MP28 : Instabilités et phénomènes non linéaires

Armel JOUAN, Géraud DUPUY

June 6, 2021

1 Pendule pesant et formule de Borda [2]

Matériel

- pendule pesant
- boîte de masses
- boitier d'amplification du capteur potentiométrique + câble secteur
- 3 fils simple
- 1 coax
- Oscilloscope 2 voies + câble secteur

Mise en place

- Faire les branchements. Equilibrer le pendule
- Setup une masse telle que les oscillations ne sont pas trop lentes
- Réaliser l'étalonnage du capteur
- Pour cela, d'abord régler l'offset à 0 sur l'ampli, puis choisir un gain tel que le signal soit d'à peu près 2V pour 80°
- Faire la courbe d'étalonnage de la tension en fonction de l'angle
- L'ajuster par une droite, trouver la plage de linéarité
- On lache le pendule d'un angle dans la zone de linéarité du capteur
- Faire la mesure de la période sur les premières répétitions (ne pas trop pousser, car les frottements atténuent les oscillations et changent donc la période)
- On fait ça pour différents angles de départ

Exploitation

- On trace la courbe $T(\theta_0)$
- Vérifier la formule de Borda $T(\theta_0) = T_0 \left(1 + \frac{\theta_0^2}{16}\right)$
- L'ordonnée à l'origine donne le régime d'isochronisme, et on peut vérifier le facteur $\frac{1}{16}$
- Si on fait une FFT au temps long, on peut montrer une caractéristique principale des phénomènes non linéaires, leur enrichissement spectral

2 Bifurcateur

Matériel

- Le bifurcateur
- Boîte de billes scotchée à la base du bifurcateur
- alimentation continue (qui peut aller jusqu'à 24V) + câble secteur
- tachymètre rotaro gris
- Stroboscope + câble secteur
-

Mise en place

- Pour différentes tensions (en dessous de 24 V), mesurer la vitesse de rotation au tachymètre optique (attention à un éventuel facteur 2, si besoin mettre une surface réfléchissante)
- Si on a décollage de la bille, prendre le stroboscope et essayer de se mettre à la fréquence du bifurcateur.
- Lire sur le rapporteur l'angle de la bille sur la coursive

Exploitation

- On a position d'équilibre pour $\theta_e = 0$, ou alors si $\Omega > \Omega_c = \sqrt{\frac{g}{R}}$, on a aussi $cos(\theta_e) = \frac{\Omega_c^2}{\Omega^2}$
- Ajuster et vérifier le modèle. On s'attend une valeur de Ω_c proche de 15 rad/s.

- Comparer à la valeur attendue avec une mesure de R le rayon du cerceau (diamètre 8,0 cm en prenant comme référence le centre de la bille, ce qui donne $\Omega_{c,att} = 15,66\ rad.s^{-1}$)
- Parler de la fourche super critique

3 Oscillateur de Van der Pol

Matériel

- plaquette "oscillateurs non-linéaires" (notice: `https://media.educ.space/labmedias/50/14/501453a53909efb197f8db45cfd13d8970dd3545/Notice__oscillateurs_nonlineeaires.pdf`)
- 3 sondes d'oscilloscopes
- oscilloscope 2 voies + GBF
- alim +15/-15 pour AO

Mise en place

- Faire les branchements du NL et du Van der Pol à part (Bien relire la notice, pour savoir à quoi correspond quel potentiomètre ou interrupteur)
- Se mettre à une position du potentiomètre "Réglage Vo" tel que α vaut à peu près -0.25
- Pour ça, mesurer α en injectant un faible signal (~100mVpp, à quelques kHz) pour éviter l'influence des termes cubiques, se placer en mode XY et jouer avec la persistance, et le vérifier par une régression linéaire sur IGOR avec acquisition de l'oscillo. On obtient ainsi une valeur très précise de α
- Brancher les deux S ensemble et les deux E ensemble ; veiller à switcher les deux interrupteurs en position basse.
- Prendre la tension à la sonde à oscillo sur V_u et V_s
- Diminuer R_{NL} jusqu'à voir des oscillations
- Au seuil des ocsillations, déconnecter R_{NL} et le mesurer à l'Ohmmetre. Comparer à αR_{C1} (avec $R_{C1} = 100k$)
- Montrer qu'en diminuant encore R_{NL}, on passe d'oscillations quasi sinuosïdales à des oscillations à relaxation
- Se placer maintenant en XY. Activer la persistance.

- Montrer l'existence du cycle limite en faisant une approche par l'intérieur en diminuant R_{NL} (en le faisant rapidement, on retrouve une spirale comme dans la notice)
- On peut également l'approcher par l'extérieur en mettant les interrupteurs SW1 et SW2 à la masse, et en les remettant dans la bonne position.

Exploitation

- Tout est présenté dans [1], et redétaillé dans la notice de la plaquette
- Le coeur de la dynamique du système est dans son équation:
$\frac{d^2s}{dt^2} - \epsilon\omega_0 \left(1 - \frac{s^2}{s_0^2}\right) \frac{ds}{dt} + \omega_0^2 s = 0$
- Pour $R_{NL} \geq -\alpha R_{C1}$, on a $\epsilon \leq 0$, et donc le terme d'ordre 1 est un terme d'amortissement: le système est stable
- Pour $R_{NL} \leq -\alpha R_{C1}$, on a $\epsilon \geq 0$, et donc le terme d'ordre 1 est un terme d'amplification: le système est instable et va osciller. On peut éventuellement mettre en évidence l'enrichissement spectral en faisant une FFT.
- Lorsqu'on fait les cycles limites, les circuits intégrateurs font qu'on observe $(u, \dot{u})$ et non $(s, \dot{s})$. Ca ne change pas grand chose vu qu'on veut juste montrer l'existence de ce cycle, de fait l'opération d'intégration entre s et u est pas gênante
- Quand on met les SW 1 et SW 2 à la masse, en fait on met la borne inverseuse du premier ampli à la masse, soit $s = \dot{u} = 0$.
- ça revient à avoir une situation où on a $(u \neq 0, \dot{u} = 0)$ donc plus ou moins un pendule qu'on lâche sans vitesse d'une position initiale

Conclusion

Conclure sur le chaos

Biblio

[1] Michel Krob, Electronique expérimentale, chap 6

[2] De Boeck, Physique Expérimentale

[3] CR MP28 Joseph