

MP 33 – RÉGIMES TRANSITOIRES

23 avril 2015

Alexandre Alles & Mickaël Melzani

Commentaires du jury

2014, 2013, 2010, 2009 : Il existe des régimes transitoires dans plusieurs domaines de la physique et pas uniquement en électricité ; de même, l'établissement de régimes forcés peut conduire à une physique bien plus variée que le retour à une situation d'équilibre. Par ailleurs, bien que le régime transitoire des systèmes linéaires, évoluant en régime de réponse indicielle, puisse parfois se ramener à l'étude d'un circuit RC, la simple mesure du temps de réponse d'un tel circuit ne caractérise pas l'ensemble des propriétés des régimes transitoires. Enfin, varier les échelles de temps dans la présentation serait appréciable.

2012, 2011 : Les régimes transitoires ne se réduisent pas à la relaxation des systèmes linéaires en électricité. Par ailleurs, l'établissement de régimes forcés peut conduire à une physique bien plus variée que le retour à une situation d'équilibre.

Bibliographie

- | | |
|--|--|
| ↗ Taillet, Dictionnaire de la physique | → Pour les définitions. |
| ↗ Cap Prépa PCSI | → Rappels sur le circuit RLC. |
| ↗ Quaranta | → RLC (à régimes transitoires), diffusion du glycérol. |
| ↗ Krob | → Oscillateur de Wien. |

Expériences

- ☞ Circuit RLC : différents régimes transitoires
- ☞ Circuit RLC : réponse indicielle
- ☞ Diffusion du glycérol dans l'eau
- ☞ Circuit RLC : établissement du régime sinusoïdal forcé
- ☞ Oscillateur de Wien et établissement du régime oscillant
- ☞ Temps de réponse des photorécepteurs

Table des matières

1	Les types de transitoires d'un système harmonique amorti	2
2	Étude de la réponse indicielle d'un système linéaire	2
3	Régime transitoire diffusif	3
4	Établissement d'un régime sinusoïdal	3



Introduction

Extraits du Dictionnaire de Physique de R. Taillet et al. :

Régime transitoire : Évolution temporaire d'un système, en particulier d'un oscillateur, dont la durée est limitée dans le temps et qui est l'intermédiaire entre deux régimes permanents distincts.

Régime permanent : Régime caractérisant l'évolution d'un système, une fois passé le régime transitoire. Par exemple, une fois passé le régime transitoire, un oscillateur harmonique oscille à la même fréquence que la force excitatrice : c'est le régime permanent.

Le régime transitoire peut être bénéfique (pour un amortisseur par exemple), ou pas (lenteur de réponse). Il permet aussi de caractériser complètement un système linéaire via la réponse indicielle ou impulsionnelle.

1 Les types de transitoires d'un système harmonique amorti

On étudie le cas des systèmes linéaires d'ordre 2, qui donc vérifient l'équation

$$\ddot{x} + 2\lambda\dot{x} + \omega_0^2 x = F(t), \quad (1)$$

où $F(t)$ est un forçage, et $2\lambda = \omega_0/Q$ est l'amortissement.

Motivation : de nombreux systèmes se modélisent ainsi. Seule l'équation importe, donc on en choisit un facile à étudier : le circuit RLC. On a alors $x = u_c(t)$ (la tension aux bornes du condensateur), $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$, $2\lambda = (R+r_L)/L$, $Q = (1/(R+r_L))\sqrt{L/C}$. Ici r_L est la résistance de la bobine.

Circuit RLC

↗ Quaranta à régime transitoire



Faire un circuit RLC. Mettre un montage suiveur avant le GBF pour ne pas prendre en compte la résistance interne du GBF. On prend la tension aux bornes du condensateur.

On prend $C = 22 \text{ nF}$ et $L = 38.6 \text{ mH}$ (avec $r_L = 10.3 \Omega$). On a alors $\omega_0 = 34\,320 \text{ rad/s}$ et $f_0 = 5\,460 \text{ Hz}$.

1- Mettre en évidence les différents types de régime

Le type de régime dépend de la valeur de Q (par rapport à $1/2$).

- **Régime pseudo-périodique** : $Q > 1/2$. Le nombre d'oscillations est approximativement Q .
- **Régime critique** : $Q = 1/2$ ($\Leftrightarrow R = 2\sqrt{L/C}$).
Trouver R_c .
- **Régime amorti** : $Q < 1/2$.

2- Régime pseudo-périodique : étude de la pseudo-période On s'attend à $\omega = \omega_0\sqrt{1 - 1/(4Q^2)} = \sqrt{\omega_0^2 - \lambda^2}$, avec $\lambda^2 = (R+r_L)^2/(4L^2)$.

Tracer $\omega^2 = f(\lambda^2)$.

En déduire ω_0 .

↓ On vient d'étudier la réponse à un échelon en mesurant des caractéristiques particulières du signal temporel. On peut faire mieux.

2 Étude de la réponse indicielle d'un système linéaire

S'il est linéaire, la réponse à un échelon permet de caractériser complètement le système.

Et encore le circuit RLC



Faire une acquisition longue, la dériver, faire la TF en amplitude et en phase. Identifier la résonance : maximum d'amplitude.

Lien entre Q , largeur de la résonance, et temps d'amortissement.

3 Régime transitoire diffusif

Diffusion du glycérol dans l'eau

♣ Quaranta : Thermodynamique; Calecki & Diu : Problèmes de thermodynamique; Garing : Ondes ⊖
mécaniques et diffusion

Remplir une cuve de verre (épaisseur ~ 1.2 cm), d'abord à moitié d'eau, puis déposer au fond à l'aide d'une burette un ou deux centimètres d'un mélange eau+glycérol (50/50). Ne pas trop bouger la cuve.

On envoie une nappe laser, à l'aide d'un laser au bout duquel on accole une lentille cylindrique (il y en a dans la collection, accolé à un support type objectif de microscope).

Faire des mesures de la déviation $h(t)$ au centre de l'écran pendant ~ 45 min.

On a :

$$h(t) = \frac{eL\delta n}{\sqrt{4\pi D(t-t_0)}}, \quad (2)$$

avec $L = 80$ cm la distance écran-cuve, e l'épaisseur de la cuve, et $\delta n = n_{\text{mél}} - n_{\text{eau}}$.

Il faut encore trouver des valeurs tabulées pour les indices optiques et pour D . On a $n_{\text{eau}} = 1.3343$ et $n_{\text{gly,pur}} = 1.4746$. Il faut donc l'indice du mélange 50/50. On le mesure au réfractomètre et on trouve $n_{\text{mél}} = 1.397 \pm 0.001$. On a aussi mesuré $n_{\text{eau}} = 1.334 \pm 0.001$.

Dans cet article : <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/je049917u>, on trouve les valeurs du coefficient de diffusion D entre l'eau et un mélange de glycérol-eau avec $x_2 = n_{\text{glycérol}}/n_{\text{tot}}$ quelconque. Un mélange avec $w_2 = 0.5$ en masse correspond à $x_2 = 0.17$, pour lequel on trouve $D = 4.0 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Heureux hasard, c'est aussi la valeur donnée par Quaranta, qui ne précise rien des concentrations.

On trouve, après régression linéaire et étude des incertitudes : $D = (5 \pm 1) \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Remarques :

- Ne pas appliquer les formules du Quaranta, qui sont approchées.
- Attention à mesurer la hauteur $h(t)$ sur l'écran selon la verticale au centre de la feuille, et pas au niveau du maximum de la gaussienne. (Cette phrase n'est pas claire, voir plutôt la figure du Calecki et l'avertissement entre parenthèses).
- Le modèle théorique suppose les déviations du faisceau petites, ce qui n'est pas forcément le cas au début.
- Le modèle théorique suppose aussi que l'indice optique est donné par $n = xn_{\text{mél}} + (1-x)n_{\text{eau}}$. En toute rigueur, seules les susceptibilités molaires χ sont additives. Comme $n = \sqrt{1 + \chi}$, on n'a pas linéarité, et ici n n'est pas franchement proche de 1... D'ailleurs si on veut obtenir $n_{\text{mél}}$ avec la formule $n_{\text{mél}} = 0.17n_{\text{gly,pur}} + (1-0.17)n_{\text{eau}}$, on trouve 1.358, et pas 1.397 comme mesuré au réfractomètre.

Bref, pour plus de détails, on pourra consulter le poly de Guillaume.

↓ *Jusqu'ici, on a regardé des régimes transitoires entre deux états stationnaires (dans le sens : indépendant du temps). On peut également étudier le régime transitoire entre l'état initial stationnaire et un état final périodique forcé.*

4 Établissement d'un régime sinusoïdal

Mise en place du régime forcé, battements avec le régime transitoire

♣ Duffait Capes

⊖

Circuit RLC encore.

Les solutions de l'équation de l'oscillateur harmonique amorti forcé sont la somme : (i) d'une solution particulière (celle du régime sinusoïdal forcé, de fréquence f), et (ii) d'une solution de l'équation sans second membre (le régime transitoire étudié auparavant, qui possède une fréquence $f_0 = 1/\sqrt{LC} = 5.4$ kHz). On peut le mettre en évidence.

Se placer à $f = 15$ kHz pour le forçage, avec $R = 100 \Omega$. On voit très bien que $s(t) = s_{\text{régime forcé permanent}} + s_{\text{transitoire}}$. Mesurer f_0 .

Se placer à $f = 5$ kHz pour le forçage, avec $R = 0$. On voit des battements, de fréquence ~ 400 Hz, ce qui correspond bien à $f_0 - f$.

Fonctionne mieux si Grimaud est dans la même pièce.

On peut aussi s'intéresser à l'établissement des oscillations dans un oscillateur auto-entretenu. On est alors juste au delà du seuil d'une bifurcation de type Hopf (on passe d'une solution stable nulle, à une solution stable oscillante périodique). Ce type de bifurcation est très général (par exemple la naissance des allées de Von Karman derrière un obstacle soumis à un flot), nous allons donc l'étudier.

Croissance des oscillations de l'oscillateur à pont de Wien

☞ Krob

☹

Temps de croissance du signal lors de l'établissement du régime oscillant. La résistance critique est $R_{2c} = 2R_1$. On vérifie que pour $R_2 < R_{2c}$ on n'a pas d'oscillations, alors qu'il y en a pour $R_2 > R_{2c}$. Dans ce dernier cas, on court-circuite une entrée de l'AO avec la masse. On retire ce court-circuit et on fait une acquisition sur l'ordinateur. On a des oscillations dont l'amplitude croît exponentiellement. Si $e(t)$ est l'amplitude des maxima, on vérifie que $e(t) \propto \exp(t/\tau)$ avec $\tau \propto |R_2 - R_{2c}|$.

Conclusion

Importance des régimes transitoires pour les capteurs.

Temps de réponse d'une photodiode et d'une photorésistance.

Compléments

Autres possibilités :

- L'amortisseur (ressort + masse qui trempe dans de l'eau ou du glycérol).
- Redresseur alternatif-continu : illustre l'importance d'un transitoire long pour redresser une tension alternative.
- Le moteur asservi en position. C'est intéressant mais long.
- Le choc thermique. J'ai essayé avec la petite barre de cuivre, mais sans succès. Le fait que le module Pelletier impose un flux de chaleur impose de travailler avec le flux (cf un exercice du Garing sur la trempe laser des métaux). Or le flux n'est pas directement accessible : il faut faire la différence entre deux capteurs successifs de température, et ils sont trop éloignés... Il faudrait essayer avec la grande barre. Mais il faut alors justifier pourquoi on impose une température et pas un flux, et justifier que les conditions aux limites à l'extrémité libre sont négligeables, ce qui ne me semble pas gagné.