

TP Filtrage analogique

Capacités exigibles du programme :

Filtrage analogique d'un signal périodique

— Mettre en évidence l'action d'un filtre linéaire

sur un signal périodique dans les domaines fréquentiel et temporel.

Liste du matériel :

— Boîtes de résistance/capacité/inductance variables

— Oscilloscope
— GBF

1 Réalisation et caractérisation d'un filtre « passe-bas » d'ordre 1

Réalisation du filtre :

Déterminer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de réaliser un filtre passe-bas d'ordre 1 de fréquence de coupure 720 Hz.

Caractérisation du filtre :

Déterminer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de réaliser le diagramme de Bode (courbe de gain et de phase) du filtre ainsi élaboré.

2 Réalisation d'un filtre « passe-bande » d'ordre 2

Réalisation du filtre :

Déterminer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de réaliser un filtre passe-bande d'ordre 2 de fréquence de résonance 10,7 kHz.

Caractérisation du filtre :

Déterminer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de réaliser le diagramme de Bode (courbe de gain et de phase) du filtre ainsi élaboré, puis de déterminer la bande passante et le facteur de qualité de celui-ci.

3 Filtrage d'un signal triangulaire

Visualisation du spectre :

Déterminer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de visualiser le spectre d'un signal triangulaire à l'oscilloscope.

Atténuation d'harmoniques :

Déterminer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant, à l'aide d'un filtre, d'atténuer fortement les harmoniques d'un signal triangulaire de façon à le rendre quasi-sinusoïdal.

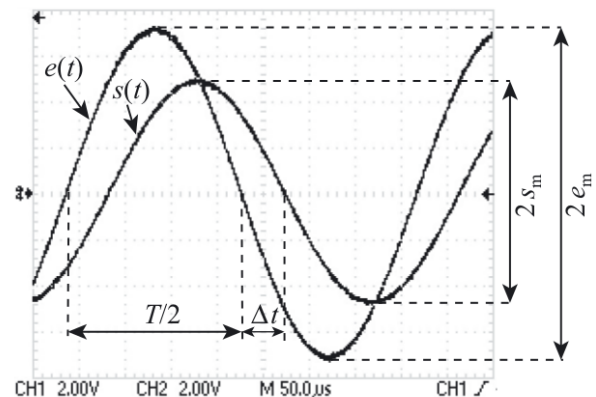
A Annexe 1 - Mesure d'un gain et d'un déphasage à l'oscilloscope

A.1 Visualisation en mode bicourbe

En mode bicourbe, on observe à l'oscilloscope les tensions d'entrée et de sortie correspondant aux courbes en $X(t)$ du CH1 et $Y(t)$ du CH2.

La plupart des oscilloscopes possèdent maintenant des curseurs permettant de mesurer les amplitudes et les écarts temporels, et même souvent un mode d'affichage automatique de la mesure de diverses grandeurs (fréquence, amplitude crête à crête, etc...).

Pour optimiser les mesures, il faut utiliser les calibres permettant d'obtenir les courbes occupant (sans dépasser) le maximum de surface à l'écran. En effet, l'erreur de lecture correspond à « la moitié de la plus petite division » et plus la courbe est grande plus l'incertitude est faible.



À noter que même sur les oscilloscopes donnant automatiquement la valeur des amplitudes (souvent crête à crête), celle-ci est plus précise avec un bon choix du calibre.

A.1.1 La mesure du gain

Le signal d'entrée s'étale sur 7,2 carreaux crête à crête soit $2e_m \simeq 7,2 \times 2 = 14,4$ V, tandis que le signal de sortie correspond à 4,9 carreaux crête à crête, soit $2s_m \simeq 4,9 \times 2 = 9,8$ V.

Finalement, nous mesurons : $G = \frac{9,8}{14,4} \simeq 0,68$.

A.1.2 La mesure du déphasage

Sur l'oscillogramme précédent, la sortie est en retard par rapport à l'entrée. Une règle de proportionnalité donne $|\phi| = 2\pi \frac{\Delta t}{T}$ (en rad) donc, connaissant le signe du déphasage :

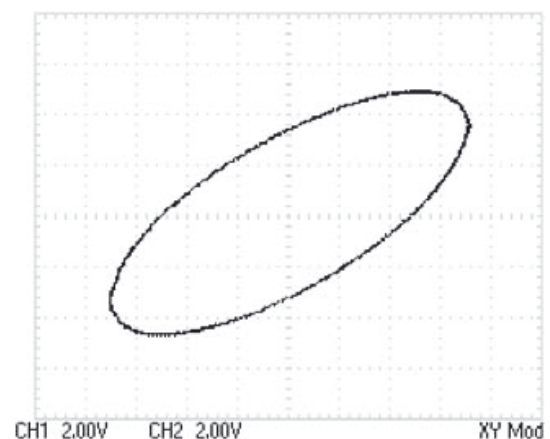
$$\phi = -\omega \Delta t = -2\pi \frac{\Delta t}{T}$$

et l'application numérique conduit à : $\phi \simeq -2 \times \pi \times \frac{0,9}{7,5} \simeq -0,75$ rad $\simeq -43^\circ$.

A.2 Mode Lissajous (ou XY)

La représentation en mode Lissajous, ou mode XY, correspond à une représentation paramétrique où la variable t a disparu. Pour deux tensions sinusoïdales, dans le cas d'un déphasage quelconque, la figure est une ellipse. Le signal de sortie est visualisé sur la voie Y et celui d'entrée sur la voie X.

Le mode XY est surtout (pour ne pas dire uniquement) intéressant lorsque le déphasage est proche de 0° ou 180° . C'est d'ailleurs la méthode la plus précise pour repérer un déphasage nul entre le signal de sortie et celui de l'entrée comme c'est le cas, par exemple, à la fréquence centrale d'un filtre passe-bande d'ordre deux car on visualise une droite.



B Annexe 2 - Tracé d'un diagramme de Bode

Pour faire un diagramme de Bode à partir des mesures obtenues directement à l'oscilloscope, il faut préalablement :

- bien centrer les courbes (la position du zéro) ;
- se placer en mode DC.

Si l'ensemble des mesures se fait au-delà 100 Hz¹, on peut alors se placer en mode AC, ce qui centre automatiquement les courbes.

B.1 Caractérisation rapide

Choisir une fréquence moyenne (typiquement 1 kHz) et une tension d'entrée moyenne (environ 1 V).

Régler convenablement l'oscilloscope afin de visualiser les tensions d'entrée et de sortie.

Faire un balayage de fréquence sur plusieurs décades afin de :

- déterminer la nature du filtre en repérant les fréquences « qui passent » et celles « qui ne passent pas ».
- noter les zones de fréquences où l'amplitude varie de façon importante. C'est le cas par exemple pour un filtre passe-bande ou coupe-bande au voisinage de la fréquence centrale.
- vérifier si le signal de sortie sature dans la région des fréquences où le gain est maximal, ce qui est fréquent dans un montage avec un ALI. Il faut alors diminuer l'amplitude d'entrée en utilisant éventuellement la fonction atténuatrice -20 dB du GBF.
- vérifier également si le signal d'entrée reste constant, s'il se déforme ou s'il diminue. Cela arrive lorsque l'impédance d'entrée du filtre R_e est du même ordre que l'impédance de sortie du GBF R_s (soit 50Ω).
Il faut alors réaliser la mesure de l'amplitude du signal d'entrée et de sortie à chaque fois, ou bien intercaler un montage suiveur entre le GBF et le filtre.

Remarque :

Il est impératif de ne pas se contenter de mesurer les tensions à l'aide de multimètres (ce qui d'ailleurs ne donne aucune information sur le déphasage) mais d'observer les signaux sur un oscilloscope. Cela permet de vérifier la forme du signal et d'avoir la certitude du fonctionnement linéaire du filtre : pas de saturations en courant ou en tension, ni d'effet de type « slew-rate ».

B.2 Caractérisation plus fine

Dans le cas d'un filtre passe-bande ou coupe-bande, mesurer précisément la fréquence centrale f_0 en se plaçant en mode XY, ainsi que le gain G_m .

À cette fréquence les tensions d'entrée et de sortie sont en phase et on doit observer en mode XY un segment de droite au lieu de l'habituelle ellipse.

B.2.1 Tracé du gain

Il faut effectuer des mesures afin d'obtenir des points régulièrement répartis sur le graphe qui est en échelle log. Le choix des gammes 1-2-5 et 8 c'est-à-dire 10-20-50 et 80 Hz puis 100-200-500 et 800 Hz et ainsi de suite, répond à cet objectif.

Rajouter ensuite des points là où la courbe varie rapidement. Enfin ne pas oublier de faire quelques mesures pour des valeurs « extrêmes » de la fréquence afin de pouvoir déterminer avec précision les pentes des asymptotes pour $f \rightarrow 0$ et $f \rightarrow \infty$ (> 100 kHz).

B.2.2 Tracé de la phase

Les remarques sont les mêmes que dans le paragraphe précédent.

B.3 Exploitation

Du diagramme de Bode on peut alors en déduire :

- les pentes des asymptotes évaluées en dB/décade. Faire attention lorsqu'un énoncé demande d'évaluer la pente de ne pas donner comme résultat une valeur arrondie ($+20$ dB/dec par exemple), mais plutôt la valeur réelle mesurée ($+19,1$ dB/dec). Sinon cela donne la mauvaise impression de ne pas avoir réellement effectué la mesure.

1. En mode AC, l'entrée de l'oscilloscope est équivalente à une association série RC réalisant un filtre passe-haut dont la fréquence de coupure est de l'ordre de 10 Hz.

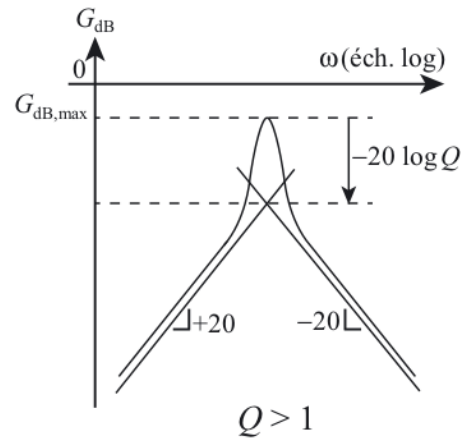
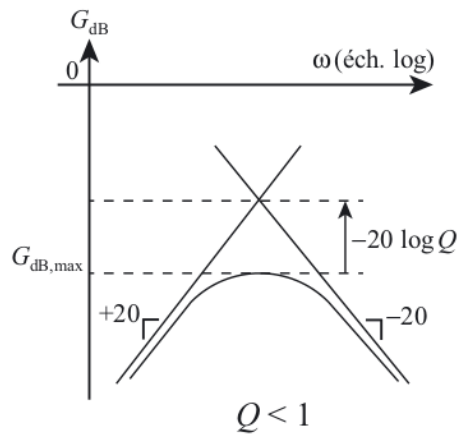
- la bande passante. Repérer les fréquences de coupure définies par $G(f_c) = \frac{G_{max}}{\sqrt{2}}$.

On peut alors en déduire le facteur de qualité Q par :

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f}$$

ce qui permet d'avoir une idée quant à la sélectivité du filtre selon la valeur de Q obtenue.

- le facteur de qualité Q (par une autre méthode). Les coordonnées du point d'intersection des asymptotes pour un filtre passe-bande ou coup-bande permet de déterminer Q puisque la distance (algébrique) séparant le gain maximum de ce point d'intersection vaut $-20 \log Q$:



C Annexe 3 - Filtres principaux du premier et du second ordre

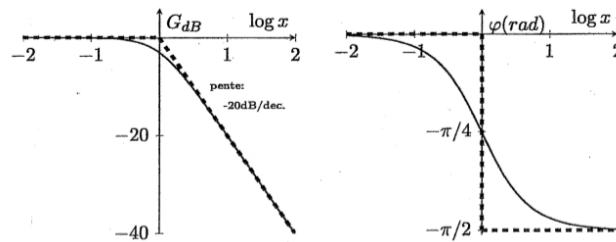
C.1 Filtres d'ordre 1

C.1.1 Filtre passe-bas du premier ordre

La forme canonique d'un filtre passe-bas du premier ordre est la suivante :

$$\underline{H} = H_0 \frac{1}{1 + jx}$$

Le diagramme de Bode est le suivant (avec $H_0 = 1$) :

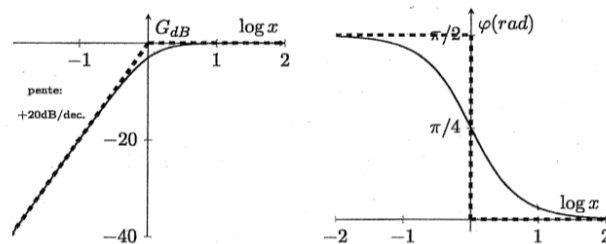


C.1.2 Filtre passe-haut du premier ordre

La forme canonique d'un filtre passe-haut du premier ordre est la suivante :

$$\underline{H} = H_0 \frac{jx}{1 + jx}$$

Le diagramme de Bode est le suivant (avec $H_0 = 1$) :



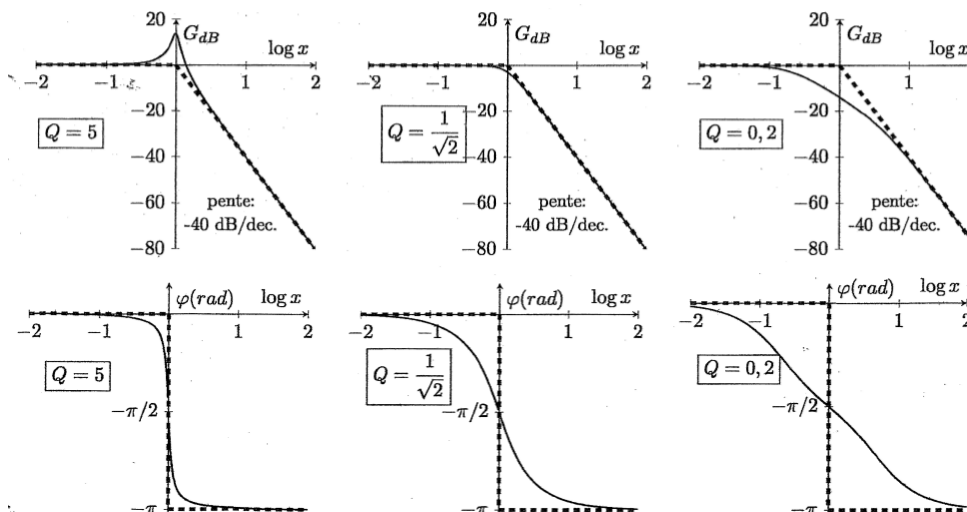
C.2 Filtres d'ordre 2

C.2.1 Filtre passe-bas du second ordre

La forme canonique d'un filtre passe-bas du second ordre est la suivante :

$$\underline{H} = H_0 \frac{1}{1 - x^2 + jx/Q}$$

Le diagramme de Bode est le suivant (avec $H_0 = 1$) :

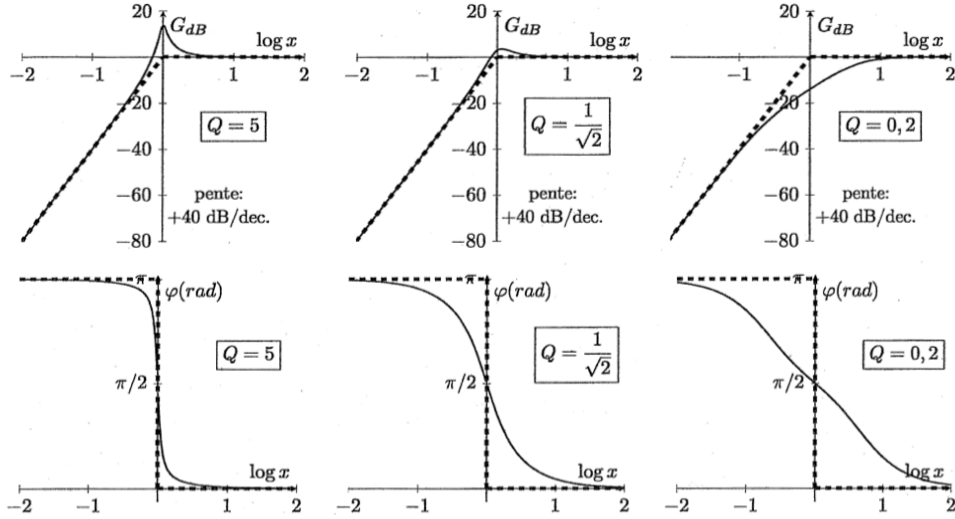


C.2.2 Filtre passe-haut du second ordre

La forme canonique d'un filtre passe-haut du second ordre est la suivante :

$$\underline{H} = H_0 \frac{-x^2}{1 - x^2 + jx/Q}$$

Le diagramme de Bode est le suivant (avec $H_0 = 1$) :



C.2.3 Filtre passe-bande du second ordre

La forme canonique d'un filtre passe-bande du second ordre est la suivante :

$$\underline{H} = H_0 \frac{jx/Q}{1 - x^2 + jx/Q}$$

Le diagramme de Bode est le suivant (avec $H_0 = 1$) :

