

LP 25 – Régimes transitoires

Manon LECONTE - ENS de Lyon

Dernière mise à jour : 6 juin 2020

Merci à F nrl Montorier et Joachim Galiana pour leur précieuse aide.

Mots-clé : régime transitoire, circuit RC, bilan d'énergie.

Niveau : BCPST 1

Pré-requis :

- Fonctionnement des dipôles linéaires classiques : résistance, condensateur, GBF [BCPST 1]
- Loi de Kirchhoff [BCPST 1]
- Résolution d'équations différentielles du 1^{er} ordre [BCPST 1]
- Calcul d'incertitudes [BCPST 1]

Bibliographie :

- Taillet, *Dictionnaire de physique*
- Bresson, *Physique-Chimie BCPST 1^{re} année*
- Gr cias, *Physique 2^{de} année BCPST-V to*, Référence pr pas
- Fruchart, *Physique expérimentale*

Plan proposé

I - Etude du circuit RC	1
A/ Montage expérimental	1
B/ Résolution de l'équation différentielle associée au circuit	2
C/ Durée du régime transitoire	3
D/ Etude d'une photodiode	3
II - Etude énergétique d'un régime transitoire	4

Liste de matériel

Circuit RC série

- Oscilloscope + 2 adaptateurs coax-fils banane ;
- GBF ;
- Condensateur ($C = 1,03 \text{ nF}$) ;
- Résistance variable (entre 5 et 1 000 Ω) ;
- Fils banane.

Etude de la photodiode

- Oscilloscope + 2 adaptateurs coax-fils banane ;
- GBF ;
- Photodiode TTL ;
- Résistance variable (entre 5 et 1 000 Ω) ;
- Fils banane.

Introduction pédagogique

Le but de ce cours est de montrer des applications concrètes du régime transitoire, à travers des dipôles électriques. Toutefois, on fera des parallèles entre plusieurs branches de la physique, car elles présentent pour beaucoup des régimes transitoires.

Difficultés :

- résolution d'équations différentielles ;
- analogie entre conduction électrique, conduction thermique et diffusion particulaire.

Exemple de TD ou de TP : étude de circuits RC.

Introduction

Définition – Régime transitoire : régime possédant une certaine durée, compris entre deux états d'équilibre, appelés **régimes permanents**.

Avant d'aborder des exemples d'électronique, on peut voir ce concept dans d'autres domaines de la physique.

Exemple – On allume un radiateur à 20 °C dans une chambre à 15 °C. Il faut attendre un certain temps avant que la chambre n'atteigne 20 °C.

Vidéo – Diffusion de permanganate de potassium dans de l'eau (regarder jusqu'à 43").

On observe un régime transitoire pour homogénéiser la concentration en KMnO_4 .

Il existe également des régimes transitoires dans les circuits électriques. C'est ce que l'on va étudier dans ce cours.

Objectifs – Retrouver le temps caractéristique d'un circuit RC.
Etablir un bilan d'énergie dans un circuit RC.

I - Etude du circuit RC

A/ Montage expérimental

Expérience – Circuit RC série où E est un signal créneau ($f = 3 \text{ kHz}$, $U_{eff} = 5 \text{ V}$, $U_{pp} = 10 \text{ V}$), R varie entre 5Ω et $1 \text{ k}\Omega$, $C = 100 \text{ nF}$.

On observe les signaux délivré par le GBF et aux bornes du condensateur. Comment expliquer l'allure du second ?

On appelle la vague croissante du signal la **charge du condensateur**, et la vague décroissante la **décharge**.

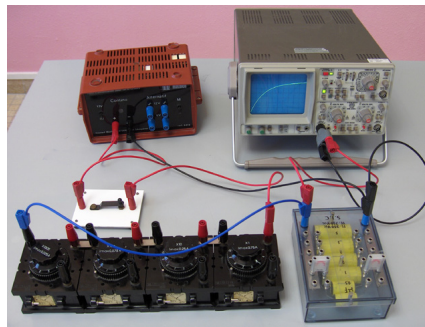


Figure 1 – Montage expérimental d'un circuit RC (Source : F. Passebon).

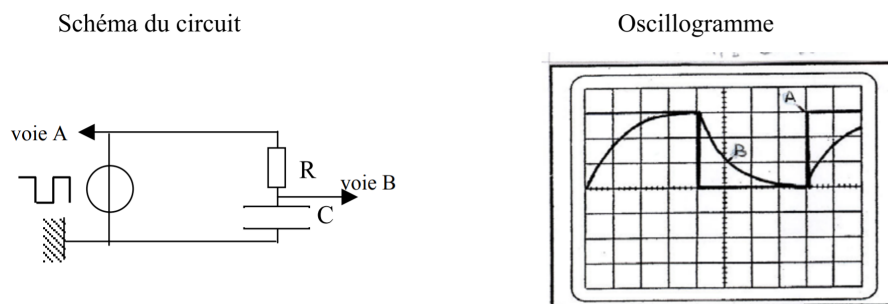


Figure 2 – Visualisation à l'oscilloscope des signaux délivré par le GBF (créneau) et aux bornes du condensateur d'un circuit RC (Source : Loire Cambodge).

B/ Résolution de l'équation différentielle associée au circuit

On étudie la réponse du condensateur au passage d'une tension nulle au GBF à une tension E (échelon de tension).

D'après la loi des mailles,

$$E = u_R + u_C = R i + u_C \tag{1}$$

On sait que dans un condensateur, $i = C \frac{du_C}{dt}$. Donc

$$E = RC \frac{du_C}{dt} + u_C \tag{2}$$

L'équation différentielle présente une dérivée première par rapport au temps. On dit alors que le circuit RC est un circuit **d'ordre 1**.

On résout l'équation différentielle :

$$u_C(t) = A e^{-t/\tau} + E = E (1 - e^{-t/\tau}), \quad \tau = RC \tag{3}$$

A l'oscilloscope, lorsque l'on impose un signal créneau, on peut observer un signal réponse avec une allure d'exponentielle, et non un créneau. C'est la manifestation du régime transitoire.

On peut en déduire l'expression du courant :

$$i(t) = \frac{EC}{\tau} e^{-t/\tau} = \frac{E}{R} e^{-t/\tau} \tag{4}$$

C/ Durée du régime transitoire

On peut remarquer que la constante τ est homogène à un temps. Il s'agit en fait du **temps caractéristique** du circuit RC.

On calcule la tension aux bornes du condensateur en des valeurs particulières :

— $u_C(\tau) = 0,63 E$: au bout du temps τ , le condensateur est chargé à 63% ;

— $u_C(5\tau) = 0,99 E$: au bout du temps 5τ , le condensateur est chargé à 99%.

On peut donc considérer que le régime permanent est atteint au bout de quelques τ .

On peut déterminer le temps caractéristique du circuit graphiquement en mesurant le temps pour lequel $u_C(\tau) = 0,63 E$. On peut également tracer la tangente à l'origine à la courbe de u_C , qui est égale à $\frac{E}{\tau}$. Elle intersecte donc la droite d'équation $u = E$ (asymptote infinie de u_C) en $t = \tau$.

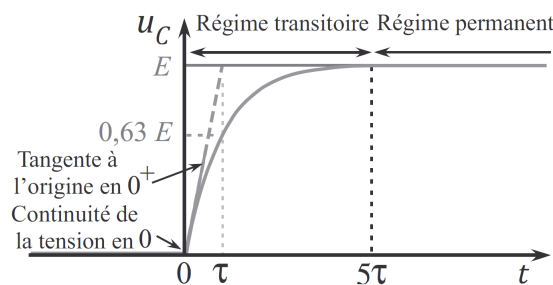


Figure 3 – Détermination graphique du temps caractéristique d'un circuit RC (Source : Bresson (p. 185)).

On peut observer des régimes transitoires en utilisant d'autres dipôles électriques, par exemple une photodiode.

D/ Etude d'une photodiode

Définition – Photodiode : dispositif semi-conducteur dont l'exposition à la lumière induit un courant.

Expérience – On remplace le condensateur par une photodiode TTL dans le circuit précédent.

On observe le même type de signal que dans le premier montage. En effet, le dispositif est en fait composé de deux semi-conducteurs, l'un possédant un excédent d'électrons et l'autre un défaut. Il équivaut donc à un condensateur.

⇒ Comment mesurer sa capacité équivalente ?

Pour un condensateur, le temps de réponse s'exprime $\tau = RC$. Il suffit de tracer l'évolution de τ en fonction de R pour déterminer la capacité équivalente C . On mesure $C = (1,05 \pm 0,09) \text{ nF}$.

II - Etude énergétique d'un régime transitoire

Si on multiplie l'équation (1) par le courant i , on peut obtenir un bilan de puissance :

$$E i = R i^2 + u_C i = R i^2 + C u_C \frac{du_C}{dt} = R i^2 + \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} C u_C^2 \right) \quad (5)$$

Ce qui revient à :

$$\mathcal{P}_{fournie} = \mathcal{P}_{Joule} + \mathcal{P}_{stock} \quad (6)$$

où $\mathcal{P}_{fournie}$ est la puissance fournie par le GBF, \mathcal{P}_{Joule} la puissance dissipée par la résistance par effet Joule et \mathcal{P}_{stock} la puissance stockée par le condensateur.

On intègre cette équation pour obtenir le bilan d'énergie :

$$\mathcal{E}_{fournie} = \mathcal{E}_{Joule} + \mathcal{E}_{stock} \quad (7)$$

avec $\mathcal{E}_{fournie}$ l'énergie fournie par le générateur, \mathcal{E}_{Joule} l'énergie dissipée par effet Joule dans la résistance et \mathcal{E}_{stock} l'énergie stockée par le condensateur.

En outre, on peut réécrire le bilan de puissance (5) en utilisant l'expression du courant (équation 4). On intègre entre $t = 0$ et $t \rightarrow +\infty$:

$$\mathcal{E}_{fournie} = C E^2 ; \mathcal{E}_{Joule} = \frac{1}{2} C E^2 = \mathcal{E}_{stock} \quad (8)$$

On observe ainsi que l'énergie apportée par le générateur se répartit équitablement entre la résistance et le condensateur au bout d'un temps long.

Conclusion

On a mis en évidence des régimes transitoires et calculé des grandeurs pour l'électronique. On pourra étudier de même les régimes transitoires des diffusions thermique et particulaire en BCPST 2, lorsque l'on aura établi l'équation différentielle de diffusion.