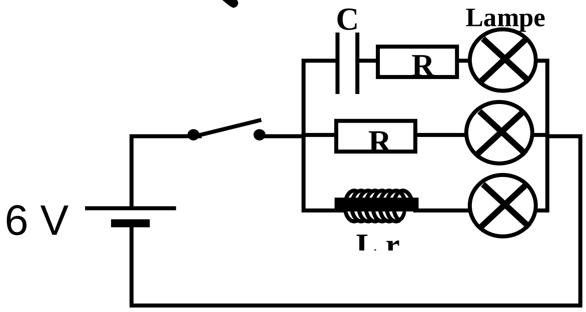
PARTIE C : EVOLUTION DES SYSTEMES ELECTRIQUES



Doc n°1

Manipulation pouvant être séparé en 2 :
Ll'une pour l'intro RC
L'autre pour l'intro RL

Introduction :

Réalisons le montage ci-contre :

Observations :

A la fermeture de l'interrupteur :
La lampe reliée à la résistance s'allume instantanément.
La lampe reliée à la bobine s'allume avec un retard.

La lampe reliée au condensateur s'allume instantanément puis s'éteint au bout d'un temps très court.
A la réouverture de l'interrupteur :
La lampe reliée au condensateur se rallume brièvement.

Conclusion : Quel est le rôle des deux nouveaux composants introduits ici ?

Le condensateur a pour but d'emmagasiner de l'énergie pour la redistribuer à la demande. Le but de la bobine est de s'opposer à l'établissement du courant dans le circuit dans lequel elle est.

Chapitre 6 : Le dipôle RC

Connaissances et savoir-faire exigibles :

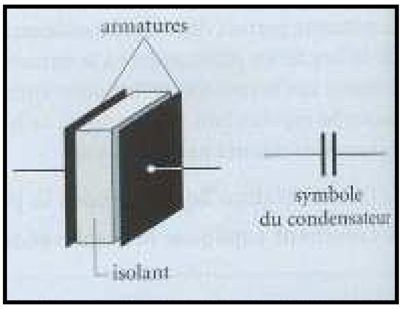
(1) Connaître la représentation symbolique d'un condensateur.
(2) En utilisant la convention récepteur, savoir orienter un circuit sur un schéma, représenter les différentes flèches tension, noter les charges des armatures du condensateur.
(3) Connaître les relations charge-intensité et charge-tension pour un condensateur en convention récepteur ; connaître la signification de chacun des termes et leur unité.
Savoir exploiter la relation q = Cu.
(4) Effectuer la résolution analytique pour la tension aux bornes du condensateur ou la charge de celui-ci lorsque le dipôle RC est soumis à un échelon de tension.
En déduire l'expression de l'intensité dans le circuit.
(5) Connaître l'expression de la constante de temps et savoir vérifier son unité par analyse dimensionnelle.
(6) Connaître l'expression de l'énergie emmagasinée dans un condensateur.
(7) Savoir que la tension aux bornes d'un condensateur n'est jamais discontinue.
(8) Savoir exploiter un document expérimental pour : (**Exercices**)
- ✓ Identifier les tensions observées
- ✓ Montrer l'influence de R et de C sur la charge ou la décharge
- ✓ Déterminer une constante de temps lors de la charge et de la décharge.

Savoir faire expérimentaux : (**Voir TPφn°4**)
(9) Réaliser un montage électrique à partir d'un schéma.
(10) Réaliser les branchements pour visualiser les tensions aux bornes du générateur, du condensateur et du conducteur ohmique.
(11) Montrer l'influence de l'amplitude de l'échelon de tension, de la résistance et de la capacité sur le phénomène observé lors de la charge et de la décharge du condensateur.

I Les condensateurs :

1) Description du composant [1] :

Un condensateur est composé de **deux conducteurs métalliques**, appelés **armatures**, séparés par un **matériau isolant** appelé diélectrique. Son symbole est indiqué ci-contre :

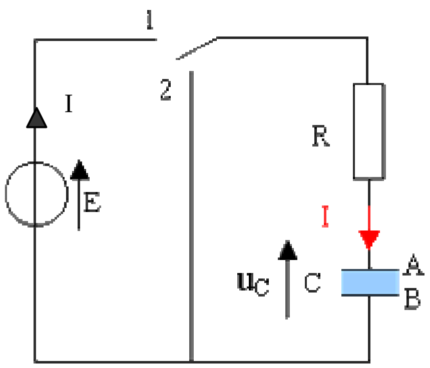


Doc n°2

2) Charges portées par les armatures [2] : *Fiche élève*

a. L'intensité du courant : une grandeur algébrique :

Comme l'est le travail d'une force, **l'intensité du courant électrique est une grandeur qui peut être positive ou négative** :



Il s'agit encore d'une histoire de convention :

- On choisit **un sens positif** pour le courant : ici il s'agit de celui indiqué sur le schéma (**la flèche de I dans le même sens que la flèche de E**).
- Si le courant circule **comme sur le schéma,** son intensité est comptée **positive**, sinon elle est comptée **négative**.

Rq : nous avons bien respecté dans ce circuit les conventions générateur et récepteur.

b. Deux armatures de charges opposées :

- Si l'interrupteur est mis sur la **position 1**, alors l'intensité du courant est **positive** et les électrons (qui circulent en **sens inverse** du courant) circulent de l'armature **A**, qui se charge **positivement**, à l'armature **B** qui nécessairement (à cause des forces électrostatiques), se charge **négativement (**la charge globale du condensateur est nulle).

  On a donc : $\boxed{q_A = -q_B}$ **(on dit généralement que A porte q et B, -q)**
  On dit que le condensateur se **charge**.

- Si l'interrupteur est basculé en **position 2**, alors le condensateur se **décharge** : l'intensité du courant est **négative**, les charges sur les armatures diminuent (en valeur absolue).

c. Relation entre la charge et l'intensité du courant [3] :

L'intensité du courant électrique est un **débit de charges électriques** : plus le nombres de charges qui traversent une section de conducteur pendant un certain temps est grand, plus l'intensité du courant est grande.

Cette quantité de charge est égale à la variation dq de la charge portée par l'armature A pendant un certain temps dt. On a donc :

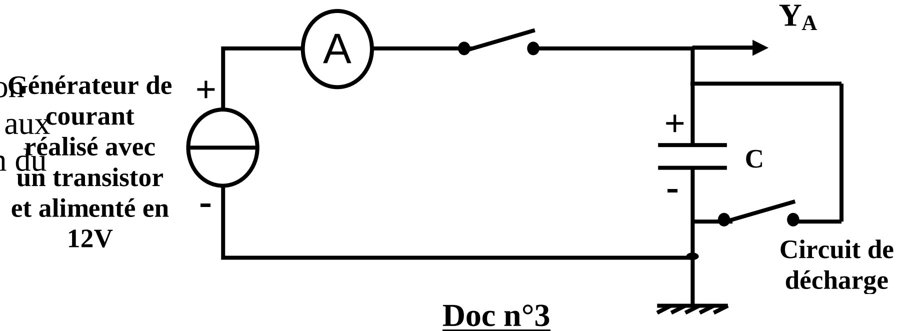
$\boxed{i = \frac{dq}{dt}}$ (charge : dq>0 et i>0)
- i : **intensité du courant en Ampères (A)**
- q : **charge de l'armature en Coulombs (C)**
- t : **temps en secondes (s)**

i = coefficient directeur de la droite q = f(t)

II Capacité d'un condensateur : Charge d'un condensateur à courant constant :

a. Expérience :

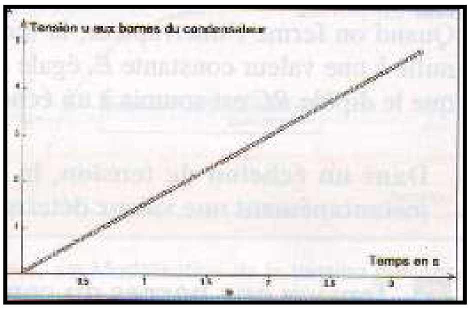
On réalise le montage ci-contre et on enregistre l'évolution de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps :



Doc n°3

b. Observations :

La tension aux bornes du condensateur augmente régulièrement au cours du temps, le graphique représentant u = f(t) est une droite passant par l'origine.



Doc n°4

c. Conclusion [3] :

- On a donc u = k×t avec k une constante positive d'après la droite obtenue.
- On sait aussi que i = $\frac{q}{t}$ puisque le générateur idéal de courant débite une intensité constante.

$\Rightarrow$ On obtient alors : t = $\frac{u}{k} = \frac{q}{i}$ et $\frac{q}{u} = \frac{i}{k} = cte$

Calcul expérimental de C :
C = i/k

$\Rightarrow$ **Il y a donc proportionnalité entre la charge et la tension aux bornes d'un condensateur :**

on note $\boxed{q = C\times u}$
- **C : Capacité du condensateur en Farads (F)**
- **q : charge de l'armature positive en Coulombs (C)**
- **u : tension aux bornes du condensateur en Volts (V)**

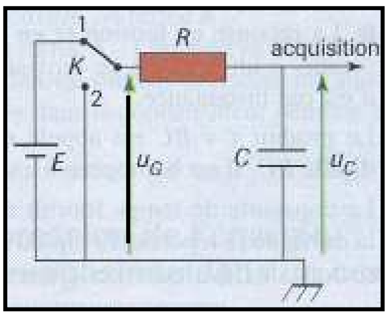
d. Remarque :

La capacité des condensateurs usuels s'exprime généralement en un sous-multiple du Farad, le millifarad (10^{-3} F) pour les plus gros jusqu'au picofarad pour les plus petits (10^{-12} F).

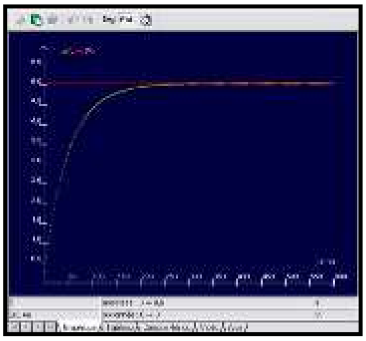
III Réponse d'un dipôle RC à un échelon de tension :

Le dipôle RC est l'association en série d'un condensateur et d'une résistance.

1) Etude expérimentale : réponse en tension aux bornes du condensateur : *voir TPφn°4*



Doc n°5



Doc n°6

On rappelle qu'un échelon de tension est crée par un générateur dont la **tension initiale est de 0V et qui prend instantanément une valeur constante** qu'il garde indéfiniment.

2) Etude théorique de cette réponse en tension [4] :

a. Etablissement de l'équation différentielle :

- A t = 0, l'interrupteur K est mis en position 1. Lorsque t > 0 :
- $u_C + R \times i = E$ (**loi d'additivité des tensions** : loi des mailles)
- Or $q = C \times u_C$ et $i = \frac{dq}{dt}$ donc $i = C \times \frac{du_C}{dt}$ (car **C est une constante**)
- On obtient alors

$$\boxed{u_C + RC \times \frac{du_C}{dt} = E}$$

b. Vérification de la validité de la solution proposée :

On veut vérifier que la solution $u_C = A + B \times \exp(-t/\tau)$ satisfait à l'équation ci-dessus. A, B et τ sont des constantes que nous allons déterminer.

- **On dérive** u_C : $\frac{du_C}{dt} = 0 - \frac{B}{\tau}\exp(-t/\tau)$
- **On remplace** dans l'équation différentielle :

  $A + B \times \exp(-t/\tau) - RC \times \frac{B}{\tau}\exp(-t/\tau) = E \quad \Leftrightarrow \quad A + B(1 - \frac{RC}{\tau})\exp(-t/\tau) = E$
- **L'équation doit être satisfaite quelque soit la valeur de t**, ceci implique d'annuler le terme en exponentielle et pour cela nous devons donner la **valeur RC à τ**.
  Ainsi la **valeur de A est E**.
- On doit enfin déterminer B :
  A t = 0 la charge est nulle donc la tension est nulle : $u_C(0) = 0 = A + B$ d'où $\mathbf{B = -A = -E}$

$\Rightarrow$ **La solution de l'équation différentielle s'écrit : $u_C = E\,(1 - \exp(-t/\tau))$**

c. Remarque [7] :

La charge ou la décharge d'un condensateur (transfert d'énergie, voir plus loin) ne peut avoir lieu instantanément, **la tension aux bornes du condensateur ne subit donc pas de discontinuité**.

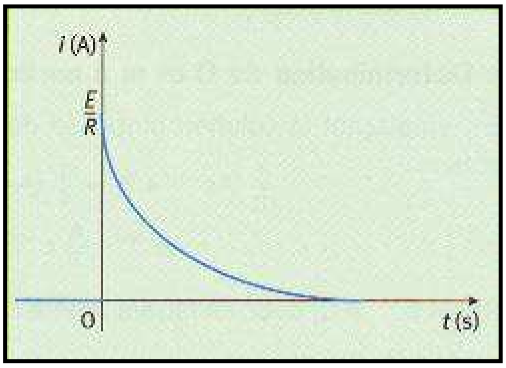
3) Réponse en courant [4] :

Exercices n°9 et 12 p 150/151

Nous avons vu que $i = C \times \frac{du_C}{dt}$ lorsque nous avons établi l'équation différentielle pour la réponse en tension.

Pour avoir la réponse en courant, il suffit de dériver uC(t) :

$$i(t) = C \times \left(\frac{E}{\tau}\exp(-t/\tau)\right) = \frac{E}{R}\exp(-t/\tau)$$



Doc n°7

- L'intensité du courant dans le circuit est une **fonction exponentiellement décroissante**. La valeur initiale étant E/R, l'intensité décroît de façon asymptotique vers 0
- Contrairement à la courbe $u_C(t)$, **i(t) subit une discontinuité à t = 0** correspondant à la fermeture du circuit.

4) Propriétés de la constante de temps [5] :

a. Vérification de la dimension de τ par analyse dimensionnelle :

On a $\tau = RC$:

- D'après la loi d'ohm pour un récepteur : $u = R\times i$ d'où $R = u/i$ et $[R] = U\times I^{-1}$
- D'après $i = \dfrac{dq}{dt}$, $dq = i\times dt$ d'où $[q] = I\times T$
- D'après $q = C\times u$, $C = q/u$ et $[C] = I\times T\times U^{-1}$

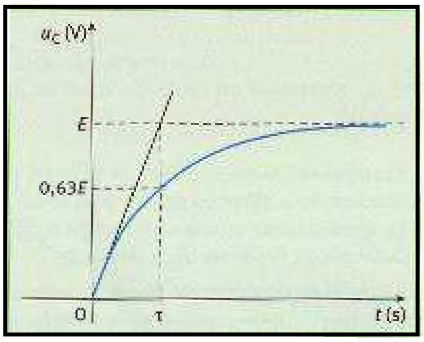
On a donc $[RC] = [R]\times[C] = \cancel{U}\times\cancel{I^{-1}}\times\cancel{I}\times T\times\cancel{U^{-1}} = T$

b. Détermination de la constante de temps :

- **Numériquement** : on peut, connaissant les paramètres R et C, calculer le produit R×C.
- **Graphiquement** lorsque l'on dispose de l'oscillogramme donnant la **forme de $u_C(t)$** :

✓ On **calcule $u_C(\tau)$** = E(1 – exp(-1)) = 0.63E et **on regarde à quelle abscisse** correspond cette ordonnée.

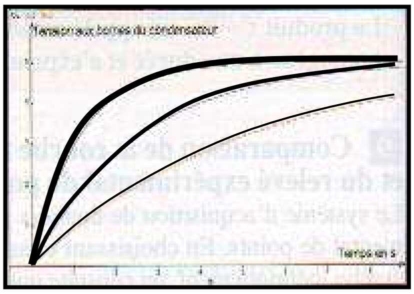
✓ Ou bien on **trace la tangente à la courbe $u_C(t)$** à t = 0 et on regarde **l'abscisse du point d'intersection** entre cette tangente et l'asymptote $u_C(t) = E$.



Doc n°8

c. Influence de la constante temps sur l'évolution du système :

voir TPφn°4



Doc n°9

- **Plus la valeur de la constante de temps est grande est plus le condensateur mettrant du temps à se charger ou se décharger**.
- On sait que lorsque **t = 5τ**, le **condensateur est chargé ou déchargé à 99%**.

5) Remarque :

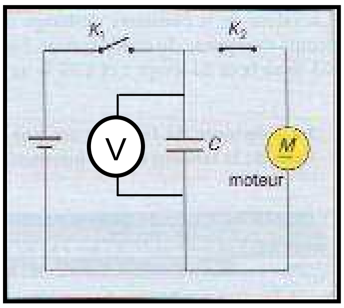
Il convient de remarquer que, lors de l'étude de ce circuit **"RC-série", on s'intéresse au passage d'un courant dans un circuit ouvert !** Il faut être clair sur le fait qu'il s'agit bien du **régime transitoire** ayant sa caractéristique temporelle (constante de temps) et **qu'en régime continu permanent, le courant est en effet nul**.

IV Energie emmagasinée dans un condensateur [6] :

1) Mise en évidence expérimentale :

a. Manipulation :

Lorsque K_1 est fermé est K_2 ouvert, on charge le condensateur (on peut ajouter un voltmètre pour vérifier). On ouvre ensuite K_1 puis on ferme K_2.



Doc n°10

b. Observations :

Le moteur tourne.

c. Conclusion :

C'est l'énergie emmagasinée dans le condensateur qui a été fournie au moteur et a permis de le faire fonctionner.

2) Expression :

Un condensateur de capacité C, et chargé sous une tension u_C, emmagasine l'énergie :

$$\boxed{E_C = \frac{1}{2} \times C \times u_C{}^2}$$

- E_C : Energie emmagasinée en Joules (J)
- C : Capacité du condensateur en Farad (F)
- u_C : tension aux bornes du condensateur en Volts (V)

Rq : continuité de la tension aux bornes du condensateur :

Comme le transfert d'énergie ne peut se faire instantanément entre le condensateur et le moteur, et que u_C est liée à cette énergie, la fonction $u_C(t)$ ne peut pas être discontinue

Exercices n°16 et 18 p 152/153