

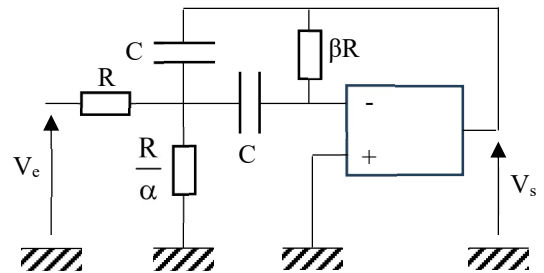
Etude d'un filtre actif - analyse de spectre

– TP 2a (2h) –

I- Montage.

- On s'intéresse au montage ci-contre, réalisant un filtre actif appelé filtre de Rauch.
- Le calcul de la fonction de transfert du montage conduit à l'expression :

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + jQ \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)}$$



où la fréquence centrale f_0 et le facteur de qualité Q s'expriment en fonction de R , C , α et β de la façon suivante :

$$H_0 = -\frac{\beta}{2} \quad f_0 = \sqrt{\frac{\alpha+1}{\beta}} \cdot \frac{1}{2\pi RC} \quad Q = \frac{1}{2} \sqrt{\beta(\alpha+1)}$$

- Quelle est la nature du filtre ? Comment s'exprime la largeur Δf de la bande passante de ce filtre ? Son gain maximum $G_{\max}$?

II- Réalisation du filtre et mesure de ses caractéristiques.

- Réaliser le montage sur plaquette, avec : $R = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ nF}$ ou $R = 47 \text{ k}\Omega$, $C = 22 \text{ nF}$; les résistances « R/α » et « βR » seront réalisées avec des composants enfichables sur plaquette permettant d'obtenir des valeurs de α et β respectivement proches de 100 et de 2 ; on utilisera des câbles coaxiaux. **Faire constater.**
 - Quelle est l'incertitude sur chacune des valeurs des composants ?
- Alimenter par un signal sinusoïdal et observer les tensions d'entrée et de sortie à l'oscilloscope.
 - Quelle amplitude avez-vous choisie pour la tension d'entrée ? Justifier.
 - Comment vérifier rapidement la nature du filtre ?
- Mesurer, *en expliquant la méthode utilisée et en précisant les incertitudes* :
 - La fréquence centrale f_0 du filtre.
 - Les fréquences de coupure et la largeur de la bande passante.
 - Le gain maximum $|H_0|$.
 - Le facteur de qualité Q .

Utiliser le tableau synoptique des incertitudes et compléter l'exemple n°4.

- Comparer à la théorie.

Rendre compte oralement.

III- Variabilité des paramètres.

- On suppose maintenant que l'on peut faire varier les résistances « R/α » et « βR ». L'intérêt d'un tel filtre est alors de pouvoir faire varier *indépendamment* la fréquence centrale et la largeur de la bande passante grâce à ces deux résistances variables.

- Justifier cette affirmation à partir de l'expression de la fonction de transfert.
- En choisissant un composant enfichable pour « βR » et en utilisant une boîte de résistance variable pour « R/α », réaliser un filtre de fréquence centrale f_0 *exactement* égale à 1 kHz, avec une largeur de bande passante Δf *de l'ordre de* 150 Hz.
- Mesurer la valeur de H_0 .
- Comment évoluent les paramètres f_0 , H_0 et Δf lorsqu'on modifie α en conservant β constant ?

Rendre compte oralement.

IV- Utilisation du filtre.

- La résistance « R/α » étant toujours réalisée avec une boîte de résistance variable, et la valeur de α ajustée pour obtenir $f_0 = 1$ kHz, alimenter le montage par un signal en créneaux de fréquence également 1 kHz.
 - Qu'observe-t-on ? Interpréter qualitativement à partir de la notion de décomposition de Fourier.
 - Mesurer l'amplitude du signal de sortie et interpréter quantitativement sachant que le développement de Fourier d'un signal en créneaux d'amplitude E s'écrit :

$$V(t) = \frac{4E}{\pi} \sum_{p=0}^{\infty} \frac{\sin((2p+1)\omega t)}{2p+1}$$

- Modifier progressivement α de façon à augmenter f_0 .
 - Mesurer la fréquence et l'amplitude du signal de sortie chaque fois qu'un signal quasi-sinusoïdal apparaît (on se limitera à trois occurrences).
 - Interpréter qualitativement puis quantitativement ces apparitions.
 - Comment s'appelle une telle utilisation d'un filtre passe-bande sélectif ?

Rendre compte oralement.

- *S'il reste du temps* : Reprendre l'étude avec un signal triangulaire et constater la décroissance plus rapide de l'amplitude des harmoniques. Décomposition de Fourier :

$$V(t) = \frac{8E}{\pi^2} \sum_{p=0}^{\infty} (-1)^p \frac{\sin((2p+1)\omega t)}{(2p+1)^2}$$

— TP 2b (2h) —

Etude fréquentielle – diagrammes de Bode.

- Tracer, à la main sur papier « semi log », les diagrammes de Bode du gain et de la phase de ce filtre, en veillant à choisir judicieusement les points de mesure afin de pouvoir faire convenablement l'exploitation (voir plus bas).
- Exploitation du diagramme du gain :
 - Mettre en évidence sur la courbe obtenue les droites asymptotes du diagramme et mesurer leur pente ainsi que leur ordonnée à la fréquence centrale du filtre. Comparer les pentes obtenues à la théorie.
 - Dédire des droites asymptotes la valeur du facteur de qualité Q du filtre. Comparer à la valeur obtenue plus haut et à la théorie.
 - Vérifier la valeur de la bande passante à partir du diagramme, en expliquant votre démarche.

Annexe : Méthodologie pour les diagrammes de Bode

- * Sauf indication particulière, le diagramme doit être tracé sur la **plage de fréquence la plus large possible** ; cette plage est limitée par la qualité des mesures en dehors de la bande passante : si le gain est très faible, l'amplitude du signal de sortie v_s est très faible, donc très bruitée, et sa mesure devient très incertaine.
 - * Pour maximiser la plage des mesures possibles et la précision des mesures, **l'amplitude du signal d'entrée v_e doit être choisie la plus grande possible**. Toutefois, si le quadripôle étudié contient un amplificateur de type A.L.I. et que des saturations ou des distorsions non linéaires du signal de sortie v_s apparaissent, il faudra abaisser l'amplitude de v_e jusqu'à disparition totale des non linéarités.
 - * Les fréquences des mesures doivent être choisies afin d'obtenir des **points régulièrement répartis** tout le long des diagrammes. Cela peut correspondre à des intervalles réguliers de $\log f$ (20, 50, 100, 200, 500, 1000...) si les variations de G_{dB} et Φ sont lentes (asymptotes des diagrammes ou bande passante d'un filtre peu sélectif) mais il faut parfois resserrer les mesures en fréquence et répartir régulièrement les points en ordonnées si les variations de G_{dB} et Φ sont rapides (bande passante d'un filtre sélectif).
-
- * Les **mesures de gain** doivent être effectuées, de préférence, au **multimètre numérique** (on mesure alors successivement les **valeurs efficaces** de v_e et v_s) ou, à défaut, à l'aide de la fonction de mesure rapide de l'oscilloscope ; si on ne dispose que d'un oscilloscope analogique, on devra effectuer une mesure directe des amplitudes des signaux d'entrée et de sortie sur l'écran de l'oscilloscope. Dans tous les cas, il est impératif de **visualiser les signaux à l'oscilloscope** pour vérifier qu'ils ne sont pas trop bruités et qu'ils sont bien linéaires !
 - ❖ **Le multimètre se comporte lui-même comme un filtre** : c'est un **passe-bas** dont la fréquence de coupure est de l'ordre de **100 kHz** (voir notice) ; si l'on arrive à des fréquences de cet ordre, il faut se fier aux mesures rapides de l'oscilloscope, dont la bande passante est de l'ordre du MHz.
 - * Les **mesures de fréquence f** sont effectuées par **simple lecture sur le générateur** si celui-ci possède un affichage numérique de précision, ou à l'aide du multimètre utilisé pour mesurer le gain si celui-ci possède un fréquencemètre intégré. A défaut, on utilise la fonction de mesure rapide de l'oscilloscope ou, si on ne dispose que d'un oscilloscope analogique, on mesure directement la période T du signal sur l'écran de l'oscilloscope puis on calcule $f = 1/T$. Il faut choisir le signal le moins bruité pour effectuer cette mesure.
 - * Les **mesures de déphasage $\delta\phi$** (si elles sont demandées) peuvent éventuellement être effectuées à l'aide de la fonction de mesure rapide de l'oscilloscope si celui-ci est numérique et si le résultat affiché est stable (en prenant soin de contrôler le signe affiché). Toutefois, il est souvent plus précis d'effectuer une **mesure directe du décalage temporel τ** entre les signaux sur l'écran de l'oscilloscope, puis de convertir ce décalage en déphasage ($\delta\phi = 2\pi \times \tau/T$) ; il faut ajuster la sensibilité verticale et horizontale pour obtenir la mesure la plus précise ; attention, si on mesure le décalage temporel des signaux lors de leurs passages par zéro, il faut s'assurer de leur **bon centrage vertical** : on peut par sécurité utiliser l'oscilloscope en mode AC. Dans tous les cas, il est impératif de vérifier directement le **signe du déphasage** en déterminant si le signal de sortie est en avance ($\delta\phi > 0$) ou en retard ($\delta\phi < 0$) sur le signal d'entrée.
-
- * Toujours commencer par effectuer un **balayage fréquentiel rapide** (observer rapidement le signal de sortie sur toute la gamme des fréquences) afin de prévoir les valeurs extrêmes des fréquences et des gains qui figureront sur le diagramme, ainsi que l'acuité de l'éventuelle résonance ; cela fixe les échelles qui devront être utilisées si l'on effectue un tracé du diagramme « à la main », sur papier semi-logarithmique.
 - * Débuter ensuite la prise des mesures **en commençant à l'intérieur de la bande passante**. Dans le cas où le filtre est un passe-bande ou un réjecteur de bande, il faut effectuer la première mesure à la

fréquence centrale f_0 du filtre, qui sera déterminée avec précision en exploitant la valeur spécifique du déphasage à f_0 .

- * Par soucis d'efficacité, si l'on doit tracer à la fois le diagramme du gain et celui de la phase, les mesures de phase doivent être menées **en parallèle** des mesures de tension et surtout pas dans un second temps.
- * Afin de contrôler en temps réel la qualité des diagrammes et de corriger à temps d'éventuels problèmes, il faut impérativement **tracer ces diagrammes au fur et à mesure de la prise des points**, et non a posteriori.

Etude d'un filtre actif - analyse de spectre

Matériel:

- 1 oscilloscope (relié à synchronie)
- 1 GBF
- ALI TL081 + alimentation
- $R = 100\text{ k}\Omega$ et $R = 47\text{ k}\Omega$,
- $C = 10\text{ nF}$ et $C = 22\text{ nF}$
- 2 boîtes décades de résistance
- Papier semi-log