

TP n°11 : évaluation de TP n°2 : filtres du 2nd ordre.

→ But du TP : ce onzième TP de BTS SE a pour but le contrôle des connaissances sur les filtres du second ordre. Les moyens utilisés sont :

- une étude expérimentale qui permettra d'utiliser une maquette de filtre universel comme filtre passe-bande pour isoler une composante d'un signal carré.
- une étude théorique sur les filtres passe-bas du premier ordre.

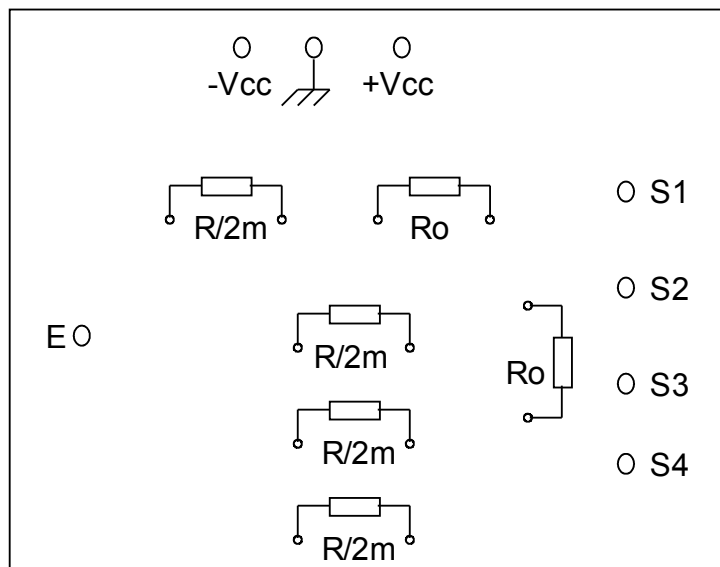
Partie expérimentale.

On désire extraire le fondamental d'un signal carré de fréquence f_1 pour obtenir un signal sinusoïdal de même fréquence f_1 . On rappelle qu'un signal $e(t)$ carré impair symétrique, évoluant entre $+E$ et $-E$, de fréquence f_0 , peut se mettre sous la forme :

$$e(t) = \hat{E}_1 \sin(\omega_1 \cdot t) + \hat{E}_3 \sin(3 \cdot \omega_1 \cdot t) + \hat{E}_5 \sin(5 \cdot \omega_1 \cdot t) + \dots \text{ avec : } \hat{E}_n = \frac{4 \cdot E}{n \cdot \pi} \text{ pour } n=1, 3, 5, \dots$$

Le signal carré $e(t)$ sera généré par un GBF.

On cherchera à isoler le fondamental du signal carré grâce à un filtre sélectif.



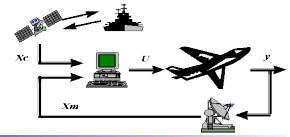
On utilisera à cet effet la maquette « filtre universel » qui se présente sous la forme :

R et C_0 ont des valeurs fixes respectivement égales à $22 \text{ k}\Omega$ et 10 nF .

R_0 et $R/2m$ sont des résistances pouvant être modifiées. Elles seront enfichées sur la plaquette conformément à la disposition donnée ci-contre.

Une étude en régime sinusoïdal permet d'affirmer que :

- S1 est la sortie du filtre passe-haut
- S2 est la sortie du filtre passe-bande
- S3 est la sortie du filtre passe-bas
- S4 est la sortie du filtre réjecteur de bande



On s'intéresse uniquement à l'entrée E et à la sortie S2.

L'évaluation comprend trois parties :

- génération du signal carré $e(t)$ et comparaison entre son spectre théorique et le spectre obtenu à l'aide de la fonction FFT de l'oscilloscope Agilent.
- tracé de la fonction de transfert du filtre entre E et S2 à l'aide d'une simulation du logiciel LTSPICE et validation de ce tracé par la mesure directe de quelques points du diagramme de Bode.
- obtention d'un signal sinusoïdal en sortie de filtre et mesure du taux de distorsion de ce signal.

★ Première partie : étude du signal carré $e(t)$:

On considère un signal carré $e(t)$ variant entre +2 V et -2 V et de fréquence $f_1 = 1\text{kHz}$.

Générer ce signal $e(t)$ avec le GBF et obtenir le tracé de son spectre à l'aide de la fonction FFT de l'oscilloscope Agilent. On imprimera le signal $e(t)$ et son spectre sur le compte-rendu.

On réglera les paramètres de l'oscilloscope de manière à obtenir les harmoniques de $e(t)$ jusqu'à $n=9$ inclus. On indiquera dans le compte-rendu les paramètres choisis.

Compléter le tableau ci-dessous avec les mesures de l'oscilloscope en dBV, puis en valeur efficace.

| f | f_1 | $3.f_1$ | $5.f_1$ | $7.f_1$ | $9.f_1$ |
|----------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|
| H_{dBv} de $e(t)$ | | | | | |
| H_v de $e(t)$ | | | | | |

Rappeler la formule qui lie H_{dBv} (lecture directe à l'oscilloscope) à H_v (valeur efficace de la raie correspondante)

On a indiqué ci-dessous la valeur théorique des amplitudes des différentes composantes de $e(t)$:

| f | f_1 | $3.f_1$ | $5.f_1$ | $7.f_1$ | $9.f_1$ |
|-------------|-------|---------|---------|---------|---------|
| \hat{E}_n | 2,54 | 0,85 | 0,51 | 0,36 | 0,28 |
| E_n | | | | | |

Compléter la dernière ligne du tableau théorique en rappelant la formule liant la valeur efficace et l'amplitude des différentes composantes : $E_n = \hat{E}_n \dots$

Comparer les dernières lignes des deux tableaux.

★ Deuxième partie : étude du filtre passe-bande : le filtre entre E et S2 est un filtre passe-bande dont l'étude théorique donne les résultats suivants :

→ fréquence centrale : $f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot C_0}$

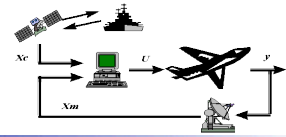
→ amplification à la fréquence centrale : $T(f_0) = - \frac{1}{2 \cdot m}$

→ bande passante : $\Delta f = \text{BP} = 2 \cdot m \cdot f_0$

On rappelle que : $R = 22 \text{ k}\Omega$ et $C_0 = 10 \text{ nF}$ et on prendra ici : $R_0 = 10 \text{ k}\Omega$ et $R/2 \cdot m = 22 \text{ k}\Omega$.

Placer les résistances R_0 et $R/2 \cdot m$ sur la maquette du filtre.

Calculer les valeurs théoriques de f_0 , m , $T(f_0)$ et Δf .



A l'aide du logiciel LTSPICE et en ouvrant le fichier « filtreEval2.asc » présent dans le répertoire de votre classe, indiquer ce qu'il faut ajouter à ce fichier pour pouvoir tracer le diagramme de Bode de ce filtre entre 10 Hz et 100 kHz.

Effectuer cette simulation et imprimer dans votre compte-rendu :

- une copie de la fenêtre dans laquelle vous avez effectué le schéma du montage.
- le diagramme de Bode de gain.

Faire apparaître sur le diagramme simulé les grandeurs f_0 et Δf .

Sur la maquette réelle, mesurer la fréquence centrale du filtre f_0 en indiquant votre manière de procéder.

Mesurer l'amplification pour $f = f_0$, $f = 600$ Hz et $f = 4$ kHz.

On indiquera la manière de procéder, en particulier quel signal on place à l'entrée et quelles mesures on récupère.

Calculer le gain pour ces trois fréquences et placer les trois obtenus sur le diagramme de simulation pour le valider.

★ Troisième partie : obtention du signal de sortie sinusoïdal :

Appliquer à l'entrée du filtre, par l'intermédiaire du GBF, un signal carré d'amplitude 2 V et de fréquence f_1 égale à la fréquence centrale du filtre précédemment mesurée.

Avec un oscilloscope, visualiser les signaux présents en entrée et en sortie du filtre.

Imprimer les oscillogrammes.

Visualiser le spectre du signal de sortie $s_2(t)$. Donner la hauteur des raies jusqu'à l'harmonique 9 et en déduire la valeur du taux de distorsion harmonique du signal de sortie :

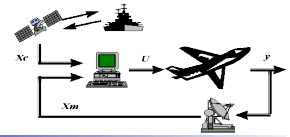
| f | f_1 | $3.f_1$ | $5.f_1$ | $7.f_1$ | $9.f_1$ |
|-----------------------|-------|---------|---------|---------|---------|
| H_{dbV} de $s_2(t)$ | | | | | |
| H_V de $s_2(t)$ | | | | | |

On rappelle que le taux de distorsion harmonique mesure l'écart entre un signal et son fondamental :

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} S_{2n}^2}{S_{21}^2}} = \sqrt{\frac{\sum \text{Valeur eff harmoniques}^2}{\text{Valeur eff fondamentale}^2}} \text{ en \%}$$

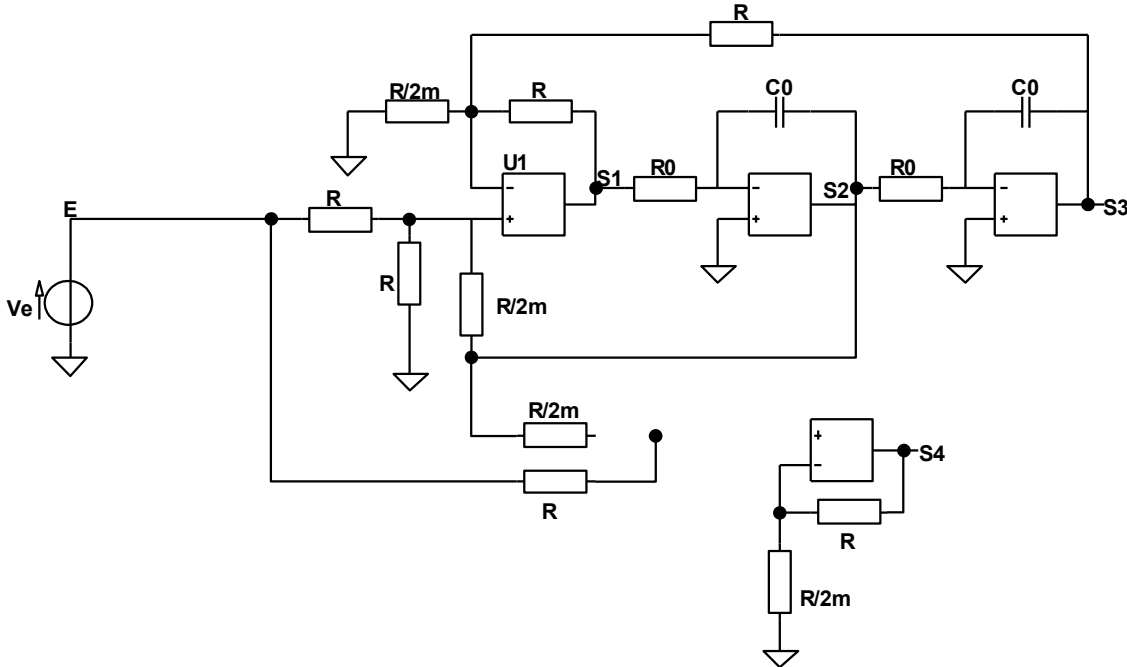
Ce chiffre vous paraît-il suffisant pour considérer que $s_2(t)$ est un signal sinusoïdal ?

Si non, quel paramètre pourrait-on modifier pour rendre le filtre plus sélectif ?



Partie théorique.

La maquette utilisée dans la partie expérimentale, présente l'intérêt de posséder les 4 types différents de filtres.



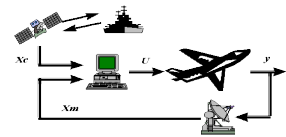
On note v_e, v_1, v_2, v_3, v_4 les tensions respectivement présentes aux bornes E, S1, S2, S3, S4. Les fonctions de transfert correspondantes sont données dans le tableau suivant avec $\omega_0 = \frac{1}{R_0 \cdot C_0}$:

| | | | |
|--|---|--|---|
| $T_1 = \frac{-\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 + 2 \cdot m \cdot j \cdot \frac{\omega}{\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$ | $T_2 = \frac{-j \cdot \frac{\omega}{\omega_0}}{1 + 2 \cdot m \cdot j \cdot \frac{\omega}{\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$ | $T_3 = \frac{1}{1 + 2 \cdot m \cdot j \cdot \frac{\omega}{\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$ | $T_4 = \frac{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 + 2 \cdot m \cdot j \cdot \frac{\omega}{\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$ |
|--|---|--|---|

1) Préciser le type de filtre correspondant à chaque fonction de transfert en remplissant le tableau ci-dessous :

| | T_1 | T_2 | T_3 | T_4 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $\omega \rightarrow 0$ | | | | |
| $\omega \rightarrow \infty$ | | | | |
| $\omega = \omega_0$ | | | | |

Comment nomme-t-on les deux grandeurs caractéristiques m et ω_0 ?



2) On considère dans ce paragraphe un filtre passe-bas du 2nd ordre de fonction de transfert complexe :

$$T = \frac{T_0}{1 + 2 \cdot m \cdot j \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

a) Compléter le QCM suivant concernant la fonction de transfert relative à ce filtre passe-bas.
(1 point par réponse juste et (-0,5) point par réponse fausse, 0 point pour absence de réponse)

| Affirmations | Vrai | Faux |
|--|--------------------------|--------------------------|
| La pulsation ω_0 est aussi la pulsation de coupure du filtre. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Le diagramme de Bode présente deux asymptotes qui se croisent à ω_0 . | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| L'asymptote a une pente de -6dB/octave après la cassure. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| La courbe de gain présente une résonance pour $m > 1$. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Le gain pour ω_0 est égal à -6dB lorsque $m = 1$. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| La valeur de m la plus utilisée est $m = 0,707$ -la coupure est alors ω_0 . | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| On peut toujours décomposer le filtre en deux filtres en cascade du premier ordre. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| La courbe de gain se situe au-dessus de ses asymptotes si $m < \frac{\sqrt{2}}{2}$ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| La valeur de l'argument pour ω_0 est indépendant de m et est égale à $-\frac{\pi}{2}$ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

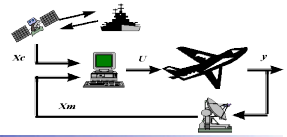
b) Une simulation du filtre passe-bas a donné le diagramme de Bode de la page suivante. On se propose de déterminer les caractéristiques du filtre d'après les résultats graphiques.

Tracer les asymptotes relatives à la courbes de gain en précisant votre méthode (que tracez-vous , comment obtenez-vous les paramètres du tracé, ...).

Déterminer en particulier la pente et un point (à indiquer) de l'asymptote du gain en haute fréquence.

Le diagramme asymptotique dépend-il de la valeur de m ?

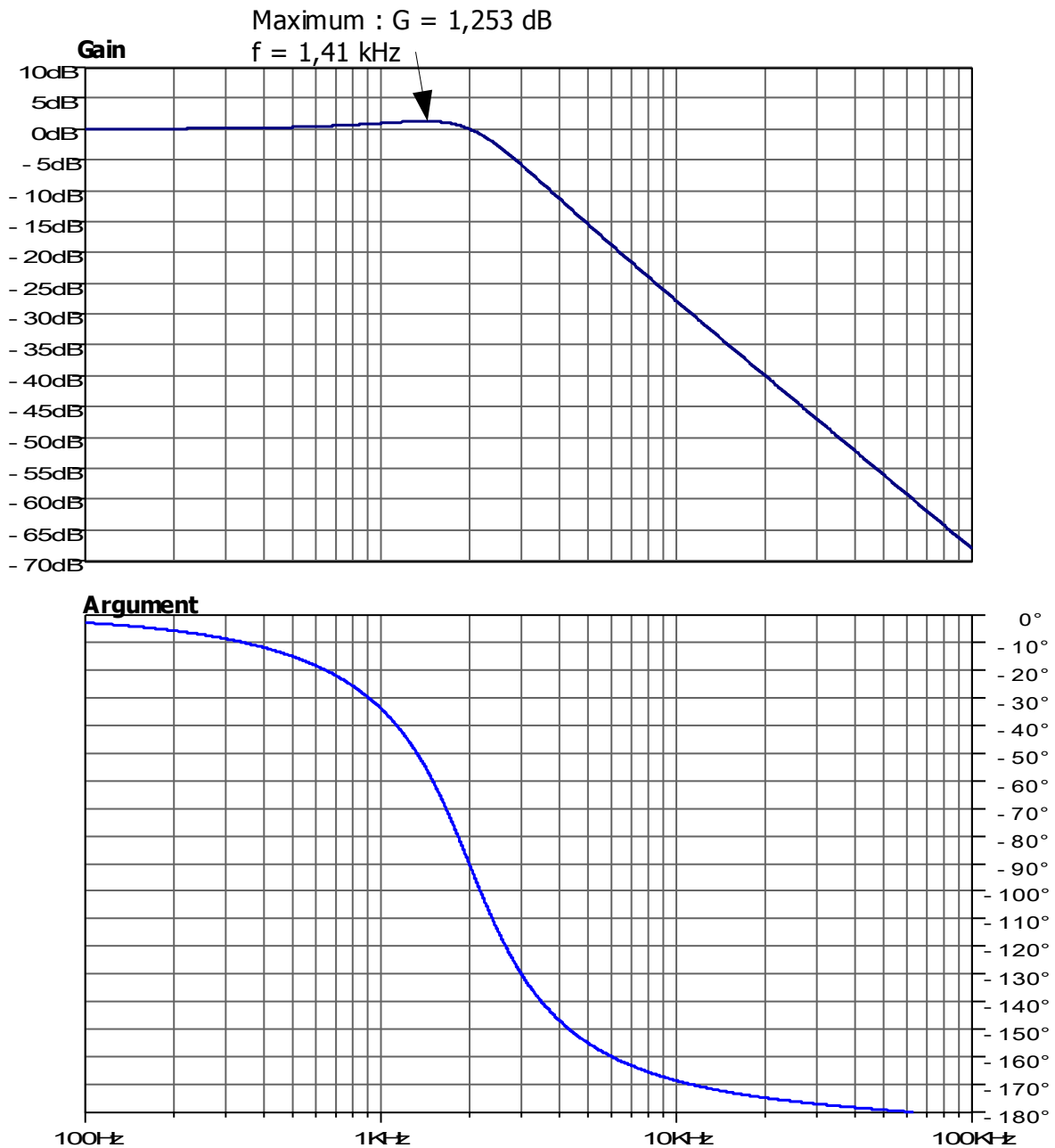
En déduire la valeur de la fréquence particulière f_0 . Comment peut-on vérifier ce résultat sur la courbe d'argument ?

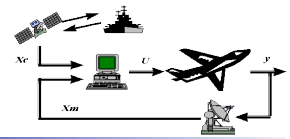


La courbe de gain présente un maximum. L'étude théorique prévoit que le maximum est de $G_r = -20 \log(2m\sqrt{1-m^2})$ à la fréquence $f_r = f_0\sqrt{1-2m^2}$.

- A partir de la valeur mesurée de f_r , déterminer la valeur de m .

-Valider alors la valeur simulée de G_r .





Sachant que $R_0 = 1,8 \text{ k}\Omega$ et $R = 22 \text{ k}\Omega$, calculer les valeurs de la résistance de valeur $\frac{R}{2m}$ et de la capacité C_0 . (On rappelle que $f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot C_0}$)

En calculant le gain théorique pour f_0 , valider le résultat obtenu par la simulation.

c) On considère maintenant un signal $v_e(t)$ à l'entrée du filtre, constitué de deux composantes sinusoïdales de fréquence respective $f_1=2\text{kHz}$ et $f_2=20\text{kHz}$.

Ce signal peut s'écrire $v_e(t) = 1,5 \cos(2\pi \cdot f_1 \cdot t) + 3 \cos(2\pi \cdot f_2 \cdot t)$

Déterminer l'expression du signal $v_s(t)$ à l'aide du diagramme de Bode de la page 6. On donnera la démarche utilisée et les valeurs numériques intermédiaires permettant de justifier l'expression obtenue.

Une simulation a permis d'obtenir les deux spectres page suivante. Comparer ces résultats de simulation avec votre expression précédente en remplissant le tableau récapitulatif. Conclure.

| | Signaux | f1 | f2 |
|--------------|--|-----------|-----------|
| ve(t) | amplitudes | 1,5V | 3V |
| | amplitudes obtenues à partir du spectre | | |
| vs(t) | amplitudes déduites de la courbe de gain | | |
| | amplitudes obtenues à partir du spectre | | |

Les spectres sont des spectres de niveau en dBV. On rappelle que $N_{dBV} = 20 \log(V_{eff})$

