
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 : pendules couplés (de plusieurs longueurs avec même masse) par accrochage sur une même tige métallique horizontale (c'est LA manip de Jean!). D'abord on montre les oscillations libres (on constate que ça dépend de la longueur du fil). Ensuite, montrer qu'uniquement les pendules de fréquences propres semblables (même longueur) vont se coupler. Couplage car il y a oscillations forcées réciproques. -> C'est une jolie manière d'introduire les oscillations forcées.

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 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.

Utiliser la wobulation pour être visuel sur le lien entre paramètres et évolution de la forme de la réponse. Par contre, quand on cherche vraiment à faire des mesures, autant traduire la fréquence pour chercher le maximum, c'est plus rapide et plus précis

Dans un second temps, on se placera à résistance fixée et on modifiera la valeur de la capacité pour vérifier l'évolution de la fréquence de résonance avec les paramètres du circuit.

2 résonance en tension

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

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

On restera très qualitatif sur cette partie. On veut juste montrer le comportement filtre d'ordre 2. Il ne faut surtout pas redire ce que l'on a dit sur la résonance en courant. Attention, ici la position de la résonance dépend également de la résistance. L'étude est donc plus compliquée que dans le cas de la résonance en courant.

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 tension T

On fait une mesure de f en fonction de $T = mg$ puis régression linéaire sur $f = f(\sqrt{m}) \rightarrow$ 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 Circuit résonant pour mesurer précisément une distance

- on reprend donc notre étude du RLC. Cette fois, on s'intéresse à la résonance en courant et on se place à grand facteur de qualité. On verra à quel point ici la finesse d'une résonance peut être exploitée avec succès!
- utiliser la maquette de Jean ENSC 479
- monter un filtre RLC autour
- l'électrode de garde devra être reliée à la masse commune
- on pourra augmenter la capa par une capacité en parallèle afin de limiter la fréquence de résonance
- on cherche la résonance en courant (fonction filtre passe bande)
- commencer à R grand pour trouver la résonance puis diminuer R pour augmenter la sensibilité
- selon le temps, on peut adapter un montage ampli non inverseur (mais prendre garde à rester largement dans la bande passante pour ne pas ajouter un déphasage intempestif!)
- à résonance les signaux sont en phase (aplatissement de l'ellipse en mode XY)
- faire la calibration à la vis micrométrique et en déduire la sensibilité
- on doit atteindre la sensibilité quasi interférométrique (on a obtenu 500nm de précision sur le condensateur très rapproché)

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

- 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.