Module : Télécommunications fondamentales
Section B

TPN01 : Filtrage analogique
Etude du filtre passif RC passe-bas et passe haut

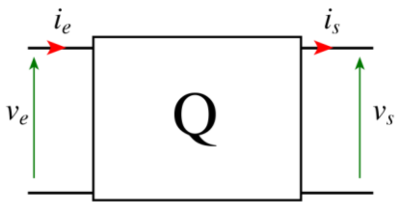
But du TP

L'objectif de cette manipulation est l'étude théorique et pratique d'un filtre analogique passif tel que le filtre passe bas et le filtre passe haut.

1. Rappels théoriques

1.1 Définition d'un quadripôle

Un quadripôle est un montage électronique possédant 4 bornes : deux bornes d'entrée et deux bornes de sortie. Il s'agit en général un montage qui va traiter (filtrer, amplifier, …) un signal d'entrée (tension) et fournir un signal de sortie (tension) en conséquence.



On étudie alors la fonction de transfert : $\underline{H} = \dfrac{\underline{v}_s}{\underline{v}_e}$.

$\underline{H}$ va généralement dépendre des valeurs des composants du quadripôle et de la fréquence *f* (ou de la pulsation ω) de $\underline{v}_e$.

Le plus souvent on représente graphiquement :
- en ordonnée le gain $G = 20\log H$ (en décibels – dB) où *H* est le module de $\underline{H}$.
- en abscisse la fréquence *f* sur une échelle logarithmique. On appelle cette représentation un diagramme de Bode.

1.2 Etude et comportement d'un circuit RC en fonction de la fréquence

Définition

Dans un filtre passe bas, la tension de sortie est prélevée aux bornes du condensateur. Un filtre passe bas est un circuit électrique qui laisse passer les basses fréquences et atténue les hautes fréquences, c'est-à-dire les fréquences supérieures à une fréquence f_c appelée fréquence de coupure. Par contre, un filtre passe haut laisse passer les hautes fréquences et atténue les basses fréquences.

Fonction de transfert du filtre

Une analyse fréquentielle du montage permet de déterminer les fréquences acceptées ou rejetées par ce filtre. En considérant les deux circuits donnés par les figures 1 et 2, on peut exprimer la fonction de transfert sous la forme : $\underline{H} = H.e^{j\varphi}$ ou H est le gain (ou l'atténuation) et φ sa phase. La fonction de transfert dépend de la fréquence.

Nous nous intéressons dans ce TP à l'étude théorique puis expérimentale d'un filtre passe bas (FP.bas) et un filtre passe haut (FP.haut) en analysant la fonction de transfert.

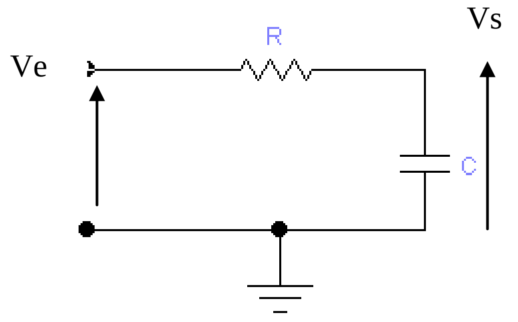


Figure 1

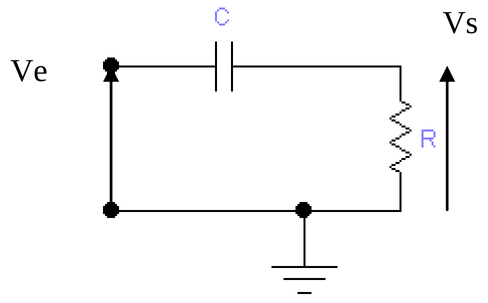


Figure 2

2. Travail demandé pour chaque circuit (Fig 1 et Fig 2) :

2.1 Exprimer la fonction de transfert complexe H(w) de ce quadripôle en fonction de R, C et la pulsation ω.

2.2 Réarranger les termes pour mettre $\underline{H}$ sous la forme $\underline{H} = \dfrac{1}{a + j.b}$.

2.3 On pose $\omega_c = \dfrac{1}{R.C}$
Exprimer alors $\underline{H}$ en fonction de ω et ω_c.
Exprimer la fréquence de coupure f_c en fonction de R et de C.

2.4 Exprimer la fonction de transfert physique, c'est-à-dire le module H de $\underline{H}$.

2.5 Etudier les variations de G tel que $G = 20\log|H|$ et l'argument $\varphi = arctg\,\underline{H}$ en fonction de la fréquence (f variant de 100 Hz à 100 Khz).
$f \to 0$
$f \to \infty$

2.6 Tracer les variations de H et la phase φ sur un papier semi log.

Remarque :

On donne à titre d'exemple la fonction de transfert d'un filtre P.bas :

$\underline{H}(w) = \dfrac{1}{1 + jRCw} = H.e^{j\varphi}$ tel que

$H = \dfrac{1}{\sqrt{1 + (wRC)^2}}$

$\varphi = arctg(-wRC)$

La fréquence de coupure est la fréquence pour laquelle on a une atténuation à 3 décibels. Soit la fréquence de coupure pour laquelle : $\dfrac{|Vs|}{|Ve|} = \dfrac{1}{\sqrt{2}}$ Ce qui donne $w_c = \dfrac{1}{RC}$ $d'ou\ f_c = \dfrac{1}{2\pi RC}$

Le gain est donné par :

$G_{dB}(w) = 20\log H = -10\log\left(1 + (wRC)^2\right)$.

Pour f=fc ; on a $\varphi = -\dfrac{\pi}{4}$

3. Etude expérimentale

3.1 Etude d'un filtre passe bas

On réalise le montage de la figure 1 avec $R = 1K\Omega$ et $C = 10nF$. Le circuit est alimenté sous la tension alternative $V_e = V_{max}\sin wt$, de fréquence variable f. on observe la tension V_s à l'oscilloscope.

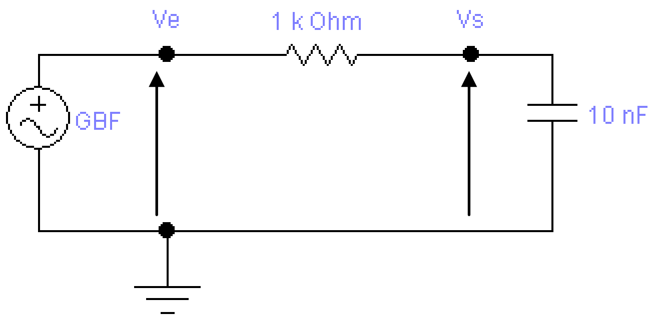


Figure 3. Filtre passe bas

On observe la tension aux bornes du condensateur C. Nous nous intéressons au tracé du diagramme de Bode. On donne Ve =2Vcc.

Comportement global du circuit

Observons rapidement le comportement du filtre entre 100 hertz et 100 Khz. Pour cela, Faites varier la valeur de la fréquence de la tension d'entrée et relever la variation du signal de sortie ainsi que le déphasage entre les deux signaux.

Diagramme de Bode

a- Gain en fréquence

Pour calculer le gain, on mesurera les tensions crête–crête de chaque signal (Ve et Vs) en fonction de la fréquence.

Remarque : la mesure de Ve s'impose à chaque fréquence.

Calculer le gain $G = 20\log\left(\frac{V_s}{V_e}\right)$ et le déphasage pour les fréquences allant de 100Hz et 100 Khz.

3.1.1. A l'aide de l'oscilloscope, relever l'amplitude de Vs (aux bornes de C) et son déphasage par rapport à Vin ou Ve.

3.1.2. Refaire les mêmes mesures, pour différentes fréquences allant de 100 Hz à 10 KHz, selon le tableau suivant :

f (KHz)	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	4	6	8	10	20	40	60	80
U_e (V)															
U_s (V)															
G(dB)															
Déphasage $\Delta\varphi = 360.\frac{\Delta T}{T}$															

On notera particulièrement le point de mesure correspondant à la fréquence de coupure fc que vous calculerez au préalable. On rappelle que la fréquence de coupure est déterminée par l'expression : $f_c = \frac{1}{2.\pi.R.C}$

Remarques : a- On prendra plusieurs points de mesure.

b- La fréquence de coupure sera mesurée lorsque : $V_s = \frac{V_{s\max}}{\sqrt{2}}$

3.1.3. Calculer la fonction de transfert du montage : A(jω)=VC/Vin en Amplitude et en phase.
3.1.4. Représenter sur le même graphe le diagramme des amplitudes théorique et pratique.

3.1.5. Interpréter vos résultats et conclure.

3.2 Etude d'un filtre passe haut
Réaliser le montage de la figure. 2.

On réalise le montage de la figure 4 avec $R = 1K\Omega$ et $C = 10nF$. Le circuit est alimenté sous la tension alternative $V_e = V_{\max} \sin wt$, de fréquence variable f. on observe la tension V_s à l'oscilloscope.

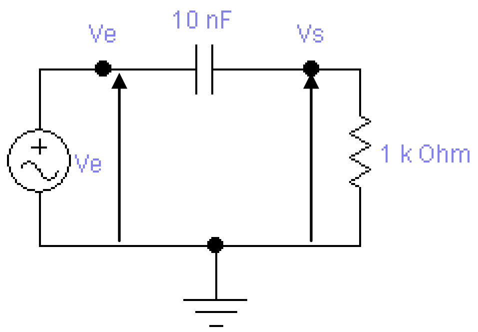


Figure 4. Filtre passe haut

Refaire le même travail demandé pour la figure 3.

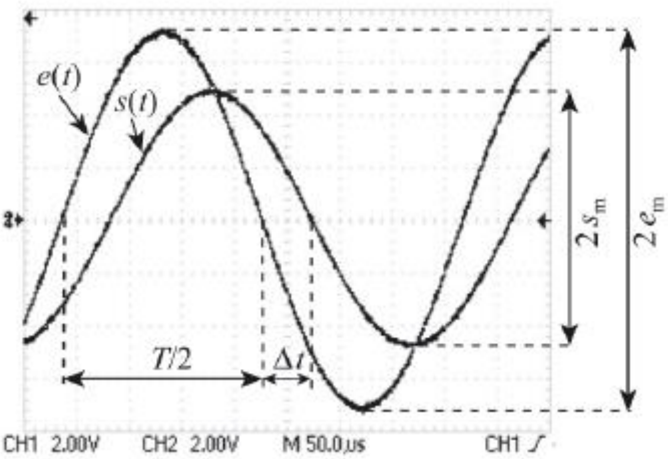
Conclure.

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

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...).



1.1 La mesure du gain

Le signal d'entrée s'étale sur7,2 carreaux crête à crête soit $2*e_m \approx 7.2*2 = 14.4$ V, tandis que le signal de sortie correspond à4,9 carreaux crête à crête, soit2sm $2s_m = 4.9*2 = 9.8v$. Finalement, nous mesurons : G= 9,8/14.4=0.68.

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 $|\Phi| = 2\pi \frac{\Delta t}{T}$ $(en\ radians)$ donc, connaissant le signe du déphasage

$$\Phi = -w\Delta t = -2\pi \frac{\Delta t}{T}$$

et l'application numérique conduit à : $\Phi \approx -2*\pi*\frac{0.9}{7.5} \approx -0.75\,rad \approx -43^0$

1.3 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.