

DM N°1 – REVISIONS D'ELECTRICITE - FILTRES

PROBLEME N°1 : OSCILLOSCOPE ET CIRCUIT RC

PARTIE 1 : ETUDE PRELIMINAIRE DU « FILTRE » RC SERIE

On alimente un circuit RC série (représenté ci-contre fig. 1) à l'aide d'un générateur de tension (GBF) de résistance interne $R_g = 50 \Omega$.

On se place en **régime sinusoïdal** de pulsation ω réglable, le GBF ayant une force électromotrice $e(t) = E \cos(\omega t)$, telle que $E_{eff} = 6 \text{ V}$.

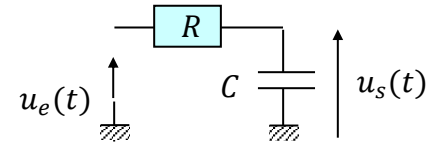


Figure 1

Données : $R = 4,7 \text{ k}\Omega$ et $C = 22 \text{ nF}$.

- 1) Lorsque le générateur étudié ci-dessus alimente l'association RC série en régime sinusoïdal :
 - a) A quoi correspond son impédance de charge (l'impédance de charge d'un générateur correspond à l'impédance du dipôle qu'il alimente) ?
 - b) Quelle sera, en module, l'impédance de charge minimale ?
 - c) A quelle condition (qualitative) pourra-t-on considérer le générateur comme idéal ?

On supposera cette condition remplie dans la suite, et on étudiera donc le circuit de la figure 1 avec $R = 4,7 \text{ k}\Omega$ et $C = 22 \text{ nF}$, alimenté par une source de tension idéale délivrant $e(t) = E \cos(\omega t)$.

- 2) À partir d'un raisonnement **qualitatif**, prévoir la valeur de la tension de sortie $u_s(t)$ (4 lignes au maximum) selon les valeurs de la fréquence de la tension d'entrée $u_e(t) = e(t)$ (hautes et basses fréquences). Quelle est la nature du filtre ainsi réalisé ?
- 3) Déterminer la fonction de transfert en notation complexe $\underline{H} = \frac{u_s(t)}{u_e(t)}$ de ce filtre « RC série », et mettre le résultat sous sa forme canonique. Exprimer les grandeurs caractéristiques en fonction de R et C .
- 4) On note $\underline{H} = |\underline{H}| \exp(j\psi)$ où $|\underline{H}|$ et ψ désignent respectivement le module et l'argument de \underline{H} .
 - a) Quelle est la signification physique de $|\underline{H}|$ et de ψ ?
 - b) Définir la notion de fréquence de coupure à -3 dB d'un filtre, en justifiant l'appellation -3 dB .
 - c) Déterminer l'expression de la fréquence de coupure f_c de ce filtre, et effectuer l'application numérique.
- 5) On souhaite étudier expérimentalement un tel filtre en utilisant un oscilloscope (que l'on supposera dans cette partie I) idéal).
 - a) Qu'est-ce qu'un oscilloscope idéal ?
 - b) Proposer un schéma du montage à réaliser, en indiquant soigneusement les branchements de l'oscilloscope.
 - c) Comment est-il alors possible d'accéder à $|\underline{H}|$ et ψ ?

PARTIE 2 : ETUDE DE L'OSCILLOSCOPE REEL

Dans cette partie, l'oscilloscope n'est plus considéré idéal.

Lorsqu'on applique une tension $u(t)$ à l'entrée d'un oscilloscope, celle-ci est envoyée à l'entrée d'un amplificateur dont on peut considérer l'impédance d'entrée comme constituée d'une association parallèle conducteur ohmique de résistance R_0 et condensateur de capacité C_0 .

On prendra $R_0 = 1,0 \text{ M}\Omega$ et $C_0 = 13 \text{ pF}$.

De plus, suivant le mode de couplage, $u(t)$ est envoyée directement à l'entrée de l'amplificateur vertical (mode DC) ou appliquée préalablement à un condensateur de capacité C_D (mode AC). En mode AC, l'impédance d'entrée se présente donc sous la forme ci-contre (figure 2) :

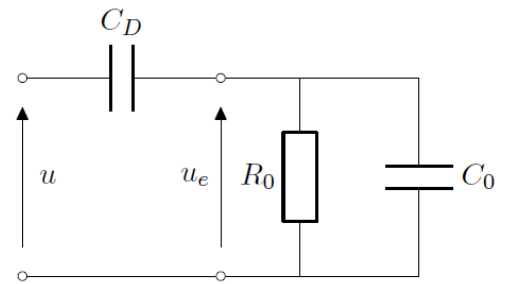


Figure 2

6) Que vaut la tension $u'_e(t)$ appliquée à l'entrée de l'amplificateur en couplage DC ?

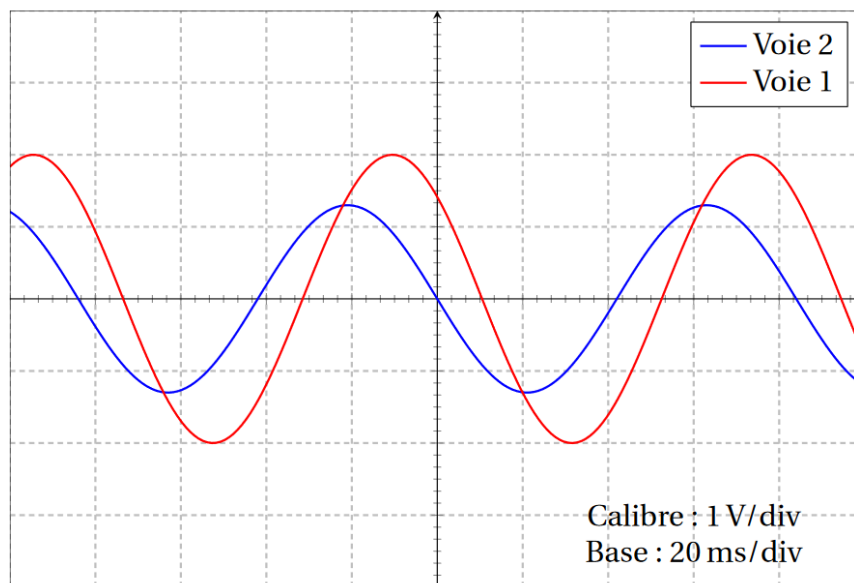
Etude théorique du filtre constitué par le couplage AC

7) a) Etablir la fonction de transfert $\underline{H}_{AC}(j\omega) = \frac{U_e}{U}$ correspondant au couplage AC.

b) Simplifier \underline{H}_{AC} en considérant $C_0 \ll C_D$. Quelle est la nature du filtre ?

Dans le but de déterminer expérimentalement la fréquence de coupure à -3 dB du filtre constitué par le couplage AC ainsi que la valeur du condensateur C_D , on réalise la manipulation suivante.

On applique la même tension sinusoïdale $u(t)$ sur l'entrée 1 (couplage DC) et sur l'entrée 2 (couplage AC) et on fait varier la fréquence de $u(t)$ jusqu'à l'obtention de l'oscillogramme ci-dessous.

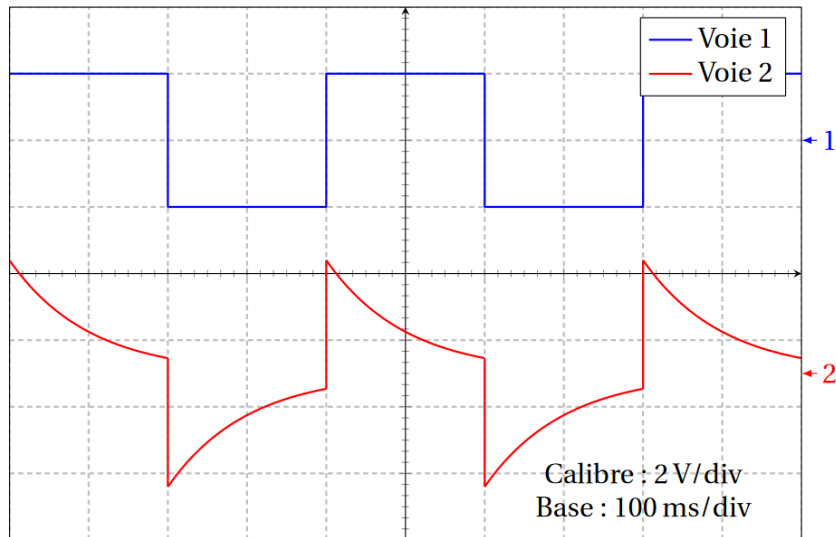


Etude expérimentale du filtre

8) Quelle est la valeur de la fréquence de $u(t)$ à cet instant ?

9) Déterminer en exploitant les caractéristiques des courbes et en expliquant soigneusement votre démarche la valeur de la capacité C_D . Vérifier l'hypothèse $C_0 \ll C_D$.

Le choix du couplage AC peut donc perturber l'observation des signaux basse fréquence. L'oscillogramme ci-contre a été obtenu avec un signal carré envoyé sur la voie 1 (couplage DC) et simultanément sur la voie 2 (couplage AC) :



10) Expliquer comment la déformation observée avec le couplage AC peut être interprétée à partir de la fonction de transfert obtenue précédemment.

On utilise à présent cet oscilloscope en mode DC pour étudier le filtre RC de la partie 1, réalisant ainsi le circuit ci-contre (cf. figure 3) :

La fonction de transfert de cet ensemble « filtre branché à l'oscilloscope » est $\underline{H}_1 = \frac{\underline{s}}{\underline{e}}$.

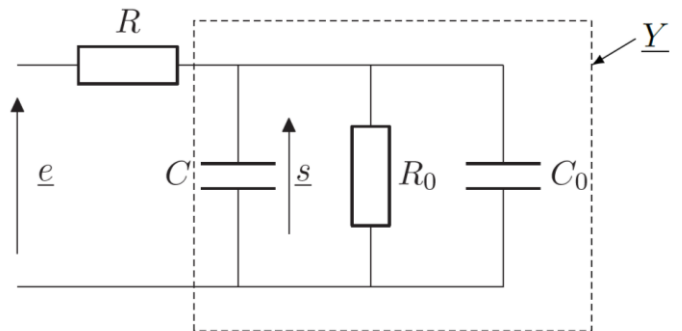


Figure 3

- 11) Déterminer simplement le gain en tension à basse fréquence, qui sera noté H_1 .
- 12) Exprimer l'admittance complexe \underline{Y} (définie sur la figure 3 ci-dessus).
- 13) Quelle est la limite à basse fréquence du déphasage de la tension \underline{s} par rapport à l'intensité \underline{i} parcourant le dipôle équivalent d'admittance \underline{Y} ?
- 14) Déterminer la nouvelle fonction de transfert $\underline{H}_1 = \frac{\underline{s}}{\underline{e}}$ sous la forme $\underline{H}_1 = \frac{H_1}{1+j\frac{\omega}{\omega_0}}$.
- 15) a) Quelle est la nature du filtre ?
b) Comparer H_1 et la nouvelle fréquence de coupure aux valeurs obtenues pour le circuit RC seul (partie 1), et conclure quant à l'utilisation de l'oscilloscope pour étudier le filtre RC.

PROBLEME N°2 : PICKUP DE GUITARE ELECTRIQUE

On étudie le comportement fréquentiel d'un « pickup » de guitare électrique (ou « micro »), c'est à dire du capteur électromagnétique qui transforme la vibration des cordes métalliques de la guitare électrique en signal électrique. Il s'agit du premier élément de la chaîne de traitement du signal électrique.

Les inventeurs ont voulu, avec ce transducteur, éviter les sifflements d'effet Larsen des microphones ; ils ont en définitive créé un véritable instrument de musique original. Ce capteur est utilisé principalement sur les guitares électriques, les basses et les pianos électriques. Il en existe plusieurs types, choisis en fonction de l'instrument, du style de musique jouée, et de la coloration sonore souhaitée.

On associe à toute grandeur $u(t) = U \cos(\omega t + \varphi)$ la grandeur complexe $\underline{u}(t) = U \exp(j\omega t + \varphi)$ avec $j^2 = -1$.

A) Etude de l'amplificateur

On considère un filtre amplificateur de tension dont le diagramme de Bode du gain en décibel est représenté sur la figure ci-après (fig. 1).

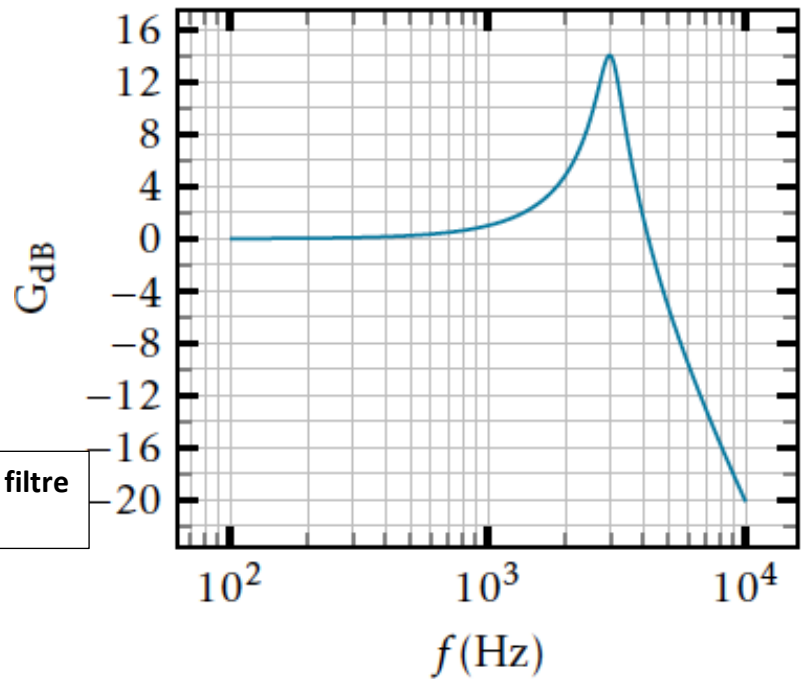


Fig. 1 : Diagramme de Bode du filtre amplificateur étudié

16) Donner l'équation de l'asymptote (G_{dB} en fonction de $\log(f)$) à basse fréquence.

17) Indiquer la nature de ce filtre. Peut-il s'agir d'un filtre du premier ordre ?

18) Expliquer soigneusement pourquoi la fonction de transfert $\underline{H}_1 = \frac{H_0 \frac{\omega}{\omega_0}}{\frac{\omega}{\omega_0} - jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 - 1}$ ne convient pas et pourquoi la fonction de transfert $\underline{H}_2 = \frac{H_0}{1 + j\frac{\omega}{Q\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$ peut convenir.

Dans ces expressions Q et H_0 sont des réels positifs sans dimension, ω_0 est une pulsation positive.

On travaille dans toute la suite avec la fonction de transfert $\underline{H} = \frac{H_0}{1 + j\frac{\omega}{Q\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$.

19) On pose H et φ tels que $\underline{H} = H \exp(j\varphi)$. Quelles sont les significations physiques de H et de φ ?

20) Etude de H

- a) Exprimer H en fonction de $x = \frac{\omega}{\omega_0}$.
- b) Déterminer les équations des asymptotes à haute et basse fréquence (G_{dB} en fonction de $\log(x)$) ainsi que la valeur de H pour $\omega = \omega_0$.
- c) Quel phénomène observe-t-on sur le diagramme fourni ? Etablir l'expression de la fréquence correspondante et la condition que doit vérifier le facteur de qualité Q pour pouvoir l'observer.

21) En supposant le facteur de qualité Q assez élevé, déduire du diagramme de la figure 1 les valeurs de H_0 , Q et de $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$.

B) Filtrage d'un signal

22) On envoie en entrée du filtre de la figure 1 un signal sinusoïdal d'amplitude $U_e = 1$ V et de fréquence variable. Déterminer l'amplitude, notée U_s , de la tension en sortie, notée $u_s(t)$, pour :

$$f = 300 \text{ Hz}; \quad f = 3 \text{ kHz}; \quad f = 8 \text{ kHz}.$$

- 23) On considère un signal électrique périodique, caractéristique de la vibration d'une corde de guitare, dont le spectre est donné sur la **figure 2** ci-dessous. L'abscisse représente la fréquence de ses composantes sinusoïdales et l'ordonnée représente $20 \log\left(\frac{U}{U_{\text{réf}}}\right)$ avec U l'amplitude de chaque composante et $U_{\text{réf}} = 10 \text{ mV}$. On ne prêtera pas attention aux différences entre les deux courbes correspondant à deux manières différentes de gratter la corde.

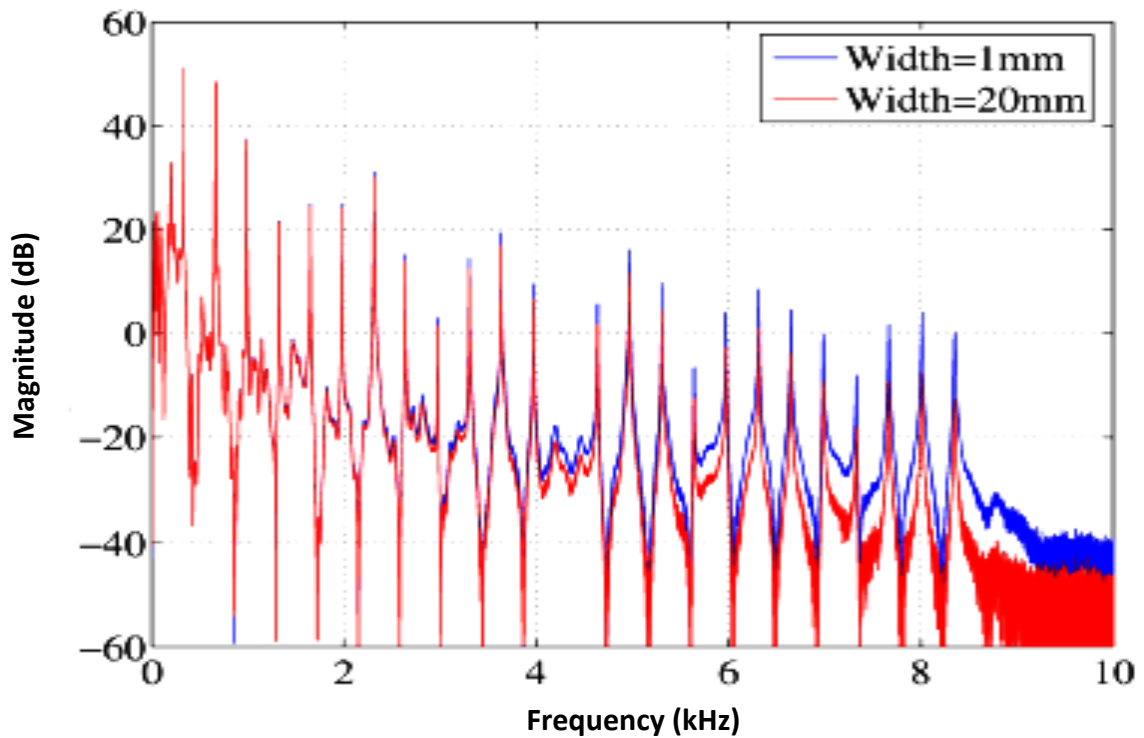


Fig. 2 : Spectre du signal électrique caractéristique de la vibration d'une corde de guitare

- Déterminer la fréquence du mode fondamental et donner les amplitudes du fondamental et des harmoniques les plus proches de 3 kHz et de 8 kHz.
- Tracer schématiquement l'allure du spectre de ce signal en sortie s'il est filtré par le filtre de la **figure 1**. On donnera en particulier les amplitudes (en dB) du fondamental et des harmoniques les plus proches de 3 kHz et de 8 kHz.