

## 1 Rappel : Analyse de Fourier

- Revoir le TP sur l'analyse de Fourier vous aidera à réfléchir à toute situation où on demande de transformer un signal. En particulier se rappeler que tout signal se décompose en une composante continue qui en est sa moyenne temporelle, une composante dite fondamentale et en différentes composantes dites harmoniques de fréquences multiples entières du fondamental. Connaître le spectre d'un créneau et d'un triangle. Connaître le théorème de Shannon et pouvoir l'exploiter.

## 2 Rappel : Précision des appareils

- Appliquer une amplitude  $s_0$  de 800 mV à l'oscillo. Déterminer la précision à laquelle on connaît  $s_0$ . Est-ce suffisant ?
- *Rép* L'oscillo donne une amplitude qui bouge d'environ 2 pour cent. De même un multimètre numérique indique un nombre qui bouge de 2 pour cent. Cela peut paraître suffisant comme précision.

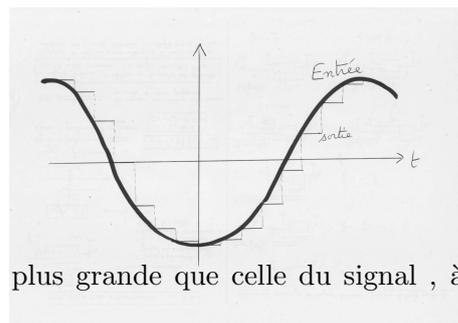
## 3 Classique : Mesure de la résistance interne d'un générateur

- La méthode dite de la tension moitié consiste à visualiser la tension aux bornes du générateur à vide, puis de brancher le générateur sur une résistance variable, de faire varier celle-ci jusqu'à obtenir à l'oscillo la tension moitié de la précédente. Alors par simple application de lois d'Ohm on montre que la valeur de la résistance variable est égale à celle du générateur.

## 4 Extrait : Shannon : Centrale en 2018

- Il s'agissait de tracer 2 courbes de tension d'entrée et de sortie d'un boîtier. On indique que le boîtier délivre en sortie le signal d'entrée mais mal car la fréquence d'échantillonnage est trop faible. La fréquence du signal d'entrée est de 50 Hz.

Questions : que remarquez-vous ? Expliquez votre observation avec un théorème du cours. Expliciter notamment la fréquence d'échantillonnage du boîtier. On envoie maintenant un signal d'entrée carré de fréquence comprise entre 0 et 10 kHz. Déduire sur quelle plage de fréquence on peut l'étudier correctement en sortie du boîtier.



- Réponse: On compte 15 échantillonnages dans la période. Cela correspond donc à une fréquence d'échantillonnage 15 fois plus grande que celle du signal, à savoir ici  $15 \times 50$  Hz donc 750 Hz.

Le théorème de Shannon dit qu'on peut correctement échantillonner un signal si la fréquence d'échantillonnage est supérieure au double de la plus grande fréquence contenue dans le spectre du signal. Pour une étude correcte du signal échantillonné, il faut donc que celui-ci ne contienne pas de fréquence plus élevée que 1500 Hz.

## 5 Extrait de TP donné aux CCP en 2019 , retour d'un élève

- On étudie le circuit comprenant condensateur et inductance sous forme d'éléments à 2 pattes à insérer sur une plaque. L'inductance possède une petite résistance propre. On alimente par une marche descendante , on observe la tension aux bornes de C; expliquer pourquoi les oscillations finissent par s'arrêter.
- On rajoute dans le circuit une résistance de l'ordre de  $1\text{ k}\Omega$ . On peut mesurer à l'aide d'un multimètre la valeur de C mais pas celle de L . On observe la tension aux bornes de l'ensemble (condensateur et inductance) . Construire les courbes de gain et de déphasage en fonction de la fréquence  $f$  . Dédire de ces courbes la fréquence propre  $f_0$  en rappelant à quoi elle correspond . En déduire la valeur de  $L$  .
- *éléments de réponse : la variation de l'énergie capacitive et inductive est convertie en chaleur par effet Joule dans la résistance propre de l'élément inductance. Elle diminue donc petit à petit jusqu'à annulation car  $(d(1/2Li^2 + 1/2CV_c^2)) = -ri^2dt$  . Si le circuit n'avait aucun élément résistif , la tension aux bornes de C oscillerait indéfiniment. Quand l'alimentation est sinusoïdale et qu'on a rajouté une résistance  $R$  , on a affaire à un circuit "bouchon" ou coupe-bande . Le tracé de  $G$  doit partir de 1 à TBF pour atteindre un minimum justement à la fréquence propre  $f_0 = 1/\sqrt{LC}$  pour tendre asymptotiquement vers 1 à THF. Le déphasage  $\phi$  doit partir de 0 à TBF pour tendre vers  $-90^\circ$  un peu avant  $f_0$  pour tendre vers  $+90^\circ$  juste après  $f_0$  (discontinuité de  $\phi$  pour tendre vers 0 à THF. (Faire un diagramme de Fresnel pour s'en convaincre).*

## 6 Extrait de TP donné aux CCP en 2019 , retour d'un élève

- Le schéma de trois circuits avec ampli-op et éléments R et C est donné avec leur fonction de transfert et la formule de fréquence propre associée. On demande de déduire lequel est passe -bande . Puis on demande de construire ce circuit en utilisant des plaquettes et des petits éléments R et C à deux pattes dont la valeur correspond à une certaine fréquence à faire passer . L'ampli-op est déjà monté sur boîtier comme au lycée. On demande de tracer le gain en fonction de la fréquence , et on demande comment on peut mesurer le déphasage .

## 7 TP donné aux Mines-Ponts en 2018, retour d'un élève, durée 3h30

- Le but de la manipulation est de déterminer la valeur d'une inductance d'une bobine puis d'étudier un filtre.  
Partie 1 : Proposer deux méthodes pour déterminer L à partir de circuits d'ordre 1. En réaliser un des deux après validation de l'examinateur.  
Partie 2 : On réalise un RLC série à l'aide de la bobine inconnue.
  - 1a) Etablir l'équation différentielle en intensité.
  - 1b) Introduire la pulsation propre et le facteur de qualité puis mettre l'équation sous forme canonique.
  - 2a) Estimer  $\omega_0$  et  $Q$  à l'aide de la valeur de  $L$  trouvée en partie 1.
  - 2b) En déduire le régime du circuit lorsqu'il est soumis à un échelon de tension. Vérifier expérimentalement.
  - 3a) Résoudre l'équation différentielle pour ce régime.
  - 3b) Donner la pseudo-période  $T$  et le coefficient d'amortissement temporel  $\alpha$ . Les calculer.
  - 4a) Dédire du graphe de l'intensité la valeur du temps caractéristique  $\tau$  puis celle de  $L$  .

4b) Déduire de la pseudo-période la valeur de  $Q$ .

4c) Comparer avec la valeur trouvée en 1 .

Partie 3 : On répète le protocole suivant avec 4 résistances ( 50 , 100, 200, et 0  $\Omega$ ).

Soumettre le circuit à un échelon de tension.

1) Relever la valeur de l'intensité  $I$  pour chaque extremum d'intensité en fonction de son numéro  $k$  , (  $k$  pair pour un maximum et impair pour un minimum, si on commence par un max on lui attribue  $k = 0$  ) et faire un graphe de  $I$  en fonction de  $k$  .

2) Tracer les graphes de  $\ln(I_k) = f(k)$  pour les 4 résistances sur le même graphique.

3) Relier les coefficients directeurs des droites obtenues aux valeurs des résistances (*note de l'élève : la formule était fournie et il fallait la démontrer*). Vérifier la formule expérimentalement.

Partie 4 : Il s'agissait d'étudier le filtre aux bornes de  $R$ . (*Note de l'élève : il fallait tracer les diagrammes de Bode en gain et en déphasage et trouver la bande passante . Pas eu le temps de traiter cette partie*).

• Eléments de réponse :

1a) Circuit (RL) alimenté en sinusoïdal de fréquence connue, étudié aux bornes de  $R$  . Mesurer à l'oscillo la tension d'entrée et celle de  $R$  . On déduit  $L$  par le diviseur de tension :  $V_R = V_e \frac{R}{\sqrt{(R+r)^2 + L^2\omega^2}}$  où  $r$  est la résistance de la bobine (soit on peut la mesurer soit on ne peut pas et il faut pouvoir la négliger en prenant  $R \gg r$  ; comme les résistances des bobines sont de l'ordre de l'Ohm , il suffit de prendre  $R$  supérieure à 100 Ohm.

Autre méthode : Circuit (RL) alimenté en échelon . Mesurer la constante de temps quand on obtient 0,63 de la tension limite aux bornes de  $R$ . Là aussi il faut pouvoir négliger  $r$  devant  $R$  car  $\tau = L/(R+r)$

1a) et 1b ) Cf cours première année

2a) Rappels :  $\omega_0^2 = 1/LC$  et  $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$  toujours en négligeant la résistance de la bobine , sinon il faut l'inclure dans  $R$  .

2b) Si on trouve que  $Q > 1/2$  alors le régime sera pseudo-périodique .

3a) Cf cours .

3b) Rappels cours :  $T$  est reliée à  $\omega = \omega_0 \sqrt{1 - 1/4Q^2}$  ;  $\alpha = \omega_0/2Q$

4a) A partir de la courbe  $I(t)$  , on doit pouvoir relier les maxima par une courbe décroissante exponentielle ; la tangente en  $t=0$  passe par l'axe des abscisses en  $t = \tau$  puisque cette courbe est en  $e^{-t/\tau}$ . La valeur de ce  $\tau$  permet de déduire celle de  $L$  par  $\tau = L/(R + r)$  (négliger toujours  $r$  devant  $R$ ).

4b) Ayant  $L$  par cette méthode , on peut recalculer  $\omega_0$  , puis par la pseudo-période  $T$  remonter à  $Q$ .

Partie 3 : Si on résout l'équation différentielle pour le régime oscillatoire , avec un véritable échelon de tension , à savoir intensité nulle initialement et condensateur déchargé initialement , cela amène à  $di/dt = E/L$  à  $t = 0$  , et la solution est  $i(t) = \frac{E}{L\omega} e^{-\alpha t} \sin \omega t$ . Alors  $I_k = \frac{E}{L\omega} e^{-\alpha(k+0,5)\pi/\omega}$ . La pente de  $\ln(I_k)$  est alors  $-\alpha\pi/\omega$  ce qui peut s'exprimer en fonction de  $R$   $L$  et  $C$  seulement ; cela donne  $(0,5\pi R(L/C)^{1/2}(1 - R^2C/4L)^{-1/2}$

Partie 4 : classique

## 8 TP donné aux CCP en 2017 et en 2021 , retour d'élèves

J'ai dû mesurer la conductivité de deux matériaux ; une mine de crayon et une mousse utilisée pour l'électromagnétisme.

Deux valeurs de la résistance était déduite par deux méthodes expérimentales , appelées l'une "2 pointes" et l'autre "4 pointes" . *On comprendra le principe des 4 pointes en lisant sur wikipedia : mesure des 4 pointes , et pour les 2 pointes en lisant le lien obtenu en écrivant " mesure de résistance à 2, 3 ou 4 fils Beamex" ;* (ces méthodes étaient expliquées dans le sujet) . La résistance était nommée "résistance apparente" pour la méthode 2 pointes et la deuxième "résistance réelle" pour la méthode 4 pointes. On pouvait alors remonter à la valeur de la conductivité du matériau étudié selon la méthode utilisée. Il fallait comparer les deux valeurs issues de ces deux méthodes . Le montage était quasiment fait. Il fallait simplement brancher des fils. Je devais faire varier l'intensité de  $-50mA$  à  $50 mA$  et relever la tension aux endroits indiqués selon la méthode utilisée. Il fallait ensuite tracer l'intensité en fonction de la tension pour obtenir une droite dont le coefficient directeur donnait  $1/R$  d'après la loi d'Ohm. Et on utilisait la formule de la résistance qui fait intervenir la conductivité (démonstrée) pour connaître la conductivité. Les dimensions des objets étaient données.

On demandait aussi pourquoi la méthode 4 pointes est plus précise que la méthode 2 pointes , *cf explications sur internet en écrivant " mesure de résistance à 2, 3 ou 4 fils Beamex"*. Ce lien explique que la méthode des 4 pointes permet de s'affranchir de la résistances des fils de connexion au voltmètre , car dans la méthode 2 pointes , ils sont parcourus par le même courant que le matériau alors que dans la méthode 4 pointes ils sont parcourus par un courant bien moindre ce qui amoindrit la chute ohmique dans ces fils donc donne une tension plus vraie.

Enfin il s'agissait de comparer les conductivités des deux matériaux ;

L'élève a eu 13 alors qu'on n'a jamais vu cela en cours d'année.

## 9 TP donné aux Mines Ponts en 2017 , retour d'un élève

Le TP portait sur l'oscillateur de Wien (rappel ( BF suivi de R en série avec C puis en sortie (R//C)) . On avait accès au matériel classique ; les modèles étaient différents donc il fallait prendre le temps de se familiariser avec eux et ne pas hésiter à demander à l'examinateur de nous montrer où se trouver des fonctions comme XY par exemple (pas de notice fournie). Il n'hésitent pas à répondre mais posent toujours une petite question pour s'assurer qu'on comprend ce qu'on fait. (Pour le mode XY, l'examinateur m'a demandé où se trouvait généralement le bouton XY. La réponse qu'il attendait était qu'on le trouvait dans la configuration des échelles de temps).

Le sujet était sous formes de questions (18 ou 19 en tout) ce qui facilite plutôt la rédaction du compte-rendu. L'AO était déjà branché. (On pouvait faire varier son gain en tournant un petit bouton).

Il fallait pour les premières questions proposer un protocole pour déterminer le gain max et min de l'AO et le réaliser, puis tracer à très basse fréquence la courbe  $V_s=f(V_e)$  et montrer qu'il existe deux tensions de saturation notées  $V_+$  et  $V_-$  .

La deuxième partie s'intéressait au filtre de Wien en tant que passe-bande. Il fallait déterminer sans calcul sa nature, puis calculer la fonction de transfert, déterminer la fréquence pour laquelle la fonction de transfert est réelle, connaître la relation entre bande passante facteur de qualité  $Q$  et  $f_0$  , déterminer expérimentalement  $f_0$  et  $Q$  etc ..

La troisième partie se proposait de brancher cette fois-ci l'AO en plus. On montrait expérimentalement que la fréquence propre n'était plus  $f_0$  mais qu'elle lui était un peu inférieure. Le sujet donnait une fonction de transfert pour l'AO qu'il faut ensuite exploiter. Les calculs n'étaient pas durs mais il fallait savoir que les fonctions de transferts se "multiplient" entre elles.

Je ne me souviens plus en détail du reste mais il y avait un tracé de diagramme de Bode. Il fallait aussi expliquer comment on pouvait obtenir un filtre dérivateur, à quelles fréquences, pour quelles valeurs de composants etc .. Il y avait une partie sur l'étude du système en oscillateur mais je n'y suis pas arrivé. On avait accès à regressi.

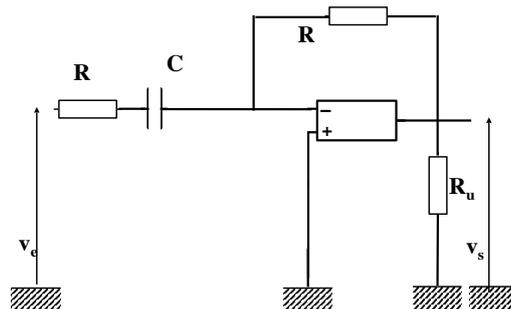
## 10 Etude d'un filtre : CCP 2016, retour d'une élève

1) Parmi les 3 fonctions données, laquelle correspond à un filtre passe-haut ?

$$H_1 = -\frac{1}{1+1/jRC\omega}$$

$$H_2 = \frac{1}{1+jRC\omega}$$

$$H_3 = -\frac{jRC\omega}{(1+jRC\omega)^2}$$



2) On pose  $f_0 = 1/2\pi RC$

On dispose de 3 capacités, de valeurs 44,66 nF, 3,4 nF, 1 μF, et de 4 résistances, 2 de 3,4 kΩ, 1 de 0,2 MΩ et 1 de 2,2 Ω

Trouver R et C tels que  $f_0 > 1 \text{ kHz}$

Si besoin, on choisira les valeurs optimales pour la vérification expérimentale.

3) Faire le montage avec  $R_u = 15 \Omega$

4) Relever le tableau de valeurs : fréquence, amplitudes des tensions d'entrée et de sortie, et calcul du gain G. Tracer le gain G en fonction de la fréquence sur papier semi-log.

5) Expliquer comment obtenir le déphasage et en donner sa valeur en degrés pour 3 fréquences intéressantes.

• *Eléments de réponse: 1) Chercher les équivalents des 3 fonctions à TBF puis à THF. La seule fonction qui ne tend pas vers 0 à THF est  $H_1$ .*

*2) Je choisis le critère  $f_0$  pas trop élevée pour vérifier expérimentalement que cela passera à  $f > f_0$ . Mes calculs me conduisent à 2 choix :  $(R;C) = (3,4 \text{ k}\Omega; 44,66 \text{ nF})$  ou  $(3,4 \text{ k}\Omega; 3,4 \text{ nF})$ . Le premier cas est associé à  $f_0 = 1048 \text{ Hz}$  et le deuxième à  $f_0 = 13767 \text{ Hz}$ . Personnellement je pense qu'il vaut mieux le deuxième pour pouvoir mesurer la chute de tension à suffisamment de fréquences basses.*

*3) On s'aperçoit que si l'AO n'est plus au programme (calcul de fonction de transfert hors-programme), il faut savoir tout de même monter un circuit avec AO.*

*4) Relever des valeurs de  $|v_s|$  avec suffisamment de valeurs de fréquence qui permettent de construire une courbe de G de façon assez précise ( $G = V_s/V_e$ ).*

*5) C'est la base du savoir-faire électronique. (méthode de proportionnalité avec les carreaux).*

## 11 Extrait : construire un moyennneur : Centrale 2015

- A partir d'un signal redressé bi-alternance , proposer un montage qui en donne la moyenne.
- Réponse : Faire un passe -bas qui coupe largement la fréquence du signal : circuit (R,C) aux bornes de  $C$  avec  $f_c = 1/2\pi RC < f_{signal}$  ; Rq on peut obtenir directement la moyenne d'un signal avec un multimètre ou un oscillo **en mode DC**

## 12 Extrait : Passer de 220 V à 5 V : Centrale 2015

- Proposer un moyen
- Réponse : par un transformateur , ç-à-d deux bobines en mutuelle influence par un noyau de fer qui les enlace , le rapport de tensions est celui du nombre de spires des bobines

## 13 Extrait : Mesure d'une constante de temps : Mines-Ponts 2015

- Observer la charge d'un condensateur alimenté par un échelon de tension (circuit de base  $RC$ ). Mesurer la constante de temps.
- Réponse : la constante de temps  $\tau$  s'obtient sachant que la durée d'établissement de  $0,9U_{max}$  correspond à  $\tau \ln 10$  (savoir le démontrer).