Fiche 1

Régimes transitoires (supérieur)

Ressources utilisées

- TAILLET
- Vidéo expérience RC série et oscilloscope, vers 3'17"
- Vidéo expérience RC série, mesure de τ

Pré-requis

- Notions sur les phénomènes de diffusion, convection [Secondaire]
- Électrocinétique : lois de KIRCHHOFF [L1]
- Équations différentielles du premier et second ordre [L1, mathématiques]

Éléments imposés possibles

Introduction pédagogique

Niveau L1/BCPST1 ou L2/BCPST2?

Remarque On peut proposer de placer la leçon à un niveau de licence 1 en suggérant qu'il faudrait découper cette étude sur les deux années de BCPST (le RLC n'est vu qu'en deuxième année). Dans ce cas là, on peut supposer traiter d'abord le cas du RC série, puis une analogie/étude dimensionnelle d'une diffusion (particulaire ou thermique), comme des premiers ordres ; et enfin de travailler sur un deuxième ordre : le RLC série pour poursuivre l'étude électrocinétique ou bien le pendule pesant (avec ou sans approximation des petits angles).

Difficultés Différence entre régime transitoire et régime permanent : un régime sinusoïdal forcé est un régime permanent. (un régime totalement périodique l'est-il?)

Travaux dirigés Mise en équation en électrocinétique, en mécanique : analogie et retour sur formes canoniques. Analyse dimensionnelle.

Travaux pratiques Mesures de temps caractéristiques, décroissement logarithmique... pour des circuits RC et RLC.

Modélisation Python, portrait de phases et résolution d'équations différentielles.

Leçon que l'on place en L1 : pour autant, certaines notions ne sont traitées qu'en BCPST2 voire pas du tout (portrait de phase) dans le programme de cette filière.

En profitera de la première partie pour introduire deux outils utiles à l'étude des régimes transitoires : le portrait de phase et l'analyse dimensionnelle. Bien sûr, le calcul pour le RC série pourra être réalisé entièrement mais il s'agirait de ne pas trop s'attarder sur la résolution des équations différentielles, qui n'est pas ce qui est le plus intéressant à traiter devant les élèves pour une première approche des régimes transitoires.

On portera une attention particulière à décrire le régime transitoire considéré comme entre deux régimes permanents.

Introduction

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

1.1 Régimes transitoires du premier ordre

Régime transitoire du premier ordre : dépendance en la dérivée première par rapport au temps d'une grandeur du système considéré.

1.1.1 Étude du circuit RC série

Projection

Première vidéo

[Dessiner schéma circuit RC.] Ici, on soumet le système initialement au repos (totalement déchargé) à un échelon de tension ; le condensateur se charge, jusqu'à ce que la tension à ses bornes soit égale à celle imposée. Entre ces deux régimes (permanents, si l'on ne fait rien), on observe un régime transitoire.

Pour l'étudier, on se réfère aux lois de KIRCHHOFF pour l'étude du circuit électrique.

On arrive à :

$$\frac{dU_c}{dt} + \frac{1}{RC}U_c = E_0. \quad (1.1)$$

On pose alors le temps τ appelé temps caractéristique, $\tau = \frac{1}{RC}$ tel que :

$$\frac{dU_c}{dt} + \frac{1}{\tau}U_c = E_0. \quad (1.2)$$

Utilisation du portrait de phase

Le portrait de phase est la représentation graphique des variations d'une variable dynamique en fonction de sa dérivée temporelle. Ici, il s'agit du tracé de la dérivée de la tension aux bornes du condensateur en fonction de la tension aux bornes du condensateur !

On note, sans même résoudre l'équation différentielle, qu'il s'agit d'une droite avec une ordonnée à l'origine et une pente ; on peut donner l'état initial avec les conditions initiales et l'état final : le régime transitoire est ce qu'il se passe entre les deux !

Avantage : on a de nombreuses informations sans résoudre l'équation différentielle. Inconvénient : on a pas directement l'information temporelle, particulièrement sur la durée du régime transitoire...

Résolution de l'équation différentielle

La résolution de l'équation différentielle nous amène au résultat, en considérant les conditions initiales $U_c(0^+) = U_c(0^-)$ par continuité de l'énergie :

$$U_c(t) = E_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right). \quad (1.3)$$

Finalement, le temps caractéristique τ est celui qui nous permet, comme on le verra plus en détail en TP, d'estimer la durée du régime transitoire. On peut pourtant l'exprimer dans d'autres systèmes, et lui donner la même signification...

1.1.2 Étude d'un régime transitoire de diffusion

Expérience Diffusion de KMnO_4 dans un cristallisateur d'eau.

On donne l'équation de diffusion particulière à une dimension : on la verra en deuxième année.

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2}. \quad (1.4)$$

On peut simplement en faire une analyse dimensionnelle, et arriver à

$$\tau = \frac{D}{L^2}, \quad (1.5)$$

et estimer le temps caractéristique pour ce régime transitoire : entre le régime permanent (eau claire) et le régime permanent (eau et permanganate homogènes).

Remarque Données pour l'application numérique??

1.2 Régimes transitoires du second ordre

1.2.1 Étude du circuit RLC série

1.2.2 Étude du pendule (pesant)

Projection

Animation du pendule pesant, avec portrait de phase http://www.ac-grenoble.fr/disciplines/spc/genevieve_tulloue/file/gtulloue/Meca/Oscillateurs/pend_pesant1.html.

Remarque Voir Site de Geneviève TULLOUE.

Conclusion