

A. La découverte du condensateur

L'une des préoccupations des chercheurs du XVIII^e siècle est de stocker des charges électriques en quantité suffisante dans un dispositif transportable afin d'en faire usage pour des applications médicales.

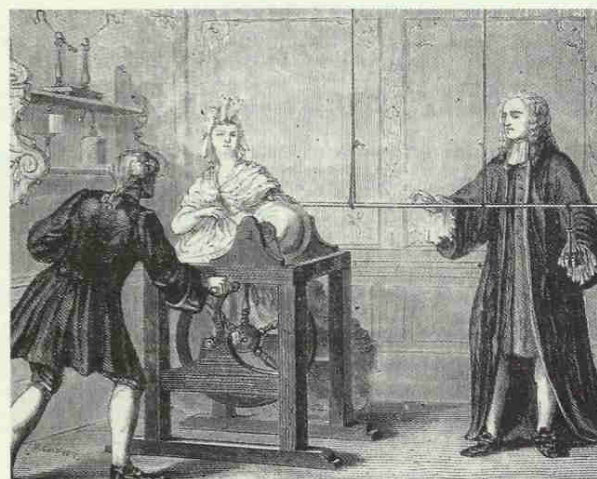
En 1745, à Leyde, ville de Hollande, le professeur Petrus Van MUSSCHENBROEK et son assistant Andreas CUNAEUS réussissent à accumuler et à conserver des charges électriques en utilisant une bouteille en verre, à moitié remplie d'eau. La bouteille est entourée d'une feuille métallique. Son ouverture est obturée par un bouchon de liège percé d'une tige métallique plongeant dans l'eau. C'est la naissance de la « bouteille de Leyde », premier condensateur.

À la même époque, le physicien allemand Ewald Von KLEIST découvre aussi le principe du condensateur.

La pile, quant à elle, ne sera découverte qu'en 1800 par Alessandro VOLTA.

1. Quels sont les conducteurs et les isolants cités dans le texte ?
2. Quels porteurs de charge permettent la circulation d'un courant dans un conducteur métallique ?

➤ Voir § 1 du cours, p. 134, et exercice 19, p. 152



▲ Expérience faite à Leyde par Petrus Van MUSSCHENBROEK le 7 avril 1746.

B. Le condensateur, un réservoir d'énergie

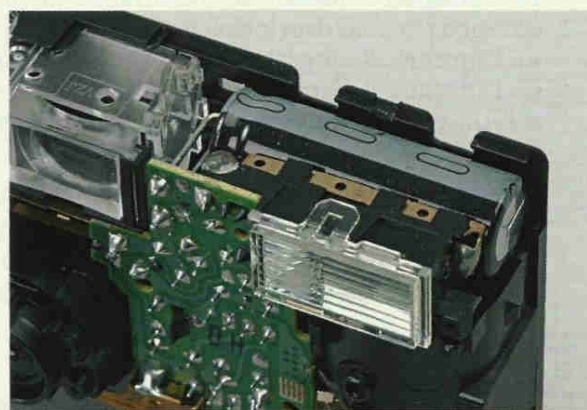
Le flash d'un appareil photographique jetable est alimenté par une pile. Branchée directement à la pile, la lampe du flash ne brille pas.

Si on démonte avec précaution un tel appareil, on localise, à l'intérieur, un condensateur, de forme généralement cylindrique, et des conducteurs ohmiques.

Ce condensateur emmagasine progressivement, durant plusieurs secondes, l'énergie fournie par la pile. Lors de la commande du flash, cette énergie est brusquement libérée dans une lampe en moins de 0,1 ms. La lampe émet alors une lumière très intense.

1. Quel est le rôle du condensateur dans le flash ?
2. Pourquoi la lampe ne brille-t-elle pas si elle est branchée directement sur la pile ?
3. Pourquoi la lampe brille-t-elle fortement ?

➤ Voir § 3 du cours, p. 139, et exercice 15, p. 151



▲ Un appareil photographique avec flash comporte un condensateur.

Comment se comporte un circuit comprenant un conducteur ohmique et un condensateur ?

Physique 6 : Le dipôle (R, C)

Dans les dispositifs électroniques comme les flashes des appareils photographiques, on trouve une grande variété de condensateurs. Quel est leur rôle dans les circuits électriques ?

1. Quel est le comportement d'un condensateur dans un circuit électrique ?

Un condensateur comporte deux **armatures** métalliques en face l'une de l'autre et séparées par un isolant appelé le **diélectrique** (air, papier, céramiques...) (voir l'activité préparatoire A, page 133, et le **document 1**).

1.1 La charge électrique sur les armatures

Le rôle d'un condensateur est de stocker des charges électriques. Comment charger un condensateur ?

Activité 1

Comment se comporte un condensateur dans un circuit ?

Réaliser le circuit du **document 2** : il comporte un condensateur, une lampe, un générateur de tension continue et un interrupteur.

Que se produit-il lorsqu'on ferme l'interrupteur ?

> Observation

Lorsque nous fermons l'interrupteur, la lampe s'éclaire, puis s'éteint progressivement. Le voltmètre indique une tension aux bornes du condensateur, même après que la lampe se soit éteinte.

> Interprétation

Le **courant est transitoire**, de courte durée. Ce courant étant dû à un déplacement d'électrons dans le circuit, il provoque une accumulation d'électrons sur l'armature B reliée à la borne (-) du générateur et un défaut d'électrons sur l'armature A. L'armature A, reliée à la borne (+), se charge positivement et l'armature B négativement [**Doc. 3**]. Une tension électrique apparaît entre les armatures ; le condensateur se charge.

Le courant ne peut circuler durablement, car le circuit est coupé par la présence d'un isolant : le diélectrique du condensateur.

Nous admettons qu'à chaque instant, les armatures A et B portent des charges électriques opposées, de mêmes valeurs absolues :

$$q_A = -q_B$$

Ces charges s'expriment en coulomb (C).

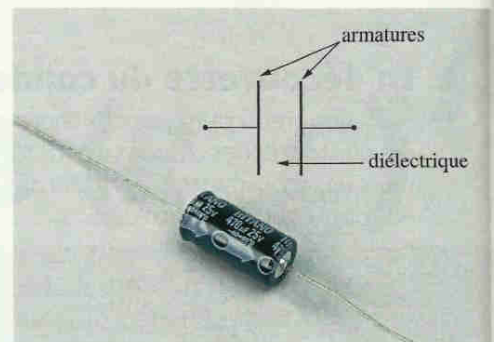
Un condensateur, branché à un générateur de tension continue, accumule sur ses armatures des charges électriques de même valeur, mais de signes opposés.

1.2 Charge électrique et intensité

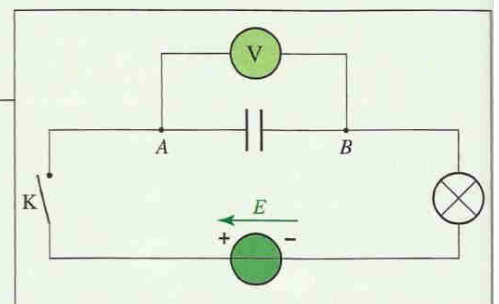
Notons i l'intensité du courant transitoire. Quelle est la relation entre l'intensité i et les charges électriques q_A et q_B portées par les armatures ?

Orientons le circuit pour algébriser l'intensité i [**Doc. 4**] :

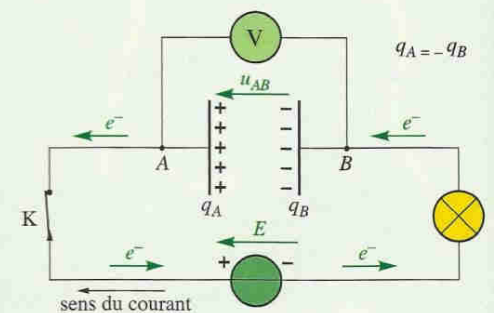
- si le courant circule dans le sens d'orientation choisi, alors $i > 0$;
- si le courant circule dans l'autre sens, alors $i < 0$.



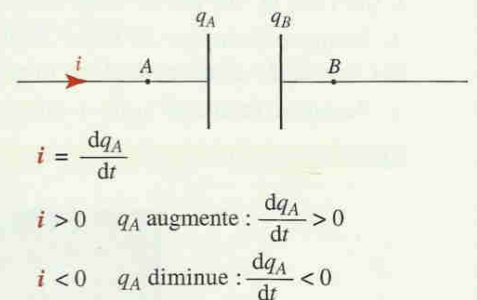
Doc. 1 Un condensateur et son symbole.



Doc. 2 Montage permettant d'étudier le comportement d'un condensateur dans un circuit électrique.



Doc. 3 Des électrons quittent l'armature A, tandis que d'autres s'accumulent sur l'armature B.



Doc. 4 Algébrisation de l'intensité du courant.

En régime transitoire, les charges électriques q_A et q_B , ainsi que l'intensité du courant sont des fonctions du temps; nous les noterons $q_A(t)$, $q_B(t)$ et $i(t)$.

Supposons i positif. Pendant une durée dt , l'armature B reçoit des électrons, l'armature A en perd; cette dernière devient de plus en plus positive : sa charge électrique augmente. Entre les instants t et $t + dt$, la charge positive de l'armature A s'accroît de : $dq_A = q_A(t + dt) - q_A(t)$.

Durant la durée dt , le courant a donc transporté la charge électrique dq_A .

- Par définition, l'intensité i du courant correspond au débit de charges transportées, c'est-à-dire à la charge électrique transportée par unité de temps :

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

L'intensité i s'exprime en ampère (A), avec q en coulomb (C) et t en seconde (s).

- La charge électrique $q_A(t)$ est une fonction du temps dont $i(t)$ est la dérivée.

- Si la fonction q_A possède une dérivée $\frac{dq_A}{dt} = I$ constante, alors q_A est une fonction linéaire ou affine de la forme $q_A = I \cdot t + q_0$.

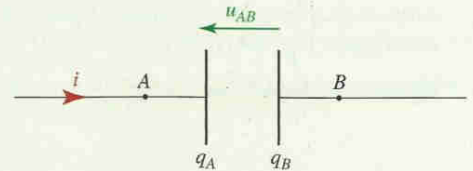
Si à $t = 0$, le condensateur n'est pas chargé, alors $q_0 = 0$ et $q_A = I \cdot t$.

1.3 La capacité d'un condensateur

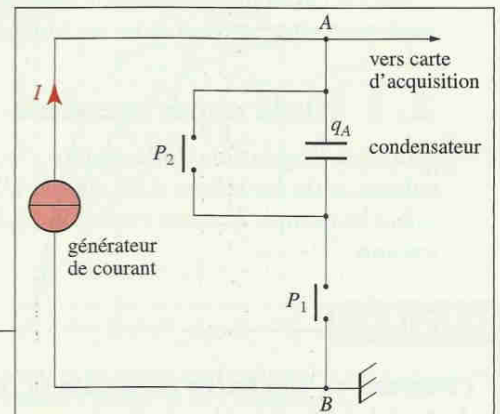
Chargeons un condensateur avec un courant d'intensité constante. Comment évolue la tension u_{AB} aux bornes des armatures A et B [Doc. 5] en fonction de la charge électrique des armatures ?

Si la flèche orientant le circuit arrive sur l'armature A , alors :

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



Doc. 5 En convention récepteur, la flèche représentant la tension et celle représentant l'intensité sont de sens opposés.



Doc. 6 Montage permettant d'effectuer l'acquisition de la tension u_{AB} aux bornes du condensateur.

Activité 2

Existe-t-il une relation entre u_{AB} et q_A ?

- Réaliser le montage du document 6 : il comporte un générateur de courant continu débitant un courant d'intensité constante I , réglable.
- Décharger le condensateur à l'aide de l'interrupteur poussoir P_2 .
- Régler le générateur de courant continu sur $I = 100 \mu A$, par exemple.
- Lancer l'acquisition de la tension u_{AB} en fonction du temps en appuyant sur l'interrupteur P_1 .
- Créer la variable $q_A = I \cdot t$, et tracer la courbe représentant l'évolution de q_A en fonction de u_{AB} .

1. Pourquoi prendre la précaution de décharger le condensateur avant l'acquisition ?

2. Quelle relation obtient-on entre q_A et u_{AB} ?

> Observation

Le graphique représentant q_A en fonction de u_{AB} est une droite passant par l'origine, à coefficient directeur positif [Doc. 7].

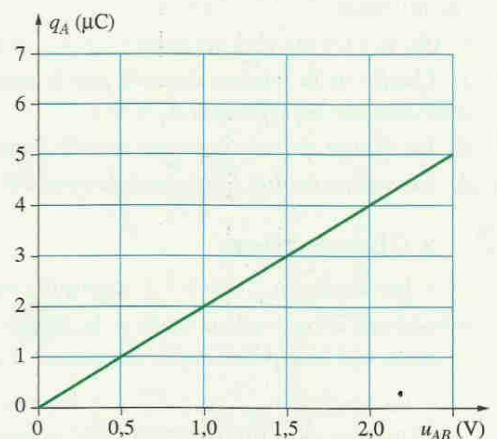
> Interprétation

La charge q_A et la tension u_{AB} sont deux grandeurs proportionnelles.

Nous avons :

$$q_A = C \cdot u_{AB}$$

Le coefficient de proportionnalité positif C est la capacité du condensateur.



Doc. 7 Le coefficient directeur de la droite représentant l'évolution de q_A en fonction de u_{AB} est égal à C .

À chaque instant, la charge électrique q_A de l'armature A du condensateur est proportionnelle à la tension u_{AB} aux bornes de ses armatures A et B :

$$q_A = C \cdot u_{AB}$$

C est la capacité du condensateur; elle s'exprime en farad (F), avec q_A en coulomb (C) et u_{AB} en volt (V).

Le farad correspond à une grande capacité. On emploie usuellement les sous-multiples : microfarad ($1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$), nanofarad ($1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$), picofarad ($1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$).

► Pour s'entraîner : Ex. 2 et 3.

La relation $q_A = C \cdot u_{AB}$ est une relation algébrique :

- si $u_{AB} > 0$, alors $q_A > 0$;
- si $u_{AB} < 0$, alors $q_A < 0$.

2. Quelle est la réponse d'un dipôle (R, C) à un échelon de tension ?

L'association en série d'un condensateur de capacité C et d'un conducteur ohmique de résistance R constitue un dipôle (R, C).

Étudions comment se charge le condensateur d'un tel dipôle lorsque nous appliquons une tension entre ses bornes.

2.1 Étude expérimentale

Étudions l'évolution de la charge électrique du condensateur lorsque la tension entre les bornes d'un dipôle (R, C) passe brusquement de 0 à une valeur constante E ; cette évolution de la tension est appelée un échelon de tension.

Activité 3

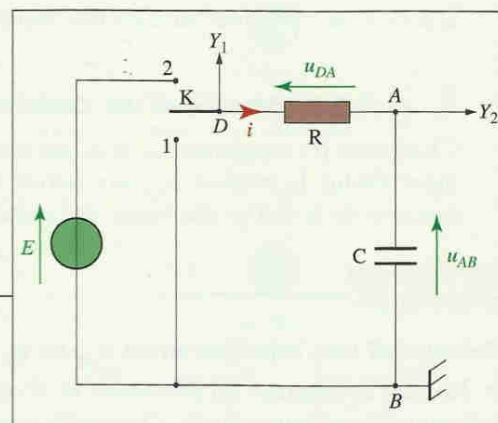
Comment se comporte un dipôle (R, C) soumis à un échelon de tension ?

- Réaliser le montage du **document 8**. Les voies Y_1 et Y_2 sont reliées au système d'acquisition d'un ordinateur ou à un oscilloscope à mémoire.
- Basculer l'interrupteur K de la position 1 à la position 2 afin de réaliser l'acquisition.
- Afficher les courbes représentant u_{AB} et i en fonction du temps.

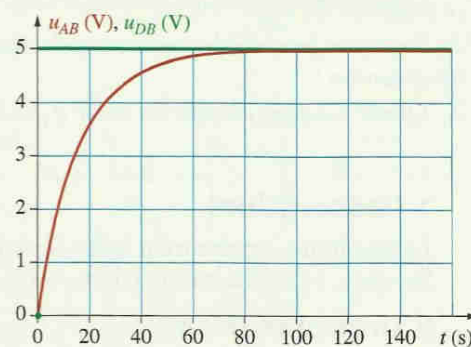
1. Quelle est la tension détectée par la voie Y_1 ? celle détectée par la voie Y_2 ? celle obtenue en affichant $Y_1 - Y_2$?
2. La charge du condensateur est-elle instantanée ?
3. Comment évolue l'intensité du courant dans le dipôle (R, C) ?

► Observation

- La tension u_{DB} (voie Y_1) appliquée au dipôle (R, C) passe quasi instantanément d'une valeur nulle à la valeur E correspondant au palier observé (**Doc. 9**) : le dipôle (R, C) est soumis à un échelon de tension.
- La tension u_{AB} (voie Y_2) aux bornes du condensateur est nulle avant la fermeture de l'interrupteur. Elle augmente ensuite progressivement de la valeur nulle jusqu'à la valeur limite E (fin de la charge). Cette tension décrit l'évolution de la charge du condensateur (au coefficient constant C près) puisque $q_A = C \cdot u_{AB}$.



Doc. 8 Montage permettant d'étudier la charge d'un dipôle (R, C) soumis à un échelon de tension.



Doc. 9 Évolution des tensions u_{DB} aux bornes du dipôle (R, C) (voie Y_1) et u_{AB} aux bornes du condensateur en charge (voie Y_2).

La différence $Y_1 - Y_2$ donne la tension aux bornes du conducteur ohmique :

$$u_{DB} - u_{AB} = u_{DA} = R \cdot i,$$

soit l'évolution de l'intensité i du courant (au coefficient constant R près). D'après la courbe du **document 10**, l'intensité i du courant est nulle avant la fermeture de l'interrupteur et égale à $\frac{E}{R}$ juste après la fermeture. Cette intensité décroît ensuite jusqu'à zéro.

Le condensateur d'un dipôle (R, C), soumis à un échelon de tension, ne se charge pas instantanément : la charge d'un condensateur est un phénomène transitoire.

2.2 La constante de temps

Selon le dipôle (R, C) étudié, la tension u_{AB} aux bornes des armatures tend plus ou moins rapidement vers sa valeur limite E (**Doc. 11**). De même, la charge électrique q_A , proportionnelle à la tension u_{AB} , tend plus ou moins rapidement vers sa valeur limite $q_{A\max} = C \cdot E$.

Quels paramètres influent sur le phénomène de charge d'un condensateur ?

➤ Reprenons l'activité précédente.

- Au même condensateur, associons un conducteur ohmique de résistance plus grande : le condensateur se charge plus lentement.
- Au même conducteur ohmique, associons un condensateur de plus grande capacité : le condensateur se charge plus lentement (**Doc. 11**).

La durée de la charge du condensateur d'un dipôle (R, C) augmente quand la valeur du produit $R \cdot C$ augmente.

➤ Procédons à une analyse dimensionnelle du produit $R \cdot C$ en raisonnant sur les unités :

$$R = \frac{U}{I} \text{ s'exprime en ohm } (\Omega), \text{ équivalent à } V \cdot A^{-1};$$

$$C = \frac{Q}{U} = I \cdot \frac{t}{U} \text{ s'exprime en farad (F), équivalent à } A \cdot s \cdot V^{-1}.$$

Finalement : $R \cdot C$ s'exprime en $V \cdot A^{-1} \cdot A \cdot s \cdot V^{-1}$, soit en seconde (s).

**Le produit $R \cdot C = \tau$, homogène à une durée, est la constante de temps du dipôle (R, C).
 τ s'exprime en seconde (s), R en ohm (Ω) et C en farad (F).**

2.3 Étude théorique

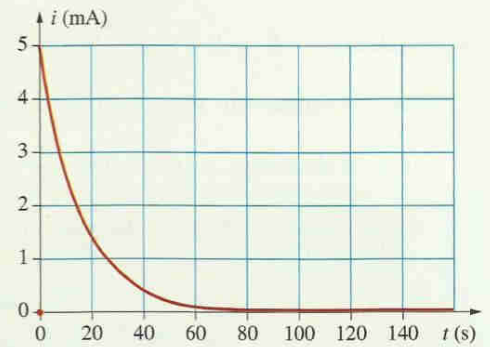
Le condensateur étant orienté de l'armature A vers l'armature B , pour alléger les notations, nous noterons désormais la charge du condensateur $q_A = q$ et la tension à ses bornes $u_{AB} = u_C$.

➤ Équation différentielle

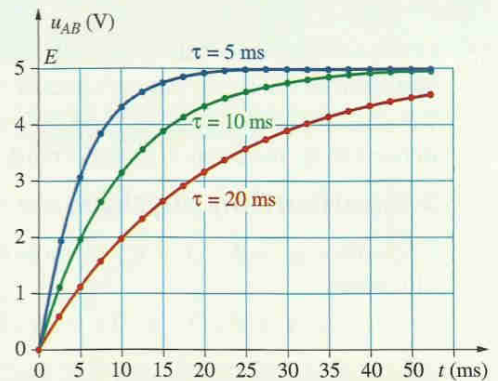
Reprenons le circuit électrique utilisé lors de l'étude de la charge du condensateur (**Doc. 12**) :

La loi d'additivité des tensions donne : $E = u_{DA} + u_{AB}$.

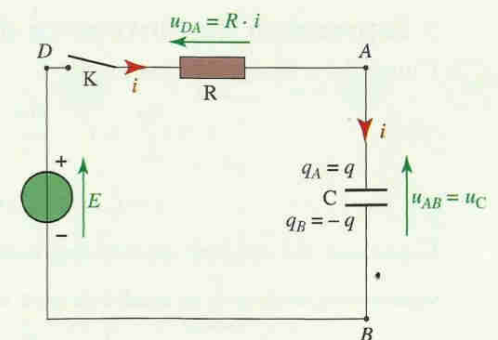
$$\text{Avec } u_{DA} = R \cdot i, \text{ et } q = C \cdot u_C, \text{ nous avons : } i = \frac{dq}{dt} = C \cdot \frac{du_C}{dt}.$$



Doc. 10 Évolution de l'intensité i du courant dans le dipôle (R, C).



Doc. 11 La charge d'un condensateur est plus lente quand le produit $R \cdot C = \tau$ augmente.



Doc. 12 Schéma simplifié du circuit de charge du condensateur.

Finalement : $E = R \cdot C \cdot \frac{du_C}{dt} + u_C$, soit $E = \tau \cdot \frac{du_C}{dt} + u_C$.

Nous reconnaissons une équation différentielle dans laquelle apparaît u_C , fonction du temps, et sa dérivée $\frac{du_C}{dt}$.

La tension aux bornes du condensateur d'un dipôle (R, C) soumis à un échelon de tension (0, E) obéit à l'équation différentielle :

$$E = \tau \cdot \frac{du_C}{dt} + u_C$$

avec $\tau = R \cdot C$, la constante de temps (en s).

> Solution de l'équation différentielle

On montre, en mathématique, que la solution de cette équation est :

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

En portant les expressions $u_C = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ et $\frac{du_C}{dt} = \frac{E}{\tau} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ dans

l'équation différentielle à laquelle obéit u_C , nous constatons qu'elle est vérifiée.

Par ailleurs, nous obtenons bien $u_C = 0$ à $t = 0$ (charge électrique nulle au départ) et u_C tend vers E quand t tend vers l'infini (fin de la charge).

> Signification physique de τ

L'équation $u_C = E \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ montre qu'à l'instant $t = \tau = R \cdot C$, nous obtenons :

$$u_C(\tau) = E \cdot (1 - e^{-1}) = 0,63 \cdot E \quad \text{et} \quad q(\tau) = 0,63 \cdot C \cdot E.$$

La constante de temps τ donne l'ordre de grandeur de la durée de la charge du condensateur.

Après une durée égale à τ , la charge du condensateur atteint 63 % de sa valeur maximale.

Après une durée égale à 5τ , le condensateur est chargé à 99 %.

La durée $t_{1/2}$ au bout de laquelle $u_C = \frac{E}{2}$ est telle que $t_{1/2} = \tau \cdot \ln 2$.

Nous retrouvons une durée caractéristique analogue à la demi-vie d'un échantillon radioactif.

La constante τ peut être déterminée graphiquement [Doc. 13].

> Expression de l'intensité du courant

L'intensité i du courant vaut :

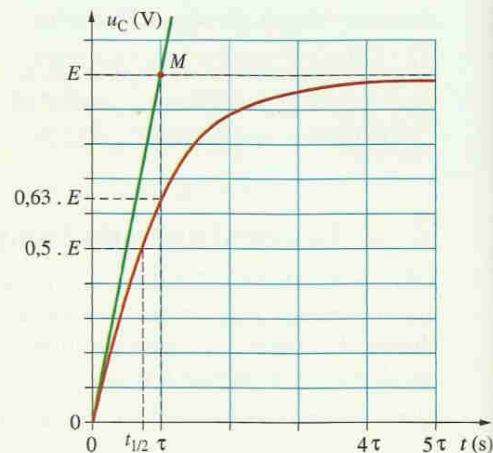
$$i = \frac{dq}{dt} = C \cdot \frac{du_C}{dt} = C \cdot \frac{E}{\tau} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

soit : $i = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$, avec $I_0 = \frac{E}{R}$.

L'intensité du courant décroît exponentiellement avec le temps depuis sa valeur initiale $I_0 = \frac{E}{R}$ et tend vers zéro lorsque t tend vers l'infini. [Doc. 14].

Lorsque le condensateur est chargé, l'intensité du courant est nulle.

> Pour s'entraîner : Ex. 4 et 6



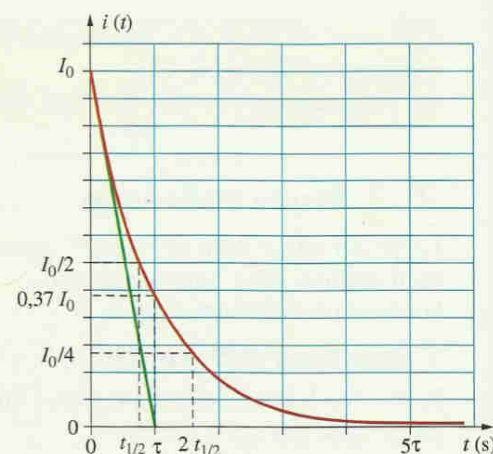
Doc. 13 Le coefficient directeur de la tangente en chaque point de la courbe a pour valeur celle de la dérivée de u_C , fonction du temps :

$$\frac{du_C}{dt} = \frac{E}{\tau} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

À $t = 0$, la pente de la tangente est : $\frac{du_C}{dt} = \frac{E}{\tau}$.

L'équation de la tangente à la date $t = 0$ est :

$u_C = \frac{E}{\tau} \cdot t$. Cette tangente coupe l'asymptote $u_C = E$ à l'instant $t = \tau$ (point M).



Doc. 14 Au bout du temps τ , l'intensité est égale à 37 % de sa valeur initiale; au bout d'une durée $t_{1/2}$, elle est égale à 50 % de sa valeur initiale.

3. Quelle est l'énergie stockée dans un condensateur ?

Un condensateur peut être utilisé pour stocker de l'énergie.

Activité 4

Comment stocker de l'énergie dans un condensateur ?

- Réaliser le montage des documents 15 et 16.
- Charger le condensateur en plaçant le commutateur en position 1.
- Basculer le commutateur en position 2, le condensateur est alors connecté au moteur.

1. Comment évolue la tension aux bornes du condensateur ?
2. Quels sont les différents transferts d'énergie lors de cette expérience ?

> Observation

Lorsque le commutateur est en position 1, le condensateur se charge instantanément.

Lorsque le commutateur est placé en position 2, le moteur tourne et soulève la masse marquée. La tension aux bornes du condensateur décroît : le condensateur se décharge.

> Interprétation

Le condensateur chargé possède de l'énergie. Celle-ci est transmise au moteur qui, effectuant un travail mécanique, augmente l'énergie potentielle de la masse suspendue.

Au cours de la charge, un condensateur emmagasine de l'énergie qu'il restitue lors de la décharge.

On montre que l'énergie électrique emmagasinée E_e dépend de la capacité C du condensateur et de sa charge électrique q (ou de la tension u_C entre ses armatures).

L'énergie électrique stockée par un condensateur est :

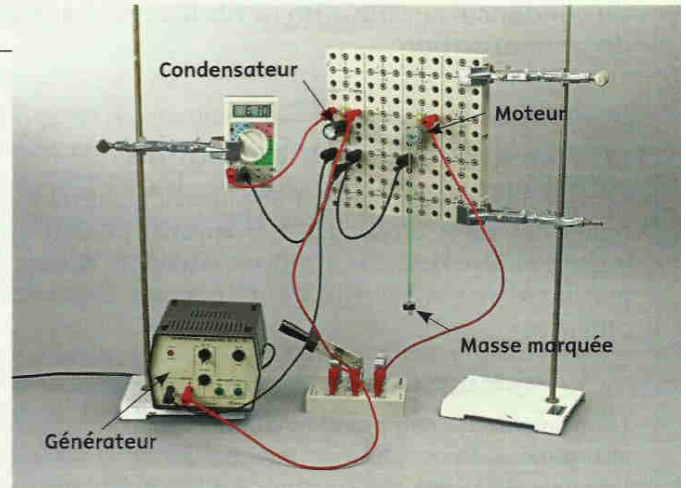
$$E_e = \frac{1}{2} \cdot C \cdot u_C^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C}.$$

E_e s'exprime en joule (J) avec C en farad (F), u_C en volt (V) et q en coulomb (C).

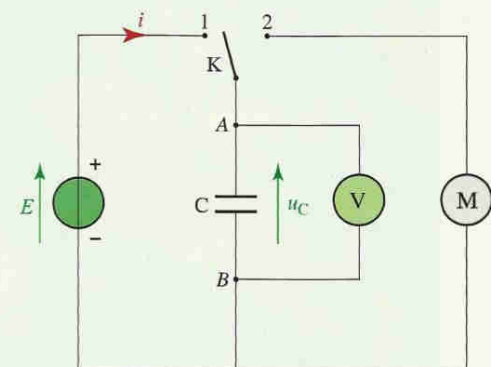
Le stockage ou le déstockage de l'énergie ne peut pas se faire instantanément ; la puissance serait alors infinie. L'énergie ne subit pas de discontinuité.

D'après la formule $E_e = \frac{1}{2} \cdot C \cdot u_C^2$, la tension u_C (ou la charge q) aux bornes d'un condensateur ne subit pas de discontinuité.

Dans le cas du flash (voir l'activité préparatoire B, page 133), la décharge est très rapide, la puissance électrique fournie est importante.



Doc. 15 Le moteur qui soulève la charge reçoit l'énergie électrique du condensateur, de grande capacité, qui se décharge.



Doc. 16 Schéma du montage correspondant à l'expérience du document 15.

Applications directes

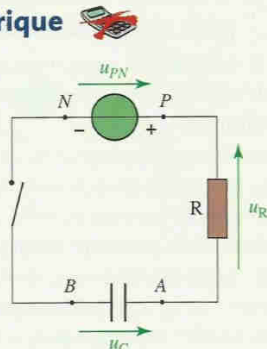
Étudier le comportement d'un condensateur dans un circuit électrique
(§ 1 du cours)

1. Étudier la charge électrique d'un condensateur

Le condensateur du circuit représenté ci-contre est initialement déchargé. On ferme le circuit à une date prise comme origine des temps.

Parmi les affirmations suivantes, lesquelles sont exactes ?

- $u_C = 0$ à $t = 0$;
- $u_R = 0$ à $t = 0$;
- $u_R = U_{PN}$ à $t = 0$;
- Le courant électrique circule de P vers A dans le circuit.
- Le courant s'établit progressivement dans le circuit d'une valeur nulle à sa valeur maximale.
- Lorsque le condensateur est chargé, $u_C = U_{PN}$.

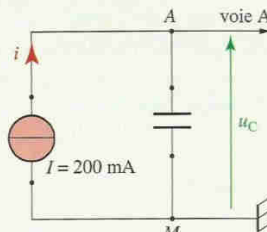


2. Étudier la charge électrique d'un condensateur à intensité constante

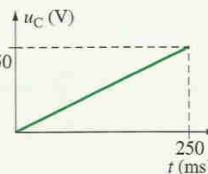
On souhaite déterminer la capacité d'un condensateur.

Pour cela, on utilise le montage représenté sur le **document 1**. Le générateur est un générateur de courant : il débite un courant d'intensité constante $i = I$.

Un système d'acquisition permet d'obtenir les variations de la tension u_C en fonction du temps [Doc. 2].



Doc. 1



Doc. 2

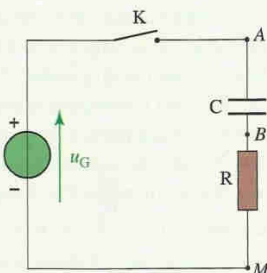
- Quelle est la relation entre l'intensité I du courant, la charge électrique q_A portée par l'armature A du condensateur et la durée t de charge ?
- Quelle est la relation liant la charge électrique q_A , la capacité C du condensateur et la tension u_{AM} à ses bornes ?
- Déterminer la valeur de la charge q_A à $t = 250$ ms.
- Quelle est la valeur de la capacité C du condensateur ?

3. Utiliser la loi d'additivité des tensions

On souhaite réaliser l'étude de la charge d'un condensateur initialement déchargé [Doc. 1].

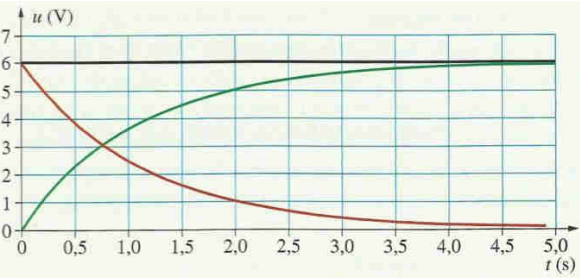
Un système d'acquisition relié à un ordinateur permet d'acquérir simultanément la tension u_G ($u_G > 0$) aux bornes du générateur, la tension u_{AB} aux bornes du condensateur et la tension u_{BM} aux bornes du conducteur ohmique. À la date $t = 0$, on ferme l'interrupteur K.

- Recopier le schéma et représenter les segments fléchés correspondant aux tensions u_G , u_{AB} et u_{BM} .



Doc. 1

- On obtient le graphique du **document 2**.



Doc. 2

Associer chaque courbe à la tension correspondante en justifiant la réponse.

- Quelle est la relation entre les tensions u_G , u_{AB} et u_{BM} ?

- En utilisant le graphique, vérifier la relation précédente à la date $t = 2$ s.

Étudier la réponse d'un dipôle (R, C) à un échelon de tension
(§ 2 du cours)

4. Connaître l'évolution de l'intensité du courant de charge d'un condensateur

Dans un circuit en série, on place un générateur de tension continue, un interrupteur, un conducteur ohmique et un condensateur. Ce dernier étant déchargé, on ferme le circuit.

Quelles sont les affirmations exactes ?

- L'intensité du courant électrique est constante durant la charge du condensateur.
- L'intensité du courant électrique est maximale en valeur absolue au début de la charge du condensateur.
- L'intensité du courant électrique est constante et non nulle à la fin de la charge du condensateur.

5. Repérer la charge et la décharge d'un condensateur

On réalise le montage du document ci-après comportant un dipôle (R, C). On étudie les variations de la tension aux bornes du condensateur ainsi que les variations de l'intensité du courant dans le circuit lors de la charge, puis lors de la décharge du condensateur.

Le condensateur est initialement déchargé. À la date $t = 0$, l'interrupteur est basculé en position 1.

Un dispositif informatisé permet d'acquérir simultanément la tension u_{AB} aux bornes du condensateur et u_{BN} aux bornes du conducteur ohmique.

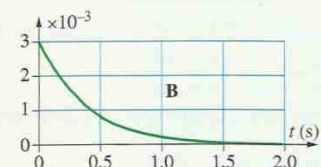
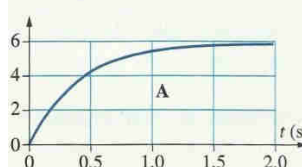
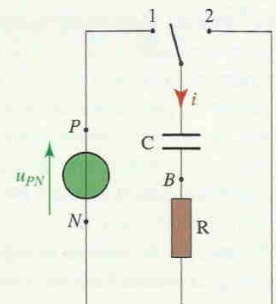
Données : $U_{PN} = 6,0$ V ; $R = 2000$ Ω .

- Indiquer, en justifiant la réponse, laquelle de ces tensions u_{AB} ou u_{BN} représente à un coefficient constant près :

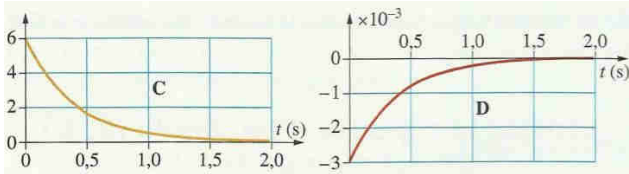
- la charge q_A de l'armature A du condensateur ;
- l'intensité i du courant.

- Quel est, parmi les graphiques suivants (A, B, C et D), celui qui correspond :

- à la tension u_{AB} aux bornes du condensateur lors de la décharge ;
- à la tension u_{AB} aux bornes du condensateur lors de la charge ;
- à l'intensité i du courant dans le circuit lors de la charge ;
- à l'intensité i du courant dans le circuit lors de la décharge ?



Exercices du chapitre Physique 6 : Le dipôle (R, C)



Connaître l'expression de l'énergie emmagasinée

(§ 3 du cours)

7. Calculer l'énergie emmagasinée par un condensateur

1. Le flash d'un appareil photographique comporte un condensateur de capacité $C = 2,0 \text{ F}$ chargé sous la tension de $6,0 \text{ V}$. Calculer :

- l'énergie emmagasinée par ce condensateur;
- la valeur absolue de la charge portée par chacune de ses armatures.
- Lors de l'émission du flash, ce condensateur se décharge en $0,10 \text{ ms}$. Quelle est la puissance électrique mise en jeu?

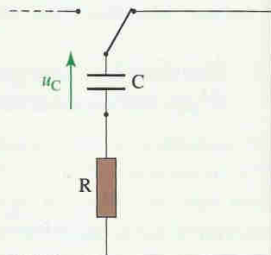
2. a. Le stockage ou le déstockage de l'énergie d'un condensateur peut-il se faire instantanément? Pourquoi?

b. Justifier alors pourquoi la tension aux bornes d'un condensateur ne subit pas de discontinuité.

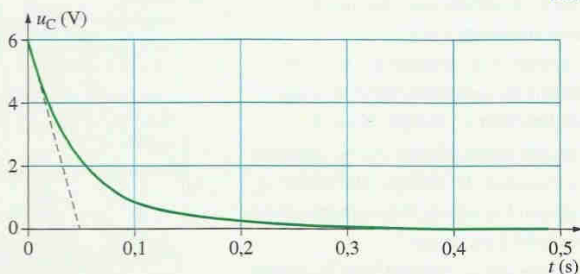
8. Calculer l'énergie dissipée lors de la décharge

Un condensateur de capacité $C = 100 \mu\text{F}$, initialement chargé, se décharge dans une résistance $R = 500 \Omega$, à partir d'une date qui sera prise pour origine [Doc. 1].

Un système d'acquisition permet d'obtenir la tension u_C en fonction du temps [Doc. 2].



Doc. 1



Doc. 2

- Calculer la valeur de la constante de temps τ du dipôle (R, C) .
- Vérifier graphiquement sa valeur.
- Quelle est la valeur de la tension initiale $u_C(0)$ aux bornes du condensateur?
- Quelle est la valeur de l'énergie initiale du condensateur?
- Quelle est la valeur de l'énergie finale du condensateur?
- Calculer la valeur de l'énergie dissipée lors de la décharge complète. Sous quelle forme s'est dissipée cette énergie?

Utilisation des acquis

10. Décharge d'un condensateur : établissement de l'équation différentielle (voir l'exercice résolu 2)

Un condensateur initialement chargé ($u_C(0) = 6,0 \text{ V}$) est placé dans le circuit ci-après. À la date $t = 0$, on ferme l'interrupteur.

Données : $R = 2000 \Omega$; $C = 200 \mu\text{F}$.

1. Établir une relation entre les tensions u_C et u_R .

2. Quelle est la relation entre i et u_C ?

3. Établir l'équation différentielle vérifiée par u_C .

4. Vérifier que l'expression $u_C(t) = 6e^{-\frac{t}{\tau}}$ est solution de l'équation différentielle. En déduire l'expression de τ . SOS

5. Calculer la constante de temps τ du dipôle (R, C) .

6. Quelle est l'expression de i , en fonction du temps t , de $u_C(0)$, de R et de C ?

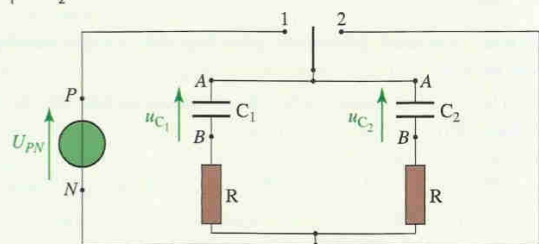
7. Calculer $i(0)$, valeur de l'intensité du courant à $t = 0$.

8. Lorsque t tend vers l'infini, quelle est la valeur de u_C de i ?

9. Tracer l'allure des courbes représentant $u_C(t)$ et $i(t)$.

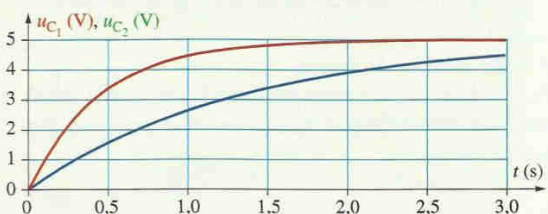
11. Charge de deux condensateurs

Le montage du document 1 permet, lorsque le commutateur est en position 1, de charger simultanément deux condensateurs de capacités C_1 et C_2 .



Doc. 1

Les deux conducteurs ohmiques ont la même résistance $R = 2,2 \text{ k}\Omega$. Un système d'acquisition permet d'enregistrer l'évolution des tensions $u_{C_1}(t)$ et $u_{C_2}(t)$ [Doc. 2].



Doc. 2

- Les deux condensateurs sont-ils chargés à la fin de l'acquisition?
- En déduire la valeur de la tension aux bornes du générateur.
- La tension $u_C(t)$ aux bornes d'un condensateur lors de la charge est : $u_C(t) = E \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ avec E la tension aux bornes du générateur. Quelle est la valeur de la tension $u_C(\tau)$?
- Déterminer les constantes de temps τ_1 et τ_2 de chacun des dipôles (R, C_1) et (R, C_2) .
- Quelles sont les capacités C_1 et C_2 des condensateurs?
- La proposition suivante est-elle correcte?

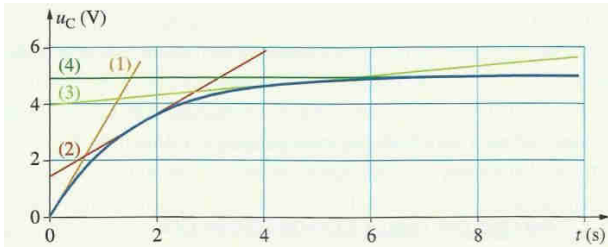
Plus la capacité d'un condensateur est grande, plus il se charge rapidement.

12. Construire la courbe $i(t)$ à partir de la courbe $u_C(t)$

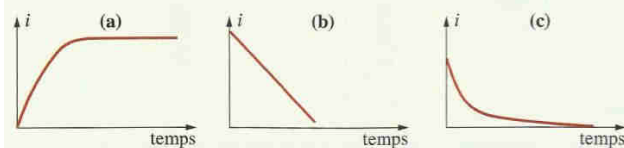
L'étude expérimentale de la charge d'un condensateur, de capacité C , par un échelon de tension, permet d'obtenir la courbe représentant la tension u_C à ses bornes en fonction du temps. On se propose de déterminer la courbe représentant l'intensité i du courant à partir du graphe de u_C .

On a tracé quatre tangentes à la courbe à quatre dates différentes.

Exercices du chapitre Physique 6 : Le dipôle (R, C)



1. Quelle est la relation entre i , u_C et C ?
2. Quel intérêt peut présenter le tracé des tangentes à la courbe $u_C(t)$? **SOS**
3. Comment évoluent les pentes des tangentes à cette courbe au cours du temps ?
4. Parmi les courbes suivantes (a), (b) et (c), quelle est celle qui correspond à $i(t)$?

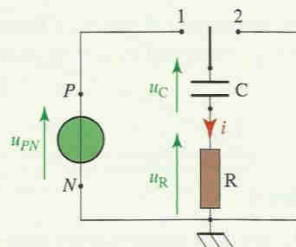


13. Étudier la continuité et la non-continuité des grandeurs

On réalise le montage du **document 1** afin d'étudier la charge, puis la décharge d'un condensateur dans un circuit (R, C).

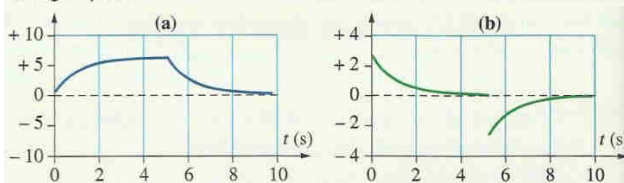
Données : $R = 2,0 \text{ k}\Omega$;
 $C = 470 \text{ }\mu\text{F}$; $u_{PN} = 6,0 \text{ V}$.

1. Reproduire le schéma et représenter les branchements permettant d'acquérir la tension u_C aux bornes du condensateur et la tension u_R aux bornes du conducteur ohmique.



Doc. 1

2. On se propose d'étudier l'évolution de l'intensité i du courant dans le circuit. Quel est le calcul à programmer dans le logiciel pour cette étude ?
3. Les courbes $i(t)$ et $u_C(t)$ ont été imprimées, mais malencontreusement les grandeurs portées en ordonnées sont effacées (**doc. 2**). On se propose donc de retrouver chaque courbe par des considérations énergétiques.



Doc. 2

Quel est le graphique dont la grandeur portée en ordonnée évolue de manière continue ?

4. a. Quelle est l'expression de l'énergie E_e emmagasinée dans le condensateur ?
- b. Pourquoi l'énergie E_e ne subit-elle pas de discontinuité ?
- c. En déduire le graphique correspondant à u_C .
5. Justifier l'allure du graphique représentant $i(t)$.

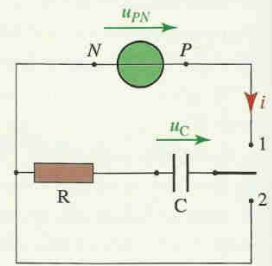
14. Étude énergétique de la charge d'un dipôle (R, C)

On réalise le montage du **document 1** pour étudier les transferts d'énergie lors de la charge du condensateur d'un dipôle (R, C).

Initialement en position 2, le commutateur est basculé en position 1 à la date $t = 0$.

Grâce à un système informatisé, on réalise l'acquisition de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur.

Données : $R = 2000 \text{ }\Omega$; $C = 400 \text{ }\mu\text{F}$.

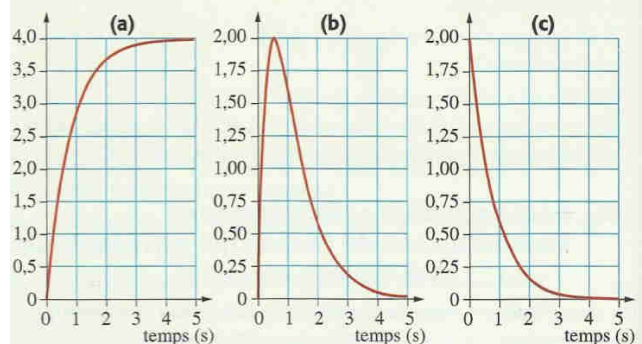


Doc. 1

1. Un logiciel de traitement de données permet, à partir de la tension $u_C(t)$, de tracer $i(t)$ et la puissance $\mathcal{P}(t)$ électrique transférée au condensateur.

- a. Quelle est la relation entre $i(t)$ et $u_C(t)$?
- b. Quelle est la relation permettant de calculer $\mathcal{P}(t)$, à partir de $u_C(t)$ et $i(t)$?
- c. Rappeler la relation permettant de calculer $E_e(t)$, l'énergie acquise par le condensateur.

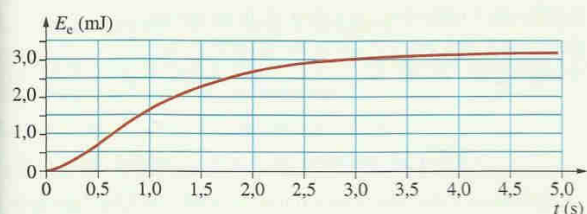
2. Le **document 2** représente trois courbes sans indications de la grandeur représentée en ordonnée.



Doc. 2

- a. Attribuer à chacune des grandeurs, $u_C(t)$, $i(t)$ et $\mathcal{P}(t)$, la courbe qui lui correspond. **SOS**
- b. À quelle date peut-on considérer que le condensateur est chargé ?
- c. Quelle est la valeur maximale de u_C sachant que sur le graphe représentant cette grandeur, la tension est exprimée en volt ?
- d. Déterminer graphiquement la constante de temps du dipôle (R, C). Comparer cette valeur à la valeur théorique $\tau = R \cdot C$.
3. L'énergie E_e acquise par le condensateur au cours du temps peut être calculée par : $E_e = \int_0^t \mathcal{P}(t) \cdot dt$. Le **document 3** représente le résultat de ce calcul.

- a. Déterminer graphiquement la valeur de l'énergie E_e emmagasinée par le condensateur lorsque la charge est terminée.



Doc. 3

- b. Calculer, à partir des données, l'énergie emmagasinée par le condensateur. Comparer les deux valeurs.

Exercices du chapitre Physique 6 : Le dipôle (R, C)

15. Comment fonctionne le flash d'un appareil photographique ?

(voir l'activité préparatoire B)

Un appareil photographique jetable avec flash incorporé est alimenté par des piles électriques. À l'intérieur de l'appareil, on observe un circuit électronique qui comporte notamment un condensateur et un conducteur ohmique. Lors de la prise d'une photographie avec flash, le condensateur emmagasine de l'énergie fournie par les piles pendant quelques secondes, puis la restitue dans une lampe en moins de 0,1 ms. La lampe émet alors un éclair lumineux intense.

On peut modéliser le principe du flash par le schéma ci-contre.

Données :

$C = 3,3 \text{ mF}$; $R = 2,2 \text{ k}\Omega$; $E = 6 \text{ V}$.

1. Sur quelle position doit être basculé le commutateur afin que le condensateur puisse se charger ?

2. Quelle est la constante de temps de charge τ_c du dipôle (R, C) ?

3. Quelle est l'énergie E_e emmagasinée par le condensateur à la fin de la charge ?

4. Le commutateur est basculé maintenant en position 1.

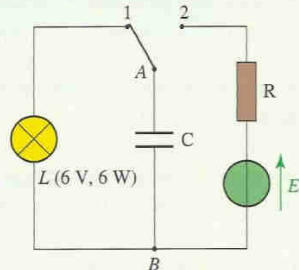
a. La puissance nominale de la lampe et la tension nominale à ses bornes sont reliées par la relation $\mathcal{P} = \frac{U^2}{r}$ avec r , la résistance interne de la lampe.

Évaluer la valeur de la résistance de la lampe.

b. Le condensateur se décharge dans la lampe. Quelle est la valeur de la constante de temps τ_d de la décharge ?

5. En admettant que l'énergie emmagasinée dans le condensateur soit fournie sur une durée égale à $\Delta t = \tau_d$, calculer la puissance moyenne $\mathcal{P}_{\text{moy}}$ fournie à la lampe.

Pourquoi la lampe émet-elle un éclair lumineux intense ? **SOS**



16. À quoi ce montage peut-il bien servir ?

Le montage, schématisé ci-dessous, permet de commander le fonctionnement d'un interrupteur électronique K qui est inséré dans un circuit non représenté.

Le condensateur a une capacité $C = 0,10 \text{ F}$ et le conducteur ohmique a une résistance $R = 100 \Omega$. La tension d'entrée u_e est imposée par un générateur. Elle est initialement égale à 12 V.

L'interrupteur électronique K est fermé lorsque la tension qui lui est appliquée est comprise entre 12 V et 3,5 V ; il est ouvert lorsque cette tension devient inférieure à 3,5 V. On suppose que l'interrupteur électronique ne perturbe pas la cellule (R, C).

1. Le générateur 12 V étant branché depuis longtemps, quelle est la valeur de la tension u_c aux bornes du condensateur et quel est l'état de l'interrupteur K ?

2. À l'instant $t = 0$, on remplace le générateur par un fil.

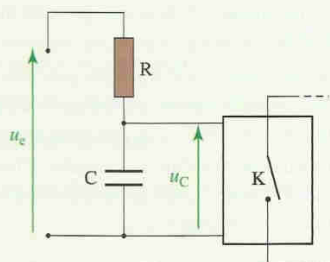
a. Quelle est la valeur initiale de la tension u_c ?

b. Dessiner l'allure de la courbe d'évolution de la tension u_c .

c. Calculer la constante de temps τ du dipôle (R, C).

d. Montrer qu'à un instant t_1 que l'on calculera, l'état de l'interrupteur K change.

3. Imaginer une utilisation d'un tel montage en complétant le circuit de l'interrupteur K. **SOS**



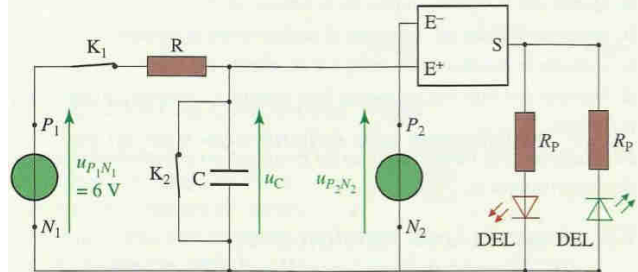
18. Déclencher une alarme



On se propose de modéliser le déclenchement d'une alarme d'appartement.

Lorsque l'utilisateur rentre chez lui, après l'ouverture de la porte d'entrée, il doit disposer d'un temps suffisant pour désactiver le dispositif. Ce temps écoulé, l'alarme doit se déclencher.

Pour simplifier le montage, le fonctionnement de l'alarme est simulé par l'éclairage de diodes électroluminescentes **[Doc. 1]**.



Doc. 1

L'interrupteur K_1 met l'alarme sous tension. Lors de la fermeture de la porte de l'appartement, l'interrupteur K_2 est fermé. L'ouverture de la porte ouvre l'interrupteur K_2 .

Un dispositif électronique permet de comparer la tension u_c à une tension de référence $u_{P_2N_2} > 0 \text{ V}$ que l'on devra déterminer :

– si $u_{P_2N_2} > u_c$, alors la DEL verte brille : l'alarme n'est pas déclenchée ;

– si $u_c > u_{P_2N_2}$, alors la DEL rouge brille : l'alarme est déclenchée.

1. L'alarme est sous tension. La porte de l'appartement est fermée.

a. Quelle est la position de l'interrupteur K_1 ? de l'interrupteur K_2 ?

b. Quelle est la valeur de la tension u_c ?

c. Quelle DEL brille ?

2. L'alarme est sous tension. On ouvre la porte de l'appartement.

a. Quelle est la position de l'interrupteur K_2 ?

b. Comment évolue la tension u_c ?

c. Quelle DEL brille lorsque u_c devient supérieure à $u_{P_2N_2}$?

3. Un système d'acquisition permet d'obtenir la tension u_c en fonction du temps lors de sa charge **[Doc. 2]**.



Doc. 2

On souhaite une temporisation de 50 s avant que l'alarme ne se déclenche.

a. Quelle est, à cette date, la valeur de la tension u_c ?

b. Quelle doit être alors la valeur de la tension $u_{P_2N_2}$?

4. L'expression de la tension u_c en fonction du temps est :

$$u_c(t) = 6 \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right).$$

a. Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ .

b. La résistance R du conducteur ohmique vaut 100Ω . En déduire la valeur de la capacité du condensateur.

c. Pour une même valeur de $u_{P_2N_2}$, on souhaite une temporisation supérieure à 50 s. Comment modifier la capacité du condensateur ?