
MONTAGE 31 : RÉSONANCE

Liste de matériels

Corde de Melde

- générateur de fonction amplifié en courant CENTRAD
- système vibrant (H-P) et corde longue (2m)
- balance (masse linéique de la corde)
- jeu de poids

résonateur RLC

- générateur de fonction Agilent 33220A [ENSC 154] (fonction wobulation)
- circuit suiveur à AO (éviter les chutes ohmiques du GBF à la résonance)
- oscilloscope DSO-X 3014A [ENSC 390]
- bobine Leybold (avec noyau ferro éventuellement)
- boîte de résistance
- boîte de capacité

diapason

- diapason 440Hz sur caisse de résonance
- diapason 440Hz sans caisse + support rigide
- oscilloscope DSO-X 3014A [ENSC 390]
- microphone ATM 61 [ENSC 424]
- amplificateur à gain ajustable [ENSC 300.9] (montage push pull)

filtre interférentiel

- lampe blanche QI
 - filtre interférentiel et filtre coloré (juste pour comparaison)
 - spectromètre USB Avantès
-

Introduction : Corde de Melde. Constaté qu'à amplitude excitatrice conservée, il existe des fréquences produisant des réponses de fortes amplitudes. -> **Interprétation** : Pour certaines fréquences d'excitation, le système peut stocker une grande quantité d'énergie. C'est la dissipation qui interdit la divergence du système.

I Le phénomène de résonance : cas du circuit RLC série

- donner circuit et FT
- préciser que c'est l'équivalent d'un oscillateur amorti mais dont on peut régler tous les paramètres. Grande facilité pour l'analyse
- il existe par ailleurs deux résonances : la FT aux bornes du condensateur est un filtre passe bas du second ordre (donc potentiellement résonant). Pour certaines valeurs de Q, il apparaît des surtensions à certaines fréquences.
- la FT aux bornes de la résistance (donc en courant) est un filtre passe bande. On peut donc toujours se donner une bande passante quelque soit le Q.
- les expériences se font en régime forcé dans cette partie

1 résonance en tension

Dans cette partie, on cherchera à déterminer l'évolution de la fréquence de résonance en fonction des paramètres (ici on fera varier la capacité). On se placera à résistance faible. Ainsi, on aura un Q très élevé et la condition $\omega_r \simeq \omega_0 = 1/\sqrt{LC}$.

On mène alors le tracé de $f_r = f\left(\frac{1}{\sqrt{C}}\right)$ -> regression linéaire de coefficient directeur $1/\sqrt{L}$

Rechercher enfin pour quelle valeur des paramètres la résonance apparaît. Il faut respecter le critère

$$Q > \sqrt{2}/2 = 0.71$$

2 résonance en intensité

On mesure la tension aux bornes de la résistance. Cette fois, on modifiera uniquement la résistance du circuit afin de modifier le Q de notre circuit. La théorie du RLC prédit

$$\Delta f = (R + R_{\text{circuit}}) \cdot \frac{1}{2\pi L}$$

On trace la droite $\Delta f = f(R)$ sans contraindre le passage par 0. Ainsi, le coefficient à l'origine prendra la valeur $R_{\text{circuit}} \cdot 1/2\pi L$

Il convient d'utiliser la résistance totale du circuit pour optimiser la régression. Pour de faibles résistances, la résistance du circuit est en effet non négligeable.

transition : Maintenant qu'on a vu le phénomène de résonance et sa variabilité en fonction des paramètres du système, on va tenter de cibler ses enjeux pratiques.

II Contrôler la fréquence de résonance

- la résonance peut avoir lieu sur des systèmes mécaniques. Dans ce cas, le phénomène est souvent à éviter (usure prématurée voire destruction des systèmes). Son étude est donc essentielle. En pratique, on s'assurera que le système ne peut entrer en résonance dans le domaine spectral de sollicitation auquel il peut être confronté.
- ici on mène l'étude sur un système continu (chaîne infinie d'oscillateurs). L'existence de fréquences propres est due aux conditions aux limites.
- choix de la corde de Melde en régime forcé d'excitation
- nous avons constaté en introduction que pour des paramètres fixés, plusieurs modes de résonance étaient possibles, tous multiples du fondamental
- maintenant, on cherche à **mettre en évidence l'influence des paramètres du système sur la position de la résonance**.
- on cherche à retrouver l'expression théorique

$$f = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{mg}{\mu}}$$

- la masse linéique de la corde est fixée : $\mu = 1.12 \text{ g.m}^{-1}$

transition : Dans la plupart des cas pratiques, la longueur du système est fixée. Ce ne sera donc pas un paramètre modifiable. En revanche, on pourra aisément jouer sur la tension.

1 Modification de la longueur L

On fait une mesure de f en fonction de L puis régression linéaire sur $f = f(1/L)$ -> coefficient directeur attendu $\sqrt{mg/\mu}$ avec une masse fixée à $m = 200 \text{ g}$

2 Modification de la tension T

On fait une mesure de f en fonction de $T = mg$ puis régression linéaire sur $f = f(\sqrt{m})$ -> coefficient directeur attendu $1/L \sqrt{g/\mu}$ avec une longueur fixée à $L = 1 \text{ m}$

transition : Si dans les systèmes mécaniques les résonances sont souvent des phénomènes à éviter (pour l'intégrité des structures ou simplement le confort des passagers!), nous verrons que dans d'autres domaines, les résonances sont recherchées. Dans ce cas, le facteur de qualité aura une grande importance.

III Intérêt des résonateurs

1 Exploitation de la finesse d'une résonance : filtre interférentiel

- transmittance d'un filtre coloré : largeur délirante!
- pour faire des filtres optiques sélectifs, on utilise la résonance d'une cavité optique type Fabry-Pérot. Les filtres interférentiels sont composés de deux miroirs de forte réflectivité. La lumière entrant dans la cavité fait de nombreux allers retours, avec une faible perte à chaque fois. Pour que ces pertes soient constructives, la condition d'interférence sur un aller retour doit être respectée, si bien que seules certaines longueurs d'onde sont sélectionnées.
- on évalue le facteur de qualité du filtre (la finesse en optique) $Q = \omega_0 / \Delta\omega$
- des recherches approfondies (dans le Sextant par exemple!) donne la finesse d'un Fabry Perot en fonction du coefficient de réflexion en puissance : $Q = \pi\sqrt{R}/(1 - R)$. On met ça dans Matlab et on appuie sur entrée et ça nous sort le R des couches diélectriques utilisées dans les filtres interférentiels

2 Compromis entre facteur de qualité et nécessité du couplage à l'extérieur

- on se propose d'évaluer le Q du diapason avec et sans caisse de résonance à partir de la TF d'une **réponse impulsionnelle** (régime de relaxation libre).
- la comparaison donne un facteur d'environ 2 entre les deux
- j'ai voulu chercher dans le diapason sans caisse l'existence d'une seconde harmonique (qui devrait exister sans le couplage avec la caisse) mais sans succès
- pendant le montage, il est conseillé de faire uniquement la manipulation avec la caisse (pour la manip sans caisse, il faut des temps d'acquisition très long pour avoir une résolution spectrale suffisante pour résoudre le pic)
- mentionner l'importance de la caisse pour avoir un son audible! c'est aussi à cela que sert le couplage avec l'extérieur. Tout est donc affaire de compromis entre son audible et résonance aiguë
- le principe du quartz de toute nos horloges est identique. L'importance technologique de disposer d'un résonateur de grand Q est donc évidente!

Conclusion : Redonner les éléments phares du montage :

- de nombreux systèmes possèdent des fréquences propres pour lesquelles leur réponse est grande
- cet effet peut être indésirable ou voulu
- le couplage avec l'extérieur (les pertes) détermine l'acuité de la résonance (le Q)
- la modification des paramètres du système permet de décaler les fréquences de résonance et de modifier leur acuité

Parler enfin de l'utilisation des raies d'émission atomique pour faire des horloges de grandes précisions! Le facteur de qualité est très bon, d'où l'intérêt en métrologie du temps.