

Thème I

Capteurs et filtres

Séance 1

Transducteurs, capteurs et signaux

Objectifs de la séance A l'issue de cette séance, vous serez capable de :

- utiliser l'instrumentation électronique et les plaquettes de prototypage,
- mettre en œuvre un microphone et un haut-parleur de faible puissance,
- choisir et tester un circuit électronique simple de mise en forme.

Important On attend de vous une prise de notes régulière et précise des dispositifs réalisés, des mesures obtenues et des problèmes rencontrés. Notez tout ce qui serait utile à une tierce personne pour refaire les mêmes expériences!

Sommaire

1	Matériel	3
2	HP : Transducteur électricité ⇒ son	4
3	Microphone : Capteur son ⇒ électricité	5
4	Préparation de la séance suivante	6

1 Matériel

Pour les premières manipulations, vous disposez d'un haut-parleur et d'une cellule de microphone "électret" :



Cellule microphone

MP33125 ProSignal

Technical Data:

Frequency range	: 50Hz to 10kHz.
Sensitivity	: 5.6mV/Pa/1kHz.
Output impedance	: 2k Ω .
S/N ratio	: >34dB.
Coupling capacitor	: 0.1 to 4.7 μ F.
Power supply	: 1.5 to 10V dc, 5mA.
Dimensions (Diameter x Height)	: \varnothing 9.7 x 6.7mm.



Haut-parleur

1 ou 0.2 W - 8 Ω

Q1 Que signifie l'indication 1 W - 8 Ω donnée pour le HP? Quel est le courant maximal que ce composant est capable d'absorber? Sous quelle différence de potentiel?

2 HP : Transducteur électricité \Rightarrow son

\rightsquigarrow Mesurer la résistance interne du haut-parleur à l'aide de l'Ohm-mètre, vérifier qu'elle est bien proche des 8 Ω annoncés.

\rightsquigarrow Régler le générateur afin qu'il délivre une tension sinusoïdale de fréquence de 1 kHz environ et une amplitude de 4 V.

\rightsquigarrow Brancher le haut-parleur sur le GBF en plaçant une résistance de 47 Ω en série.

Q2 Quel est l'intérêt de placer une résistance en série?

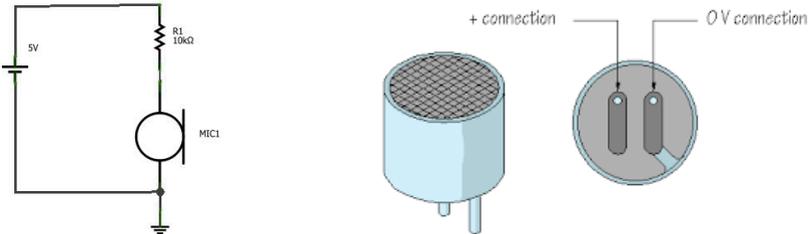
\rightsquigarrow Modifier la fréquence, puis la forme du signal (en plaçant un signal rectangulaire, triangulaire).

Q3 Quelle caractéristique du son est modifiée par un changement de la fréquence du générateur? Sa forme? Quelle est la gamme des fréquences accessibles et audibles?

\rightsquigarrow Laisser le haut-parleur branché pour la suite, mais vous pouvez éteindre le GBF...

3 Microphone : Capteur son \Rightarrow électricité

\rightsquigarrow Réaliser le circuit électronique suivant pour une valeur de résistance $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ et mesurer la tension V_m aux bornes du microphone à l'aide de l'oscilloscope.



Circuit du microphone et repérage des deux broches.

\rightsquigarrow Modifier la valeur de $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ et mesurer à nouveau la tension V_m .

Q4 Quelle est l'influence de la valeur de la résistance R_1 sur la tension V_m ?

Q5 Dédurre de vos mesures la valeur de la résistance de sortie du microphone.

\rightsquigarrow Mettre en marche le haut-parleur et observer la tension V_m à l'oscilloscope réglé en couplage DC puis AC, la valeur de la résistance R_1 est fixée à $R_1 = 1\text{ k}\Omega$.

Q6 Quel est l'intérêt du mode AC de l'oscilloscope ?

Q7 Quelle est l'amplitude du signal ?

Afin de pouvoir exploiter le signal du microphone, il est nécessaire de placer un amplificateur de tension derrière ce circuit. Et avant cet étage d'amplification, on place un circuit qui coupe la composante continue du signal. Un tel circuit est réalisé avec un couple résistance-condensateur.

4 Préparation de la séance suivante

Installer (si ce n'est pas déjà fait) le logiciel de développement Arduino, téléchargement de la version 1.8.1 sur le site

<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

Et faire les fiches-défi :

- « Testez votre carte »
- « Allumez une LED »

Séance 2

Filtres R-C et C-R. Comportement transitoire

Objectifs de la séance A l'issue de cette séance, vous serez capable de :

- utiliser le générateur de fonction en mode rectangulaire avec un choix de période permettant d'observer une réponse transitoire de filtre
- utiliser sur l'oscilloscope les curseurs pour des mesures d'amplitude ou de durée et les fonctions de mesures,
- mesurer la constante de temps d'un filtre du premier ordre à partir de sa réponse indicielle,
- contruire un modèle théorique du comportement temporel du filtre,

Sommaire

1	Expérience préliminaire	8
2	Étude expérimentale	9
2.1	Matériel	9
2.2	Étude de la réponse transitoire du filtre à un échelon de tension d'entrée	10
3	Modélisations théoriques des circuits	11
3.1	Équation différentielle liant v_e et v_s	11
3.2	Réponse à un échelon	11
3.3	Application	11

Filtres à étudier

Lors de cette séance, on mènera l'étude expérimentale du comportement des deux filtres représentés sur la figure 2.1.

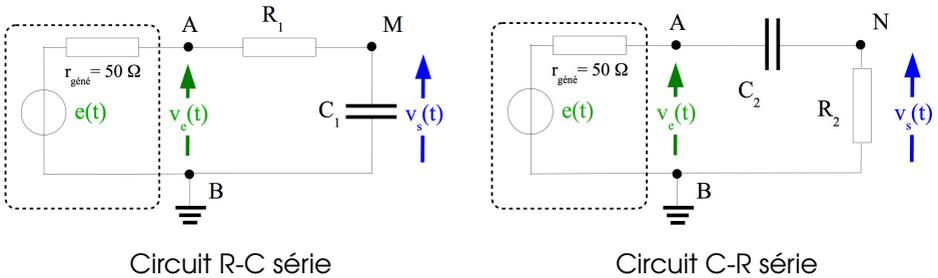


FIGURE 2.1 – Schémas des circuits à étudier

1 Expérience préliminaire

↪ Réaliser les étapes de la fiche « Contrôlez votre éclairage » du site opentp.fr en laissant de côté pour l'instant la deuxième partie de l'ultime défi.

Q1 A partir de vos observations, tracer l'allure de l'évolution au cours du temps de la tension V_3 , tension entre la borne 3 de la carte et la masse.

↪ Observer l'évolution de la tension V_3 à l'oscilloscope.

Q2 Cette tension évolue-t-elle comme vous l'aviez prévu ? Quelles sont les deux seules valeurs prises par cette tension ?

Le rapport cyclique d'un signal rectangulaire est définie sur la figure 2.2

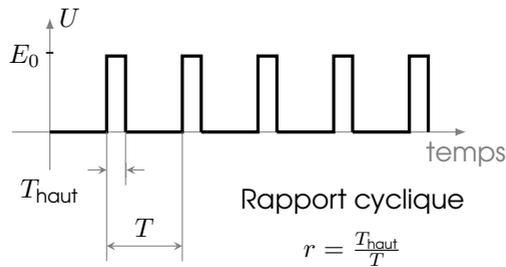


FIGURE 2.2 – Définition du rapport cyclique d'un signal U rectangulaire.

Q3 Comment évolue le rapport cyclique de la tension V_3 au cours du temps ?

Q4 Pourquoi ne voit-on pas la LED clignoter ?

Q5 La commande `AnalogWrite` permet-elle d'obtenir une tension analogique ? Quelles sont les valeurs possibles en entrée de cette fonction ?

La carte utilise ici un principe appelé modulation en largeur d'impulsion (MLI ou *Pulse Width Modulation* en anglais, PWM).

Q6 Décrire par un schéma cette technique.

2 Étude expérimentale

Chaque binôme effectuera les mesures sur un seul type de filtre (C-R ou R-C) et pour un seul couple de valeurs de R et C , mais il utilisera les résultats obtenus par l'ensemble du groupe.

2.1 Matériel

Plaque de développement électronique (Breadboard), Composants discrets (résistances et condensateurs), instrumentation de laboratoire d'électronique (générateur de fonction, oscilloscope)

2.2 Étude de la réponse transitoire du filtre à un échelon de tension d'entrée

Q7 Qu'est-ce qu'un échelon de tension ? Comment utiliser le générateur de fonction pour obtenir un échelon de tension ?

↪ Appliquer un échelon de tension au circuit et commenter la courbe obtenue.

↪ Modifier la valeur de la résistance d'un facteur 10. Puis modifier la valeur du condensateur d'un facteur 10. Observer les modifications dans l'évolution du signal de sortie.

Q8 Quelle est l'influence de la valeur de la résistance sur l'allure de l'évolution de la tension V_s ? L'influence de la valeur de la capacité du condensateur ?

Modèle d'une fonction exponentielle On décrit l'évolution de la réponse par une fonction du type :

$$V_s(t) = V_{s\infty} + (V_{s0} - V_{s\infty}) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

où τ est la **constante de temps** du filtre.

Q9 Quelles sont les valeurs $V_{s\infty}$ et V_{s0} dans votre cas ?

La mesure de τ s'obtient pour

$$V_s(\tau) = V_{s\infty} + (V_{s0} - V_{s\infty}) e^{-\frac{\tau}{\tau}} = V_{s\infty} + (V_{s0} - V_{s\infty}) 0,37$$

En pratique on mesure l'abscisse à 63% de l'évolution entre la valeur initiale et la valeur finale .

↪ Mesurer la constante de temps de votre circuit. Modifier la valeur de la résistance d'un facteur 10 et mesurer à nouveau la constante de temps.

Q10 Quelle est l'influence de la valeur de la résistance sur la constante de temps ? L'influence de la valeur de la capacité du condensateur ?

3 Modélisations théoriques des circuits

L'évolution "exponentielle" du signal de sortie provient d'un effet de "dérivation" du condensateur.

3.1 Équation différentielle liant v_e et v_s

Dans le cas du circuit R-C série, on peut écrire les relations suivantes :

— Lois des mailles

$$V_e(t) = u_{AM}(t) + u_{MB}(t) = u_{R1}(t) + u_{C1}(t)$$

— Lois de comportement des composants

$$\begin{cases} u_{R1}(t) = R_1 \cdot i(t) \\ q(t) = C_1 \cdot u_{C1}(t) = C_1 \cdot v_s(t) \end{cases}$$

avec $i(t) = \frac{dq}{dt}$. L'équation de maille devient l'équation différentielle suivante :

$$V_e(t) = R_1 \left(C_1 \cdot \frac{dv_s}{dt} \right) + V_s(t)$$

Q11 Rappeler sur le schéma les conventions de signe qui permettent d'écrire ces équations. Que représente la grandeur $q(t)$?

Q12 En raisonnant sur les dimensions (ou les unités) dans l'équation différentielle, donner la dimension du produit $R_1 C_1$.

3.2 Réponse à un échelon

Dans le cas de la réponse à un échelon, on résout l'équation différentielle l'évolution à partir de $t = 0^+$.

Q13 Retrouver la méthode de résolution d'une équation différentielle linéaire à coefficients constants du premier ordre. Mettre en évidence la constante de temps du filtre.

3.3 Application

Q14 Donner l'équation différentielle permettant de décrire le comportement du circuit CR.

Séance 3

Filtre R-C ou C-R. Comportement harmonique

Objectifs de la séance A l'issue de cette séance, vous serez capable de :

- utiliser le générateur de fonction en mode sinusoïdal continu et sinusoïdal avec balayage en fréquence,
- modéliser un signal harmonique à l'aide de la notion d'amplitude complexe,
- déterminer la réponse en fréquence d'un filtre RC ou CR,

Sommaire

1	Rappel du contexte	13
1.1	Schéma des filtres à étudier	14
2	Étude expérimentale	14
2.1	Matériel	14
2.2	Expérience préliminaire	14
2.3	Visualisation de la réponse du filtre à du balayage en fréquences (fonction sweep)	15
3	Modélisation du comportement harmonique des filtres .	15

1 Rappel du contexte

Q1 Lors de la première séance de mise en œuvre d'un microphone electret quel type d'interface a été mis en évidence pour permettre

une bonne visualisation (ou exploitation) du signal variable issu du microphone ? Quelle est la bande de fréquence utile du microphone utilisé ? Proposer une valeur de fréquence de coupure du filtre envisagé.

1.1 Schéma des filtres à étudier

Lors de cette séance, on mènera l'étude expérimentale du comportement **harmonique** c'est à dire pour un signal d'entrée sinusoïdal des deux schémas de filtres suivants :

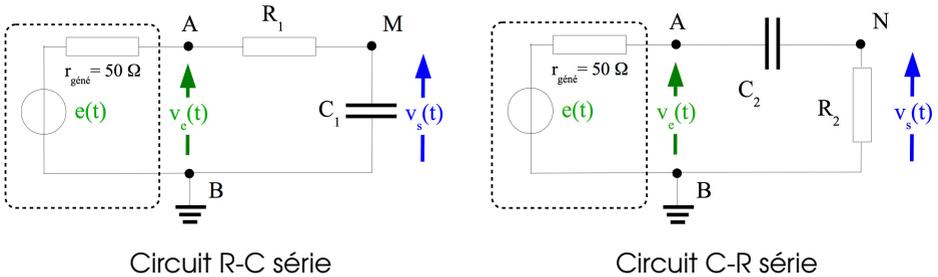


FIGURE 3.1 – Schémas des circuits à étudier

2 Étude expérimentale

Chaque binôme effectuera les mesures sur un seul type de filtre (C-R ou R-C) et pour un seul couple de valeurs de R et C , mais il utilisera les résultats obtenus par l'ensemble du groupe.

2.1 Matériel

Plaque de développement électronique (Breadboard), Composants discrets (résistances et condensateurs), instrumentation de laboratoire d'électronique (générateur de fonction, oscilloscope)

2.2 Expérience préliminaire

↪ Placer un signal sinusoïdal

$$V_e(t) = E \cos(\omega_e t + \varphi_e)$$

en entrée du filtre et observer à l'oscilloscope l'allure du signal sortie pour différentes fréquences et amplitudes du signal d'entrée.

Q2 Quels sont les paramètres qui varient en fonction de la fréquence du signal d'entrée ? L'allure du signal de sortie change-t-elle en fonction de la fréquence ou de l'amplitude du signal d'entrée ? Observez-vous un décalage temporel entre le signal d'entrée et le signal de sortie ?

2.3 Visualisation de la réponse du filtre à du balayage en fréquences (fonction sweep)

L'idée est de couvrir la plage de fréquences utiles pour le microphone et le haut-parleur, de 10 Hz à 10 kHz.

Q3 Combien de décades contient cet intervalle de fréquences ?

Q4 Quels sont les paramètres de la fonction balayage sur le générateur de fonction ? Quelle est la durée de la première "pseudo-période" du signal lors du balayage en fréquence ? Comment choisir la durée de balayage ?

Q5 Comment utiliser le signal de sortie de synchronisation du générateur de fonction ? Quelles sont les caractéristiques de ce signal ?

↪ Mettre en œuvre le balayage de façon à visualiser un balayage complet sur tout l'écran de l'oscilloscope.

Q6 Quelle est la nature du filtre que vous étudiez (passe-bas, passe-bande, passe-haut) ? Dans quelle zone de fréquence faut-il effectuer des mesures plus rapprochées ?

3 Modélisation du comportement harmonique des filtres

On considère à nouveau le circuit R-C :

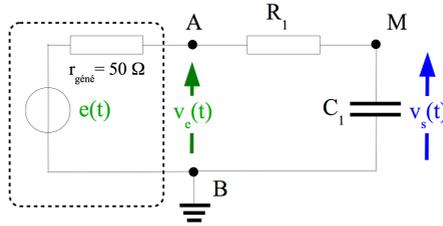


FIGURE 3.2 – Circuit RC

L'équation différentielle qui décrit le fonctionnement de ce circuit s'écrit :

$$V_e(t) = V_s(t) + R_1 C_1 \frac{dV_s(t)}{dt}$$

On s'intéresse au cas particulier où la tension $V_e(t)$ évolue sinusoidalement au cours du temps avec une amplitude E et une fréquence notée f , c'est à dire que son expression est du type :

$$V_e(t) = E \cdot \cos(\omega t + \varphi_e)$$

où $\omega = 2\pi f$ est la pulsation, en rad/s.

L'équation différentielle qui décrit l'évolution de la tension $V_s(t)$ devient :

$$V_s(t) + R_1 C_1 \frac{dV_s(t)}{dt} = E \cdot \cos(\omega t + \varphi_e)$$

Comment résoudre cette équation ? On cherche si il existe des solutions du type "sinusoïdal", qui s'écrivent :

$$V_S(t) = S_1 \cdot \cos(\omega t) + S_2 \cdot \sin(\omega t) = S \cdot \cos(\omega t + \varphi_s)$$

On cherche donc à déterminer S_1 et S_2 ou bien S et φ_s qui seraient solution de cette équation.

Amplitudes complexes L'astuce qui permet de résoudre facilement ce problème est de travailler avec les nombres complexes en notant :

$$V_S(t) = \Re(S \cdot e^{j\omega t + j\varphi_s}) = \Re(\underline{V_S} \cdot e^{j\omega t})$$

et

$$V_E(t) = \Re(E \cdot e^{j\omega t + j\varphi_e}) = \Re(\underline{V_E} \cdot e^{j\omega t})$$

$\underline{V_S} \cdot e^{j\omega t}$ et $\underline{V_E} \cdot e^{j\omega t}$ sont donc deux grandeurs complexes dont la partie réelle correspond à des signaux ...réels.

Les grandeurs

$$\underline{V}_S = S \cdot e^{j\varphi_s} \quad \text{et} \quad \underline{V}_E = E \cdot e^{j\varphi_e}$$

sont appelées *amplitudes complexes*. Elles intègrent l'amplitude du signal sinusoïdal (leur module) et le déphasage (leur angle).

Transmittance L'équation différentielle devient :

$$\Re(S \cdot e^{j\omega t + j\varphi_s}) + R_1 C_1 \cdot \Re(S \cdot j\omega \cdot e^{j\omega t + j\varphi_s}) = \Re(E \cdot e^{j\omega t + j\varphi_e})$$

transformée selon :

$$\Re(\underline{V}_S \cdot e^{j\omega t} (1 + R_1 C_1 j\omega)) = \Re(\underline{V}_E \cdot e^{j\omega t})$$

Cette égalité des parties réelles sera vérifiée si les complexes correspondants sont égaux :

$$\underline{V}_S \cdot e^{j\omega t} \cdot (1 + R_1 C_1 j\omega) = \underline{V}_E \cdot e^{j\omega t}$$

et comme $e^{j\omega t}$ est toujours différent de 0, l'égalité peut être ramenée à :

$$\underline{V}_S \cdot (1 + R_1 C_1 j\omega) = \underline{V}_E$$

On peut donc obtenir l'amplitude complexe (amplitude et phase de la sinusoïde) du signal de sortie, à partir de celle du signal d'entrée en multipliant cette dernière par la grandeur :

$$T(j\omega) = \frac{1}{1 + R_1 C_1 j\omega}$$

qui est appelée *transmittance complexe* ou *réponse en fréquence* du circuit (c'est cette grandeur que l'on représente dans les diagrammes de Bode, avec des échelles logarithmiques).

$$\underline{V}_S = T(j\omega) \cdot \underline{V}_E$$

Solution Cette équation complexe est vraie pour le module et pour l'argument :

$$\text{Module } S = |T(j\omega)| \cdot E = \left| \frac{1}{1 + R_1 C_1 j\omega} \right| \cdot E = \frac{1}{\sqrt{1 + (R_1 C_1 \omega)^2}} \cdot E$$

$$\text{Argument } \varphi_s = \arg(T(j\omega)) + \varphi_e = \varphi_e - \arctan(R_1 C_1 \omega)$$

En conclusion Si on place un signal d'entrée sinusoïdal en entrée du circuit RC de la figure 3.2 :

$$V_e(t) = E \cdot \cos(\omega t + \varphi_e)$$

Alors l'évolution temporelle de la tension V_s est :

$$V_s(t) = \frac{1}{\sqrt{1 + (R_1 C_1 \omega)^2}} \cdot E \cdot \cos(\omega t + \varphi_e - \arctan(R_1 C_1 \omega))$$

Pour les fréquences basses, c'est à dire telles que $\omega \ll \frac{1}{R_1 C_1}$ l'amplitude de cette tension est très proche de l'amplitude E de la tension d'entrée et sa phase n'est pas modifiée, l'allure des 2 signaux est donnée figure 3.3

Pour les fréquences plus élevées, c'est à dire telles que $\omega \gg \frac{1}{R_1 C_1}$, l'amplitude est réduite et un retard apparaît entre la tension d'entrée et la tension de sortie, c'est ce que l'on observe sur la figure 3.3.

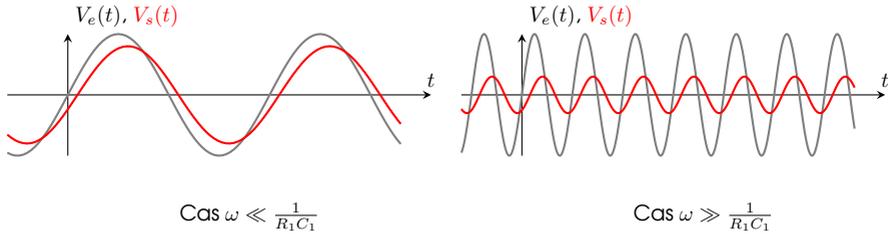


FIGURE 3.3 – Allure de l'évolution de la tension de sortie, selon la fréquence du signal sinusoïdal d'entrée

Q7 Déterminer la réponse en fréquence d'un circuit CR

Q8 Comparer ces modèles théoriques à l'allure des mesures réalisées précédemment.