étude expérimentale de dipôles électriques

Bac S 2009 Polynésie (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1.1 À quels points A, B, D ou M relier les voies 1 et 2 et la masse de l'interface pour visualiser u_C sur la voie 1 et E sur la voie 2 ?

Une voie mesure la tension entre le point où elle est branchée et la masse. Les flèches de u_C et de E partent toutes deux du fil du bas : $u_C = u_{DM}$ et $E = u_{AM}$.

Masse en M ; voie 1 en D (u_C) ; voie 2 en A (E).

PIÈGE
Brancher la voie 1 en B : on mesurerait $u_{BM} = u_R + u_C$, soit E dès que l'interrupteur est fermé, et non u_C.

1.1.2 Qualifier les deux régimes de fonctionnement du circuit (périodique, permanent, pseudo-périodique, transitoire) et préciser les dates qui les limitent.

Données utiles document 1 de l'annexe

Sur le document 1, u_C croît de 0 à 4,0 V puis reste confondue avec la droite E.

- De $t = 0$ à $t \approx 6$ ms, u_C varie : régime **transitoire**.
- Au-delà de $t \approx 6$ ms, u_C est constante, égale à E : régime **permanent**.

Transitoire de 0 à 6 ms environ, permanent ensuite.

COMPRENDRE
La frontière se lit à l'œil : toute valeur entre 5 et 6 ms est acceptable. Elle correspond à environ 5τ, durée au bout de laquelle la charge dépasse 99 %.

1.1.3 Quel phénomène physique se produit pendant le premier régime ?

La tension u_C augmente, donc la charge $q = C\,u_C$ portée par l'armature augmente.

Pendant le régime transitoire, le condensateur se charge.

1.2.1 Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ en expliquant la méthode employée.

Données utiles $E = 4{,}0$ V ; document 1 de l'annexe

À la date $t = \tau$, la tension aux bornes du condensateur atteint 63 % de sa valeur finale :

$u_C(\tau) = 0{,}63 \times E = 0{,}63 \times 4{,}0 = 2{,}5$ V

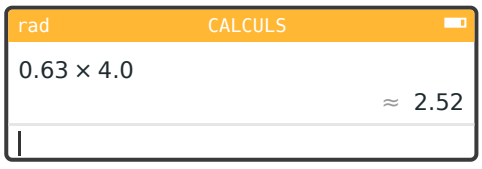
On trace l'horizontale d'ordonnée 2,5 V ; elle coupe la courbe $u_C = f(t)$ en un point dont l'abscisse est τ.

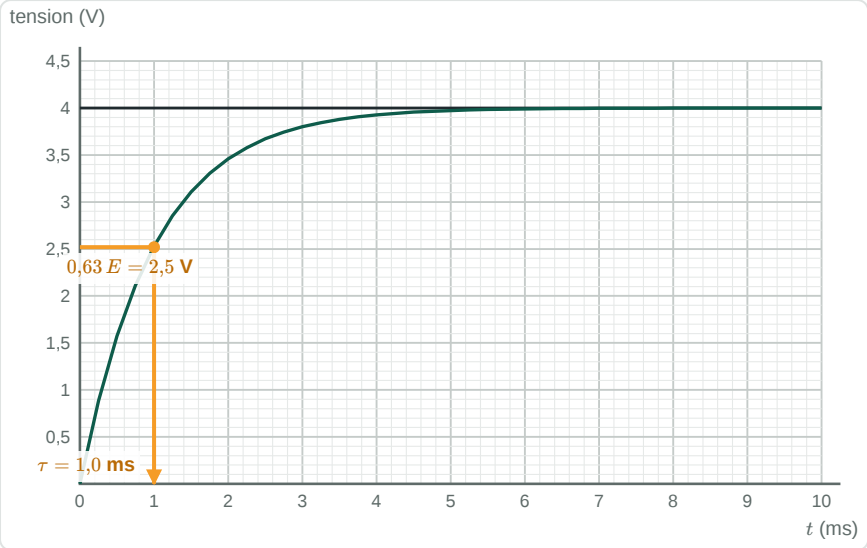
$\tau = 1{,}0$ ms

COMPRENDRE
Le 63 % vient de $u_C(\tau) = E\,(1 - e^{-1})$. Deux chiffres significatifs suffisent, comme pour E et C.

MÉTHODE
Autre tracé possible : la tangente à la courbe à l'origine coupe l'asymptote $u_C = E$ à la date $t = \tau$. Elle est moins précise, car la tangente est délicate à placer.

À LA CALCULATRICE





1.2.1 · Document 1 complété : lecture de τ à 63 % de E

1.2.2 Donner l'expression littérale de τ en fonction des caractéristiques du circuit et en déduire la valeur de la résistance R.

Données utiles $C = 1{,}0\ \mu\text{F}$; $\tau = 1{,}0$ ms (1.2.1)

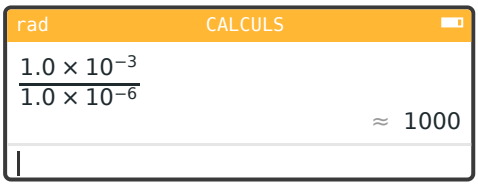
Pour un dipôle RC série : $\tau = RC$, donc $R = \dfrac{\tau}{C}$.

$$R = \frac{1{,}0 \times 10^{-3}}{1{,}0 \times 10^{-6}}$$

$$\boxed{R = 1{,}0 \times 10^{3}\ \Omega = 1{,}0\ \text{k}\Omega}$$

PIÈGE
Laisser τ en millisecondes ou C en microfarads : la résistance n'est en ohms que si τ est en secondes et C en farads.

À LA CALCULATRICE



1.3 Donner la relation liant E, u_R et u_C, exprimer u_R en fonction de i, en déduire i en fonction de E, u_C et R, puis calculer i aux dates $t_1 = 0$ ms et $t_2 = 9$ ms.

Données utiles $E = 4{,}0$ V ; $R = 1{,}0 \times 10^3\ \Omega$ (1.2.2) ; document 1 : $u_C(t_1) = 0$ V et $u_C(t_2) = 4{,}0$ V

Loi d'additivité des tensions, interrupteur fermé : $E = u_R + u_C$.

Loi d'Ohm, le conducteur ohmique étant fléché en convention récepteur : $u_R = Ri$.

Donc $E = Ri + u_C$, soit $i = \dfrac{E - u_C}{R}$.

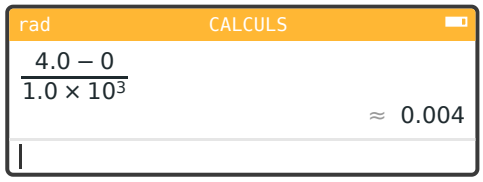
À $t_1 = 0$ ms : $i(t_1) = \dfrac{4{,}0 - 0}{1{,}0 \times 10^3} = 4{,}0 \times 10^{-3}$ A

À $t_2 = 9$ ms : $i(t_2) = \dfrac{4{,}0 - 4{,}0}{1{,}0 \times 10^3} = 0$ A

$$\boxed{i(t_1) = 4{,}0\ \text{mA et } i(t_2) = 0\ \text{A}}$$

COMPRENDRE
À $t = 0$ le condensateur est déchargé : toute la tension E est aux bornes de R et le courant est maximal. Une fois chargé, il se comporte comme un interrupteur ouvert.

À LA CALCULATRICE



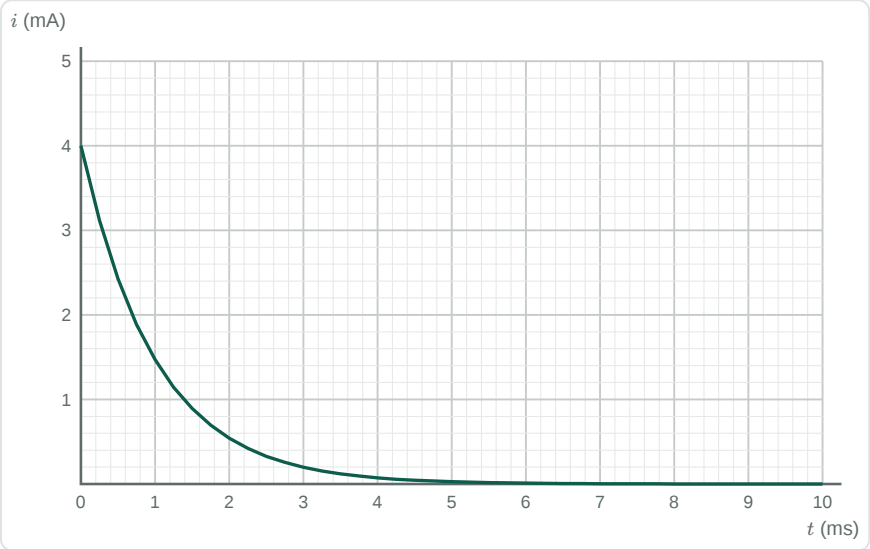
1.4 Sans considération d'échelle, représenter l'allure de la courbe $i = f(t)$.

Données utiles $i(0) = 4{,}0$ mA et $i(9\ \text{ms}) = 0$ A (1.3)

Comme $i = \dfrac{E - u_C}{R}$ et que u_C croît de 0 à E, l'intensité part de sa valeur maximale $\dfrac{E}{R}$ à $t = 0$, puis décroît de moins en moins vite et tend vers zéro.

Courbe décroissante, de $\dfrac{E}{R}$ à $t = 0$ vers 0 en régime permanent (voir figure).

PIÈGE
Faire partir la courbe de l'origine, comme celle de u_C. L'intensité est discontinue à la fermeture de l'interrupteur : elle passe instantanément de 0 à E/R.



1.4 · Allure de $i = f(t)$: décroissance de E/R vers zéro

2.1 Quel est l'intérêt de relever la tension $u_{R'}$ aux bornes du conducteur ohmique ?

Données utiles $R' = 10\ \Omega$

D'après la loi d'Ohm, $u_{R'} = R'\,i$: cette tension est proportionnelle à l'intensité du courant.

Relever $u_{R'}$ donne accès à l'intensité : $i = \dfrac{u_{R'}}{R'}$, calculée par le tableur.

COMPRENDRE
Une interface d'acquisition ne mesure que des tensions. Pour suivre une intensité, on passe toujours par la tension aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance connue.

2.2 Quel phénomène physique la courbe $i = f(t)$ met-elle en évidence ? Quel élément du circuit en est la cause ?

Données utiles document 2 de l'annexe

À la fermeture de l'interrupteur, l'intensité n'atteint pas immédiatement sa valeur finale : elle croît progressivement pendant 4 ms environ.

Retard à l'établissement du courant, dû à la bobine, qui s'oppose aux variations de l'intensité.

COMPRENDRE
La bobine et le circuit RL ne figurent plus au programme actuel de la spécialité, qui se limite au circuit RC. Cette partie se traite dans le cadre du programme de 2009.

2.3 En appliquant la loi d'additivité des tensions, déterminer l'équation différentielle vérifiée par l'intensité i du courant.

On note u_L la tension aux bornes de la bobine, fléchée en convention récepteur comme $u_{R'}$.

Loi d'additivité des tensions : $E = u_L + u_{R'}$.

Pour la bobine : $u_L = L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + r\,i$. Pour le conducteur ohmique : $u_{R'} = R'\,i$.

$$E = L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + (R' + r)\,i$$

PIÈGE
Oublier le terme $r\,i$: la bobine est réelle, elle possède une résistance interne. C'est précisément r que l'on cherche à la question 2.5.

2.4 En régime permanent, i vaut I_P. Que devient l'équation différentielle ?

En régime permanent, l'intensité est constante : $i = I_P$, donc $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 0$.

$$E = (R' + r)\,I_P$$

COMPRENDRE
En régime permanent, la bobine se comporte comme un simple conducteur ohmique de résistance r : son inductance ne joue plus aucun rôle.

2.5 En déduire l'expression littérale de la résistance r de la bobine, puis déterminer sa valeur à l'aide du document 2.

Données utiles $E = 4{,}0$ V ; $R' = 10\ \Omega$; document 2 : $I_P = 290$ mA

De $E = (R' + r)\,I_P$ on tire $R' + r = \dfrac{E}{I_P}$, soit $r = \dfrac{E}{I_P} - R'$.

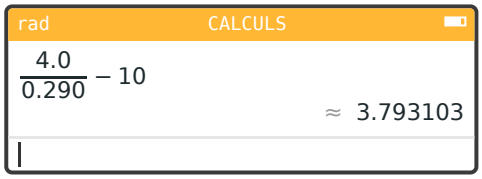
Sur le document 2, le palier de la courbe donne $I_P = 290\ \text{mA} = 0{,}290\ \text{A}$.

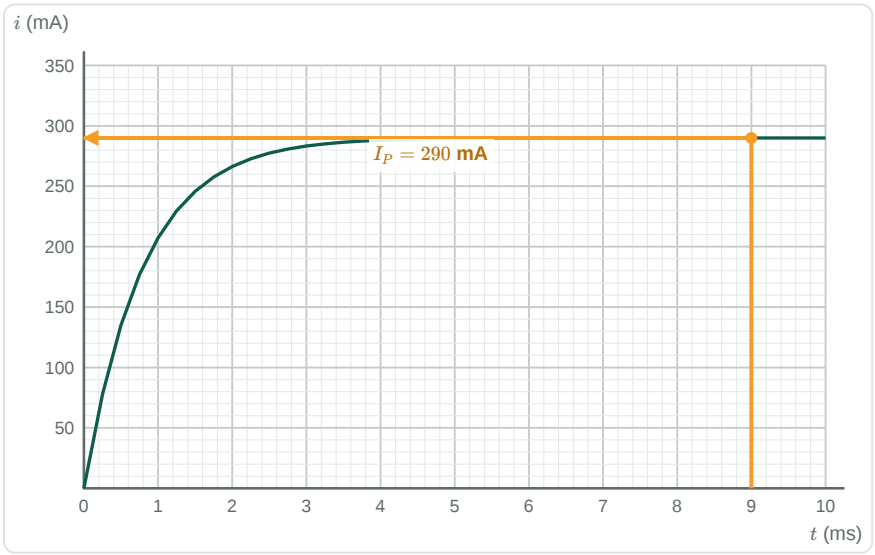
$$r = \frac{4{,}0}{0{,}290} - 10$$

$$r = 3{,}8\ \Omega$$

PIÈGE
Laisser I_P en milliampères : on trouverait une résistance négative. La lecture du palier compte aussi : avec 300 mA, on obtiendrait 3,3 Ω.

À LA CALCULATRICE





2.5 · Document 2 complété : lecture de I_P sur le palier

3.1 Quel phénomène physique se produit lorsque l'interrupteur est en position 1 ? Est-il lent ou instantané ? Justifier.

En position 1, le condensateur est relié directement au générateur : il se charge jusqu'à $u_C = E'$.

La branche de charge ne contient aucun conducteur ohmique ; sa résistance, celle des fils, est quasi nulle. La constante de temps $\tau = R\,C$ est donc pratiquement nulle.

Charge du condensateur, quasi instantanée car la résistance du circuit de charge est négligeable.

3.2 Avec le vocabulaire proposé, décrire le phénomène qui se produit dans le circuit quand l'interrupteur est basculé en position 2.

Données utiles graphique $u_C = f(t)$

La tension u_C change de signe régulièrement : le condensateur se décharge dans la bobine, puis se recharge en sens inverse, et ainsi de suite. L'amplitude diminue (environ 3,3 V, puis 2,9 V, puis 2,6 V). Aucun générateur n'est présent dans le circuit.

Le circuit est le siège d'**oscillations électriques libres amorties** (régime pseudo-périodique).

COMPRENDRE
« Libres » : aucun générateur n'impose sa fréquence. « Amorties » : l'amplitude décroît. Les oscillations du circuit RLC ne figurent plus au programme actuel de la spécialité.

3.3.1 Donner les expressions littérales de l'énergie électrique E_e du condensateur et de l'énergie magnétique E_m de la bobine.

$$E_e = \frac{1}{2}\,C\,u_C^2 \text{ et } E_m = \frac{1}{2}\,L\,i^2$$

PIÈGE
Oublier un carré ou le facteur $\frac{1}{2}$. Les deux énergies sont toujours positives, alors que u_C et i changent de signe.

3.3.2 En respectant les conventions du schéma, exprimer i en fonction de la dérivée de u_C par rapport au temps.

Sur la figure 3, la flèche de i arrive sur l'armature qui porte la charge q : $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$.

La flèche de u_C pointe vers cette même armature : $q = C\,u_C$.

La capacité C étant constante :

$$i = C\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$$

PIÈGE
Si la flèche de i quittait l'armature portant q, on aurait $i = -\dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$. Le signe se décide toujours en regardant le schéma.

3.4.1 En justifiant, attribuer les grandeurs E_e et E_m aux courbes a et b.

Données utiles à $t = 0$: $u_C = 3{,}3$ V (graphique de 3.2)

À $t = 0$, le condensateur est chargé : $u_C \neq 0$, donc $E_e = \dfrac{1}{2}\,C\,u_C^2$ est maximale. La courbe a, qui part de sa valeur maximale, représente E_e.

À $t = 0$, aucun courant ne circule encore : $i = 0$, donc $E_m = \dfrac{1}{2}\,L\,i^2 = 0$. La courbe b, qui part de l'origine, représente E_m.

Courbe a : E_e ; courbe b : E_m.

3.4.2 Donner les valeurs de E_e et E_m aux dates $t_1 = 0{,}5$ ms et $t_2 = 2{,}0$ ms, puis comparer les variations simultanées des deux énergies entre ces dates.

Données utiles courbes $E_e(t)$ et $E_m(t)$

Lecture graphique :

- à $t_1 = 0{,}5$ ms : $E_e(t_1) = 0\ \mu$J et $E_m(t_1) = 4{,}5\ \mu$J ;
- à $t_2 = 2{,}0$ ms : $E_e(t_2) = 2{,}7\ \mu$J et $E_m(t_2) = 0\ \mu$J.

Variations entre t_1 et t_2 :

$\Delta E_e = 2{,}7 - 0 = +2{,}7\ \mu$J $\qquad$ $\Delta E_m = 0 - 4{,}5 = -4{,}5\ \mu$J

$\Delta E_e = +2{,}7\ \mu$J et $\Delta E_m = -4{,}5\ \mu$J : la bobine perd plus d'énergie que le condensateur n'en gagne.

PIÈGE
Comparer seulement les valeurs absolues. Une variation a un signe : préciser qui gagne et qui perd de l'énergie.

COMPRENDRE
Quand une énergie est maximale, l'autre est nulle : condensateur et bobine s'échangent l'énergie. La lecture est cohérente avec 3.2 : $u_C(t_1) = 0$ et $u_C(t_2) \approx 2{,}3$ V.

3.4.3 Comment évolue l'énergie totale du circuit entre les dates t_1 et t_2 ? À quoi cette évolution est-elle due ?

Données utiles valeurs lues en 3.4.2

L'énergie totale du circuit est $E_T = E_e + E_m$.

$E_T(t_1) = 0 + 4{,}5 = 4{,}5\ \mu$J $\qquad$ $E_T(t_2) = 2{,}7 + 0 = 2{,}7\ \mu$J

L'énergie totale a diminué de 1,8 µJ. Cette énergie a été dissipée par effet Joule, sous forme de transfert thermique, dans la résistance r de la bobine.

L'énergie totale diminue, de 4,5 µJ à 2,7 µJ, à cause de l'effet Joule dans la résistance r.

COMPRENDRE
C'est cette perte qui explique l'amortissement observé en 3.2. Avec une bobine idéale ($r = 0$), l'énergie totale resterait constante et les oscillations seraient périodiques.

À LA CALCULATRICE

