

# Electronique

## TP n°5 : filtrage du second ordre

Auteur(s) : MD  
Date : 2023 -24

### Ce que vous allez apprendre dans ce TP

1. Mettre et caractériser les différents régimes d'un filtre RLC.
2. Déterminer la structure d'un filtre du second ordre à partir d'un cahier des charges.
3. Consolider votre maîtrise des diagrammes de Bode et de la FFT.

Pour chaque Jalon, vous devrez faire valider votre réponse en démontrant le bon fonctionnement de la manipulation, mais aussi en expliquant clairement votre réponse par écrit.

---

### PARTIE A – PREPARATION (3 PTS)

A-1. Rappelez le schéma de câblage d'un filtre RLC, l'expression de sa pulsation caractéristique  $\omega_0$  et celle du coefficient d'amortissement ( $m$ ).

A-2. Définissez le régime amorti de Butterworth et reliez la valeur de la pulsation de coupure fréquence de coupure à -3 dB ( $\omega_c$ ) à la pulsation caractéristique du filtre ( $\omega_0$ ).

A-3. Définissez le régime résonant.

Quand  $m \ll 1$

- reliez la pulsation de résonance ( $\omega_r$ ) à  $\omega_0$
- indiquez la relation entre l'amplification à la résonance  $H(\omega = \omega_r)$  et  $m$ .

On rappelle la décomposition en série de Fourier du signal triangulaire d'amplitude

$$v(t) = \frac{8.A}{\pi^2} \cdot \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{\cos((2.n+1).\omega.t)}{(2.n+1)^2}$$

A-4. Représentez le spectre d'un signal triangulaire d'amplitude 2 V et de fréquence 250 Hz. Précisez la valeur des 5 premiers harmoniques de ce signal.

---

**PARTIE B – MISE EN PLACE ET CARACTERISATION D'UN FILTRE RLC (10 PTS)****B-1. Montage RLC en régime de Butterworth**

Commencez par identifier le boîtier contenant l'inductance.

|           |   |
|-----------|---|
| <b>J1</b> | <b>Observez le boîtier contenant l'inductance et relevez la valeur de <math>L</math> ainsi que de la résistance série parasite <math>R_p</math> de ce composant.</b><br><b>Dessinez le schéma équivalent de ce boîtier.</b> |
|           |   |

Considérant que le schéma équivalent de la bobine avec une résistance réaliser un montage RLC dans lequel  $R=10\text{ k}\Omega$  et  $C=22\text{ nF}$ .

|           |   |
|-----------|---|
| <b>J2</b> | <b>Caractérisez (expérimentalement) le type de filtre et la fréquence de coupure à -3 dB (<math>f_c</math>) de ce filtre.</b><br><b>Indiquez la valeur théorique du coefficient d'amortissement et vérifiez expérimentalement que le régime de ce filtre est cohérent avec cette valeur.</b><br><b>Comparez la valeur théorique et la valeur expérimentale de <math>f_c</math>.</b> |
|           |   |

|    |   |
|----|---|
| J3 | <p>Relevez le diagramme de Bode (échelle log de fréquence) de ce filtre (gain et phase) en prenant au minimum 10 valeurs dans l'intervalle <math>\left[\frac{f_c}{20}; f_c\right]</math> et 10 valeurs dans l'intervalle <math>[f_c; f_c \times 20]</math>.</p> <p>Quelle est la raideur de ce filtre ?</p> |
|    |   |

## B-2. Montage RLC en régime de résonant

Mettez en place un montage RLC dans lequel  $L = 1 \text{ H}$ ,  $R = R_p$  (résistance parasite du boîtier d'inductance) et  $C = 100 \text{ nF}$ .

|    |   |
|----|---|
| J4 | <p>Dessinez le schéma équivalent de ce montage.</p> <p>Relevez le diagramme de Bode (échelle log de fréquence) de ce filtre (gain et phase) en prenant au minimum 10 valeurs dans l'intervalle <math>\left[\frac{f_c}{10}; f_c\right]</math> et 10 valeurs dans l'intervalle <math>[f_c; f_c \times 10]</math>.</p> |
|    |   |

|           |  |
|-----------|--|
| <b>J5</b> | <b>Estimez expérimentalement la valeur de la pulsation caractéristique et du coefficient d'amortissement de ce filtre. Détaillez les méthodes d'évaluation.</b><br><b>Comparez ces valeurs aux valeurs théoriques.</b><br><b>Conclure.</b> |
|           |  |

---

## **PARTIE C – MISE EN PLACE D'UN FILTRE DU SECOND ORDRE REpondant A UN CAHIER DES CHARGES (7 PTS)**

### **C-1. Détermination du gabarit d'un filtre à partir d'un cahier des charges**

On souhaite filtrer la composante fondamentale d'un signal triangulaire d'amplitude 2 V.

|   |  |     |     |      |      |      |      |
|---|--|-----|-----|------|------|------|------|
| J6                                      | <b>Générez un signal triangulaire de fréquence 250 Hz d’amplitude 2 V (sans offset).</b> |     |     |      |      |      |      |
|   | <b>Mesurez l’amplitude des raies en linéaire (remplir le tableau ci-dessous).</b>        |     |     |      |      |      |      |
|   | <b>Comparez vos résultats aux valeurs théoriques.</b>                                    |     |     |      |      |      |      |
|   |  |     |     |      |      |      |      |
| Harmoniques du signal triangulaire (Hz) | 250  | 500 | 750 | 1000 | 1250 | 1500 | 1750 |
| Amplitudes mesurées (V)                 |  |     |     |      |      |      |      |
| Amplitudes théoriques (Veff)            |  |     |     |      |      |      |      |

Pour filtrer la composante à 250 Hz, on souhaite mettre en place un filtre pour lequel

- aucune composante du signal ne doit être amplifiée ;
- la composante fondamentale ne doit pas être atténuée de plus de 1 dB ;

- les harmoniques doivent être atténuées d'au moins 13 dB.

|           |   |
|-----------|---|
| <b>J7</b> | <b>Représentez le gabarit d'un filtre répondant au cahier des charges.</b><br><b>Quels doivent être son type et son ordre minimum ?</b> |
|           |   |

## C-2. Détermination du circuit adapté au gabarit

Pour déterminer un circuit adapté au gabarit précédent, nous allons utiliser l'outil fourni par la compagnie « AnalogDevice » à l'adresse <http://www.analog.com/designtools/en/filterwizard/>.

Rendez vous à l'adresse indiquée puis

- renseignez le type de filtre ;
- dans « specifications », renseignez les caractéristiques du filtre (ne pas toucher au curseur « filterresponse ») ;
- vérifiez que le filtre défini est en adéquation avec votre gabarit ;
- dans « component selection », renseignez les tensions d'alimentations ( $\pm 15$  V)
- en cliquant sur « I want to choose », puis « Stage », choisissez l'AD711 (qui est la version AnalogDevices du TL081) ; Vous pouvez aussi changer les valeurs des éléments du filtres pour les adapter à celles que vous avez à disposition au magasin, en faisant glisser le curseur sous « Component Sizing ».
- en changeant la valeur du menu déroulant « view », vous pourrez accéder au gain, à la phase, au circuit...
- en cliquant sur « Component Tolérance », vous pourrez renseigner les tolérances de vos composants et observer les effets sur le comportement du filtre.

|    |  |
|----|--|
| J8 | <p><b>Déterminez un circuit adapté à sa réalisation sur la maquette verte (en utilisant les composants disponibles sur votre maquette).</b></p> <p><b>Visualisez le diagramme de Bode (gain et phase) théorique.</b></p> <p><b>Visualisez la dépendance de ces diagrammes aux tolérances des éléments passifs.</b></p> |
|    |  |

### **C-3. Mise en place du circuit et vérification du filtre en place**

Choisissez parmi les composants disponibles sur la maquette ceux ayant les valeurs les plus proches de celles préconisées par l'outil précédent. Il est conseillé de ne pas prendre des valeurs de condensateur ou résistance trop basses !

|    |  |
|----|--|
| J9 | <p><b>Mettez en place le filtre sur la maquette verte.</b></p> <p><b>Vérifiez la nature du filtre et déterminez expérimentalement sa fréquence de coupure à -3 dB.</b></p> <p><b>Utilisez ce filtre pour extraire la composante fondamentale et tracez la FFT du signal filtré. Discutez ce résultat</b></p> |
|    |  |

|            |   |
|------------|---|
| <b>J10</b> | <b>En utilisant un haut-parleur, testez l'effet sonore de ce filtre sur un signal audible issu du GBF. Discutez l'effet sonore.</b> |
|            |   |