

Régimes Transitoires

2023-2024

Rég. Tra.

Etude d'un circuit RC ()

Concepts étudiés

[PHYS] Régime Transitoire
[MATH] Equation différentielle
[ING] Instrumentation et mesures
[ING] Réalisation d'un circuit

Mots clefs

Etat stable; Régime transitoire;
Constante de temps; Circuit RC

Sessions

- 1 Cours(s) - 1h30
- 0 TD(s) - 1h30
- 2 TP(s) - 3h00

Travail

Par binôme

Mettre en oeuvre un circuit RC et le modéliser

Acquis d'Apprentissage Visés

A la fin de ce module, vous serez capable de :

1. **Modéliser un phénomène transitoire** du premier ordre
2. **Mettre en oeuvre un protocole de mesure** du temps de réponse d'un circuit RC
3. **Rédiger un compte-rendu**

La plupart du temps, la **transition entre deux états stables** n'est pas instantané.

La définition d'un régime transitoire en physique est la suivante :

Définition : Régime Transitoire

Régime d'évolution d'un système qui n'a pas atteint un **état stable** (ou **régime permanent**).

La durée caractéristique d'un régime transitoire est appelée **temps de relaxation** ou **constante de temps** de ce système.

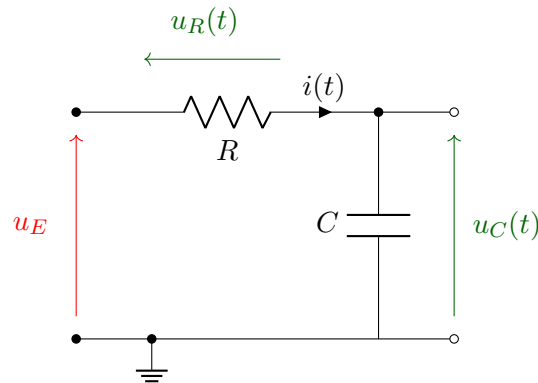
Exemples

Il existe des régimes transitoires dans de nombreux domaines. Voici quelques exemples :

- Mise en chauffe d'un four, d'une pièce...
- Atteinte d'une vitesse d'avance (transports, moteurs...), d'une position (ascenseur, imprimante...)
- Réactions chimiques (ions en solution acqueuse...)
- Charge et décharge d'un condensateur à travers une résistance

Circuit RC

Dans le cadre de ce module, nous nous intéresserons à l'étude de la charge (et la décharge) d'un condensateur à travers une résistance (circuit suivant).



1. Mise en équation

1.1. Loi des mailles

Si on s'intéresse au circuit précédent, on s'aperçoit qu'il existe une seule maille principale. Il est alors possible d'utiliser la loi des mailles (l'une des lois de Kirchhoff).

Rappel : loi des mailles (loi de Kirchhoff)

Dans une maille quelconque d'un réseau, la somme algébrique des différences de potentiel le long de la maille est constamment nulle.

Dans notre cas, on trouve :

$$E - u_R - u_C = 0$$

Comme il n'y a qu'une seule maille, il n'y a pas de noeuds dans ce circuit. Le courant qui traverse la résistance R est le même que le courant traversant le condensateur C .

1.2. Capacité d'un condensateur

La **capacité** d'un condensateur représente la **quantité de charges électriques** qu'il accumule pour une différence de potentiel donnée.

Elle est définie par :

$$C = \frac{q}{u_C}$$

où u_C est la différence de potentiel aux bornes du condensateur en volts (V), q la quantité de charges électriques en coulombs (C) et C la capacité en farads (F).

1.3. Courant électrique et charges

Un **courant électrique** est un **mouvement de charges électriques** (généralement des électrons) au sein d'un matériau conducteur.

L'**intensité d'un courant**, en ampères (A) décrit la quantité de charges électriques qui transitent à travers une surface donnée. On peut voir ce courant comme un **débit d'électrons**.

On remonte à l'intensité par la loi suivante :

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

1.4. Lien entre C et u_C

Ainsi, il est possible de trouver le lien entre le courant qui traverse un condensateur et la valeur de sa capacité :

$$q(t) = C \cdot u_C(t)$$

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = \frac{d(C \cdot u_C(t))}{dt}$$

On suppose que la capacité C est constante, ainsi :

$$i(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$

1.5. Loi d'Ohm

La loi d'Ohm aux bornes de la résistance R permet d'écrire :

$$u_R = R \cdot i(t)$$

1.6. Montage complet

En reprenant l'ensemble des équations précédentes, on obtient :

$$E = R \cdot i(t) + u_C(t)$$

$$E = R \cdot C \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t)$$

Il s'agit d'une **équation différentielle** du premier ordre.

Il existe alors des outils mathématiques pour la résoudre, dans un cas particulier.

Dans notre cas, on supposera qu'à l'instant $t = 0$, la tension $u_C(t) = 0$ et que la tension $u_E(t)$ passe instantanément de 0 à une tension positive E .

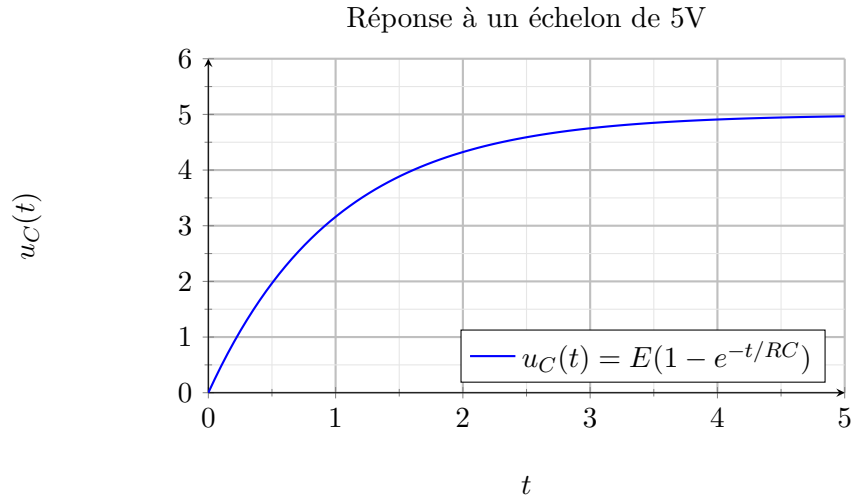
On obtient alors la fonction suivante pour $u_C(t)$ (qui est également la tension de sortie de notre système) :

$$u_C(t) = E \cdot (1 - e^{\frac{-t}{R \cdot C}})$$

Par la suite, on appellera $\tau = R \cdot C$ (*tau*) la **constante de temps** du circuit.

1.7. Tracé de l'évolution de $u_C(t)$

Si on trace la courbe de l'évolution de $u_C(t)$ en fonction du temps pour une valeur particulière de RC , on obtient la courbe suivante (pour $RC = 1$) :



2. Vérification mathématique

On peut vérifier que la fonction obtenue précédemment répond bien à une solution de l'équation différentielle du circuit et que d'autres ne peuvent pas être solution de cette loi d'évolution du circuit.

2.1. $u_C(t) = A$ (*constante*)

On a alors $du_C(t)/dt = 0$

$$\text{Et : } R \cdot C \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = A$$

Cela ne fonctionne que si $A = E$, c'est à dire si la capacité est déjà chargée.

2.2. $u_C(t) = B \cdot t + A$ (*loi affine*)

On a alors $du_C(t)/dt = B$

$$\text{Et : } R \cdot C \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = A + R \cdot C \cdot B$$

Cette relation donne une valeur différente de E .

2.3. $u_C(t) = E \cdot (1 - \exp \frac{-t}{RC})$ (*exponentielle*)

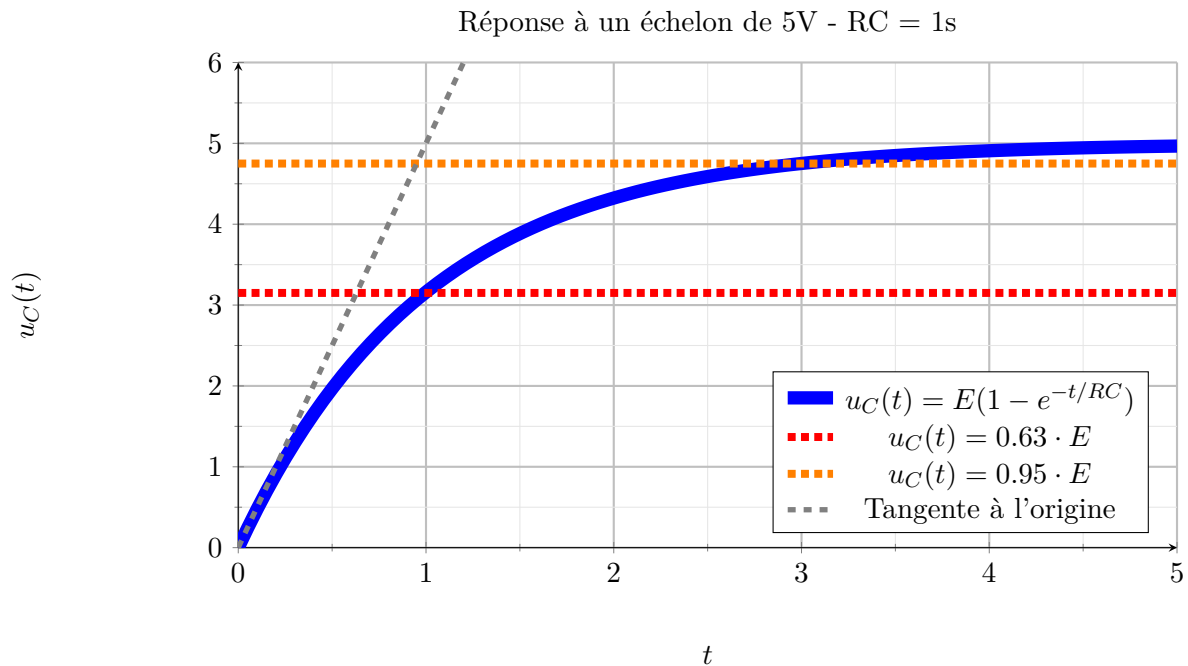
On a alors $du_C(t)/dt = -E/(R \cdot C) \cdot \exp \frac{-t}{RC}$

$$\text{Et : } R \cdot C \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = E \cdot (1 - \exp \frac{-t}{RC}) - E/(R \cdot C) \cdot \exp \frac{-t}{RC}$$

On obtient alors : $R \cdot C \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = E$

3. Mesure de la constante de temps

Afin de pouvoir effectuer une **mesure fiable**, il est important d'avoir un **protocole expérimental répétable**. Dans le cas d'un régime transitoire, on cherche à mesurer de manière précise le temps caractéristique d'établissement d'un état stable vers un autre. On souhaite par la suite pouvoir comparer différents systèmes (par exemple ici, différents couples R-C).



4. Mise en oeuvre

4.1. Cablage du montage

CABLAGE AVEC VOIE DE L'OSCILLOSCOPE

4.2. Premier essai avec un générateur de tension continue

Sans déclenchement (trigger), l'acquisition de la courbe expérimentale est difficile.

4.3. Déclenchement de l'oscilloscope

PRENDRE IMAGE OSCILLO + MENU DECLENCHEMENT

- Voie de déclenchement
- Signal à détecter (souvent front)
- Sens de déclenchement (dans le cas d'un front)
- Seuil de déclenchement

4.4. Utilisation d'un générateur de fonctions

NOUVEAU SCHEMA

4.5. Réglage de l'oscilloscope

PRENDRE IMAGE MENU VOIE

5. Compte-rendu

5.1. Qu'est-ce qu'un compte rendu ?

Un compte-rendu est une **synthèse d'un travail expérimental** que vous avez réalisé. Il permet de résumer les différentes étapes que vous avez été amené à suivre lors des expériences que vous avez menées.

5.2. A qui s'adresse un compte-rendu ?

Il s'adresse :

- **à soi-même** : pour pouvoir mener à nouveau l'expérience (avec les mêmes paramètres ou des paramètres différents pour améliorer le modèle physique et mathématique)
- **à une personne extérieure** : pour que cette personne puisse reproduire l'expérience dans des conditions similaires, retrouver les résultats et aboutir aux mêmes analyses

5.3. Quels sont les éléments à inclure dans un compte-rendu ?

5.3.1 Introduction

Un compte-rendu doit commencer par une introduction permettant de présenter la problématique abordée ou/et le phénomène physique que l'on souhaite mettre en évidence à travers l'expérience. Cette introduction doit également présenter succinctement la démarche et les résultats que vous cherchez à obtenir.

5.3.2 Théorie / Modèle mathématique ou/et physique

Afin d'expliquer la démarche expérimentale et de pouvoir comparer les résultats expérimentaux aux modèles mathématiques et physiques, il faut proposer au lecteur quelques éléments de théorie. Ces éléments doivent se baser sur des outils mathématiques ou/et sur des lois physiques déjà établies.

Cette partie peut aussi être associée à la partie analyse, selon les cas.

5.3.3 Matériel et méthodes

Afin de pouvoir répliquer les expériences que vous présentez et les résultats que vous avez obtenus, il est indispensable de présenter l'ensemble du matériel que vous avez utilisé au cours de votre expérience, en incluant la référence des instruments ainsi que leurs paramètres de configuration et les différents consommables que vous avez pu utiliser.

Il faut également présenter les méthodes que vous avez suivies lors de votre expérience, en précisant systématiquement le protocole de mesure utilisé pour chacune des mesures réalisées.

Les outils numériques utilisés doivent aussi être présents dans cette section, que ce soit pour le traitement des données ou la présentation des résultats. Vous pouvez présenter les algorithmes de traitement de l'information que vous avez utilisé. Les différents codes doivent cependant se trouver en annexe. Seules quelques lignes particulières doivent se retrouver dans cette section.

5.3.4 Résultats

Cette section doit présenter les résultats de manière synthétique et clair. Vous devez également décrire les observations sur lesquelles le lecteur doit se focaliser. Il faut l’emmener à voir ce que vous avez vous-même observé.

5.3.5 Analyse

Cette section permet de faire le lien entre vos observations expérimentales (ou de simulation) et le modèle théorique sur lequel se base votre expérience (voir section Théorie et Modèles). Il faut synthétiser vos résultats et montrer que votre expérience confirme (ou non) le modèle que vous avez établi.

5.3.6 Conclusion

Votre compte-rendu, tout comme votre expérience, doit permettre de répondre à une problématique que vous deviez traiter. Votre compte-rendu doit comporter une conclusion permettant d’établir si la problématique initiale trouve une réponse suite à votre expérience.