

TP 17 : Diagramme de Bode d'un système linéaire

Capacités exigibles :

- Exploiter la réponse fréquentielle d'un système linéaire pour identifier ses paramètres caractéristiques (amplification, facteur de qualité, ordre).

Capacités expérimentales :

- Réaliser un circuit électrique en respectant les consignes de sécurité.
- Utiliser Python afin de tracer des courbes théoriques.
- Réaliser une série d'acquisition grâce à Python
- Réalisation de diagramme de Bode à l'aide de la carte SYSAM-SP5

Nous souhaitons tracer le diagramme de Bode expérimental puis théorique, d'un système linéaire électrique. Une fois tracé, nous souhaitons déterminer graphiquement les grandeurs caractéristiques (expérimentales puis théoriques) de ce système en exploitant son diagramme de Bode.

La partie I (pages 1 et 2) 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 :



Visualiser la vidéo suivante :
« Chapitre 08 – 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 théoriques :



Visualiser la vidéo suivante :
« Chapitre 08 – Déterminer la transmittance isochrone complexe d'un système électrique »

❖ Système A :

3. À l'aide de la formule du pont diviseur de tension, démontrer que la transmittance isochrone complexe du système A a pour expression :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{u_C}{e} = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

4. Déterminer l'ordre du système étudié. Justifier votre réponse.
5. À l'aide de la fiche méthode 11, 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 H_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 .

8. A l'aide du *chapitre 9, paragraphes I.A et I.C*, en utilisant la forme canonique de $\underline{H}(j\omega)$, démontrer que, pour le système étudié, l'expression littérale du gain G_{dB} , en fonction de ω est :

$$G_{dB}(\omega) = 20 \times \log \frac{H_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}}$$

9. En déduire que, pour le système étudié, l'expression littérale du gain G_{dB} , en fonction de f est :

$$G_{dB}(f) = 20 \times \log \frac{H_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}}$$

❖ **Système B :**

10. À l'aide de la formule du pont diviseur de tension, démontrer que la transmittance isochrone complexe du système B a pour expression :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{u_R}{\underline{e}} = \frac{jRC\omega}{1 + jRC\omega}$$

11. Déterminer l'ordre du système étudié. Justifier votre réponse.
 12. À l'aide de la fiche méthode 11, 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 ?
 13. Par identification, déterminer la valeur de H_0 et l'expression de ω_c (la pulsation de coupure à $-3dB$) en fonction de R et C .
 14. En déduire l'expression littérale de la fréquence de coupure f_c , en fonction de R et C .
 15. A l'aide du *chapitre 9, paragraphes I.A et I.C*, en utilisant la forme canonique de $\underline{H}(j\omega)$, démontrer que, pour le système étudié, l'expression littérale du gain G_{dB} , en fonction de ω est :

$$G_{dB}(\omega) = 20 \times \log \frac{H_0 \frac{\omega}{\omega_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}}$$

16. En déduire que, pour le système étudié, l'expression littérale du gain G_{dB} , en fonction de f est :

$$G_{dB}(f) = 20 \times \log \frac{H_0 \frac{f}{f_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}}$$

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



Visualiser la vidéo suivante :
 « Chapitre 09 – Exploiter 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 d'un graphe.

APPEL 1 : Appeler le professeur afin qu'il valide 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 $\varphi(f)$)

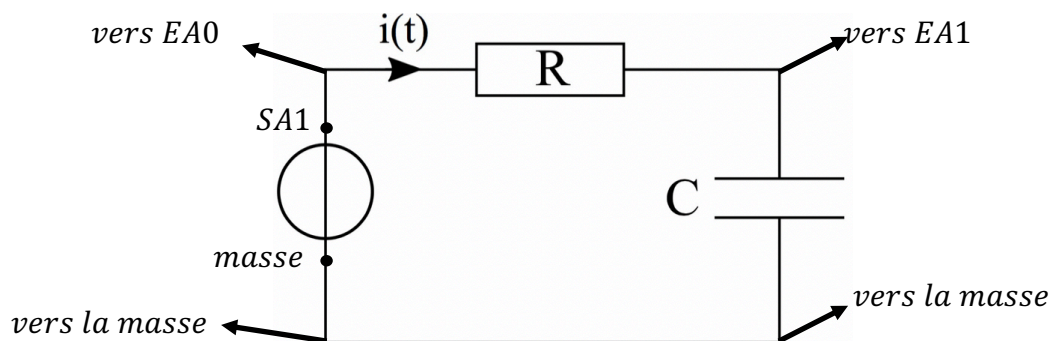
La carte d'acquisition SYSAM-SP5 et un script Python nous permettent d'obtenir ces deux courbes, formant le **diagramme de Bode expérimental du système A**.

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 d'un multimètre et de la *fiche méthode expérimentale 03*, mesurer et noter les valeurs de R et C .
2. A l'aide de vos mesures, déterminer la valeur de la fréquence de coupure $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ du système étudié (en Hz). On respectera les règles concernant les chiffres significatifs.

A l'aide de la *fiche méthode expérimentale 06*, connecter la carte d'acquisition SYSAM-SP5 et 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.



A l'aide de la *fiche méthode expérimentale 05*, ouvrir le logiciel PYZO (version 3.6) puis ouvrir le fichier nommé « TP17_passe_bas.py ».

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

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.

Lancer l'exécution du script.

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 :

Lire le paragraphe I.A du chapitre 9.

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 :

Lire le paragraphe II.B du chapitre 9.

6. A l'aide des outils graphiques sur Python, déterminer graphiquement, la valeur expérimentale 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.
7. En déduire la largeur de la bande passante du système, notée Δf .
8. Comparer la valeur théorique (calculée) de f_c à sa valeur expérimentale. Conclure sur la pertinence de la méthode graphique employée, à l'aide d'un écart relatif.

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

Asymptote à hautes fréquences :

Lire le paragraphe II.C du chapitre 9.

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

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

Asymptote à basses fréquences :

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

Valeur absolue de l'amplification statique $|H_0|$:

Lire le paragraphe II.D du chapitre 9.

19. Sur votre impression, déterminer graphiquement la valeur du gain statique $G_{0,dB}$ pour le système étudié.
20. A l'aide d'un calcul, en déduire la valeur expérimentale absolue de l'amplification statique $|H_0|$ de ce système. En déduire la valeur expérimentale de l'amplification statique H_0 sachant que H_0 est positif.

21. Comparer la valeur théorique de $H_0 = 1$ à sa valeur expérimentale. Conclure sur la pertinence de la méthode graphique employée, à l'aide d'un écart relatif.

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

Lire le paragraphe II.E du chapitre 9.

22. Sur votre impression, déterminer les valeurs approchées du déphasage à basses fréquences φ_{BF} et du déphasage à hautes fréquences φ_{HF} .

23. 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.

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

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. Diagramme théorique de Bode pour le système A :

A. Tracé du diagramme de Bode :

A l'aide de Python, on souhaite tracer le diagramme de Bode théorique du système A. On rappelle que la forme canonique de la transmittance $\underline{H}(jf)$ de ce système est :

$$\underline{H}(jf) = \frac{H_0}{1 + j \frac{f}{f_C}}$$

Ouvrir le fichier nommé « TP17_passe_bas_simulation.py ».

Rappels/aide pour compléter le script :

L'argument de la transmittance isochrone complexe $\underline{H}(jf)$ 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 :

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

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 théorique 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 théorique 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. Comparer la valeur théorique calculée de f_C à sa valeur théorique déterminée graphiquement. Conclure à l'aide d'un écart relatif.

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 $dB/décade$.

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 $dB/décade$.

Valeur absolue de l'amplification statique $|H_0|$:

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 expérimentale absolue de l'amplification statique $|H_0|$ de ce système. En déduire la valeur expérimentale de l'amplification statique H_0 sachant que H_0 est positif.
34. Comparer la valeur théorique de $H_0 = 1$ à sa valeur expérimentale. Conclure sur la pertinence de la méthode graphique employée, à l'aide d'un écart relatif.

❖ **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.

Compléter (à l'aide des valeur théoriques) alors l'annexe 02 du TP 17 (colonne système A uniquement).

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 $\varphi(f)$)

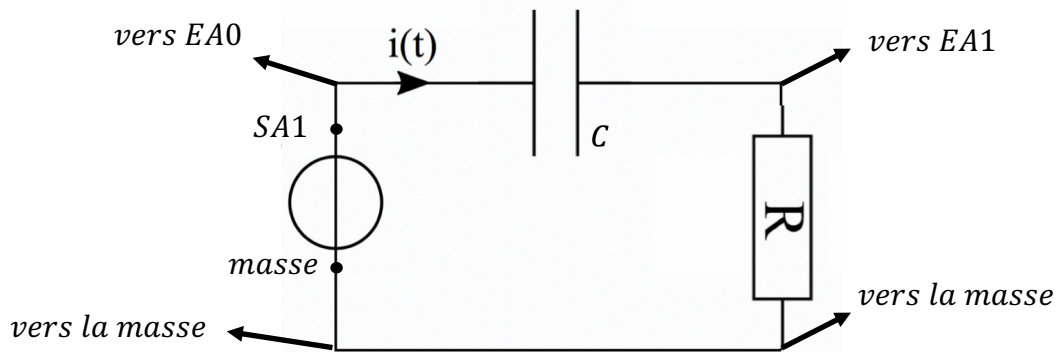
La carte d'acquisition SYSAM-SP5 et un script Python nous permettent d'obtenir ces deux courbes, formant le **diagramme de Bode expérimental du système B**.

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

38. A l'aide d'un multimètre et de la *fiche méthode expérimentale 03*, mesurer et noter les valeurs de R et C

A l'aide de la *fiche méthode expérimentale 06*, connecter la carte d'acquisition SYSAM-SP5 et réaliser le système suivant, constitué d'un conducteur ohmique de résistance $R = 2122 \Omega$ (données constructeurs) et d'un condensateur de capacité $C = 150 nF$ (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.



A l'aide de la *fiche méthode expérimentale 05*, ouvrir le logiciel PYZO 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 :

❖ Diagramme expérimental de Bode pour le gain du système B :

39. Déterminer graphiquement les valeurs expérimentales 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 $dB/décade$ et de l'amplification à hautes fréquences $|H_0|$ du système B.

❖ Diagramme expérimental de Bode pour le déphasage du système B :

40. 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 tracer le diagramme de Bode théorique du système B. On rappelle que la forme canonique de la transmittance $\underline{H}(jf)$ de ce système est :

$$\underline{H}(jf) = \frac{H_0 \times j \frac{f}{f_c}}{1 + j \frac{f}{f_c}}$$

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 :**

41. Déterminer graphiquement les valeurs théoriques 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 $dB/décade$ et de l'amplification à hautes fréquences $|H_0|$ du système B.
42. Conclure à l'aide d'écart-relatifs, pour chaque grandeur caractéristique mesurée.

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

43. Déterminer l'ordre du système étudié. Justifier votre réponse.

Compléter (à l'aide des valeur théoriques) alors l'annexe 02 du TP 17 (colonne système B uniquement).

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