

M 32 : Couplage des oscillateurs

Timothée de Guillebon, Correctrice Laure Hélène Reydellet
Pas fait ici mais possible : résonateurs de Helmholtz en acoustique

1- Couplage d'oscillateurs en mécanique a- Pendules couplés

Expérience a priori incontournable. Assez simple à mettre en œuvre avec beaucoup de choses à dire.

Matériel : les pendules sont des tiges rigides métalliques avec une masse au bout, ils sont couplés par un fil de torsion qu'on peut serrer ou pas.
Les mesures s'effectuent avec le dispositif PASCO et le logiciel associé sur l'ordinateur du département. Plutôt facile à utiliser, c'est pas hightech mais ça marche bien.

Sources : Rien de particulier pour la manip, la théorie est probablement faite dans le Perez de Mécanique

Mesures : En préparation, mesure de $T_{\text{pendule}} \text{ découplés}$
Puis couplage : mise en évidence des modes propres symétrique et antisymétrique

Mesure de T_{sym} a priori égale à T_{pendule} selon la théorie.

Mesure de T_{anti} plus basse, on vérifie la théorie.

Battements : Mettre un pendule complètement au repos, on donne à l'autre un angle initial et on voit l'échange d'énergie entre les deux pendules au cours du temps. On mesure la période des battements (enveloppe) et la période des oscillations dans l'enveloppe et on retrouve T_{sym} et T_{antisym}
On peut traiter l'énergie des pendules et voir qu'elle se conserve (+pertes dues aux frottements)

b- Pendule de Wilberforce

Manip à avoir vue avant le jour J, assez simple au premier abord, la maîtriser n'est pas si facile. Elle montre le couplage entre deux degrés de liberté (translation et rotation).

Matériel : un grand support dédié à cette expérience, un ressort accroché en haut au support et en bas à une masse avec 4 tiges sur lesquelles se trouvent des petites rondelles ajustables pour modifier le moment d'inertie de la masse.

Sources : un papier sur le pendule est dans AJP pour la théorie. Pour savoir comment régler le pendule, se référer à la notice de l'expérience qui est sur le site du département de physique.

Manip : On montre les modes sym et anti sym en tournant la masse dans un sens et en remontant la masse de 10 cm environ pour le premier mode et ensuite on tourne dans l'autre sens et on remonte aussi la masse de 10 cm. Tout est bien

expliqué dans la notice. On peut mesurer au chronomètre la période des modes sym et antisym et voir que T_{sym} est plus grand que $T_{antisym}$.
 On peut ensuite observer des battements en mettant un des degrés de liberté « nul » à l'instant initial (par exemple tourner la masse d'un tour et laisser le ressort à sa position verticale au repos). On observe alors le transfert d'énergie entre les deux modes avec arrêt alternatif d'un des degrés de liberté puis de l'autre. On peut mesurer la période de l'enveloppe et la période des oscillations à l'intérieur et retrouver les valeurs de T_{sym} et $T_{antisym}$.

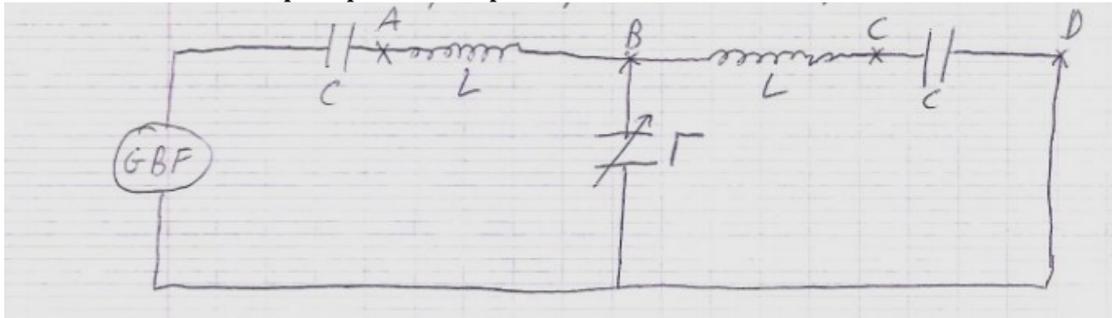
Autre possibilité, moins chronophage : montrer seulement tout ça sans faire de mesures. C'est assez beau !

2- Couplage d'oscillateurs en électronique

Beaucoup de couplage en élec sont faisables, chacun ayant ses avantages et ses inconvénients. On peut notamment penser à un couplage par mutuelle inductance qui peut être assez joli à montrer (pas fait ici).

a- Couplage capacitif

Deux circuits LC couplés par une capacité.



Beaucoup de choses à montrer.

La mesure de la tension à différents endroits du circuit peut mettre en évidence la présence de nœuds de tension. Il faut donc faire un choix judicieux, on peut modifier le point de mesure au cours de l'expérience pour montrer différentes choses. En prenant la capacité Γ réglable, on peut mettre en évidence l'influence de la valeur de cette capacité sur le couplage.

Pour faire des mesures quantitatives, on peut utiliser la macro générateur d'impulsion sur IGOR et effectuer le diagramme de Bode de la réponse impulsionnelle ce qui nous donne le spectre du système. Après avoir montré les deux pics correspondants aux modes propres, on peut vérifier qu'un mode propre est influencé par la capacité de couplage et vérifier la relation liant sa fréquence à la capacité Γ .

On peut faire aussi de la wobulation sur une gamme de fréquences autour des deux fréquences propres pour observer les modes résonnants.

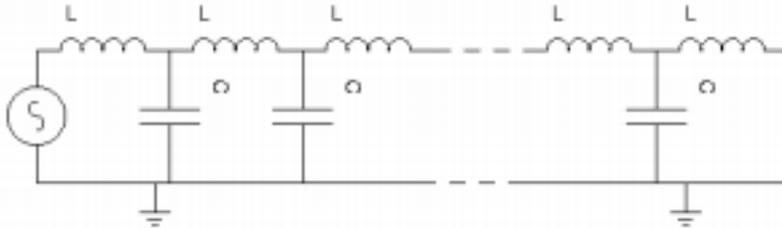
Autre possibilité : Mettre en D l'entrée du générateur : On injecte alors des deux côtés du circuit la même tension ce qui va mettre en évidence uniquement le mode propre symétrique et inversement s'il l'on fait un montage inverseur de gain 1 et qu'on l'injecte en C, on mettra le mode anti symétrique.

Valeurs des composants : $L=8,8\text{mH}$ et $C=105\text{nF}$ environ

Sources : Garing d'électronique contient un peu sur ce circuit, sinon les calculs ne sont pas très difficiles. D'autres circuits sont plus détaillés dans d'autres livres, notamment le couplage par mutuelle inductance.

b- N oscillateurs couplés

Utilisation de la ligne à retard, maquette déjà installée.



Il y a jusqu'à 6 oscillateurs LC à la suite. On peut choisir le nombre d'oscillateurs que l'on considère en supprimant quelques fils facilement. On effectue le même traitement en observant le spectre de la réponse impulsionnelle. On observe, pour 5 oscillateurs LC, 5 pics qui correspondent aux 5 modes propres du système. On peut essayer de vérifier la relation $f_p = 2f_0 \sin(p \cdot \pi / (2(N+1)))$ où N est le nombre d'oscillateurs couplés. $f_0 = 1 / (2\pi \cdot \sqrt{LC})$. On peut montrer la présence de nœuds et ventres de tension à différents endroits du circuit.

Questions :

- Qu'y aurait-il à montrer sur les deux LC couplés ?

Remarques :

- Long. Faire le pendule de WilberForce quantitativement peut faire perdre du temps.
- Pas un montage très compliqué. Toutes les mesures se ressemblent un peu donc faut savoir comment le montrer.
- Il faut absolument montrer l'influence du couplage.
- On peut faire le coax à la fin pour montrer l'ouverture sur la propagation.
- On pourrait passer deux heures sur ce montage. Il faut choisir pour chaque expérience quoi montrer.
- 5 oscillateurs : Intéressant de montrer la réponse à différents endroits et montrer que le poids relatifs de chaque mode est différent. On pourrait par exemple mieux voir f_5 sur un autre point.
- Il faut à un moment traiter de manière propre les incertitudes.
- Il faut mieux discuter de l'existence de modes sur les pendules couplés. C'est pas évident.
- Attention il faut un traitement minimal des incertitudes pour comparer deux résultats