

Système électrique capacitif

I. Rappels

1. Tension électrique

Plongée dans un champ électrique \vec{E} , une charge électrique q est soumise à une force \vec{F} .

Lorsque cette charge q se déplace d'un point A à un point B , la force \vec{F} effectue un travail W .

On appelle **différence de potentiel électrique** ΔV entre les points A et B la quantité $\Delta V = W/q$.

Dans un circuit électrique, la différence de potentiel électrique entre les points A et B s'appelle **tension électrique** et se note U_{AB} . La tension électrique est donc équivalente au travail des forces électriques par unité de charge.

2. Courant électrique

Le courant électrique I mesure la circulation de charge électrique à travers le circuit. Les porteurs de charge sont les entités chargées électriquement qui, en se déplaçant le long du circuit, créent le courant électrique :

Dans un fil électrique, les porteurs de charge sont les électrons.

Dans une solution aqueuse, les porteurs de charge sont les ions.

Définition : L'intensité du courant électrique $i(t)$ dans un circuit électrique est le débit de charge électrique $q(t)$ à travers une section du fil :

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

Unités : i (en A), q (en C) et t (en s)

Un courant est dit « continu » lorsqu'il ne varie pas dans le temps. On dit alors que le circuit électrique fonctionne en régime stationnaire ou permanent.

Un courant électrique est dit « variable » s'il varie au cours du temps. On dit alors que le circuit électrique fonctionne en régime variable.

II. Le condensateur

Un condensateur est composé de deux conducteurs métalliques, appelés armatures, séparés par un matériau isolant appelé diélectrique.



Les armatures accumulent des charges électriques q aux bornes du condensateur :

$$q = C \times u_c \quad \begin{cases} C : \text{Capacité du condensateur en Farads (F)}, \\ q : \text{charge de l'armature positive en Coulombs (C)}, \\ u_c : \text{tension aux bornes du condensateurs en Volts (V)} \end{cases}$$

Rq : Ordre de grandeur de C : millifarad (10^{-3} F) au picofarad (10^{-12} F)

La capacité d'un condensateur est donnée par la formule :

$$C = \epsilon \frac{S}{e} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} S : \text{la surface en m}^2 \\ e : \text{épaisseur de l'isolant en m} \\ \epsilon : \text{permittivité du diélectrique en F.m}^{-1} \end{cases}$$

Lors de la charge du condensateur, l'intensité du courant i est de sens opposé aux électrons.

L'armature A se charge positivement.

L'armature B se charge négativement.

On a $q_A = -q_B$ (on dit généralement que A porte q et B, $-q$)

L'intensité du courant électrique est un débit de charges électriques égal à la variation dq de la charge portée pendant un certain temps dt . On a donc :

$$i = \frac{dq}{dt}$$

En fin de charge, plus aucune charge électrique ne circule $i = 0A$.

II. Le dipôle RC en charge

Le dipôle RC est l'association en série d'un condensateur et d'une résistance. Il est soumis à un échelon de tension E (la tension est créée par un générateur dont la tension initiale est de $0V$ et qui prend instantanément une valeur constante qu'il garde indéfiniment).

1. Equation différentielle :

A $t = 0$, l'échelon de tension est appliqué au dipôle RC.

A $t > 0$:

On applique **loi des mailles (loi d'additivité des tensions)** :

$$u_C + u_R = E$$

A partir de la loi d'Ohm $u_R = R \times i$, on en déduit que : $u_C + R \times i = E$

Rappel : D'après la loi des nœuds, l'intensité du courant est la même en tout point d'une maille.

Or $q = C \times u_C$ et donc $i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt}$

La loi des mailles sur le circuit s'écrit alors : $u_C + RC \frac{du_C}{dt} = E$

2. Solution de l'équation différentielle :

$$u_C = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

On appelle $\tau = R \times C$ la constante de temps du circuit (exprimé en seconde)

III. Le dipôle RC en décharge

L'échelon de tension est une tension nulle.

1. Equation différentielle :

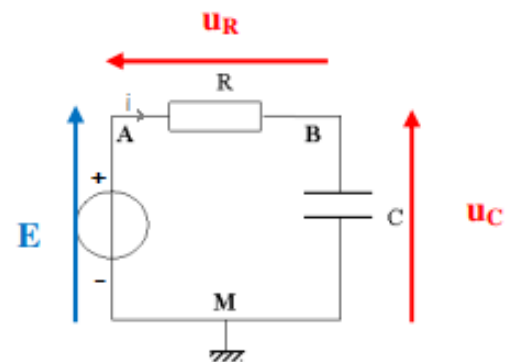
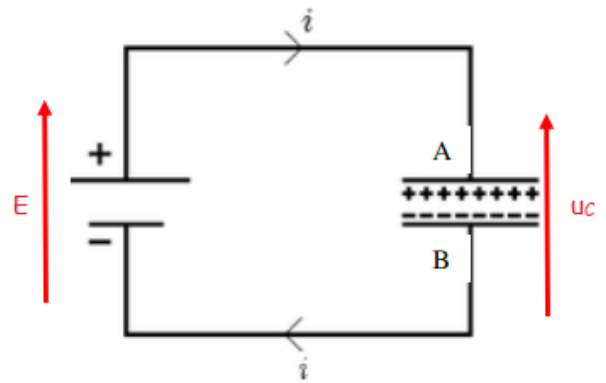
A $t = 0$, la tension aux bornes du condensateurs vaut E .

A $t > 0$:

On applique **loi des mailles (loi d'additivité des tensions)** :

$$u_C + u_R = 0 \text{ (ici on utilise toujours la convention récepteur)}$$

A partir de la loi d'Ohm $u_R = R \times i$, on en déduit que : $u_C + R \times i = 0$



Rappel : D'après la loi des nœuds, l'intensité du courant est la même en tout point d'une maille.

$$\text{Or } q = C \times u_c \text{ et donc } i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_c}{dt}$$

$$\text{La loi des mailles sur le circuit s'écrit alors : } u_c + RC \frac{du_c}{dt} = 0$$

2. Solution de l'équation différentielle :

$$u_c = E \times e^{-\frac{t}{RC}}$$

On appelle $\tau = R \times C$ la constante de temps du circuit (exprimé en seconde)

IV. Détermination de la constante de temps τ :

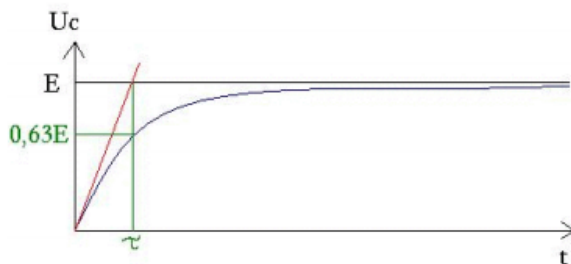
Numériquement : en connaissant R et C, il suffit de calculer le produit $R \times C$.

Graphiquement : connaissant la courbe $u_c(t)$:

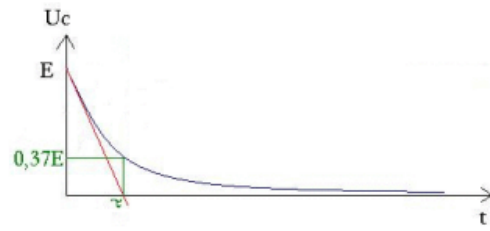
- On calcule $u_c(\tau) = E(1 - e^{-1}) = 0,63 \times E$ et on regarde à quelle abscisse correspond cette ordonnée.
- Ou on trace la tangente à la courbe $u_c(t)$ à $t = 0$ et on détermine l'abscisse du point d'intersection entre cette tangente et l'asymptote $u_c(t) = E$.

Plus la valeur de la constante de temps est grande et plus le condensateur mettra du temps à se charger ou se décharger.

On sait que lorsque $t = 5\tau$, le condensateur est chargé ou déchargé à 99%.



Détermination de τ lors de la charge



Détermination de τ lors de la décharge

V. Exemples d'utilisation du condensateur comme capteur

On parle de capteurs capacitifs.

- Capteur de déplacement capacitif : détection d'une variation de faibles distances. C'est une **électrode**, en forme de disque, et forme avec la pièce à mesurer conductrice un condensateur plan.
- Les capteurs d'humidité d'air ambiant : la capacité du condensateur varie en fonction de l'humidité ambiante.
- Les capteurs de valeurs électriques La mesure de la capacité d'un condensateur se fait en injectant un signal sinusoïdal à travers un réseau de composants Résistance, Condensateur, Bobine