

Épreuve de physique - 20 janvier 2025

Durée : 4h

- L'usage de la calculatrice est interdit.
- Un résultat d'application numérique **ne doit pas** contenir d'opérations ou de fonctions (fraction, racine, logarithme, etc.) et **sera compté comme faux** s'il en contient.
- Les expressions littérales seront encadrées, et les applications numériques soulignées. **Une application numérique sans unité sera considérée fautive.**
- Si vous constatez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, indiquez le sur votre copie. Vérifiez tout de même que l'erreur ne provient pas de vous (homogénéité, ordre de grandeur, etc.).

1 Montage potentiométrique

Pour mesurer une température, on utilise un capteur résistif. On mesure un signal électrique, en générale une tension, qui traduit les variations de la résistance avec la température. Un montage, alimenté par une source de tension comprend la résistance à mesurer et d'autres résistances constantes. Le circuit de mesure ainsi constitué est appelé conditionneur du thermomètre.

On considère le montage potentiométrique ci-contre. Le générateur a pour f.e.m. E et pour résistance interne r . Le voltmètre possède une résistance interne R_d mesure la tension V_1 aux bornes de la résistance thermométrique R qui dépend de T .

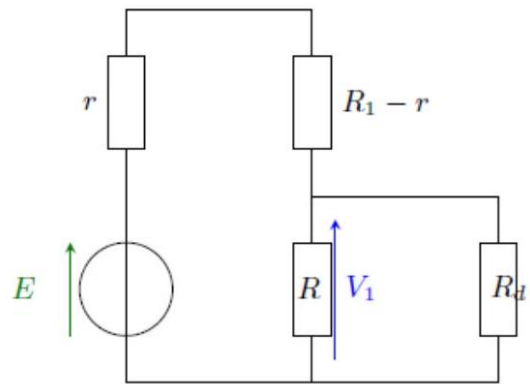


FIGURE 1 – Montage potentiométrique.

1. Exprimer V_1 en fonction de R_1, R, R_d et E .

/1 Schéma électrique avec résistance équivalente **ou** loi des mailles + loi d'Ohm avec notation du sens du courant sur le schéma (-1/2 point si i présent dans une formule mais non défini).

/1 Formule obtenue par un pont diviseur de tension **ou** par la loi des mailles et la loi d'Ohm avec notation du sens du courant sur le schéma (-1/2 point si i présent dans une formule mais non défini).

On cherche à déterminer la tension V_1 aux bornes de $R \parallel R_d$, on reconnaît un pont diviseur de tension :

$$V_1 = \frac{\frac{RR_d}{R+R_d}}{\frac{RR_d}{R+R_d} + R_1} E$$

2. Comment doit-on choisir R_d pour que la tension V_1 ne dépende pas du voltmètre utilisé ? Quelle est alors l'expression de V_1 ? On suppose cette condition désormais réalisée. Indication : Prendre une valeur arbitraire pour un paramètre ne rend pas sa dépendance négligeable. On cherchera une limite rendant un paramètre négligeable devant un autre, par exemple $R_d \ll R$ ou $R_d \gg R$.

Si la résistances vérifient $R_d \gg R$ alors $R + R_d \sim R_d$, ainsi la tension exprimée à la question précédente se simplifie en $V_1 \sim \frac{R}{R+R_1} E$. /1
/1

À $T = T_0$, la résistance thermométrique R a pour valeur R_0 et la tension de mesure la valeur V_1 . Ces conditions définissent un point moyen de fonctionnement. Lorsque R varie de ΔR (i.e. $R = R_0 + \Delta R$), V_1 varie de ΔV_1 (i.e. $V_1 = V_1 + \Delta V_1$).

- Exprimer ΔV_1 en fonction de $\Delta R, R_0, R_1$ et E en se limitant au cas où $\Delta R \ll R_0$. Indication : On admettra que l'on peut écrire $\frac{1}{R_0 + R_1 + \Delta R} \sim \frac{1}{R_0 + R_1} \left(1 - \frac{\Delta R}{R_0 + R_1}\right)$ si $\Delta R \ll R_0$.

On définit la sensibilité du conditionneur par $S = \frac{\Delta V_1}{\Delta R}$.

- Montrer que l'on peut mettre la sensibilité sous la forme $S = \frac{E}{\left(\frac{R_0}{\sqrt{R_1}} + \sqrt{R_1}\right)^2}$.
- Application numérique : sachant que $E = 10,0 \text{ V}$, $R_0 = 109,8 \Omega$, $r = 20 \Omega$, que le voltmètre peut déceler une variation $|\Delta V_1|$ de $0,01 \text{ V}$; calculer la valeur de $R_1 - r$ qui donne la sensibilité maximale et la variation ΔR que l'on peut alors détecter.
- Alors que le conditionneur est tel que sa sensibilité est maximale, la f.e.m. E du générateur fluctue entre $E - \Delta E$ et $E + \Delta E$. Calculer la variation de V_1 correspondant à une variation ΔE de E . Comparer l'influence de ΔR et de ΔE . Quel est le niveau tolérable de fluctuation de la f.e.m. de la source dans ce dispositif ?

2 Pont de Wheatstone

Le voltmètre, de résistance interne R_d très supérieur aux autres résistances, mesure la différence de potentiel $V_2 = V_B - V_A$. La résistance interne de la source est négligeable. Le montage considéré dans cette partie est représentée sur la figure ci-contre.

- Exprimer V_2 en fonction de E et des résistances du montage.
- L'équilibre du pont ($V_2 = 0$) est réalisé pour $R = R_0, T = T_0$. Quelle relation lie alors R_2, R_3, R_4 et R_0 ?
- Calculer V_2 en fonction de R, R_2, R_0 et E .
- On suppose $\Delta R = R - R_0 \ll R_0$. Pour quelle valeur de R_2 la sensibilité $S = \frac{\Delta V_2}{\Delta R}$ est-elle maximale ? Exprimer celle-ci en fonction de E et R_0 .
- Comparer la sensibilité du pont de Wheatstone et du montage potentiométrique si :
 - le voltmètre n'est utilisé que sur le calibre immédiatement supérieur à E .
 - les calibres plus petits sont utilisés.
- La sensibilité maximale étant obtenue, on tient maintenant compte des fluctuations de E ($|\Delta E| \ll E$). Comparer l'influence respective de ΔR et de ΔE sur V_2 . Conclure.

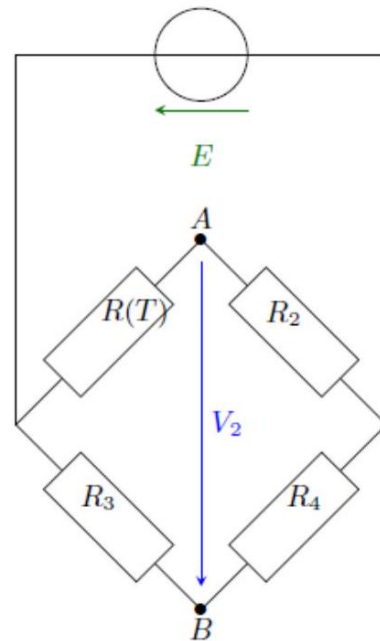


FIGURE 2 – Schéma électrique du pont de Wheatstone.

3 Flash d'un appareil photo jetable

Le circuit électrique d'un flash d'un appareil photo jetable est de conception simple. Il est schématisé sur la figure ci-dessous. La partie de gauche génère une tension sinusoïdale et la partie centrale amplifie la tension, la redresse et la filtre pour la transformer en tension continue. Enfin la partie de droite est le flash, assimilable à un circuit RC série.

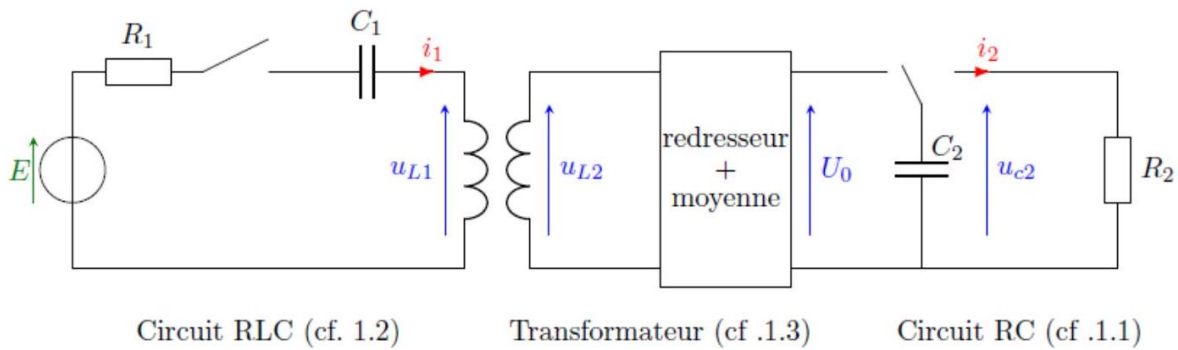


FIGURE 3 – Schéma électrique d'un flash d'appareil photographique.

3.1 Décharge du condensateur dans le flash

Lors de la prise de la photo, le condensateur, supposé chargé à la tension U_0 , se décharge dans le flash qui est alors équivalent à une résistance R_2 .

13. Déterminer l'énergie contenue initialement (avant fermeture de l'interrupteur) dans ce condensateur. Faire l'application numérique avec $C_2 = 150 \mu\text{F}$ et $U_0 = 300 \text{ V}$.
14. On ferme l'interrupteur à l'instant $t = 0$. Déterminer u_{c2} au cours du temps.
15. Déterminer l'ordre de grandeur du temps nécessaire à la décharge du condensateur. Comment choisir R_2 pour que la condensateur se décharge en 1 ms ?

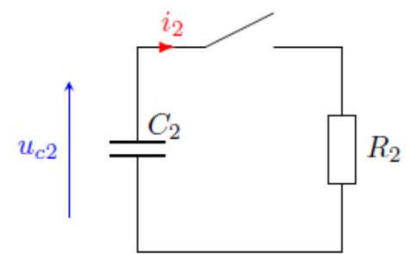


FIGURE 4 – Circuit RC

3.2 Oscillateur

Le schéma électrique du circuit commandant le flash est fortement simplifié dans la suite du problème. L'alimentation est une pile dont la f.e.m. continue est de $E = 1,5 \text{ V}$. Pour atteindre des tensions de l'ordre de 300 V il faut utiliser un transformateur, lequel ne "fonctionne" qu'avec des tensions alternatives. La première partie du montage comporte donc un circuit RLC oscillant qui permet d'obtenir une tension variable à partir d'une tension continue.

Le circuit étudié, dont l'interrupteur est fermé lorsque l'opérateur arme le flash (à l'instant $t = 0$), est représenté ci-contre. La résistance R_1 est la résistance interne de la pile d'alimentation. Le condensateur est initialement déchargé.

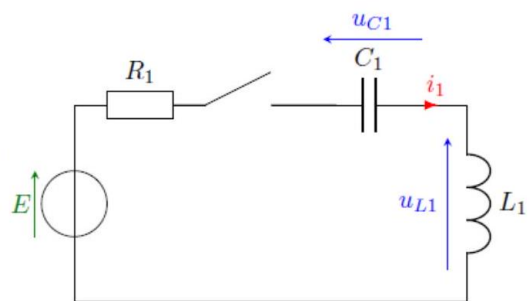


FIGURE 5 – Circuit RLC

16. Déterminer les valeurs de u_{C1} , u_{L1} , u_{R1} et i_1 au bout d'un temps très long.
17. Que vaut le courant à l'instant $t = 0^+$, juste après la fermeture de l'interrupteur en $t = 0$?
18. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par u_{C1} au cours du temps. Quelle type d'équation reconnaissez-vous ?
19. Résoudre cette équation. On prendra $R_1 = 0,5 \Omega$, $C_1 = 200 \text{ pF}$ et $L_1 = 36 \text{ mH}$. On montrera en particulier que la solution peut se mettre sous la forme :

$$u_{C1}(t) = \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) [A' \cos(\Omega t) + B' \sin(\Omega t)] + E$$

avec τ , Ω , A' et B' des constantes à déterminer. Interpréter les différents termes de la solution.

20. Estimer le temps nécessaire pour que u_{C1} atteigne sa valeur finale. Que se passe-t'il si R_1 tend vers zéro ?

3.3 Dimensionnement du transformateur

- Déterminer la valeur moyenne $U_0 \hat{=} \frac{1}{T} \int_0^{T=\frac{2\pi}{\omega_0}} |u_{L2}(t)| dt$ du signal redressé $|u_{L2}(t)| = |U_{L2} \cos \omega_0 t|$ en fonction de l'amplitude U_{L2} . Quelle doit alors être la valeur de U_{L2} pour obtenir une tension moyenne de $U_0 = 300 \text{ V}$.
- Déterminer alors le rapport de transformation défini par $n = \frac{U_{L2}}{U_{L1}}$ assurant une tension $U_0 = 300 \text{ V}$ aux bornes du condensateur. Pour un oscillateur de résistance R_1 négligeable, on a montré que l'amplitude $U_{L1} = E = 1.5 \text{ V}$.

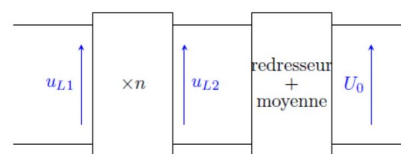


FIGURE 6 – Transformateur

4 Dissolution de l'acide propanoïque

On considère une solution d'acide propanoïque $\text{C}_2\text{H}_3\text{COOH}$ de concentration $C = 10^{-2} \text{ mol/l}$ et de $pK_A = 4,87$.

- Exprimer l'avancement volumique final de sa réaction avec l'eau ainsi que le taux de dissociation. On pourra négliger l'autoprotolyse de l'eau.
- En déduire le pH de la solution.

5 Diagramme de prédominance

- Tracer sur un même axe les diagrammes de prédominance des espèces acides et basiques des couples :
 - acide nitreux HNO_2 / ion nitrite NO_2^- , $pK_{A1} = 3,3$
 - ion méthylammonium CH_3NH_3^+ / méthylamine CH_3NH_2 , $pK_{A2} = 10,7$

On mélange un volume $V_1 = 50 \text{ ml}$ de solution d'acide nitreux de concentration $C_1 = 10^{-2} \text{ mol/l}$ avec un volume $V_2 = V_1$ de solution de méthylamine de même concentration $C_2 = C_1$.

- Les espèces chimiques mises en présence peuvent-elles être simultanément prédominantes ?
- Écrire l'équation de la réaction acido-basique associée à la transformation de ce système.
- Calculer la constante d'équilibre associée à cette réaction.
- Établir un tableau d'avancement, puis calculer la valeur de l'avancement dans l'état final. La transformation est-elle totale ?