Evolution temporelle de différents systèmes électriques

Bac S 2005 Asie (ancien programme) · Exercice 3 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1.1 Préciser entre quels points on doit réaliser le branchement pour visualiser la tension u_R aux bornes du conducteur ohmique.

Le conducteur ohmique est placé entre les points B et M, et la masse du circuit est au point M.

Voie de mesure reliée au point **B**, masse reliée au point **M** : on visualise $u_R = u_{BM}$.

PIÈGE

La masse du système d'acquisition est imposée : elle se branche en M, là où se trouve déjà la masse du montage. La brancher en B mettrait le conducteur ohmique en court-circuit.

1.1.2 Expliquer pourquoi on visualise alors les variations de l'intensité du courant.

Avec le sens positif choisi, le courant traverse le conducteur ohmique de B vers M. Loi d'Ohm : $u_R = u_{BM} = Ri$, donc $i = \dfrac{u_R}{R}$.

R est une constante positive.

u_R est proportionnelle à i : la courbe de $u_R(t)$ a la même allure et le même signe que celle de $i(t)$.

MÉTHODE

Un système d'acquisition ne mesure que des tensions. Pour suivre une intensité, on relève la tension aux bornes d'un conducteur ohmique, puis on divise par R.

1.2 Affecter à chaque montage (1, 2 et 3) l'oscillogramme correspondant (a, b ou c). Justifier brièvement.

Chaque oscillogramme donne l'allure de $i(t)$ (question 1.1.2).

Oscillogramme a : i oscille de part et d'autre de zéro avec une amplitude qui décroît. Ce sont des oscillations amorties (régime pseudo-périodique), propres au circuit RLC : montage 3.

Oscillogramme b : i prend sa valeur maximale dès la fermeture, puis décroît jusqu'à zéro. Dans le montage 1, le condensateur est déchargé à $t = 0$ ($u_C = 0$), donc $u_R = E$ et $i(0) = \dfrac{E}{R}$; une fois le condensateur chargé, le courant ne passe plus.

Oscillogramme c : i part de zéro et augmente progressivement jusqu'à une valeur constante. La bobine retarde l'établissement du courant : montage 2.

Montage 1 (RC) : oscillogramme b ; montage 2 (RL) : oscillogramme c ; montage 3 (RLC) : oscillogramme a.

PIÈGE

Les courbes montrent $i(t)$, pas $u_C(t)$. Pour le circuit RC, c'est u_C qui croît pendant la charge, alors que l'intensité, elle, décroît.

COMPRENDRE

La bobine, les circuits RL et RLC et les oscillations électriques ne figurent plus au programme actuel de spécialité. Le circuit RC (montage 1), lui, y figure toujours.

2.1.1 Associer à chaque phase de fonctionnement du flash les phénomènes de charge et de décharge du condensateur.

Première phase : K_1 est fermé, la tension continue établie entre P et N alimente le condensateur, qui emmagasine de l'énergie.

Seconde phase : K_2 se ferme, le condensateur restitue cette énergie à la lampe.

Première phase : **charge** du condensateur ; seconde phase : **décharge** du condensateur.

2.1.2 Affecter à chacune des courbes I et II la phase correspondante.

Courbe I : u_C décroît de 300 V à 0 en environ 0,5 ms. Le condensateur se décharge, très rapidement.

Courbe II : u_C croît de 0 à 300 V en une vingtaine de secondes. Le condensateur se charge, lentement.

Courbe I : seconde phase (décharge) ; courbe II : première phase (charge).

PIÈGE
Les deux axes des temps n'ont pas la même unité : millisecondes pour la courbe I, secondes pour la courbe II. La décharge est environ 30 000 fois plus rapide que la charge.

2.2 Expliquer et utiliser une méthode permettant de déterminer la constante de temps τ sur chaque courbe. Vérifier que $\tau(\text{courbe I}) \approx 0{,}1$ ms et $\tau(\text{courbe II}) \approx 3$ s, puis en déduire les valeurs approchées de R et de r.

Données utiles $C = 100\ \mu\text{F} = 1{,}00 \times 10^{-4}$ F

Méthode de la tangente à l'origine : on trace la tangente à la courbe à $t = 0$; elle coupe l'asymptote (valeur finale de u_C) à la date $t = \tau$.

Courbe I : l'asymptote est l'axe des abscisses ($u_C = 0$). La tangente le coupe à $\tau_\text{I} \approx 0{,}1$ ms.

Courbe II : l'asymptote est la droite $u_C = 300$ V. La tangente la coupe à $\tau_\text{II} \approx 3$ s.

Les deux valeurs annoncées sont vérifiées.

La charge (courbe II) se fait à travers R : $\tau_\text{II} = RC$, donc $R = \dfrac{\tau_\text{II}}{C} = \dfrac{3}{1{,}00 \times 10^{-4}} = 3 \times 10^4\ \Omega$.

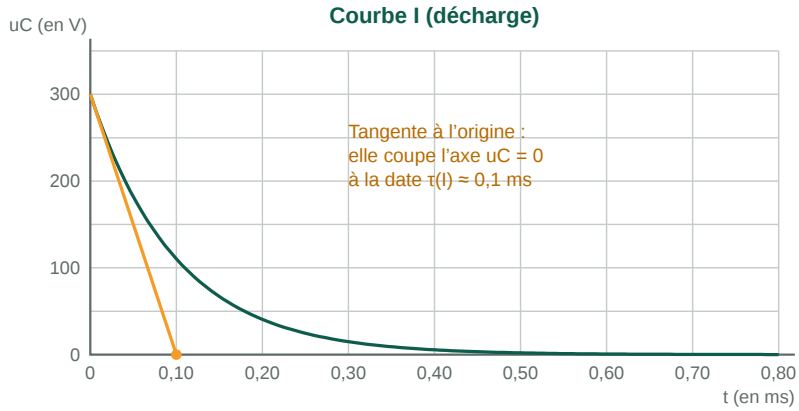
La décharge (courbe I) se fait à travers r : $\tau_\text{I} = rC$, donc $r = \dfrac{\tau_\text{I}}{C} = \dfrac{0{,}1 \times 10^{-3}}{1{,}00 \times 10^{-4}} = 1\ \Omega$.

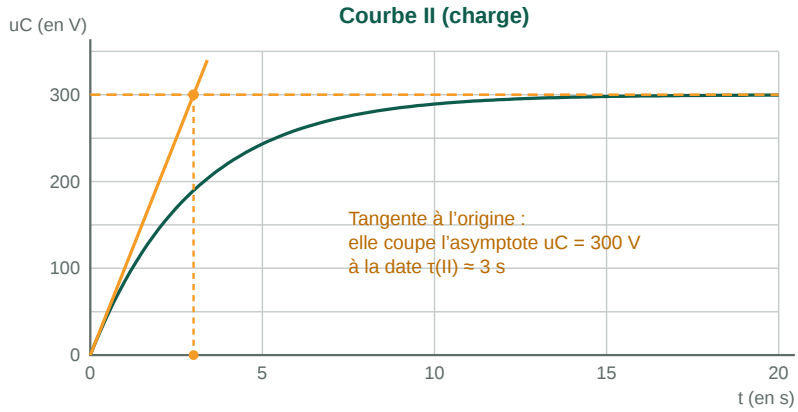
$R \approx 3 \times 10^4\ \Omega = 30\ \text{k}\Omega$ et $r \approx 1\ \Omega$

PIÈGE
Convertir avant de calculer : $100\ \mu\text{F} = 1{,}00 \times 10^{-4}$ F et $0{,}1\ \text{ms} = 1 \times 10^{-4}$ s. Ne pas intervertir : R va avec la charge, r avec la décharge.

COMPRENDRE
Un seul chiffre significatif pour R et r : les constantes de temps, lues sur un graphique, ne sont connues qu'à un chiffre.

MÉTHODE
Autre méthode : à $t = \tau$, la charge atteint 63 % de la valeur finale ($0{,}63 \times 300 \approx 190$ V) et la décharge est tombée à 37 % de la valeur initiale (≈ 110 V). On lit l'abscisse du point correspondant.





2.2 · Annexe complétée : tangentes à l'origine (en orange) et lecture des constantes de temps

2.3.1 Quelle est la tension maximale aux bornes du condensateur ?

Sur la courbe II, u_C tend vers une valeur limite en fin de charge ; c'est aussi la valeur initiale de la courbe I.

$$u_{C,\max} = 300 \text{ V}$$

2.3.2 En déduire l'énergie maximale emmagasinée dans le condensateur.

Données utiles $C = 1{,}00 \times 10^{-4}$ F ; $u_{C,\max} = 300$ V (2.3.1)

Énergie emmagasinée par un condensateur : $E_C = \frac{1}{2} C u_C^2$.

$$E_{C,\max} = \frac{1}{2} \times 1{,}00 \times 10^{-4} \times 300^2 = 0{,}5 \times 1{,}00 \times 10^{-4} \times 9{,}00 \times 10^4$$

$$E_{C,\max} = 4{,}5 \text{ J}$$

PIÈGE

Oublier le carré de la tension ou le facteur $\frac{1}{2}$, ou laisser la capacité en microfarads.

MÉTHODE

Sans calculatrice, écrire $300^2 = 9 \times 10^4$: les puissances de dix se simplifient avec 10^{-4} et il reste $0{,}5 \times 9 = 4{,}5$.

2.3.3 La charge ou la décharge est complète à $t = 5\tau$. Calculer la puissance moyenne mise en jeu lors de chaque phase. Quel est l'intérêt pratique de la différence constatée ? En déduire pourquoi la résistance r du tube éclair doit être petite.

Données utiles $\tau_{II} \approx 3$ s et $\tau_I \approx 0{,}1$ ms (2.2) ; $E_{C,\max} = 4{,}5$ J (2.3.2) ; $P = \dfrac{|\Delta E|}{\Delta t}$

Le sujet renvoie à un « paragraphe 2.2.2 » qui n'existe pas : il s'agit des valeurs de τ données à la question 2.2.

Dans les deux phases, l'énergie échangée est la même : $|\Delta E| = E_{C,\max} = 4{,}5$ J.

Première phase (charge) : $\Delta t_1 = 5\,\tau_{II} = 15$ s, donc $P_1 = \dfrac{4{,}5}{15} = 0{,}3$ W.

Seconde phase (décharge) : $\Delta t_2 = 5\,\tau_I = 0{,}5$ ms $= 5 \times 10^{-4}$ s, donc $P_2 = \dfrac{4{,}5}{5 \times 10^{-4}} = 9 \times 10^3$ W.

Intérêt : P_2 est 30 000 fois plus grande que P_1. Le condensateur accumule lentement l'énergie fournie par une pile de faible puissance, puis la restitue en un temps très bref : la lampe reçoit une puissance considérable et émet un éclair intense.

Rôle de r : $\Delta t_2 = 5\,rC$, donc $P_2 = \dfrac{E_{C,\max}}{5\,rC}$. À énergie et capacité fixées, plus r est petite, plus la décharge est brève et plus la puissance reçue par la lampe est grande.

$P_1 \approx 0{,}3$ W ; $P_2 \approx 9 \times 10^3$ W ; r doit être petite pour que la décharge soit brève, donc puissante.

PIÈGE
Diviser par τ au lieu de 5τ, ou laisser 0,5 ms en millisecondes : la puissance en watts exige une durée en secondes.

COMPRENDRE
Le condensateur ne crée pas d'énergie : il rend les 4,5 J reçus. C'est la durée de l'échange qui change, et avec elle la puissance.

2.4.1 Préciser le signe des charges portées par chacune des armatures du condensateur chargé. Indiquer, lors de chaque phase, si le courant circule dans la branche AB dans le sens positif choisi, en justifiant brièvement.

Signe des charges : le condensateur chargé présente $u_C = u_{AB} = +300$ V > 0. L'armature reliée à A, du côté de la borne $+$ du générateur, porte une charge positive $q_A = C\,u_C$; l'armature reliée à B porte la charge opposée $-q_A$, négative.

Première phase (charge) : le courant sort de la borne $+$ du générateur, traverse R et arrive en A, puis parcourt la branche de A vers B. Il circule dans le sens positif : $i > 0$, la charge q_A augmente.

Seconde phase (décharge) : la charge q_A diminue. Le courant quitte l'armature positive par A, traverse la lampe et revient par B. Dans la branche AB, il circule donc de B vers A, en sens inverse du sens positif : $i < 0$.

Armature A positive, armature B négative ; courant dans le sens positif pendant la charge, dans le sens opposé pendant la décharge.

COMPRENDRE
Vérification par le calcul : $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$. Sur la courbe II, u_C croît, donc $i > 0$; sur la courbe I, u_C décroît, donc $i < 0$.

2.4.2 Établir l'équation différentielle vérifiée par u_C lors de chacune des phases de fonctionnement.

Dans les deux phases, avec le sens positif choisi (de A vers B) : $q_A = C\,u_C$ et $i = \dfrac{\mathrm{d}q_A}{\mathrm{d}t}$, donc $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$.

Première phase (K_1 fermé, K_2 ouvert). Loi des mailles : $E = u_R + u_C$, avec $u_R = R\,i$ (loi d'Ohm).

$$E = RC\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + u_C \quad \text{soit} \quad \frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{u_C}{RC} = \frac{E}{RC}$$

Seconde phase (K_1 ouvert, K_2 fermé). Le condensateur et la résistance r sont branchés entre les mêmes points : la tension aux bornes de r est u_C. Le courant qui descend dans r est celui qui remonte la branche AB, d'intensité $-i$. Loi d'Ohm : $u_C = r \times (-i)$, soit $u_C + r\,i = 0$.

$$u_C + rC\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = 0 \quad \text{soit} \quad \frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{u_C}{rC} = 0$$

Charge : $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \dfrac{u_C}{RC} = \dfrac{E}{RC}$; décharge : $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \dfrac{u_C}{rC} = 0$

PIÈGE

À la décharge, le signe est décisif. Écrire $u_C = r\,i$ avec le sens positif du sujet donne $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} - \dfrac{u_C}{rC} = 0$: une tension qui croîtrait sans fin.

COMPRENDRE

On retrouve les constantes de temps de la question 2.2 : $\tau_{\text{II}} = RC$ pour la charge, $\tau_{\text{I}} = rC$ pour la décharge. La valeur limite de la charge est $u_C = E = 300$ V.