition ($\sim 10\%$). Positionner verticalement les signaux de manière à les voir distinctement. Ajuster éventuellement les réglages. On obtient :

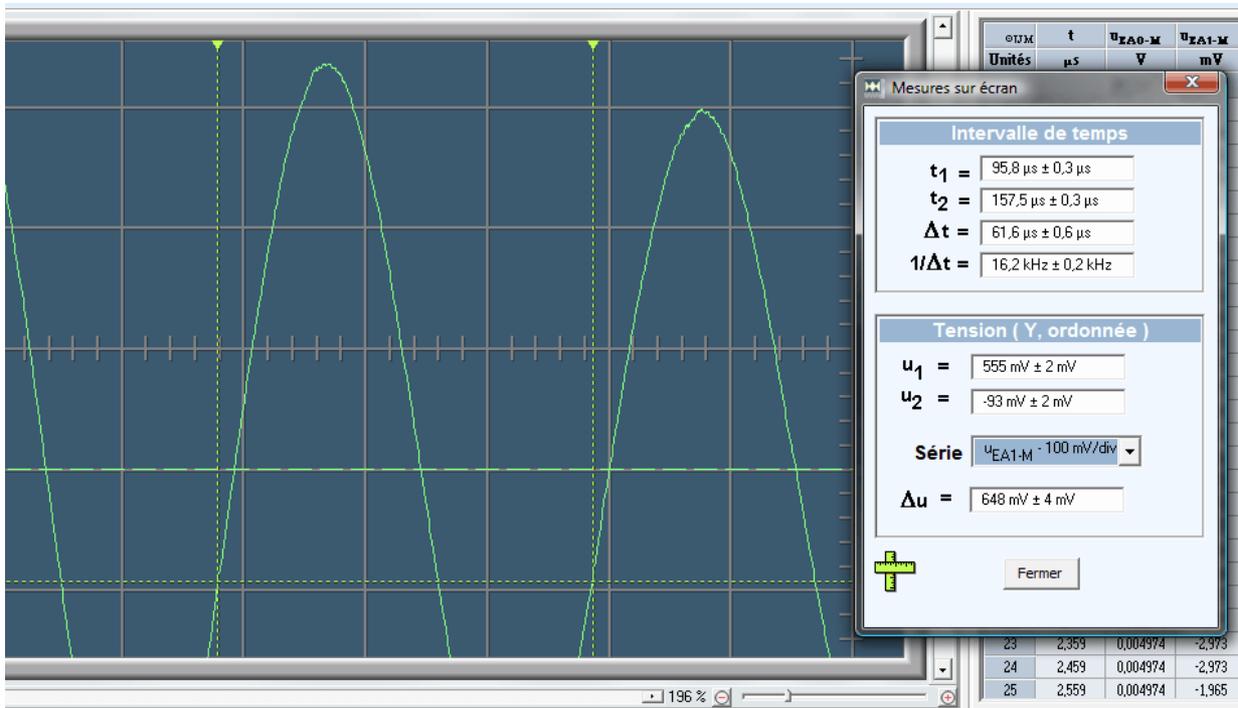


Pour la mesure précise de la pseudo-période et du décrément logarithmique, accélérer le balayage et augmenter la sensibilité de la voie EA1:



2. Mesures

- Mémoriser, passer en mode exploitation, activer les curseurs de mesure.
- Mesure de la pseudo-période.

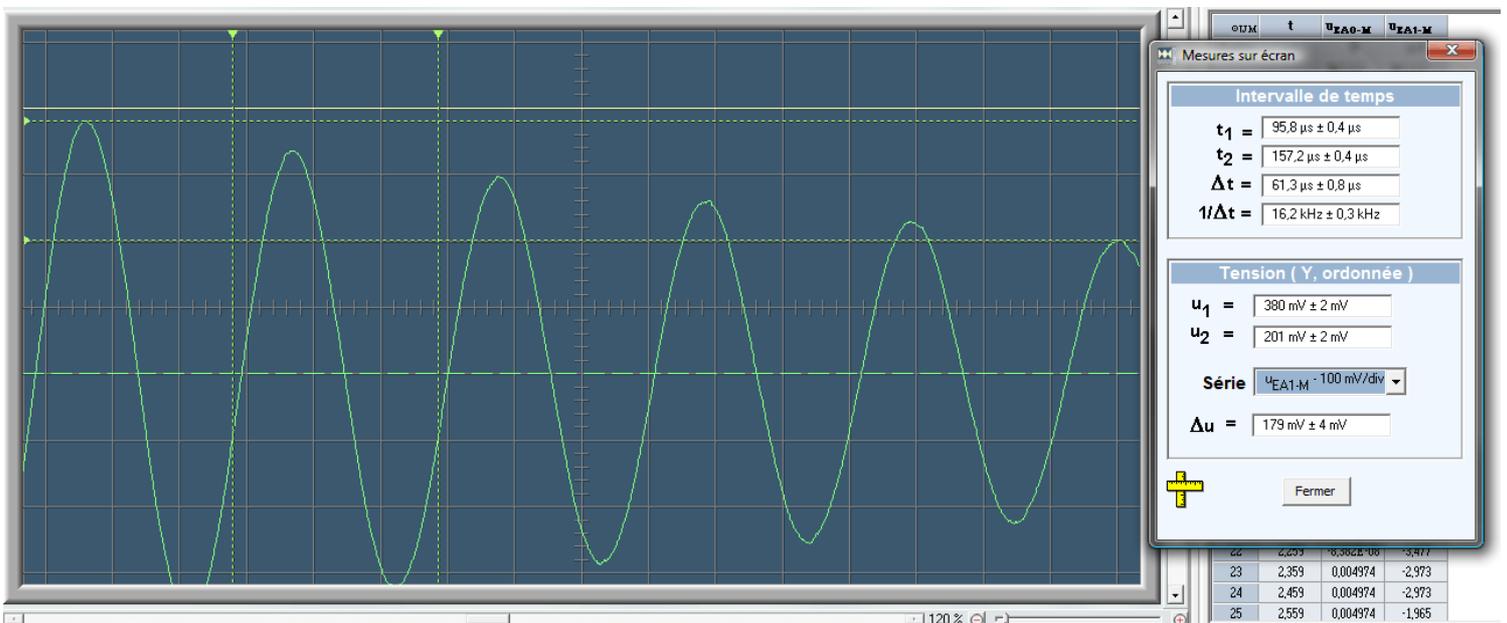
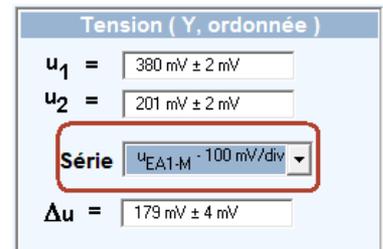


On trouve $T = 61,6 \mu\text{s}$ (fréquence correspondante $16,2 \text{ kHz}$).

- Mesure du décrétement logarithmique :

Les mesures devront se faire sur le signal de la voie 1, u_{EA1-M} ; on commence donc par sélectionner la série correspondante. Positionner les curseurs, actionner le zoom, ajuster la position du curseur.

On obtient :



On lit : $\Delta[i] = 380 \text{ mV}$ et $\Delta[i+n] = 201 \text{ mV}$ et $n = 5$.

Le calcul du décrément donne: $\Lambda = 1/n \cdot \ln(\Delta[i] / \Delta[i+n]) \sim 0,127$

On détermine le facteur de qualité : $Q = (\Lambda^2 + 4 \cdot \pi^2)^{1/2} / (2 \cdot \Lambda) \sim 24,7$

La fréquence propre vaut : $f_0 = 1 / (T \cdot (1 - 1/(4Q^2))^{1/2}) = 1 / (61,6 \times 10^{-6} \times (1 - 1/(4 \times 24,7^2))^{1/2}) = 16,3 \text{ kHz}$.

3. Spectre de la réponse impulsionnelle.

a. Généralités.

On cherche à injecter à l'entrée du filtre un signal contenant « toutes les fréquences », pour voir ce que le filtre produit à la sortie. En théorie, la transformée de Fourier d'une impulsion de Dirac donne un spectre « continu » et constant, c'est-à-dire que la valeur $F(f)$ est indépendante de la fréquence, si l'impulsion est réellement une distribution de Dirac, donc de durée infiniment petite. On peut donc imaginer d'attaquer le filtre avec une impulsion de tension pour obtenir « toutes les fréquences ». En pratique, la durée infiniment petite de l'impulsion est impossible à obtenir à l'aide d'un générateur : elle pourra être petite mais non négligeable.

Pour obtenir le spectre d'une seule impulsion avec Oscillo5, il faut régler judicieusement la fréquence du GBF et la résolution du spectre sur l'oscilloscope. En effet, le choix de la résolution conditionne la durée de la trame acquise qui est utilisée pour le calcul de la FFT : la résolution fréquentielle du spectre est l'inverse de la durée d'acquisition de la trame. Pour obtenir un spectre convenable, il faut impérativement qu'il n'y ait qu'une seule impulsion pendant la durée d'une trame. Si par exemple on choisit une résolution de 100 Hz, la durée de la trame sera de $1/100 \text{ s} = 10 \text{ ms}$. La période des impulsions devra être supérieure à 10 ms et donc leur fréquence inférieure ou égale à 100 Hz.

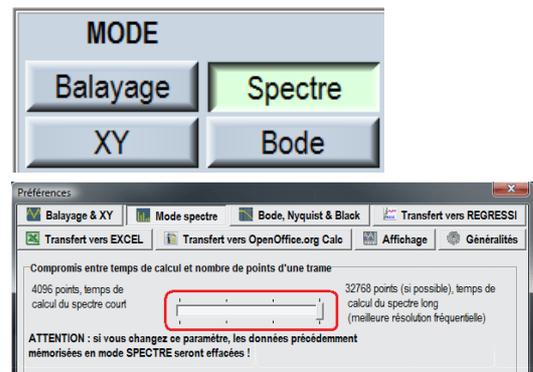
b. Réglages

Régler le potentiomètre R_3 de manière à ce que la fréquence de résonance soit de 2,0 kHz. Pour ce faire, régler le GBF1 pour qu'il donne un signal sinusoïdal de fréquence 2,0 kHz et ajuster le potentiomètre jusqu'à ce que l'amplitude du signal de la voie EA1 (courbe verte) soit maximale.

Revenir au mode impulsions du GBF. Donner aux impulsions une fréquence de 100 Hz, une durée de 60 μs et un niveau de +10 V.

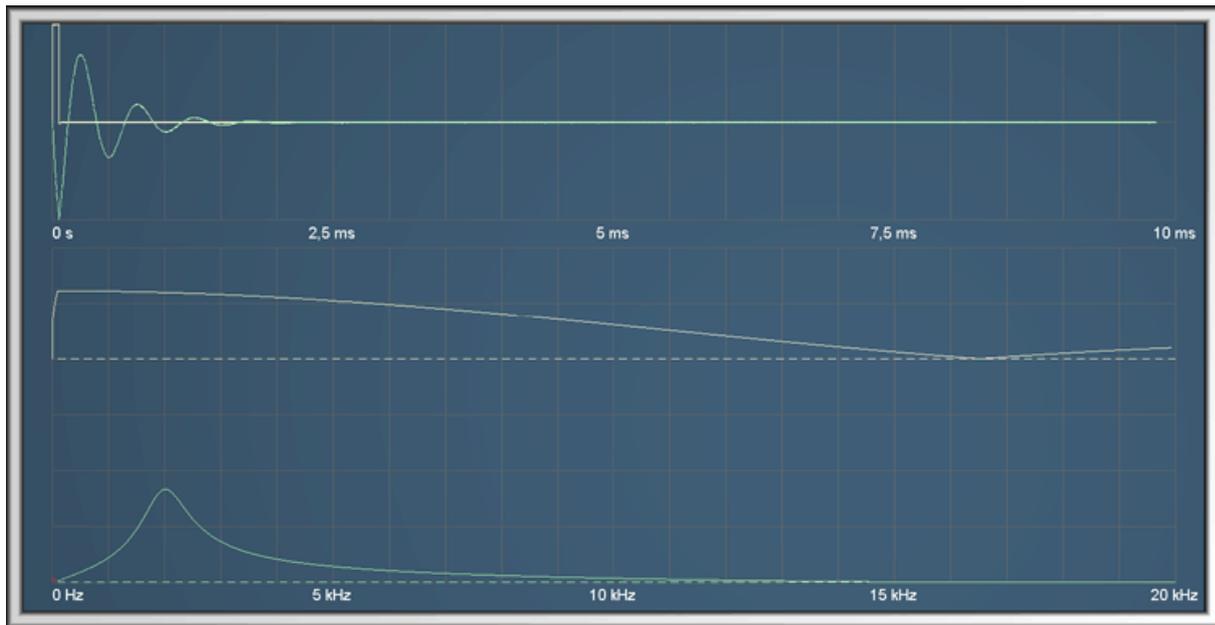
Sur l'oscilloscope, passer en mode spectre.

Dans les options d'Oscillo5, onglet « Mode spectre », régler le compromis au maximum (32768 points par trame). Ce réglage permet de travailler avec une meilleure résolution.

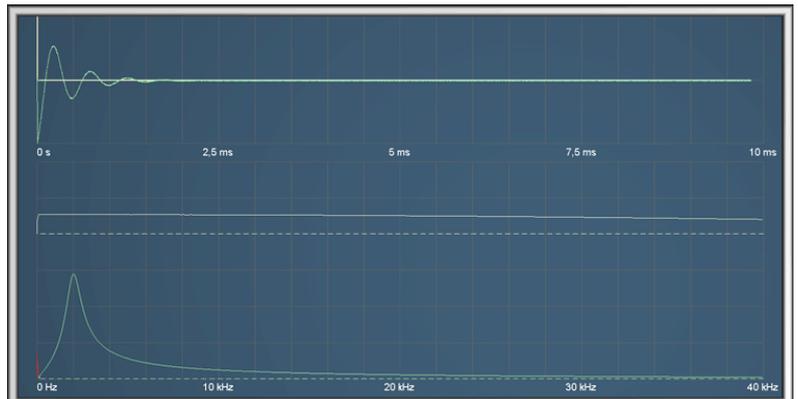


Activer les voies EA0 et EA1, appuyez sur les boutons « Signal » de ces voies. Régler les deux sensibilités sur $500 \text{ mV} \cdot \text{div}^{-1}$. Zoomer chaque voie au maximum. Choisir une résolution de 100 Hz, une échelle de fréquence de $1 \text{ kHz} \cdot \text{div}^{-1}$ et une échelle de temps de $500 \mu\text{s} \cdot \text{div}^{-1}$.

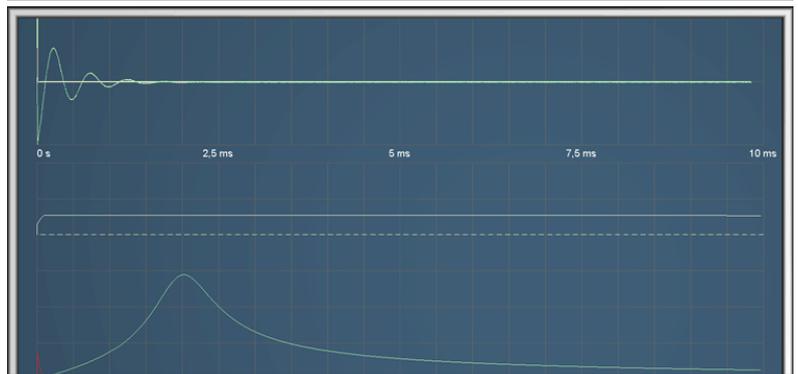
c. Oscillogrammes



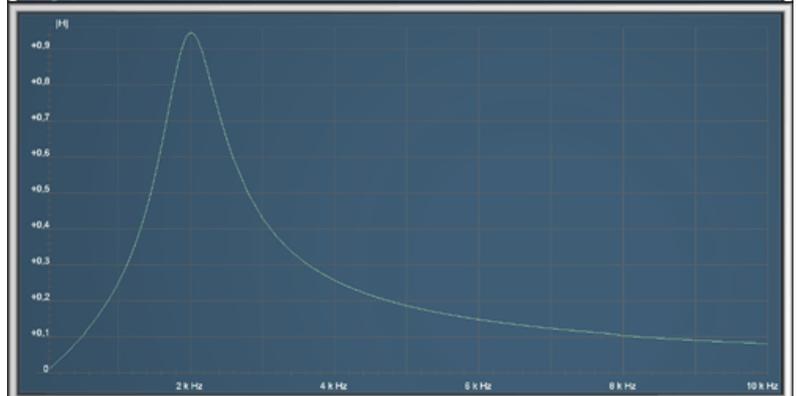
Changer la durée des impulsions (passer à 40 μs , puis à 20 μs puis à 10 μs), observer l'effet sur le spectre de l'impulsion (courbe jaune clair). Ajuster les sensibilités en prenant soin d'éviter l'écrêtage du signal. Lorsque la durée de l'impulsion est de 10 μs , on peut considérer que son spectre est à peu près constant de 0 à 40 kHz. (Echelle de fréquence 2 kHz.div⁻¹).



Changer l'échelle de fréquence pour observer la courbe du spectre de la voie 1 : passer à 500 Hz.div⁻¹, déplacer la partie affichée du spectre avec le curseur position (situé juste sous les boutons d'échelles).



La courbe obtenue peut être considérée comme très proche du diagramme de Bode du gain avec échelles de gain et de fréquence linéaire.



IV. Principe de l'utilisation du filtre en analyseur de spectre analogique

Réglages :

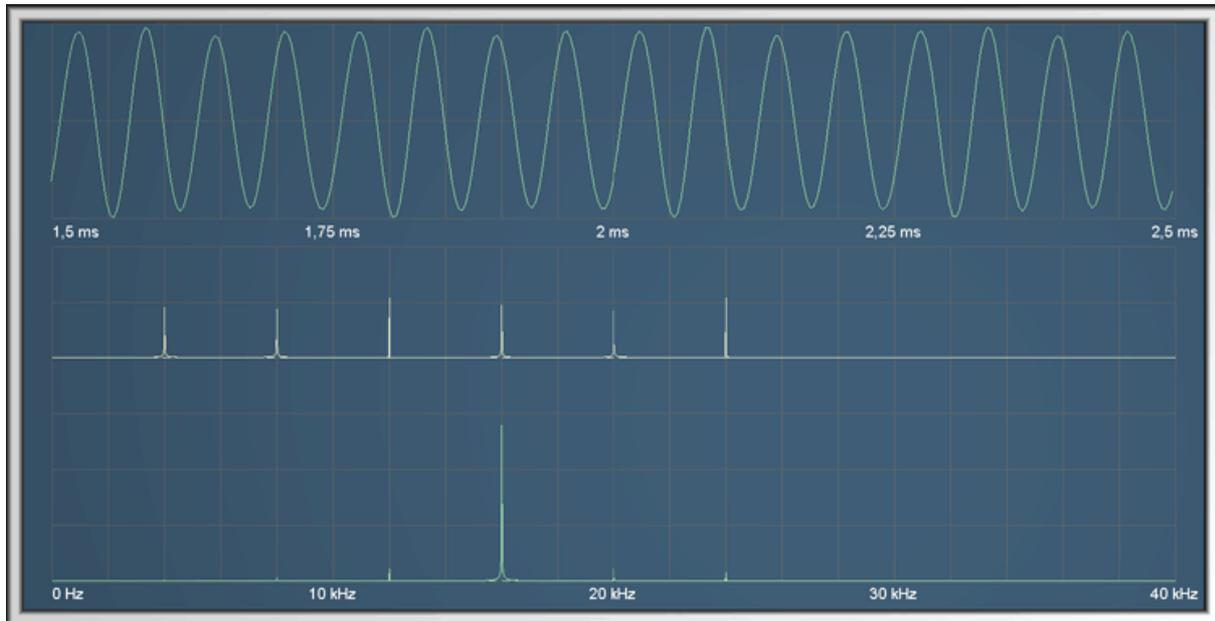
Régler le potentiomètre R_3 sur le maximum.

Avec le GBF1, composer un signal de fréquence 4 kHz pour lequel les 7 premiers harmoniques sont réglés sur 100 %.

Dans l'oscilloscope, régler la résolution des spectres sur 10 Hz, l'échelle de fréquences sur 2 kHz.

Faire diminuer progressivement la résistance du potentiomètre et observer les pics du spectre du signal de sortie : à chaque fois que la fréquence de résonance atteint la fréquence de l'un des harmoniques, cet harmonique est le seul qui n'est pas notablement atténué (il subsiste un petit quelque chose des harmoniques précédent et suivant car la bande passante du filtre, de l'ordre de 700 Hz n'est pas assez étroite). Parallèlement, observer l'allure quasi sinusoïdale du signal de sortie.

Dans l'oscillogramme qui suit, le filtre est accordé sur l'harmonique de 16 kHz.



Sources :

http://psi1montaigne.neuf.fr/TRAVAUX_PRATIQUES/tp_08_etude_d_un_filtre_passe_bande_du_second_ordre_accordable_analyseur_de_spectre_analogique.pdf

Pour toute question ou suggestion concernant OSCILLO5 : contact@logisciences.fr

J.-M. Thomas - 15/04/2010