

LP 42 : HYSTÉRÉSIS ET BISTABILITÉ

11 mai 2022

Oui

Nathan Berrit & Juliette Colombier

Niveau : L2

Commentaires du jury

Bibliographie

⚡ <i>Le nom du livre</i> , l'auteur ¹	→ Expliciter si besoin l'intérêt du livre dans la leçon et pour quelles parties il est utile.
⚡ <i>Optique</i> , Houard	→ Toujours utile, même dans un montage sur les moteurs.
⚡ <i>The Art of Computer Programming</i> , Knuth	→ Biblique

Prérequis

- Circuit RC, AO
- Interférence
- force de trainée/portance et crise de trainée

Expériences



Table des matières

1	Un exemple mécanique	2
1.1	Système	2
1.2	Couples	2
2	Comparateur à hystérésis	3
2.1	Principe	3
2.2	Application : Modulation de fréquence.	3
2.3	Modulation de fréquence	4
3	Bistabilité optique	4
3.1	Rappels sur l'interféromètre de Fabry Pérot	4
3.2	Bistabilité	4
3.3	Application : ordinateur optique	5

1. Par soucis de place toujours, je pense pas qu'il soit nécessaire de mettre les références exactes surtout pour un livre classique.

Introduction

Un peu court

1 Un exemple mécanique

1.1 Système

On considère un pendule avec un disque de surface S et de masse m . On a de plus un écoulement fluide à la vitesse u .

Faisons un bilan des forces :

- $F_m = mg$
- trainée : $F_t = \frac{1}{2}\rho_{air}S(\alpha)C_t(\alpha)u\vec{u}$
- portance : $F_p = F_t = \frac{1}{2}\rho_{air}S(\alpha)C_p(\alpha)u^2\vec{e}_y$

1.2 Couples

Les couples sont :

- Poids : $mgl \sin \alpha$
- Couple de trainée : $\Gamma_t = -0.5\rho_{air}lS(\alpha)C_t(\alpha)U^2 \cos \alpha$
- Le couple de portance : $\Gamma_p = -0.5\rho_{air}lS(\alpha)C_p(\alpha)U^2 \sin \alpha$

Regardons la surface effective $S(\alpha) = \pi R^2 \cos(\alpha)$. On a aussi besoin du nombre de Reynolds $Re = \frac{uR}{\nu} \sim 10^4$ donc régime turbulent.

Il trace ensuite le coefficient de portance en fonction de l'angle, augmentation brutale pour $\alpha = 45^\circ$.

C'est liée à la présence ou non de la couche limite (?)².

Pour la trainée, la limite est la même, mais dans l'autre sens : c'est sous 45° qu'il est non nul.

Réécrivons nos couple en simplifiant :

D'abord pour $\alpha \in [0, 45^\circ]$

$$\Gamma_t + \Gamma_p = -0,5\rho_{air}l\pi Ru^2 \cos^2(\alpha)C_t \quad (1)$$

Pour $\alpha \in [45, 90]$:

$$\Gamma_t + \Gamma_p = -0,5\rho_{air}l\pi Ru^2 \cos(\alpha) \sin(\alpha)C_p \quad (2)$$

On va chercher les points d'équilibre du système : on cherche à compenser tout les couples !

On regarde numériquement ce qu'il se passe et on regarde les équilibres à chaque fois. On trace θ_{eq} en fonction de la vitesse.

En augmentant, on voit qu'un deuxième équilibre apparaît : le système est alors bistable. Cependant, tant que le premier existe, on reste devant.

Au bout d'un moment, il n'y a plus qu'un seul point : le premier équilibre n'est plus atteignable. On "saute" alors vers l'autre équilibre.

En rediminuant la vitesse, on va cette fois diminuer l'équilibre en restant dans le 2e : on voit l'hystérésis apparaître ! On a une dépendance en l'histoire : selon ce qui se passe on va être dans l'un ou l'autre des équilibres.

On a fait apparaître l'hystérésis avec cet exemple. C'est maintenant le moment d'étudier les propriétés de tels système, et leurs applications.

Compareur à hystérésis

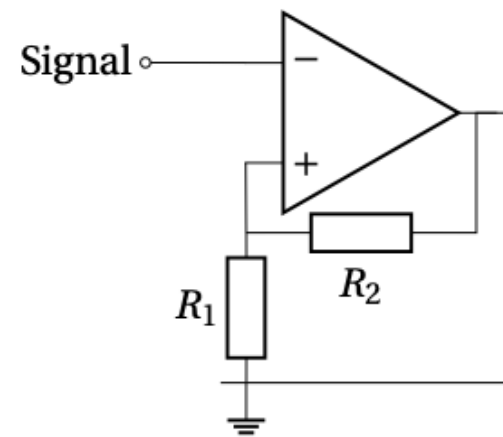


FIGURE 1 – Caption



2 Compareur à hystérésis

2.1 Principe

On considère un AO dont on boucle la sortie sur le + :

On se place en régime saturée : la tension de sortie va valoir $sign(\varepsilon) * V_{sat}$.

On a également $\varepsilon = V_+ - V_- = U_s \beta - U_e$.

Traçons maintenant la tension de sortie en fonction de celle d'entrée pour faire apparaître l'hystérésis :

- on commence à une tension de sorte à être sûr que $\varepsilon < 0$. (on calcul comme l'obtenir). Alors le système fonctionne en saturation négative.
- On diminue progressivement l'intensité d'entrée. Au début, ε reste négatif tant qu'on atteint pas une tension seuil. On veut $U_e < -U_0$.
- On diminue encore un peu, et cette fois on augmente jusqu'à repasser à $+$.

on refait apparaître un cycle analogue au précédent. Le système est bistable dans le domaine $-U_0$ et $+U_0$.

On va étudier une application de ça.

2.2 Application : Modulation de fréquence.

On rajoute un condensateur en tension d'entrée, et on le relie à une résistance.

On commence par charger la capacité jusqu'à un peu moins que $-U_0$, comme ça on est en sortie à $+V_{sat}$ ³. On trace les tensions en fonction du temps, et on voit que lorsqu'on charge notre condensateur dès qu'on dépasse U_0 on commute vers $-V_{sat}$. On a formé un oscillateur !

au tableau

tracer le curcuit électrique équivalent en fonction de la sortie du comparateur. Ca simplifie la lecture.

2. pas trop compris

3. Alors le montage à hystérésis est analogue à un générateur de tension $+V_{sat}$

Comparateur à hystérésis

Ça peut être sympa de le mettre sur l'oscillo pendant la leçon ça prend pas bcp de temps

Application : on peut faire un oscillateur et créer de l'alternatif à partir du continue !

2.3 Modulation de fréquence**Cette partie**

Pas forcément besoin de la faire (trop compliqué en vrai). De toute façon on sera plus lent que Nathan et on fera le montage sur la paillasse pour compenser.

On ajoute un multiplieur et une résistance et là ça commence à faire bcp sans schéma.. On a alors un signal informatif, si on prend un cosinus on aura initialement la même chose qu'avant et en gros ça permet d'encoder l'information en fréquence mais j'ai pas tout compris.

↓ Ici on a pas utilisé la propriété de mémoire dy cycle : on va le faire ici en parlant de bistabilité optique.

3 Bistabilité optique**3.1 Rappels sur l'interféromètre de Fabry Pérot**

Hypothèses :

- Les coefficients de transmission et réflexion n'induisent pas de déphasage. Ils sont donc réels.
- A l'intérieur on a un milieu d'indice n .

On a deux lames réfléchissantes de coeff de transmission et réflexion (t, r) et on envoie un signal incident s_i , on a aussi un signal deux fois transmis qu'on note $s_0 = s_i t^2 = s_i (1 - R)$.

Si on a une réflexion, $s_1 = s_0 \cdot r^2 \cdot e^{i\phi}$. On a le déphasage $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} 2ne$.

On généralise pour n :

$$s_n = s_0 r^{2n} e^{i\phi n} \quad (3)$$

Pour obtenir le signal de sortie, on somme tous les s_n et on obtient :

$$s = s_0 \frac{1}{1 - R e^{i\phi}} = \frac{s_i (1 - R)}{1 - R e^{i\phi}} \quad (4)$$

On calcule la transmission en intensité :

$$T = \frac{I_s}{I_i} = \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2(\phi/2)} \quad (5)$$

3.2 Bistabilité

On va faire ça par effet Kerr optique. Sans avoir à rentrer dans les détails, on considère un système optique tel que l'indice varie avec l'intensité !

$$n = n_0 + n_1 I_n = n_0 + n_1 K I_s \quad (6)$$

On a alors le déphasage :

$$\phi = \frac{4\pi}{\lambda} n_0 e + \frac{4\pi}{\lambda} e K n_1 I_s I_i / I_e \quad (7)$$

Et on peut réécrire le facteur de transmission en intensité.

Il trace le cycle d'hystérésis en augmentant l'intensité d'entrée puis en diminuant. C'est bien !

3.3 Application : ordinateur optique

Remarques à nous

- Il rentre trop comme une brute dans les calculs vite. Je pense qu’il faut plus introduire et expliquer où on va pour la partie 1. je suis très d’accord ça manque de contexte et pourtant après la leçon de JM c’est presque doux
- En vrai je pense qu’on peut s’en sortir juste avec le 2 et la 3 : on fait une manip sur la paillasse pour le 2. On commence par faire varier la tension de consigne et on constate l’hystérésis : wah c’est bizarre la tension dépend de l’histoire. Après on fait l’étude et on retrouve le résultat. Après on parle de l’application et voilà. Pour la partie 2, on fait le plot python qu’il fait, mais en traçant la transmittance et la droite. On recaractérise le cycle d’hystérésis. Comme ça on aura présenté 2 système en prenant plus notre temps sur la pédagogie et on aura tout les bon points qu’il y a dans sa leçon, avec des vrais applications pour les 2 systèmes.
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

Questions

- T’as choisis trois exemples d’hystérésis, pourquoi ceux là en particulier ? Dans d’autres exemples (perte d’élasticité, ferro) le coté bistable est bcp moins intuitif. Pour le ferro c’est assez faisable mais trop dur.
- T’as pas défini la stabilité ? C’est un oubli, il le défini sur l’exemple 1 en mode équilibre stable par petite perturbation.
- Quand t’as un troisième point d’intersection qu’est-ce qui se passe ? En fait à 45 degrés y’a pas vraiment d’équilibre
- Par contre en optique y’a trois point de fonctionnement En fait les deux premiers vont se rejoindre.
- Ouais mais si on initialise dans le point intermédiaire, est-ce que c’est possible et ça ferait quoi ? Pas facile à voir comme ça
- Pédagogiquement t’as introduit bcp de choses sur la couche de trainée etc, est-ce que tu penses qu’en L3 c’est bien compris ? Bof mais suffisant pour comprendre l’étude.
- Quand t’as tracé tes courbes, t’as fait en sorte qu’un coeff soit plus grand que l’autre, est-ce que c’est systématique ? Non c’est propre au corps
- À quoi sont liés ces coeff ? Seulement à l’aspect géométrique

- **Tu présentes le comparateur à hystérésis, si jamais on a pas de ε qu'est ce qui se passe** On a juste du bruit donc convergence immédiate aléatoire et pas de condition sur une valeur minimale de ce bruit.
- **T'as proposé de prendre un signal informatif sinus, qu'est ce qui se passe si c'est plus petit que 1** En fait ça marche pas psq trop petit donc on atteindra jamais la commande de déclenchement de la commutation.
- **Est-ce que t'as des exemples concrets de la modulation de fréquence : pq on l'utilise ?** Pour éliminer un bruit lors du transport, ou encore pour augmenter la fréquence de notre système pour de la transmission
- **Le dispo que tu présentes est-ce qu'il est utilisé dans la vraie vie ?** Non c'est des trucs mieux
- **Tu présentes le Fabry-Pérot, c'est quel type d'interféromètre ?** Division d'amplitude, plus grande finesse que le Michelson car c'est un interféromètre à n ondes et pas à 2 ondes
- **Effet Kerr optique, niveau l3 ?** Non c'est juste pour donner le nom
- **Comment tu expliques ça ?** EM dans les milieux non linéaires, la non linéarité est dans la susceptibilité électrique non ? Il a dit l'inverse
- **A quel point c'est un bon système le truc optique pour faire des bit ?** Bah c'est trop gros mais c'est pas mal car on peut optimiser le temps de commutation
- **En terme de lecture/ écriture c'est facile ?** Oui simple capteur d'intensité ou alors on peut brancher des trieurs d'impulsions donc c'est très simple
- **Y'a un écart d'intensité énorme, t'as un odg ?** Non
-
- **Comment tu pourrais adapter la leçon à des TPs ?** On peut regarder les domaines de Weiss ave un modèle d'Ysing. C'est très visuel et abordable.
- **Comment tu les observes ?** On utilise l'effet Faraday avec des polariseurs croisés.
- **Et dans le cadre de la leçon ?** Le comparateur à hystérésis. Tout ce que j'ai présenté est faisable en salle de TP. Ici j'avais pas le temps de le faire.
- **Tu as une idée de l'odg de transmittance et réflexion des miroirs ? Et qu'est-ce qu'on pourrait utiliser pour ta cavité ?** On veut R très grand, proche de 1.
- **Sur ton comparateur, est-ce que c'est pas mieux un RLC pour répondre à la consigne ?** Ce compliquerait juste les choses, l'étude et le fonctionnement.
- **Tu peux détailler un peu plus l'explication sur les couches limites ?** C'est assez phénoménologique. Ça fait la transition entre l'écoulement parfaitement laminaire et les CL où la viscosité n'est plus négligeable. En fait, quand on trace $C_x = f(R_e)$, on montre que dans la zone où le coeff est constant, il y a une chute à très haut Reynold où la constante diminue d'un coup. Cette chute est liée au décrochement de la couche limite. En l'expliquant, je me rend compte que le rôle de l'angle est pas cohérent avec mes cas limite dans le raisonnement ⁴
- **Tes deux derniers exemples sont très théoriques. Est-ce que tu as un exemple plus visuel ou abordable avec les mains ?** Je vois que le ferro qui est pas mieux. **On peut voir ça avec la surfusion des liquides lors des transitions de phase. On regarde l'énergie libre.**

Remarques

- **Pour une intro plus pédagogique : parler d'abord de bistabilité : il y a deux choix possibles, mais comment le choisir ? on va voir que ce choix va créer un "effet mémoire", l'hystérésis, qu'on va étudier ici.**
-
-
-
-

4. A voir donc...

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-