

TP 19 . Étude d'un capteur capacitif tactile

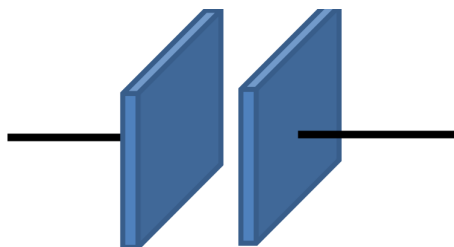
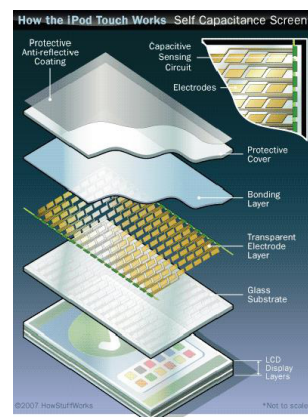
But du TP : illustrer la technologie tactile capacitive, mesurer la capacité d'un condensateur de très faible capacité, réviser la modélisation de l'entrée d'un oscilloscope, la mesure d'une impédance d'entrée, réviser le phénomène de résonance aux bornes d'un condensateur.

I Introduction : les écrans tactiles capacitifs

Parmi diverses technologies, les écrans de type capacitif sont actuellement les plus répandus.

Le principe est le suivant : sous le verre protecteur de l'écran, on a un grand nombre d'électrodes (en ITO, Indium Tin Oxyde, conducteur mais transparent). Chaque paire d'électrodes forme un condensateur.

Contrairement au condensateur plan où les armatures se font face, celles-ci sont orientées orthogonalement à la surface tactile. La capacité d'une telle configuration est moins grande que celle d'un condensateur plan utilisant les mêmes armatures.

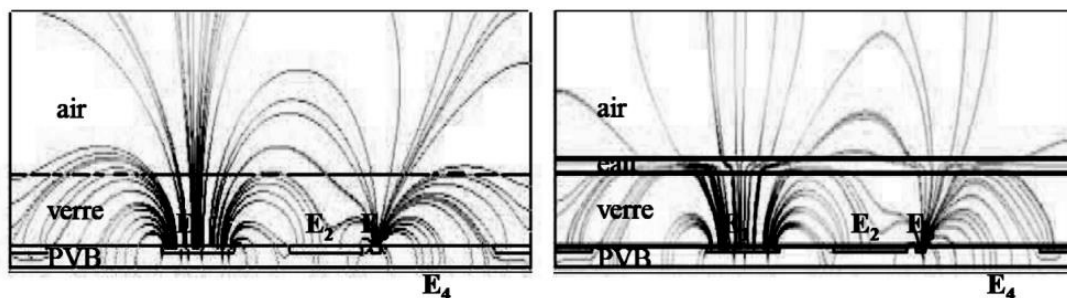


Condensateur plan : $C \approx \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{e}$, ϵ_r dépend du matériau isolant entre les armatures.



Un motif de la matrice capacitive

Néanmoins l'approche d'un doigt (milieu de permittivité relative ϵ_r élevée, de l'ordre de celle de l'eau, à savoir 80!) guide les lignes de champ électrique d'une armature à l'autre. Les lignes de champ se resserrent, l'intensité du champ augmente. La charge portée sur les armatures augmente ainsi que la capacité du condensateur.



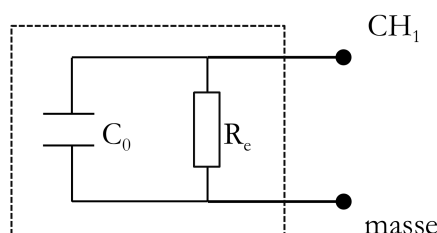
Simulation informatique illustrant le « guidage » des lignes de champ par une couche d'eau.

1. Proposer un ordre de grandeur chiffré de la capacité maximale du capteur dont vous disposez. On traitera deux cas : sans puis avec un doigt posé dessus. Conclusion ? On rappelle $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$.

La suite du T.P. consiste à mesurer cette capacité.

II Étude préliminaire : tenir compte de la capacité de l'oscilloscope.

On rappelle ici la modélisation de l'entrée d'un oscilloscope en mode DC.

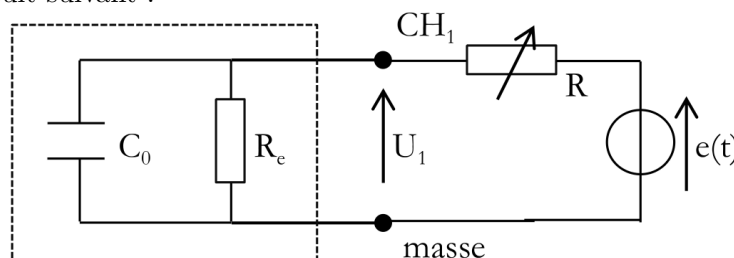


La résistance d'entrée R_e vaut $1 \text{ M}\Omega$.

On n'utilisera **pas de câbles de liaison coaxiaux** entre l'oscilloscope et le montage.

On réalise la mesure par la technique suivante :

- Régler un GBF en régime sinusoïdal, amplitude $E = 1 \text{ V}$, fréquence $f = 100 \text{ kHz}$.
- Réaliser le circuit suivant :



- Faire varier R jusqu'à obtenir l'amplitude de la tension $U_1 = \frac{E}{\sqrt{2}}$. On utilisera les mesures automatiques par l'oscilloscope. L'amplitude crête à crête donne une meilleure précision.

2. Exprimer l'amplitude complexe U_1 en fonction de R , C_0 , R_e et ω la pulsation.
3. Quelle approximation peut-on a priori faire à haute fréquence ? Simplifier l'expression.
4. En déduire une valeur de la capacité C_0 en entrée de l'oscilloscope. L'approximation faite est-elle justifiée ?
5. Conclure par rapport à la mesure que l'on veut effectuer dans ce TP.

III Mesure de la capacité du capteur par montage résonant

On dispose dans cette partie d'une inductance L de $0,1 \text{ H}$ à basse fréquence. Aux fréquences utilisées, on prendra une valeur corrigée d'environ $0,11 \text{ H}$ (cf. annexe pour l'explication).

On veillera à avoir une amplitude aux bornes du GBF qui ne **dépasse pas** 1 V .

On n'utilisera **pas de câbles de liaison coaxiaux** entre l'oscilloscope et le montage.

- Réaliser un montage résonant et mesurer la tension $u(t)$ aux bornes du condensateur avec l'oscilloscope.

- Faire varier la fréquence du GBF sur une large plage de fréquences, de 10 kHz à 100 kHz afin de visualiser le phénomène de résonance. Noter la fréquence de résonance f_r ainsi que l'amplitude à cette fréquence.
- À la résonance, poser le doigt sur le capteur. Relever l'amplitude. Quelle est la nouvelle fréquence de résonance f_{r1} ?
- Enlever le doigt et se replacer à la résonance. Déposer alors une goutte d'eau sur le capteur. Relever l'amplitude ainsi que la nouvelle fréquence de résonance f_{r2} . Essayer avec plusieurs gouttes.

6. Faire un schéma complet du montage. Montrer qu'à la fréquence de travail utilisée, il est équivalent à un circuit (r, L, C_{tot}) série avec $C_{\text{tot}} = C_0 + C_{\text{capteur}}$, et $r = r_{\text{GBF}} + r_{\text{bobine}}$. La tension mesurée étant celle aux bornes de C_{tot} .

On rappelle que dans cette configuration, on a résonance si $Q > \frac{1}{\sqrt{2}}$. La résonance à lieu

à $f_r = f_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}} < f_0$ la fréquence propre du circuit.

7. Comment expliquer la valeur de l'amplitude à la résonance ? Comment se nomme ce phénomène ? En déduire une estimation du facteur de qualité Q .
8. Quelle approximation peut-on en déduire sur la valeur de f_r ?
9. En déduire les valeurs de la capacité C du capteur dans les 3 cas étudiés.
10. Que peut-on dire du cas où on ne pose pas le doigt ?
11. Pourquoi le protocole demande-t-il de ne pas utiliser de câbles coaxiaux ?

Pour illustrer cette dernière question, observer l'évolution de l'amplitude aux bornes du capteur en plaçant les fils de liaisons avec l'oscilloscope parallèles et proches ou au contraire bien séparés. On voit clairement un effet capacitif.

12. Prendre un câble coaxial pour la liaison avec l'oscilloscope. En déduire la capacité que l'on peut attribuer à ce câble.
13. Revenir à la configuration sans coaxial. Comment la capacité du capteur varie-t-elle en fonction du nombre de gouttes déposées ?
14. Donner des applications technologiques possibles pour ce capteur.

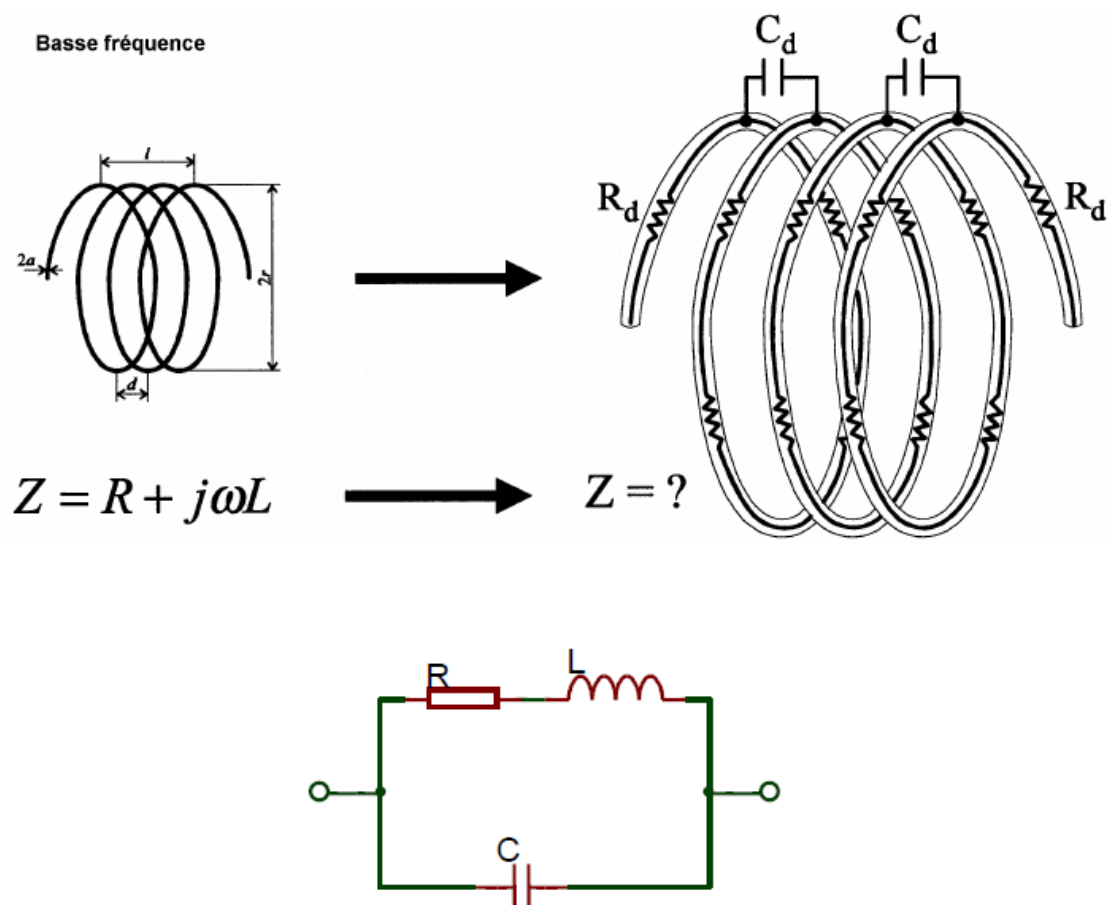
IV Étude plus précise du phénomène de résonance

15. Exprimer l'amplitude U de la tension aux bornes du capteur en fonction de f_0 , f et Q .
16. Les valeurs de U relevées dans les cas d'un doigt posé ou d'une goutte sont-elles compatibles ?
17. Faire un relevé des valeurs de U sur une plage allant de 1 kHz à 100 kHz, tracer le graphique. Superposer le graphe théorique, conclusion.

S'il vous reste du temps, reprendre complètement l'étude théorique : prouver la condition de résonance, démontrer la fréquence de celle-ci, retrouver la valeur de la surtension...

V Annexe : Modèle d'une bobine à haute fréquence

Afin de comprendre la valeur corrigée de l'inductance, il faut modéliser plus précisément le comportement d'une bobine à haute fréquence.



Les spires présentent un effet capacitif négligeable à basses fréquences, mais qui peut devenir prépondérant à hautes fréquences. La valeur de R fluctue elle aussi (effet de peau...). L'impédance équivalente est donc avec ce modèle simple

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{R + jL\omega} + jC\omega} = \frac{R + jL\omega}{1 - LC\omega^2}$$

en négligeant le terme en $jRC\omega$ car $L\omega \gg R$ aux hautes fréquences et C très faible a priori.

Tout se passe donc comme si la valeur de l'inductance $L' = \frac{1}{1 - LC\omega^2}$. Pour $\omega \ll \frac{1}{\sqrt{LC}}$, cela se traduit par une lente augmentation de la valeur apparente de l'inductance.

À noter que ce circuit équivalent finit par présenter une antirésonance à sa fréquence propre. Au-delà la bobine se comporte plus comme un condensateur que comme une inductance !