

TP E6 : Filtrage et analyse spectrale

Objectifs

Ce TP est consacré aux filtres. On commencera par tracer un diagramme de Bode. Dans un second temps, on se focalisera sur l'utilisation d'un tel diagramme, conjointement avec une analyse spectrale des signaux. À l'issue du TP, il s'agira de maîtriser les capacités suivantes :

- ★ *Déterminer expérimentalement la nature d'un filtre inconnu.*
- ★ *Mettre en oeuvre des méthodes de mesure des paramètres caractéristiques (fréquence(s) de coupure, bande passante, facteur de qualité...).*
- ★ *Établir le diagramme de Bode.*
- ★ *Utiliser le filtre pour réaliser un filtrage.*

I Présentation du matériel

Le matériel utilisé pour ce TP est, par poste :

- ☐ un filtre « boîte noire » (passe-bande ou coupe-bande) ;
- ☐ un GBF ;
- ☐ un oscilloscope ;
- ☐ deux multimètres ;
- ☐ une carte d'acquisition SYSAM SP5 ;
- ☐ un ordinateur muni des logiciels LatisPro et Oscillo V ;
- ☐ des composants usuels ($2 \times R = 10\text{k}\Omega$, $C = 10\text{nF}$, ...) et des cables de connexion.
- ☐ une boîte à décades de résistances.

II Consignes générales pour le tracé des diagrammes de Bode

- Avant toute mesure précise, on s'assurera qualitativement qu'à haute et basse fréquence ainsi qu'aux fréquences caractéristiques (fréquences de coupure ou fréquence propre), la réponse du filtre correspond bien à celle prévue par l'étude asymptotique.
- Pour le tracé des diagrammes de Bode, on utilisera une échelle logarithmique pour la fréquence. On choisira des valeurs de fréquences réparties de façon régulière sur l'échelle logarithmique. On pourra par exemple faire les premières mesures de gain et de phase aux valeurs suivantes : $f = 100\text{ Hz}$, 200 Hz , 500 Hz , 1000 Hz , 2000 Hz , 5000 Hz . . . , puis compléter dans la prise de points dans les zones d'intérêt.
- On tracera les asymptotes à basse et haute fréquence dans chaque diagramme de Bode, et on comparera la valeur des pentes des droites obtenues avec les valeurs obtenues en cours.
- On déterminera les fréquences caractéristiques du filtre (fréquences de coupure ou fréquence propre) à partir des courbes expérimentales, et on comparera ces valeurs à celles prévues par la théorie.

III Filtre passe-bas d'ordre 1 : circuit RC aux bornes de $C - 1 h$

III.1 Réalisation du filtre - 5 min

On souhaite construire un filtre passe-bas RC du premier ordre.

✚ Proposer un schéma électrique, en précisant les branchements de l'oscilloscope.

✚ Réaliser le circuit avec $R = 10 \text{ k}\Omega$ et $C = 10 \text{ nF}$.

La fonction de transfert en sortie ouverte est :

$$\underline{H}(\omega) = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}} \quad \text{où} \quad \omega_0 = 1/(RC)$$

✚ Calculer numériquement la valeur de la fréquence caractéristique f_0 du filtre.

III.2 Diagramme de Bode - 25 min

✚ Comment accéder expérimentalement au gain G et à la phase φ du filtre ?

✚ Réaliser quelques mesures de G et de φ pour différentes valeurs de la fréquence du GBF.

✚ Tracer sommairement le diagramme de Bode expérimental du filtre à l'aide de LatisPro et du mode "Pas à pas".

✚ Représenter sur le diagramme les asymptotes basse et haute fréquence et préciser leurs pentes en dB/décade. Est-ce conforme à la prévision théorique ?

Vous trouverez en annexe un exemple d'acquisition expérimentale.

III.3 Utilisation du filtre - 10 min

✚ Envoyer successivement en entrée les tensions $e(t)$ listées ci-dessous. Pour chacune d'entre elles, représenter la tension de sortie $s(t)$ observée. Interpréter. Vous pouvez utiliser Latispro pour connaître le spectre des signaux.

★ tension $e(t) = E_0 + E \cos(\omega t)$ avec $E_0 = E = 1 \text{ V}$ et successivement $\omega = 0, 1 \times \omega_0$ puis ω_0 et $10 \times \omega_0$.

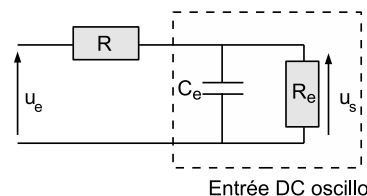
★ tension $e(t)$ créneau centré sur l'origine, de période $T = 2\pi/\omega$ avec successivement $\omega = \omega_0$ puis $10 \omega_0$.

III.4 Application : entrée d'un oscilloscope - 20 min

L'entrée DC¹ d'un oscilloscope peut être modélisée par l'association en parallèle d'un résistor $R_e \sim 1 \text{ M}\Omega$ et d'un condensateur de capacité C_e .

✚ Réaliser le montage ci-contre, l'oscilloscope étant réglé sur le mode DC, avec $R = 300 \Omega$.

✚ Estimer rapidement la valeur de C_e . On justifiera la démarche utilisée et pourquoi la résistance

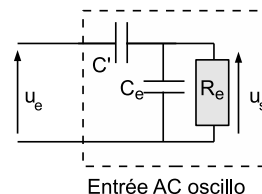


1. Appuyer sur la voie 1, puis dans les modules vérifier que le couplage est sur CC ou DC.

d'entrée de l'oscilloscope n'a pas besoin d'être prise en compte dans l'étude à haute fréquence.

Facultatif : l'entrée AC de l'oscillo comporte un condensateur supplémentaire de capacité C' .

➤ Brancher directement la sortie du GBF sur l'oscilloscope en mode AC. Estimer la valeur du condensateur C' . On justifiera pourquoi le condensateur de capacité C_e n'a pas besoin d'être pris en compte dans l'étude à basse fréquence.



IV Filtre inconnu - 1h

Sur chaque paillasse a été déposé un quadripôle ainsi qu'une fiche indiquant quelles bornes relier au GBF et à l'oscilloscope suivant le quadripôle à disposition. Veiller à ce que le potentiomètre du quadripôle soit réglé à sa valeur minimale. Ces quadripôles sont soit des filtres passe-bande, soit des filtres coupe-bande.

IV.1 Détermination de la nature du filtre - 15 min

➤ Alimenter le filtre par un GBF et visualiser simultanément les signaux $e(t)$ et $s(t)$. Faire varier la fréquence entre quelques centaines de Hz et quelques centaines de kHz pour en déduire la nature du filtre.

S'il s'agit d'un filtre passe-bande, rendez-vous au V.2. ; s'il s'agit d'un filtre coupe-bande, rendez-vous au V.3².

IV.2 S'il s'agit d'un filtre passe-bande - 45 min

IV.2.a Diagramme de Bode en gain - 25 min

➤ Utiliser l'annexe 2 et le logiciel Oscillo V pour tracer le diagramme de Bode du filtre. Mesurer la pente des asymptotes et déterminer graphiquement la largeur de la bande passante à 3,0 dB.

IV.2.b Applications - 20 min

— Première application :

➤ Régler le GBF afin qu'il délivre un signal carré de fréquence $f = 2,6$ kHz. Observer la sortie $s(t)$. Reproduire ce que vous observez et interpréter. On pourra utiliser LatisPro pour étudier le spectre des signaux d'entrée et de sortie.

— Seconde application :

➤ Régler le GBF afin qu'il délivre un signal carré de fréquence $f = 30$ kHz. Observer la sortie $s(t)$. Reproduire ce que vous observez et interpréter.

2. Dans tous les cas, même si vous passez par le bureau du Proviseur, vous ne toucherez pas 10 000 euros.

IV.3 S'il s'agit d'un filtre coupe-bande - 45 min

IV.3.a Diagramme de Bode en gain - 25 min

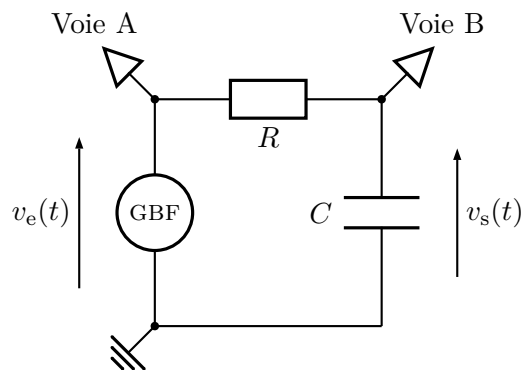
✎ Utiliser l'annexe 2 et le logiciel Oscillo V pour tracer le diagramme de Bode du filtre.

IV.3.b Application : réjection d'un signal parasite - 20 min

✎ Alimenter le filtre par deux GBF placés en parallèle et délivrant des signaux sinusoïdaux de fréquences différentes : on choisira successivement $f_1 = 0,2$ kHz et $f_2 = 2,6$ kHz, puis $f_1 = 2,0$ kHz et $f_2 = 2,6$ kHz. Observer et reproduire $e(t)$ et $s(t)$ dans les deux cas : on notera qu'il est difficile de synchroniser les signaux et on pourra par conséquent utiliser la touche STOP de l'oscilloscope pour figer l'oscillogramme. Dans chaque cas, vous pourrez aussi augmenter le potentiomètre, ce qui a pour effet d'augmenter la sélectivité du filtre.

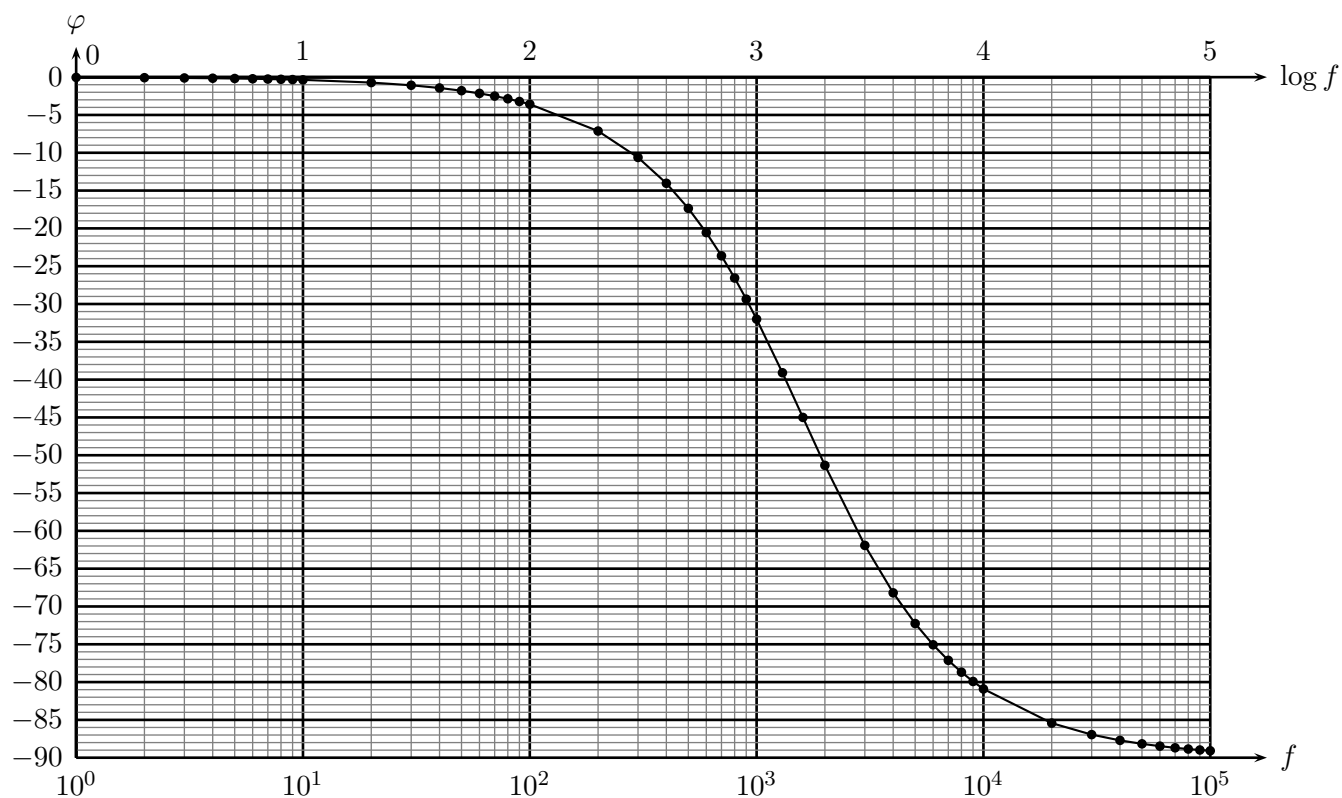
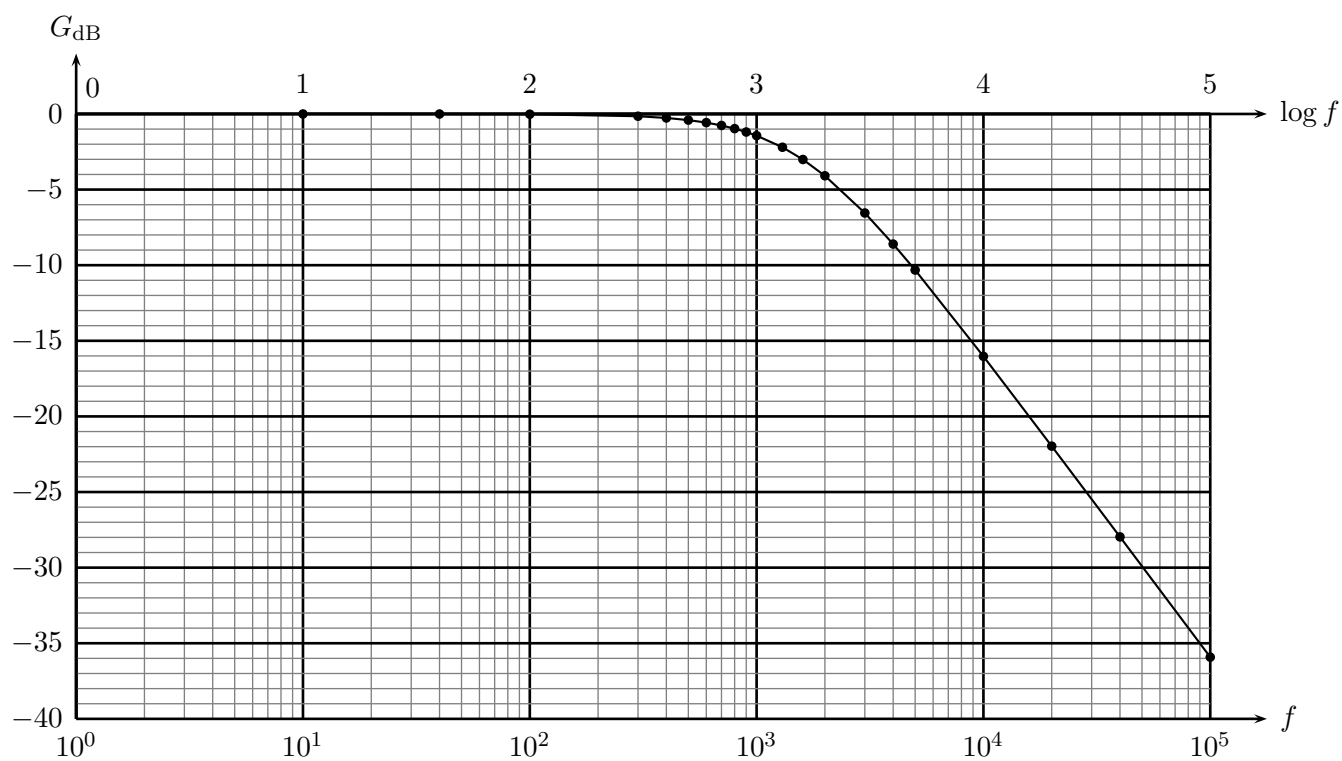
✎ Interpréter.

V Annexe 1 : diagramme de Bode du filtre passe-bas RC



En modifiant la fréquence f du signal d'entrée, on obtient le relevé simulé ci-dessous :

f (en Hz)	100	300	1000	1600	2000	3000	5000	10000	20000	40000	100000
V_{me} (en V)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
V_{ms} (en V)	10,0	9,8	8,5	7,1	6,2	4,7	3,0	1,6	0,80	0,40	0,16
φ (en °)	-3,6	-10,6	-32,0	-45,0	-51,3	-61,9	-72,2	-80,9	-85,4	-87,7	-89,0
$G = \frac{V_{ms}}{V_{me}}$	1,0	0,98	0,85	0,71	0,62	0,47	0,20	0,16	0,080	0,040	0,016
$G_{dB} = 20 \log(G)$	≈ 0	-0,15	-1,4	-3,0	-4,1	-6,5	-10,3	-16,0	-22,0	-28,0	-36,0



VI Annexe 2 : utilisation d'Oscillo V

- ① Connecter la sortie SA1 (ne pas oublier la masse) de la carte d'acquisition Sysam SP5 à l'entrée du filtre.
- ② Connecter l'entrée EA0 (et la masse) de la carte d'acquisition à la sortie SA1 et l'entrée EA1 de cette même carte à la sortie du filtre.
- ③ Ouvrir le logiciel Oscillo V.
- ④ Sélectionner "Bode" parmi les diagrammes à tracer. Cocher les cases correspondant au gain et à la phase.
- ⑤ Définir un intervalle spectral raisonnable sur lequel tracer le diagramme (entre 30 Hz et 30 kHz).
- ⑥ Lancer l'acquisition en appuyant sur "Start".