

# Correction du TP

## Au programme



### Savoir

- ◇ Décalage temporel/Déphasage à l'aide d'un oscilloscope numérique.
- ◇ Reconnaître une avance ou un retard.



### Savoir-faire

- ◇ Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant l'utilité des fonctions de transfert pour un système linéaire à un ou plusieurs étages.
- ◇ Passer d'un décalage temporel à un déphasage et inversement.
- ◇ Agir sur un signal électrique à l'aide des fonctions simples suivantes : filtrage



## I Objectifs

- ◇ Apprendre à utiliser un dBmètre.
- ◇ Apprendre à déterminer rapidement une fréquence de coupure.
- ◇ Apprendre à mesurer un déphasage à l'oscilloscope.
- ◇ Apprendre à tracer un diagramme de BODE sur papier semi-log et papier millimétré.

## II S'appropriier

### II/A Méthode pour mesurer un déphasage – rappel de cours

Supposons  $e(t) = E_m \cos(\omega t)$  sur la voie  $Y_1$  et  $s(t) = S_m \cos(\omega t + \varphi)$  sur la voie  $Y_2$  de l'oscillogramme ci-contre. Le déphasage  $\varphi$  entre deux signaux est un nombre appartenant à l'intervalle  $]-\pi ; \pi]$ . Il se mesure grâce à l'oscilloscope.

- 1) Déterminer la valeur absolue de  $\Delta\varphi_{s/e}$  : pour cela, il faut placer les curseurs verticaux de manière à déterminer le décalage temporel  $\Delta t$ , puis  $|\Delta\varphi_{s/e}| = \omega\Delta t$  (en rad).
- 2) Ensuite déterminer le signe de  $\Delta\varphi_{s/e}$  : pour cela, on cherche quelle courbe est en avance sur l'autre. Sur l'oscillogramme ci-contre,  $s$  est en retard sur  $e$  puisqu'il s'annule après  $e$  : on en déduit  $\Delta\varphi_{s/e} < 0$ .

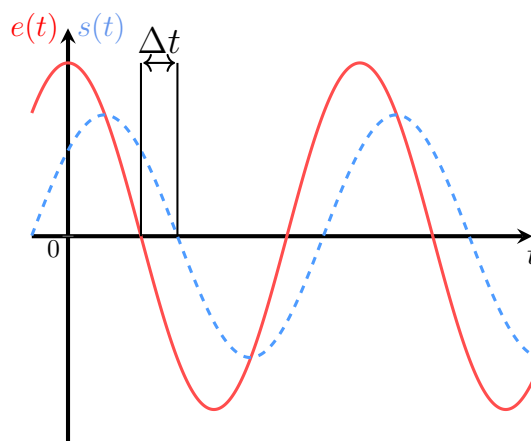


FIGURE 13.1 – Déphasage

## II/B Méthode pour mesurer un gain en dB

Le gain se mesure grâce à un multimètre.

### Mesure de gain

- 1) Appuyez sur la fonction Volt alternatif (symbole  $V\sim$ ), puis dBmètre (bouton  $dB$ ) pour activer la fonction dBmètre ;
- 2) Brancher le multimètre sur l'entrée  $e(t)$  du montage ;
- 3) Appuyer sur  $rel$  une ou deux fois jusqu'à ce que le multimètre affiche 0 : on indique alors au multimètre que c'est cette tension  $e(t)$  qui sert de référence.
- 4) Brancher ensuite le multimètre sur la sortie  $s(t)$ . Il affiche directement le gain en dB.



### Attention

Il faut refaire le zéro relatif pour chaque fréquence.

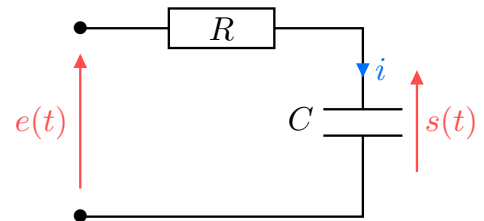
## II/C Méthode pour tracer un diagramme de BODE

Pour tracer le diagramme de BODE, il est nécessaire pour chaque fréquence de déterminer :

- 1) le déphasage  $\Delta\varphi_{s/e}$  de  $s(t)$  par rapport à  $e(t)$  ;
- 2) Le gain en dB.

## III Analyser

Le montage étudié, schématisé ci-contre, est un circuit RC série alimenté par la tension  $e(t) = E_m \cos(\omega t)$ . On pose  $s(t) = S_m \cos(\omega t + \varphi)$  la tension aux bornes du condensateur.



- ① Établir l'expression de la fonction de transfert.

### Réponse

Pont diviseur :

$$\begin{aligned}
 \underline{S} &= \frac{1/jC\omega}{R + 1/jC\omega} \underline{E} \\
 \Leftrightarrow \underline{S} &= \frac{1}{1 + jRC\omega} \underline{E} \\
 \Leftrightarrow \underline{H} &= \frac{1}{1 + jRC\omega} \\
 \Leftrightarrow \underline{H} &= \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_c}} \\
 \Leftrightarrow \underline{H} &= \frac{1}{1 + jx}
 \end{aligned}
 \quad
 \begin{aligned}
 &\times \frac{jC\omega}{jC\omega} \\
 &\downarrow \underline{H} = \underline{S}/\underline{E} \\
 &\downarrow \omega_c = \frac{1}{RC} \\
 &\downarrow x = \frac{\omega}{\omega_c}
 \end{aligned}$$



- ② Déterminer le comportement asymptotique du filtre pour le gain et le déphasage.

Réponse

$$1) \quad \boxed{\underline{H}(x) \xrightarrow{x \rightarrow 0} \frac{1}{1+0} = 1 \quad \text{et} \quad \underline{H}(x) \xrightarrow{x \rightarrow \infty} \frac{1}{jx}}$$

2)  $\diamond$  Pour le gain :

$$G_{\text{dB}}(x) \xrightarrow{x \rightarrow 0} 20 \log(1) = 0 \quad \text{et} \quad G_{\text{dB}}(x) \xrightarrow{x \rightarrow \infty} 20 \log \left| \frac{1}{jx} \right| = -20 \log x$$

Ainsi, à hautes fréquences, **le gain diminue de 20 dB par décade** : si  $\omega$  est multiplié par 10, le gain en décibel baisse de 20 dB (i.e. l'amplitude est divisée par 10).

$\diamond$  Pour la phase :

$$\varphi(x) \xrightarrow{x \rightarrow 0} \arg(1) = 0 \quad \text{et} \quad \varphi(x) \xrightarrow{x \rightarrow \infty} \arg\left(\frac{1}{jx}\right) = -\frac{\pi}{2}$$

$\diamond$

- ③ Déterminer l'expression de la fréquence de coupure  $f_c$ , puis la calculer pour  $R = 1,0 \text{ k}\Omega$  et  $C = 0,10 \text{ }\mu\text{F}$ .

Réponse

On a trouvé

$$\omega_c = \frac{1}{RC} \Leftrightarrow \boxed{f_c = \frac{1}{2\pi RC}} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} R = 1,0 \text{ k}\Omega \\ C = 0,10 \text{ }\mu\text{F} \end{cases}$$

A.N. :  $f_c = 1,59 \times 10^3 \text{ Hz}$

$\diamond$

- ④ Compléter le schéma avec les branchements de la carte Sysam permettant de visualiser simultanément  $e(t)$  sur la voie EA0 et  $s(t)$  sur la voie EA1 de l'oscilloscope.

Réponse

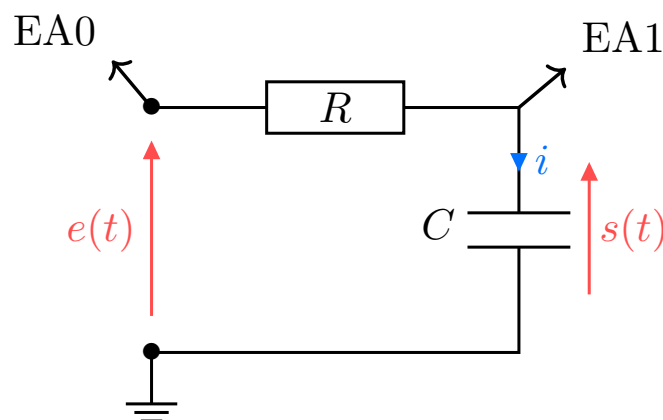


FIGURE 13.2 – Schéma complété.

$\diamond$

- ⑤ On souhaite éliminer toute composante continue des signaux observés, doit-on choisir le mode AC ou DC ? (vous pourrez faire une recherche sur internet ce que signifie mode AC et DC d'un oscilloscope).

Réponse

On choisit le mode AC (courant alternatif).



- ⑥ Si l'amplitude  $E_m$  du signal d'entrée est représentée par 2,8 carreaux, en supposant que la sensibilité verticale est la même sur les 2 voies, montrer que pour  $f = f_c$  l'amplitude  $S_m$  du signal de sortie correspond alors à 2 carreaux sur l'oscillogramme.

Réponse

À la fréquence coupure, on obtient

$$S_m(f_c) = |\underline{H}(f_c)| E_m = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

L'application numérique donne bien  $S_m(f_c) \approx 2$  carreaux.



## IV Réaliser

### IV/A Étude rapide de comportement

#### Diagramme automatique



- 1) Connecter la carte Sysam à l'ordinateur ;
- 2) Ouvrir Oscillo5 (Programmes Physique-chimie → Eurosmart → Oscillo5) ;
- 3) Alimenter votre filtre RC avec la sortie analogique SA1 de la carte Sysam.
- 4) Relever la tension  $e(t)$  sur le canal EA0 et la tension  $s(t)$  sur le canal EA1.
- 5) Passer en mode Bode ;
- 6) Afficher gain et phase ;
- 7) Prendre une échelle log avec une étendue de fréquence cohérente avec la fréquence de coupure que vous avez préalablement déterminée ;
- 8) Sélectionner EA0 en entrée ;
- 9) Effacer acquisitions précédentes. Choisir : toutes ;
- 10) Déclencher.
- 11) Les diagrammes sont tracés de manière automatique. Pratique si on veut être rapide !

### IV/B Mesures pour le tracé du diagramme de BODE

Il s'agit maintenant de faire un relevé fréquence par fréquence pour apprendre à le faire « à la main ».

### À la main

- 1) Choisir maintenant le mode **BALAYAGE**, pour utiliser **Oscillo5** comme un oscilloscope ;
- 2) Dans le panneau de contrôle (boîte flottante en haut de l'écran), cliquer sur **Voir GBF1** et appuyer sur **Marche** ;
- 3) Prendre comme amplitude du signal d'entrée environ 2 V (soit 4 Vpp). Pour des fréquences entre 100 Hz et 50 kHz :
- 4) Mesurer le déphasage entre  $s(t)$  et  $e(t)$  à l'aide d'Oscillo5, comme indiqué dans S'approprier. Pour plus de facilité, utiliser les curseurs (en bas à droite du menu d'Oscillo5) et les calibres horizontaux (à droite) et verticaux (en bas).
- 5) Mesurer le gain en dB à l'aide du dBmètre, comme indiqué dans S'approprier.
- 6) Une échelle logarithmique de variation de la fréquence est pertinente et vous pourrez faire plus de mesures autour de la fréquence de coupure  $f_c$  précédemment établie.

- 1] Regrouper les valeurs dans un tableau :

**TABEAU 13.1** – Mesures pour diagramme de BODE.

$f$ (Hz)	$G_{dB}$ (dB)	$ \Delta t $ (s)	$ \Delta\varphi_{s/e} $ (rad)	$\Delta\varphi_{s/e}$ (rad)
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

### Réponse

**TABEAU 13.2** – Mesures pour diagramme de BODE.

$f$ (Hz)	$G_{dB}$ (dB)	$ \Delta t $ (s)	$ \Delta\varphi_{s/e} $ (rad)	$\Delta\varphi_{s/e}$ (rad)
100	-0,02	$-9,99 \times 10^{-5}$	0,06	-0,06
300	-0,15	$-9,88 \times 10^{-5}$	0,19	-0,19
600	-0,58	$-9,56 \times 10^{-5}$	0,36	-0,36
1000	-1,44	$-8,93 \times 10^{-5}$	0,56	-0,56
1200	-1,95	$-8,57 \times 10^{-5}$	0,65	-0,65
1600	-3,03	$-7,84 \times 10^{-5}$	0,79	-0,79
2000	-4,11	$-7,15 \times 10^{-5}$	0,90	-0,90
3000	-6,58	$-5,75 \times 10^{-5}$	1,08	-1,08
5000	-10,36	$-4,02 \times 10^{-5}$	1,26	-1,26
7000	-13,08	$-3,06 \times 10^{-5}$	1,35	-1,35
10 000	-16,07	$-2,25 \times 10^{-5}$	1,41	-1,41
20 000	-22,01	$-1,19 \times 10^{-5}$	1,49	-1,49
30 000	-25,52	$-8,05 \times 10^{-6}$	1,52	-1,52
40 000	-28,01	$-6,09 \times 10^{-6}$	1,53	-1,53
50 000	-29,95	$-4,90 \times 10^{-6}$	1,54	-1,54



## V Valider et conclure

- 2 Tracer le diagramme de BODE expérimental sur papier semi-log (fourni en fin de sujet) en mettant la fréquence en abscisse (les 2 courbes sur une même feuille en prenant l'échelle du gain en haut et l'échelle du déphasage en bas).

Réponse

Voir fin du sujet.



- 3 Ajouter sur le diagramme, les asymptotes obtenues grâce à l'étude théorique de l'analyse.

Réponse

Idem.



- 4 En déduire :

a – La fréquence de coupure expérimentale  $f_{c,\text{exp}}$  en considérant  $G_{\text{dB}}(f_{c,\text{exp}}) = G_{\text{dB,max}} - 3 \text{ dB}$ . La comparer à la valeur théorique en calculant l'écart **normalisé**.

Réponse

On trouve  $f_{c,\text{exp}} = (1,57 \pm 0,02) \text{ kHz}$ , d'où l'écart normalisé

$$E_n = \frac{|f_{c,\text{exp}} - f_{c,\text{theo}}|}{u_{f_{c,\text{exp}}}} \Rightarrow E_n = 1 < 2 \quad \text{donc compatibles.}$$



b – Le déphasage expérimental  $\varphi_{c,\text{exp}}$  pour  $f = f_{c,\text{exp}}$ . Le comparer à la valeur théorique en calculant l'écart **normalisé**.

Réponse

Calcul similaire.



c – La nature du filtre.

Réponse

C'est un passe-bas.



