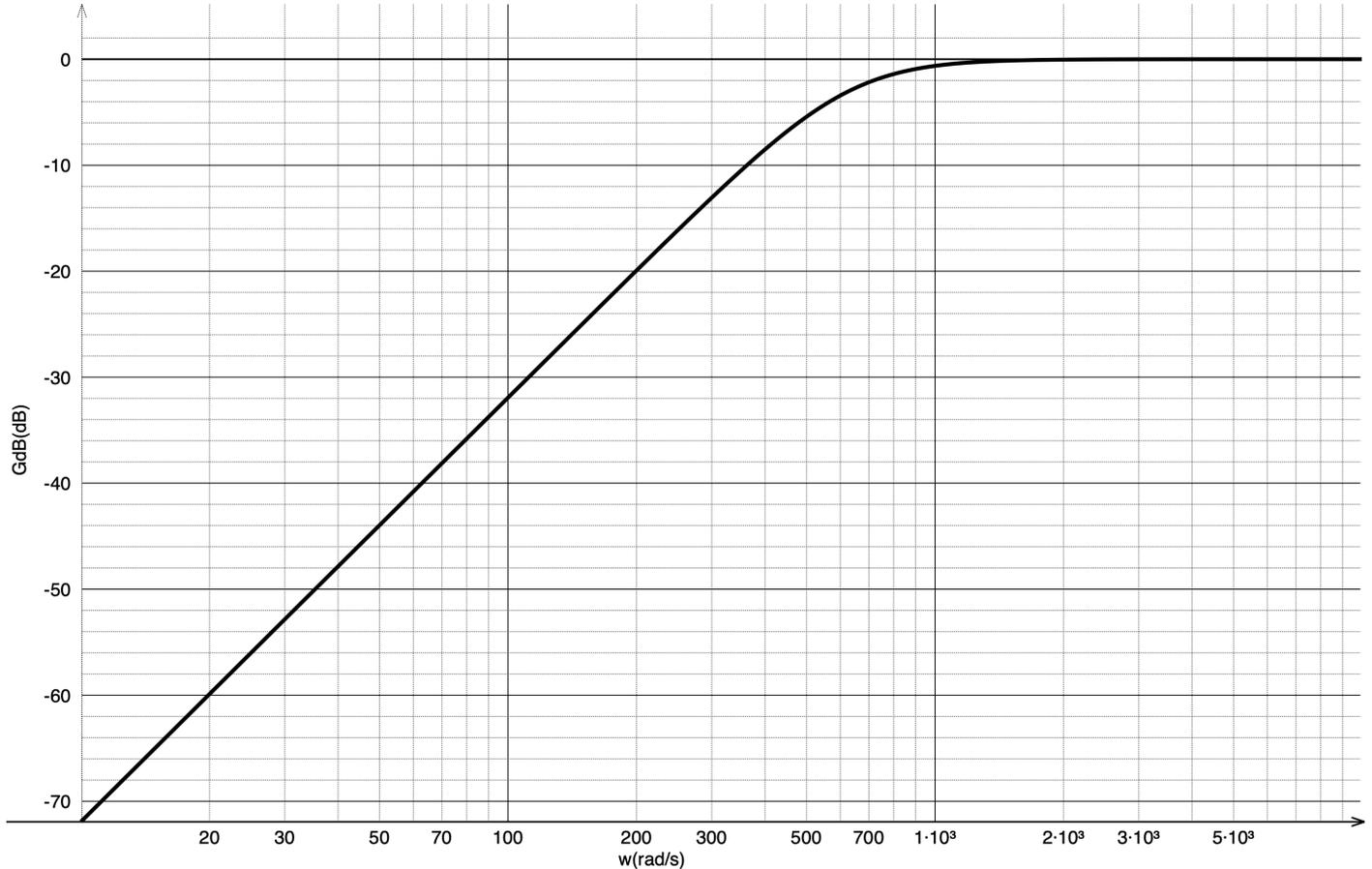


Chapitre 09 - Diagramme de Bode d'un système linéaire

Travaux dirigés

Exercice 01 : (autocorrection)

Un technicien étudie le comportement d'un système dont le diagramme de Bode en gain théorique est représenté ci-dessous :



On note le signal d'entrée $e(t) = E \cos(\omega t)$ et le signal de sortie $s(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$.

Un technicien relève une amplitude en sortie de $U_m = 1,0 V$ pour une amplitude du signal d'entrée $E = 10 V$.

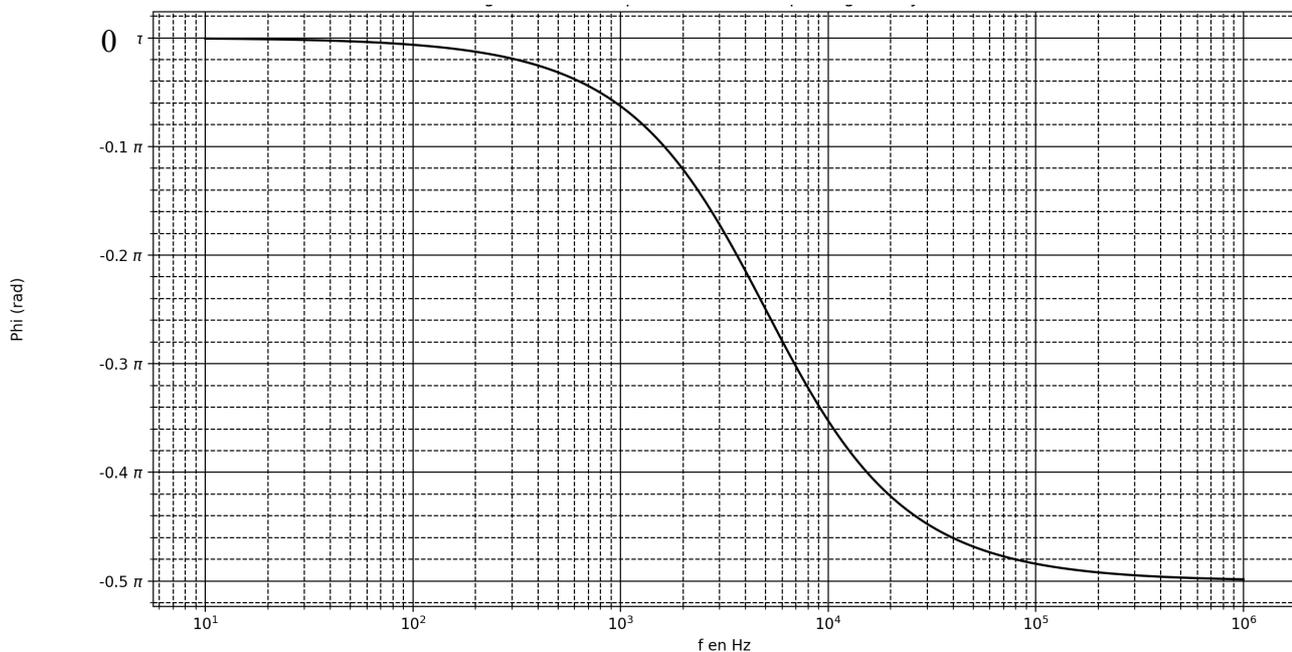
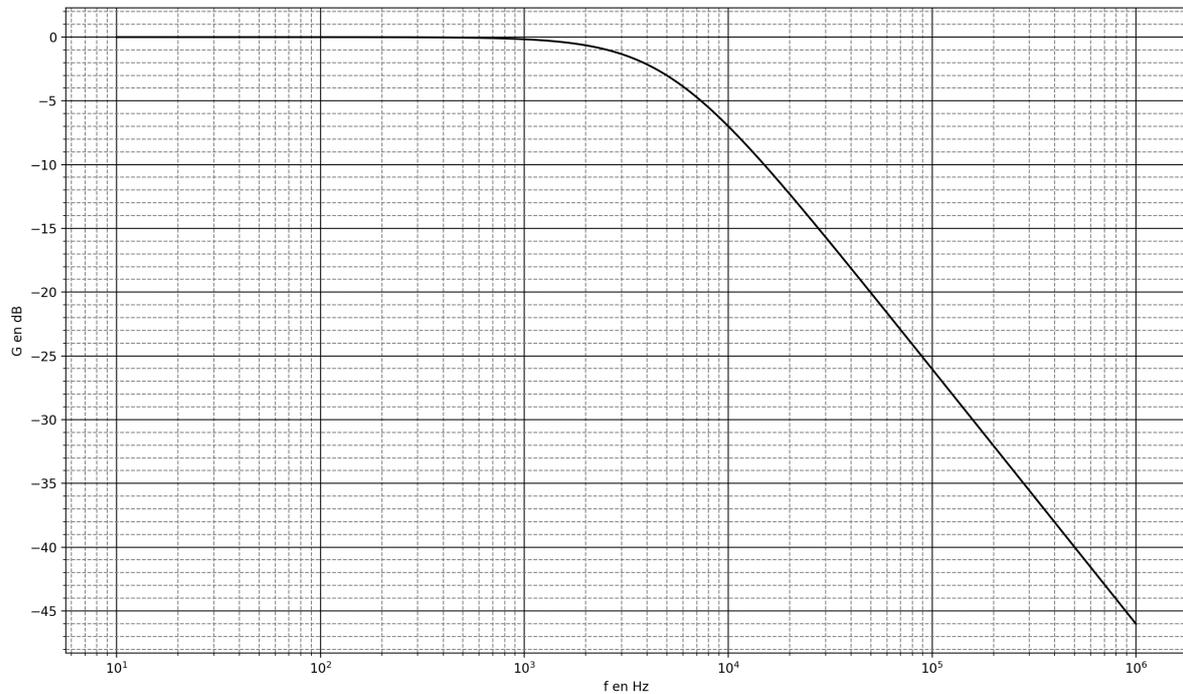
1. Quelle est la valeur de la pulsation théorique du signal d'entrée du système ?

Le même technicien envoie un signal en entrée de pulsation $\omega = 20 \text{ rad/s}$: il relève une amplitude en sortie de $U_m = 0,10 V$ pour une amplitude du signal d'entrée $E = 10 V$.

2. Le système fonctionne-t-il correctement ? Justifier votre réponse.

Exercice 02 : (autocorrection)

On étudie un système dont le diagramme de Bode est représenté ci-après.



On note le signal d'entrée $e(t) = E \cos(\omega t)$ et le signal de sortie $s(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$.
Le signal d'entrée du système est sinusoïdal alternatif de fréquence f et d'amplitude $E = 10,0 \text{ V}$.

❖ **Étude pour une première fréquence du signal d'entrée : $f = 400 \text{ kHz}$**

1. Déterminer graphiquement la valeur du gain en décibel G_{dB} et du déphasage φ .
2. En déduire la valeur de l'amplitude du signal de sortie U_m .
3. En déduire l'expression numérique des signaux $e(t)$ et $s(t)$.

❖ **Étude pour une deuxième fréquence du signal d'entrée : $f = 5000 \text{ Hz}$**

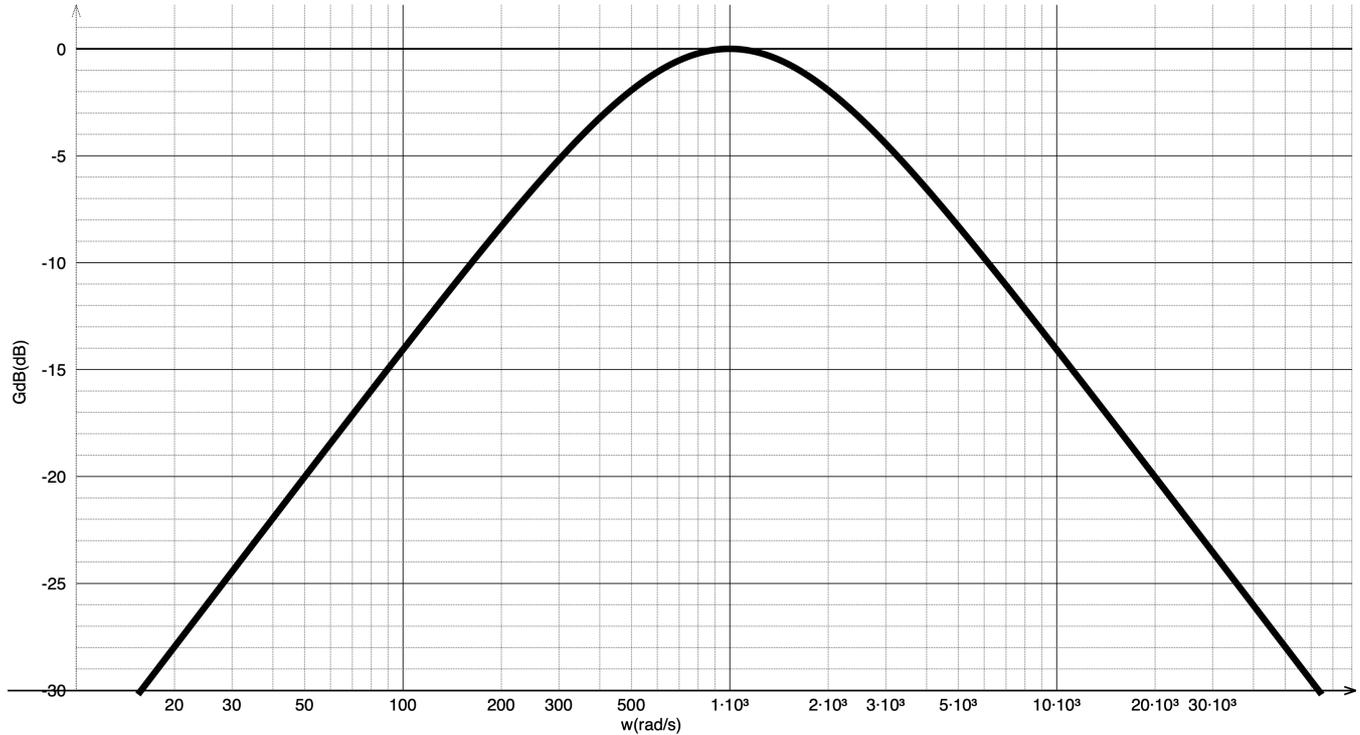
4. Déterminer graphiquement la valeur du gain en décibel G_{dB} et du déphasage φ .
5. En déduire la valeur de l'amplitude du signal de sortie U_m .
6. En déduire l'expression numérique des signaux $e(t)$ et $s(t)$.

❖ **Étude pour une troisième fréquence du signal d'entrée : $f = 300 \text{ Hz}$**

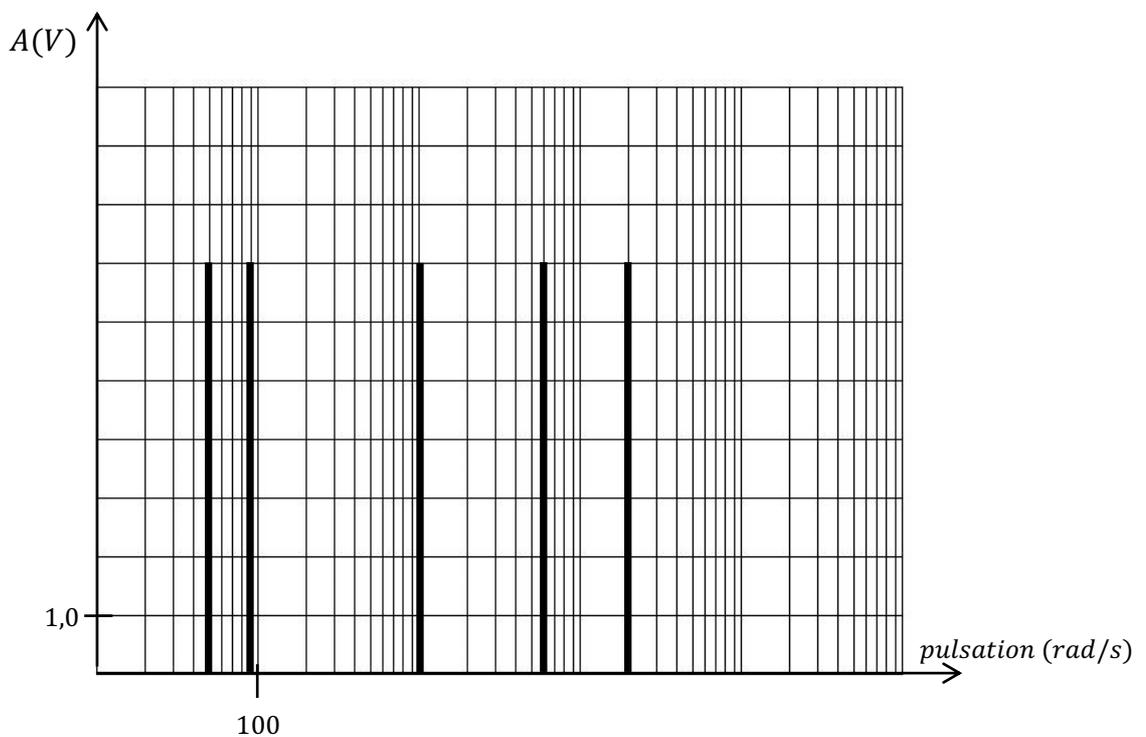
7. Déterminer graphiquement la valeur du gain en décibel G_{dB} et du déphasage φ .
8. En déduire la valeur de l'amplitude du signal de sortie U_m .
9. En déduire l'expression numérique des signaux $e(t)$ et $s(t)$.

Exercice 03 :

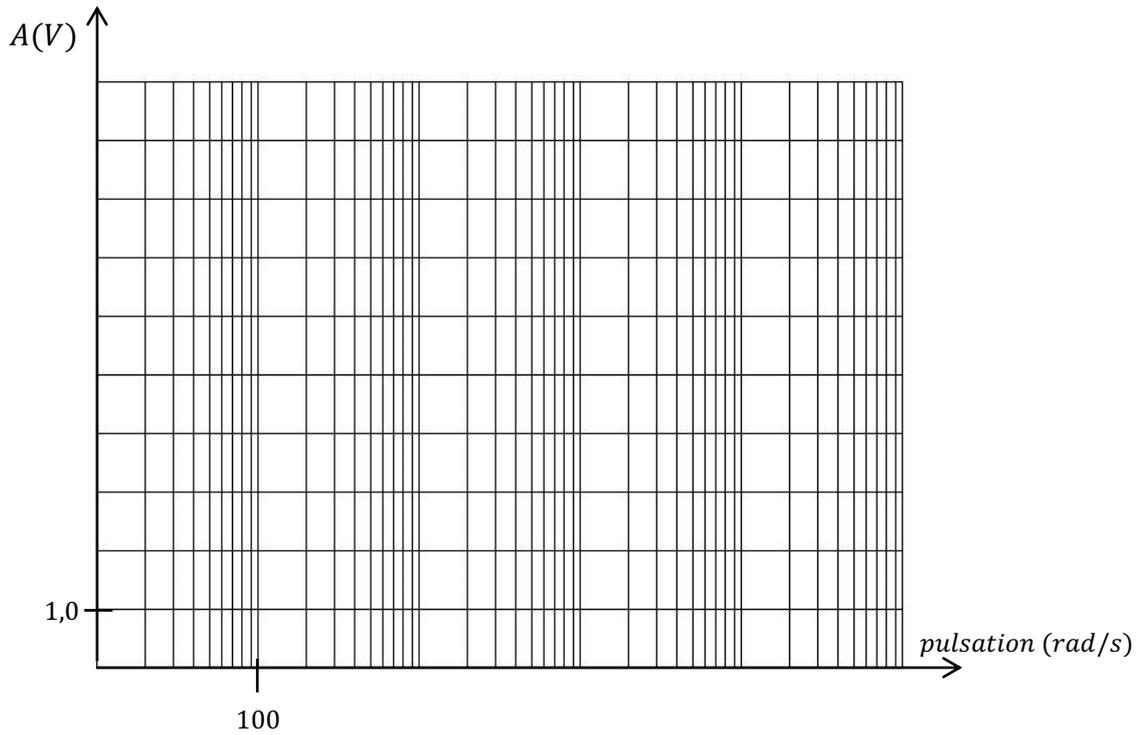
On étudie un système dont le diagramme de Bode en gain est représenté ci-dessous :



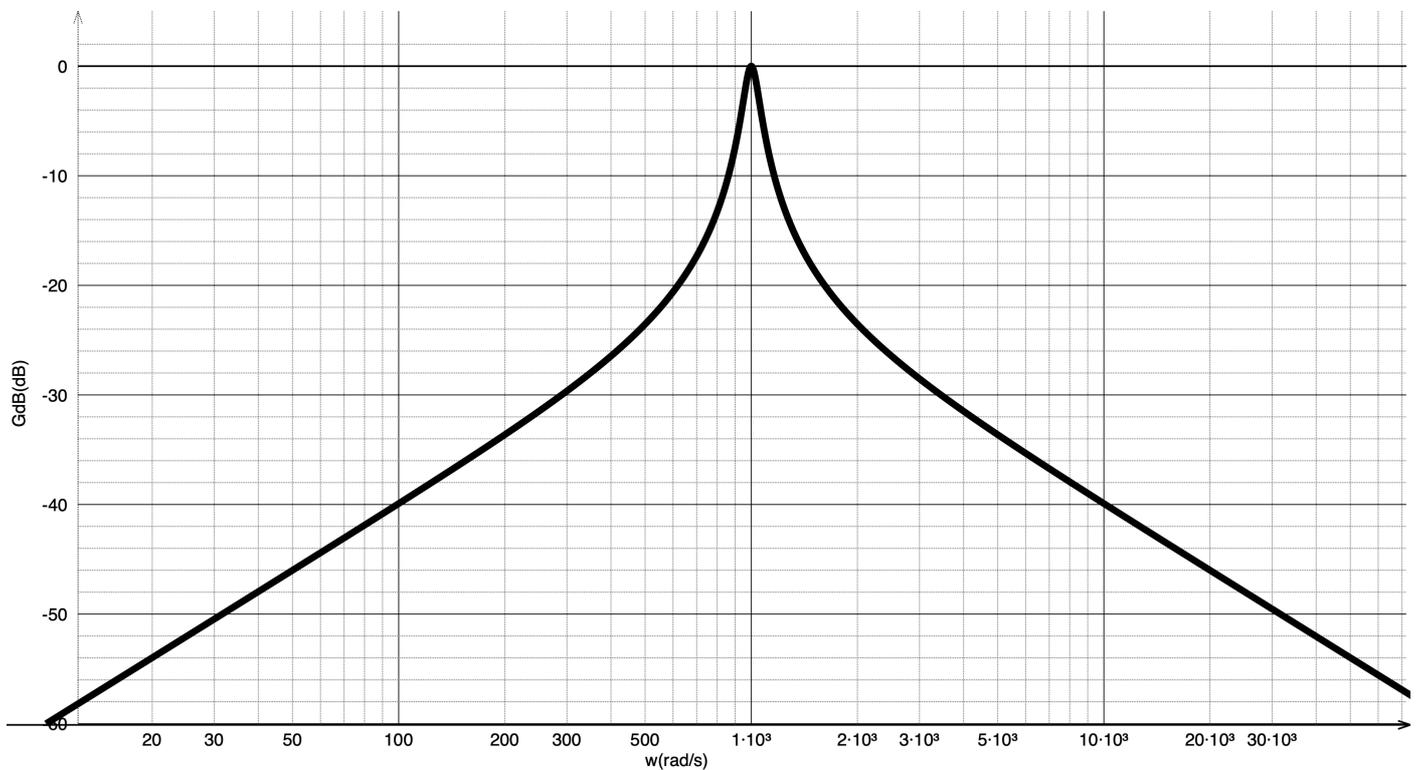
Le spectre en amplitude du signal d'entrée est le suivant :



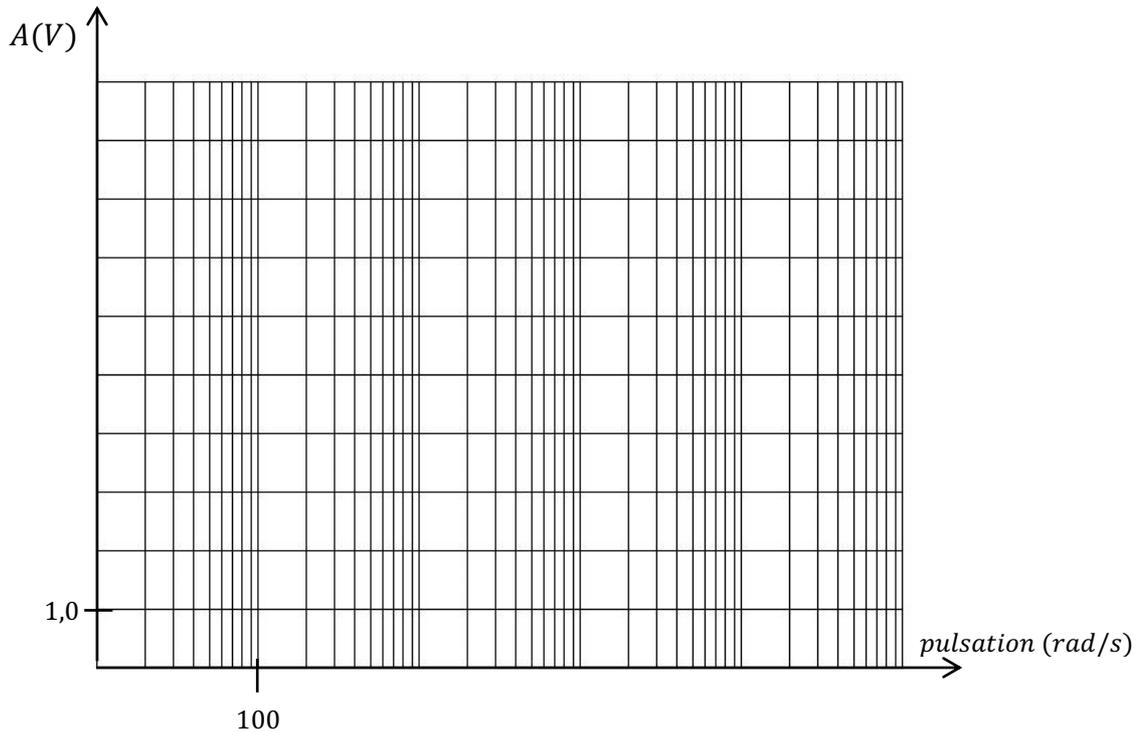
- Tracer le spectre en amplitude du signal de sortie ci-dessous : on explicitera sur sa copie, chaque étape de son raisonnement.



Le même signal d'entrée est envoyé sur un nouveau système dont le diagramme de Bode en gain est représenté ci-dessous :



2. Tracer le spectre en amplitude du signal de sortie ci-dessous : on explicitera sur sa copie, chaque étape de son raisonnement.



Exercice 04 : (autocorrection)

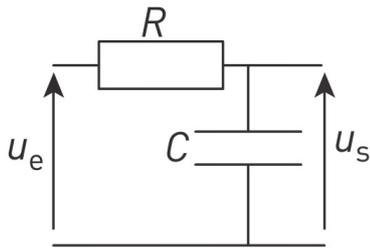
Le diagramme de Bode d'un système est donné en annexe 01 du TD (pages 01 et 02). Pour l'ensemble des réponses, on fera apparaître sur l'annexe les traits de construction, expliquant vos réponses.

A l'aide du diagramme de Bode en gain (page 01) :

1. Déterminer la nature du filtrage réalisé. Justifier votre réponse.
2. Déterminer la valeur de la pulsation de coupure du système, notée ω_c .
3. Déterminer la bande passante du système ainsi que la largeur de la bande passante, notée $\Delta\omega$.
4. Sur le graphe $G_{dB}(\omega)$, tracer l'asymptote à hautes pulsations nommée G^{THF}_{dB} ainsi que l'asymptote à basses pulsations nommée G^{TBF}_{dB} .
5. Déterminer les pentes de chacune de ces asymptotes, en *dB/décade*.
6. Déterminer les pentes de chacune de ces asymptotes, en *dB/octave*.
7. En déduire l'ordre du filtre étudié.
8. A l'aide du graphe $G_{dB}(\omega)$, déterminer la valeur de $|T_0|$ et indiquer le nom de T_0 .

A l'aide du diagramme de Bode en déphasage (page 02) :

9. Déterminer graphiquement la valeur du déphasage du signal de sortie par rapport au signal d'entrée lorsque la pulsation du signal d'entrée est égale à ω_c .
10. Lorsque la pulsation du signal d'entrée est égale à ω_c , le signal de sortie est-il en avance ou en retard par rapport au signal d'entrée ? Justifier.

Exercice 05 : filtrage d'un signal d'entrée (autocorrection)

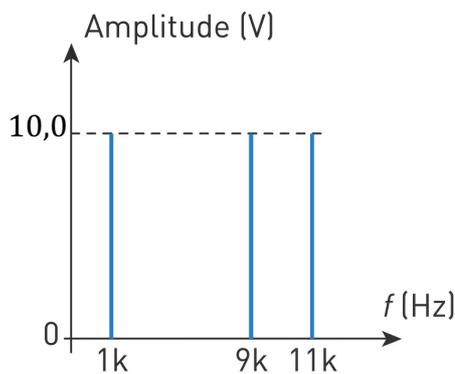
Un technicien utilise comme filtre de lissage le système suivant, composé d'un conducteur ohmique de résistance $R = 12,0 \text{ k}\Omega$.

On donne en annexe 02 le diagramme de Bode en gain de ce système.

- Déterminer la nature du filtrage réalisé par le système. Justifier votre réponse.
- Déterminer graphiquement la fréquence de coupure f_c (à -3 dB) du système. On explicitera la méthode employée grâce à des traits de construction.

On rappelle que l'expression littérale de f_c est la suivante : $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$

- Calculer la valeur de la capacité C du condensateur, en nanofarad, afin d'obtenir la valeur de la fréquence de coupure (à -3 dB) déterminée précédemment.



On applique à l'entrée du filtre une tension $e(t)$ dont le spectre en amplitude est donné ci-contre.

- Déterminer graphiquement la valeur du gain en dB pour chacune des fréquences du spectre de $e(t)$.
- A l'aide de la formule :

$$G_{dB} = 20 \times \log \frac{U_m}{E}$$

Calculer la valeur de l'amplitude U_m du signal de sortie pour chacune des fréquences du spectre de $e(t)$.

- Sur l'annexe 02, tracer l'allure du spectre du signal de sortie.

Exercice 06 : représentation temporelle de signaux et filtrage (autocorrection)

Le diagramme de Bode d'un système est donné en annexe 03.

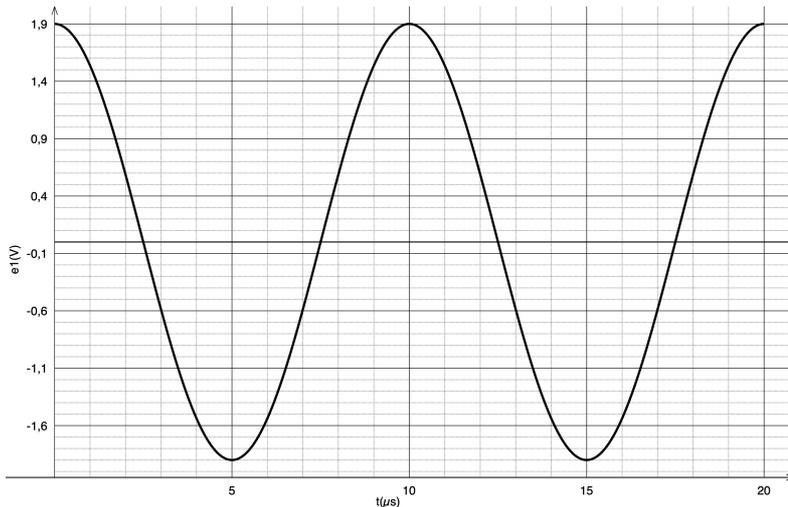
- Déterminer la nature du filtrage réalisé par le système. Justifier.
- Déterminer graphiquement la fréquence de coupure f_c du système.
- Quel est l'ordre du filtre ? Justifier.

Soit $e(t)$ la tension appliquée à l'entrée du filtre. $e(t)$ est un signal sinusoïdal alternatif de fréquence f et d'amplitude E telle que :

$$e(t) = E \cos(\omega t), \text{ avec } \omega = 2\pi f$$

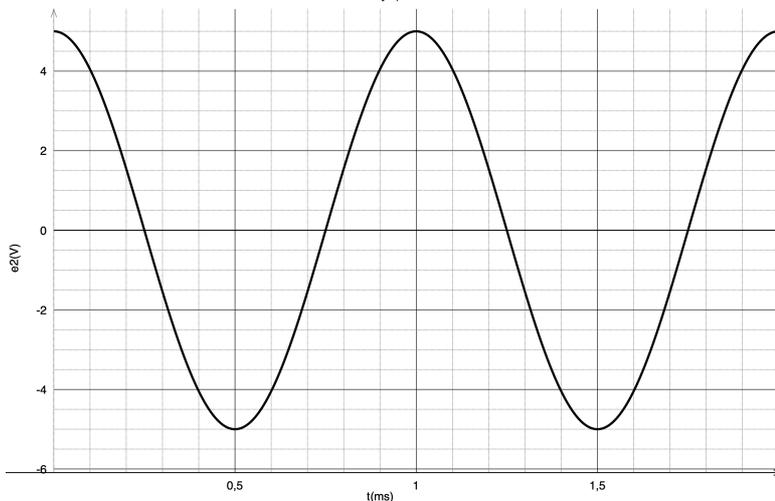
Le signal de sortie $s(t)$ a pour expression :

$$s(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$$

**Premier signal d'entrée :**

Le chronogramme de $e_1(t)$ est donné ci-contre.

4. A l'aide du chronogramme, déterminer l'expression numérique de $e_1(t)$.
5. A l'aide du diagramme de Bode de l'annexe 03, déterminer l'expression numérique du signal de sortie, noté $s_1(t)$.

**Deuxième signal d'entrée :**

Le chronogramme de $e_2(t)$ est donné ci-contre.

6. A l'aide du chronogramme, déterminer l'expression numérique de $e_2(t)$.
7. A l'aide du diagramme de Bode de l'annexe 03, déterminer l'expression numérique du signal de sortie, noté $s_2(t)$.

Principe de superposition :

Le signal d'entrée est maintenant la somme des deux précédents :

$$e(t) = e_1(t) + e_2(t)$$

8. Dessiner l'allure du spectre de $e(t)$, en indiquant les coordonnées de chaque sommet de raie.
9. Dessiner l'allure du spectre de $s(t)$, en indiquant les coordonnées de chaque sommet de raie.

Exercice 07 :

On donne en annexe 04, le diagramme de Bode en gain de plusieurs systèmes (A, B et C). Pour chaque système, répondre aux questions de 1 à 10 :

1. Déterminer la nature du filtrage réalisé par le système. Justifier votre réponse.
2. Déterminer graphiquement la pulsation de coupure ω_c ou la fréquence de coupure f_c du système.
3. Déterminer la bande passante du système et la largeur de la bande passante lorsque c'est possible.
4. Tracer les asymptotes à la courbe du gain.
5. Déterminer la pente en $dB/décade$ pour chaque asymptote.
6. Déterminer la pente en $dB/octave$ pour chaque asymptote de pente non nulle.
7. Donner la représentation symbolique du filtre.
8. Quel est l'ordre du filtre ? Justifier.
9. Déterminer graphiquement la valeur de $G_{0,dB}$.
10. En déduire la valeur de $|T_0|$, en précisant son nom pour le système étudié.

Pour le système B et C uniquement :

11. Déterminer la valeur du facteur de qualité Q du système.

Exercice 08 : un passe-bas qui se comporte comme un passe-bande (autocorrection)

Le diagramme de Bode en gain d'un système linéaire d'ordre 2 est donné en annexe 05. Pour ce système, on suppose que $T_0 > 0$.

1. Une seule des valeurs suivantes correspondent au facteur de qualité du système. Choisir la valeur correcte en justifiant votre choix :

$$Q = 0,100 \text{ ou } Q = 0,700 \text{ ou } Q = 10,0$$

2. Déterminer graphiquement le gain statique $G_{0,dB}$ et calculer l'amplification T_0 de ce système. On précisera le nom donné à T_0 .
3. Déterminer graphiquement la fréquence propre, f_0 du système.
4. À l'aide de la formule suivante, déterminer la valeur de la fréquence de résonance :

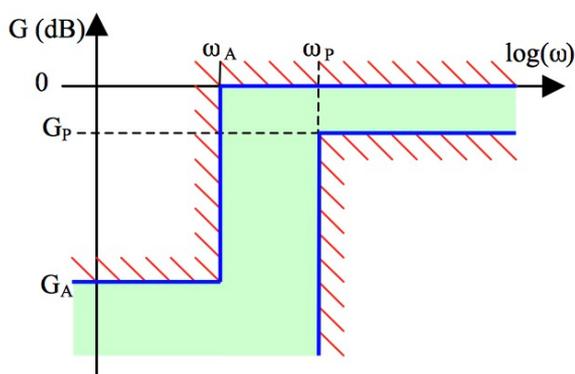
$$f_r = f_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}$$

5. A l'aide du zoom présent en annexe 05, déterminer la valeur de la fréquence de résonance f_r .
6. Les deux valeurs déterminées de f_r sont-elles compatibles ?
7. A l'aide du zoom présent en annexe 05, déterminer graphiquement la largeur de la bande passante Δf du système.
8. Quelle est la nature du filtrage réalisé par le système dans cette gamme de fréquence (celle présente sur le zoom de l'annexe 05) ? On ne justifiera pas sa réponse.
9. Calculer la valeur du facteur de qualité Q du système.
10. La valeur déterminée du facteur de qualité Q est compatible avec celle choisie en question 1 ?

Exercice 09 :

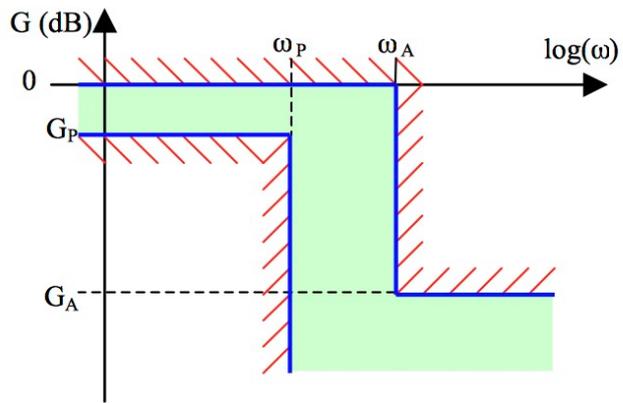
Le diagramme de Bode d'un système est établi par un technicien et est donné en annexe 06. Pour ce système, on suppose que $T_0 > 0$.

1. Déterminer graphiquement la fréquence de coupure f_c du système.
2. Déterminer la bande passante du système.
3. Tracer les asymptotes à la courbe du gain et déterminer leur pente respective, en dB/octave.
4. En déduire l'ordre du système.
5. Déterminer graphiquement la fréquence propre, f_0 du système.
6. Comparer f_0 à f_c : en déduire la valeur du facteur de qualité du système.
7. Déterminer graphiquement le gain $G_{0,dB}$ et calculer l'amplification T_0 de ce système.

Exercice 10 : gabarit d'un passe-haut

Le diagramme de Bode en gain d'un système est donné en annexe 07.

8. Donner la représentation symbolique du filtre étudié ici.
9. Sur l'annexe 07 et à l'aide du graphe ci-contre, tracer le gabarit correspondant à $A(200; -20)$ et $P(4,0 \times 10^3; -5)$.
10. Le système permet-il de remplir le cahier des charges fixé par le gabarit ?

Exercice 11 : gabarit d'un passe-bas

On rappelle l'allure du gabarit pour un filtre passe-bas ci-contre.

11. Sur l'annexe 08 et à l'aide du graphe ci-contre, tracer le gabarit correspondant à $A(10 \times 10^3 ; -50)$ et $P(100 ; -10)$.
12. Le système permet-il de remplir le cahier des charges fixé par le gabarit ?