

TP 18 : 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.

Travail préparatoire (à faire à la maison) :



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

« Déterminer la nature du filtrage pour un système électrique »



A l'aide de la vidéo et du *chapitre 07 paragraphe III*, répondre à la question suivante :

0. Grâce à une étude à basses fréquences et à hautes fréquences des systèmes proposés, déterminer en complétant l'annexe 01, la nature du filtrage réalisé par chacun des systèmes proposés.



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 avez 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 0 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

L'objectif de la séance est d'obtenir et d'exploiter les diagrammes de Bode de systèmes passifs d'ordre 2.

I. Diagramme de Bode d'un système C :

A. Tracé expérimental du diagramme de Bode :

Le système est constitué d'un conducteur ohmique de résistance $R_1 = 250 \Omega$ (données constructeurs), d'un condensateur de capacité $C = 253 \text{ nF}$ (données constructeurs), d'une bobine d'inductance $L = 0,1 \text{ H}$ et de résistance interne $R_2 = 36 \Omega$ (données constructeurs).

1. A l'aide du multimètre MX5060 et du RLC-mètre, mesurer R_1 , R_2 , L et C et noter leur valeur (on n'évaluera pas les incertitudes).
2. A l'aide de vos mesures et des formules suivantes, déterminer la valeur de la fréquence propre du système, notée f_0 (en Hz) et du facteur de qualité Q du système. On respectera les règles concernant les chiffres significatifs.

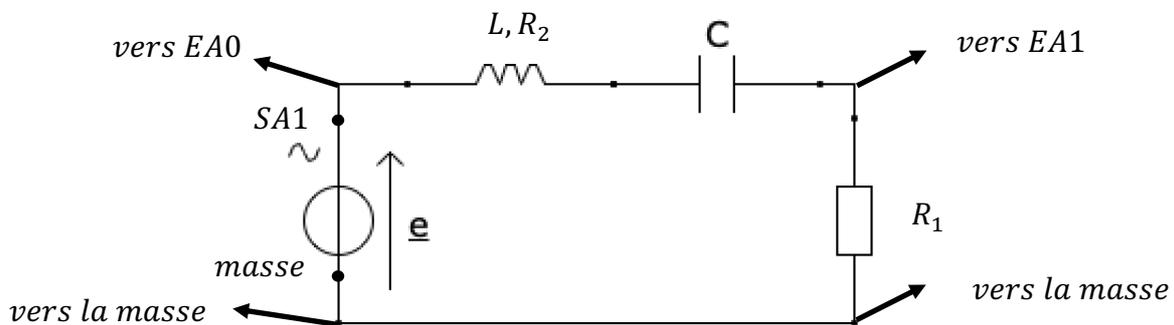
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{et} \quad Q = \frac{1}{R_1 + R_2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

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

On souhaite maintenant obtenir les courbes $G_{dB}(f)$ et $\varphi(f)$ expérimentalement pour ce système, en les traçant à l'aide de code Python et la carte d'acquisition SYSAM-SP5.

Réaliser le système suivant, constitué d'un conducteur ohmique de résistance $R_1 = 250 \Omega$ (données constructeurs), d'un condensateur de capacité $C = 253 \text{ nF}$ (données constructeurs), d'une bobine d'inductance $L = 0,1 \text{ H}$ et de résistance interne $R_2 = 36 \Omega$ (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 « TP18_passe_bande.py ».

Ce script permet de générer un signal d'entrée dont la fréquence est comprise entre 10^2 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.

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

Lancer l'exécution du script. Une fois le diagramme obtenu, réaliser l'appel suivant.

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 :

❖ **Diagramme expérimental de Bode pour le gain :**

Nature du filtrage :

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

3. En étudiant le signe du gain en décibel, noté G_{dB} , déterminer la nature du filtrage réalisé puis vérifier que le résultat est identique à celui de l'annexe 01.

Fréquences de coupure :

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

4. A l'aide des outils graphiques sur Python, déterminer graphiquement les valeurs expérimentales des fréquences de coupure, notées $f_{c,min}$ et $f_{c,max}$. On fera apparaître sur son impression, au crayon à papier, les traits de construction expliquant vos mesures.
5. En déduire la bande passante et la largeur de la bande passante du système, notée Δf .

Asymptote à basses fréquences :

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

6. Tracer, sur votre impression, au crayon à papier, l'asymptote à la courbe $G_{dB}(f)$ à basses fréquences.
7. Déterminer la valeur approchée de la pente de l'asymptote à basses fréquences, en $dB/octave$.

Asymptote à hautes fréquences :

8. Tracer, sur votre impression, au crayon à papier, l'asymptote à la courbe $G_{dB}(f)$ à hautes fréquences.
9. Déterminer la valeur approchée de la pente de l'asymptote à hautes fréquences, en $dB/octave$.

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

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

Fréquence propre :

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

11. Déterminer, sur votre impression, graphiquement, la valeur de la fréquence propre du système f_0 . On fera apparaître les traits de constructions.
12. On appelle aussi la fréquence propre, « fréquence centrale » : justifier ce nom.

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

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

13. A l'aide des outils graphiques sur Python, déterminer graphiquement la valeur du gain $G_{0,dB}$ pour le système étudié et préciser son nom.

Sachant que T_0 est positif :

14. A l'aide d'un calcul, en déduire l'amplification T_0 de ce système et préciser son nom.

La modélisation de ce système conduit à la formule suivante :

$$T_0 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

15. La valeur obtenue par modélisation de T_0 est-elle compatible avec sa valeur expérimentale ? On ne calculera ni z-score ni écart normalisé.

❖ Diagramme expérimental de Bode pour le déphasage :

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

16. Sur votre impression, déterminer les valeurs approchées du déphasage à basses fréquences φ_{BF} et du déphasage à hautes fréquences φ_{HF} . 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.
17. A l'aide des outils de Python, déterminer la valeur du déphasage à la fréquence centrale f_0 .

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

C. Bande passante du système :

18. Calculer la valeur expérimentale de $Q = \frac{f_0}{\Delta f}$ en précisant son unité et en veillant à respecter les chiffres significatifs.
19. La valeur obtenue par modélisation de Q est-elle compatible avec sa valeur expérimentale ? On ne calculera ni z-score ni écart normalisé.

Sur le système, régler le conducteur ohmique sur $R_1 = 50 \Omega$ et ouvrir dans EduPython, le fichier nommé « TP18_passe_bande_bande_passante.py ». Lancer l'exécution du script.

20. Calculer la valeur théorique du facteur de qualité Q pour $R_1 = 50 \Omega$ (sans effectuer la mesure de R_1).
21. Déterminer graphiquement la largeur de la bande passante du système, notée $\Delta f'$. Noter sa valeur.
22. Recopier et compléter la phrase suivante : « Pour un passe-bande d'ordre 2, plus le facteur de qualité augmente, plus la bande passante est ... »

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

II. Diagramme de Bode d'un système A :

A. Tracé théorique du diagramme de Bode :

A l'aide de PYTHON, on souhaite tracer le diagramme de Bode d'un système passe-bas d'ordre 2 pour différentes valeurs du facteur de qualité :

$$T_0 = 1 ; f_0 = 1000 \text{ Hz et } Q = 0.500 \text{ puis } 0.707 \text{ et } 10,0$$

On rappelle que la forme canonique de la transmittance $\underline{T}(jf)$ d'un système passe-bas d'ordre 2 est :

$$\underline{T}(jf) = \frac{T_0}{1 - \frac{f^2}{f_0^2} + j \frac{f}{Qf_0}}$$

Dans le logiciel EduPython , ouvrir le fichier nommé « TP18_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 5000 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 pour $Q = 0,500$:

❖ Diagramme théorique de Bode pour le gain :

Fréquence de coupure :

23. A l'aide des outils graphiques de Python, déterminer graphiquement la valeur expérimentale de la fréquence de coupure, notée f_C . 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.

24. A-t-on ici $f_C = f_0$?

25. En déduire la bande passante et la largeur de la bande passante du système, notée Δf .

Asymptote à basses fréquences :

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

27. Déterminer graphiquement la pente de l'asymptote à basses fréquences, en $dB/décade$.

Asymptote à hautes fréquences :

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

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

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

Fréquence propre :

31. Déterminer graphiquement la valeur de f_0 . On fera apparaître les traits de constructions sur son impression.

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 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.

❖ Diagramme théorique de Bode pour le déphasage :

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

35. A l'aide des outils graphiques sur Python, déterminer la valeur du déphasage à la fréquence propre f_0 .

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

C. Tracé et exploitation du diagramme pour $Q = 0,707$:

Dans le script PYTHON, mettre la valeur du facteur de qualité à 0,707 et changer les titres des deux graphes dans la fonction `plt.title()` . Lancer l'exécution du script.

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

Mettre la **courbe du gain uniquement en plein écran**, puis enregistrer au format PDF cette courbe. **Ouvrir et imprimer le fichier PDF** au format paysage, en ajustant l'échelle du graphe à la feuille.

Fréquence de coupure et fréquence propre :

36. A l'aide des outils graphiques de Python, déterminer graphiquement la valeur expérimentale de la fréquence de coupure, notée f_c . 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.
37. Tracer sur votre impression, les asymptotes à basses et hautes fréquences et en déduire graphiquement la valeur de f_0 .
38. A-t-on ici $f_c = f_0$?

Pentes des asymptotes :

39. Déterminer graphiquement la pente de l'asymptote à basses fréquences, en *dB/décade*.
40. Déterminer graphiquement la pente de l'asymptote à hautes fréquences, en *dB/décade*.

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

D. Tracé et exploitation du diagramme pour $Q = 10,0$:

Dans le script PYTHON, mettre la valeur du facteur de qualité à 10,0 puis changer les titres des deux graphes dans la fonction `plt.title()` . Lancer l'exécution du script.

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

Mettre la **courbe du gain uniquement en plein écran**, puis enregistrer au format PDF cette courbe. **Ouvrir et imprimer le fichier PDF** au format paysage, en ajustant l'échelle du graphe à la feuille.

Fréquence de coupure :

41. Quel phénomène apparait ici ?
42. A l'aide outils graphiques de Python (fonction LOUPE surtout !), déterminer graphiquement les valeurs des fréquences de coupure, notées $f_{c,min}$ et $f_{c,max}$
43. En déduire la largeur de la bande passante du système, notée Δf .
44. Quelle est la nature du filtrage réalisé par ce système passe-bas d'ordre 2 lorsque $Q > 0,707$?

Pentes des asymptotes :

45. Tracer sur votre impression, les asymptotes à basses et hautes fréquences et en déduire graphiquement la valeur de f_0 .
46. Déterminer graphiquement la pente de l'asymptote à basses fréquences, en *dB/décade*.
47. Déterminer graphiquement la pente de l'asymptote à hautes fréquences, en *dB/décade*.
48. Les pentes des asymptotes semblent-elles dépendre de la valeur du facteur de qualité du système ?

Fréquence de résonance :

49. A l'aide outils graphiques de Python (fonction LOUPE surtout !), déterminer graphiquement la valeur de la fréquence de résonance, notée f_r .
50. Vérifier que $f_r \approx f_0$.

APPEL 11 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.III. Diagramme de Bode d'un système passe-haut d'ordre 2 :A. Tracé théorique du diagramme de Bode :

A l'aide de PYTHON on souhaite tracer le diagramme de Bode théorique d'un système passe-haut d'ordre 2 pour différentes valeurs du facteur de qualité :

$$T_0 = 1 ; f_0 = 1000 \text{ Hz et } Q = 0.500 \text{ puis } 0.707 \text{ et } 10,0$$

On rappelle que la forme canonique de la transmittance $\underline{T}(jf)$ d'un système passe-haut d'ordre 2 est :

$$\underline{T}(jf) = \frac{-\frac{f^2}{f_0^2} \times T_0}{1 - \frac{f^2}{f_0^2} + j \frac{f}{Qf_0}}$$

Ouvrir le fichier nommé « TP18_passe_haut_simulation.py ». On souhaite tracer 5000 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.

Lancer l'exécution du code.

APPEL 12 : 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 pour $Q = 0,500$:❖ **Diagramme théorique de Bode pour le gain :**Fréquence de coupure :

51. A l'aide des outils graphiques de Python, déterminer graphiquement la valeur expérimentale de la fréquence de coupure, notée f_c . 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.
52. A-t-on ici $f_c = f_0$?
53. En déduire la largeur de la bande passante du système, notée Δf .

Asymptote à basses fréquences :

54. Tracer, sur votre impression, au crayon à papier, l'asymptote à la courbe $G_{dB}(f)$ à basses fréquences.
55. Déterminer graphiquement la pente de l'asymptote à basses fréquences, en *dB/octave*.

Asymptote à hautes fréquences :

56. Tracer, sur votre impression, au crayon à papier, l'asymptote à la courbe $G_{dB}(f)$ à hautes fréquences.
 57. Déterminer graphiquement la pente de l'asymptote à hautes fréquences, en $dB/octave$.

Fréquence propre :

58. Déterminer graphiquement la valeur de f_0 . On fera apparaître les traits de constructions sur son impression.

Amplification à hautes fréquences T_0 :

59. Sur votre impression, déterminer graphiquement la valeur du gain à hautes fréquences $G_{0,dB}$ pour le système étudié.
 60. A l'aide d'un calcul, en déduire la valeur expérimentale absolue de l'amplification à hautes fréquences $|T_0|$ de ce système. En déduire la valeur expérimentale de l'amplification à hautes fréquences T_0 sachant que T_0 est positif.

❖ Diagramme théorique de Bode pour le déphasage :

61. Sur votre impression, déterminer la valeur du déphasage à basses fréquences φ_{BF} et sa valeur à hautes fréquences φ_{HF} .
 62. 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.
 63. En déduire l'ordre du système étudié. Justifier votre réponse.
 64. A l'aide des outils graphiques sur Python, déterminer la valeur du déphasage à la fréquence propre f_0 .

APPEL 13 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.**C. Tracé et exploitation du diagramme pour $Q = 0,707$:**

Dans le script PYTHON, mettre la valeur du facteur de qualité à 0,707 et changer les titres des deux graphes dans la fonction `plt.title()`. Lancer l'exécution du script.

Mettre la **courbe du gain uniquement en plein écran**, puis enregistrer au format PDF cette courbe. **Ouvrir et imprimer le fichier PDF** au format paysage, en étendant au maximum l'échelle du graphe sur la feuille.

Fréquence de coupure et fréquence propre :

65. A l'aide des outils graphiques de Python, déterminer graphiquement la valeur expérimentale de la fréquence de coupure, notée f_c . 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.
 66. Tracer sur votre impression, les asymptotes à basses et hautes fréquences et en déduire graphiquement la valeur de f_0 .
 67. A-t-on ici $f_c = f_0$?

Pentes des asymptotes :

68. Déterminer graphiquement la pente de l'asymptote à basses fréquences, en $dB/octave$.
 69. Déterminer graphiquement la pente de l'asymptote à hautes fréquences, en $dB/octave$.

APPEL 14 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.**D. Tracé et exploitation du diagramme pour $Q = 10,0$:**

Dans le script PYTHON, mettre la valeur du facteur de qualité à 10,0 puis changer les titres des deux graphes dans la fonction `plt.title()`. Lancer l'exécution du script.

Mettre la **courbe du gain uniquement en plein écran**, puis enregistrer au format PDF cette courbe. **Ouvrir et imprimer le fichier PDF** au format paysage, en ajustant l'échelle du graphe à la feuille.

Fréquence de coupure :

70. Quel phénomène apparait ici ?
71. A l'aide outils graphiques de Python (fonction LOUPE surtout !), déterminer graphiquement les valeurs des fréquences de coupure, notées $f_{c,min}$ et $f_{c,max}$
72. En déduire la largeur de la bande passante du système, notée Δf .
73. Quelle est la nature du filtrage réalisé par ce système passe-bas d'ordre 2 lorsque $Q > 0,707$?

Pentes des asymptotes :

74. Tracer sur votre impression, les asymptotes à basses et hautes fréquences et en déduire graphiquement la valeur de f_0 .
75. Déterminer graphiquement la pente de l'asymptote à basses fréquences, en $dB/décade$.
76. Déterminer graphiquement la pente de l'asymptote à hautes fréquences, en $dB/décade$.
77. Les pentes des asymptotes dépendent-elles de la valeur du facteur de qualité du système ?

Fréquence de résonance :

78. A l'aide outils graphiques de Python (fonction LOUPE surtout !), déterminer graphiquement la valeur de la fréquence de résonance, notée f_r .
79. Vérifier que $f_r \approx f_0$.

APPEL 15 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.