

TP 17 : Diagramme de Bode d'un système linéaire

Capacités exigibles :

- Savoir identifier la nature d'un filtre à partir de son diagramme de Bode (passe haut, passe-bas, passe bande)
- Connaître et savoir différencier gain statique, gain à la fréquence propre et gain en hautes fréquences
- Savoir déterminer la (ou les) fréquence(s) de coupure à partir de la courbe de gain
- Savoir tracer le diagramme asymptotique (à partir du diagramme de Bode : gain et phase) et l'exploiter pour déterminer la fréquence propre, la pente des asymptotes (en dB/décade et dB/octave), et l'ordre du filtre
- *Mettre en œuvre un protocole expérimental pour déterminer la nature d'un filtre*
- *Mettre en œuvre un protocole expérimental pour déterminer la ou les fréquence(s) de coupure d'un filtre*
- *Mettre en œuvre un protocole expérimental pour relever le diagramme de Bode d'un filtre*

Capacités expérimentales :

- Réaliser un circuit électrique en respectant les consignes de sécurité.
- Réaliser une série d'acquisition grâce à Python
- Utiliser Python afin de simuler le diagramme de Bode.

Nous souhaitons tracer le diagramme de Bode expérimental d'un système linéaire électrique.

Une fois tracé, nous souhaitons déterminer graphiquement les valeurs des grandeurs caractéristiques de ce système en exploitant son diagramme de Bode.

La partie I (pages 1 et 2 du sujet) est à préparer sur feuille double pour la séance de TP et sera ramassée puis notée dès le début du TP.

I. Étude théorique des systèmes linéaires :

A. Nature des filtres :



L'ensemble des notions abordées dans cette partie, sont explicitées dans la vidéo suivante :

« Déterminer la nature du filtrage pour un système électrique »



1. A l'aide de la vidéo, compléter le tableau de l'annexe 0.
2. Déterminer la nature du filtrage réalisé par chaque système (A et B) présent sur l'annexe 01.

B. Obtention des expressions littérales :



L'ensemble des notions abordées dans cette partie, sont explicitées dans la vidéo suivante :

« Comment déterminer la fonction de transfert complexe d'un système ? »



❖ **Système A :**

3. À l'aide de la formule du pont diviseur de tension, démontrer que la transmittance isochrone complexe $\underline{T}(j\omega) = \frac{u_C}{e}$ du système A a pour expression :

$$\underline{T}(j\omega) = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

4. Déterminer l'ordre du système étudié. Justifier votre réponse.
 5. À l'aide de la fiche méthode 25, choisir et écrire la forme canonique (faisant intervenir la pulsation de coupure ω_C) de la transmittance isochrone complexe pour le système étudié. En déduire la nature du filtrage réalisé par le système étudié : retrouve-t-on la même nature que dans la réponse à la question 2 ?
 6. Par identification, déterminer la valeur de T_0 et l'expression de ω_C (la pulsation de coupure à $-3dB$) en fonction de R et C .
 7. En déduire l'expression littérale de la fréquence de coupure f_C , en fonction de R et C .

❖ **Système B :**

8. À l'aide de la formule du pont diviseur de tension, démontrer que la transmittance isochrone complexe $\underline{T}(j\omega) = \frac{u_R}{e}$ du système B a pour expression :

$$\underline{T}(j\omega) = \frac{jRC\omega}{1 + jRC\omega}$$

9. Déterminer l'ordre du système étudié. Justifier votre réponse.
 10. À l'aide de la fiche méthode 25, choisir et écrire la forme canonique (faisant intervenir la pulsation de coupure ω_C) de la transmittance isochrone complexe pour le système étudié. En déduire la nature du filtrage réalisé par le système étudié : retrouve-t-on la même nature que dans la réponse à la question 2 ?
 11. Par identification, déterminer la valeur de T_0 et l'expression de ω_C (la pulsation de coupure à $-3dB$) en fonction de R et C .
 12. En déduire l'expression littérale de la fréquence de coupure f_C , en fonction de R et C .

Afin de vous préparer à l'ensemble des méthodes graphiques que vous allez devoir appliquer durant le TP :



L'ensemble des méthodes graphiques à connaître sont explicitées dans la vidéo :
 « Apprendre à lire le diagramme de Bode d'un système linéaire »



Si vous posez des questions durant la séance de TP, indiquant que la vidéo précédente n'a pas été visionnée, vous perdez les points. Vous pouvez bien sûr faire appel à cette vidéo (sans le son) durant la séance de TP, pour vous aider.

APPEL 0 : Appeler le professeur afin qu'il ramasse et note votre travail.

II. Diagramme expérimental de Bode pour le système A :

A. Tracé du diagramme de Bode :

Pour le système A, on souhaite obtenir expérimentalement :

- la courbe représentant le gain G_{dB} du système, en fonction de la fréquence f du signal d'entrée (courbe représentant la fonction $G_{dB}(f)$)
- la courbe représentant le déphasage φ du signal de sortie par rapport au signal d'entrée, en fonction de la fréquence f (courbe représentant la fonction $\varphi(f)$)

La carte d'acquisition SYSAM-SP5 et un script Python nous permettent d'obtenir ces deux courbes, formant le **diagramme de Bode expérimental du système A**.

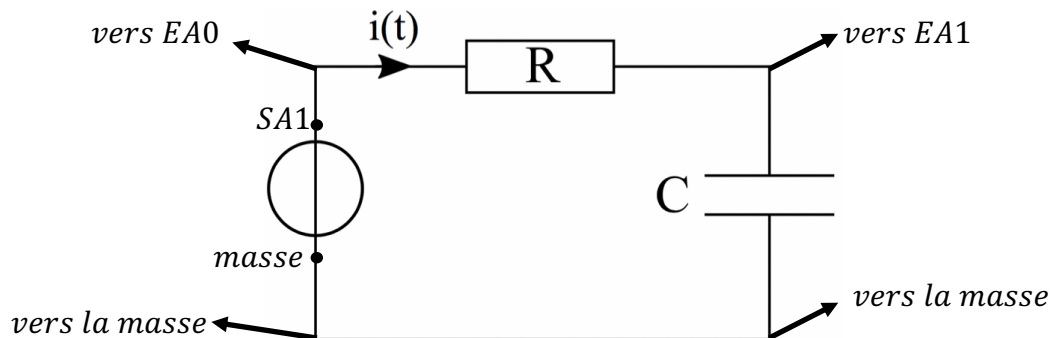
Le système A est constitué d'un conducteur ohmique de résistance $R = 10610 \Omega$ (données constructeurs) et d'un condensateur de capacité $C = 150 \text{ nF}$ (données constructeurs).

1. A l'aide du multimètre MX5060, déterminer les valeurs expérimentales de R et C (sans évaluer d'incertitude-type)
2. Déterminer la valeur expérimentale de la fréquence de coupure $f_C = \frac{1}{2\pi RC}$ du système étudié (en Hz).

APPEL 1 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

Réaliser le système A suivant, constitué d'un conducteur ohmique de résistance $R = 10610 \Omega$ (données constructeurs) et d'un condensateur de capacité $C = 150 \text{ nF}$ (données constructeurs).

ATTENTION : le signal d'entrée, sinusoïdal et alternatif, est délivré par la carte d'acquisition (sortie SA1). Nous n'utiliserons donc pas de GBF.



Ouvrir le logiciel EduPython puis ouvrir le fichier nommé « TP17_passe_bas.py ».

APPEL 2 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

Lancer l'exécution du script.

Ce script permet de générer un signal d'entrée dont la fréquence est comprise entre 10^0 Hz et 10^4 Hz , puis d'acquérir le signal d'entrée sur la voie EA0 et le signal de sortie sur la voie EA1. Le script Python détermine ensuite, pour chaque fréquence du signal d'entrée, le gain G_{dB} et le déphasage φ du signal de sortie par rapport au signal d'entrée. Il trace enfin dans deux fenêtres le diagramme expérimental de Bode du système A.

APPEL 3 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.

Mettre les courbes obtenues **en plein écran**, puis enregistrer au format PDF chacune des courbes obtenues. **Ouvrir et imprimer** les fichiers PDF au format paysage, en ajustant l'échelle du graphe à la feuille.

B. Exploitation du diagramme expérimental de Bode du système A :

❖ **Diagramme expérimental de Bode pour le gain du système A :**

Nature du filtrage :

A l'aide du paragraphe II.B du chapitre 09 :

En étudiant le signe du gain en décibel, noté G_{dB} , répondre aux deux questions suivantes :

3. Pour les basses fréquences du signal d'entrée, le système est-il passeur, atténuateur ou amplificateur ? Justifier.
4. Pour les hautes fréquences du signal d'entrée, le système est-il passeur, atténuateur ou amplificateur ? Justifier.
5. En déduire la nature du filtrage réalisé par le système A.

Fréquence de coupure :

A l'aide du paragraphe II.C du chapitre 09 :

6. A l'aide des outils graphiques sur Python, déterminer graphiquement, la valeur expérimentale de la fréquence de coupure f_c du système (sans évaluer d'incertitude)
7. Sur votre impression, faire apparaître les traits de constructions au crayon à papier, permettant de déterminer la valeur expérimentale de la fréquence de coupure f_c du système.
8. En déduire la largeur de la bande passante du système, notée Δf .
9. La valeur expérimentale calculée de f_c (Q2) est-elle compatible avec la valeur expérimentale déterminée graphiquement (Q6) ? On ne calculera ni z-score ni écart normalisé.

Aide pour la suite : les pentes des asymptotes sont des multiples entiers de 20.

Asymptote à hautes fréquences :

A l'aide du paragraphe II.D du chapitre 09 :

10. Tracer, sur votre impression, au crayon à papier, l'asymptote à hautes fréquences de la courbe $G_{dB}(f)$.
On pourra faire appel à l'enseignant pour qu'il vérifie votre tracé d'asymptote
11. Sur votre impression, déterminer graphiquement la valeur approchée du gain $G_{dB}(100 \text{ Hz})$ **sur l'asymptote.**
12. Sur votre impression, déterminer graphiquement la valeur approchée du gain $G_{dB}(1000 \text{ Hz})$ **sur l'asymptote.**
13. Pour l'asymptote, en déduire la variation du gain, lorsque la fréquence est multipliée par 10 (l'intervalle de fréquence est alors nommé « décade »)
14. En déduire la pente de l'asymptote à hautes fréquences, en $dB/décade$.

A l'aide du paragraphe II.E du chapitre 09 :

15. En déduire l'ordre du système étudié. Justifier votre réponse.

APPEL 4 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

Asymptote à basses fréquences :

Tracer au crayon à papier, l'asymptote à la courbe $G_{dB}(f)$ à basses fréquences.

On pourra faire appel à l'enseignant pour qu'il vérifie votre tracé d'asymptote

16. Sur votre impression, déterminer graphiquement la valeur approchée du gain $G_{dB}(10 \text{ Hz})$ **sur l'asymptote.**
17. Sur votre impression, déterminer la valeur approchée du gain $G_{dB}(100 \text{ Hz})$ **sur l'asymptote.**
18. Pour l'asymptote, en déduire la variation du gain lorsque la fréquence est multipliée par 10.
19. En déduire la pente de l'asymptote à basses fréquences, en $dB/décade$.

Valeur absolue de l'amplification statique $|T_0|$:

A l'aide du paragraphe II.F du chapitre 09 :

20. Sur votre impression, déterminer graphiquement la valeur du gain statique $G_{0,dB}$ pour le système étudié.
21. A l'aide d'un calcul, en déduire la valeur expérimentale absolue de l'amplification statique $|T_0|$ de ce système. En déduire la valeur expérimentale de l'amplification statique T_0 sachant que T_0 est positif.
22. La valeur théorique de $T_0 = 1$ est-elle compatible avec sa valeur expérimentale ? On ne calculera ni z-score ni écart normalisé.

❖ **Diagramme expérimental de Bode pour le déphasage du système A :**

A l'aide du paragraphe II.G du chapitre 09 :

23. Sur votre impression, déterminer les valeurs approchées du déphasage à basses fréquences φ_{BF} et du déphasage à hautes fréquences φ_{HF} .
24. En déduire la valeur de la variation maximale du déphasage $\Delta\varphi = |\varphi_{BF} - \varphi_{HF}|$: on fera apparaître à l'aide d'une double flèche $\Delta\varphi$ sur votre impression.
25. A l'aide des outils de Python, déterminer la valeur du déphasage à la fréquence de coupure f_c .

APPEL 5 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

III. Simulation du diagramme de Bode pour le système A :

A. Tracé du diagramme de Bode :

A l'aide de Python, on souhaite modéliser le diagramme de Bode du système A. On rappelle que la forme canonique de la transmittance $\underline{T}(jf)$ de ce système est :

$$\underline{T}(jf) = \frac{T_0}{1 + j \frac{f}{f_c}}$$

Ouvrir le fichier nommé « TP17_passe_bas_simulation.py ».

Rappels/aide pour compléter le script :

L'argument de la transmittance isochrone complexe $\underline{T}(jf)$ correspond au déphasage φ du signal de sortie par rapport à l'entrée, pour la fréquence f étudiée.

Le gain en décibel G_{dB} pour un système linéaire est défini ainsi :

$$G_{dB} = 20 \times \log|\underline{T}(jf)|$$

On souhaite tracer 1000 points sur chaque graphe théorique. Le module d'un nombre complexe se détermine à l'aide de la fonction `np.abs()` et l'argument à l'aide de la fonction `np.angle()`. Le nombre complexe j se code par « `1j` ». La fonction `log` se rédige « `np.log10()` ». La fonction puissance se rédige « `**` ». Compléter les lignes vides de ce script à l'aide des commentaires présents sur chacune des lignes. Lancer l'exécution du code.

APPEL 6 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

Mettre les **courbes obtenues en plein écran**, puis enregistrer au format PDF chacune des courbes obtenues. **Ouvrir et imprimer les fichiers PDF** au format paysage, en ajustant l'échelle du graphe à la feuille.

B. Exploitation du diagramme de Bode du système A :❖ **Diagramme théorique de Bode pour le gain du système A :**Fréquence de coupure :

26. A l'aide des outils graphiques sur Python, déterminer graphiquement, la valeur obtenue par simulation de la fréquence de coupure f_C du système.

Sur votre impression, faire apparaître les traits de constructions au crayon à papier, permettant de déterminer la valeur expérimentale de la fréquence de coupure f_C du système.

27. La valeur calculée de f_C est-elle compatible avec sa valeur déterminée graphiquement par simulation ? On ne calculera ni z-score ni écart normalisé.

Asymptote à hautes fréquences :

28. Tracer au crayon à papier, l'asymptote à la courbe $G_{dB}(f)$ à hautes fréquences.

29. Déterminer la valeur de la pente de l'asymptote à hautes fréquences, en $dB/octave$.

Asymptote à basses fréquences :

30. Tracer au crayon à papier, l'asymptote à la courbe $G_{dB}(f)$ à basses fréquences.

31. Déterminer la valeur de la pente de l'asymptote à basses fréquences, en $dB/octave$.

Valeur absolue de l'amplification statique $|T_0|$:

32. Sur votre impression, déterminer graphiquement la valeur du gain statique $G_{0,dB}$ pour le système étudié.

33. A l'aide d'un calcul, en déduire la valeur absolue de l'amplification statique $|T_0|$ de ce système. En déduire la valeur expérimentale de l'amplification statique T_0 sachant que T_0 est positif.

34. La valeur calculée de T_0 est-elle compatible avec sa valeur déterminée graphiquement ? On ne calculera ni z-score ni écart normalisé.

❖ **Diagramme théorique de Bode pour le déphasage du système A :**

35. Sur votre impression, déterminer la valeur du déphasage à basses fréquences φ_{BF} et sa valeur à hautes fréquences φ_{HF} .

36. En déduire la valeur de la variation maximale du déphasage $\Delta\varphi = |\varphi_{BF} - \varphi_{HF}|$: on fera apparaître à l'aide d'une double flèche $\Delta\varphi$ sur votre impression.

37. Sur votre impression, déterminer la valeur du déphasage à la fréquence de coupure f_C . On fera apparaître les traits de constructions.

APPEL 7 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

IV. Diagramme expérimental de Bode pour le système B :

A. Tracé du diagramme de Bode :

Pour le système B, on souhaite obtenir expérimentalement :

- la courbe représentant le gain G_{dB} du système, en fonction de la fréquence f du signal d'entrée (courbe représentant la fonction $G_{dB}(f)$)
- la courbe représentant le déphasage φ du signal de sortie par rapport au signal d'entrée, en fonction de la fréquence f (courbe représentant la fonction $\varphi(f)$)

La carte d'acquisition SYSAM-SP5 et un script Python nous permettent d'obtenir ces deux courbes, formant le **diagramme de Bode expérimental du système B**.

Le système B est constitué d'un conducteur ohmique de résistance $R = 2122 \Omega$ (données constructeurs) et d'un condensateur de capacité $C = 150 \text{ nF}$ (données constructeurs).

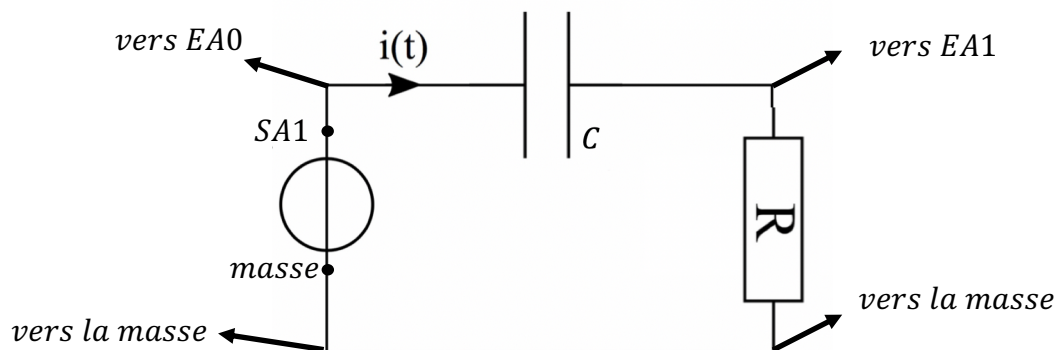
38. A l'aide du multimètre MX5060, rédiger les mesurages des grandeurs de R et C .

39. Rédiger le mesurage de la valeur de la fréquence de coupure $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ du système étudié (en Hz). On déterminera l'incertitude-type $u(f_c)$ à l'aide de la formule suivante :

$$u(f_c) = f_c \times \sqrt{\left(\frac{u(R)}{R}\right)^2 + \left(\frac{u(C)}{C}\right)^2}$$

Réaliser le système suivant, constitué d'un conducteur ohmique de résistance $R = 2122 \Omega$ (données constructeurs) et d'un condensateur de capacité $C = 150 \text{ nF}$ (données constructeurs).

ATTENTION : le signal d'entrée, sinusoïdal et alternatif, est délivré par la carte d'acquisition (sortie SA1). Nous n'utiliserons donc pas de GBF.



Ouvrir le logiciel EduPython puis ouvrir le fichier nommé « TP17_passe_haut.py ».

Ce script permet de générer un signal d'entrée dont la fréquence est comprise entre $10^{1.2} \text{ Hz}$ et 10^4 Hz , puis d'acquérir le signal d'entrée sur la voie EA0 et le signal de sortie sur la voie EA1. Le script Python détermine ensuite, pour chaque fréquence du signal d'entrée, le gain G_{dB} et le déphasage φ du signal de sortie par rapport au signal d'entrée.

Il trace enfin dans deux fenêtres le diagramme expérimental de Bode du système B.

APPEL 8 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.

Lancer l'exécution du script.

Mettre les courbes obtenues **en plein écran**, puis enregistrer au format PDF chacune des courbes obtenues. **Ouvrir et imprimer** les fichiers PDF au format paysage, en ajustant l'échelle du graphe à la feuille.

APPEL 9 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.

B. Exploitation du diagramme expérimental de Bode du système B :

40. Déterminer la nature du filtrage réalisé par le système, en justifiant votre réponse.
41. Déterminer graphiquement la valeur expérimentale de la fréquence de coupure f_c .
42. Évaluer la demi-étendue pour le mesurage de f_c puis rédiger ce nouveau mesurage de f_c
43. Comparer la valeur calculée de f_c à sa valeur déterminée graphiquement : sont-elles compatibles ?
44. Déterminer graphiquement les valeurs expérimentales de : la largeur de la bande passante du système Δf , la valeur de la pente de l'asymptote à hautes fréquences, en $dB/décade$, la valeur de la pente de l'asymptote à basses fréquences, en $dB/décade$, la valeur de la pente de l'asymptote à hautes fréquences, en $dB/octave$, la valeur de la pente de l'asymptote à basses fréquences, en $dB/octave$ et de l'amplification à hautes fréquences $|T_0|$ du système B.
45. Déterminer l'ordre du système étudié. Justifier votre réponse.

APPEL 10 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.

V. Diagramme théorique de Bode pour le système B :

A. Tracé du diagramme de Bode :

A l'aide de Python, on souhaite simuler le diagramme de Bode du système B. On rappelle que la forme canonique de la transmittance $\underline{T}(jf)$ de ce système est :

$$\underline{T}(jf) = \frac{T_0 \times j \frac{f}{f_c}}{1 + j \frac{f}{f_c}}$$

Ouvrir le fichier nommé « TP17_passe_haut_simulation.py ».

On souhaite tracer 1000 points sur chaque graphe théorique. Le module d'un nombre complexe se détermine à l'aide de la fonction `np.abs()` et l'argument à l'aide de la fonction `np.angle()`. Le nombre complexe j se code par « `1j` ». La fonction log se rédige « `np.log10()` ». La fonction puissance se rédige « `**` ». Compléter les lignes vides de ce script à l'aide des commentaires présents sur chacune des lignes. Lancer l'exécution du code.

APPEL 11 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

Mettre les **courbes obtenues en plein écran**, puis enregistrer au format PDF chacune des courbes obtenues. **Ouvrir et imprimer les fichiers PDF** au format paysage, en ajustant l'échelle du graphe à la feuille.

B. Exploitation du diagramme théorique de Bode du système B :**❖ Diagramme théorique de Bode pour le gain du système B :**

46. Déterminer graphiquement les valeurs de : la fréquence de coupure f_c , la largeur de la bande passante du système Δf , la valeur de la pente de l'asymptote à hautes fréquences, en $dB/décade$, la valeur de la pente de l'asymptote à basses fréquences, en $dB/décade$, la valeur de la pente de l'asymptote à hautes fréquences, en $dB/octave$, la valeur de la pente de l'asymptote à basses fréquences, en $dB/octave$ et de l'amplification à hautes fréquences $|T_0|$ du système B.
47. Déterminer l'ordre du système étudié. Justifier votre réponse.
48. Vos résultats obtenus par simulation sont-ils compatibles avec leur valeur déterminée expérimentalement ? On ne calculera ni z-score ni écart normalisé.

APPEL 12 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.