TP 15 : Mesures d'amplitudes, de déphasages et transmittances isochrones complexes

Capacités exigibles :

- À partir des lois de la physique (mécanique, thermique, électrique), établir l'équation différentielle d'un système linéaire et en déduire sa transmittance isochrone.
- Calculer la transmittance isochrone d'un quadripôle linéaire.

Capacités expérimentales :

- Réaliser un système électrique en respectant les consignes de sécurité.
- Mesurer un déphasage, des amplitudes, grâce à des acquisitions de la carte SYSAM-SP5
- Tracer sur Python le module et l'argument d'une fonction complexe.

A faire à la maison, sur votre copie double :

Visualiser la vidéo suivante :
« Chapitre 08 – Que représente la transmittance isochrone complexe d'un système ? »

1. Quel est le nom de la durée du régime transitoire ?
2. Comment savoir que le système est en régime sinusoïdal forcé ?
3. Rappeler la formule liant la pulsation du signal d'entrée ω et sa fréquence f.
4. Pour un filtre, de quelle grandeur dépendent l'amplitude du signal de sortie U_m et le déphasage φ du signal de sortie par rapport au signal d'entrée ?
5. A quoi correspond le module de la transmittance isochrone complexe du système, noté $|\underline{H}(j\omega)|$?
6. A quoi correspond l'argument de la transmittance isochrone complexe du système, noté α ?

Visualiser la vidéo suivante :
« Chapitre 08 – De l'équation différentielle à la transmittance isochrone complexe d'un système. »

7. En régime sinusoïdal forcé, comment peut-on simplifier $\frac{ds}{dt}$?
8. En régime sinusoïdal forcé, comment peut-on simplifier $\frac{d^2s}{dt^2}$?
9. Rédiger la méthode permettant de passer de l'équation différentielle à la transmittance isochrone complexe d'un système.

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

I. Étude expérimentale du système électrique (R, C) :

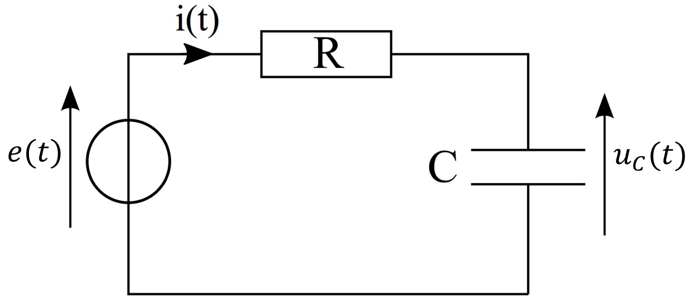
A. Mise en place du système :

On utilise dans ce TP, un condensateur de capacité $C = 154\ \eta\text{F}$ (indication constructeur) et un conducteur ohmique de résistance $R = 1{,}0\ k\Omega$ (indication constructeur).

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

Le signal d'entrée est un **signal sinusoïdal alternatif** de fréquence $f = 100\ Hz$ et d'amplitude $E = 3{,}0V$, de phase à l'origine nulle.

Réaliser le système suivant, en branchant la carte SYSAM-SP5 afin de mesurer $e(t)$ sur la voie $EA0$ et de mesurer $u_C(t)$, sur la voie $EA1$ (fiche méthode expérimentale 06) : on règlera le GBF avec **la sortie OUTPUT sur OFF.**



Ouvrir le logiciel nommé LATISPRO. Cliquer sur l'image LATISPRO pour entrer dans le logiciel (la fiche méthode expérimentale 07 concerne le logiciel LATISPRO)
Sélectionner les voies $EA0$ et $EA1$, en mode acquisition temporelle : cocher « Périodique » et sélectionner 2 périodes.

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

Lancer l'acquisition des deux signaux. Double-cliquer sur un des noms en ordonnées afin d'adapter l'échelle verticale automatiquement. Cliquer à droite sur « $EA0$ », puis aller dans « propriétés » et sélectionner « Style : trait ». Faire de même pour $EA1$.

11. A l'aide de l'outil Réticule (clic droit sur le graphe) et de la fonction Nouvelle Origine, déterminer les valeurs de la fréquence f du signal d'entrée et de la fréquence f_s du signal de sortie (voir aide ci-après).

Aide pour mesurer la valeur d'une période avec la fonction Nouvelle Origine de LATISPRO :
- Repérer sur le signal étudié, les deux points « encadrant » un motif.
- Sur le point le plus à gauche, cliquer à droite et sélectionner « Nouvelle Origine ».
- Déplacer ensuite le curseur de la souris sur le point le plus à droite.
- Lire l'abscisse de ce point : il s'agit de la période du signal étudié.
- Pour annuler la nouvelle origine, clic droit puis « Origine initiale ».

12. A l'aide du **début du paragraphe I.B du chapitre 08 et de votre travail en appel 0**, répondre à la question suivante : quel régime observez-vous ? Justifier votre réponse.

B. <u>Exploitation de l'acquisition pour une fréquence $f = 100\ Hz$:</u>

Lire la suite du paragraphe I.B du chapitre 08

13. Le signal de sortie u_C est-il en avance ou en retard par rapport au signal d'entrée $e(t)$? Quels sont les signes du décalage temporel Δt et du déphasage φ du signal de sortie par rapport au signal d'entrée ?

14. A l'aide de l'outil Réticule et de la fonction Nouvelle Origine, déterminer (précisément, et non « à l'œil nu ») :
   - la valeur expérimentale de l'amplitude du signal d'entrée, notée E, en volt
   - la valeur expérimentale de l'amplitude du signal de sortie, notée U_m, en volt
   - la valeur expérimentale du décalage temporel Δt du signal de sortie par rapport au signal d'entrée, noté Δt, en seconde (**voir aide ci-après pour ne pas se tromper de signe**)
   - calculer la valeur du déphasage φ du signal de sortie par rapport à celui d'entrée, en radiant.

Aide pour mesurer la valeur de Δt avec la fonction Nouvelle Origine de LATISPRO :

- Repérer sur le signal de sortie (voie $EA1$), un point caractéristique et chercher sur le signal d'entrée (voie $EA0$) son point analogue.
- Faire un zoom sur la zone contenant ces deux points.
- Sur le point du signal de sortie, cliquer à droite et sélectionner « Nouvelle Origine ».
- Déplacer ensuite le curseur de la souris sur le point analogue (signal d'entrée).
- Lire l'abscisse de ce point : il s'agit de Δt (le signe étant le bon)

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

Dans la suite du TP, on admet que $f_s = f$.

15. Pour la fréquence du signal d'entrée $f = 100\ Hz$, donner :
    - l'expression numérique expérimentale du signal d'entrée $e(t)$
    - l'expression numérique expérimentale du signal d'entrée complexe $\underline{e(t)}$
    - l'expression numérique expérimentale du signal de sortie $s(t)$
    - l'expression numérique expérimentale du signal de sortie complexe $\underline{s(t)}$
16. En déduire l'expression numérique de la transmittance isochrone complexe $\underline{H}(j200\pi)$ de ce système : on simplifiera son expression à l'aide de la formule suivante (à connaitre) :

$$\boldsymbol{e^{j(x+y)} = e^{jx} \times e^{jy}}$$

17. Par identification avec la forme trigonométrique de la transmittance isochrone complexe (*paragraphe I.B du chapitre 08)*, déterminer la valeur du module de $\underline{H}(j200\pi)$, noté $|\underline{H}(j200\pi)|$ et la valeur de l'argument de $\underline{H}(j200\pi)$, noté α.
18. En conclure à quoi correspond le module de la transmittance isochrone complexe et à quelle grandeur correspond son argument.

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

Compléter la première colonne du tableau en annexe 01.

C. Influence de la fréquence du signal d'entrée :

Lancer de nouvelles acquisitions pour les fréquences du signal d'entrée suivantes : $f = 1{,}000\ kHz$; $f = 2{,}000\ kHz\ et\ f = 10{,}00\ kHz$.

19. Compléter le tableau de l'annexe 01 à l'aide de nouvelles acquisitions et de l'outil Réticule.
20. Recopier alors ces deux phrases en éliminant les propositions fausses : « L'amplitude U_m du signal de sortie dépend/ne dépend pas de la fréquence f du signal d'entrée. Le déphasage φ du signal de sortie par rapport au signal d'entrée dépend/ne dépend pas de la fréquence f du signal d'entrée. »
21. Quelle est la nature du filtre réalisé ici ? Justifier à l'aide du module de $\underline{H}(j\omega)$, noté $|\underline{H}(j\omega)|$
22. Afin de connaitre l'expression numérique de $\underline{H}(j\omega)$ pour chaque fréquence/pulsation du signal d'entrée, combien d'acquisitions devriez-vous réaliser ?

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

II. Étude théorique du système électrique (R, C) :

L'expression littérale de $\underline{H}(j\omega)$ nous permet de connaitre le comportement du système, quelle que soit la fréquence/la pulsation du signal d'entrée.

Pour le système électrique (R, C), l'expression littérale canonique de la transmittance isochrone $\underline{H}(j\omega)$ est la suivante :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_C}}$$

Pour le système électrique (R, C), on a :

$$H_0 = 1 \; et \; \omega_C = \frac{1}{RC}$$

A. Tracé de $|\underline{H}(j\omega)|$ et de l'argument de $\underline{H}(j\omega)$:

Python nous permet de tracer le module de $\underline{H}(j\omega)$ en fonction de la pulsation ω du signal d'entrée ainsi que de tracer l'argument de $\underline{H}(j\omega)$ en fonction de la pulsation ω du signal d'entrée.

Dans PYZO, ouvrir le fichier nommé « TP15_module_argument_H.py ».
Compléter les lignes vides du code : 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 « $1j$ ».
Lancer l'exécution du code.

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

23. A l'aide de l'outil réticule, relever la valeur théorique de $|\underline{H}(j\omega)|$ pour chaque **valeur de $\boldsymbol{\omega}$** présente dans le tableau de l'annexe 01. On gardera 3 chiffres significatifs pour la mesure de $|\underline{H}(j\omega)|$.
24. Comparer (à l'aide d'écarts relatifs) ces valeurs théoriques aux valeurs expérimentales déterminées sur l'annexe 01. Conclure.
25. A l'aide de l'outil réticule, relever la valeur théorique de l'argument de $\underline{H}(j\omega)$ pour chaque valeur de ω présente dans le tableau de l'annexe 01. On gardera 3 chiffres significatifs pour la mesure de α.
26. Comparer (à l'aide d'écarts relatifs) ces valeurs théoriques aux valeurs expérimentales déterminées sur l'annexe 01. Conclure.

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

B. Simulation du système : régime transitoire

Dans cette partie du TP, on souhaite simuler sur Python les représentations temporelles du signal d'entrée et du signal de sortie du précédent système, quelle que soit la valeur de la fréquence du signal d'entrée.

Dans PYZO, ouvrir le fichier nommé « TP15_passe_bas.py ». Compléter les lignes vides du code (à l'aide vos mesures pour $R \; et \; C$) : la fréquence du signal d'entrée est $f = 1000 \; Hz$. On donne l'expression littérale du signal d'entrée :

$$e(t) = E \times \cos(\omega t)$$

La solution de l'équation différentielle (sous certaines conditions) démontrée à la question 26 a pour expression littérale :

$$s(t) = -U_m \times e^{-\omega_c t} + U_m \times (\cos(\omega t) + \frac{\omega}{\omega_c} \times \sin(\omega t))$$

Avec :

$$U_m = \frac{H_0 E}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}$$

Lancer l'exécution du code.

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

A l'aide du *paragraphe I.B du chapitre 08*, répondre aux questions suivantes :

27. Que remarque-t-on sur la forme du motif du signal de sortie au début de la simulation ? Comment appelle-t-on ce régime ?

On rappelle que la durée de ce régime est $\Delta t_{5\%} = 3 \times \tau$. On rappelle aussi que $\omega_c = \frac{1}{\tau}$.

28. Si on souhaitait éliminer la visualisation du régime transitoire, en démarrant la simulation à l'instant $t = 0{,}200\ ms$: serait-ce pertinent ? Justifier votre réponse.

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

29. A l'aide de plusieurs simulations, compléter le tableau de l'annexe 02 : on veillera à effectuer les lectures graphiques une fois le régime sinusoïdal forcé atteint.
30. Comparer les valeurs expérimentales et théoriques de $\left|\underline{H}(j\omega)\right|$ et φ pour chaque fréquence et conclure.

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

C. <u>De l'équation différentielle du système à sa transmittance isochrone complexe :</u>

31. A l'aide de la méthode vue dans le chapitre 06, démontrer que le système étudié peut-être modélisé par l'équation différentielle suivante :

$$\frac{du_C}{dt} + \frac{u_C}{RC} = \frac{e(t)}{RC}$$

32. De quel ordre est le système étudié ? Justifier votre réponse.
33. A l'aide de la fiche méthode 11, choisir et écrire la forme canonique correspondant à cette équation différentielle, faisant intervenir la pulsation de coupure ω_C. En déduire la nature du filtre réalisé ici : retrouvez-vous la même nature que dans la question 21 ?
34. Par identification, déterminer l'expression littérale de ω_C (en fonction de $R\ et\ C$) et la valeur de H_0.
35. A l'aide de vos mesures de la question 10, déterminer la valeur théorique de la pulsation de coupure ω_C (en rad/s).
36. A l'aide de vos mesures de la question 10, déterminer la valeur théorique de la fréquence de coupure notée $f_{C,th}$ (en Hz).

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

L'équation différentielle du système va nous permettre de déterminer l'expression de $\underline{H}(j\omega)$, quelle que soit la fréquence/la pulsation du signal d'entrée.

Lire le paragraphe II.B du chapitre 08.

37. A partir de la forme canonique de l'équation différentielle, démontrer que l'expression littérale de la transmittance isochrone $\underline{H}(j\omega)$ du système étudié ici est la suivante :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_C}}$$

III. Étude expérimentale du système électrique (C, R) :

Reprendre le système électrique de la partie I de ce TP et inverser l'ordre des dipôles $R\ et\ C$.

A l'aide de plusieurs acquisitions, compléter le tableau de l'annexe 03.
En déduire la nature du filtrage réalisé ici, ainsi que la bande passante du système.

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