

LP 29 : Filtrages

Element imposé : passe-bande (Conception, fonctionnement), étude d'un filtre en particulier, filtre en mécanique, filtrage d'un son (voir livre de TS spé si on veut exp), filtrage optique (voir livre de PC). Décomposition de signaux complexes

Niveau : L1 (ou BCPST 2 pour avoir la bobine mais pas de diagramme de Bode au programme)

Prérequis :

- Pont diviseur de tension (L1)
- Écriture en complexe, équa diff en complexe (L1 ou BCPST2)
- Etude du circuit RLC, transitoire et oscillation forcée (L1 ou BCPST 2)
- PFD et expression des forces de raideur et frottements (L1)
- Impédance complexe (L1 ou BCPST2)

Biblio : Duffait elect, J'intègre PCSI Salamito

<http://bode.allais.eu/> permet de faire des diagrammes de bode

Introduction pédagogique

Niveau BCPST 2 : dans la partie signal et rayonnement

Avant : écriture complexe et étude du RLC

Après : analyse de signaux

On ne verra pas tous les filtres dans cette leçon : principe de l'étude + exemple d'utilisation

But : les élèves vont acquérir une méthode d'étude pour un filtre électronique et mécanique

Difficulté : manipulation des complexes, calculatoire → essayer de donner sens physique et leur intérêt

TD : étude d'autres filtres électronique + applications (modulation radio passe haut et bas)

TP : Tracer de diagramme de Bode, on fournit à l'élève un signal d'entrée par ex créneau et on lui demande d'établir un protocole pour extraire une seule fréquence.

Introduction

Radio : Transmission des ondes hertziennes → antenne reçoit une large gamme de fréquence mais on en veut qu'une, une seule chaîne.

Filtre : dispositif permettant de séparer les constituants d'un système selon une propriété physique

Le poste de radio à filtrer toutes les fréquences exceptées celle voulue. On va s'intéresse ici on fonctionnement du processus de filtrage. On s'intéresse à des filtres de fréquence ayant un comportement linéaire.

Objectifs :

- Appréhender la notion de filtre dans différents domaines
- Être capable de donner les principales caractéristiques d'un filtre à partir des sa fonction de transfert

I. Filtre passe-bas

A. Etude de circuit RC

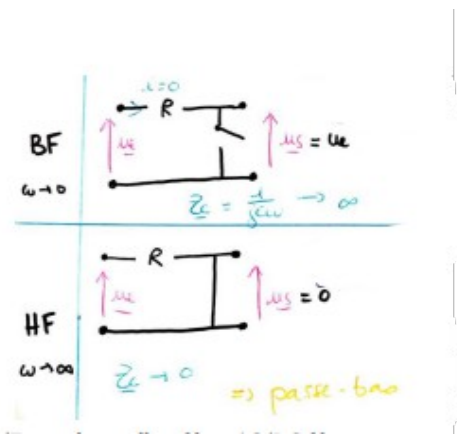
On se place en régime sinusoïdal forcé pour cette étude. On va donc utiliser la notation complexe pour simplifier la résolution.

Slide : Schéma montage

→ comportement asymptotique

https://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Elec/Filtres/filtre.php

exp : Duffait elec p141 ($R=10k\Omega$, $C=10nF$) Circuit RC, alimenté par un signal sinusoïdal. On regarde la tension aux bornes du condensateur. Tester à haute et basse fréquence



→ Passe-bas : renvoi un signal nul pour les HF.

Par quelle équation est régit le système : on écrit la loi des mailles : filtre du 1er ordre car équation diff du 1er ordre.

Comment exprimer ce qui sort en fonction de ce qui entre ? Fonction de transfert : $H(w) = u_s/u_e$

Pont diviseur de tension : $u_s = Z_c/(Z_c+Z_r)$ $u_e \leftrightarrow H(w)=Z_c/(Z_c+Z_r)$

Donc $H(w) = 1/(jRCw+1)$ Forme canonique $H(w)=1/(jw/w_0 + 1)$ avec $w_0=1/RC$

En accord avec le comportement asymptotique

En définit le gain G d'un filtre et le déphasage φ : $H(w) = Ge^{j\varphi}$.

Ici $G = 1/(1+(RCw)^2)^{1/2}$ et $\varphi = -\arctan(RCw)$, $GdB=20\log G$

Diagramme de Bode : représentation graphique de la réponse fréquentielle du gain et/ou de la phase d'un filtre

D'abord Slide gabarit du filtre

exp : Tracé manuel du diagramme de Bode (GdB et φ) (en préparation, la on rajoute quelques points)

<http://bode.allais.eu/> → Tracé Diagramme en ligne

Fréquence de coupure w_c : $GdB(w_c) = GdB_{max} - 3dB \leftrightarrow w_c=1/RC=w_0$

On mesure expérimentalement et on compare à la valeur théorique.

Comportement intégrateur à HF (créneau → triangle)

Transition : Ce filtre permet donc d'éliminer les signaux HF dans un signal complexe

B. Application à la détection synchrone

exp : On analyse 2 signaux de fréquences proches : on connaît la fréquence f_m d'un mais pas de l'autre f_p . On essaie de mesurer Δf → trop grande incertitude si on mesure directement à l'oscillo.

→ On ne peut pas faire la mesure directe

Solution : Utilisation d'un multiplieur

Slide : Signal $\cos(\Delta f) + \cos(f_m+f_p)t$

Slide : Nécessité d'un passe bas il faut $f_c < 40kHz$, soit $w_c < 25 \cdot 10^4$ rad/s

exp : multiplieur + RC ($R=1000\Omega$ et $C=4nF$)

On acquiert u_s puis TF → mesure de Δf plus précise

<https://famillecoq.pagesperso-orange.fr/physique/tp/applets/electronsinal/modulation.htm#menu>

Transition : On a que 2 fréquences. Mais si on en a plus et qu'on veut une fréquence intermédiaire comme pour la radio ?

II. Filtre passe-bande

A. Etude du circuit RLC

Slide : Schéma circuit

Comportement asymptotique :

BF : Condensateur analogue d'un interrupteur ouvert $\rightarrow i_s=0$ donc $u_s=0$

HF : Bobine analogue d'un interrupteur ouvert $\rightarrow i_s=0$ donc $u_s=0$

exp : Duffait elect p145, $L=47\text{mH}$, $C=100\text{nF}$, R variable, tension de sortie prise aux bornes de R
 \rightarrow on vérifie comportement asymptotique

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Elec/Filtres/filtre.php

Passer bande : renvoi un signal nul pour HF et BF

Slide Gabarit du filtre

Mise en équation :

$$H(w) = \frac{1}{1 + jQ\left(\frac{w}{w_0} - \frac{w_0}{w}\right)} \text{ avec } Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ et } w_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$x = w/w_0$, tracé sur géogebra, max en $x=1 \leftrightarrow w=w_0$

$$G = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + Q^2\left(\frac{w}{w_0} - \frac{w_0}{w}\right)^2\right)}} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + Q^2\left(x - \frac{1}{x}\right)^2\right)}}$$

$$\varphi = -\arctan\left(Q\left(x - \frac{1}{x}\right)\right)$$

exp : Bode pour 2 R différents ex : $R=100$ et 1000Ω

<http://bode.allais.eu/>

Fréquence de coupure : $G(w_c) = G_{\text{max}}/\text{racine}(2) \leftrightarrow \Delta x = 1/Q \leftrightarrow \Delta w = w_0/Q$ centré en w_0 , w_0 pulsation de résonance.

Δw est la bande passante

Bande passante : la bande passante d'un système est l'intervalle de fréquences dans lequel l'affaiblissement du signal est inférieur à une valeur spécifiée.

$\Delta w = R/L$, si on augmente R on augmente la largeur de la bande passante. Filtrage plus ou moins étroit.

Et w_0 indépendant de R , toujours centré au même endroit.

Comportement : BF : dérivateur, HF : intégrateur

Transition : Les filtres ne sont pas uniquement employés en électronique

III. Étude d'un amortisseur

Amortisseur de voiture Salamito p673 (ou grecias BCPST p480)

On assimile ce problème à celui d'un point matériel de masse m et d'altitude z sur un ressort de raideur k , avec un amortisseur qui engendre une force de frottement proportionnelle à la vitesse : $F = -\lambda(\dot{z} - \dot{z}_0)$. La voiture se déplace sur une route ondulée.

$$\text{PFD} \rightarrow \ddot{z} + \frac{\lambda}{m}\dot{z} + \frac{k}{m}z = \frac{\lambda}{m}\dot{z}_0 + \frac{k}{m}z_0$$

Fonction de transfert :

$$H(jw) = \frac{z}{z_0} = \frac{k + j\lambda w}{k - mw^2 + j\lambda w} = \frac{1 + j\frac{w}{Qw_0}}{1 - \left(\frac{w}{w_0}\right)^2 + j\frac{w}{Qw_0}}$$

On peut aussi définir une pulsation propre $w_0 = \text{racine}(k/m)$ et un facteur de qualité $Q = \text{racine}(mk) / \lambda$

Pour l'amortisseur, on souhaite que sa fréquence de résonance ne soit pas proche des fréquences de vibration dues à la route. Il faut que la bande passante soit resserrée autour de la fréquence de résonance pour atténuer toutes les fréquences liées aux variations de la route.

Conclusion

Slide gabarit différent filtre

Slide On revient sur la radio → filtre passe-bande

Ouverture : décomposition de signaux complexe ou filtre optique

Décomposition de signaux 'complexes'

Signal périodique : décomposition en signaux sinusoïdaux. On peut le montrer sur Géogebra, formule J'intègre Pcp450. Si on fait un filtrage assez sélectif, on devrait obtenir un sinus.

Exp : on envoie signal créneau + filtre passe bande.