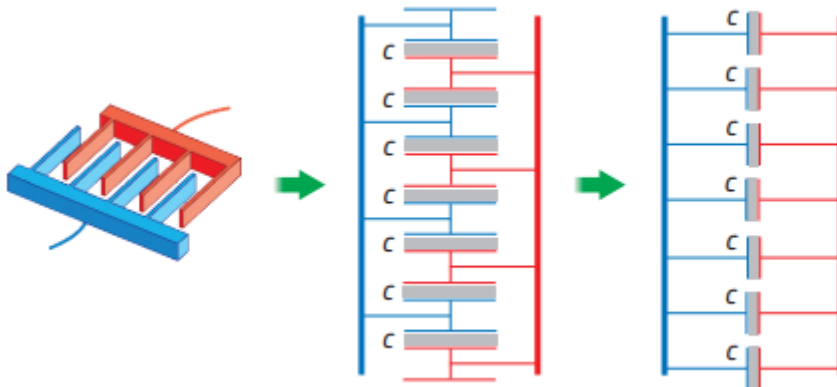


Ex 43 p 499 : Détecteur de pluie capacitif et écran tactile

1. Modélisation du capteur :

a.



b.



La capacité C d'un condensateur de la cellule capacitive vaut :

$$C = \frac{C_{\text{tot}}}{80} = \frac{kS}{d} = \frac{k\ell e}{d}$$

avec ℓ la largeur de la cellule capacitive (d'après le schéma $\ell = 22,5$ mm).

On en déduit donc :

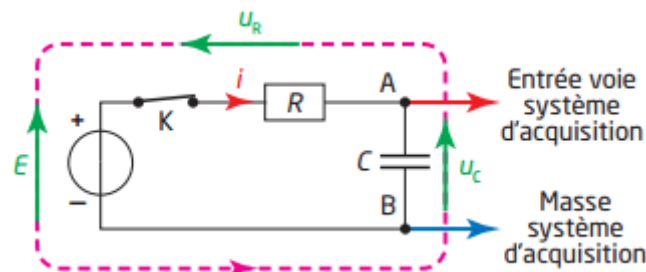
$$e = \frac{dC_{\text{tot}}}{80k\ell}$$

AN : $e = 1,3 \cdot 10^{-4}$ m

2. Evolution théorique lors de la charge

a. Pour mesurer la capacité de la cellule capacitive, on étudie sa charge au cours du temps. On réalise une acquisition de la tension $u_c(t)$ aux bornes de la cellule au cours du temps avec un système d'acquisition de données (avec un LabQuest et un capteur de tension).

Le schéma proposé ci-après intègre également les flèches tension et courant ainsi qu'une maille en rose pour la résolution de la question suivante.



b. L'obtention de l'équation différentielle se fait en utilisant le raisonnement à retenir du cours :

- Loi des mailles dans la maille rose : $u_C + u_R - E = 0$ (1).
- Loi d'Ohm aux bornes de R : $u_R = R \times i$ (2).
- Définition de l'intensité du courant électrique : $i = \frac{dq}{dt}$ (3).
- Relation entre u_C , q et C : $q = C \times u_C$ (4).

En combinant les expressions (2), (3) et (4), on obtient :

$$u_R = R \times i = R \times \frac{dq}{dt} = R \times \frac{d(C \times u_C)}{dt} = RC \times \frac{du_C}{dt} \quad (5)$$

En remplaçant (5) dans (1), on obtient :

$$RC \times \frac{du_C}{dt} + u_C - E = 0.$$

En faisant passer le terme $-E$ à gauche du signe $=$ et en divisant par RC , on peut écrire l'équation sous la forme :

$$\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{\tau} u_C = \frac{E}{\tau}$$

avec $\tau = RC$ le temps caractéristique du circuit.

u_C est donc la solution d'une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants avec un second membre constant du type $y' + ay = b$, avec $a = 1/\tau$ et $b = E/\tau$.

L'ensemble des solutions est de la forme :

$$u_C(t) = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + E$$

où A est une constante déterminée par les conditions initiales.

Détermination de la constante A à l'aide de la condition initiale À $t_0 = 0$ s, le condensateur est déchargé et donc $u_C(t_0) = u_C(0) = 0$, ce qui donne :

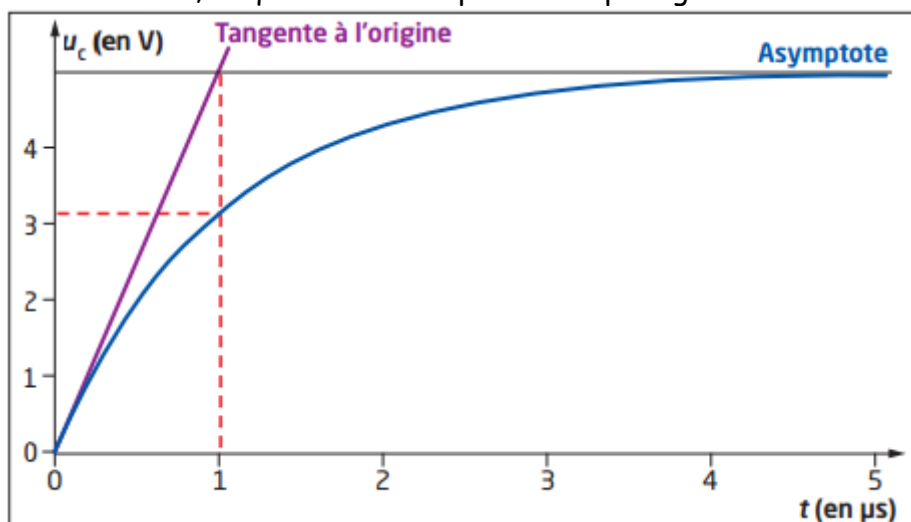
$$u_C(0) = Ae^{-\frac{0}{\tau}} + E = A + E = 0, \text{ d'où } A = -E.$$

La solution particulière du problème est donc :

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

c. L'allure théorique de $u_C(t)$ peut être tracée à main levée en considérant que le temps caractéristique vaut : $\tau = RC = 10,0 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-12} = 1,00 \times 10^{-6} \text{ s} = 1,00 \mu\text{s}$.

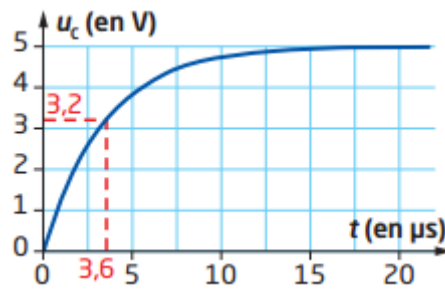
On trace alors la tangente à l'origine entre le point origine (0 s ; 0 V) et le point (1,00 μs ; 5,0 V) obtenu sur l'asymptote horizontale à 5,0V qui doit être représentée pour guider le tracé.



3. Exploitation des résultats

a. À partir de la représentation graphique proposée, on détermine le temps caractéristique en déterminant l'abscisse τ du point correspondant à la tension :

$$u_C(\tau) = 5,0 \times (1 - e^{-1}) = 3,2 \text{ V}.$$



On lit alors $\tau = 3,6 \mu s$ donc : $C_{tot} = \tau / R = 3,6 \times 10^{-6} / (10,0 \times 10^3) = 3,6 \times 10^{-10} F$.

On en déduit le taux d'humidité relative par une interpolation linéaire autour de 360 pF :

$$\text{taux d'humidité relative} = 40 + 10 \times (360 - 280) / (390 - 280) = 47\%$$

b. Lorsque le programme détecte un temps caractéristique supérieur à $5,5 \mu s$ qui correspond à un taux d'humidité de 100 %, il doit déclencher la mise en fonction de l'élément chauffant. Si de la rosée s'est déposée sur le capteur alors celle-ci va se vaporiser rapidement et dans ce cas le taux d'humidité relative détecté va redevenir inférieur à 100 %.

Par contre en cas de pluie continue la pellicule d'eau à la surface du capteur sera renouvelée en permanence et le taux d'humidité relative restera égal à 100 %.

Le programme du microcontrôleur doit donc ensuite réaliser une nouvelle mesure du taux d'humidité au bout d'un temps qui doit être déterminé par réglage dépendant de la puissance électrique transmise à l'élément chauffant lors de la phase précédente. Si la mesure donne à nouveau 100 % d'humidité alors il s'agit très probablement de pluie continue et si ce n'est pas le cas c'est que la pluie a cessé ou alors qu'il s'agissait de rosée ou de brouillard.

4. Détecteur de pluie et écran tactile

Bien que le principe reste le même, la figure montre quand même une différence notable de fonctionnement puisque le contact du doigt se traduit par l'ajout d'une capacité C_g . On remarque un nombre plus faible de lignes de champ entre les fils A et B dans ce cas. Or on sait que le champ est plus faible lorsque les lignes de champ sont moins resserrées ou lorsqu'elles sont moins nombreuses comme dans le cas présent lorsque le doigt touche l'écran.

On en déduit que les charges électriques localisées sur les fils sont donc moins nombreuses et que la capacité C_x diminue si la tension entre les deux fils reste constante. Cette variation locale de charge entraîne une variation de l'intensité du courant électrique dans les fils qui va être détectée et qui va se traduire par une information de position à la surface de l'écran tactile.

Il existe donc une différence notable dans le fonctionnement d'un détecteur de pluie dont la capacité augmente en présence d'humidité à sa surface et celui d'un écran tactile dont la capacité diminue localement en présence du contact d'un doigt posé à sa surface. On peut faire l'expérience de déposer une goutte d'eau à la surface d'un écran tactile de smartphone qui montre que celui-ci réagit comme si le doigt était posé en continu sur la surface où se trouve la goutte.