
MP33 : RÉGIMES TRANSITOIRES

Niveau

Commentaires du jury

- 2013-2017 : 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.

Bibliographie

—

pré-requis

Expériences

- Circuit électrique
- Diffusion du glycérol
- temps de réponse d'une photodiode/photorésistance ?
- Vase de Ruchardt ?
- Etablissement des oscillations de l'oscillateur à pont de Wien ?

Table des matières

1 Régime transitoire diffusif	2
1.1 Principe	2
1.2 Expérience	3
2 Régime transitoire électrique : vers un état d'équilibre	3
2.1 Premières observations	3
2.2 Régime transitoire vers l'équilibre	4
2.3 Régime transitoire vers un régime forcé	4
2.4 Utilisation des régimes transitoires	5
3 Régime transitoire électrique : vers un état instable	5
3.1 Présentation	5
3.2 Naissance des oscillations	6
3.3 Caractérisation : Détecteur de crête	6
4 Alternative : utilisation des régimes transitoires	7

Introduction

Un régime transitoire est un régime d'évolution d'un système qui n'a pas atteint un régime stable ou un régime établi (stable ou forcé).

On caractérise le régime transitoire par 2 grandeurs : le facteur de qualité et le temps de relaxation. Ces 2 valeurs permettent de remonter à toutes les caractéristiques du système (période, pseudo-période, dépassement, coefficient d'amortissement,...).

1 Régime transitoire diffusif

1.1 Principe

Le principe de cette expérience est d'étudier le temps caractéristique de diffusion du glycérol et de l'eau. On va le caractériser en remontant au coefficient de diffusion.

Pour repérer la diffusion on utilise le fait que les indices optiques dépend de la concentration en glycérol dans l'eau :

$$n_{\text{Mélange}} = (1 - c)n_{\text{eau}} + cn_{\text{glycérol}}$$

On part d'une situation initiale avec un mélange 50/50 de glycérol et d'eau en bas et de l'eau en eau. L'indice optique dépend alors de la hauteur. Un rayon incident est alors dévié vers les zone de fort n . Aussi en envoyant une nape laser à 45° , seul les zones où il y a diffusion sont déviés et les rayon sont d'autant plus déviés que le gradient d'indice est fort.

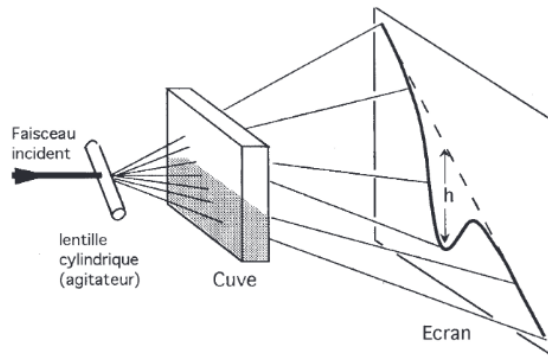


FIGURE 1 – BUP 819

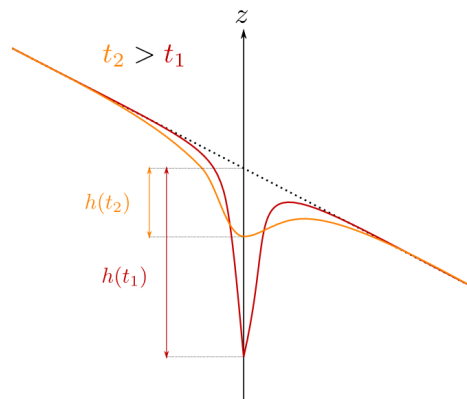


FIGURE 2 – Observation (schéma des Cléments)

Pour mettre le problème en équation on utilise la de Fick : Une inhomogénéité de concentration en glycérol entraîne :

$$\vec{j} = -D\nabla c$$

L'équation de conservation des particules en l'absence de vitesse d'ensemble est :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}$$

Dans la limite où l'épaisseur de la cuve e est petite on a : $\theta = e \frac{\partial n}{\partial z}$. Ceci couplé avec le temps de réponse de la diffusion donne :

$$\theta = -e(n_{\text{eau}} - n_{\text{glycérol}}) \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(-\frac{z^2}{4Dt}\right)$$

Ainsi ce qu'on observe à l'écran ressemble à une gaussienne qui s'étale au cours du temps. On peut alors repérer bas du pic (dans l'approximation où $\tan(\theta) = \theta$) :

$$h = eL \frac{n_{\text{eau}} - n_{\text{mélange}}}{\sqrt{4\pi Dt}}$$

1.2 Expérience

Diffusion de glycérol :

- Faire une nappe laser à 45° avec une lentille sphérique ou une fente.
- Introduire de l'eau à mis hauteur dans une cuve (cuve de spectro marche)
- Introduire à l'aide d'une seringue ultra fine (type p104.44) le glycérol au fond de la cuve. Faire l'opération la plus délicatement possible. Quand on enlève la seringue faire attention à ne pas faire tomber de gouttes
- Réaliser un trait pour repérer la pente de la nappe laser. on repère ensuite les distances verticalement par rapport à cette pente. Ne pas hésiter à éloigner l'écran pour avoir une meilleure précision.
- Prévoir que la déviation est très grande au début, donc mettre l'interface assez haute et ne pas hésiter à prévoir des cales en bois en dessous de la cuve pour la surelever (si le support boy est trop long).
- Penser à noter la distance à l'écran et l'épaisseur interne de la cuve.
- Prendre des h pour différents temps (beaucoup au début et moins à la fin).

On trace

$$\left(\frac{eL(n_{\text{eau}} - n_{\text{mélange}})}{h\sqrt{4\pi}} \right)^2 = f(t)$$

On attend une droite de pente D

$n_{\text{glycérol}} = 1.4730$, $n_{\text{eau}} = 1.33298$. Attention il nous faut prendre $n_{\text{mélange}}$. Pour cela on peut se référer au Jolidon page 410. Normalement pour un mélange MASSIQUE 50/50, on a $n_{\text{mélange}} = 1.398$. Attention, il faut se placer sur la partie linéaire de l'évolution de n avec x , sans quoi on ne peut pas relier simplement h à l'indice optique. Dans ces conditions le Jolidon estime $\Delta n = 0.065 \pm 0.004$. On attend $D = 1.06 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ à 25°. Attention même si on ne trouve pas la même valeur c'est peut être pas grave. En effet cela correspond à priori à la diffusion du glycérol dans l'eau mais nous on a la diffusion du mélange eau glycérol dans l'eau. Le Jolidon trouve $D = (5.3 \pm 0.5) \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$.

Aller chercher le Jolidon pour voir toutes les sources d'incertitudes

2 Régime transitoire électrique : vers un état d'équilibre

On s'intéresse à un circuit RLC, d'ordre 2, soumis à un échelon de tension. On prend la sortie sur C ?

2.1 Premières observations

Observations qualitatives :

- La valeur de sortie du filtre est toujours égale à la valeur de commande.
- Selon la valeur de la résistance, l'arrivée à la valeur finale se fait différemment.

Attention : ne pas oublier la résistance interne du GBF ! Si on veut s'en passer, il faut mettre un suiveur avant le rlc.

Valeurs des composants utilisables :

- $C = 10 \text{ nF}$
- $L = 46 \text{ mH}$
- R variable
- $R_L = 8.6 \Omega$

Avec ces valeurs, on attend pour résistance critique (celle qui donne $Q = 1/2$) à 4200Ω ?

2.2 Régime transitoire vers l'équilibre

Etude du régime apériodique :

Mesure du temps de montée en fonction de R . On mesure le temps de montée à 63 % τ , et on trace τ en fonction de R , la pente doit être $2C$.

Etude du régime pseudo-périodique

Mesure de Q et ω_0 par la méthode du décrement logarithmique :

Mesurer le décrement logarithmique $\delta = \ln(D_1/D_2)$ avec D_1 et D_2 les amplitudes par rapport à la valeur final et la pseudo période pour plusieurs valeurs de résistance. On peut tracer $Q = \frac{1}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi}{\delta}\right)^2}$ en fonction de $1/R$, la pente doit être $\sqrt{L/C}$ car $Q = \frac{1}{R} \sqrt{L/C}$. On mesure également la pseudo-période Ω . On remonte à la fréquence de résonance en traçant Ω en fonction de $\sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}$ car $\Omega = \omega_0 = \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}$. (On a aussi $\omega_0 = \frac{2Q}{\tau} = \frac{4\pi Q \Omega}{\delta}$ en fonction de R , qui doit être constante.)

2.3 Régime transitoire vers un régime forcé

On propose d'étudier l'établissement du régime sinusoïdal forcé.

On peut observer différent cas :

- Le cas apériodique : le système rejoint les oscillations forcées, plus ou moins rapidement selon la valeur de la résistance.
- Le cas pseudo-périodique : le système rejoint les oscillations forcées en oscillant à sa fréquence propre : si le facteur de qualité est assez grand, et ω proche de ω_0 , on observe des battements ! Pour observer les battement on excite par exemple à la fréquence 6500Hz sous forme de burst pour une fréquence de résonance de 7418Hz. On observe des batement autour de 1090Hz

2.4 Utilisation des régimes transitoires

Tracé du diagramme de Bode par la méthode de la réponse indicielle :

Tout est dans le titre.

- on envoie un signal créneau de faible fréquence (il faut que du point de vu du signal ce soit un échelon)
- On fait une acquisition sur Latis pro. Le pas d'échantillonnage fait l'objet d'un compromis : en effet plus on prends un pas d'échantillonnage petit et plus on observera de fréquence dans le diagramme de bode à la fin. Cependant on va passer par une étape de dérivation qui est très sensible au bruit numérique. Aussi il ne faut pas prendre un pas d'échantillonnage trop petit pour que le signal ne soit pas trop bruité une fois dérivé^a. Cependant on peut prendre beaucoup de points si on le souhaite (donc faire une acquisition longue en tirant profit du maximum de la taille du créneaux car cela va augmenter la résolution de la transformé de fourier.
- On lisse fortement (toujours pour couper du bruit pour la dérivé)
- On dérive
- On fait la transformé de fourier de la dérivé

Ajuster ensuite avec l'expression de la fonction de transfert pour remonter à Q et f_0 ? Par exemple prendre 15000 points sur 30 ms pour $R = 20 \Omega$.

^a. Pour comprendre pourquoi on il faut prendre peu de point quand on dérive, on considère un signal bruité très faiblement croissant. Si on prend plein de points, on ne va pas voir la pente en dérivant car le bruit va faire que la dérivé va être tanto positive, tanto négative, cependant si on prends des points très espacées alors, on pourra remonter à la pente car le bruit jouera moins. Il faut donc comparer en fonction de l'amplitude des dérivées étudié et du bruit numérique

La fonction de transfert du systeme (Systeme Linéaire Invariant dans le Temps) est la TF de la réponse du système à un Dirac (aussi appelée "fonction de Green" par les personnes qui s'y connaissent). On regarde la réponse à un créneau, qu'on dérive ensuite pour retomber sur nos pattes (voir TP page 9 pour avoir le détail des calculs).

On s'est intéresser jusqu'à présent à un régime transitoire jusqu'à l'équilibre. On s'intéresse maintenant à une régime transitoire caractérisant la naissance d'une instabilité.

3 Régime transitoire électrique : vers un état instable

On s'intéresse à l'oscillateur de Wien :

3.1 Présentation

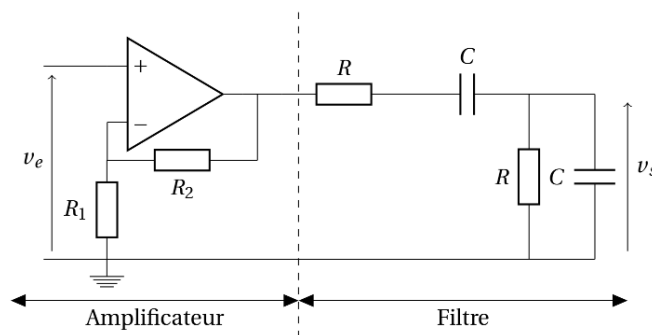


FIGURE 3 – Oscillateur de Wien

Le montage de l'oscillateur de Wien se décompose en deux partie, l'amplificateur que l'on peut modéliser par la fonction de transfert :

$$A(j\omega) = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Et un filtre de fonction de transfert :

$$B(j\omega) = \frac{jRC\omega}{1 + 3j\omega RC + (jRC\omega)^2} = \frac{1}{\frac{1}{Q} + j\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} \quad \text{Avec } \omega_0 = \frac{1}{RC} \quad \text{et } Q = \frac{1}{3}$$

Quand le système est bouclé. On considère un signal donné. Il est amplifié par A et il passe ensuite dans le filtre. Ensuite en fonction de sa fréquence il est plus ou moins atténué par le filtre. Si il est à une fréquence qui est trop atténuée par le filtre alors en revenant dans l'amplificateur opérationnel il est plus petit et finit donc par disparaître. Cependant si le passage dans le filtre est à la fréquence de résonance du filtre alors le signal en sorti est plus grand que celui d'entrée, et le signal est amplifié.

L'oscillateur de Wien est donc un oscillateur quasi sinusoïdale.

Présente l'oscillateur et montrer les oscillations qui sont à une fréquence donnée. On peut mentionner que cela n'est possible que pour certaines valeurs de résistance de $R_2 > 2R_1$.

3.2 Naissance des oscillations

On s'intéresse à la naissance des oscillations. En effet, les oscillations naissent d'une instabilité dans le bouclage. On veut remonter au temps caractéristique de divergence.

On court circuitise R_2 puis on lance une acquisition avec un pre trig. On débranche le court circuit et sur Latis pro, on trace $\frac{dv_s}{dt}$ en fonction de v_s . On observe une spirale croissante vers un cycle limite. C'est la dynamique de cette spirale qui nous intéresse.

3.3 Caractérisation : Détecteur de crête

On utilise un détecteur de crête pour déterminer l'amplitude des oscillations en fonction du temps. Le principe

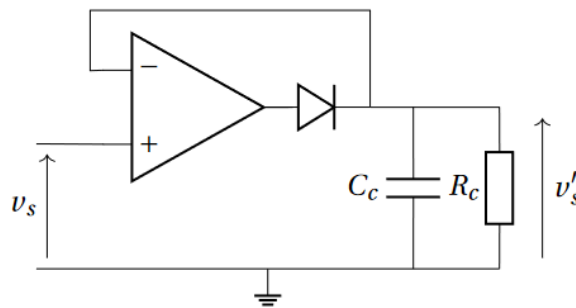


FIGURE 4 – Détecteur de crête avec diode sans seuil

du détecteur de crête est de mettre à profit le régime transitoire d'un circuit RC. En effet, le temps typique de décroissance d'un circuit RC est $\tau_{\text{crete}} = \frac{1}{RC}$. Aussi quand la diode est passante la tension de sortie suit exactement la tension d'entrée mais quand la diode est bloquante la tension décroît exponentiellement avec le temps caractéristique τ_{crete} . Il est en générale nécessaire de faire un compromis entre temps de décroissance et fréquence du signal. En effet il faut que le temps de décroissance soit grand (devant la période du signal) pour ne prendre que les crêtes du signal mais suffisamment petit pour qu'il puisse quand même détecter les décroissances du signal d'intérêt. Ici, on ne considère qu'un signal croissant donc pas de problème, on peut prendre un temps de décroissance très lent.

Naissance des oscillations :

On place le montage de la diode sans seuil en parallèle de v_s .

Tracer $\ln(v_{\text{crete}}) = f(t)$. Le temps de croissance des oscillations et l'inverse du coefficient directeur.

On attend :

$$\tau = \frac{R_1 C}{\frac{R_2}{2R_1} - 1}$$

Tracer $\frac{1}{\tau} = f(R_2)$. On trouve une droite que l'on relie à R_1 et C

Matériel :

- 2 résistance pour Wien $1\text{ k}\Omega$ par exemple
- 2 condensateur $1\text{ }\mu\text{F}$
- 2 AO
- Une résistance variable pour R_2
- $R_1 = 1\text{ k}\Omega$
- Un diode
- $C_c = 1\text{ }\mu\text{F}$, $R_c = 1\text{ M}\Omega$

4 Alternative : utilisation des régimes transitoires

A l'aide de l'étude du régime transitoire, on peut remonter à des caractéristiques du système.

Sur un pendule grand angle muni d'une sortie en tension proportionnelle à l'angle, faire une acquisition très longue. On peut détecter l'enveloppe. Si les frottements solides sont négligeables, on peut ajuster avec une exponentielle décroissante. S'ils sont prédominants, on peut ajuster avec une droite. On doit réaliser l'étalonnage du pendule avant la mesure.
L'étude des oscillations de relaxation du pendule permettent de remonter à une caractéristique du système.

Ici, il n'est pas possible de comparer les valeurs de coefficients d'amortissement obtenues : on connaît la force de Stokes pour un écoulement perpendiculaire à un cylindre, mais ici la vitesse n'est pas constante à l'échelle du pendule.

En revanche, on remarque que les pertes visqueuses, proportionnelles à la vitesse, dominent dans le cas des grandes oscillations, où la vitesse est importante. Les pertes par frottement solide dominent à basse vitesse.

Conclusion

Ici, nous avons mis en évidence différents type de régimes transitoires, d'abord diffusif qui contrôle (en parti) le transport de particule mais aussi de chaleur. Nous avons ensuite, grâce à des modèles électriques, appris à caractériser des régimes transitoire et identifier ce qui leurs ait propre. Nous avons ensuite utiliser nos aquis sur les régimes transitoires pour caractériser un autre type de régime transitoire : la divergence d'oscillations vers un cycle limite.

Nous pouvons noter que les régimes transtoire nous informe sur le systèmes, mais ils ne sont pas toujours à notre avantage. En effet ils imposent un temps caractérisitique que l'on ne peut dépasser. Par exemple si on utilise un photo-récepteur tel qu'une photorésistance. Le temps de réponse du capteur nous empêche de caractériser des évènement plus rapide que la recombinaison electron trou. Cependant, L'étude de se temps de réponse nous renseigne justement sur des caractérisitques des supraconducteurs.

Manip tampon : mesure du temps de réponse d'une photorésistance (voir montage sur les semi conducteur)
C'est une manip en un point qui peut aller assez vite ... Mais le reste est déjà long. (mais si quelque chose de marche pas, on peut toujours se rabattre dessus)