

Samedi 7 janvier 2023

DEVOIR SURVEILLE N°4 PHYSIQUE

ATTENTION dans les questions 10,13 et 14 ont été modifiées pour que le pb ait plus de sens.

Il faut mettre la correction à jour

Rep :

10 : on obtient un créneau centré sur 0

13 : on obtient 1,5 V

14 : on obtient $4/2\sqrt{2} = 0,7 \text{ V}$

I. Modes DC et AC d'un oscilloscope et d'un multimètre

Un extrait du rapport 2019 du concours Mines-Ponts, relatif à l'épreuve de TP de physique :

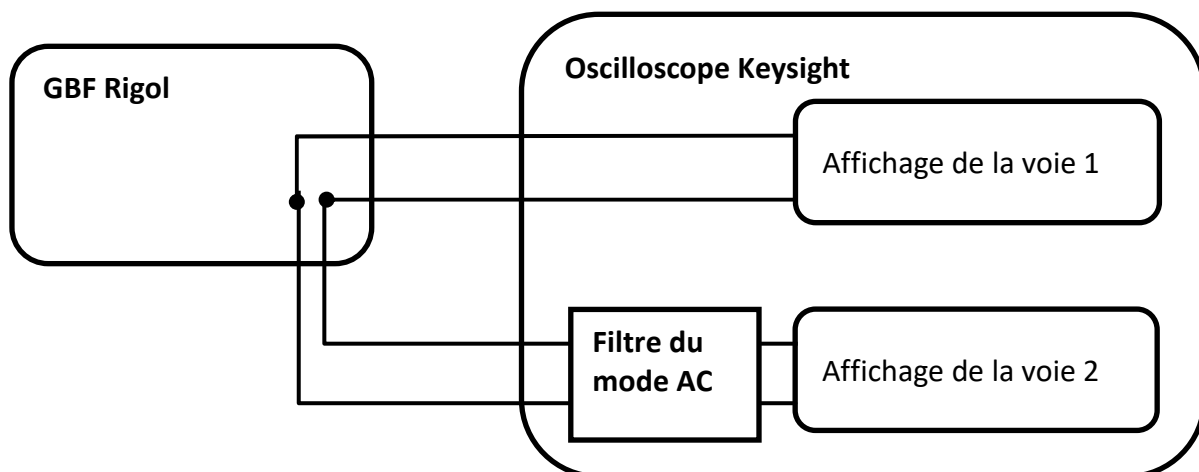
« La conséquence du choix AC/DC n'est pas la même sur un oscilloscope et sur un voltmètre ou un ampèremètre. Ainsi, certains candidats ne savent pas comment mesurer la valeur moyenne d'un signal avec un multimètre ».

Ce problème a pour objectif de comprendre le fonctionnement du mode AC (CA en français) d'un oscilloscope dans un premier temps, de comparer les modes DC et AC de l'oscilloscope avec les modes correspondants d'un multimètre dans un second temps.

Pour étudier le fonctionnement du mode AC de l'oscilloscope, une tension $e(t)$ délivrée par un GBF est appliquée aux deux voies de l'oscilloscope. La voie 1 est utilisée en mode DC tandis que le mode AC est utilisé pour la voie 2.

Dans le mode DC, le signal affiché correspond sans traitement à celui qui est appliqué à l'entrée.

Dans le mode AC, le signal appliqué à l'entrée est soumis à un filtre, avant d'être affiché.



A. Diagrammes de Bode du filtre appliqué en mode AC

1. Qu'est-ce que la synchronisation de l'oscilloscope [réponse en 3 ou 4 lignes maximum] ?
2. Quelle est la fonction attendue pour le filtre du mode AC [défini en TP] ?

On réalise diverses mesures de la tension crête à crête (U_{1cc} et U_{2cc}) des deux voies.
Voici les résultats des mesures pour diverses fréquences :

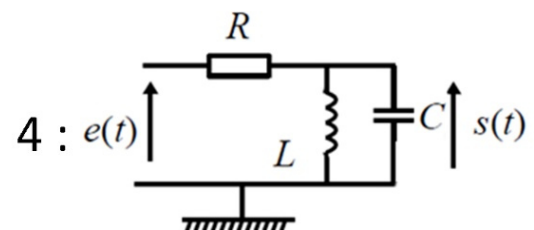
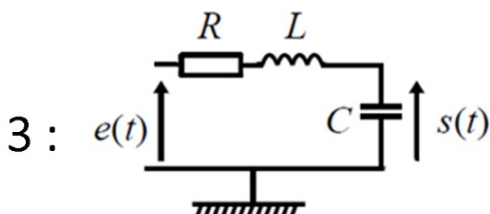
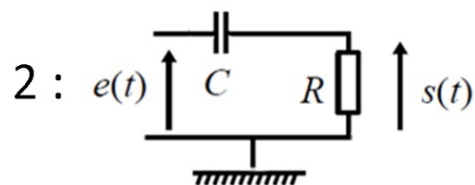
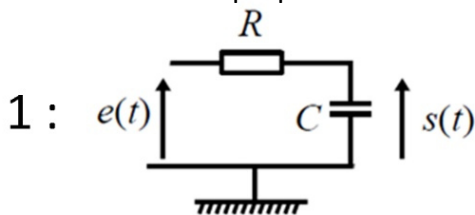
f (en Hz)	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	7,0
U_{1cc} (en V)	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3
U_{2cc} (en V)	0,20	0,38	0,96	1,9	3,7	5,5	8,5	11,0

f (en hz)	10	12	15	20	30	50	100
U_{1cc} (en V)	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3
U_{2cc} (en V)	13,7	15,0	16,5	17,7	19,1	19,7	20,1

- Construire à l'aide de ce tableau le diagramme de Bode pour le gain du filtre étudié. On utilisera le papier semi logarithmique fourni. Déterminer la nature du filtre.
- Mesurer, sur le diagramme du gain, la pente des asymptotes. On détaillera les choix effectués pour les calculs. En déduire l'ordre du filtre [sur la portion du spectre étudiée].
- A l'aide du diagramme tracé, déterminer la fréquence de coupure, notée f_c .
- Parmi les fonctions de transfert harmoniques données ci-dessous, laquelle peut correspondre au filtre étudié ? Donner au moins une raison d'éliminer chacune des autres fonctions de transfert proposées.

$$\underline{H}_1(\omega) = \frac{1}{1+j\omega/\omega_c} \quad \underline{H}_2(\omega) = 10 \frac{1}{1+j\omega/\omega_c} \quad \underline{H}_3(\omega) = \frac{j\omega/\omega_c}{1+j\omega/\omega_c}$$

- Parmi les quatre filtres présentés ci-dessous, quel est celui qui est appliqué par l'oscilloscope au signal $e(t)$ lorsqu'il est en mode AC ? Donner au moins une raison d'éliminer chacune des autres filtres proposés.



- On donne la valeur de la résistance $R = 1,0 \times 10^6 \Omega$. Déterminer la valeur du (ou des) autre(s) composant(s) qui constitue(nt) le filtre.

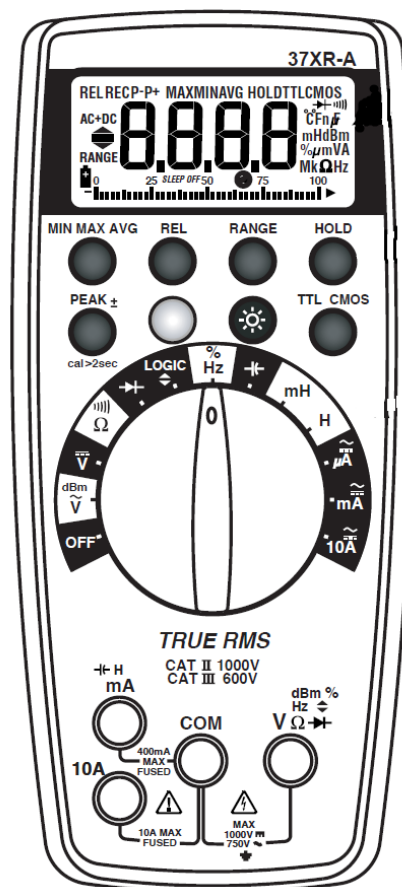
B. Conséquences

9. Prévoir l'allure de la voie 2 si le signal d'entrée $e(t)$ est constitué d'une tension **triangulaire** de fréquence $f_1 = 200$ Hz, d'amplitude 2,0 V et comportant un décalage (offset) de 2,0 V. Le filtre utilisé par l'oscilloscope en mode AC réalise-t-il l'objectif visé dans cette situation ?
10. Prévoir l'allure de la voie 2 si le signal d'entrée $e(t)$ est constitué de la même tension que précédemment mais que sa fréquence est maintenant $f_2 = 1,0$ Hz. Le filtre utilisé par l'oscilloscope en mode AC réalise-t-il l'objectif visé dans cette situation ? Conclusion ?
11. Définir et déterminer les impédances d'entrée Z_e et de sortie Z_s du filtre choisi.
12. Déterminer la valeur minimale du module de Z_e lorsque la fréquence varie. Y a-t-il accord d'impédance avec le GBF sachant que ce dernier a une résistance interne $R_{int} = 50 \Omega$?

C. Comparaison avec un multimètre

On applique à un multimètre, en mode voltmètre, une tension $e(t)$ **sinusoïdale** de fréquence $f_3 = 100$ Hz, de tension crête à crête égale à 4,0 V et comportant un offset de 1,5 V.

13. Quelle sera l'indication du voltmètre en mode DC (mode continu ---) ?
14. Quelle sera l'indication du voltmètre en mode AC (\sim) ?



II. Transmission d'énergie électrique sans fil (d'après E3A – PSI – 2020) :

L'électricité de demain pourrait-elle se passer de fils électriques ? La nécessité actuelle de supprimer les fils et réduire l'encombrement, ou encore la multiplication des appareils électriques à faible consommation contribuent au développement des techniques et dispositifs de transmission d'énergie sans fil, inspirés des travaux pionniers de Nikola Tesla au début du XX^e siècle. Les applications sont nombreuses et touchent divers domaines : de l'usage domestique (recharge d'appareils avec batteries, alimentation de petits appareils courants) au monde industriel (recharge de voitures électriques, applications diverses de la transmission de puissance, pour les trains par exemple), en passant par la médecine (apport d'énergie électrique aux implants, sans effectuer d'opérations chirurgicales lourdes).

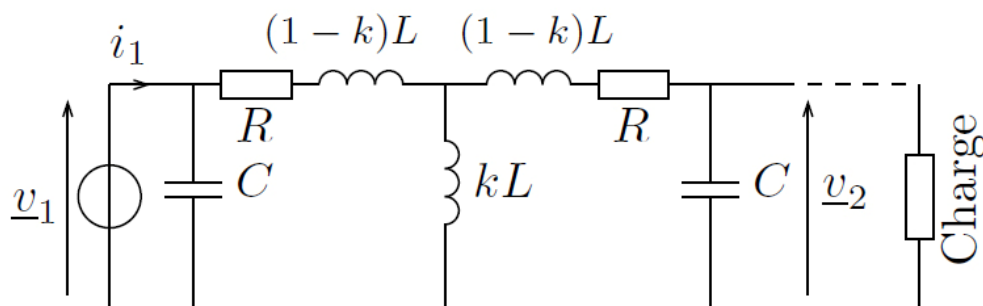
Il existe aujourd'hui différents moyens de transmission de puissance sans fil et nous développerons ici certains aspects du couplage dit *inductif résonant*.

Celui-ci a été récemment mis en évidence par l'équipe de recherche dirigée par Marin Soljačić, au Massachusetts Institute of Technology (MIT), en réalisant une transmission de puissance de 60 W avec une distance de 2 m séparant les deux bobinages, permettant d'allumer une ampoule. Ces travaux performants ont donné lieu à une publication dans la revue Science en 2007. C'est à cette occasion que le terme « witracity », contraction de Wireless Electricity, est apparu.

[Suppression du passage sur l'induction].

Fonction de transfert

Du point de vue des calculs, les circuits couplés sont équivalents au circuit représenté sur la figure ci-dessous :



Le coefficient k représente le couplage entre les deux circuits et varie entre 0 lorsque les 2 circuits sont très éloignés et 1 lorsque le couplage est idéal (c'est-à-dire maximal).

On donne les valeurs numériques des composants : $R = 10 \Omega$, $L = 0,86 \text{ mH}$, $C = 30 \text{ nF}$.

1. Donner le schéma équivalent du circuit aux basses fréquences, et en déduire la valeur asymptotique de v_2 .
2. Donner le schéma équivalent du circuit aux hautes fréquences, et en déduire la valeur asymptotique de v_2 .

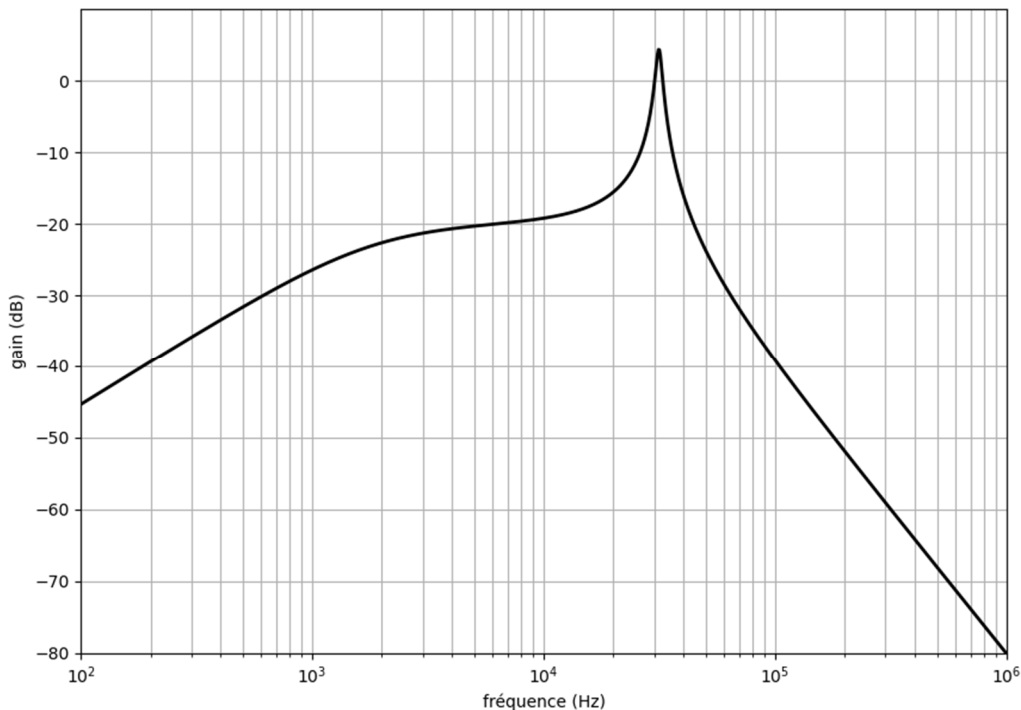
3. Montrer que la fonction de transfert à vide peut se mettre sous la forme :

$$\underline{H} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{j\omega Lk}{R + j\omega(L + R^2C) - 2\omega^2RLC - j\omega^3CL^2(1 - k^2)}$$

On introduira la tension \underline{v}_3 aux bornes de l'inductance kL .

4. Définir l'ordre d'un filtre et donner l'ordre de ce filtre.
5. Quelle est l'équation de l'asymptote aux basses fréquences dans un diagramme de Bode du gain en dB ?
6. Quelle est l'équation de l'asymptote aux hautes fréquences dans un diagramme de Bode du gain en dB ?
7. Déterminer les coordonnées du point I d'intersection des asymptotes [préciser ω_I et $G_{dB}(I)$]. Faire l'A.N pour $k = 0,1$.

Voici le tracé par Python du diagramme de Bode du gain en dB de ce système.



8. Ce diagramme est-il cohérent avec l'étude précédente de \underline{H} [pente des asymptotes, et coordonnées du point I] ?

Afin d'étudier le phénomène de résonance obtenu, on réduit la zone des fréquences étudiées : sous réserve que les hypothèses (1) et (2) suivantes soient vérifiées, la fonction de transfert se simplifie : (1) : $\omega \gg R/L$ (2) : $k \ll 1$ implique $\underline{H} \approx \frac{k}{1 + j\omega RC - \omega^2 LC}$

9. Mettre la fonction de transfert simplifiée sous la forme canonique suivante :

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + \frac{j}{Q} \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}$$

et identifier les paramètres H_0 , Q et ω_0 en fonction de k , R , L et C . Faire l'A.N. pour Q et ω_0 .

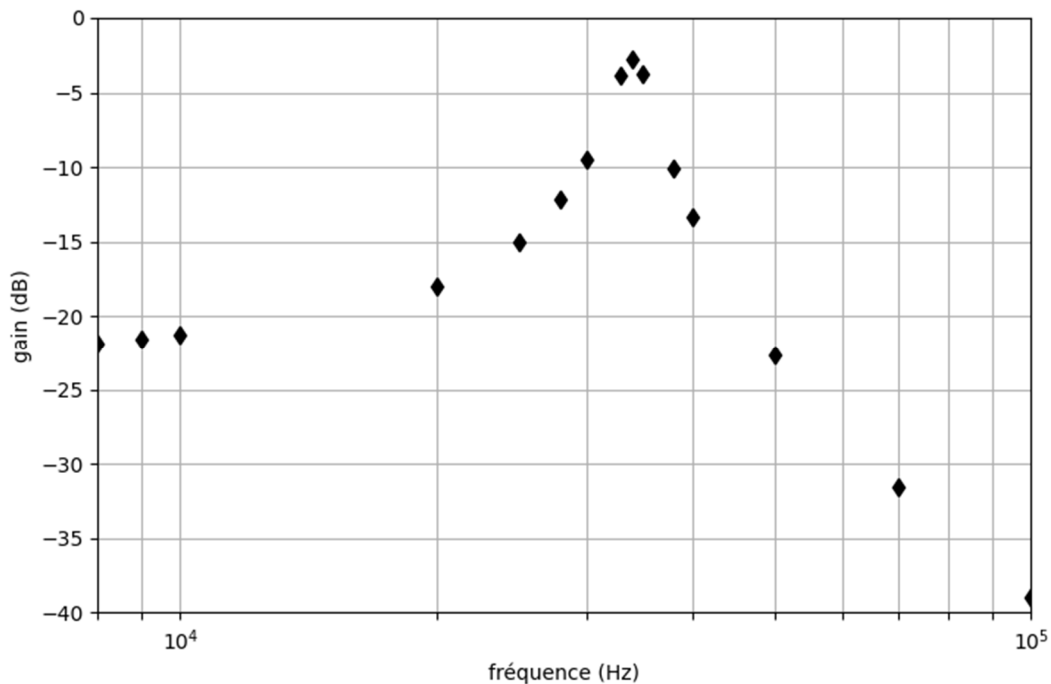
10. La fréquence propre f_0 dépend-elle de k ? Expliquer en quoi ce résultat est particulièrement intéressant, dans l'objectif d'un fonctionnement à récepteur mobile.

11. Sachant que le système fonctionne autour de la fréquence propre f_0 , l'hypothèse (1) [$\omega \gg R/L$] est-elle vérifiée ?

Résultats expérimentaux du couplage résonant

On met en œuvre le montage précédent en choisissant les valeurs des composants suivantes : $R = 10 \Omega$, $L = 0,86 \text{ mH}$ et $C = 30 \text{ nF}$.

On trace son diagramme de Bode du gain en dB. Celui-ci fait nettement apparaître un phénomène de résonance.



12. Comparer la fréquence propre expérimentale à sa valeur théorique de la question 9.

Le rendement de la transmission de puissance est essentiellement fixé par deux paramètres : le coefficient de couplage k entre les circuits primaire et secondaire, ainsi que le facteur de qualité Q des oscillateurs RLC couplés.

13. En analysant le diagramme de Bode en gain expérimental, déterminer les valeurs de k et de Q . L'hypothèse (2) [$k \ll 1$] faite dans la partie précédente est-elle validée ?

Prolongement théorique

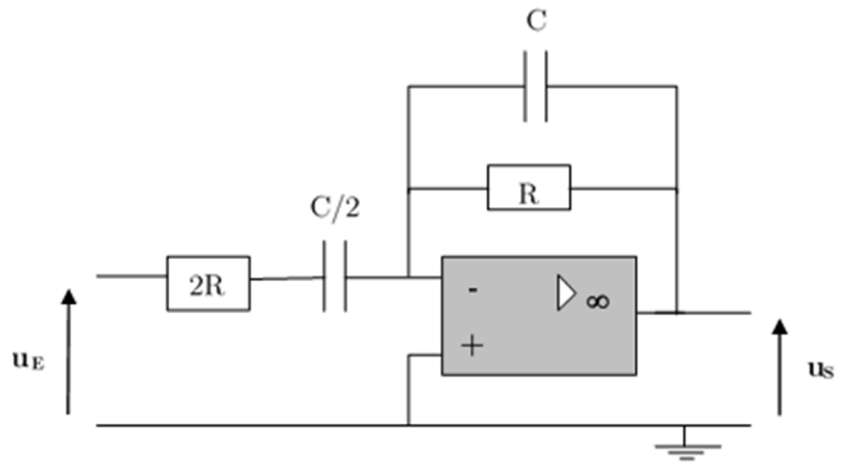
Le fait que le diagramme de Bode puisse être réduit à un filtre du 2^{ème} ordre dans une zone limitée de fréquences permet de prévoir que sa fonction de transfert est factorisable sous la forme :

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + \frac{j}{Q} \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}} \times \underline{H}_1$$

14. Déterminer les caractéristiques de \underline{H}_1 à partir du diagramme complet tracé avec Python.

III. Filtrage actif :

On considère le montage présenté ci-contre dans lequel l'ALI, supposé idéal, fonctionne en régime linéaire :



[0. Exprimer $Z_{C/2}$ en fonction de Z_C .]

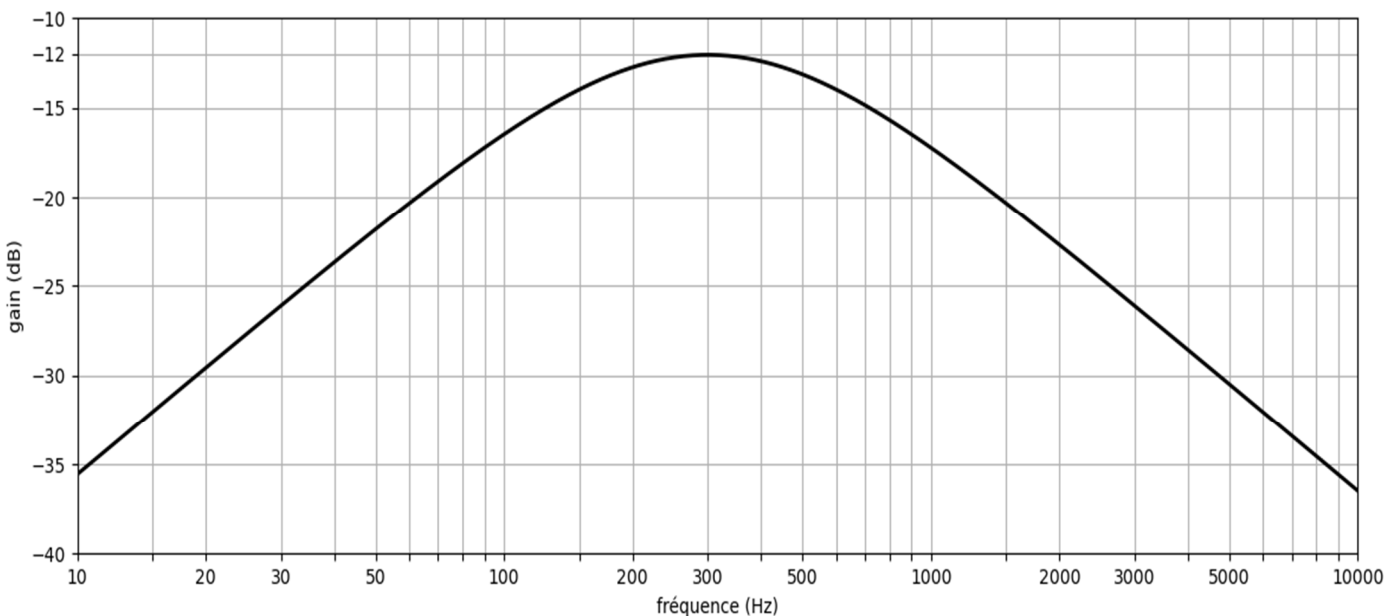
1. Quel indice nous indique qu'un fonctionnement linéaire de l'ALI est possible ? Quelle est la conséquence du fonctionnement linéaire ? Quel type d'alimentation faut-il pour ce filtre ?
2. En étudiant le comportement de ce montage en BF puis en HF, déterminer la nature du filtre ainsi constitué.
3. Exprimer la fonction de transfert $\underline{H}(\omega)$ de ce filtre. Vous mettrez celle-ci sous la forme canonique :

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

et vous exprimerez le facteur H_0 , la pulsation propre ω_0 ainsi que le facteur de qualité Q .

4. Définir et déterminer l'impédance d'entrée Z_E de ce filtre.
5. Démontrer par l'absurde que l'impédance de sortie Z_S de ce filtre est nulle.

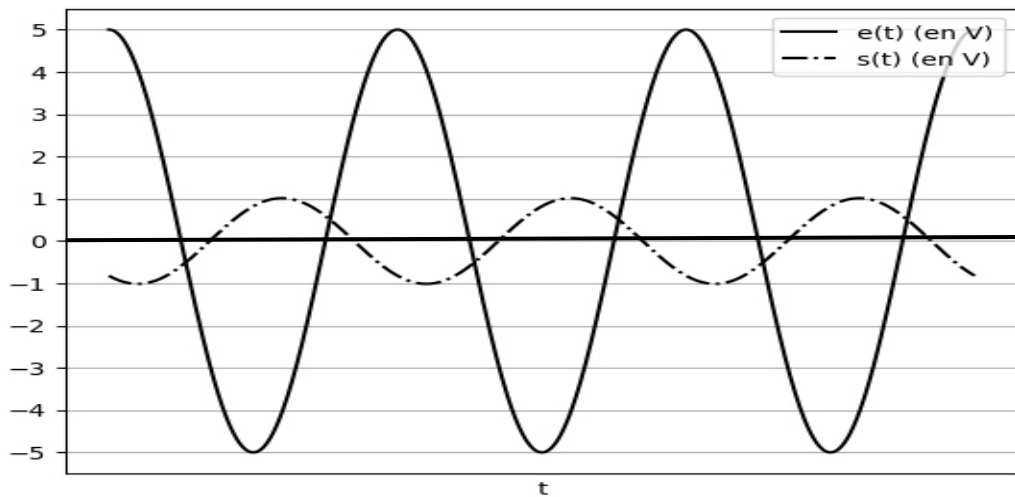
On donne ci-dessous le diagramme de Bode relatif au gain G_{dB} en décibels :



6. Mesurer les pentes des asymptotes BF et HF. Sont-elles compatibles avec l'expression théorique de la fonction de transfert ? Justifier. De même, la valeur maximale $G_{dB,Max}$ du gain relevée sur le diagramme. Est-elle compatible avec l'expression théorique de la fonction de transfert ?

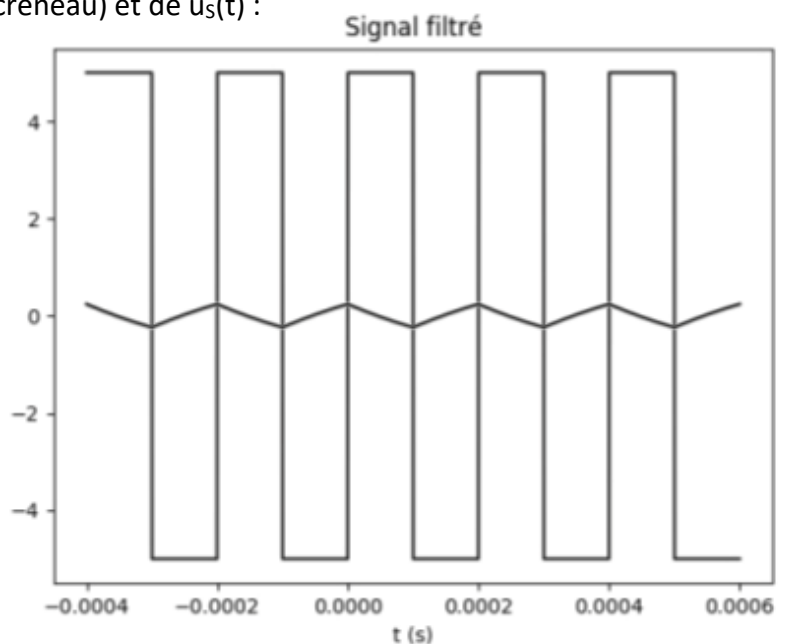
7. On donne $R = 4,70 \text{ k}\Omega$. Exploiter le diagramme de Bode précédent pour déterminer la valeur de la capacité C .
8. Déterminer par lecture du diagramme fourni le facteur de qualité de ce filtre. Y a-t-il accord avec la valeur théorique ?
9. Déterminer les asymptotes BF et HF de la phase $\phi(\omega)$ ainsi que la valeur de phase à la pulsation ω_0 et en déduire l'allure du diagramme de Bode correspondant. Indiquer sur le diagramme les pulsations pour lesquelles u_S est en avance sur u_E .

On applique à l'entrée du filtre une tension $u_E(t)$ sinusoïdale d'amplitude 5,0 V et de fréquence f_1 inconnue. On donne ci-dessous l'oscillogramme des variations de $u_E(t)$ (en trait plein) et de $u_S(t)$ (en tirets), l'axe des abscisses n'est volontairement pas gradué :



10. En exploitant cet oscillogramme, déterminer la fréquence f_1 de la tension $u_E(t)$ appliquée.

On applique désormais à l'entrée du filtre une tension $u_E(t)$ en créneaux d'amplitude 5,0 V et de fréquence f_2 différente de celle utilisée à la question précédente. On donne ci-dessous l'oscillogramme des variations de $u_E(t)$ (créneau) et de $u_S(t)$:



11. Justifier l'allure du signal $u_S(t)$ obtenu. Discuter sa forme mais également son amplitude et sa phase.

